



WORLD BANK



DIRECTION DES ROUTES

99279



# ADAPTATION DES ROUTES AU RISQUE ET AU CHANGEMENT CLIMATIQUE AU MAROC

Rapport Final  
30/06/2015



## Sommaire

1.	Résumé exécutif.....	15
1.1.	Préambule.....	15
1.2.	Activité 1 : Evaluation de la vulnérabilité des tronçons routiers .....	19
1.2.1.	<i>La méthodologie mise en œuvre .....</i>	19
1.2.2.	<i>Etape 1 : Recensement des données de base disponibles .....</i>	19
1.2.3.	<i>Etape 2 : Evaluation de l'aléa du changement climatique .....</i>	21
1.2.4.	<i>Etape 3 : Diagnostic de la configuration actuelle des 4 tronçons routiers .....</i>	24
1.2.5.	<i>Etape 4 : Evaluation des impacts potentiels du changement climatique .....</i>	28
1.2.6.	<i>Définition de la vulnérabilité des tronçons routiers.....</i>	29
1.2.7.	<i>Limites de l'étude – activité 1.....</i>	33
1.3.	Activité 2 : Recommandations pour adapter les infrastructures .....	34
1.3.1.	<i>Recommandations vis-à-vis de l'évaluation et la prise en compte du changement climatique ....</i>	36
1.3.2.	<i>Recommandations techniques vis-à-vis des risques hydrologiques et hydrauliques.....</i>	39
1.3.3.	<i>Recommandations techniques vis-à-vis des risques géotechniques et de chaussée .....</i>	49
1.3.4.	<i>Conclusion .....</i>	50
2.	Etape 1 : Recensement des données de bases disponibles .....	51
2.1.	Recensement et collecte des données relatives aux conditions climatiques actuelles .....	51
2.1.1.	<i>Bref aperçu du contexte hydro climatique marocain .....</i>	51
2.1.2.	<i>Emplacement des tronçons étudiés.....</i>	52
2.1.3.	<i>Données climatologiques inventoriées.....</i>	54
2.1.4.	<i>La collecte des données relatives à la neige.....</i>	54
2.2.	Les données relatives au changement climatique .....	55
2.3.	Les données relatives à l'état des lieux des 4 tronçons .....	55
2.4.	Les données Socio-économiques .....	56
2.4.1.	<i>La population desservie.....</i>	56
2.4.2.	<i>Les activités économiques.....</i>	56
2.4.3.	<i>Les trafics .....</i>	57
3.	Etape 2 : Evaluation de l'aléa du changement climatique .....	58
3.1.	Introduction .....	58
3.2.	Méthodologie employée.....	58
3.2.1.	<i>Paramètres climatiques d'intérêt.....</i>	58
3.2.2.	<i>Sources des données .....</i>	58
3.2.3.	<i>Méthode d'analyse.....</i>	59
3.3.	Rappel sur les déterminants de la modélisation climatique .....	59
3.3.1.	<i>Horizons temporels .....</i>	59
3.3.2.	<i>Types de modèles.....</i>	59
3.3.3.	<i>Scénarios d'émission de GES .....</i>	60
3.3.4.	<i>Descente d'échelle .....</i>	61
3.3.5.	<i>Incertitude.....</i>	62
3.4.	Recensement et analyse des projections climatiques disponibles .....	62
3.4.1.	<i>Données bibliographiques.....</i>	62
3.4.2.	<i>Données issues des portails d'information climatique .....</i>	75

3.4.3.	<i>Synthèse de l'évaluation du changement climatique</i> .....	96
3.5.	Analyse sommaire des incertitudes sur les résultats des projections climatiques .....	99
3.5.1.	<i>Considérations générales</i> .....	99
3.5.2.	<i>Les projections climatiques issues du portail « Climate Information Portal » (CIP)</i> .....	99
3.6.	Conclusions .....	107
4.	Etape 3 : Diagnostic de la configuration technique actuelle des 4 tronçons routiers .....	110
4.1.	Visites de terrain et état des lieux .....	110
4.2.	Tronçon RN2 entre Chefchaouen et Issaguen .....	113
4.2.1.	<i>Contexte hydrographique</i> .....	113
4.2.2.	<i>Contexte climatique</i> .....	115
4.2.3.	<i>Infrastructure routière</i> .....	124
4.2.4.	<i>Hydraulique et assainissement</i> .....	129
4.2.5.	<i>Géotechnique et chaussées</i> .....	137
4.2.6.	<i>Contexte socio-économique</i> .....	152
4.3.	Tronçon RR508 entre Outabouabane et Sakka.....	155
4.3.1.	<i>Contexte hydrographique</i> .....	155
4.3.2.	<i>Contexte climatique</i> .....	157
4.3.3.	<i>Infrastructure routière</i> .....	167
4.3.4.	<i>Hydraulique et assainissement</i> .....	171
4.3.5.	<i>Géotechnique et chaussées</i> .....	181
4.3.6.	<i>Contexte socio-économique</i> .....	190
4.4.	Tronçon RR706 entre Rich et Imilchil.....	193
4.4.1.	<i>Contexte hydrographique</i> .....	193
4.4.2.	<i>Contexte climatique</i> .....	195
4.4.3.	<i>Infrastructure routière</i> .....	203
4.4.4.	<i>Hydraulique et assainissement</i> .....	208
4.4.5.	<i>Géotechnique et chaussées</i> .....	218
4.4.6.	<i>Contexte socio-économique</i> .....	226
4.5.	Tronçon RR106 entre Ighrem et Assaki.....	229
4.5.1.	<i>Contexte hydrographique</i> .....	229
4.5.2.	<i>Contexte climatique</i> .....	229
4.5.3.	<i>Infrastructure routière</i> .....	238
4.5.4.	<i>Hydraulique et assainissement</i> .....	242
4.5.5.	<i>Géotechnique et chaussées</i> .....	250
4.5.6.	<i>Contexte socio-économique</i> .....	257
5.	Étape 4 : Evaluation des impacts potentiels du changement climatique .....	259
5.1.	Approche méthodologique proposée .....	259
5.1.1.	<i>Risques hydrologiques</i> .....	259
5.1.2.	<i>Risques géologiques</i> .....	271
5.1.3.	<i>Risques liés aux chutes de neige</i> .....	279
5.2.	Tronçon RN2 entre Chefchaouen et Issaguen .....	280
5.2.1.	<i>Rappel des résultats du changement climatique</i> .....	280
5.2.2.	<i>Risques hydrologiques</i> .....	282
5.2.3.	<i>Risques géologiques</i> .....	289
5.2.4.	<i>Risques liés aux chutes de neige</i> .....	291

5.3.	Tronçon RR508 entre Outabouabane et Sakka .....	292
5.3.1.	<i>Rappel des résultats du changement climatique</i> .....	292
5.3.2.	<i>Risques hydrologiques</i> .....	294
5.3.3.	<i>Risques géologiques</i> .....	303
5.3.4.	<i>Risques liés aux chutes de neige</i> .....	305
5.4.	Tronçon RR706 entre Rich et Imilchil .....	306
5.4.1.	<i>Rappel des résultats du changement climatique</i> .....	306
5.4.2.	<i>Risques hydrologiques</i> .....	308
5.4.3.	<i>Risques géologiques</i> .....	316
5.4.4.	<i>Risques liés aux chutes de neige</i> .....	317
5.5.	Tronçon RR106 entre Ighrem et Assaki.....	319
5.5.1.	<i>Rappel des résultats du changement climatique</i> .....	319
5.5.2.	<i>Risques hydrologiques</i> .....	321
5.5.3.	<i>Risques géologiques</i> .....	328
5.5.4.	<i>Risques liés aux chutes de neige</i> .....	328
5.6.	Conclusion.....	329
6.	Définition de la vulnérabilité des tronçons routiers .....	330
6.1.	Objectifs .....	330
6.2.	Présentation de la méthode .....	330
6.2.1.	<i>Champ d'application de la méthode</i> .....	330
6.2.2.	<i>Les principes généraux de la méthode</i> .....	330
6.3.	Les indicateurs de vulnérabilité pour les risques hydrauliques .....	331
6.3.1.	<i>Typologies des désordres et risques encourus</i> .....	331
6.3.2.	<i>Les indicateurs pour l'hydraulique fluviale</i> .....	333
6.3.3.	<i>Les indicateurs pour l'assainissement routier</i> .....	336
6.4.	Les indicateurs de vulnérabilité pour les risques « géologique et géotechnique » .....	339
6.4.1.	<i>Typologies des désordres et risques encourus</i> .....	339
6.4.2.	<i>Les indicateurs pour la géotechnique</i> .....	340
6.4.3.	<i>Les indicateurs pour les structures de chaussée</i> .....	341
6.5.	La synthèse de l'analyse de la vulnérabilité .....	342
6.5.1.	<i>La présentation des résultats</i> .....	342
6.5.2.	<i>Exemples d'application par thématique</i> .....	342
7.	Recommandations vis-à-vis de l'évaluation et la prise en compte du changement climatique...348	
7.1.	Constats .....	348
7.2.	Recommandations générales.....	349
7.2.1.	<i>Elaboration de projections climatiques régionalisées à haute définition spatiales</i> .....	349
7.2.2.	<i>Outils d'aide à la décision en matière d'analyse et d'anticipation des risques climatiques</i> .....	350
7.2.3.	<i>Adopter un prisme climatique et adapter les infrastructures aux incertitudes</i> .....	351
8.	Recommandations techniques vis-à-vis des risques hydrologiques et hydrauliques .....	353
8.1.	Les principes et les méthodes de calculs .....	353
8.1.1.	<i>Les paramètres pluviométriques</i> .....	353
8.1.2.	<i>Les méthodes d'estimation des débits de crue</i> .....	359
8.1.3.	<i>La vérification du fonctionnement hydraulique des ouvrages et aménagements existants</i> .....	362
8.2.	L'hydraulique fluviale .....	363



8.2.1.	<i>Cas de franchissement des oueds</i> .....	363
8.2.2.	<i>Cas où la plate-forme routière longe un oued : érosion fluviale</i> .....	379
8.2.3.	<i>La prévision et l'annonce des crues</i> .....	390
8.3.	<b>L'assainissement routier</b> .....	417
8.3.1.	<i>Préambule</i> .....	417
8.3.2.	<i>Le rétablissement des écoulements superficiels extérieurs à la plate-forme routière</i> .....	417
8.3.3.	<i>Assainissement de la plate-forme routière</i> .....	423
8.3.4.	<i>Drainage routier</i> .....	426
8.3.5.	<i>L'entretien des réseaux d'assainissement routier</i> .....	428
9.	<b>Recommandations techniques vis-à-vis des risques géotechniques</b> .....	433
9.1.	<b>Recommandations générales</b> .....	433
9.2.	<b>Désordres géotechniques</b> .....	436
9.2.1.	<i>Les glissements de terrain</i> .....	438
9.2.2.	<i>Les Instabilités Rocheuses</i> .....	454
9.2.3.	<i>La prévision et l'alerte</i> .....	459
9.2.4.	<i>L'érosion des couches superficielles</i> .....	459
9.2.5.	<i>Les Ravinements</i> .....	461
9.3.	<b>Désordres structurels des chaussées</b> .....	474
9.3.1.	<i>Les différents types et causes de désordres structurels</i> .....	474
9.3.2.	<i>Les solutions de confortement</i> .....	475
9.3.3.	<i>Les dispositifs de prévision et d'alerte</i> .....	476
9.4.	<b>Choix des matériaux</b> .....	476
9.4.1.	<i>Constats</i> .....	476
9.4.2.	<i>Effets climatiques sur les sols et les matériaux les constituant</i> .....	477
9.4.3.	<i>Conclusions</i> .....	480
10.	<b>Autres recommandations techniques</b> .....	483
10.1.	<b>Modification des caractéristiques géométriques</b> .....	483
10.2.	<b>Solutions alternatives pour desservir les populations locales</b> .....	484
10.2.1.	<i>Tronçon Chefchaouen-Issaguen (RN2)</i> .....	485
10.2.2.	<i>Tronçon Outabouabane-Saka (RR508)</i> .....	487
10.2.3.	<i>Tronçon Imilchil-Er Rich (RR706)</i> .....	489
10.2.4.	<i>Tronçon Ighrem-Assaki (RR106)</i> .....	491
11.	<b>Hiérarchisation des mesures des travaux de réparation et/ou de confortement</b> .....	493
11.1.	<b>Préambule</b> .....	493
11.2.	<b>Méthodologie</b> .....	493
11.2.1.	<i>Le schéma fonctionnel de la méthode</i> .....	493
11.2.2.	<i>Les indices de priorité technique</i> .....	494
11.2.3.	<i>Les indices de priorité socio-économique</i> .....	495
11.3.	<b>Définition des indices de priorité technique pour les 4 tronçons routiers</b> .....	496
11.3.1.	<i>Hiérarchisation des actions relatives aux désordres</i> .....	496
11.4.	<b>Définition des indices de priorité socio-économique pour les 4 tronçons routiers</b> .....	501
11.4.1.	<i>Critères et classe d'enjeux</i> .....	501
11.5.	<b>Programmation des actions</b> .....	503
11.6.	<b>Application aux 4 tronçons</b> .....	504

12.	Evaluation de l'efficacité des mesures .....	513
12.1.	Critères pour l'évaluation de l'efficacité des mesures .....	513
12.1.1.	Hydraulique et assainissement .....	513
12.1.2.	Géotechnique .....	514
12.2.	Evaluation de l'efficacité des mesures proposées .....	515
12.2.1.	Mesures en hydraulique et assainissement.....	515
12.2.2.	Mesures en géotechnique .....	516
13.	Estimation des coûts associés .....	518
13.1.	Coûts associés aux recommandations techniques liés aux désordres hydrauliques .....	518
13.1.1.	Coûts des études préalables.....	518
13.1.2.	Matrice des prix unitaires pour les travaux de réparation des désordres hydrauliques et d'assainissement .....	518
13.1.3.	Application aux radiers submersibles.....	519
13.1.4.	Systèmes de prévisions et d'annonce des crue.....	521
13.2.	Coûts associés aux recommandations techniques liés aux désordres géotechniques .....	522
13.2.1.	Coût des études.....	523
13.2.2.	Matrices des prix unitaires .....	523
13.2.3.	Exemples pratiques .....	527
13.2.4.	Commentaire sur les coûts des solutions .....	533
13.2.5.	Conclusions .....	533
13.3.	Evaluation économique des impacts du changement climatique par jour de coupure.....	535
13.3.1.	Notions de coûts directs et indirects .....	535
13.3.2.	Méthodologie pour l'analyse des coûts indirects .....	535
13.3.3.	Evaluation des 4 tronçons routiers.....	537
13.4.	Analyses économiques comparatifs.....	539
13.4.1.	Analyse comparative des stratégies d'adaptation au changement climatique .....	539
13.4.2.	Analyse coût bénéfice du projet .....	539
14.	Examen d'études similaires réalisées dans d'autres pays .....	542
14.1.	Etats-Unis - Transportation Research Board, Strategic Issues Facing Transportation, Volume 2: Climate Change, Extreme Weather Events, and the Highway System: Practioner's Guide and Research Report, 2014.....	542
14.1.1.	Les principaux points en rapport avec la présente étude .....	542
14.1.2.	Mise en perspective avec la présente étude.....	543
14.2.	Royaume-Uni - UK Highways Agency, Climate Change Adaptation Strategy and Framework, 2009	543
14.2.1.	Les principaux points en rapport avec la présente étude .....	543
14.2.2.	Mise en perspective avec la présente étude.....	544
14.3.	Danemark - Danish Road Directorate, Strategy for Adapting to Climate Change, 2013.....	544
14.3.1.	Les principaux points en rapport avec la présente étude .....	544
14.3.2.	Mise en perspective avec la présente étude.....	545
14.4.	Ghana - World Bank, Making Transport Climate Resilient, 2010.....	545
14.4.1.	Les principaux points en rapport avec la présente étude .....	545
14.4.2.	Mise en perspective avec la présente étude.....	546
14.5.	Europe - Conference of European Directors of Roads, Adaptation to Climate Change, 2012	547
14.5.1.	Les principaux points en rapport avec la présente étude .....	547

14.5.2.	Mise en perspective avec la présente étude.....	548
14.6.	International - US Department of Transportation, International Practices on Climate Adaptation in Transportation, 2015 .....	548
14.6.1.	Les principaux points en rapport avec la présente étude .....	548
14.6.2.	Mise en perspective avec la présente étude.....	549
14.7.	Conclusions .....	549
15.	Références .....	551
16.	Liste des Figures .....	553
17.	Liste des Tableaux .....	557
18.	Groupe du travail .....	562
	Annexes .....	563

## Abréviations et acronymes

**10<sup>ème</sup> p** : 10<sup>ème</sup> percentile

**90<sup>ème</sup> p** : 90<sup>ème</sup> percentile

**a, b** : Paramètres de Montana

**AAC** : Agriculture et Agroalimentaire Canada

**ABH** : Agence de Bassin Hydraulique

**ACB** : Analyse Coût bénéfice

**ADM** : Autoroutes du Maroc

**BLU** : bande latérale unique

**BM** : Banque Mondiale

**BMS** : bulletins météorologiques spéciaux

**BVR** : Bulletins de Viabilité Routière

**CC** : Changement Climatique

**CDF-T** : Cumulative Density Function - Transformation

**CETE** : Centres d'Etudes Techniques de l'Equipement, France

**CIP** : Climate Information Portal

**CMIP** : Coupled Model Intercomparison Project

**CNP** : Centre National des Prévisions

**CORDEX** : Coordinated Regional Climate Downscaling Initiative

**Cv** : Coefficient de variation (S/M)

**CW** : Climate Wizard

**ΔF**: variation du facteur de sécurité

**DCE** : Dossier de Consultation d'Entreprises

**DGH** : Direction Générale de l'Hydraulique

**DHS** : DirHamS marocains

**DMN** : Direction de la Météorologie Nationale

**DPETL** : Direction Provinciale de l'Equipement, du Transport et de la Logistique

**DPH** : Domaine Public Hydraulique

**DPV** : Direction de la Production Végétale

**DR** : Direction des Routes

- DR** : Précipitation journalière moyenne annuelle (daily rainfall)
- DRETL** : Direction Régionale de l'Équipement, du Transport et de la Logistique
- DRPE** : Direction de la Recherche et de la Planification de l'Eau
- EHTP** : Ecole Hassania des Travaux Publics
- F** : Facteur de sécurité
- F** : Fréquence au non dépassement  $[(rang-0.5)/n]$ , dite de Hazen
- F0** : Facteur de sécurité initial
- FAO** : Food and Agriculture Organization
- FM** : Modulation de fréquence
- Ft** : Forfataire
- GEE** : Global Environment Facility
- GES** : Gaz à Effet de Serre
- GEV** : Generalized Extreme Value
- GIEC** : Groupe d'experts International sur l'Évolution du Climat
- GIZ** : Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
- HCP** : Haut Commissariat au Plan
- HF** : Bande des hautes fréquences
- H<sub>max</sub>** : Altitude maximale du plus long talweg (mNGM)
- H<sub>min</sub>** : Altitude de l'oued au niveau de l'exutoire (mNGM)
- I(T, t<sub>c</sub>)** : Intensité de la pluie (mm/h)
- IAV** : Institut Agronomique et Vétérinaire
- Ic** : Indice de consistance
- IDF** : Intensité – Durée – Fréquence
- INRA** : Institut National de la Recherche Agronomique
- Ip** : Indice de plasticité
- LCPC** : Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
- L<sub>max</sub>** : Longueur du plus long thalweg (Km)
- M** : Moyenne
- MAPAQ** : Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation de Québec
- MAPM** : Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime



**MASEN** : Morocco Agency for Solar ENergy

**Max** : Maximum

**MCG (GCM)** : Modèle de Circulation Générale (Global Circulation Model)

**MCR (RCM)** : Modèle Climatique Régional (Regional Climate Model)

**Me/MED** : Médiane

**MEMEE** : Ministère de l'Énergie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement.

**METL** : Ministère de l'Équipement, du Transport et de la Logistique

**Min** : Minimum

**mNGM** : Unité métrique par rapport au Nivellement Général du Maroc

**MRC (RCM)** : Modèle de Climatologie Régionale (Regional Climate Model)

**MRd** : Précipitation journalière maximum (Maximum daily rainfall)

**MTETM**: Ministère des Transports, de l'Équipement, du Tourisme et de la Mer, France

**MUSD**: Millions de Dollars

**n** : Taille de l'échantillon ou nombre d'années d'observation

**N°**: Numéro du poste de pluie

**NF** : Norme Française

**P** : Pente du thalweg (m/m ou en %)

**Pan** : Pluie annuelle (mm)

**PHE**: Plus hautes eaux calculées

**PK**: Point Kilométrique

**PNUD**: Programme des Nations Unies pour le Développement

**PR**: Point de Référence

**OA**: Ouvrages d'art

**OH** : Ouvrage hydraulique

**ONEE**: Office Nationale de l'Électricité et de l'Eau potable

**ORMVA**: Office Régional de Mise en Valeur Agricole

$\Phi$  : Diamètre (mm)

$P_{jmax}$  : Pluie journalière maximale annuelle (mm)

$Q_{jmax}$  : Débit journalier maximal annuel ( $m^3/s$ )

$Q_p$  : Débit de pointe ( $m^3/s$ )

- RCP** : Representative Concentration Pathways – scénarios d'émissions de GES du projet CMIP5
- RIMAROCC** : Risk Management for Roads in a Changing Climate
- RN**: Route Nationale
- RP**: Route Provinciale
- RQD**: Rock Quality Designation
- RR**: Route Régionale
- S** : Ecart type
- Sbv** : Surface du bassin versant (Km<sup>2</sup>)
- SDSM** : Statistical DownScaling Model
- SEEE**: Système d'Evaluation de l'Etat des Eaux
- SEGMA** : Service géré de manière autonome
- SIG**: Système d'Information Géographique
- SNC** : Seconde Communication Nationale à la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques
- SOMD**: Self-Organizing Map Downscaling
- SRES** : scénarios d'émissions de GES du projet CMIP3 issus du « Special Report on Emissions Scenarios »
- T** : Période de retour (ans),  $[T = 1/(1-F)]$
- tc** : Temps de concentration
- TMJA**: Trafic Moyen Journalier Annuel
- TR** : Précipitation totale annuelle (Total rainfall)
- TRm** : Précipitation totale mensuelle (Total monthly rainfall)
- TVA**: Taxe sur la Valeur Ajoutée
- u** : Variable réduite de Gumbel ( $u = -\ln(-\ln(F))$ )
- UHF** : Bande des ultras hautes fréquences
- UNISDR**: United Nations International Strategy for Disaster Reduction
- USCS**: Unified Soils Classification System
- VHF** : Bande des très hautes fréquences
- WEGE** : Weather Generator
- wl** : Limite de liquidité
- wp** : Limite de plasticité
- WRF** : Weather Research & Forecasting Model

## Glossaire

**Aléa climatique** : Événement susceptible de se produire et pouvant entraîner des dommages sur les populations, les activités et les milieux. Il s'agit soit d'extrêmes climatiques, soit d'évolutions à plus ou moins long terme (GIEC).

**Ancrage** : zone permettant la fixation de l'extrémité d'une armature passive dans le béton.

**Année hydrologique i** : année qui commence au mois de septembre de l'année calendaire i et se termine au mois d'août de l'année calendaire i+1.

**Assainissement routier** : ensemble de moyens mises en œuvre pour la collecte et l'évacuation des eaux superficielles et internes dans l'emprise de la route, ainsi que pour le rétablissement des écoulements superficiels extérieurs à la route.

**Bassin versant** : section d'un cours d'eau représentant la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ses affluents à l'amont de telle façon que tout écoulement prenant naissance à l'intérieur de cette surface doit traverser la section considérée, appelée exutoire, pour poursuivre son trajet vers l'aval.

**Clouage** : technique de renforcement d'un sol en place utilisant des clous.

**Coefficient de ruissellement Cr** : indice très utilisé en hydrologie de surface pour quantifier la part de la pluie qui s'est écoulée au niveau de l'exutoire par rapport à la pluie moyenne qui est reçue par le bassin.

**Coefficient de variation Cv** : coefficient caractérisant l'importance de la dispersion autour de la moyenne M ( $Cv = S / M$ ).

**Débit Q** : volume total d'eau qui s'écoule à travers une section droite du cours d'eau pendant l'unité de temps considérée (en  $m^3/s$ ).

**Débit journalier  $Q_j$**  : volume d'eau observé pendant une journée (en  $m^3/s$ ).

**Débitance** : capacité hydraulique d'un ouvrage hydraulique.

**Débits journalier maximal annuel  $Q_{jmax}$**  : valeur maximale de l'échantillon composé des débits journaliers pendant une année hydrologique (en  $m^3/s$ ).

**Descente d'échelle dynamique** : Utilisation de modèles climatiques régionaux de résolution spatiale plus fine, forcés par des modèles de circulation générale (couple MCR/MCG).

**Descente d'échelle statistique** : Utilisation de méthodes empiriques pour établir des relations statistiques entre les variables atmosphériques de grande échelle et les variables climatiques locales ou régionales.

**Désordre** : anomalie de nature à modifier le fonctionnement mécanique de l'ouvrage.

**Drainage** : collecte et évacuation des eaux internes.

**Ecart type S** : notion de dispersion qui se définit comme la racine carrée de la variance. La variance étant la moyenne arithmétique des carrés des écarts par rapport à la moyenne.

**Élasticité** : propriété d'un élément déformé momentanément par l'action d'une force extérieure, à reprendre son état initial dès que la force a cessé d'agir.

**Enrochement** : ensemble de blocs de roches ou d'éléments préfabriqués en béton disposés au fond de l'eau ou en parement de berges pour protéger les fondations ou les abords d'un ouvrage.

**Ensemble multi-modèles** : Utilisation d'un ensemble de plusieurs modèles. Cela permet de tirer des informations supplémentaires comme la moyenne multi-modèle, qui donne la tendance en lissant les divergences entre les modèles. Cela permet également de comparer entre eux les résultats de chaque modèle et d'analyser leur convergence, leur dispersion, les projections extrêmes, etc.

**Exutoire d'un bassin** : point le plus en aval du réseau hydrographique par lequel passent toutes les eaux de ruissellement drainées par le bassin.

**Facteur de sécurité** : concept en génie civil pour apprécier le risque admissible ou les états limites de fonctionnement.

**Fréquence au dépassement F** : probabilité qu'une valeur au moins égale à une valeur donnée se produise.

**Fréquence de Hazen** : formulation empirique pour représenter la fréquence au non dépassement  $F'$  ( $F' = 1 - F$ ).

**Gabion** : cage en treillis ou en grillage métallique remplie de pierres ou de galets, destinée à la réalisation d'un dispositif de protection ou de soutènement.

**Génie végétal** : technique de stabilisation des berges des cours d'eau basée sur le pouvoir fixant des végétaux par le biais de leurs racines. Elle sert également à stabiliser les talus de remblai et déblai en limitant la teneur en eau du sol et réduisant leur ravinement par les gouttes de pluie.

**Glissement de terrain** : phénomène géologique où une masse de terre descend sur une pente, autrement dit un plan de glissement plus ou moins continu, plus ou moins plan ou incurvé.

**Horizon temporel** : Année d'échéance qui représente la période de temps (20 ou 30 ans) sur laquelle les données sont considérées, généralement située au centre de la période.

**IDF ou courbes Intensité-Durée-Fréquence** : courbes donnant l'intensité de pluie pour différentes périodes de retour, et des pas de temps variables. Elles sont le résultat du dépouillement des enregistrements des pluviographes.

**Incertitude** : Etat de connaissance incomplète qui peut résulter d'un manque d'information ou d'un désaccord à propos de ce qui est connu ou même de ce qu'il est possible de connaître. Elle peut être due à plusieurs sources, de l'imprécision des données à la définition ambiguë des concepts ou des terminologies. Elle peut être quantitative (par exemple une fonction de densité de probabilité) ou qualitative (par exemple « à dire d'experts ») (GIEC).

**Instabilité rocheuse** : désolidarisation soudaine d'une structure géologique sur une vaste surface et qui s'accompagne d'une chute massive de matériaux.

**Intensité de pluie** : quantité de pluie tombée pendant un intervalle de temps (en mm/hr).

**Loi de Gumbel** : loi d'ajustement statistique utilisée pour représenter les événements extrêmes.

**Maille de modélisation** : Résolution spatiale d'un modèle donné (également appelée "grille").

**Médiane** : valeur qui permet de partager une série numérique ordonnée en deux parties de même nombre d'éléments.

**Micropieu** : pieu de diamètre inférieur à environ 300 mm, armé ou non, qui peut résister sous certaines conditions en traction.

**Modèle climatique régional (MCR) :** Modèle climatique à plus haute résolution sur une aire géographique limitée (GIEC).

**Modèle de circulation générale (MCG) :** Modèles atmosphérique et de circulation générale océanique couplés qui représente les processus physiques de l'atmosphère, de l'océan, de la cryosphère et de la surface terrestre, pour simuler la réponse du système climatique globale à l'augmentation de gaz à effet de serre (GIEC).

**Module d'élasticité :** grandeur qui caractérise la loi de déformation élastique d'un matériau.

**Ouvrage de soutènement :** ouvrage destiné à soutenir des terres.

**Paramètres de Montana :** paramètres régionaux a et b permettant d'estimer l'intensité de pluie pour une fréquence et un pas de temps donnés.

**Pas de temps :** intervalle de temps en minutes pris en compte lors de l'élaboration des courbes IDF (généralement 5, 10, 15, 30, 60, 120, et 360 minutes).

**Période de retour T :** intervalle moyen de récurrence, défini comme étant l'inverse de la probabilité de dépassement F d'observer un événement de pluie ou de crue (en ans).

**Pieu :** poutre enterrée, généralement verticale, en acier, en béton armé ou en bois, mise en place dans le sol par fonçage ou forage, et utilisée dans les fondations profondes.

**Plasticité (ou domaine plastique) :** domaine de comportement d'un matériau, au-delà de la limite élastique où ses déformations ne sont plus proportionnelles aux forces appliquées.

**Pluie journalière maxi-annuelle  $P_{jmax}$  :** valeur maximale de l'échantillon composé des pluies journalières pendant une année hydrologique (en mm).

**Pluviographe :** appareil enregistreur des événements pluvieux.

**Pluviomètre :** appareil permettant de mesurer la quantité d'eau tombée en un temps donné.

**Purge :** opération par laquelle on enlève sur une étendue limitée de l'infrastructure des matériaux jugés trop instables pour servir de support à la chaussée.

**Quantiles :** valeurs que prend une variable pour des valeurs de probabilité, valant une valeur remarquable. En hydrologie, on prend généralement les valeurs correspondent aux périodes de retour 2, 5, 10, 20, 50 et 100 ans.

**Régionalisation ou descente d'échelle :** Méthode pour extraire de l'information locale à régionale (10 à 100 km) à partir de modèles ou de bases de données à plus grande échelle (GIEC).

**Scénario climatique :** Représentation plausible et souvent simplifiée du climat futur, basée sur un ensemble logique de relations climatologiques internes, qui a été établie pour étudier les conséquences potentielles du changement climatique d'origine anthropique, souvent utilisée comme entrée des modèles d'impacts (GIEC).

**Scénario d'émission de gaz à effet de serre :** Représentation plausible du développement futur des émissions de substances qui ont un potentiel radiatif (gaz à effet de serre, aérosols, ...) basé sur un ensemble logique d'hypothèses sur les forçages internes (comme le développement de la démographie et de l'économie, l'évolution technologique) et leur relations clés (GIEC).

**Station synoptique :** station météorologique qui mesure des paramètres représentatifs de phénomènes atmosphériques à une échelle synoptiques (de quelques milliers de kilomètres pour les dimensions horizontales, de quelques kilomètres pour la dimension verticale et de quelques jours pour la durée).



**Tassement** : déformation verticale d'un sol due à l'application des contraintes extérieures telles que les remblais, les fondations ou son propre poids.

**Temps de concentration  $t_c$**  : temps au bout duquel la particule d'eau tombée dans la zone la plus éloignée de l'exutoire va atteindre celui-ci (en minutes).

**Vacation radio** : tranche horaire pendant laquelle un utilisateur peut émettre.

**Variable réduite de Gumbel** : variable réduite associée à la loi d'ajustement de Gumbel, elle se définit par  $U = -\text{Ln}(-\text{Ln}(F))$ .

**Vulnérabilité** : susceptibilité d'un système d'enjeux à subir des dommages sous l'action d'un danger.

# 1. RESUME EXECUTIF

## 1.1. PREAMBULE

Le Maroc connaît des événements climatiques extrêmes dont le rythme et l'intensité semblent s'être accrus ces dernières années à cause du changement climatique. La réparation des dégâts exceptionnels subis par les infrastructures routières a coûté 4 milliards de dirhams depuis 2009, dont près de 3 milliards pris sur le budget alloué à l'entretien routier. Les précipitations intenses entraînent des glissements de terrain à grande échelle, ainsi que l'inondation et l'érosion des routes, provoquant la coupure de grands axes, tels que l'autoroute Rabat-Casablanca et l'isolement des communautés. Le relief montagneux du pays aggrave les conséquences des inondations des zones de faible altitude. Ces événements climatiques perturbent sérieusement l'activité économique et engendrent de grandes pertes directes et indirectes.

En 2010, la Banque mondiale a mené une étude sur l'adaptation du secteur des transports marocains au changement climatique. Cette étude a diagnostiqué des difficultés d'adaptation au Maroc et a proposé un plan d'action contenant une série de mesures institutionnelles, opérationnelles, et techniques. Les partenaires marocains de la Banque ont très bien accueilli l'étude et ont exprimé leur intérêt pour la recherche de mesures techniques spécifiques permettant d'améliorer la pérennité du réseau routier et pour le suivi des recommandations.

Dans ce contexte, la Banque mondiale a confié en 2014 la réalisation de la présente étude sur l'adaptation des routes au risque et au changement climatique au Maroc à la société d'ingénierie INGÉROP associée à deux autres sociétés, NOVEC, société marocaine spécialiste dans le domaine des infrastructures, et ACTERRA, société d'expertise dans les études de changement climatique.

La présente étude, financée grâce à un don du Korean Green Growth Trust Fund (Fonds Fiduciaire Coréen pour la Croissance verte), est une étude pilote conçue pour apporter un appui analytique à la Direction des Routes du Ministère de l'Équipement, du Transport et de la Logistique (METL) dans l'évaluation de la vulnérabilité de quelques tronçons routiers importants au Maroc, et la préconisation de recommandations techniques spécifiques visant à améliorer la résistance de ces tronçons au changement climatique. L'objectif est de démontrer la faisabilité de mesures techniques d'adaptation des infrastructures routières au changement climatique au Maroc, à travers l'analyse détaillée de quelques tronçons routiers importants.

### LE CONTENU DE L'ETUDE

Cette étude a comporté trois phases :

- ❑ Activité 1 : Evaluation de la vulnérabilité des tronçons routiers.

L'objectif de la première phase de l'étude était d'évaluer la vulnérabilité de 4 tronçons routiers sur la base d'un diagnostic de la configuration actuelle des 4 tronçons, de l'évaluation de l'aléa sous changement climatique et des impacts potentiels du changement climatique sur les 4 tronçons routiers.

- ❑ Activité 2 : Recommandations pour adapter les infrastructures routières au changement climatique.

La deuxième phase de l'étude avait pour objectif de présenter des recommandations permettant d'adapter les infrastructures routières au changement climatique.

Ce rapport propose donc des recommandations techniques en hydrologie, hydraulique et géotechnique (y compris pour les chaussées) vis-à-vis des typologies des désordres observés sur les 4 tronçons routiers étudiés. Il ne s'agit pas d'un inventaire exhaustif de recommandations applicables à l'ensemble du réseau routier marocain. Malgré tout, ces recommandations doivent permettre à la Direction des Routes d'entamer une réflexion plus approfondie sur les problématiques rencontrées et les axes stratégiques à établir pour les années à venir.

□ Un atelier de travail participatif à l'attention du personnel de la Direction des Routes et du METL.

Outre la restitution des résultats des activités 1 et 2, cet atelier avait aussi pour objectif de recueillir les commentaires des participants afin de les intégrer éventuellement dans la version finale du rapport.

Enfin, il peut être noté qu'un guide simplifié à destination de la Direction des Routes a été élaboré. Il a pour objet de compléter l'étude à partir de quelques démarches pratiques qui pourront être appliquées par les services de la Direction des Routes afin de mieux adapter les infrastructures qu'ils gèrent aux événements extrêmes liés à la pluie qui ont lieu de nos jours, de même qu'au risque potentiel associé au changement climatique. Le guide est ainsi structuré en 3 volets :

- Volet 1 : Méthode de définition de la vulnérabilité des tronçons routiers aux risques hydrauliques et géotechniques ;
- Volet 2 : Méthode de hiérarchisation des travaux de réparation et/ou de confortement vis-à-vis des phénomènes hydrauliques et géotechniques ;
- Volet 3 : Les « bonnes pratiques » pour la conception des ouvrages.

#### LE PERIMETRE DE L'ETUDE

Les 4 tronçons routiers sélectionnés par la Direction des Routes pour la présente étude sont les suivants :

- **DPETL de Chefchaouen : Route Nationale 2** entre Chefchaouen et Issaguen sur 95 km (PK 116 à 211) ;
- **DRETL Taza : Route Régionale 508** entre Saka et Outabouabane sur 157 km (PK 15 à 172).
- **DPETL de Midelt : Route Régionale 706** entre Rich et Imilchil sur 120 km (PK 0 à 120) ;
- **DPETL Taroudant : Route Régionale 106** entre Ighrem et Assaki sur 45 km (PK 75 à 120) ;

La carte en page suivante illustre l'emplacement des tronçons routiers étudiés.

Ces 4 tronçons routiers ont été choisis car ils sont caractéristiques des catastrophes naturelles auxquelles le Maroc a dû faire face ces dernières années (2008, 2009 et 2010) : inondations, glissements de terrain, ravinements, éboulements et épisodes neigeux.

Ces catastrophes, qui ont engendré des dégâts importants sur les populations et les infrastructures routières, sont essentiellement dues aux deux facteurs climatiques prépondérants que sont la pluie et la neige.

Les études relatives au changement climatique réalisées ces dernières années confirment que le facteur pluie est prépondérant car ce paramètre génère les coûts de réparation les plus importants :

- Etude de la Banque Mondiale « Royaume du Maroc – Adaptation du secteur du transport au changement climatique » - Juin 2010 : « Quoi qu'il en soit, ce sont sans doute les prévisions d'augmentation de fréquence et d'intensité des précipitations orageuses et des crues torrentielles qui méritent la plus grande attention au regard des problématiques d'adaptation aux changements climatiques » ;

- ❑ Etude de la Banque Mondiale au Ghana « Making Transport Climate Resilient » - 2010: « Rainfall will have the most significant cost impact on Ghana's road network. Temperature and wind will have minor cost implications that should be dealt with during the design phase, and will not have an overall large influence on the cost of a climate resilient road. For this economic analysis, only the influence of increased rain is investigated ».

Ainsi, la présente étude s'est concentrée sur ces deux facteurs climatiques au regard de leur aptitude à caractériser au mieux les différents phénomènes climatiques observés sur les 4 tronçons routiers sélectionnés.

De ce fait, les autres facteurs climatiques susceptibles d'affecter les infrastructures routières que sont le vent, la température (gel/dégel et chaleur), l'ensablement et les submersions marines (par rehaussement du niveau des mers) ne sont pas traités dans la présente étude. Malgré tout, la réflexion menée dans le cadre de cette étude pilote pourra ultérieurement être complétée par l'étude de tronçons routiers caractérisés par ces facteurs climatiques (routes situés dans un contexte désertique et/ou en bordure des zones cotières).

#### LES LIMITES DE L'ETUDE

Les conclusions de l'activité 1 afférentes à l'évaluation de l'aléa sous changement climatique et aux impacts potentiels du changement climatique sur les 4 tronçons routiers n'ayant pas permis de mettre en évidence des variations des pluies extrêmes (pluies journalières et infra-journalières) suite au changement climatique (seules de faibles variations ont été mises en évidence pour les pluies moyennes annuelles), il a donc été choisi de retenir la situation actuelle comme situation de référence avec maintien du risque actuel pour le futur, et ce d'autant plus que l'analyse des méthodes de conception a mis en évidence que les incertitudes hydrologiques (définition des paramètres pluviométriques et hydrologiques, ainsi que des méthodes d'évaluation des débits) présentaient des incertitudes bien supérieures à celles du changement climatique.

Ainsi, dans le cadre de l'activité 2, l'étude s'est orientée vers l'adaptation des routes à la situation actuelle et à la définition de recommandations pour d'une part, réduire les incertitudes hydrologiques et d'autre part, concevoir les travaux de réparation et/ou de confortement.

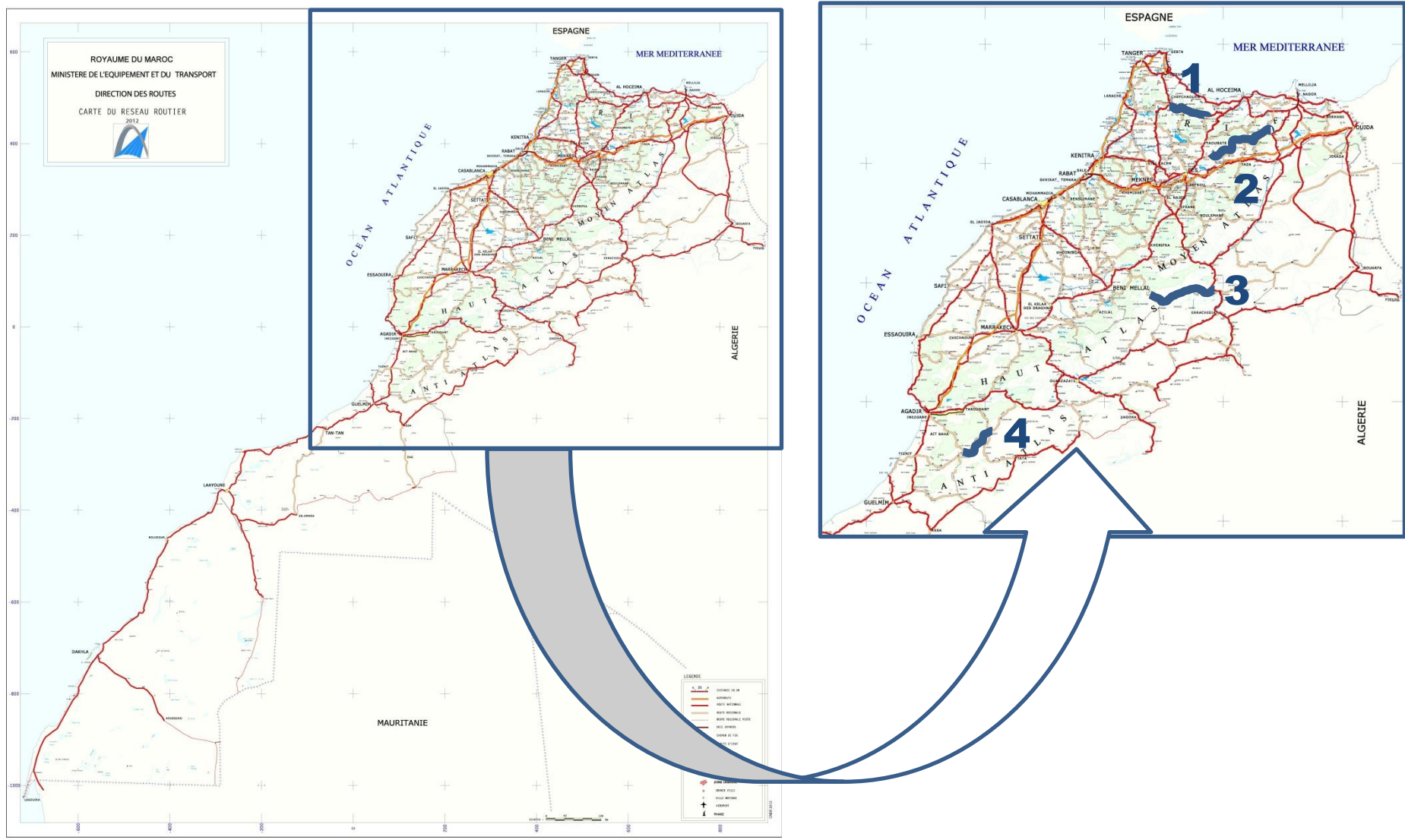


Figure 1 : Emplacement des tronçons routiers étudiés



## 1.2. ACTIVITE 1 : EVALUATION DE LA VULNERABILITE DES TRONÇONS ROUTIERS

### 1.2.1. La méthodologie mise en œuvre

La méthode d'évaluation de la vulnérabilité des tronçons routiers repose sur le recueil et l'exploitation de l'ensemble des données existantes relatives aux conditions climatiques actuelles, aux changements climatiques et à l'état des lieux des tronçons routiers. Ainsi, cette évaluation comporte 4 étapes principales :

- ❑ Etape 1 : le recueil et la validation des données ;
- ❑ Etape 2 : l'évaluation de l'aléa du changement climatique ;
- ❑ Etape 3 : le diagnostic de la configuration technique actuelle des 4 tronçons routiers ;
- ❑ Etape 4 : l'évaluation des impacts potentiels du changement climatique pour les 4 tronçons routiers.

Enfin, une méthodologie de définition et de hiérarchisation de la vulnérabilité des tronçons routiers est proposée. Cette méthode pragmatique présente l'avantage d'être simple à mettre en œuvre et applicable aux nouveaux projets comme aux infrastructures existantes. Pour les gestionnaires des infrastructures routières, cette méthode permettra de définir, dans un premier temps, la nécessité de travaux de remise à niveau et, dans un second temps, de planifier ceux-ci.

### 1.2.2. Etape 1 : Recensement des données de base disponibles

Le recueil des données a concerné les 4 thématiques suivantes :

#### **LES DONNEES RELATIVES AUX CONDITIONS CLIMATIQUES ACTUELLES**

Les deux facteurs climatologiques retenus par l'Ingénierie ont été la pluie et la neige. Ils ont été sélectionnés au regard de leur aptitude à caractériser au mieux les différents phénomènes observés sur les 4 tronçons routiers à étudier : inondations, glissements de terrain, ravinements, éboulements et neige.

Les données climatologiques à collecter aux stations de référence des 4 tronçons à étudier sont les suivantes :

- Pluviométrie :
  - pluies journalières maximales annuelles (Pjmax) : l'Ingénierie dispose de données pluviométriques à travers d'autres études réalisées dans le royaume du Maroc qui ont été complétées avec des données acquises auprès de la Direction de la Météorologie Nationale (DMN) ;
  - courbes Intensité-Durée-Fréquence (IDF) : l'Ingénierie dispose également d'une base de données des courbes Intensité – Durée – Fréquence (IDF) acquises auprès de la DMN dans le cadre des différentes études hydrologiques, hydrauliques et d'assainissement routier qu'elle a menées pour le compte de la Direction des Routes (DR), ainsi que pour la Société des Autoroutes du Maroc (ADM).

- Neige :
  - nombre de jours de neige par mois : données non disponibles. L'Ingénierie a contacté la DMN qui a confirmé que l'inventaire n'était pas encore déterminé ;
  - période maximale de neige : données non disponibles. L'unique information dont on dispose est celle transmise pour les différents DPETL lors des visites de terrain. Une autre source d'information est fournie par les Bulletins de Viabilité Routière qui reflètent les jours de coupure des tronçons à cause de l'enneigement.

#### LES DONNEES RELATIVES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Le travail de recensement s'est appuyé sur deux sources principales :

- **Une revue de la documentation existante**, notamment les études et travaux de recherche de référence dans le domaine de la modélisation du changement climatique et l'analyse de ses impacts au niveau local, en lien direct avec les aléas et tronçons à étudier ;
- **Une exploitation de deux bases de données de référence au niveau international** susceptibles de fournir des données de projections régionalisées issues des modèles du GIEC (CMIP3 et CMIP5) sur les paramètres et échelles de travail de l'étude.

Après recensement et analyse des sources, les données disponibles sont :

- Pluviométrie :
  - les pluies journalières maximales annuelles (Pjmax) : l'Ingénierie a trouvé des études ainsi que des projections concernant ce paramètre ;
  - courbes Intensité-Durée-Fréquence (IDF) : jusqu'à présent aucune étude ni projection collectée ne traite ce paramètre.
- Neige : Aucune étude ni projection régionalisée n'a pu être trouvée pour le paramètre neige.

#### LES DONNES RELATIVES A L'ETAT DES LIEUX DES TRONÇONS

Le travail de recensement s'est appuyé sur deux sources principales :

- Des réunions : dès le démarrage du projet, l'Ingénierie a dressé un inventaire des données et des études d'intérêt, et ce pour plusieurs thématiques (hydraulique, géotechnique, chaussée, trafic, changement climatique, etc.). L'Ingénierie a pris contact avec la DR, les DPETL et DRETL afin d'obtenir les données disponibles en vue de les exploiter. Lors des réunions, l'Ingénierie a pu constater qu'il existe un problème d'archivage des données qui a fait que les données finalement disponibles sont assez limitées.
- Des visites de terrain avec des responsables des DRETL/DPETL de chaque tronçon qui ont montré une vraie connaissance des problématiques existantes et ont constitué une source d'information primordiale pour la réalisation de cette étude. Ces inspections de terrain ont permis de s'imprégner des spécificités des sites étudiés au droit des points névralgiques indiqués par ces directions, et de relever les typologies des désordres hydrauliques, géotechniques et des chaussées dont souffrent ces tronçons. Ces visites ont fait l'objet d'un rapport détaillé avec reportage photographique (Annexe 1 – Rapport des visites) et ont permis de définir des tableaux des typologies des désordres avec leur répartition par thématique. Il ne s'agit pas d'une liste exhaustive.

### LES DONNEES SOCIO-ECONOMIQUES

L'ingénierie a identifié quelques paramètres permettant d'établir le caractère stratégique de chaque tronçon :

- Population desservie : à travers le « Recensement Général de la population et de l'habitat 2004 » publié par le Haut-Commissariat au Plan (HCP). Le nombre d'habitants est recensé par commune.
- Activité économique : à travers le nombre d'établissements industriels avec leurs effectifs de main d'œuvre et chiffre d'affaire (site web de l'observatoire marocain de l'Industrie) et le taux d'activité (HCP). Le recensement agricole datant de 1996, le Plan Maroc Vert prévoit un recensement à partir de 2014 qui s'étendra jusqu'à 2020. L'ingénierie n'a pas inclus l'activité agricole comme paramètre faute de données actualisées.
- Trafic : à travers le document « Recueil Trafic Routier 2012 » de la Direction de Routes. L'ingénierie a pu recenser le trafic moyen journalier, ainsi que le pourcentage des différents types de véhicules. Cette information était disponible pour tous les tronçons sauf celui de la RR106 (Ighrem-Assaki). L'ingénierie a assimilé son trafic à celui constaté sur le tronçon Imilchil-Rich (RR706) qui dessert des territoires similaires.

#### 1.2.3. Etape 2 : Evaluation de l'aléa du changement climatique

L'objectif de cette évaluation est de définir l'ampleur des changements climatiques attendus, ainsi que le niveau d'incertitude associé à ces projections. Pour cela, les paramètres étudiés sont la pluviométrie (précipitations moyennes annuelles et pluie journalière maximale) et la neige.

Deux sources de données ont été utilisées, à savoir d'une part, un certain nombre d'études et travaux de recherche existants et d'autre part, deux bases de données de modélisations en ligne. L'étude porte sur deux horizons temporels : 2035 et 2050.

Les données utilisées sont issues de travaux de descente d'échelle. Il s'agit de données « régionalisées » à partir des résultats de modélisations globales qui permettent d'atteindre une résolution plus fine, de l'ordre de quelques dizaines de km. Elles sont ainsi plus adaptées pour étudier le climat futur marocain et préconiser des mesures d'adaptation pertinentes. Afin de pouvoir estimer une partie de l'incertitude, plusieurs scénarios climatiques futurs sont considérés (optimiste à pessimiste). De plus, pour chaque scénario, un ensemble de modèles est utilisé, afin de pouvoir comparer leurs résultats et rendre compte de la dispersion inter-modèle. Grâce à des données d'observation de la DMN, les résultats des projections climatiques ont pu être comparés sur des périodes historiques, ce qui renseigne également sur la fiabilité des modélisations.

### ANALYSE DES DONNEES

- ❑ Les études climatiques existantes : plusieurs études de référence sur la modélisation du climat et ses impacts aux échelles nationale, régionale et locale existent au Maroc. Les efforts de recherche d'information se sont concentrés sur les travaux jugés les plus pertinents au regard des besoins de l'étude.
  - Les études se différencient en fonction de la couverture géographique (nationale ou régionale), du modèle de descente d'échelle (dynamique et/ou statistique), de la résolution de la maille d'étude (25 km, 250 km, etc.), de la période de référence et des horizons des projections. L'autre caractéristique à retenir concerne les données sur lesquelles les projections climatiques sont faites (précipitation annuel, mensuelle, journalière...);

- En fonction des paramètres de chaque étude, il s'avère qu'uniquement les études dénommées CC7 (concernant la RR706) et CC9 (concernant la RR106) présentent un degré de précision suffisant permettant leurs exploitations aux fins de l'étude.
- Les portails d'information en ligne : les deux portails choisis reposent sur des projections multi-modèles et couvrent l'ensemble de la surface du globe. Ils permettent, via des descentes d'échelle statistique éprouvées, d'avoir des données sur les tronçons ou sur les stations de la DMN les plus proches. Ces méthodes ne remplacent pas totalement les méthodes de régionalisation dynamique mais offrent néanmoins un degré de fiabilité acceptable, du fait notamment de l'utilisation d'un grand nombre de couples modèles-scénarios.
  - Climate Information Portail (CIP) :
    - fournit des données par station : Al Hoceima, Taza, Errachidia et Agadir ont été retenues.
    - les deux paramètres retenus ont été : précipitation totale mensuelle (TRm) pour reconstituer la précipitation totale annuelle (Pan) et la précipitation journalière maximale (MRd)
  - Climate Wizard (CW) :
    - Fournit des données par maille interpolée.
    - les deux paramètres retenus ont été : précipitation totale annuelle (TR) et la précipitation journalière moyenne annuelle (DR).

De l'analyse de données de ces deux portails, il ressort les constatations suivantes :

- Précipitation totale annuelle (Pan) : les deux portails mettent en évidence une diminution de ce paramètre, variable de - 12 à -34% aux horizons 2050 et 2055 ;
- Précipitation journalière maximale (Pjmax) : seul le portail CIP renseigne sur ce paramètre. Globalement, on observe une diminution des moyennes des hauteurs des précipitations journalières maxi-annuelles pour les deux horizons (2035 et 2050), à l'exception du poste d'Errachidia où aucune tendance ne se dégage (pas de baisse ou de hausse) Cette diminution est comprise entre 9 et 22%. Par contre, pour les extrêmes de précipitations (valeurs maximales des précipitations journalières maxi-annuelles sur les périodes simulées), pour les deux horizons 2035 et 2050, aucune tendance à la hausse ou à la baisse ne se dégage, excepté pour le poste d'AGADIR où on observe une très légère diminution des hauteurs de précipitations (- 1 à - 10%).

## SYNTHESE

De l'analyse des données bibliographiques (études antérieures) et des portails de projections climatiques, l'Ingénierie a retenu les données suivantes :

- Précipitation totale annuelle (Pan) : l'Ingénierie a choisi pour chaque tronçon les données à retenir pour la suivante phase, en général : descente d'échelle dynamique si celle-ci existe ; après CIP si la station est suffisamment représentative ; dans le cas contraire, les données CW (uniquement disponibles pour l'horizon 2055) ;
- Précipitation journalière maximale (Pjmax) : seul l'outil CIP renseigne sur ce paramètre.

D'après l'analyse bibliographique, on constate que l'ensemble des travaux s'accorde sur une baisse de la pluviométrie moyenne annuelle. Cependant, l'ampleur de cette évolution varie fortement selon le scénario et le modèle considérés, il est donc difficile d'estimer quelle projection est la plus fiable. Quant aux pluies extrêmes, seul le tronçon Midelt comporte des données et seulement en hiver,

aucune tendance claire n'est identifiable. La revue documentaire ne permettant pas de renseigner tous les paramètres souhaités, elle est complétée par l'utilisation de deux portails de données climatiques en ligne (CIP et CW). Cela permet de confirmer la baisse générale des précipitations moyennes annuelles pour les quatre tronçons.

L'analyse des pluies maximales journalières indique que, globalement, celles-ci diminueraient également à l'avenir pour l'ensemble des tronçons (quelques modèles indiquent cependant une hausse des quantiles aux horizons considérés). Cependant, ces résultats comportent une part plus importante d'incertitude, du fait de la difficulté à modéliser les extrêmes. Un travail de descente d'échelle dynamique et de traitement statistique des extrêmes plus poussé, notamment à partir des données du programme CORDEX, pourrait permettre de réduire une part de cette incertitude, sans pour autant espérer une information absolument parfaite et certaine.



### 1.2.4. Etape 3 : Diagnostic de la configuration actuelle des 4 tronçons routiers

#### LE CONTENU DU DIAGNOSTIC

Cette étape a consisté à dresser un état des lieux de la situation technique actuelle des 4 tronçons étudiés sur les aspects suivants : hydro-climatique, configuration de l'infrastructure routière, hydraulique, géotechnique (y compris chaussée), entretien et socio-économie. Cet état des lieux a été établi sur la base des visites de terrain et du recueil des données disponibles.

Pour chaque tronçon ce chapitre contient :

- Contexte hydrographique : localisation du tronçon par rapport aux unités hydrologiques ;
- Contexte climatique : à partir des données disponibles sur les données climatiques réellement observées (en fonction des postes de référence les années d'observation varient pour chaque tronçon), l'Ingénierie a caractérisé :
  - à partir des données des pluviomètres, les pluies journalières maximales annuelles (Pjmax) et les pluies annuelles (Pan);
  - à partir des données des pluviographes, les intensités pluviométriques.
- Infrastructure routière :
  - contexte géographique ;
  - typologie de la plate-forme routière ;
  - analyse des jours de coupure ;
  - budgets alloués à l'entretien routier.
- Hydraulique et assainissement :
  - contexte hydrographique et hydrologique : caractérisation des réseaux et caractéristiques des bassins versants ;
  - diagnostic des problématiques recensées avec un tableau de synthèse des désordres constatés lors des visites d'un point de vue hydraulique.
- Géotechnique et chaussées :
  - contexte géologique : caractérisation géologique des terrains que traverse le tronçon ;
  - diagnostic des problématiques recensées avec un tableau de synthèse des désordres constatés lors des visites d'un point de vue géotechnique ;
  - analyse des traitements réalisés sur la route, pour les tronçons dont on dispose.
- Contexte socio-économique : analyse des quatre paramètres retenus pour l'évaluation du caractère stratégique de la route.

#### LES RESULTATS DU DIAGNOSTIC

Ce diagnostic a permis :

- D'établir, pour les 4 tronçons routiers étudiés, une typologie des désordres recensés lors des visites de terrain : voir tableaux en pages suivantes.

Pour le volet hydraulique et assainissement, les problématiques rencontrées concernent :

- le franchissement des oueds, via des radiers submersibles et des ponts submersibles ;
- les sections routières longeant les oueds et concernées par l'érosion fluviale ;
- le franchissement des chaâba ;
- l'érosion pluviale des bassins versants et des talus routiers (déblais et remblais) ;

- les réseaux de collecte et d'évacuation longitudinaux des plateformes routières ;
- l'entretien des ouvrages et réseaux d'assainissement.

Pour le volet géotechnique, les problématiques rencontrées concernent :

- Les glissements de terrain ;
  - Les instabilités rocheuses (éboulements et chutes de blocs) ;
  - La dégradation de la chaussée (fissuration, affaissement, etc.).
- De mettre en évidence les principaux dysfonctionnements au droit des 4 tronçons routiers, comme en attestent les points névralgiques repérés et inspectés lors des enquêtes de terrain ;
- De mettre en évidence la persistance de la majeure partie de ces instabilités, malgré les interventions réalisées par les différentes directions. En effet, les travaux de réparation entamés se sont limités au rétablissement du trafic et à la réhabilitation des routes en urgence, sans pour autant s'attaquer à l'origine des problèmes dont souffrent ces tronçons.

L'analyse des Bulletins de Viabilité Routière (BVR) a permis d'établir, par tronçon, les coupures qui ont affecté les routes ainsi que leur cause (neige, crue) et durée. Cette information, à l'origine très utile pour l'étude, est également incomplète. Ainsi, on s'aperçoit, d'une part, que les fiches de BVR ne sont pas systématiquement établies, et d'autre part que la DR n'a pas un système d'archivage ou de suivi permettant son analyse statistique. De ce fait, l'analyse de cette source d'information ne peut pas amener à des conclusions fiables.

L'analyse du budget d'entretien, alloué à chaque tronçon, montre également un manque d'entretien des routes, ce qui réduit leur durée de vie. Cette analyse est malgré tout incomplète, car l'information obtenue n'est pas exploitable dans sa totalité et les données de certaines années sont manquantes.

## Synthèse de la typologie des problématiques recensées : partie hydraulique - assainissement

Thématiques	Typologie des problématiques recensées		Bilan des désordres constatés									
			RN 2		RR 508		RR 706		RR 106		Total 4 tronçons	
	Principale	secondaire	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%
Hydraulique fluviale	Ouvrage de franchissement d'un oued	Dégradations au droit d'un pont submersible	4	8.3%	7	18.9%	11	16.2%	17	45.9%	39	21.3%
		Affouillement en aval d'un radier submersible										
		Charriage de gros blocs ou transport de sédiments										
		Dégradations ou affouillement au droit d'un pont										
Affouillement au droit d'un ancien radier submersible												
Absence d'aménagements connexes (dispositifs de protection des remblais)												
Route en bordure d'un oued : érosion fluviale	Erosion de berge/pied de remblai par attaque du courant et variations des niveaux d'eau (crue et décrue)	0	0.0%	5	13.5%	7	10.3%	2	5.4%	7	3.8%	
Total		4	8.3%	12	32.4%	18	26.5%	19	51.4%	46	25.1%	
Assainissement routier	Assainissement	Absence de réseau de collecte et d'évacuation des eaux pluviales	10	20.8%	11	29.7%	18	26.5%	5	13.5%	44	24.0%
		Absence de réseau de drainage interne de déblai										
		Absence de dispositifs de protection au débouché des ouvrages de traversée										
	Entretien du réseau	Absence d'entretien du fossé	6	12.5%	3	8.1%	1	1.5%	0	0.0%	10	5.5%
	Ouvrage de franchissement d'un Chaâba	Dégradations du talus de remblai au débouché de l'ouvrage	27	56.3%	3	8.1%	13	19.1%	9	24.3%	52	28.4%
		Absence de dispositifs de protection du remblai routier au débouché des ouvrages de traversée										
		Dégradation de l'ouvrage hydraulique										
		Problème de blocage hydraulique en aval										
		Absence de dispositifs de captage amont ou de raccordement avec le réseau latéral en amont										
	Absence d'entretien de l'ouvrage et d'aménagement amont											
	Erosion pluviale	Erosion des talus de déblais et des fossés latéraux	1	2.1%	8	21.6%	18	26.5%	4	10.8%	31	16.9%
		Erosion des talus de remblais										
		Erosion du bassin versant amont										
Erosion des talus de déblais												
Total		44	91.7%	25	67.6%	50	73.5%	18	48.6%	137	74.9%	
Total hydraulique fluviale et assainissement routier		48	-	37	-	68	-	37	-	183	-	

## Synthèse de la typologie des problématiques recensées : partie géotechnique

Thématiques	Typologie des problématiques recensées		Bilan des désordres constatés									
			RN 2		RR 508		RR 106		RR 706		Total des 4 tronçons	
	Principale	secondaire	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%
Géotechnique	Glissement de terrain	Dégradations et déformations de la chaussée	12	44.4%	14	40.0%	0	0.0%	2	8.3%	28	27.7%
		Déformation des systèmes de confortement (mur en gabion ou béton)										
		Fissuration des structures en béton (fossé et accotement en béton)										
		Absence de moyens de soutènement										
		Talus de déblai ou remblai à pente défavorable										
		Prédominance de la marne altérée et saturée										
		Versant instable à topographie défavorable et absence de drainage										
	Instabilité rocheuse (chute de blocs, éboulement)	Dégradation de la chaussée par les blocs chutés	4	14.8%	1	2.9%	4	26.7%	5	20.8%	14	13.9%
		Absence de moyens de protection appropriés										
		Déblai de rocher fracturé à forte pente										
<b>Total</b>			<b>16</b>	<b>59.3%</b>	<b>15</b>	<b>42.9%</b>	<b>4</b>	<b>26.7%</b>	<b>7</b>	<b>29.2%</b>	<b>42</b>	<b>41.6%</b>
Structure de chaussée	Dégradation de la Structure de chaussée	Déformation et ondulation de la chaussée	11	40.7%	20	57.1%	11	73.3%	17	70.8%	59	58.4%
		Affaissement de la chaussée										
		Fissuration longitudinale										
		Destruction de la chaussée										
		Accotement bétonné fracturé ou détruit										
		Accotement coté déblai comblé par éboulis										
		Evolution de nids de poule										
	<b>Total</b>			<b>11</b>	<b>40.7%</b>	<b>20</b>	<b>57.1%</b>	<b>11</b>	<b>73.3%</b>	<b>17</b>	<b>70.8%</b>	<b>59</b>
<b>Total Géotechnique et Structure de chaussée</b>			<b>27</b>	<b>-</b>	<b>35</b>	<b>-</b>	<b>15</b>	<b>-</b>	<b>24</b>	<b>-</b>	<b>101</b>	<b>-</b>

### 1.2.5. Etape 4 : Evaluation des impacts potentiels du changement climatique.

Lors de cette étape, l'Ingénierie a tenté d'analyser les impacts potentiels du changement climatique sur les risques encourus par les 4 tronçons. Cette analyse a porté sur les 3 volets : hydrologie-hydraulique, géotechnique-chaussée, et neige, et s'est basée sur les résultats de l'étape 2, qui a abouti à une quantification partielle des effets du changement climatique sur la pluie annuelle et la pluie journalière maxi-annuelle.

#### VOLET HYDROLOGIE-HYDRAULIQUE

Pour ce volet, l'Ingénierie a présenté les méthodes d'estimation de débits de projet, ainsi qu'une évaluation qualitative de l'impact du changement climatique sur des phénomènes tels que les inondations, l'affouillement, l'érosion, etc. L'Ingénierie a également souligné les incertitudes entachant cette évaluation, les méthodes de calcul introduites, ainsi que le calcul des quantiles issus des ajustements statistiques. La confrontation des résultats du changement climatique avec ces incertitudes a mis en exergue la difficulté d'apprécier l'évolution des risques encourus par les 4 tronçons sur la base des paramètres climatiques pris en considération.

En conclusion, les désordres constatés et les dégâts occasionnés par les crues et/ou les orages localisés sont directement dépendants des extrêmes de précipitations, comme l'ont montré les derniers événements récents de novembre 2014 ; ces extrêmes pouvant être caractérisés par les pluies journalières maxi-annuelles et les intensités pluviométriques horaires ou infra-horaires.

Il en ressort que **les évolutions de l'aléa du changement climatique mises en évidence, essentiellement pour la pluie annuelle (baisse plus ou moins marquée), ne sont pas suffisantes pour conclure à une diminution des risques hydrologiques et hydrauliques dans le futur**. En effet, l'analyse menée montre clairement que les incertitudes hydrologiques actuelles sont largement supérieures aux variations pluviométriques mises en évidence dans l'étude de l'aléa du changement climatique, et ce d'autant plus que celles-ci sont soumises aussi à des incertitudes.

Il est donc souhaitable que la priorité soit donnée :

- d'une part, à caractériser la vulnérabilité des tronçons routiers : voir au chapitre suivant la proposition d'une méthode pragmatique de définition de la vulnérabilité ;
- d'autre part, à fiabiliser la définition des paramètres hydro-pluviométriques et des méthodes d'évaluation des débits de pointe, des conditions d'écoulement (vitesses d'écoulement) et des phénomènes d'érosion et d'affouillement : voir les recommandations dans l'activité 2.

#### VOLET GEOTECHNIQUE-CHAUSSEE

Pour ce volet, l'Ingénierie a présenté les différents désordres constatés sur le terrain, en soulignant leur typologie, leurs causes probables d'apparition et leurs différentes manifestations. Cette partie a également mis en évidence la complexité de ces phénomènes, qui résultent de la conjonction de plusieurs facteurs liés aux caractéristiques mécaniques des sols, aux versants instables traversés, ainsi qu'aux facteurs climatiques.

Au regard des évolutions du changement climatique mises en évidence d'une part, pour la pluviométrie annuelle (tendance à la baisse) et d'autre part, pour les pluies journalières maxi-annuelles (aucune tendance significative, exceptée pour le tronçon de la RR106 où une légère diminution a été mise en évidence), **rien ne permet de conclure à une diminution ou une augmentation des risques géotechniques dans l'avenir**. En effet, les désordres constatés dépendent aussi d'autres facteurs dont

les évolutions futures sont inconnues : en particulier, les intensités pluviométriques horaires ou infra-horaires caractérisant les orages, les températures et les cycles gel/dégel.

#### VOLET NEIGE

Pour l'aspect lié à la neige, l'absence de données (actuelles et futures) n'a pas permis de définir l'impact du changement climatique sur ce paramètre qui concerne principalement la RN2 et la RR706. De ce fait l'analyse de l'impact du changement climatique sur le risque de neige n'a pas pu être menée.

### 1.2.6. Définition de la vulnérabilité des tronçons routiers

Une méthode de définition de la vulnérabilité des tronçons routiers aux risques hydrauliques et géotechniques a été proposée.

Cette méthode a pour objectif de hiérarchiser la vulnérabilité des tronçons routiers sur la base de 4 classes de vulnérabilité et d'un ensemble d'indicateurs caractéristiques des désordres hydrauliques et géotechniques observés pour les 4 tronçons routiers.

Ces éléments constituent des lignes directrices et un outil d'aide à la décision pour les gestionnaires de ces routes pour identifier les zones potentiellement vulnérables.

Les tableaux en pages suivantes présentent les grilles de définition des classes de vulnérabilité pour les thématiques suivantes :

- L'hydraulique fluviale ;
- L'assainissement routier ;
- La géotechnique ;
- La structure des chaussées.

## HYDRAULIQUE FLUVIALE

Tableau 1 – Grille de définition des classes de vulnérabilité – Erosion fluviale

Indicateurs de la vulnérabilité	Présence d'une berge concave (méandre ou coude)				absence de berge concave (écoulement parallèle à la route)			
Paramètres pris en compte	Distance entre le pied de talus routier et la berge de l'oued (d)				Distance entre le pied de talus routier et la berge de l'oued (d)			
	d ≤ 1 m *	1 < d ≤ 5 m	5 < d ≤ 10 m	d > 10 m	d ≤ 1 m *	1 < d ≤ 5 m	5 < d ≤ 10 m	d > 10 m
Vulnérabilité du tronçon routier	Très forte	Forte	Moyenne	Faible à nulle	Forte	Moyenne	Faible à nulle	Faible à nulle

\* pied de remblai routier au fond de l'oued

Tableau 2 – Grilles de définition des classes de vulnérabilité – Franchissement d'un oued

Nature de l'ouvrage	Pont non submersible									
Indicateurs de vulnérabilité	Affouillement au droit des piles et/ou culées			Tirants d'air pour la crue de projet (TA) *			Dispositifs de protection contre les érosions et affouillements			
Paramètres pris en compte	Lit affouillable		Lit non affouillable	revanche entre les PHE** et la cote de sous-poutre			Piles et culées		Remblais contigus	
	Fondation superficielle	Fondation enterré et/ou sur substratum		TA < 0,5 m	0,5 < TA < 1 m	TA > 1 m	Absence	Présence	Absence	Présence
Vulnérabilité du tronçon routier	Très forte	Forte	Faible à nulle	Forte	Moyenne	Faible à nulle	Forte	Faible à nulle	Forte	Faible à nulle

\* valeurs seuils des tirants d'air à doubler en présence de troncs d'arbres

\*\* Plus Hautes Eaux pour la crue de référence

Nature de l'ouvrage	Pont submersible							
Indicateurs de vulnérabilité	Affouillements au fond du lit			Dispositifs de protection contre les érosions et affouillements		Niveau de la chaussée en site affouillable (calage)		
Paramètres pris en compte	Lit affouillable		Lit non affouillable	Absence	Présence	Pont de grande hauteur	Pont de faible hauteur	
	Affouillements importants h > 2,5 à 3 m	Affouillements peu importants h < 2,5 à 3 m						
Vulnérabilité du tronçon routier	Très forte	Forte	Faible à nulle	Forte	Faible à nulle	Très forte	Faible à nulle	

h : profondeur d'affouillement ou profondeur du substratum inaffouillable

Nature de l'ouvrage	Radier submersible					
Indicateurs de vulnérabilité	Murettes amont et aval		Dispositifs de protection contre les érosions et affouillements côté aval		Niveau de la chaussée en site affouillable (calage)	
Paramètres pris en compte	Absence	Présence	Absence	Présence	Radier calé au dessus du fond du lit	Radier calé au fond du lit
Vulnérabilité du tronçon routier	Forte	Faible à nulle	Forte	Faible à nulle	Forte	Faible à nulle



## ASSAINISSEMENT ROUTIER

Tableau 3 – Grille de définition des classes de vulnérabilité – Assainissement et entretien

Indicateurs de vulnérabilité	Réseau de collecte et d'évacuation en pied de talus de déblai		Présence d'un bassin versant extérieur significatif dont le ruissellement est orienté vers le talus de déblai		Présence d'un bassin versant extérieur significatif dont le ruissellement est orienté vers le talus de remblai		Dispositifs de protection aux points de rejet		Entretien des réseaux d'assainissement	
	Absence	Présence	Réseau de collecte et d'évacuation en crête de talus de déblai		Réseau de collecte et d'évacuation en pied de talus de remblai		Absence	Présence	Absence	Présence
			Absence	Présence	Absence	Présence				
Vulnérabilité du tronçon routier	Forte	Faible à nulle	Forte	Faible à nulle	Forte	Faible à nulle	Forte	Faible à nulle	Forte	Faible à nulle

Tableau 4 – Grille de définition des classes de vulnérabilité – Franchissement d'une Chaâba

Indicateurs de vulnérabilité	Dégradation du talus de remblai aux extrémités de l'ouvrage			Dispositifs de protection contre les érosions et affouillements		Dégradation de l'ouvrage hydraulique (extrémités amont/aval et/ou radier)			Blocage hydraulique aval ou transport solide		Dispositif de captage en déblai et raccord au réseau longitudinal		Entretien de l'ouvrage	
	- Départ du remblai contigu - création de chute - fosse d'affouillement	Début d'apparition	Absence	Absence	Présence	Départ de la tête aval ou amont	Début d'apparition	Absence	Présence	Absence	Absence	Présence	Absence	Présence
Vulnérabilité du tronçon routier	Très forte	Forte	Faible à nulle	Forte	Faible à nulle	Forte	Forte	Faible à nulle	Forte	Faible à nulle	Forte	Faible à nulle	Forte	Faible à nulle

Tableau 5 – Grille de définition des classes de vulnérabilité – Erosion pluviale

Indicateurs de vulnérabilité	Erosion des talus de déblais et des fossés latéraux		Erosion des talus de remblais		Erosion du bassin versant amont		Erosion des talus de déblais	
	Présence	Absence	Présence	Absence	Présence	Absence	Présence	Absence
Vulnérabilité du tronçon routier	Forte	Faible à nulle	Forte	Faible à nulle	Forte	Faible à nulle	Forte	Faible à nulle

## GEOTECHNIQUE

Tableau 6 – Grille de définition des classes de vulnérabilité – Glissement

Nature du désordre	Glissement														
	Lithologie		Couche "savon"		Altitude/Pente			Couvert végétal		Pluie moyenne annuelle *			Saturation du sol / Sensibilité vis-à-vis de l'eau		
Indicateurs de vulnérabilité	Sol meuble	Sol rocheux	Présence	Absence	Haute (en montagne)	Moyenne (plateaux ou collines)	Basse (en plaine)	Absence	Présence	Forte (> 600 mm)	Moyenne (entre 300 et 600 mm)	Faible (< 300 mm)	Forte (sols fins)	Moyenne (sols hétérogènes)	Faible à nulle (sols sableux graveleux)
Paramètres pris en compte															
Vulnérabilité du tronçon routier	Forte	Faible à nulle	Forte	Faible à nulle	Forte	Moyenne	Faible à nulle	Forte	Moyenne	Forte	Moyenne	Faible	Forte	Moyenne	Faible à nulle

Tableau 7 – Grille de définition des classes de vulnérabilité – Instabilité rocheuse

Nature du désordre	Instabilité rocheuse														
	Type de roche		Cycles gel / degel *		Altitude/Pente			Variation de température (jour et nuit) *		Pluies extrêmes *			Altération et érosion de la matrice englobant les blocs		
Indicateurs de vulnérabilité	Fracturable/altérable	Non fracturable / non altérable	Elevés (> 3 mois/an)	Faibles à nuls (< 3 mois/an)	Haute (en montagne)	Moyenne (plateaux ou collines)	Basse (en plaine)	Haute (> 25° C)	Faible (< 25° C)	Fortes (> 60 mm/hr)	Moyennes (de 40 et 60 mm/hr)	Faibles (< 40 mm/hr)	Forte (> 60 %)	Moyenne (30 à 60 %)	Faible à nulle (< 30 %)
Paramètres pris en compte															
Vulnérabilité du tronçon routier	Forte	Faible à nulle	Forte	Faible à nulle	Forte	Moyenne	Faible à nulle	Forte	Faible	Forte	Moyenne	Faible	Forte	Moyenne	Faible à nulle

## STRUCTURE DE CHAUSSEE

Tableau 8 – Grille de définition des classes de vulnérabilité – Structure de chaussée

Nature du désordre	Structure de chaussée : Fissuration / Affaissement / Nids de poule / Flache														
	Cycles gel / degel *		Drainage		Altitude/Pente			Variation de température (jour et nuit) *		Saturation du sol support (argileux et marneux) *			Trafic *		
Indicateurs de vulnérabilité	Elevés (> 3 mois/an)	Faibles à nuls (< 3 mois/an)	Absence	Présence	Haute (en montagne)	Moyenne (plateaux ou collines)	Basse (en plaine)	Haute (> 25° C)	Faible (< 25° C)	Forte (sols plastiques I <sub>p</sub> > 40) **	Moyenne (I <sub>p</sub> entre 30 et 40)	Faible à nulle (sols peu plastiques I <sub>p</sub> < 30)	Intense (TMJA > 4500) ***	Moyen (TMJA entre 2000 et 4500)	Faible (TMJA < 2000)
Paramètres pris en compte															
Vulnérabilité du tronçon routier	Forte	Faible à nulle	Forte	Faible à nulle	Forte	Moyenne	Faible à nulle	Forte	Faible	Forte	Moyenne	Faible à nulle	Forte	Moyenne	Faible à nulle

### 1.2.7. Limites de l'étude – activité 1

L'objectif de l'activité 1 était l'évaluation de la vulnérabilité des tronçons routiers.

Cette évaluation repose sur le recueil et l'exploitation de l'ensemble des données existantes relatives aux conditions climatiques actuelles, aux changements climatiques et à l'état des lieux des tronçons routiers.

- Concernant l'état des lieux des tronçons routiers, l'analyse s'est appuyée notamment sur les visites des lieux en l'absence d'autres documents tels que le projet de conception, d'exécution, de fond topographique à une échelle convenable, des listes des OH avec ses dimensions, des études géologiques, etc. ;
- L'analyse des Bulletins de Viabilité Routière (BVR) aurait dû permettre d'établir, par tronçon, les statistiques des coupures (nombre, durée), ainsi que les causes (neige, crue). Cette information, potentiellement très utile pour l'étude, est également incomplète. Ainsi, on s'aperçoit, d'une part, que les fiches de BVR ne sont pas systématiquement établies, et d'autre part que la DR n'a pas un système d'archivage ou de suivi permettant son analyse statistique. De ce fait, l'analyse de cette potentielle source d'information ne peut pas amener à des conclusions exploitables ;
- L'analyse du budget d'entretien alloué à chaque tronçon est difficilement exploitable en raison d'une information incomplète et des années manquantes.

### 1.3. ACTIVITE 2 : RECOMMANDATIONS POUR ADAPTER LES INFRASTRUCTURES

Au regard des conclusions de l'activité 1, l'hypothèse de travail prise en compte pour l'activité 2 consiste à considérer que **les phénomènes climatiques conservent leur potentiel de risques actuels dans le futur.**

Comme établi dans les termes de référence, l'objectif de cette activité est la présentation des recommandations technique et économiquement avantageuses pour la rénovation, l'amélioration et l'entretien des tronçons sélectionnés.

Les étapes pour pouvoir déterminer ces recommandations sont :

- Caractérisation de la vulnérabilité des tronçons routiers : à travers une méthode pragmatique de définition de la vulnérabilité (activité 1) ;
- Hiérarchisation des mesures : les analyses « coût-bénéfice » permettent de choisir la meilleure solution d'un point de vue technico-économique. Cette analyse nécessite la réalisation d'études poussées, car il s'agit de la dernière étape à réaliser. L'étude présente une méthode permettant de hiérarchiser les désordres. L'objectif est de fournir à la DR et aux services d'exploitation et d'entretien une méthode de hiérarchisation globale et fiable afin de leur permettre de définir une politique de gestion des désordres observés ;
- Recommandations techniques : le manque, voire l'absence de données et d'études préalables ne permettent pas d'établir des couples biunivoques « désordre-solution ». L'abolition de cette pratique, d'ailleurs très répandue, est la première recommandation de notre étude ;

Nos recommandations se limiteront donc, dans cette deuxième activité, à présenter un éventail des solutions envisageables qui pourraient être applicables en fonction des données d'entrée. Des études réalisées à partir de données d'entrée complètes permettraient un choix correct d'un point de vue technique ;

L'analyse des études mises à notre disposition, ainsi que les visites de terrain, ont permis d'établir l'origine de certains désordres constatés et d'adapter les recommandations aux problématiques que nous avons rencontré ;

- Estimation des coûts associés : pour chaque solution technique possible, il faut établir une estimation des coûts associés. L'estimation des coûts a été réalisée pour quelques cas de figure. Néanmoins, toutes les solutions techniques proposées sont assez courantes. La DR dispose d'une large expérience pour pouvoir estimer les coûts des solutions. De ce fait, nous n'avons pas donné de recommandations particulières et avons limité cette étape à donner quelques prix unitaires et quelques exemples comparatifs ;
- Avantage économique comparatif : une fois les différentes solutions techniquement viables trouvées, il faut analyser laquelle est la plus avantageuse d'un point de vue financier. L'établissement des analyses « coût-bénéfice » des projets est une méthode assez courante, néanmoins, elle nécessite également certaines données d'entrée qui n'ont pas pu être obtenues lors de la phase précédente. Nos prestations se limitent à l'adaptation de cette méthode à cette étude afin de permettre à la DR de l'appliquer à chaque cas, une fois les données d'entrée disponibles.

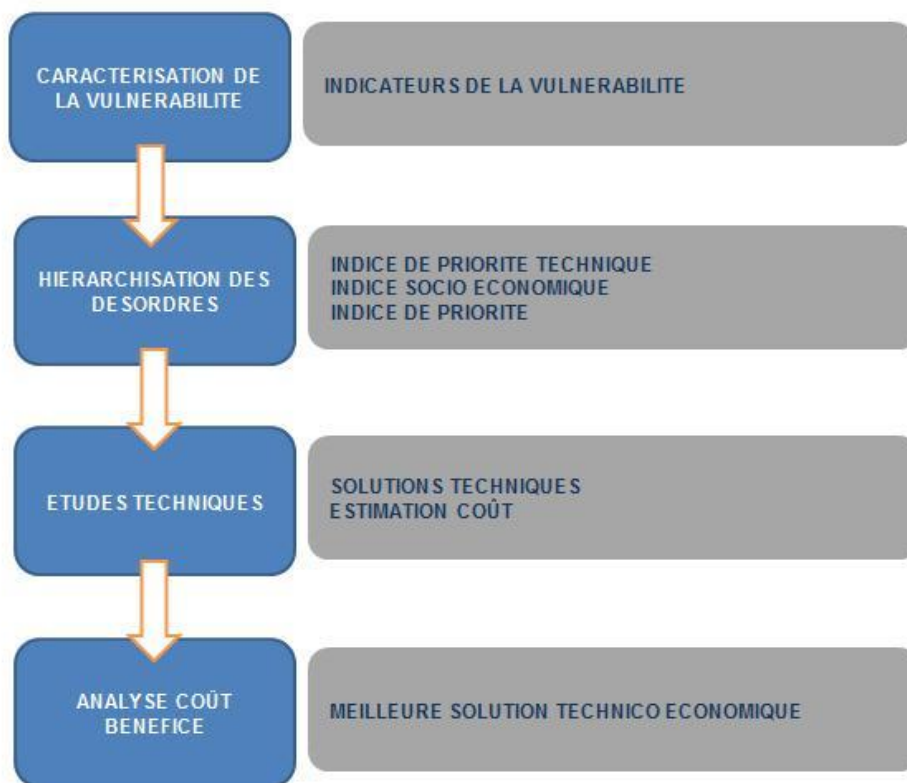


Figure 2 : Etapes pour l'établissement de la solution la plus avantageuse

### 1.3.1. Recommandations vis-à-vis de l'évaluation et la prise en compte du changement climatique

#### 1.3.1.1. Constats

L'analyse des données de projections climatiques auxquelles l'Ingénierie a pu accéder n'a apporté qu'une réponse partielle aux questions posées par l'étude. Si une tendance nette à la diminution de la pluviométrie annuelle se dégage des projections analysées, celle-ci est moins marquée s'agissant des événements pluviométriques extrêmes. Quant à l'évolution future du paramètre neige, aucune information n'a pu être collectée, ni exploitée.

Un des enjeux est de pouvoir produire et mettre à la disposition des concepteurs et gestionnaires des routes des données qui permettent d'éclairer la manière dont le changement climatique va venir perturber les infrastructures et leur environnement (écoulements superficiels, stabilité des terrains, ...). Le dimensionnement de ces dernières et des mesures d'atténuation des risques se fait actuellement sur la base d'aléas de référence dont l'intensité et la fréquence sont calculées à partir de chroniques météorologiques passées. Or, comme les experts du GIEC l'ont montré, l'hypothèse de stationnarité du climat n'est plus valable, et la connaissance du climat passé s'avère insuffisante pour appréhender le climat de demain.

Une des principales carences observées par l'étude réside dans la faiblesse des connaissances relatives à l'évolution des phénomènes extrêmes, au premier rang desquels figurent les prévisions d'augmentation de fréquence et d'intensité des précipitations orageuses et des crues torrentielles qui sont à l'origine de la plupart des désordres et dommages causés aux infrastructures.

Au regard des incertitudes et imprécisions entourant les données de changement climatique disponibles pour l'étude, l'Ingénierie préconise, au moins à court terme, de conserver le niveau de risque actuel comme base de décision, ce qui revient à adopter une position relativement conservatoire et conforme au principe de précaution.

Néanmoins, il importe dans les 3 à 5 ans à venir de mettre en place des études, voire des recherches plus complètes sur l'évolution des extrêmes hydro-climatiques (pluie, neige et gel notamment) susceptibles de perturber le plus sévèrement et le plus durablement l'intégrité et la fonctionnalité du réseau routier au droit des tronçons sélectionnés. Il s'agira notamment d'améliorer la couverture et la fiabilité des paramètres climatiques étudiés et de confirmer ou infirmer les tendances à la diminution de certains événements pluviométriques extrêmes comme semblent l'indiquer les données de projections issues de la plateforme CIP.

En particulier, ces recherches devraient préciser les ajustements éventuels à apporter aux méthodes de calcul des événements de fréquence décennale ou centennale qui conditionnent le dimensionnement des principaux ouvrages d'art. Il s'agira notamment d'évaluer s'il y a lieu de diminuer, de conserver ou d'augmenter les marges de sécurité actuellement appliquées dans le dimensionnement des infrastructures au regard des changements climatiques futurs.

### 1.3.1.2. Recommandations générales

#### 1.3.1.2.1. Elaboration de projections climatiques régionalisées à haute définition spatiale

Il paraît incontournable de mettre sur pied un partenariat scientifique entre la DMN et la DR afin de produire des scénarios d'évolutions des extrêmes à partir, dans la mesure du possible, de techniques de descente d'échelle dynamique pour les raisons évoquées à l'Activité 1. L'utilisation des sorties de modèles régionaux du programme CORDEX basés sur les MCG du CMIP5 sont à privilégier afin d'obtenir des ensembles multi-modèles et de rendre compte de l'incertitude inter-modèle.

La DMN dispose des capacités techniques et humaines permettant de traiter ces données et de procéder aux calculs d'un large éventail d'indices climatiques à même de caractériser les phénomènes extrêmes d'intérêt majeur pour les tronçons étudiés. Un groupe de travail réunissant la DMN, la DR et la DGH pourrait être mis en place afin de produire ces évaluations et de fournir des données d'entrées précises pour l'analyse des impacts.

#### 1.3.1.2.2. Outils d'aide à la décision en matière d'analyse et d'anticipation des risques climatiques

En parallèle de l'évaluation des aléas, l'Ingénierie recommande d'investir le champ des outils d'aide à l'anticipation et à la prise de décision vis-à-vis des risques liés au changement climatique. Ces outils permettraient d'éclairer les phases de planification mais également de préparation de la réaction en situation de crise. Les recommandations sont de deux ordres :

- ❑ Développer des outils de type SIG à même de rendre compte de la vulnérabilité des différentes composantes des infrastructures sensibles aux phénomènes météorologiques exceptionnels. Ces outils pourraient être développés dans les tronçons, ou sous-tronçons à fort enjeux. Ils permettraient d'intégrer sous format numérique et facilement visualisable par les gestionnaires les informations acquises sur les points critiques du réseau, ainsi que ses principales sources de vulnérabilité. En se basant sur les valeurs critiques évoquées précédemment, ils pourraient permettre de renseigner sur la réponse de l'infrastructure routière à un événement d'intensité donnée et de prévoir les stratégies de parade correspondantes.
- ❑ Appliquer des méthodes d'analyse de risque éprouvées dans le domaine des infrastructures routières. Il existe au niveau international plusieurs référentiels méthodologiques permettant de conduire des analyses probabilistes de risque et de classer les différentes sections d'un tronçon routier en fonction de leur degré de vulnérabilité à certains types d'aléa. Ces méthodes définissent généralement le risque associé à un phénomène climatique extrême par sa probabilité d'occurrence et par la sévérité des dommages causés, approchés le plus souvent en termes de pertes humaines et/ou économiques. Un exemple de ce type d'outil est la méthode RIMAROCC, élaboré en 2010 par un consortium technique européen (Road ERAnet). RIMAROCC permet d'objectiver l'analyse des risques sur les infrastructures routières à partir d'une analyse multicritères basée sur trois dimensions principales :
  - L'exposition de l'infrastructure aux menaces d'ordre climatique (aléas) ;
  - La sensibilité, qui est fonction des caractéristiques intrinsèques de l'infrastructure et de son environnement ;
  - Les conséquences du risque, en termes de pertes humaines et économiques.



### 1.3.1.2.3. Adopter un prisme climatique et adapter les infrastructures aux incertitudes

S'il est possible, et souhaitable, d'améliorer la précision des projections climatiques et, in fine, l'évaluation des impacts du changement climatique en recourant notamment aux méthodes et outils décrits ci-dessus, il serait illusoire de croire que ceux-ci permettront d'éliminer totalement les incertitudes inhérentes à la modélisation du climat et de ses impacts. Il n'existe pas d'information sur le climat absolument parfaite et certaine. Il importe donc de développer chez les gestionnaires une "culture de l'incertitude" et de les aider à intégrer cette nouvelle donnée dans leurs processus décisionnels. En effet, l'incertitude ne saurait être une excuse à l'inaction. Il est possible de se préparer en adoptant notamment certains principes d'actions :

- ❑ Adopter une gestion adaptative des infrastructures en veillant à ne pas décider prématurément de mesures irréversibles. Le changement climatique est un processus dynamique, continu et toute action d'adaptation s'inscrit dans un contexte climatique non stabilisé et particulièrement incertain. L'adaptation n'est donc pas une action ponctuelle visant à passer d'une situation stable à une autre situation stable. On veillera donc à privilégier dans la conception et l'adaptation des infrastructures des stratégies flexibles et réversibles, par opposition à des solutions impliquant des investissements importants, dont on ne peut assurer l'efficacité en cas d'évolutions plus marquées que prévu (exemple : il peut paraître imprudent de construire des ouvrages de protection calibrés sur le futur climatique le plus défavorable, qu'il serait par la suite difficile de faire évoluer en cas d'évolution des phénomènes orageux différente ce qui était initialement envisagé).
- ❑ Privilégier les actions dites "sans-regrets", c'est-à-dire qui s'avèreront bénéfiques indépendamment de l'évolution du climat et de l'ampleur de son changement. Ces actions n'impliquent finalement pas de coûts qui s'avèreraient inutiles si les projections sur le climat s'avéraient partiellement erronées (sous-estimation ou surestimation). Le traitement des désordres et carences techniques dans la conception actuelle des infrastructures relève typiquement de cette catégorie.
- ❑ Tenir compte des échéances temporelles des impacts et des actions à mettre en œuvre. Face aux questions « faut-il agir dès maintenant ? », ou « peut-on attendre que les prévisions s'améliorent ou que les changements commencent à se manifester ? » que se posent les gestionnaires, les réponses sont complexes. De manière générale, on doit commencer dès maintenant à se préparer au changement climatique, mais cela doit se faire progressivement, de manière graduée et en se fixant des priorités. La gestion adaptative est un impératif. C'est un mode d'adaptation évolutif reposant sur la mise en œuvre de mesures flexibles, régulièrement évaluées et corrigées à mesure que les connaissances scientifiques se développent et que les conditions climatiques futures se dévoilent. Dans le domaine des infrastructures routières, cela suppose de définir au préalable plusieurs trajectoires d'adaptation qui tiennent compte de scénarios climatiques contrastés et dont les coûts et les bénéfices ont été préalablement évalués. Cela demande également de construire des indicateurs permettant de décider du déploiement graduel des mesures d'adaptation identifiées lorsque dans le futur certains seuils de vulnérabilité sont dépassés de manière systématique voire irréversible. Toutefois, lorsque les incertitudes sur les changements futurs sont trop grandes, ou les connaissances sur les risques trop faibles, il est parfois préférable de différer l'adaptation, en attendant de disposer d'une information plus fiable, et de se concentrer sur le traitement des insuffisances et mauvaises pratiques observées indépendamment du changement climatique. C'est ce qui est notamment préconisé dans la présente étude.

## 1.3.2. Recommandations techniques vis-à-vis des risques hydrologiques et hydrauliques

### 1.3.2.1. Les principes et méthodes de calcul

#### 1.3.2.1.1. Paramètres pluviométriques

De l'analyse des études mises à notre disposition, il ressort que la définition des paramètres pluviométriques est très sommaire et ne constitue pas une priorité pour les bureaux d'études. En effet, ceux-ci se contentent uniquement de récupérer des données issues d'anciennes études. Ainsi, aucune actualisation des chroniques anciennes, ni aucune investigation pour recenser des informations pertinentes sur les pluies extrêmes ne sont effectuées.

Au regard de cette analyse, et sachant que les paramètres pluviométriques sont des données d'entrée importantes pour l'estimation des débits de référence, nous préconisons trois types de recommandations pour la définition des paramètres pluviométriques :

#### □ Une approche locale.

Cette approche est à privilégier pour les études ponctuelles en présence à minima d'un poste de mesure présentant un nombre d'années d'observation conséquent au regard de la période de retour de référence retenue. Pour cette approche, les recommandations sont les suivantes :

- vérification et analyse critique de l'origine des données pluviométriques ;
- longueur minimale de la chronique = 25% de la période de retour de référence ;
- actualisation systématique des chroniques ;
- pour les ajustements statistiques :
  - estimation des quantiles de période de retour  $\leq 10$  ans : les différentes lois d'ajustement disponibles donnent des résultats comparables si l'on dispose d'une chronique d'au moins 10 années de mesure ;
  - estimation des quantiles extrêmes de période de retour  $\geq 100$  ans : les lois de Gumbel et exponentielle sont à proscrire, en particulier lorsque une ou plusieurs valeurs exceptionnelles se détachent des autres observations, car elles sous-estiment les quantiles. Il est préférable d'utiliser les lois GEV (loi généralisée des extrêmes, Generalized Extreme Value distribution) ou la loi GP (loi de Pareto généralisée, Generalized Pareto distribution).

#### □ Une approche régionale.

Cette approche est à privilégier pour les études relatives à des tronçons routiers importants (plusieurs dizaines de km) et pour les études régionales (par exemple de définition de paramètres hydrologiques).

Elle consiste à s'appuyer sur un nombre plus importants de postes pluviométriques, ce qui consiste à augmenter la taille de l'échantillon d'analyse en élargissant le domaine spatial d'observation et à analyser simultanément les observations de différents postes de mesure sur une zone pluviométrique homogène.

- **Un partenariat avec la DMN** (Direction de la Météorologie Nationale) et/ou autres organismes (universitaires, laboratoires de recherche,.....) afin de développer la connaissance des événements pluviométriques extrêmes :
  - recensement des événements pluviométriques remarquables observés au Maroc ;
  - densification du réseau des postes de mesure ;
  - études des événements historiques.

#### 1.3.2.1.2. Les méthodes d'estimation des débits de crue

- ❑ Nous proposons de limiter le nombre de formules. En effet, Il nous paraît préférable de mettre en œuvre une seule méthode pour laquelle le choix des paramètres sera analysé finement et justifié, que de mettre en œuvre plusieurs formules dont les paramètres n'auront pas fait l'objet de calage et/ou de vérification. Ainsi, pour les petits bassins versants de superficie < 20 km<sup>2</sup>, nous préconisons l'application de la formule rationnelle, tandis que pour les bassins versants > 20 km<sup>2</sup>, nous préconisons l'utilisation de formules régionales calées sur les observations aux stations hydrométriques.
- ❑ Actualisation des paramètres hydrologiques par région pluviométrique homogène. En effet, pour toutes les formules empiriques, le choix des paramètres est déterminant dans le calcul du débit. Ainsi, le choix des paramètres à utiliser dans les formules doit faire l'objet d'un calage avec un ou plusieurs bassins jaugés similaires. En effet, la plupart des formules actuellement utilisées ont été définies dans des régions différentes du Maroc avec des paramètres qui aujourd'hui peuvent être obsolètes.
- ❑ Pour l'application de la formule rationnelle, nous préconisons la prise en compte d'un coefficient de ruissellement variable en fonction de la période de retour. En effet, la valeur du coefficient de ruissellement varie avec l'intensité de la pluie, mais cette variation diffère selon le degré de perméabilité et de rétention des sols constituant le bassin versant.
- ❑ Enfin, comme pour les événements pluviométriques extrêmes, nous proposons de développer la connaissance des crues historiques, via un recensement des événements remarquables (crues de 2008, 2009, 2010, 2014, .....) accompagné d'une reconstitution des débits de crue historiques au droit des zones vulnérables recensées.

#### 1.3.2.1.3. La définition des aménagements hydrauliques

Partant du constat qu'actuellement les dispositions proposées en matière de rétablissement des écoulements superficiels consistent à remplacer systématiquement les ouvrages existants par des ouvrages neufs, nous préconisons d'effectuer un diagnostic du fonctionnement hydraulique des ouvrages existants afin de définir la solution technique la plus adaptée d'un point de vue technique et économique :

- remplacement de l'ouvrage existant ;
- confortement des extrémités amont/aval ;
- mise en place d'un nouvel ouvrage en parallèle de l'ouvrage existant.

#### 1.3.2.2. Hydraulique fluviale :

##### 1.3.2.2.1. Cas de franchissement des oueds

Les franchissements des oueds, rencontrés sur les 4 tronçons routiers, sont assurés soit par des ponts dits « insubmersibles », soit par des ouvrages dits « submersibles » types ponts ou radiers.

### LES RISQUES HYDRAULIQUES A PRENDRE EN COMPTE

#### ❑ Les embâcles (encombres flottants)

Les conséquences de l'accumulation des débris flottants sont les suivantes :

- réduction significative de la section mouillée et de la capacité des ouvrages ;
- accentuation significative des vitesses autour des culées et des piles lesquelles engendrent des phénomènes d'affouillements pouvant entraîner la ruine de l'ouvrage ;
- force de poussée horizontale supplémentaire contre l'ouvrage ;
- risque de vague en aval en cas de rupture du barrage créé par l'accumulation des flottants.

#### ❑ Les phénomènes d'évolution de la morphologie des oueds

- ❑ **la mobilité verticale des lits (evolution des fonds mobiles)**. Ainsi, il est important de définir la profondeur d'affouillement qui correspond à la hauteur sur laquelle ces phénomènes se produisent (hauteur des fonds perturbés) ;
- ❑ **la mobilité en plan des lits** : définition de l'espace de mobilité du lit (espace de divagation) et définition de la stratégie de franchissement de l'oued (franchissement de la totalité de la zone de divagation ou fixation du lit aux abords du franchissement).

### LES ETUDES TECHNIQUES PREALABLES

Avant d'énumérer les recommandations techniques à mettre en œuvre pour la conception des ouvrages de franchissement des oueds, il est d'abord nécessaire de définir les études techniques à réaliser qui doivent être mises en œuvre soit pour concevoir les nouveaux ouvrages de franchissement (ouvrages neufs), soit pour réparer les dégâts occasionnés par les crues (actions sur les ouvrages existants).

Le tableau ci-dessous synthétise les recommandations techniques principales pour chaque type d'ouvrages.

Cas du franchissement des oueds		Actions proposées
Les recommandations techniques	Les radiers	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fonder les murettes jusqu'au niveau du sol inaffouillable</li> <li>- Lorsque la couche inaffouillable (substratum) se trouve à grande profondeur : réalisation des murettes avec des matériaux souples type gabions</li> <li>- Mise en place à l'aval immédiat du radier un tapis de gabions ou d'embrochements</li> </ul>
	Les ponts submersibles	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les ponts submersibles ne présentent d'intérêt que si les conditions de fondation sont bonnes et les affouillements peu importants</li> <li>- En site inaffouillable ou avec présence d'un substratum à faible profondeur : solidement ancrer les fondations jusqu'au niveau du substratum inaffouillable,</li> </ul>
	Radiers et ponts submersibles	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mise en place de balises latérales</li> <li>- Mise en place de panneaux de signalisation</li> </ul>
	Les ponts insubmersibles	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prévoir le dégagement d'un tirant d'air minimum entre le niveau d'eau estimé de la crue de projet et la veine inférieure de l'intrados de l'ouvrage d'art</li> <li>- Mettre en place des dispositifs de protection des appuis</li> <li>- Prévoir si nécessaire des protections des remblais d'accès en zone inondable</li> </ul>

Tableau 9 : Les recommandations techniques principales - Cas de franchissement des oueds

### 1.3.2.2.2. Cas où la plate-forme routière longe un oued : érosion fluviale

#### LES RISQUES ENCOURUS PAR LA ROUTE

Lorsqu'une plate-forme routière longe un oued et se trouve implantée en zone inondable ou en limite de celle-ci, des risques existent en fonction d'une part de la stabilité des berges de l'oued et d'autre part, de la stabilité des remblais sous l'action de l'eau.

Les phénomènes d'érosion des berges d'un oued sont susceptibles d'engendrer des désordres importants au niveau du remblai routier lorsque celui-ci se trouve en bordure de la berge ou lorsque le talus du remblai se trouve en prolongement de la crête de la berge (cas rencontré sur les 4 tronçons routiers étudiés). En effet, en raison de la progression en plan de la berge, cela engendrera soit la ruine du remblai routier, soit des glissements.

#### LES ETUDES TECHNIQUES ET LES SOLUTIONS TECHNIQUES A METTRE EN ŒUVRE

Afin de définir les solutions techniques pertinentes à mettre en œuvre pour la protection des remblais routiers longeant les oueds, il est d'abord nécessaire de définir les études techniques à réaliser pour concevoir les solutions de confortement adaptées. **Ces études doivent être associées les 3 composantes que sont le génie écologique, l'hydraulique et la géotechnique.**

Le tableau ci-dessous synthétise les études techniques et les solutions techniques envisageables.

		Actions proposées
Les études préalables	Les études de génie écologique	- Diagnostic des causes de dégradation des berges - Analyse de la stabilité du lit et des berges
	Les études hydrauliques	- étude morphologique : analyse de la mobilité des lits en profil en long et en plan - étude morphodynamique : caractérisation des phénomènes d'érosion et d'affouillement
	Les études géotechniques	- caractérisation des formations géologiques au moyen si nécessaire d'une reconnaissance de sols
Les recommandations techniques	Les solutions techniques pour consolider les berges	- protection par techniques végétales - protection par techniques minérales - protection mixte (techniques végétales + techniques minérales)
	Les solutions techniques pour consolider les remblais en lit majeur	- Mise en place de tapis anti-érosifs avec ou sans végétalisation - Mise en place de matelas gabions - Mise en place d'enrochements

Tableau 10 : Etudes techniques et recommandations techniques principales - Cas longeant un oued

### 1.3.2.3. L'assainissement routier

L'assainissement routier concerne les volets suivants :

- ❑ le rétablissement des écoulements superficiels extérieurs à la plate-forme routière. Il est à noter que dans la partie assainissement routier, seuls les ouvrages hydrauliques de traversée non considérés comme des ouvrages d'art, soit d'une ouverture < 3 m, sont pris en compte. Au-delà, les ouvrages de traversée sont considérés comme des ouvrages d'art et ils sont traités dans le chapitre ci-avant afférent aux franchissements des oueds ;
- ❑ la collecte et l'évacuation des eaux superficielles dans l'emprise de la route, dénommé par la suite « assainissement de la plate-forme routière » ;
- ❑ la collecte et l'évacuation des eaux internes, soit le drainage routier.

#### **LE RETABLISSEMENT DES ECOULEMENTS SUPERFICIELS EXTERIEURS A LA PLATE-FORME ROUTIERE**

Pour les ouvrages existants de franchissement des Chaâba et les ouvrages hydrauliques de traversée assurant l'évacuation des eaux pluviales routières sous la route, nous proposons d'adopter une démarche spécifique. En effet, les ouvrages hydrauliques existants n'ont pas toujours été conçus selon les règles de l'art : sous-dimensionnement et/ou absence de dispositifs de protection. Certains ouvrages existants présentent donc des risques pour la pérennité de la route lors d'événements pluvieux importants ou exceptionnels.

Il n'est pas question de remettre en cause tous les ouvrages existants, mais de vérifier dans un premier temps leur fonctionnement hydraulique et de définir dans un second temps les dispositions à prendre pour améliorer les conditions d'écoulement et/ou permettre le transit de débits supérieurs à ceux pris en compte lors de la conception des ouvrages tout en garantissant la pérennité de la plate-forme routière.

Le tableau ci-après synthétise la démarche proposée et les recommandations techniques.



## Les préconisations pour la protection des remblais et des ouvrages hydrauliques

		Actions proposées
La démarche proposée	Etape 1 : Vérification du fonctionnement hydraulique des ouvrages existants	Mise en œuvre d'études préalables
	Etape 2 : Choix du scénario d'aménagement	remplacement de l'ouvrage hydraulique de traversée existant par un ouvrage neuf ou conservation de l'ouvrage existant conservé et aménagement au droit et aux abords de l'ouvrage existant
	Etape 3 : Définition des dispositifs à mettre en œuvre	Etudes détaillées des aménagements
Les recommandations techniques	Les recommandations techniques pour la protection des remblais contigus à l'ouvrage (amont et aval)	- Mise en place un dispositif de protection des remblais contigus à l'ouvrage
		- Mise en place, si nécessaire, un ouvrage d'entonnement ou à amélioration de l'entonnement existant
		- En présence de fortes dénivelés entre l'extrémité de l'ouvrage et l'exutoire : aménagement d'une descente d'eau type cascade
	Les recommandations techniques pour la protection du talus routier pour les cas de surverse sur la route	- Mise en place de tapis anti-érosifs avec ou sans végétalisation
		- Mise en place de matelas gabions

Tableau 11 : Préconisation pour la protection des remblais

**L'ASSAINISSEMENT ET LE DRAINAGE ROUTIER**

Le tableau ci-dessous synthétise les recommandations techniques à mettre en œuvre pour assurer la collecte et l'évacuation des eaux superficielles et des eaux internes à la plate-forme dans l'emprise de la route.

Volet	Typologie des réseaux de collecte et d'évacuation	Les recommandations
Assainissement de la plate-forme routière	Réseaux de crête de talus de déblai	Mise en place de réseaux de crête de talus de déblai dans les cas suivants : - s'il existe un bassin versant extérieur significatif dont le ruissellement est orienté vers le déblai, - et s'il est nécessaire de protéger le talus de déblai du ruissellement
	Réseaux de pied de talus de déblai	Mise en place systématique
	Réseaux de crête de talus de remblai	Mise en place de réseaux de crête de talus de remblai uniquement pour évacuer les eaux de la plate-forme en un point privilégié au droit de zones spécifiques sensibles aux arrivées d'eau
	Réseaux de pied de talus de remblai	Mise en place de réseaux de pied de remblai dans les cas suivants : - en présence d'un bassin versant extérieur significatif dont le ruissellement est orienté vers le talus de remblai, - aux débouchés des réseaux de crête de talus de remblai, - aux débouchés des ouvrages hydrauliques de traversée en l'absence d'exutoire, - lorsque les ruissellements diffus sont susceptibles de porter préjudice aux fonds inférieurs
Drainage routier	Fossés profonds ou tranchées drainantes *	Nécessité à définir en concertation avec les géotechniciens

\* principaux dispositifs de drainage

Tableau 12 : Recommandations relatives à l'assainissement et le drainage routier

### 1.3.2.4. L'entretien

#### LES ENJEUX

L'entretien du réseau d'assainissement routier et des ouvrages hydrauliques de franchissement permet :

- de maintenir en bon état de fonctionnement tous les ouvrages constituant le réseau ;
- de créer et/ou de modifier certains ouvrages pour les adapter aux nouvelles contraintes du site (problèmes de stagnation d'eau, .....).

L'entretien pérennise l'investissement consenti lors de la conception et engage la responsabilité du gestionnaire ; il est le garant du respect des enjeux suivants :

- la sécurité des usagers de la route;
- le maintien des conditions de viabilité ;
- la pérennité de l'infrastructure routière.

#### LES VISITES D'ENTRETIEN

Deux types de visite peuvent être distingués :

- Les **visites périodiques** : ces visites doivent être effectuées au moins une fois chaque année d'une façon complète ;
- Les **visites occasionnelles après chaque crue importante**.

Ces visites ont pour objet de définir, le cas échéant, les travaux d'entretien et/ou les réparations à effectuer.

#### LES PRINCIPALES OPERATIONS D'ENTRETIEN

Entretien des ouvrages du réseau d'assainissement - Synthèse des principaux contrôles et interventions		
Nature des ouvrages	Type de contrôle lors des visites d'entretien périodiques	Type d'intervention
Fossés	- capacité du fossé et état d'encombrement	- curage du fossé - fauchage de la végétation
Ouvrages hydrauliques de traversée	- Etat d'obstruction de l'ouvrage et du lit en amont et en aval immédiat	- dégagement des extrémités de l'ouvrage : nettoyage et enlèvement des matériaux - curage et nettoyage de la traversée
	- Etat des ouvrages de génie civil	- réfection de l'étanchéité et de la structure de l'ouvrage
	- Présence ou non de phénomènes localisés d'érosion et/ou d'affouillement	- mise en place de dispositifs de protection

Tableau 13 : Entretien des ouvrages d'assainissement

**PROPOSITION D'ELABORATION D'UN GUIDE TECHNIQUE**

En raison des enjeux de l'entretien des réseaux d'assainissement de la route, nous proposons l'établissement d'un **guide technique** relatif à la surveillance, l'entretien et l'exploitation de l'assainissement routier.

### 1.3.3. Recommandations techniques vis-à-vis des risques géotechniques et de chaussée

Le diagnostic réalisé par l'Ingénierie a mis en évidence un ensemble de désordres géologiques, ou de chaussée, dont les causes peuvent varier d'un site à l'autre.

A ce stade de l'étude, il n'est pas possible de proposer la solution appropriée pour chaque site, en vue de résoudre les désordres observés d'une part et d'estimer le coût de sa mise en œuvre d'autre part, et ce en se basant uniquement sur les visites de terrain effectuées.

Ainsi, outre la panoplie des solutions de confortement proposée dans les chapitres suivants, l'Ingénierie insiste sur les points suivants :

- l'importance des études approfondies à lancer par les DPETL, afin de disposer des données d'entrées précises ;
- En cas de réalisation de l'étude directement par des entreprises, le MOA doit exiger la réalisation d'études techniques par l'entreprise. Pour éviter des erreurs de conception ou de réalisation, il est conseillé de recourir à un contrôle externe par un bureau de contrôle agréé, et un audit technique par des experts lors de la réalisation des travaux afin d'éviter que le confortement mis en œuvre ne soit mal exécuté ou inadapté aux désordres à traiter.

Les désordres géotechniques détectés lors de l'activité 1 concernent les glissements de terrain, les instabilités rocheuses, l'érosion des couches alluvionnaires et les ravinements. Pour chacun des désordres, tout d'abord, une présentation des différents types et causes d'instabilités est effectuée, puis s'ensuit une présentation des solutions de confortement.

- ❑ Pour les glissements de terrain, les méthodes de confortement du sol sont classées en quatre catégories et l'étude recense les solutions avec des éléments résistants en pied de talus, avec des modifications géométriques, de drainage et gestion des eaux ainsi que de végétation.
- ❑ Pour les ravinements, nous présentons une étude permettant d'établir des bases pour l'application des techniques de végétalisation dans l'avenir.

Les types de désordres des chaussées sont nombreux et complexes selon les types de chaussées, et peuvent avoir différentes origines. Dans ce chapitre, il y a une description de cette problématique adaptée aux problèmes rencontrés lors des visites effectuées.

### 1.3.4. Conclusion

Lors des visites de terrain, l'Ingénierie a constaté que certains désordres persistent, alors qu'ils ont fait l'objet de plusieurs interventions, sans pour autant résoudre complètement le problème. Ces désordres se situent dans des contextes souvent défavorables : chaînes de montagnes, versants instables, formations géologiques sensibles à l'eau et leur résolution définitive peut s'avérer complexe.

D'une part, il faut trouver des solutions appropriées d'un point de vue technique, moyennant les études préalables nécessaires. D'autre part, il faudra connaître non seulement l'éventail des solutions techniques possibles, mais également la solution la plus avantageuse d'un point de vue technico-économique, à travers une analyse « coût- bénéfice ». Les limitations rencontrées lors de la réalisation de l'étude n'ont pas permis d'aller plus loin dans nos considérations, la proposition d'un éventail de solutions techniques et l'identification de celles qui sont les plus avantageuses économiquement, n'a été possible que de façon générale.

De fait, l'objectif de cette étude ne consiste pas à définir la liste des travaux à effectuer pour les 4 tronçons routiers, mais à définir des recommandations pour adapter les infrastructures routières. Par ailleurs, comme indiqué dans le rapport, le choix du scénario d'aménagement est effectué à la suite des études préalables qui ne sont pas l'objet de la présente mission. Or, il peut être noté que certaines études préalables nécessitent un levé topographique ou des essais des sols spécifiques.

Nos recommandations pour adapter les infrastructures ont été divisées en plusieurs étapes :

- Caractérisation détaillée de la vulnérabilité des tronçons routiers selon la méthodologie proposée à l'activité 1 ;
- Hiérarchisation des désordres selon la méthodologie proposée au chapitre 11 du présent rapport ;
- Recommandations techniques : les données d'entrée, les études préalables ainsi que les études techniques sont nécessaires afin de déterminer dans la plupart de cas la meilleure solution d'un point de vue technique. L'estimation du coût de chaque solution dépend en grande partie de la localisation de l'ouvrage. L'expérience des DRETL/DPETL à travers l'analyse des DCE des entreprises reste la meilleure source d'information. Toutefois, ce rapport donne des estimations sommaires du coût de quelques recommandations préconisées ;
- Analyse coût-bénéfice : les analyses coût-bénéfice dépendent également des données historiques pour l'estimation des jours de fermeture (donnée inconnue) ou de l'estimation de chaque DEPTL en fonction de ses moyennes disponibles pour effectuer une réparation. A titre d'exemple, certains ouvrages d'art qui se sont effondrés demeurent en état de ruine depuis 7 ans alors que la route demeure en fonctionnement (en dehors de période de crue). Quel est le temps en jours de fermeture à établir dans ce cas ? Dépend-il de l'ouvrage ou de la capacité de la DRETL/DPETL pour faire des réparations ?

Par ailleurs, en plus d'adapter les infrastructures les plus vulnérables, il faut attirer l'attention sur la nécessité d'un entretien correct. En effet, le manque d'entretien peut provoquer le dysfonctionnement d'un ouvrage correctement conçu et construit, et peut donc entraîner des désordres importants.

Le dernier point qui mérite d'être souligné est l'absence de politiques de sensibilisation, d'alerte à la population, de signalisation ainsi que d'éducation des usagers.

## 2.ETAPE 1 : RECENSEMENT DES DONNEES DE BASES DISPONIBLES

Les données à collecter peuvent être classées selon les thématiques suivantes :

- Les données climatiques ;
- Les études sur le Changement Climatique ;
- Les données relatives à l'état des lieux des tronçons routiers concernés ;
- Les données socio-économiques.

Les démarches établies pour la collecte des données selon cette classification ont été les suivantes :

### 2.1.RECENSEMENT ET COLLECTE DES DONNEES RELATIVES AUX CONDITIONS CLIMATIQUES ACTUELLES

Les deux facteurs climatologiques retenus par l'Ingénierie ont été la pluie et la neige. Ils ont été sélectionnés au regard de leur aptitude à caractériser au mieux les différents phénomènes observés sur les 4 tronçons routiers à étudier : inondations, glissements de terrain, ravinements, éboulements et neige.

Les données climatologiques à collecter aux stations de référence des 4 tronçons à étudier sont les suivantes :

- Pluviométrie :
  - les courbes Intensité-Durée- Fréquence (IDF),
  - les pluies journalières maximales annuelles (Pjmax) ;
- Neige :
  - nombre de jours de neige par mois,
  - période maximale de neige.

#### 2.1.1. Bref aperçu du contexte hydro climatique marocain

Le Maroc assure la transition entre le désert et la zone tempérée humide, et son climat est caractérisé par toute la gamme des intermédiaires entre le totalement sec et l'humide.

Son régime pluviométrique est dominé par une forte irrégularité dans l'espace et dans le temps et par une alternance de séquences d'années de forte hydraulité et de séquences de sécheresse sévère, pouvant durer plusieurs années. Les précipitations annuelles se répartissent comme suit :

- Supérieurs à 800 mm dans la région la plus arrosée du Nord-Ouest ;
- Entre 400 à 600 mm dans la région du Centre ;
- Entre 200 et 400 mm dans les régions de l'Oriental et du Sous ;
- Et moins de 200 mm dans les zones sud-atlasiques et le Sahara.

Les températures sont également très contrastées dans l'espace et dans le temps ; elles peuvent dépasser 50°C dans le Sahara pendant l'été et descendre en dessous de 0°C dans les zones intérieures en hiver.



Au cours des dernières décennies, le climat du Maroc s'est caractérisé par une diminution des précipitations (1976-2006), une tendance nette à la hausse des températures (1960-2010), et une augmentation significative de la fréquence des événements extrêmes (sécheresses et inondations), de leur sévérité et de leur champ de couverture spatiale.

### 2.1.2. Emplacement des tronçons étudiés

La zone d'étude comporte 4 tronçons routiers couvrant approximativement la totalité du territoire marocain.

Ils se situent à l'intérieur de 7 unités hydrologiques caractérisées par un climat et une densité de réseau pluviométrique différents.

La carte suivante illustre l'emplacement des tronçons routiers étudiés, par rapport aux zones d'action des agences de bassins hydrauliques, qui gèrent l'ensemble des unités hydrologiques du royaume du Maroc.

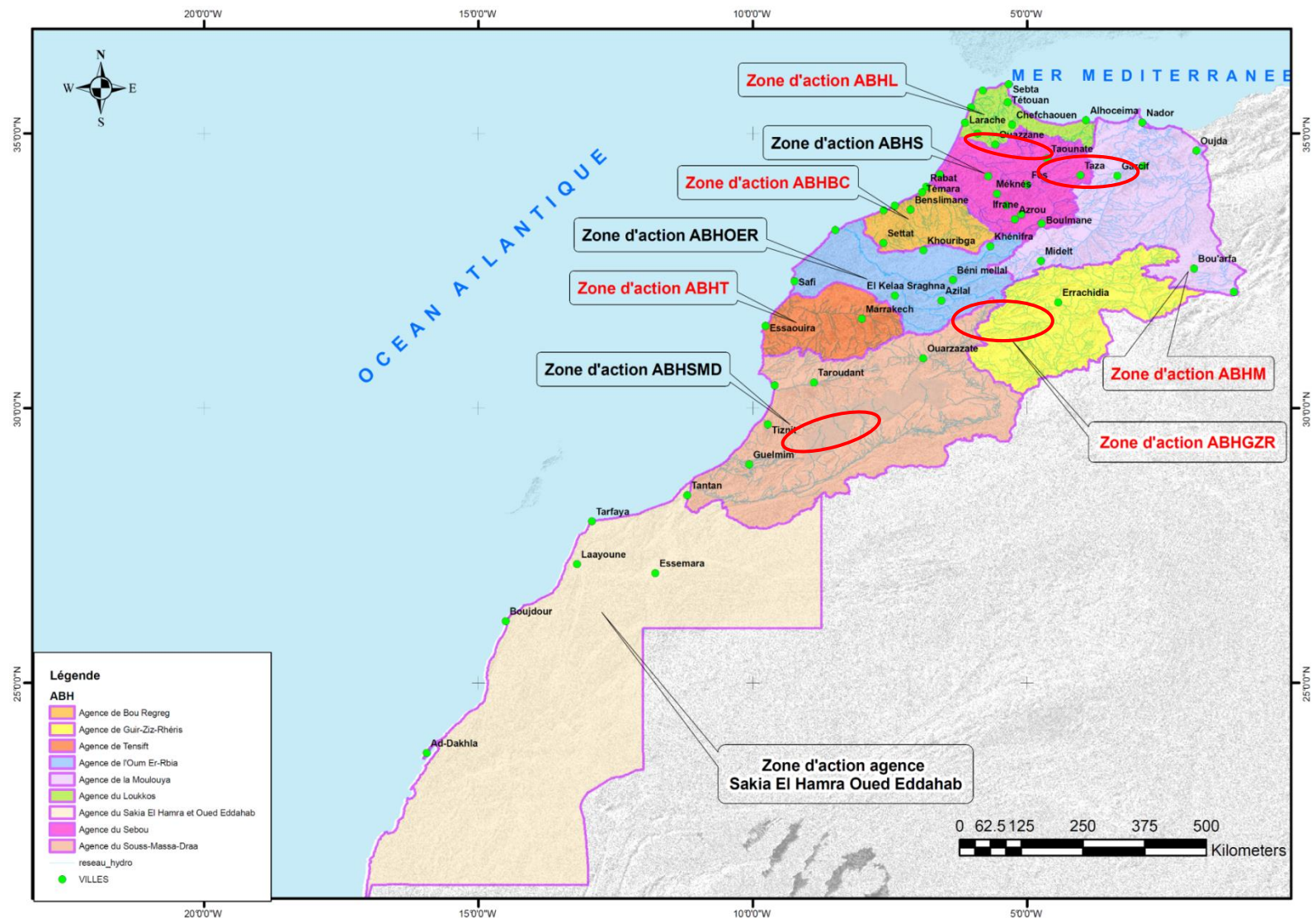


Figure 3 : Zones d'action des Agences de Bassins Hydrauliques et emplacement des tronçons étudiés

### 2.1.3. Données climatologiques inventoriées

De par son implication dans plusieurs études hydrologiques dans le royaume du Maroc, l'Ingénierie a pu constituer une base de données de pluies journalières maximales annuelles et pluies annuelles qu'il propose de prendre en compte dans la présente étude.

Ces données ont été combinées aux données collectées auprès de la Direction de la Météorologie Nationale (DMN) pour les postes dont l'apport en données a été jugé utile et nécessaire par l'Ingénierie.

L'Ingénierie rappelle également qu'elle a mené récemment, entre 2013 et 2014, l'étude pour l'intégration des changements climatiques dans le processus de planification des ressources en eau au Maroc pour le compte de la Direction de la Recherche et de la Planification de l'Eau (DRPE).

Lors de cette étude de référence l'Ingénierie a pris contact avec les différentes Agences de Bassins Hydrauliques pour collecter et actualiser les données hydrologiques disponibles. Il s'agit pour la présente étude de :

- L'Agence du Bassin Hydraulique du Loukkos, située à Tétouan ;
- L'Agence du Bassin Hydraulique du Sebou, sise à Fès ;
- L'Agence du Bassin Hydraulique de la Moulouya, située à Oujda ;
- L'Agence du Bassin Hydraulique de l'Oum Er Rbia, sise à Béni Mellal ;
- L'Agence du Bassin Hydraulique du Guir, Rhéris, Ziz et Maïder, située à Errachidia ;
- L'Agence du Bassin Hydraulique du Souss Massa Draa, sise à Agadir.

L'Ingénierie dispose également d'une base de données des courbes Intensité – Durée – Fréquence (IDF) acquises auprès de la DMN dans le cadre des différentes études hydrologiques, hydrauliques et d'assainissement routier qu'il a menées pour le compte de la Direction des Routes (DR) ainsi que pour la Société des Autoroutes du Maroc (ADM).

L'Ingénierie a également pris contact avec la DMN pour disposer de l'inventaire des pluviographes disponibles et dépouillés à l'heure actuelle.

Les données collectées, synthétisées et retenues dans cette étude sont détaillées et présentées, par tronçon, dans la partie relative au diagnostic.

Il est à préciser que les années présentées correspondent à des années hydrologiques, l'année hydrologique  $i$  débutant le 01/09 de l'année  $i$  et s'arrêtant au 31/08 de l'année  $i+1$ .

### 2.1.4. La collecte des données relatives à la neige

Pour ce facteur climatique, les démarches suivantes ont été effectuées :

- Météo Maroc ne dispose pas de données disponibles sur la neige ;
- Les DRETL/DPETL ne disposent pas des données sur la neige ;
- La DR dispose de l'étude « Impacts des Conditions Climatiques sur les Infrastructures de Transport. Années 2008-2009-2010 » dans laquelle figure des données de neige (hauteurs de neige).

## 2.2. LES DONNEES RELATIVES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Les données relatives au changement climatique sont développées au chapitre 3.2.2 Sources des données du présent rapport.

## 2.3. LES DONNEES RELATIVES A L'ETAT DES LIEUX DES 4 TRONÇONS

Afin de faciliter la tâche de collecte des données à la DR ainsi qu'aux différentes DRETL et DPETL, il était convenu avec la DR d'établir une liste des données prioritaires à recevoir avant les visites de terrain.

Les données considérées comme prioritaires pour garantir le déroulement des visites ainsi que l'avancement du projet sont dans le tableau suivant :

Tableau 14 – Liste des données prioritaires

Thématiques		Détails des données d'entrée
Etat des lieux des 4 tronçons routiers	Documents généraux	Liste des points durs
		Principaux problèmes rencontrés dans les tronçons et PRs: typologies de désordres, localisation, date, impacts, temps de mesures adoptées
	Hydraulique transversale (ouvrages hydrauliques de traversée)	Liste et localisation des ouvrages hydrauliques de traversée
		Liste des dysfonctionnements hydrauliques constatés (dates et caractéristiques des désordres)
		Études et rapports sur les dégâts des crues : - "Étude globale des dégâts des crues sur le réseau de la région du Rif et du préif" selon l'étude du Ministère de l'Équipement et des transports "Impacts des conditions climatiques sur les infrastructures de transport - Années 2008-2009-2010" - "Livre blanc" relatif aux importantes coupures de réseau enregistrées durant les crues de 1996 selon le rapport de la Banque Mondiale No. 61980-MOR "Royaume du Maroc - Adaptation du secteur du transport au changement climatique - Juin 2010"
	Ouvrages d'art	Liste et localisation des ouvrages d'art
		Caractéristiques des ouvrages d'art
		Défauts structurels
	Géotechnique	Profil en long géotechnique cotés
		Principaux désordres géotechniques et points noirs relevés (glissement, érosion, stabilité de talus, affouillement,...)
	Entretien	Nature des opérations d'entretien
		Fréquences des opérations d'entretien
Budgets alloués à l'entretien		

## 2.4. LES DONNEES SOCIO-ECONOMIQUES

Les enjeux constituent l'ensemble des personnes, des biens et des activités humaines (ayant une valeur monétaire ou non) pouvant être affectés par un événement, directement ou indirectement.

Le recensement des enjeux s'est appuyé sur un recueil et un examen des données disponibles.

Les enjeux identifiés sont les suivants :

- La population desservie par chaque tronçon ;
- Les activités économiques desservies par chaque tronçon ;
- Les trafics sur chaque tronçon ;
- La fonctionnalité de chaque tronçon.

### 2.4.1. La population desservie

Les données de nombre d'habitants sont issues du document Recensement Général de la population et de l'habitat 2004 publié par le Haut-Commissariat au Plan. Ce document recense commune par commune le nombre d'habitants et de ménages recensés en 2004 et en 1994.

Il est à noter qu'un nouveau recensement de la population a été réalisé en 2014 mais les résultats n'étaient pas encore disponibles à la date du présent rapport.

### 2.4.2. Les activités économiques

Les données permettant de mesurer l'activité économique sont les suivantes :

- **Le nombre d'établissements industriels** en 2012 par province et par commune (source : site web de l'observatoire marocain de l'Industrie);
- **Effectifs de main d'œuvre embauchée dans les établissements industriels** en 2012 par province (source : site web de l'observatoire marocain de l'Industrie). Les données de la commune ne sont pas disponibles ;
- **Chiffres d'affaire des établissements industriels** en 2012 par province (source : site web de l'observatoire marocain de l'Industrie). Les données de la commune ne sont pas disponibles ;
- **Taux d'activité<sup>1</sup>** en 2012 par province desservie (source : Haut-commissariat au Plan). Les données de la commune ne sont pas disponibles.

La **part de l'agriculture dans l'activité économique** des zones desservies est a priori **marginale**, les zones rurales desservies étant essentiellement dédiées à une **agriculture de type vivrière** assez éloignée des grands circuits de production nationaux. (On note à ce sujet que 70% des terres agricoles au Maroc ont une surface inférieure à 2ha.)

Toutefois, dans les secteurs marqués par une production agricole intensive, un indicateur pourra être mis en place comme la superficie agricole ou les effectifs d'élevage.

Ces éléments semblent être renseignés dans la base de données StatAgri (consolidation et archivage des statistiques agricoles produites par le MAPM (Superficie, Production, Effectifs d'élevage, ...)):

<http://statagri.agriculture.gov.ma>

<sup>1</sup> Le taux d'activité correspond à la part de la population en âge de travailler. Elle prend en compte les personnes en situation d'emploi et les chômeurs.

Nous n'avons toutefois pas pu accéder à cette base, le site étant inaccessible à la date de réalisation de l'étude.

### 2.4.3. Les trafics

Les trafics constituent la valeur d'usage des tronçons. Même s'ils ne sont qu'une mesure partielle des populations et des activités desservies par le tronçon, ils constituent néanmoins un indicateur mesurable.

Les données de trafics journaliers moyens sur les sections sont issues du document Recueil de Trafic Routier 2012 de la Direction des Routes du Ministère de l'Équipement.

Les taux de poids-lourds pris en compte sont les taux moyens observés sur les routes marocaines, soit 5% pour les PL1 et 16% pour les PL2.

## 3.ETAPE 2 : EVALUATION DE L'ALEA DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

### 3.1.INTRODUCTION

Afin d'évaluer les risques pour différents types d'évènements exceptionnels liés aux changements climatiques, notamment les précipitations intenses, les inondations et les épisodes neigeux, il est indispensable d'avoir une connaissance fine des changements climatiques à l'échelle des tronçons routiers étudiés. D'après la définition du risque donnée telle que :

**Risque = Aléa x Sensibilité des infrastructures,**

Il s'agit de déterminer l'aléa climatique futur, afin de pouvoir spécifier les impacts en découlant et ainsi proposer des mesures d'adaptations appropriées.

Ce chapitre a donc un triple objectif :

- Recenser et analyser les données de projections climatiques existantes afin d'en extraire celles directement utiles aux fins de l'étude ;
- A partir de ces données, définir l'ampleur des changements climatiques attendus, en évaluant la variation des différents paramètres étudiés selon les horizons de projection choisis ;
- Renseigner sur le degré d'incertitude entourant ces projections (influence des scénarios d'émission et des modèles globaux et régionaux) et notamment la dispersion entre les modèles et le degré de confiance qui peut être attribué au sens à la magnitude des changements projetés.

### 3.2.METHODOLOGIE EMPLOYEE

#### 3.2.1. Paramètres climatiques d'intérêt

Pour rappel, l'étude a ciblé deux facteurs climatiques majeurs, à savoir la pluie et la neige. Ces deux facteurs ont été sélectionnés au regard de leur aptitude à caractériser au mieux les différents phénomènes observés sur les 4 tronçons routiers à étudier : inondations, glissements de terrain, ravinements, éboulements et neige.

Néanmoins, aucune donnée concernant la neige n'a pu être collectée à ce jour pour la climatologie future.

Ainsi, seuls les paramètres sélectionnés pour l'évaluation de la pluviométrie sont concernés, à savoir les précipitations annuelles et les pluies journalières maximales. En effet, aucune donnée n'a pu être collectée sur les intensités pluviométriques horaires ou infra-horaires.

#### 3.2.2. Sources des données

Compte-tenu des délais de l'étude, l'approche privilégiée a reposé sur la collecte et l'exploitation des résultats de modélisations climatiques existantes et rapidement mobilisables pour les besoins de l'analyse des aléas.



L'étude des 4 tronçons routiers nécessitant de disposer des données climatiques à des échelles assez fines (quelques dizaines de km), les sources ciblées ont été celles issues des travaux de régionalisation des projections climatiques, obtenues à partir des méthodes dites de "descente d'échelle" ("downscaling").

Le travail de recensement s'est donc appuyé sur deux sources principales :

- **Une revue de la documentation existante**, notamment les études et travaux de recherche de référence dans le domaine de la modélisation du changement climatique et l'analyse de ses impacts au niveau local, en lien direct avec les aléas et tronçons à étudier ;
- **Une exploitation de deux bases de données de référence au niveau international** susceptibles de fournir des données de projections régionalisées issues des modèles du GIEC (CMIP3 et CMIP5) sur les paramètres et échelles de travail de l'étude.

### 3.2.3. Méthode d'analyse

A partir de ces sources d'information, il s'agit d'extraire les données climatiques définies précédemment, afin de préciser l'ampleur des changements climatiques attendus et leurs impacts sur l'intensité et la fréquence des principaux phénomènes extrêmes identifiés dans le cadre de l'étude.

Deux horizons temporels ont été retenus, à savoir 2035 et 2050. Ces deux horizons sont proposés afin de tenir compte à la fois d'une temporalité relativement proche pour répondre aux préoccupations opérationnelles de la Direction des routes et suffisamment éloignée pour sortir du "bruit de fond" de la variabilité climatique interannuelle et mettre en évidence des changements sur le plus long terme.

Il est indispensable de prendre en compte l'incertitude sur les résultats de projections climatiques pour proposer des mesures d'adaptation appropriées. Pour cela, plusieurs scénarios climatiques futurs seront considérés, plus ou moins pessimistes, afin d'avoir une enveloppe des possibles. De plus, les projections issues de plusieurs modèles seront comparées pour un même scénario, afin d'étudier la variabilité inter-modèle.

## 3.3. RAPPEL SUR LES DETERMINANTS DE LA MODELISATION CLIMATIQUE

### 3.3.1. Horizons temporels

Les projections climatiques sont d'abord calculées sur la période « actuelle », c'est-à-dire, généralement, sur une période passée d'au moins 30 ans (celle-ci pouvant aller jusqu'à aujourd'hui). Il s'agit de pouvoir comparer les résultats de la modélisation reproduite le plus fidèlement possible par le modèle à la climatologie connue grâce aux observations.

On calcule ensuite les projections climatiques pour différents horizons futurs. Bien que l'on fixe une année précise pour cela, il s'agit en réalité d'un calcul sur une période donnée, 30 ans en général. L'horizon se situe généralement au centre de la période, par exemple, l'horizon 2035 représente la moyenne interannuelle de la période 2021-2050.

Il est à noter que chaque étude définit ses propres périodes de calcul. Un même horizon peut donc représenter différentes périodes en fonction de la source (période de 20 ou 30 ans).

### 3.3.2. Types de modèles

Deux générations de modèles de circulation générale (MCG) sont utilisées selon les sources de données. Les modèles du projet CMIP3 sont ceux utilisés dans le 4ème rapport du GIEC de 2007 (AR4).



Les modèles du CMIP5 sont ceux qui ont servi au 5ème rapport du GIEC de 2013 (AR5). Ces derniers ont bénéficié des progrès réalisés sur la compréhension et la modélisation du système climatique et sont donc considérés comme plus performants.

Chaque projet dispose d'un certain nombre de modèles, ce qui permet de comparer leurs résultats et ainsi d'estimer la variabilité inter-modèle et donc une part de l'incertitude.

### 3.3.3. Scénarios d'émission de GES

Différents scénarios sont utilisés dans les études et outils analysés, afin de représenter une gamme de futurs possibles.

Dans le projet CMIP3 (AR4), les scénarios utilisés sont les SRES (du nom du rapport du GIEC les définissant « Special Report on Emissions Scenarios »). Il s'agit de différentes hypothèses d'évolution socio-économique qui conduisent à différents niveaux d'émission de gaz à effet de serre (GES). Les scénarios disponibles dans les sources dont nous disposons sont :

- Le B1, qui est le plus optimiste, avec une augmentation relativement faible de la concentration de GES dans l'atmosphère puis une diminution après 2050, qui conduirait à une augmentation de la température de 1,1 à 2,9°C ;
- Le B2, qui est un scénario intermédiaire, avec une augmentation relativement faible mais constante de la concentration en GES dans l'atmosphère jusqu'en 2100, qui mènerait à une augmentation de la température de 1,4 à 3,8°C ;
- Le A1B, qui est un scénario intermédiaire un peu plus pessimiste, avec une forte augmentation de la concentration moyenne de GES dans l'atmosphère jusqu'en 2050 puis une baisse, ce qui entraînerait une élévation de température moyenne globale de l'ordre de 1,7 à 4,4°C ;
- Le A2, qui est le scénario le plus pessimiste, avec l'augmentation de la concentration de GES dans l'atmosphère la plus importante et continue jusqu'en 2100, et donc une élévation de la température moyenne globale de 2 à 5,4°C.

Pour le projet CMIP5 (AR5), de nouveaux scénarios ont été définis, pour prendre en compte les évolutions récentes, comme la croissance rapide des pays émergents et également afin de prolonger les projections au-delà de 2100. La démarche a été de fixer des « cibles » de concentration de GES dans l'atmosphère, puis d'élaborer des scénarios socio-économiques pouvant conduire à chacune de ces concentrations. Les scénarios disponibles dans les sources dont nous disposons sont :

- Le RCP 4.5, qui correspond à une augmentation moyenne de la concentration de GES dans l'atmosphère jusqu'à une stabilisation en 2050, ce qui entraînerait une augmentation de la température de 1,1 °C à 2,6 °C. On constate que le scénario du CMIP3 le plus proche est le B1 ;
- Le RCP 8.5, qui correspond à augmentation continue de la concentration de GES dans l'atmosphère et qui est donc le plus pessimiste puisque la température moyenne globale s'élèverait de 2,6 °C à 4,8 °C. Ce scénario se rapproche du A2 du CMIP3, mais il est plus pessimiste.

A noter qu'il existe d'autres RCP notamment 2.6 et 6.0, mais ceux-ci sont peu utilisés dans les études de modélisation en général et ne sont, de toute façon, pas disponibles dans les sources consultées.

Le graphique ci-dessous présente la comparaison entre les « anciens » scénarios (SRES), qui ont été calculés jusqu'en 2100 seulement, et les nouveaux (RCP).

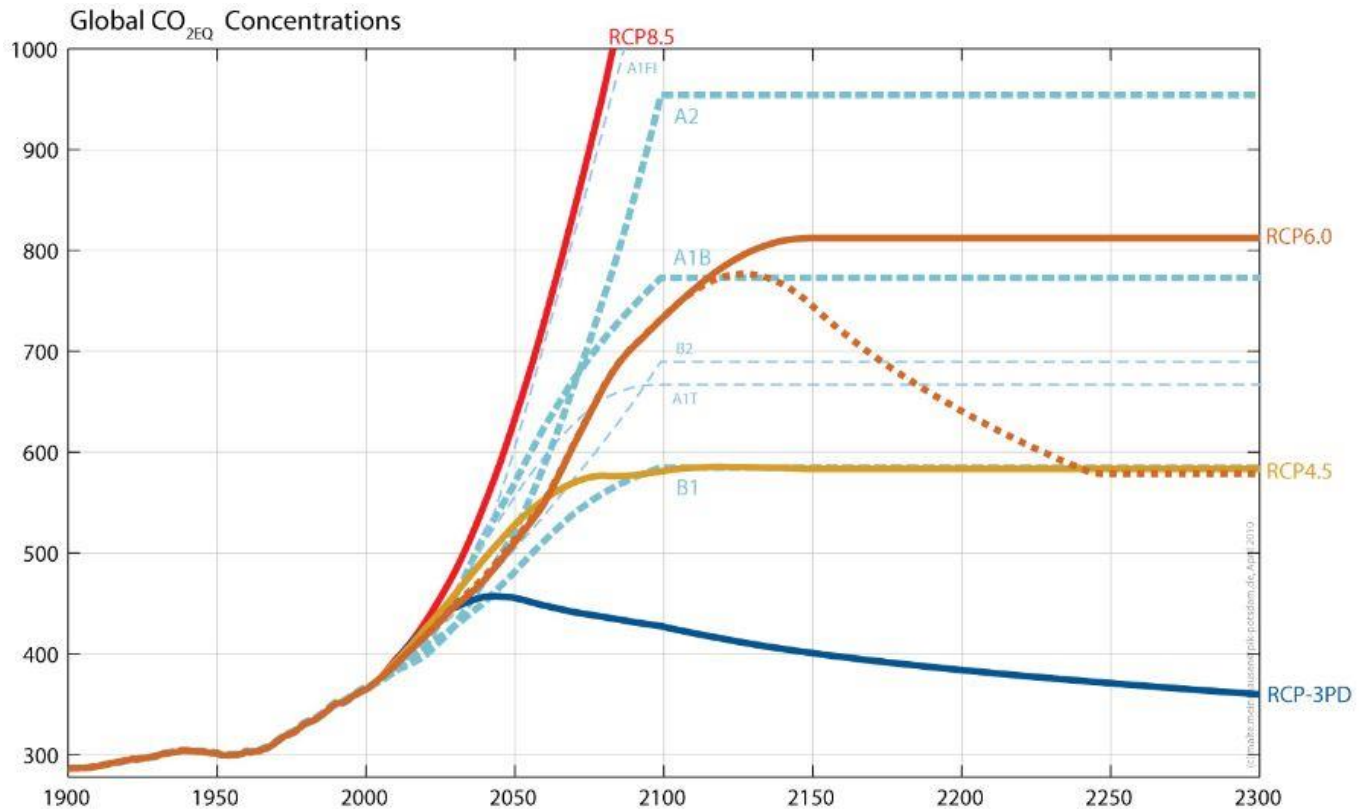


Figure 4 : Graphique des scénarios SRES et RCP utilisés par le GIEC, respectivement dans l'AR4 et l'AR5.

### 3.3.4. Descente d'échelle

Afin de disposer de données à une échelle assez fine pour pouvoir analyser les impacts des changements climatiques, il est indispensable de disposer de données régionales, voire locales. Pour cela, on utilise les résultats de modélisations globales, dont la résolution est généralement de l'ordre de 200 à 300 km, qui sont ensuite régionalisés grâce à des techniques de désagrégation spatiale appelées également "descente d'échelle" ("downscaling"). Cela permet d'atteindre un maillage de quelques dizaines de kilomètres, voire plus fin encore (1 à 5 km dans certains cas).

Les approches de descente d'échelle employées au Maroc sont de deux types :

- La **descente d'échelle statistique** qui repose sur la recherche d'une relation statistique entre les variables locales et les modèles globaux. Cette méthode demande de longues séries d'observations et repose sur l'hypothèse de permanence de la relation statistique dans le futur, hypothèse de plus en plus remise en question compte tenu de la non-stationnarité du changement climatique ;
- La **descente d'échelle dynamique** qui consiste à résoudre explicitement la physique et la dynamique du système climatique régional en couplant modèles climatiques globaux et modèles régionaux. Cette deuxième méthode est généralement considérée comme plus robuste que la première, bien que plus coûteuse, car elle permet de lever les limites de l'approche statistique et rend mieux compte des influences géophysiques et topographiques sur les conditions climatiques locales.

### 3.3.5. Incertitude

L'incertitude sur les résultats des modélisations climatiques provient de différentes sources, dont les principales concernent :

- Le choix du scénario d'émission de gaz à effet de serre, qui implique des conditions climatiques particulières et qui sous-tend des hypothèses socio-économiques par nature incertaines ;
- La capacité des modèles ou relations statistiques employés à représenter la réalité. En effet, il faut garder en tête qu'il s'agit d'approximation de la complexité du système climatique.

Il est donc important de ne pas analyser un seul modèle pour un scénario d'émissions donné, mais à l'inverse de prendre en compte une enveloppe de futurs climatiques plausibles afin de limiter le risque d'erreur et donc de mal adaptation. En effet, l'utilisation de plusieurs couples modèles-scénarios et la construction d'ensemble "multi-modèles" permet d'apprécier une partie de ces incertitudes, en rendant compte de la dispersion entre les modèles et donc de l'éventail d'évolutions possibles tant en termes de variation des paramètres (positive ou négative) que d'amplitude de cette variation.

## 3.4. RECENSEMENT ET ANALYSE DES PROJECTIONS CLIMATIQUES DISPONIBLES

### 3.4.1. Données bibliographiques

Plusieurs études de référence sur la modélisation du climat et ses impacts, aux échelles nationale, régionale et locale, existent au Maroc. Les efforts de recherche d'information se sont concentrés sur les travaux jugés les plus pertinents au regard des besoins de l'étude. Une liste de ceux-ci est présentée dans le tableau suivant:

Code	Intitulé de l'étude	Couverture géographique	Modélisation climatique	Tronçons potentiellement inclus (à confirmer)
CC1	Seconde communication nationale à la convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (PNUD, SEEE, Avril 2010)	Nationale	Descente d'échelle dynamique	Tous
CC2	Etude d'impact des changements climatiques sur les rendements agricoles au Maroc (INRA, FAO, BM, 2009)	Nationale	Descente d'échelle statistique	Tous
CC3	SIG Risques naturels (GEF, UNISDR)	Nationale	Situation actuelle	Tous
CC4	Intégration d'indicateurs du changement climatique dans les Observatoires Régionaux de l'Environnement et du Développement Durable (GIZ, 2009 et 2014)	Nationale	A vérifier	Tous
CC5	Travail de descente d'échelle des projections climatiques sur le Souss Massa (DMN, 2011)	Souss-Massa	Descente d'échelle dynamique	Route Régionale 106 entre Ighrem et Assaki sur 45 km (PK 75 à 120)
CC6	Cartes de vocation des terres agricoles en relation avec l'adaptation aux changements climatiques (INRA, DMN, 2012)	nationale	Descente d'échelle dynamique et statistique	tous

Code	Intitulé de l'étude	Couverture géographique	Modélisation climatique	Tronçons potentiellement inclus (à confirmer)
CC7	Evaluation des changements climatiques futurs au niveau des zones oasiennes marocaines (2011)	Zones oasiennes	Descente d'échelle dynamique	DPETL de Midelt : Route Régionale 706 entre Rich et Imilchil sur 120 km (PK 0 à 120))
CC8	Impact of Climate Change on Water Resource Management and Adaptation Measures in the Oum er Rbia River Basin, Morocco (2013)	Centre du Maroc	Descente d'échelle dynamique	DPETL de Midelt : Route Régionale 706 entre Rich et Imilchil sur 120 km (PK 0 à 120))
CC9	Etude des impacts des changements climatiques sur les ressources hydriques de la région Souss-Massa-Draa (MASEN - DMN, 2013): scénarii : CCCma RCP4.5, CCCma RCP8.5, DMI RCP4.5, DMI RCP8.5, KNMI RCP4.5, et KNMI RCP8.5	Souss-Massa	Descente d'échelle dynamique	Route Régionale 106 entre Ighrem et Assaki sur 45 km (PK 75 à 120)
CC10	« Adaptation au changement climatique et aux désastres naturels des villes côtières d'Afrique du Nord – Phase 1 » (2010)	Rabat, Casablanca, Maroc ?	Descente d'échelle dynamique	Tous si données nationales

Parmi ces études, les études CC3, CC4 et CC6 n'ont pu être collectées respectivement auprès du Secrétariat d'Etat à l'Eau et à l'Environnement et de l'INRA. Les demandes transmises à ces institutions n'ont pas abouti à ce jour. Néanmoins, sur la base d'échanges informels entre le Consultant et certains experts marocains ayant travaillé sur ces études, celles-ci ne comprendraient pas d'informations sur le changement climatique pertinentes pour les besoins de l'étude.

Concernant l'étude CC5, il s'agit en fait de la même étude que CC9. Les informations initiales collectées par le Consultant laissaient penser qu'il s'agissait de deux études distinctes mais après vérification, il s'agit bien du même document.

Nous présenterons donc dans ce qui suit les résultats de la revue des études disponibles, à savoir CC1, CC2, CC7, CC8, CC9 et CC10, ainsi que la nature des données qui peuvent en être extraites.

#### 3.4.1.1. Etude CC1 « Seconde communication nationale à la convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques » (Avril 2010)

- Zone étudiée : Maroc dans sa globalité, Région du Souss-Massa ;
- Tronçons concernés : tous pour les données nationales ; DPETL Taroudant - RR 106 pour les données régionalisées sur le Souss-Massa ;
- Type de modélisation : Descente d'échelle statistique grâce à l'algorithme de régionalisation SCENGEN, Descente d'échelle statistique de HADCM3 par SDSM pour le Souss-Massa ;
- Modèles utilisés : 17 GCM pour le niveau national, HADCM3 pour le Souss-Massa ;
- Résolution de la maille : 550 km x 550 km pour le niveau national, 10 km pour le Souss-Massa ;
- Scénarios climatiques : A1B et B2 ;

- ❑ Période de référence : 1961-1990 ;
- ❑ Horizons temporels des projections climatiques : 2015/2020, 2045/2050, 2075/2080 ;
- ❑ Informations sur les paramètres recherchés :

L'étude fournit des informations sur les moyennes annuelles de pluviométrie à l'échelle nationale et sur le bassin du Souss-Massa, zone qui concerne directement le tronçon DPETL Taroudant - RR 106. Pour ce secteur, l'étude utilise également les données de sortie de la désagrégation statistique de HadCM3 par SDSM.

#### NIVEAU NATIONAL

Le tableau suivant présente les données nationales issues de Magic-Schengen.

Tableau 15 - Estimation des moyennes annuelles de la pluviométrie à l'aide des changements obtenus aux différents horizons temporels et scénarios SRES (source : SNC)

Moyenne Annuelle (mm)		2015		2045		2075	
		A1B	B2	A1B	B2	A1B	B2
Oriental	140	121	131	118	122	117	115
Nord	720	684	684	623	634	567	589
Centre	236	210	222	197	204	190	190
Sud	59	53	56	54	53	45	49

Il est difficile de faire correspondre ces résultats aux sections routières retenues pour l'étude. Néanmoins, en faisant l'hypothèse que les tronçons de Chefchaouen et Taza se trouvent dans la région Nord, celui de Taroudant dans la région Sud et celui de Midelt dans la région Centre, les variations de pluviométrie présenteraient les ordres de grandeur suivants :

Tableau 16 - Variations de la pluviométrie annuelle au niveau de chaque tronçon selon la SNC

Tronçons	2015		2045		2075	
	A1B	B2	A1B	B2	A1B	B2
DEPTL Chefchaouen – RN2	-5,0%	-5,0%	-13,5%	-11,9%	-21,3%	-18,2%
DPETL Taza - RR 508	-5,0%	-5,0%	-13,5%	-11,9%	-21,3%	-18,2%
DEPTL Midelt – RR706	-11,0%	-5,9%	-16,5%	-13,6%	-19,5%	-19,5%
DPETL Taroudant - RR 106	-10,2%	-5,1%	-8,5%	-10,2%	-23,7%	-16,9%

En comparant ce tableau pour le scénario B2 et l'année 2075 avec celui issu de l'étude CC2 sur les rendements agricoles, les résultats apparaissent relativement cohérents s'agissant du sens des changements (baisse de la pluviométrie). Pour les valeurs, la lecture de la carte en figure 2 ne permet qu'une interprétation approximative des changements projetés et il est difficile d'en déduire autre chose que des fourchettes assez larges de variation. Faute de ne pouvoir accéder aux données de base ayant sous-tendu ces deux études, il n'a pas été possible de comparer leurs résultats avec plus de précision.

## BASSIN DU SOUSS-MASSA

Plusieurs graphiques intéressants relatifs à l'influence du changement climatique sur les précipitations saisonnières du bassin du Souss-Massa sont présentés dans l'étude, mais ceux-ci sont impossibles à lire du fait de la mauvaise qualité des images.

Les seules données exploitables pour le tronçon Taroudant - RR 106 sont celles qui concernent l'évolution des précipitations dans les sous-bassins du Souss-Massa et repris ci-dessous (scénarios A1B et B2) :

Tableau 17 - Evolution de la température et des précipitations annuelles dans les sous-bassins du Souss-Massa (scénarios A1B et B2)

Sous-bassins	2020	2050	2080
Tamri-Tamraght	0,25< $\Delta T^{\circ}C$ <0,40 -15< $\Delta P/P\%$ <-10	0,40< $\Delta T^{\circ}C$ <0,80 -32< $\Delta P/P\%$ <-20	1,00< $\Delta T^{\circ}C$ <1,50 -55< $\Delta P/P\%$ <-45
Haut-Souss	0,10< $\Delta T^{\circ}C$ <0,18 -7< $\Delta P/P\%$ <0	0,35< $\Delta T^{\circ}C$ <0,45 -32< $\Delta P/P\%$ <-20	0,60< $\Delta T^{\circ}C$ <0,80 -60< $\Delta P/P\%$ <-35
Souss rive droite	0,14< $\Delta T^{\circ}C$ <0,20 -20< $\Delta P/P\%$ <-15	0,40< $\Delta T^{\circ}C$ <0,50 -38< $\Delta P/P\%$ <-20	0,60< $\Delta T^{\circ}C$ <0,80 -65< $\Delta P/P\%$ <-45
Souss rive gauche	0,10< $\Delta T^{\circ}C$ <0,14 -15< $\Delta P/P\%$ <-5	0,25< $\Delta T^{\circ}C$ <0,40 -38< $\Delta P/P\%$ <-20	0,40< $\Delta T^{\circ}C$ <0,70 -60< $\Delta P/P\%$ <-30
Massa	0,12< $\Delta T^{\circ}C$ <0,20 -10< $\Delta P/P\%$ <-7	0,30< $\Delta T^{\circ}C$ <0,55 -18< $\Delta P/P\%$ <-10	0,60< $\Delta T^{\circ}C$ <1,00 -30< $\Delta P/P\%$ <-20
Tiznit-Ifni	0,14< $\Delta T^{\circ}C$ <0,16 -10< $\Delta P/P\%$ <-4	0,30< $\Delta T^{\circ}C$ <0,45 -10< $\Delta P/P\%$ <0	0,50< $\Delta T^{\circ}C$ <0,70 -30< $\Delta P/P\%$ <+5

Là encore, nous ne connaissons pas les limites exactes de chaque sous-bassin. Toutefois, compte-tenu de sa situation géographique, le tronçon Taroudant - RR 106 peut être située dans le bassin "Souss rive gauche". Partant de là, les variations de pluviométrie seraient comprises dans les intervalles suivants :

Variation des précipitations annuelles :	2020	2050	2080
DEPTL Taroudant - RR 106	-5 % à -15%	-20% à -38%	-30% à -60%

Ces résultats montrent des baisses particulièrement marquées et beaucoup plus importantes que les extrapolations réalisées plus haut. Néanmoins à l'échelle de la région Souss-Massa, les résultats retrouvent une certaine cohérence avec les autres sources (Tableau 5).

Tableau 18 - Evolution de la pluviométrie moyenne - Souss-Massa (Source : SNC)

Scénario SRES	2020	2050	2080
	$\Delta P/P\%$	$\Delta P/P\%$	$\Delta P/P\%$
B2	-9,79	-13,27	-21,51
A2	-5	-18,82	-34,22

Pour le scénario B2 et les horizons 2050 et 2080, les projections concordent avec celles des tableaux 1 et 2, et indiquent une diminution moyenne se situant autour de 20%.

#### 3.4.1.2. Etude CC2 «Etude d'impact des changements climatiques sur les rendements agricoles au Maroc » (2009)

- ❑ Zone étudiée : Maroc dans sa globalité, découpée en régions agricoles ;
- ❑ Tronçons concernés : tous ;
- ❑ Type de modélisation : descente d'échelle statistique (SDSM) ;
- ❑ Modèles utilisés : HadCM3 ;
- ❑ Résolution de la maille : 250 km pour HadCM3 et 10 km via SDSM ;
- ❑ Scénarios climatiques : A2 et B2 ;
- ❑ Période de référence : 1961-1990 ;
- ❑ Horizons temporels des projections climatiques : 2030 (2011-2040), 2050 (2041-2070) et 2080 (2071-2099) ;
- ❑ Information sur les paramètres recherchés :

L'étude utilise des travaux de projection et de descente d'échelle statistique antérieurs réalisés par la DMN (projet Banque Mondiale) qui se base sur une méthode de désagrégation spatiale de type statistique (SDSM) alimentée par les données de sortie d'un seul modèle global, à savoir le modèle HadCM3 du Hadley Center.

Le seul paramètre d'intérêt renseigné par l'étude concerne l'évolution de la pluviométrie annuelle à l'échelle du pays et représentée dans la figure 2 ci-dessous.



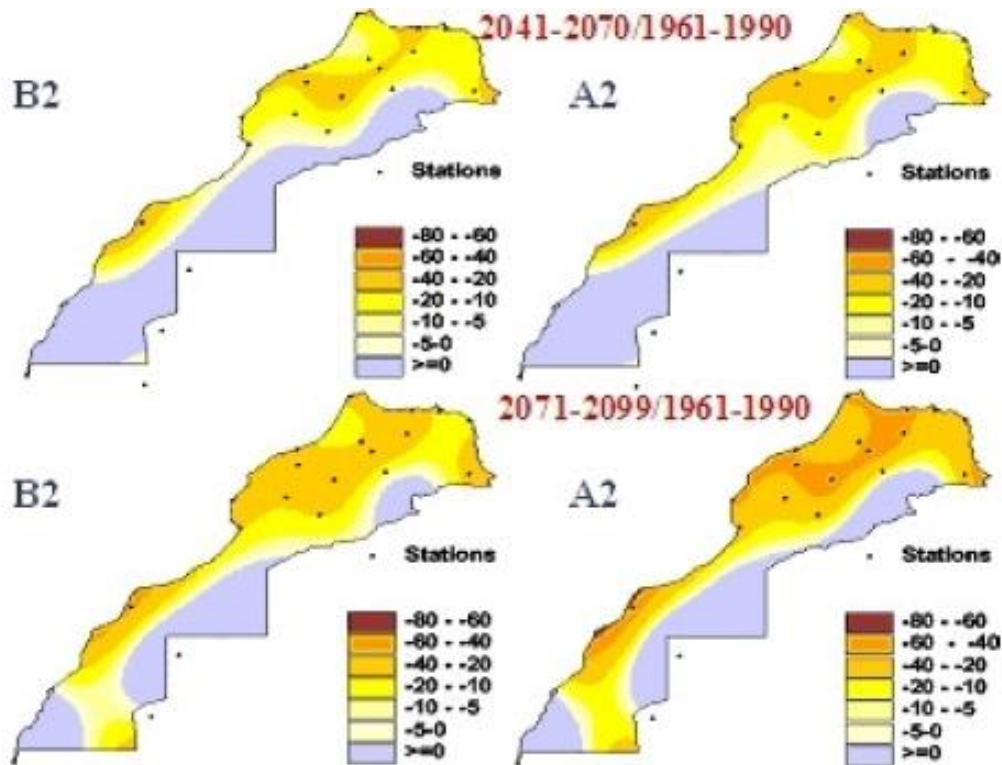


Figure 5 : Anomalies des précipitations par rapport à la période 1961-1990

D'après l'étude, selon le scénario le plus pessimiste (A2), la pluviométrie annuelle baisserait de l'ordre de 20% d'ici 2050 et de 40% à l'horizon 2080, à l'exception de la zone Saharienne où la baisse serait de 16% en 2080. C'est au cours de l'automne et du printemps que la baisse pluviométrique se fera sentir, c'est-à-dire durant les périodes au cours desquelles on enregistre normalement des pics de pluviométrie.

A la lecture de ces cartes, les variations de pluviométrie au niveau des différents tronçons de l'étude se situeraient dans les fourchettes suivantes :

Tableau 19 - Changements projetés de la pluviométrie annuelle par rapport à la période 1961-1990 selon les tronçons

Tronçons	Scénarios et horizons			
	B2		A2	
	2050	2080	2050	2080
DEPTL Chefchaouen – RN2	-10 % à -20 %	-20% à -40 %	- 20 à -40 %	- 40% à - 60%
DPETL Taza - RR 508	-20 % à -40%	-20% à -40%	- 20% à -40%	-40% à - 60%
DEPTL Midelt – RR706	0 à -10 %	-10 % à -40 %	- 10 % à - 20 %	-10 à -40 %
DPETL Taroudant - RR 106	- 5% à ≥0	-10% à -20 %	-0% à -10 %	-10% à -20%

Néanmoins, ces valeurs sont à prendre avec beaucoup de précaution car il s'agit de l'interprétation d'une carte de synthèse somme toute assez peu précise. Il n'a pas été possible d'accéder aux données brutes ayant alimentées cette carte.



### 3.4.1.3. Etude CC7 « Evaluation des changements climatiques futurs au niveau des zones oasiennes marocaines » (2011)

- ❑ Zones étudiées : le "Dir" de l'Anti-Atlas, vallée du Drâa, vallée de l'oued Ziz, Tafilalet et Figuig ;
- ❑ Tronçons concernés : DPETL Midelt - RR706 ;
- ❑ Horizons temporels des projections climatiques : 2021-2050 ;
- ❑ Types de modélisation : Descente d'échelle dynamique et statistique (SDSM forcé par le Modèle Global MCGG3) ;
- ❑ Modèles utilisés:
  - Réduction d'échelle dynamique : ARPEGE-Climat v4 ;
  - Réduction d'échelle statistique : SDSM/MCGG3 pour les stations d'Errachidia (oued Ziz) et Ouarzazate ;
- ❑ Résolution de la maille : comprise entre 50 et 60 km ;
- ❑ Scénarios climatiques : A1B ;
- ❑ Période de référence : 1971-2000 ;
- ❑ Horizons temporels des projections climatiques : 2021-2050 ;
- ❑ Informations sur les paramètres recherchés :

L'étude présente des données pour les paramètres suivants :

  - Variation en % des précipitations moyennes annuelles (mm) ;
  - Pluies journalières extrêmes **pour la saison d'hiver uniquement** (valeurs classées):
    - variation en % du nombre de jours par an où la hauteur de précipitation journalière est supérieure au 90ème centile calculé sur les jours humides de la période de référence (actuelle),
    - variation en % de l'amplitude des événements de forte précipitation, approchée par l'évolution du 90ème centile des valeurs de pluie journalière (mm) par rapport à la période de référence (actuelle).

Le tronçon DEPTL Midelt – RR706 est inclus dans la zone d'étude de la descente dynamique et statistique (station d'Errachidia).

Les résultats sont présentés en delta (différence en % de la valeur du paramètre entre la période future et la période actuelle). Ceux de la descente d'échelle dynamique sont également présentés en carte sur l'ensemble de la zone étudiée.

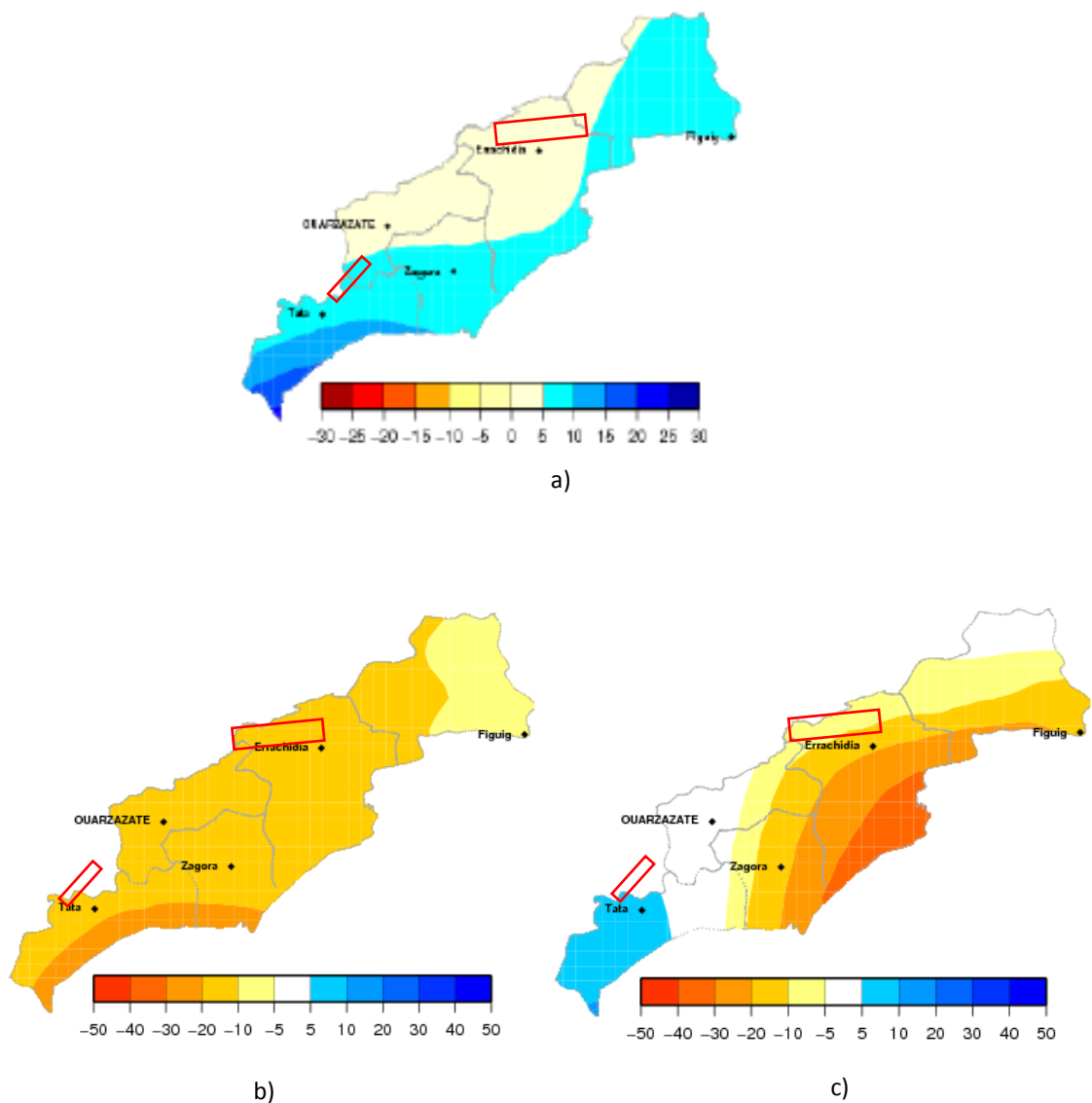


Figure 6 : Variation projetée (en %) sous A1B pour a) la pluie moyenne annuelle, b) le nombre de jours de forte précipitation et c) l'amplitude des événements de forte précipitation

Selon la descente d'échelle dynamique, les paramètres évolueraient de la manière suivante pour le tronçon DEPTL Midelt - RR706 :

- Pluviométrie moyenne annuelle (mm) : -5% à +5% ;
- nombre de jours de fortes précipitations (jr) : -10 à -20% ;
- amplitude des événements de fortes précipitations (mm) : -5 à -10%.

L'étude indique que pour ce tronçon, le nombre d'événements de fortes précipitations pour l'hiver diminuerait de 10 % à 20% en 2035. Quant à leur amplitude, le 90ème centile baisserait en valeur pour le tronçon DEPTL Midelt - RR706 (de 5% à 10%).

Selon la descente d'échelle statistique, les projections à la station d'Errachidia seraient les suivantes :

- ❑ Pluviométrie moyenne annuelle (mm) : - 23 % ;
- ❑ Variation de l'amplitude des évènements de forte précipitation (mm) :
  - Sur l'hiver : +5 % ;
  - Sur l'année : +1 %.

La pluviométrie annuelle connaîtrait une baisse significative alors que l'évolution de l'amplitude des évènements de forte précipitation ne montrerait pas de changement important sur l'année.

En termes de concordance entre les deux approches :

- ❑ l'étude précise que le modèle de descente d'échelle dynamique (ARPEGE-Climat) aurait tendance à sous-estimer l'amplitude des fortes précipitations (vérifications faites à la station d'Ouarzazate) alors que SDSM aurait tendance à surestimer les évolutions de cumuls pluviométriques annuels et saisonniers ;
- ❑ Les deux techniques ne s'accordent pas sur le sens des changements concernant la pluviométrie annuelle dans la région du tronçon DEPTL Midelt - RR706 (pratiquement pas de changement pour ARPEGE et baisse de 23% pour SDSM) ;
- ❑ Il y a également un désaccord notable sur la variation de l'amplitude des évènements de forte précipitation en hiver pour ce tronçon, ARPEGE prévoyant une diminution de -5 à -10% alors que SDSM indique une augmentation de +5% environ.

**Il n'est donc pas possible de conclure entre les deux modèles.**

#### *3.4.1.4. Etude CC8: "Impacts of Climate Change on Water Resource Management and Adaptation Measures in the Oum er Rbia River Basin, Morocco" (2013)*

- ❑ Zones étudiées : National pour la modélisation, Bassin de l'Oum er Bia ;
- ❑ Tronçons concernés : Tous ;
- ❑ Horizons temporels des projections climatiques : 2021-2050 ;
- ❑ Types de modélisation : Descente d'échelle dynamique ;
- ❑ Modèles utilisés : 3 MCG (BCCR, CCSM3, ECHAM5) couplés à 1 Modèle régional (NCAR MM5) ;
- ❑ Résolution de la maille : 18 km ;
- ❑ Scénarios climatiques : A1B et A2 ;
- ❑ Période de référence : 1971-2000 ;
- ❑ Informations sur les paramètres recherchés :

L'étude consiste en un travail très poussé de descente d'échelle dynamique à partir du couplage de 3 modèles globaux avec un modèle régional (MM5). Ce travail a permis de descendre à une échelle fine de 18 km x 18 km, en particulier au-dessus du Haut-Atlas et de l'Oum Er Bia.

Trois tendances à l'échelle du pays se dégagent des sorties des modèles :

- Une baisse de la pluviométrie atteignant son maximum en 2035 et suivie d'une légère hausse à partir de cette date ;
- Une baisse de la pluviométrie continue tout au long du siècle ;
- Une absence de changement notable des précipitations.

Cependant, les cartes produites par l'étude ne permettent pas de situer les tronçons avec la précision nécessaire pour en extraire un jeu de données exploitables. Par ailleurs, à l'échelle régionale, aucun des tronçons ne se situe au sein du bassin de l'Oum Er Bia. Pour celui le plus proche, à savoir le tronçon RR 706, ce dernier se trouve en grande partie, voire en totalité, en dehors du bassin.

#### *3.4.1.5. Etude CC9 « Etude des impacts des changements climatiques sur les ressources hydriques de la région Souss-Massa-Draa » (2013)*

- ❑ Zone étudiée : Région du Souss-Massa ;
- ❑ Tronçon concerné : DPETL Taroudant -RR 106 ;
- ❑ Type de modélisation : Descente d'échelle dynamique ;
- ❑ Modèles utilisés: Modèle régional de la DMN forcé par 3 modèles globaux du CCMA (CA), DMI (DK) and KMNI (NL) ;
- ❑ Résolution de la maille : 44 km x 44 km ;
- ❑ Scénarios climatiques : RCP 4.5 et RCP 8.5 ;
- ❑ Période de référence : 1971-2000 ;
- ❑ Horizons temporels des projections climatiques : 2035 (2021-2050) ;
- ❑ Informations sur les paramètres recherchées :

Les résultats de la régionalisation ont permis d'élaborer plusieurs cartes de variation des précipitations annuelles par sous-bassin. La figure ci-dessous montre un exemple de ces cartes.

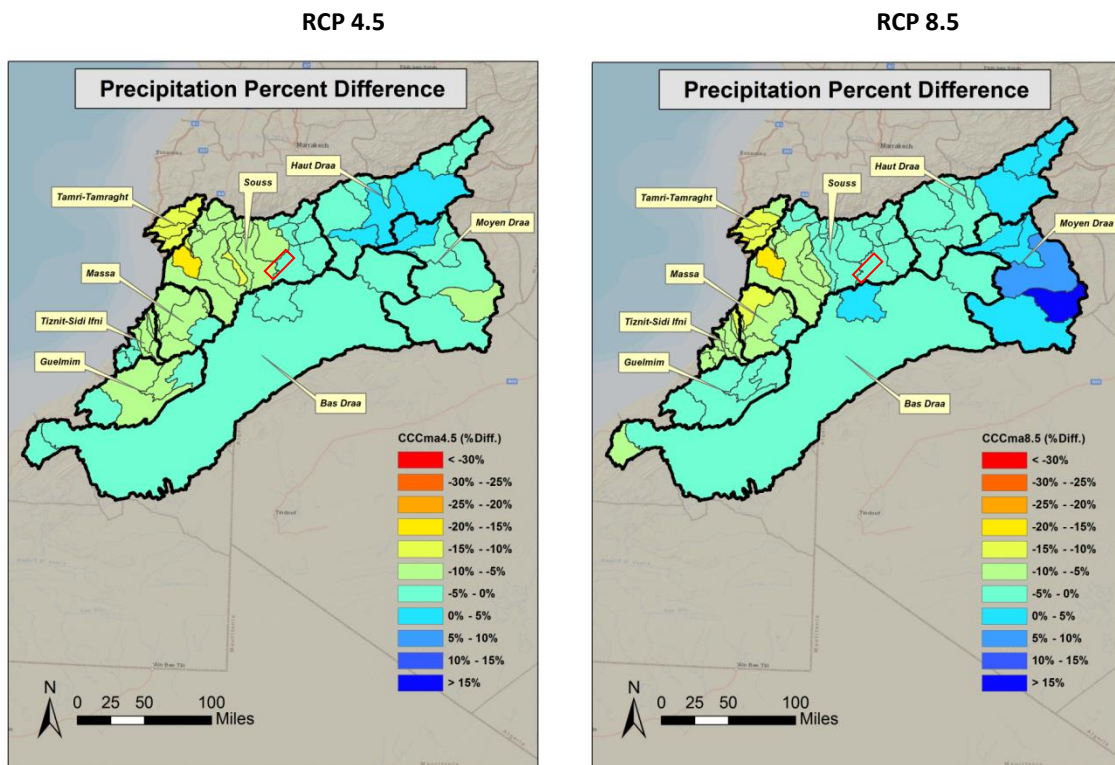


Figure 7 : Carte d’ajustement des précipitations annuelles pour le modèle CCma pour la période 2021-2050

Les simulations montrent des signaux assez différents entre sous-bassins et modèles. D’après la situation du tronçon Taroudant - RR 106 sur les cartes, le tableau de variation qui peut en être déduit est le suivant :

Tableau 20 - Variation des précipitations annuelles selon l’étude MASEN (période 2021-2050)

Tronçon	CCMA		DMI		KNMI	
	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
DEPTL Taroudant - RR 106	-5% à -10 %	0% à -5 %	-20% à -25 %	-25 % à -30 %	-15% à -20%	0% à -5 %

3.4.1.6. Etude CC10 : « Adaptation au changement climatique et aux désastres naturels des villes côtières d’Afrique du Nord – Phase 1 » (2010)

- ❑ Zones étudiées : Casablanca et la vallée de Bouregreg ;
- ❑ Tronçons concernés : aucun ;
- ❑ Type de modélisation : descente d’échelle dynamique ;
- ❑ Modèles utilisés et scénarios associés : modèles climatologiques du projet ENSEMBLE, avec les couples RCM/GCM :
  - CRNM/ARPEGE-Climat, avec les scénarios climatiques du GIEC A1B, A2 et B1,
  - METEO-HC/HadCM3 avec le scénario A1B,
  - MPI-M/ECHAM5 avec le scénario A1B ;
- ❑ Résolution de la maille : 25km ;
- ❑ Horizons temporels des projections climatiques : 2030 (période 2021-2050) ;

- ❑ Période de référence : 1961-2000 ;
- ❑ Données pour la période actuelle :
  - Pluie décennale journalière et pluie moyenne journalière pour les périodes de retour 10, 20, 50 et 100 ans,
  - IDF pour les périodes 1960-2004 et 1960-1987 pour les périodes de retour 5, 10, 20 et 50 ans et aux pas de temps 30, 60, 120 et 240 mn ;
- ❑ Données de projections climatiques :
  - Pluie journalière extrême en comparant les périodes 2021-2050 et 1960-2000, pour les périodes de retour 10, 20, 50 et 100 ans,
  - Amplitude de précipitation quotidienne (intervalle de confiance 95%) pour les périodes de retour 10, 20, 50 et 100 ans ;
- ❑ Information sur les paramètres recherchés :

Cette étude ne porte pas sur les tronçons sélectionnés et par conséquent ne présente pas de données directement exploitables. Elle comporte en revanche une analyse des effets du changement climatique sur le risque inondation et plus généralement sur l'intégrité et la fonctionnalité des infrastructures urbaines. Elle apporte également un éclairage sur les choix méthodologiques ayant sous-tendu la quantification de ce risque et l'intégration des résultats des modèles dans le calcul des courbes IDF. Pour celles-ci, du fait de l'impossibilité des modèles de prévoir l'évolution des caractéristiques de la pluie à un pas de temps inférieur à 24h (pluies horaires et infra-horaires), les auteurs de l'étude ont fait l'hypothèse que les caractéristiques des pluies à pas de temps fin évoluaient selon le même ratio que les pluies journalières.

### 3.4.1.7. Synthèse

Le tableau ci-dessous récapitule les données d'intérêt disponibles dans chacune des études analysées.

Tableau 21 - Synthèse de l'analyse bibliographique

Etudes	Tronçons	Pluie annuelle	Pluie journalière maxi-annuelle	Courbes IDF	Jours de neige par an	Période maximale de neige par an
CC1	Tous	X				
CC2	Tous	X				
CC7	DPETL Midelt-RR706	X	X (90ème centile sur l'hiver et sur l'année pour Midelt)			
CC8	Tous	X				
CC9	Tous (avec zoom sur DPETL Taroudant -RR 106)	X				
CC10	Aucun	X	X	X		

### LA PLUVIOMETRIE ANNUELLE

A la lecture des différentes études, on note une bonne convergence sur le sens des changements attendus aux horizons 2035 et 2050 pour l'ensemble des tronçons. **L'évolution de la pluviométrie prédite par les études est clairement à la baisse.** Néanmoins, l'ampleur de cette baisse varie assez fortement en fonction des modèles et des scénarios considérés. Les prévisions de SDSM semblent indiquer des baisses plus fortes (-10 à -40%) que celles données par MAGICC-Schengen ou ARPEGE qui donnent des résultats relativement concordants sur le tronçon de Midelt (diminution assez faible en 2035 et 2050). Plusieurs tendances sur le rythme de cette diminution ressortent également de l'étude sur l'Oum Er Rbia (CC8).

Il est difficile de dire quelle projection est la plus fiable, n'ayant pas eu accès au test de calibrage des modèles par rapport à la climatologie actuelle. A ce sujet, il est communément admis que la modélisation des précipitations est très souvent beaucoup moins robuste que celle des températures et que des marges d'erreurs importantes résident dans les sorties de modèle. Ainsi, la DMN semble indiquer dans son étude sur les régions oasiennes, que SDSM a tendance à surestimer la modélisation des cumuls pluviométriques annuels (de 7 à 14% en fonction des stations) ce qui laisserait entendre que les variations de prévision présentées plus haut pour les deux tronçons du Sud, prévisions déjà très marquées par rapport aux autres résultats, pourraient encore être plus importantes.

### LES PRECIPITATIONS EXTREMES

Concernant les indices liés aux précipitations extrêmes, à défaut d'autres données pour le tronçon de Midelt, il semble indiqué de retenir les projections de la DMN réalisées pour les Oasis, d'autant plus que les prévisions de pluviométrie annuelle concordent avec les résultats des autres études. Pour l'amplitude des pluies extrêmes en hiver, il n'y a pas de consensus sur le sens des variations. Il semble cependant préférable de retenir les résultats de la descente dynamique qui recouvrent bien le tronçon et reproduisent généralement mieux les états climatiques locaux.

### CONCLUSION

Seules les données contenues dans les études CC7 et CC9 présentent un degré de précision suffisant permettant leur exploitation aux fins de l'étude. Ces données sont par ailleurs issues de modélisation régionale dynamique dont l'utilisation nous semble préférable à celle des méthodes statistiques, et ce pour plusieurs raisons :

- D'abord par ce que la modélisation régionale rend mieux compte des processus physiques et notamment de l'influence du relief sur les états climatiques locaux ;
- Ensuite par ce que l'hypothèse de stationnarité et de permanence dans le futur d'une relation statistique entre états globaux et locaux est remise en question par plusieurs études sur le Maroc, notamment celle sur l'Oum Er Rbia (CC8).

Nous retiendrons donc uniquement ces deux études pour renseigner sur l'évolution de la pluviométrie au droit des tronçons RR706 et RR106.

D'une manière générale, si l'analyse des données bibliographiques apporte certaines informations utiles, celles-ci ne couvrent pas tous les paramètres recherchés et portent principalement sur les tronçons précités.

Il semble donc pertinent de compléter cette analyse par l'exploitation des données de deux portails d'information en ligne: Climate Wizard (CW) (issu d'un partenariat entre plusieurs universités américaines et la Banque Mondiale) et Climate Information Portal (CIP) de l'Université du Cap. Ces deux outils reposent sur des projections "multi-modèles" mobilisant tant les modèles CMIP3 que ceux du CMIP5. Ces plateformes couvrent l'ensemble de la surface du globe, et permettent, via des

méthodes de descente d'échelle statistique éprouvées, de "zoomer" à haute résolution sur les différents tronçons sélectionnés ou sur les stations de la DMN les plus proches. Ces méthodes ne remplacent pas totalement les méthodes de régionalisation dynamique mais offrent néanmoins un degré de fiabilité acceptable, du fait notamment de l'utilisation d'un grand nombre de couples modèles-scénarios.

### 3.4.2. Données issues des portails d'information climatique

#### 3.4.2.1. Présentation des portails

##### **CLIMATE WIZARD**

Climate Wizard est une plateforme de données climatologiques en ligne disponible à partir du portail de la Banque Mondiale (<http://sdwebx.worldbank.org/climateportal/>). Cet outil qui permet de réaliser des analyses à partir à la fois de données historiques et de données de projections futures en fonction des scénarios d'émissions B1 (optimiste), A1B (intermédiaire) et A2 (pessimiste). Climate Wizard (CW) est la version pour le globe d'une plateforme Nord-Américaine initialement développée par le Nature Conservancy. CW comprend neuf des seize modèles de circulation générale du CMIP3 utilisés dans la version Nord-Américaine et permet ainsi de fournir un éventail de résultats possibles en termes de changements absolus ou en pourcentage sur une base annuelle, saisonnière ou mensuelle. Plusieurs indices thermiques, pluviométriques et environnementaux sont proposés. Dans le cas de notre étude, nous avons retenu les paramètres suivants :

- Précipitation totale annuelle ;
- Précipitation journalière moyenne annuelle.

##### **CLIMATE INFORMATION PORTAL**

Le Climate Information Portal ([www.cip.csag.uct.ac.za](http://www.cip.csag.uct.ac.za)) est un outil développé par le Climate System Analysis Group de l'Université du Cap. Il couvre uniquement l'Afrique et fournit des données d'observation du climat pour les principales stations météorologiques du continent, y compris le Maroc. Des séries chronologiques de projections issues de dix MCG CMIP5 sont également disponibles pour ces stations. Ces projections sont produites à partir d'une méthode de descente d'échelle statistique appelée "Self-Organizing Map Downscaling (SOMD)" et développée par l'Université du Cap. Les modèles compris dans le CIP sont listés en Annexe 2 – Données complémentaires sur le Changement Climatique. Dans le cas de notre étude, nous avons retenu les paramètres suivants :

- Précipitation totale mensuelle (pour reconstituer la Précipitation totale annuelle) ;
- Précipitation journalière maximale.

##### **RESOLUTION SPATIALE :**

L'outil CIP, fournit des données aux stations et non par maille de modèles. Les stations suivantes de référence ont été retenues :

- Al Hoceima ;
- Taza ;
- Errachidia ;
- Agadir.



Le portail CW permet quant à lui de travailler par maille interpolée de GCM. L'outil utilise une fonction statistique qui permet de créer à partir des grandes mailles des GCM des mailles de plus petite taille (1/8 des mailles initiales). Pour chacun des tronçons, ceux-ci ont été cartographiés sur le site du CW afin d'isoler les mailles correspondantes. En annexe sont présentées la position des différents tronçons par rapport aux mailles fournies par l'outil. Les valeurs données pour le tronçon sont une moyenne des valeurs de chaque maille. L'outil n'indique pas si cette moyenne est pondérée en fonction de la surface occupée par le tronçon au sein d'une maille.

#### SCENARIOS D'EMISSION

L'analyse s'est concentrée sur les scénarios A1B et A2, c'est-à-dire les scénarios intermédiaires et pessimistes. Le scénario B1 n'a pas été pris en compte car il est considéré comme caduque au regard du niveau de CO2 déjà émis dans l'atmosphère.

#### PARAMETRES DISPONIBLES

Les paramètres issus de l'outil CIP correspondent aux horizons temporels 2035 (2024-2045) et 2050 (2039-2060). La période de référence est 1979-1999. Les scénarios utilisés sont issus de CMIP 5 et sont le RCP 4.5 et 8.5. Les valeurs utilisées sont mensuelles. Pour chaque mois, on a la moyenne du paramètre sur l'ensemble de la période considérée (par exemple la valeur en janvier pour l'horizon 2035 sera la moyenne des mois de janvier de chaque année de 2024 à 2045). Le cumul annuel a ainsi pu être reconstitué, en additionnant les valeurs des douze mois pour chaque année. Les résultats sont présentés sous forme d'anomalies pour chaque horizon. Il s'agit de la différence en valeur entre la moyenne sur 21 ans d'un horizon donné et la moyenne sur la période de référence. Les paramètres donnés par l'outil sont :

- ❑ Précipitation totale mensuelle pour les deux scénarios (en mm)

Noté TRm (total monthly rainfall)

Les résultats sont présentés sous forme de :

- Tableau des cumuls annuels avec le 10ème percentile, la médiane et le 90ème percentile de l'ensemble des modèles en anomalies (différence), afin notamment d'éliminer les valeurs trop extrêmes. Le premier tableau est exprimé en mm, le deuxième est en pourcentage. Il faut noter que ces valeurs sont calculées d'après la distribution des projections de l'ensemble des modèles, il ne s'agit pas directement des résultats des modèles ;
- Graphique avec les valeurs mensuelles absolues de la période historique (barre grise), valeur de chaque modèle (courbes grises), dispersion de 80% des modèles (barre, bleue s'il s'agit d'une augmentation, rouge s'il s'agit d'une baisse) également pour ne pas prendre en considération les valeurs extrêmes.

- ❑ Précipitation journalière maximale uniquement pour le RCP 8.5 (en mm)

Noté MRd (maximum daily rainfall)

Les résultats sont présentés sous forme de tableau présentant les variations des hauteurs de précipitations journalières maxi-annuelles résultant des analyses statistiques effectuées d'une part, pour la période de référence simulée et d'autre part, pour les deux horizons futurs 2025 et 2045. Les ajustements statistiques réalisés sont identiques aux ajustements statistiques effectués sur les chroniques historiques (valeurs observées aux postes de mesure) : ajustement de la loi de Gumbel avec estimation des paramètres selon la méthode des moments.

Les différentes chroniques ont été définies à partir de la sélection, pour chaque modèle et pour chaque année, de la hauteur maximale mensuelle.

Les paramètres issus de l'outil CW correspondent aux horizons temporels 2055 (2046-2065) et 2090 (2081-2100). La période de référence est (1961-1990). Les scénarios utilisés sont issus du CMIP3 et sont l'A1B et l'A2. Les paramètres sont présentés en valeurs annuelles, sous forme de valeurs absolue ou d'anomalies. On dispose également de la p value<sup>2</sup>, qui correspond à un seuil statistique de significativité du changement projeté. Si la p value est inférieure à ce seuil, on considère qu'il y a une tendance réelle, c'est-à-dire que la différence entre la période actuelle et future est significative. Si la valeur est supérieure, on ne peut pas conclure sur la significativité statistique de l'évolution. Cela ne signifie pas que le changement climatique n'aura pas d'effet sur le paramètre considéré, mais que la différence calculée entre la période actuelle et le futur n'est pas significative d'un point de vue statistique. Pour les deux scénarios, les paramètres donnés par l'outil sont :

- ❑ Précipitation totale annuelle pour les deux scénarios (en mm) : Noté TR (total rainfall) ;
- ❑ Précipitation journalière moyenne annuelle des jours humides, c'est-à-dire pour lesquels la hauteur est supérieure à 1 mm, pour les deux scénarios (en mm) : Noté DR (daily rainfall).

Pour les deux paramètres, les résultats sont présentés sous forme de :

- ❑ Tableaux avec le 10<sup>ème</sup> percentile (10<sup>ème</sup> p), la médiane (med) et le 90<sup>ème</sup> percentile (90<sup>ème</sup> p) de l'ensemble des modèles pour la moyenne par horizon (sur 20 ans) en anomalie. Le premier tableau est exprimé en mm, le deuxième est en pourcentage. Il faut noter que ces valeurs sont calculées d'après la distribution des projections de l'ensemble des modèles, il ne s'agit pas directement des résultats des modèles ;
- ❑ Graphique avec les valeurs absolues de chaque modèle (courbes en couleur) et la moyenne lissée sur 5 ans de l'ensemble (courbe noire) ;
- ❑ Carte avec l'anomalie médiane de l'ensemble des modèles ;
- ❑ Diagramme en boîte des anomalies avec les 20<sup>ème</sup> et 80<sup>ème</sup> percentiles (rectangle coloré), la médiane (barre noire au centre du rectangle), le minimum et le maximum (petites barres noires à l'extérieur du rectangle) ;
- ❑ Diagramme en boîte de la p value avec 20<sup>ème</sup> et 80<sup>ème</sup> percentiles (rectangle coloré), la médiane (barre noire au centre du rectangle), le minimum et le maximum (petites barres noires à l'extérieur du rectangle), et la limite de significativité de -1,3 (ligne en pointillée). Ainsi, pour que les projections soient significatives, il faut que la p value soit inférieure à 0,05, soit -1,3 en logarithme de base 10 (unité du graphique).

#### ANALYSE ET INCERTITUDE

Il y a une incertitude sur chaque valeur, du fait des propriétés des différents modèles (conditions initiales, lois physiques représentant le climat, etc.). Utiliser une seule valeur introduirait donc un biais important dans les conclusions de l'analyse. Afin de minimiser cette incertitude, on considère les résultats d'un ensemble de modèles et on analyse leur convergence et leur dispersion. Les valeurs extrêmes sont généralement écartées car on les considère comme peu fiables (minimum et maximum). Afin de pouvoir étudier les évolutions extrêmes possibles, on considère le 10<sup>ème</sup> et le 90<sup>ème</sup> percentiles

<sup>2</sup> La p value décrit la probabilité que les projections futures soient différentes du passé en utilisant un test de Student. Les statistiques classiques interprètent généralement des p values de 0,1, 0,05 et 0,01 comme étant respectivement « légèrement significative », « significative » et « très significative ». Une p value significative indique qu'il y a 95%  $([1-0,05]*100\%)$  de certitude que l'évolution des données ne soit pas due au hasard. Par conséquent, plus la p value est faible, plus on peut interpréter les tendances des projections futures comme fortes. La p value ne renseigne pas sur la certitude d'occurrence des projections futures, puisque différents modèles peuvent calculer différents degrés de changement. De plus, le test de Student suppose que la distribution des séries futures et présentes est normale, ce qui peut ne pas être le cas selon la variable climatique. (GIVERTZ et al., 2013)

de l'ensemble des résultats. Enfin, la médiane permet de situer ces extrêmes par rapport à l'ensemble de la distribution des résultats des projections. Ces trois valeurs permettent ainsi de prendre en compte l'incertitude inter-modèles.

### 3.4.2.2. Analyse et interprétation des données

Les résultats des principaux graphiques seront décrits dans ce qui suit, pour plus de précision, il faut se reporter aux annexes, où des graphiques complémentaires sont présentés.

#### 3.4.2.2.1. Tronçon Chefchaouen – RN2

##### OUTIL CIP – STATION D'AL HOCEIMA

Pour ce tronçon, ce sont les projections à la station d'Al Hoceima qui ont été analysées.

##### PRECIPITATION TOTALE ANNUELLE (RECONSTITUEE) :

La valeur absolue de précipitation totale annuelle sur la période actuelle est d'environ 275mm.

Tableau 22 – RN2 – CIP - Pan

TRm (mm)	2025-2045			2040-2060		
	10ème p	med	90ème p	10ème p	med	90 ème p
RCP 4.5	-35,43	-20,71	-4,97	-41,71	-36,04	-15,72
RCP 8.5	-39,58	-26,86	-1,80	-59,43	-28,08	-17,91

TRm (%)	2025-2045			2040-2060		
	10ème p	med	90ème p	10ème p	med	90 ème p
RCP 4.5	-15,04	-9,82	-2,06	-17,69	-15,15	-7,06
RCP 8.5	-17,11	-11,14	-0,85	-24,73	-11,53	-7,22

Une majorité de modèles s'accorde sur une baisse de la pluviométrie pour une majeure partie des mois de l'année. Cela concorde avec l'évolution des cumuls annuels, qui indique une baisse de 15 à 41 mm (7 à 17%) selon le scénario 4.5 à l'horizon 2050, et de 17 à 59 mm (7 à 22%) pour le 8.5.

##### PRECIPITATION JOURNALIERE MAXI-ANNUELLE :

Le tableau suivant présente les résultats des variations des précipitations journalières maxi-annuelles par rapport à la période de référence 1979-1999, pour chacun des 11 modèles, pour les deux paramètres suivants : les valeurs moyennes (valeur moyenne des précipitations journalières maxi-annuelles sur les 21 années) et les valeurs maximales ou extrêmes de précipitations (valeur maximale des précipitations journalières maxi-annuelles sur les 21 années). En annexe, figure les résultats des ajustements statistiques des chroniques actuelles reconstituées par les modèles et des chroniques futures.

Tableau 23 – RN2 – CIP - Pjmax

## RN2 - Poste d'AL HOCEIMA

Variations des précipitations journalières maxi-annuelles par rapport à la période de référence 1979-1999

		Modèles										
		MIROC-ESM	CNRM-CM5	CanESM2	FGOALS-s2	BNU-ESM	MIROC5	GFDL-ESM2G	MIROC-ESM-CHEM	GFDL-ESM2M	MRI-CGCM3	bcc-csm1_1
Horizon 2035 (2025-2045)	Valeurs moyennes	-13.1%	-23.9%	-9.7%	-17.6%	-2.4%	-26.8%	-5.0%	-19.1%	-43.5%	26.9%	-29.5%
	Valeurs maximales	69.7%	-0.1%	1.2%	-34.9%	2.3%	-38.4%	-8.2%	-9.5%	-47.1%	86.8%	-2.4%
Horizon 2050 (2040-2060)	Valeurs moyennes	-15.3%	-12.4%	-8.3%	-0.2%	-9.0%	-22.1%	-12.3%	-33.4%	-33.1%	31.8%	-16.8%
	Valeurs maximales	5.8%	-2.2%	-0.9%	-1.8%	-8.5%	-0.8%	-17.9%	-29.8%	0.1%	100.5%	3.0%

 médiane

De ce tableau, il ressort les constatations suivantes :

- **Globalement, on observe une diminution des moyennes des hauteurs des précipitations journalières maxi-annuelles** pour les deux horizons ; cette diminution est en moyenne de -17,6% à l'horizon 2035 et de -12,4% à l'horizon 2050. Cependant, cette diminution est moindre pour l'horizon 2050. A noter qu'un seul modèle sur les 11 donne une augmentation des moyennes des hauteurs des précipitations journalières maxi-annuelles pour les deux horizons, il en ressort que la tendance globale est à une légère baisse de l'ordre de -15% ;
- Pour ce qui concerne les **extrêmes de précipitations** (valeurs maximales des précipitations journalières maxi-annuelles sur les périodes simulées), pour les deux horizons 2035 et 2050, on observe **en moyenne une très légère diminution des hauteurs de précipitations : -2,4 à -0,9%.** Sachant que 4 modèles sur 11 donnent une augmentation des extrêmes de précipitation et que la dispersion est très importante, aucune tendance à la baisse ou à la hausse ne se dégage.

## OUTIL CW – AU DROIT DU TRONÇON

PLUIE TOTALE ANNUELLE :

Tableau 24 – RN2 – CW - Pan

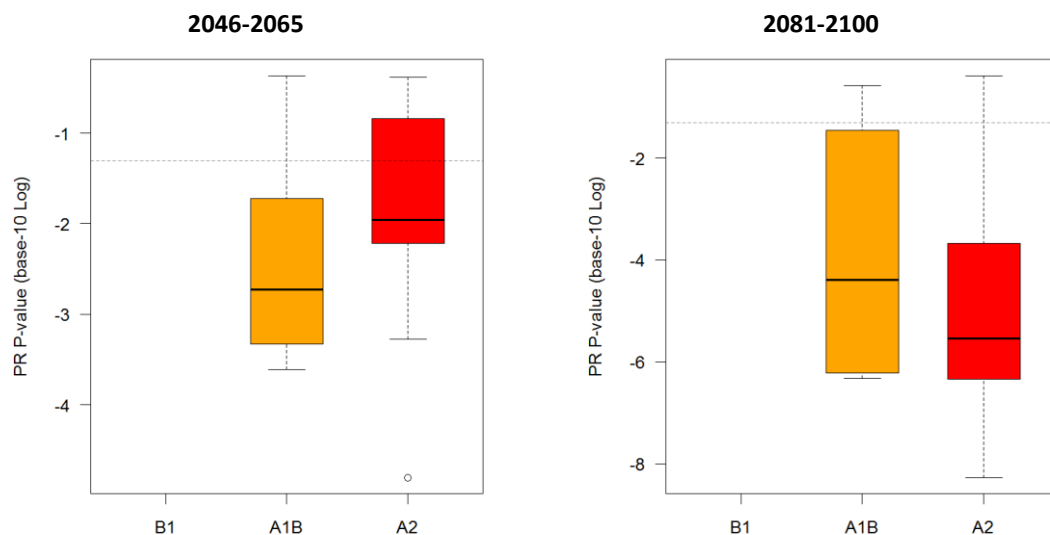
TR (mm)	2046-2065			2081-2100		
	10 <sup>ème</sup> p	med	90 <sup>ème</sup> p	10 <sup>ème</sup> p	med	90 <sup>ème</sup> p
A2	-351,28	-193,13	-130,09	-483,53	-448,18	-123,55
A1B	-324,53	-282,62	-149,85	-452,15	-360,84	-46,29

TR (%)	2046-2065			2081-2100		
	10 <sup>ème</sup> p	med	90 <sup>ème</sup> p	10 <sup>ème</sup> p	med	90 <sup>ème</sup> p
A2	-39,37	-21,03	-14,14	-52,98	-51,00	-14,02
A1B	-36,18	-32,02	-16,67	-50,59	-41,31	-4,68

Les deux scénarios présentent une baisse des précipitations annuelles aux deux horizons pour au moins 90% des modèles.

Pour le scénario A1B, l'évolution médiane des précipitations est d'environ -280 (-32%) mm à l'horizon 2055, et de -360 (-41%) à l'horizon 2090.

Pour le scénario A2, la baisse médiane est moins importante à l'horizon 2055, avec environ -190 mm (-21%), mais plus importante à l'horizon 2090, avec environ -450 mm (-51%).



A l'horizon 2055, on constate que pour le scénario A1B, 90% des modèles prévoient une diminution significative des pluies totales annuelles. Pour l'A2, au moins 50% des modèles prévoient une baisse significative.

A l'horizon 2090, 90% des modèles prévoient une baisse significative pour les deux scénarios.

#### PLUIE JOURNALIERE MOYENNE ANNUELLE :

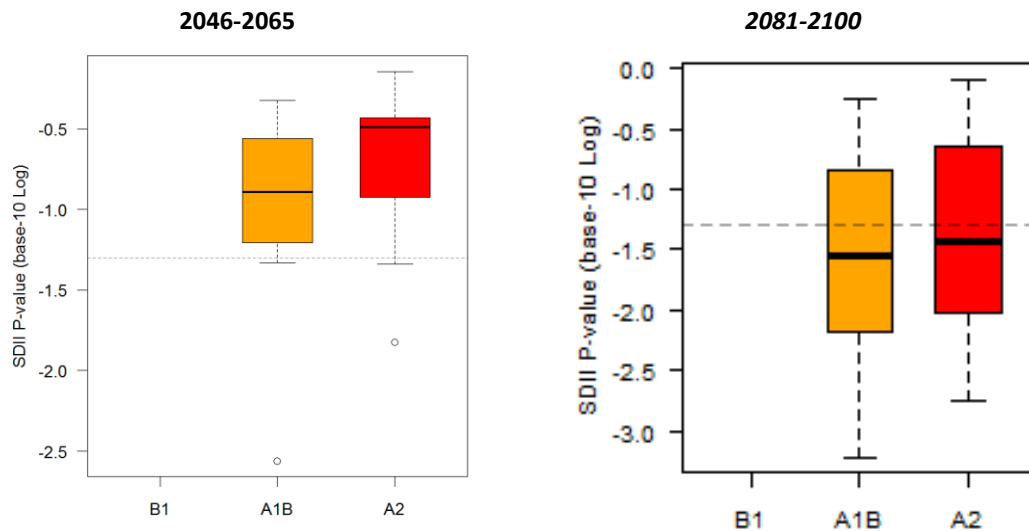
Tableau 25 – RN2 – CW - Pjmoy

DR (mm)	2046-2065			2081-2100		
	10 <sup>ème</sup> p	med	90 <sup>ème</sup> p	10 <sup>ème</sup> p	med	90 <sup>ème</sup> p
A2	-1,46	-0,72	0,80	-2,35	-1,58	1,42
A1B	-1,52	-1,26	0,73	-2,13	-1,53	2,06

DR (%)	2046-2065			2081-2100		
	10 <sup>ème</sup> p	med	90 <sup>ème</sup> p	10 <sup>ème</sup> p	med	90 <sup>ème</sup> p
A2	-13,12	-6,36	7,01	-21,00	-13,87	12,19
A1B	-13,67	-11,14	6,25	-18,94	-13,53	18,01

A l'horizon 2055, le scénario A1B prévoit une baisse de la pluie journalière médiane de moins de 1,5 mm (-11%). L'A2 prévoit une baisse plus faible de moins de 1 mm (-6%). Cependant, certains modèles prévoient une légère augmentation.

A l'horizon 2090, la baisse prévue selon les deux scénarios est d'environ -1,5 mm (-13%). Cependant certains modèles prévoient une augmentation du même ordre de grandeur, voir supérieure pour le A1B (2 mm pour le 90ème percentile).



D'après les graphiques de p value, on constate que pour les deux scénarios, à l'horizon 2055, l'évolution des pluies journalières moyennes n'est pas significativement différente du présent.

A l'horizon 2090, au moins 50% des modèles prévoient une tendance significativement différente du présent.

## 3.4.2.2.2. Tronçon Midelt – RR 706

**OUTIL CIP – STATION D'ERRACHIDIA**

Pour ce tronçon, ce sont les projections à la station d'Errachidia qui ont été utilisées.

**PRECIPITATION TOTALE ANNUELLE :**

La valeur absolue de précipitation annuelle sur la période actuelle est d'environ 110 mm.

Tableau 26 – RR706 – CIP - Pan

TRm (mm)	2025-2045			2040-2060		
	10ème p	med	90ème p	10ème p	med	90 ème p
RCP 4.5	-16,54	-5,53	7,97	-27,63	-10,44	1,89
RCP 8.5	-23,91	-11,69	14,29	-31,83	-13,03	8,60

TRm (%)	2025-2045			2040-2060		
	10ème p	med	90ème p	10ème p	med	90 ème p
RCP 4.5	-14,62	-5,61	7,12	-24,42	-11,41	1,69
RCP 8.5	-21,17	-10,47	12,83	-28,19	-12,88	7,72

A l'horizon 2035, au moins 50% des modèles prévoient une diminution de la précipitation annuelle pour les deux scénarios, avec une valeur médiane d'environ -5 mm (-5%) pour le RCP 4.5 et de -11 mm (-10%) pour le RCP 8.5. Cependant certains modèles prévoient une augmentation. Cela concorde avec l'évolution des précipitations mensuelles qui ne présente de tendance particulière sur l'ensemble de l'année (voir Annexe 2).

A l'horizon 2050, au moins 50% des modèles prévoient une diminution pour les deux scénarios, elle est un peu plus importante : - 10 mm (-11%) pour le RCP 4.5 et -13 mm (-12%) pour le RCP 8.5. Cela concorde avec les résultats mensuels, qui prévoient une baisse pour une majorité de mois. Cependant, certains modèles prévoient encore une augmentation.

**PRECIPITATION JOURNALIERE MAXI-ANNUELLE :**

Le tableau suivant présente les résultats des variations des précipitations journalières maxi-annuelles par rapport à la période de référence 1979-1999, pour chacun des 11 modèles, pour les deux paramètres suivants : les valeurs moyennes (valeur moyenne des précipitations journalières maxi-annuelles sur les 21 années) et les valeurs maximales ou extrêmes de précipitations (valeur maximale des précipitations journalières maxi-annuelles sur les 21 années). En annexe, figure les résultats des ajustements statistiques des chroniques actuelles reconstituées par les modèles et des chroniques futures.

Tableau 27 – RR706 – CIP - Pjmax

**RR706 - Poste d'ERRACHIDIA**  
**Variations des précipitations journalières maxi-annuelles par rapport à la période de**  
**référence 1979-1999**

		Modèles										
		MIROC-ESM	CNRM-CM5	CanESM2	FGOALS-s2	BNU-ESM	MIROC5	GFDL-ESM2G	MIROC-ESM-CHEM	GFDL-ESM2M	MRI-CGCM3	bcc-csm1.1
Horizon 2035 (2025-2045)	Valeurs moyennes	-12.1%	1.4%	0.5%	-17.8%	-21.1%	26.7%	17.4%	-0.6%	-22.9%	-9.5%	-15.6%
	Valeurs maximales	-51.4%	42.8%	-31.3%	-27.3%	-31.3%	46.3%	99.5%	-31.0%	-20.8%	-32.2%	3.1%
Horizon 2050 (2040-2060)	Valeurs moyennes	-12.8%	-16.2%	17.8%	-11.9%	-16.0%	35.7%	11.3%	2.8%	-15.0%	-4.0%	-10.6%
	Valeurs maximales	-51.4%	-29.1%	-32.8%	-27.3%	-0.2%	46.3%	0.8%	-31.0%	-25.1%	1.5%	-2.9%

 médiane

De ce tableau, il ressort les constatations suivantes :

- **Globalement, on observe une légère diminution des moyennes des hauteurs des précipitations journalières maxi-annuelles** pour les deux horizons ; cette diminution est en moyenne de -9,5% à l'horizon 2035 et de -10,6% à l'horizon 2050. Sachant que 4 modèles sur les 11 donnent une augmentation des moyennes des hauteurs des précipitations journalières maxi-annuelles pour les deux horizons, aucune tendance significative à la baisse ou à la hausse ne se dégage ;
- Pour ce qui concerne les **extrêmes de précipitations** (valeurs maximales des précipitations journalières maxi-annuelles sur les périodes simulées), pour les deux horizons 2035 et 2050, on observe **en moyenne une diminution significative des hauteurs de précipitations, de l'ordre de – 25%**. Sachant que 3 (horizon 2050) ou 4 modèles (horizon 2035) sur les 11 modèles donnent une augmentation des extrêmes de précipitations et que la dispersion est très importante, aucune tendance à la hausse ou à la baisse ne se dégage ;

#### OUTIL CW – AU DROIT DU TRONÇON

PLUIE TOTALE ANNUELLE :

Tableau 28 – RR706 – CW - Pan

TR (mm)	2046-2065			2081-2100		
	10 <sup>ème</sup> p	med	90 <sup>ème</sup> p	10 <sup>ème</sup> p	med	90 <sup>ème</sup> p
A2	-120,13	-64,45	-14,80	-148,39	-115,01	-14,92
A1B	-96,28	-74,78	-52,96	-134,99	-88,02	-17,28

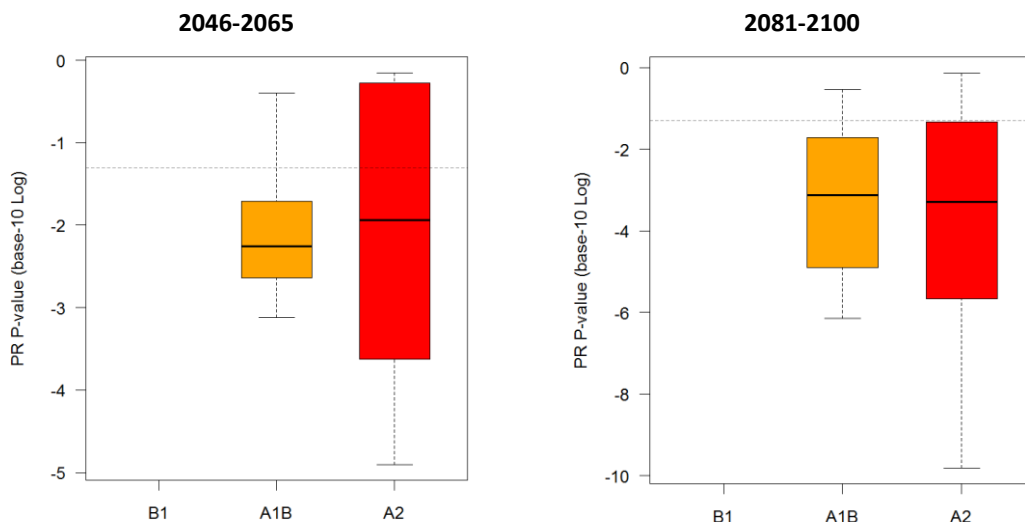
TR (%)	2046-2065			2081-2100		
	10 <sup>ème</sup> p	med	90 <sup>ème</sup> p	10 <sup>ème</sup> p	med	90 <sup>ème</sup> p
A2	-48,30	-24,51	-5,96	-58,72	-46,33	-5,59
A1B	-38,67	-29,74	-20,34	-52,16	-34,57	-5,81



Les deux scénarios présentent une baisse des précipitations annuelles aux deux horizons pour au moins 90% des modèles.

Pour le A1B, l'évolution médiane des précipitations est d'environ -74 mm (-29%) à l'horizon 2055 et de -88 mm (-34%) à l'horizon 2090.

Pour l'A2, la baisse médiane est moins importante à l'horizon 2055, avec environ -64 mm (-24%), mais plus importante à l'horizon 2090, avec environ -115 mm (-46%).



A l'horizon 2055, d'après le graphique de p value, on constate que pour le scénario A1B, 90% des modèles prévoient une diminution significative des pluies totales annuelles. Pour l'A2, au moins 50% des modèles prévoient une baisse significative.

A l'horizon 2090, 90% des modèles prévoient une baisse significative pour les deux scénarios.

## PLUIE JOURNALIERE MOYENNE ANNUELLE :

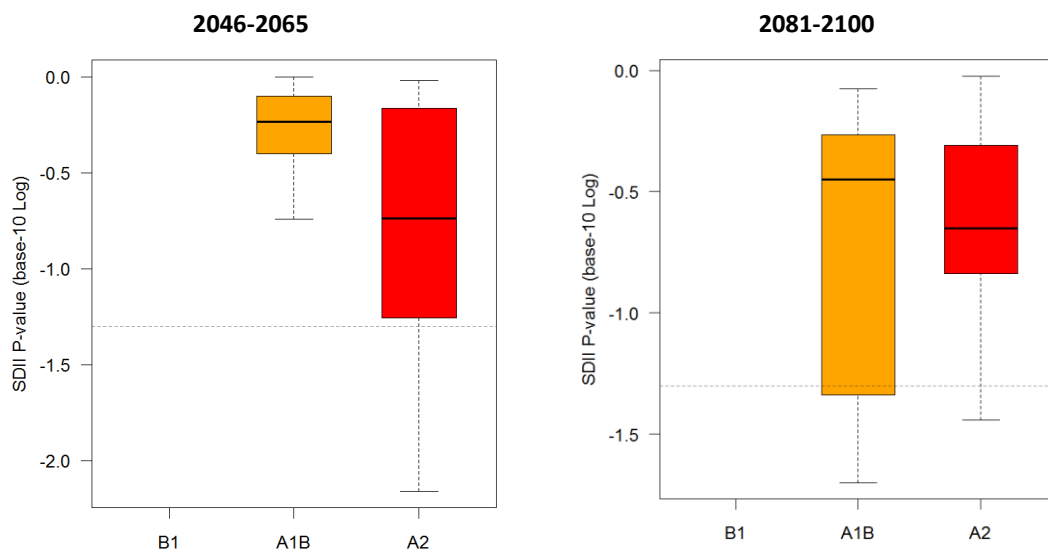
Tableau 29 – RR706 – CW - Pjmoy

DR (mm)	2046-2065			2081-2100		
	10 <sup>ème</sup> p	med	90 <sup>ème</sup> p	10 <sup>ème</sup> p	med	90 <sup>ème</sup> p
A2	-0,79	0,14	0,66	-0,42	0,50	0,92
A1B	-0,47	-0,10	0,26	-0,65	-0,09	0,74

DR (%)	2046-2065			2081-2100		
	10 <sup>ème</sup> p	med	90 <sup>ème</sup> p	10 <sup>ème</sup> p	med	90 <sup>ème</sup> p
A2	-15,43	2,74	12,99	-8,20	9,74	17,61
A1B	-9,37	-2,03	5,01	-12,61	-1,81	14,63

A l'horizon 2055, le scénario A1B prévoit une variation de 90% des modèles inférieure à  $\pm 0,5$  mm (de -10 à +5%) avec une médiane négative mais très proche de zéro (-2%). Le scénario A2 prévoit une variation médiane positive mais très proche de zéro (+2%), 90% des modèles prévoit une variation inférieure à  $\pm 1$  mm (-15 à +13%). Il n'y a donc pas de tendance évidente.

A l'horizon 2090, le scénario A1B prévoit une évolution médiane négative mais également très proche de zéro (-1%). 90 % de la variation est comprise entre -0,5 et +1 mm (-12 à +14%). Pour le A2, la variation de la médiane est positive (+9%), mais 90% est comprise entre -0,5 et 1 mm également (-8 à +17%). Dans les deux cas, on n'observe donc pas de tendance claire.



L'absence de tendance dans l'évolution des pluies journalières moyennes est confirmée par les graphiques de p value, en effet, pour les deux horizons, aucun scénario ne présente de résultats significativement différents du présent. Pour rappel, cela n'est pas en contradiction avec l'évolution à la baisse de la pluie totale annuelle, puisque les pluies journalières ne considèrent que les valeurs des jours humides. Par conséquent, pour une même moyenne de hauteur de pluie journalière, si le nombre de jours de pluie diminue, le total annuel diminuera.

### 3.4.2.2.3. Tronçon Taroudant-RR106

#### OUTIL CIP – STATION D’AGADIR

Pour ce tronçon, ce sont les projections à la station d’Agadir qui ont été utilisées.

#### PRECIPITATION TOTALE ANNUELLE :

La valeur absolue de précipitation totale annuelle sur la période actuelle est d’environ 180 mm.

Tableau 30 – RR106 – CIP - Pan

TRm (mm)	2025-2045			2040-2060		
	10ème p	med	90ème p	10ème p	med	90 ème p
RCP 4.5	-62,63	-16,45	-0,33	-61,67	-22,37	-5,40
RCP 8.5	-63,94	-49,27	-33,63	-92,94	-67,74	-14,64

TRm (%)	2025-2045			2040-2060		
	10ème p	med	90ème p	10ème p	med	90 ème p
RCP 4.5	-29,14	-8,78	-0,14	-37,34	-12,82	-4,99
RCP 8.5	-32,28	-24,66	-13,20	-43,13	-33,94	-9,70

A l’horizon 2035, au moins 90% des modèles prévoient une diminution de la précipitation annuelle pour les deux scénarios, avec une valeur médiane d’environ -16 mm (-8%) pour le RCP 4.5 et une valeur plus forte pour le RCP 8.5, d’environ -49 mm (-24%).

A l’horizon 2050, de la même manière, au moins 90% des modèles prévoient une diminution de la précipitation annuelle, avec une valeur médiane d’environ -22 mm (-12%) pour le RCP 4.5 et une valeur plus forte pour le RCP 8.5, d’environ -67 mm (-33%).

Dans les deux cas, cela s’accorde avec l’évolution des précipitations mensuelles, qui présente une tendance globale à la baisse (voir Annexe 2).

#### PRECIPITATION JOURNALIERE MAXI-ANNUELLE :

Le tableau suivant présente les résultats des variations des précipitations journalières maxi-annuelles par rapport à la période de référence 1979-1999, pour chacun des 11 modèles, pour les deux paramètres suivants : les valeurs moyennes (valeur moyenne des précipitations journalières maxi-annuelles sur les 21 années) et les valeurs maximales ou extrêmes de précipitations (valeur maximale des précipitations journalières maxi-annuelles sur les 21 années). En annexe, figure les résultats des ajustements statistiques des chroniques actuelles reconstituées par les modèles et des chroniques futures.

Tableau 31 – RR106 – CIP - Pjmax

**RR106 - Poste d'AGADIR**  
**Variations des précipitations journalières maxi-annuelles par rapport à la période de référence 1979-1999**

		Modèles										
		MIROC-ESM	CNRM-CM5	CanESM2	FGOALS-s2	BNU-ESM	MIROC5	GFDL-ESM2G	MIROC-ESM-CHEM	GFDL-ESM2M	MRI-CGCM3	bcc-csm1_1
Horizon 2035 (2025-2045)	Valeurs moyennes	-21.9%	-18.2%	-30.3%	-24.5%	-16.1%	-14.3%	-25.1%	-29.8%	-33.8%	6.1%	18.5%
	Valeurs maximales	-12.6%	-0.4%	-9.9%	-19.6%	-39.0%	-0.3%	-13.0%	-0.2%	-11.6%	-1.1%	27.2%
Horizon 2050 (2040-2060)	Valeurs moyennes	-23.8%	-16.3%	8.1%	-31.9%	-9.1%	-15.4%	-23.0%	-23.0%	-30.0%	-0.2%	-14.1%
	Valeurs maximales	-12.7%	-0.1%	1.5%	-19.6%	-22.9%	-0.3%	-0.9%	-0.2%	-3.8%	-13.2%	11.5%

 médiane

De ce tableau, il ressort les constatations suivantes :

- **Globalement, on observe une diminution des moyennes des hauteurs des précipitations journalières maxi-annuelles** pour les deux horizons ; cette diminution est en moyenne de -21,9% à l'horizon 2035 et de -16,3% à l'horizon 2050. Cependant, cette diminution est légèrement plus faible pour l'horizon 2050. Sachant qu'un seul modèle (horizon 2050) ou 2 modèles (horizon 2035) sur les 11 modèles donnent une augmentation des moyennes des hauteurs des précipitations journalières maxi-annuelles et que la dispersion est faible, on peut conclure à une tendance à la baisse de l'ordre de – 20% ;
- Pour ce qui concerne les **extrêmes de précipitations** (valeurs maximales des précipitations journalières maxi-annuelles sur les périodes simulées), pour les deux horizons 2035 et 2050, on observe **en moyenne une très faible diminution des hauteurs de précipitations comprise entre 0 et 10%**. Sachant qu'1 ou 2 modèles (sur 11) donnent une augmentation des extrêmes de précipitations et que la dispersion est faible, on peut conclure à une tendance à une très légère baisse.

#### OUTIL CW- AU DROIT DU TRONÇON

PLUIE TOTALE ANNUELLE :

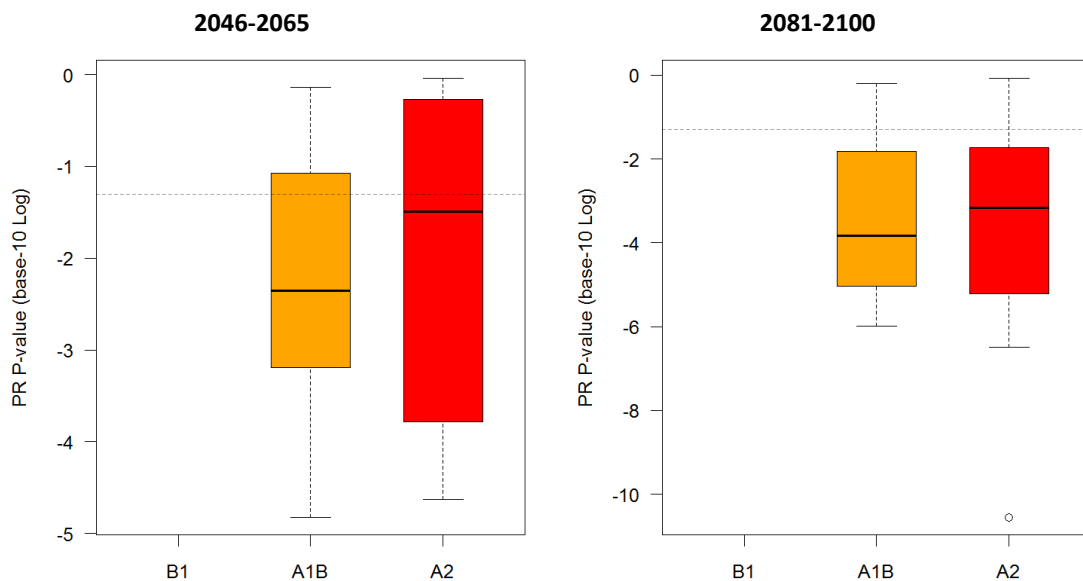
Tableau 32 – RR106 – CW - Pan

TR (mm)	2046-2065			2081-2100		
	10 <sup>ème</sup> p	med	90 <sup>ème</sup> p	10 <sup>ème</sup> p	med	90 <sup>ème</sup> p
A2	-184,36	-88,19	6,51	-238,97	-166,24	17,79
A1B	-160,12	-123,54	-60,41	-214,56	-157,54	52,04

TR (%)	2046-2065			2081-2100		
	10 <sup>ème</sup> p	med	90 <sup>ème</sup> p	10 <sup>ème</sup> p	med	90 <sup>ème</sup> p
A2	-47,66	-22,24	1,78	-59,16	-42,37	4,85
A1B	-41,02	-31,56	-15,58	-54,15	-40,39	14,16

A l'horizon 2055, pour le scénario A1B, au moins 90% des modèles prévoient une diminution de la précipitation totale annuelle, avec une valeur médiane d'environ -123 mm (-31%). Pour le scénario A2, au moins 50% des modèles prévoient une diminution, d'environ -88 mm (-22%) en valeur médiane, donc moins forte que pour le scénario A1B. Certains modèles prévoient une augmentation, de l'ordre de 6 mm (1%) d'après le 90ème percentile.

A l'horizon 2090, pour les deux scénarios, au moins 50% des modèles prévoient une diminution de la précipitation totale annuelle. Elle serait d'environ 157 mm (-40%) pour l'A1B et d'environ 166 mm (-42%) pour l'A2. Cependant, certains modèles prévoient une augmentation, dépassant les 50 mm (14%) d'après le 90ème percentile du scénario A1B.



A l'horizon 2055, d'après le graphique de p value, on constate que pour le scénario A1B au moins 50% des modèles prévoient une évolution significativement différente du présent. Il en est de même pour le scénario A2.

A l'horizon 2090, au moins 90% des modèles prévoient une évolution significativement différente du présent pour les deux scénarios.

#### PLUIE JOURNALIERE MOYENNE ANNUELLE :

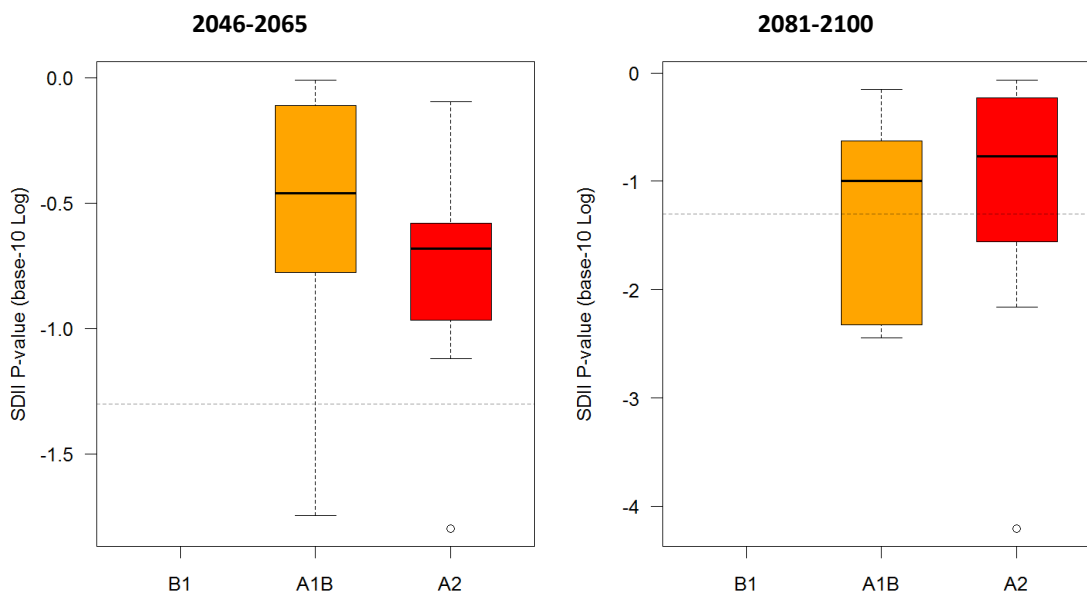
Tableau 33 – RR106 – CW - Pjmoy

DR (mm)	2046-2065			2081-2100		
	10 <sup>ème</sup> p	med	90 <sup>ème</sup> p	10 <sup>ème</sup> p	med	90 <sup>ème</sup> p
A2	-1,41	-0,78	0,41	-2,03	-0,68	0,34
A1B	-1,19	-0,61	0,02	-1,73	-0,99	0,84

DR (%)	2046-2065			2081-2100		
	10 <sup>ème</sup> p	med	90 <sup>ème</sup> p	10 <sup>ème</sup> p	med	90 <sup>ème</sup> p
A2	-18,64	-9,87	4,97	-24,63	-9,13	4,29
A1B	-14,14	-7,52	0,29	-20,37	-12,62	10,55

A l'horizon 2055, au moins 50% des modèles prévoient une baisse de la pluie journalière moyenne, d'environ -0,6 mm (-7%) pour le scénario A1B et d'environ -0,7 mm (-9%) pour l'A2 en valeur médiane. Cependant, certains modèles prévoient une augmentation, presque nulle pour le scénario A1B et inférieure à 0,5 mm (+5%) pour le A2.

A l'horizon 2090, de la même manière, au moins 50% des modèles prévoient une diminution de la précipitation moyenne journalière, d'environ 1 mm (-12%) pour le scénario A1B et d'environ 0,7 mm (-9%) pour l'A2. Certains modèles prévoient une augmentation, inférieure au millimètre (+10%) pour le scénario A1B et inférieure à 0,5 mm (+4%) pour le A2.



A l'horizon 2055, d'après le graphique de p value, on constate que pour les deux scénarios, l'évolution prévue n'est pas significativement différente du présent.

A l'horizon 2090, moins de 50% des modèles prévoient une évolution significativement différente du présent.

## 3.4.2.2.4. Tronçon Taza-RR 508

**OUTIL CIP – STATION DE TAZA**

Pour ce tronçon, ce sont les projections à la station de Taza qui ont été utilisées.

**PRECIPITATION TOTALE ANNUELLE :**

La valeur absolue de précipitation totale annuelle sur la période actuelle est d'environ 470 mm (voir graphiques en annexe).

Tableau 34 – RR508 – CIP - Pan

TRm (mm)	2025-2045			2040-2060		
	10ème p	med	90ème p	10ème p	med	90 ème p
RCP 4.5	-117,02	-54,81	-17,28	-135,92	-79,41	-24,74
RCP 8.5	-96,98	-35,47	-9,62	-167,99	-69,79	-30,07

TRm (%)	2025-2045			2040-2060		
	10ème p	med	90ème p	10ème p	med	90 ème p
RCP 4.5	-17,54	-9,52	-3,47	-20,39	-13,79	-4,67
RCP 8.5	-14,16	-5,85	-1,58	-24,53	-12,43	-5,57

A l'horizon 2035, au moins 90% des modèles prévoient une diminution de la précipitation totale annuelle pour les deux scénarios, avec une valeur médiane d'environ -54 mm (-9%) pour le RCP 4.5 et d'environ -35 mm (-5%) pour le RCP 8.5.

A l'horizon 2050, de la même manière, au moins 90% des modèles prévoient une diminution de la précipitation annuelle, avec une valeur médiane d'environ -79 mm (-13%) pour le RCP 4.5 et d'environ -69 mm (-12%) pour le RCP 8.5.

Sans les deux cas, cela s'accorde avec l'évolution des précipitations totales mensuelles, qui présente une tendance globale à la baisse (voir Annexe 2).

**PRECIPITATION JOURNALIERE MAXI-ANNUELLE :**

Le tableau suivant présente les résultats des variations des précipitations journalières maxi-annuelles par rapport à la période de référence 1979-1999, pour chacun des 11 modèles, pour les deux paramètres suivants : les valeurs moyennes (valeur moyenne des précipitations journalières maxi-annuelles sur les 21 années) et les valeurs maximales ou extrêmes de précipitations (valeur maximale des précipitations journalières maxi-annuelles sur les 21 années). En annexe, figure les résultats des ajustements statistiques des chroniques actuelles reconstituées par les modèles et des chroniques futures.

Tableau 35 – RR508 – CIP - Pjmax

**RR508 - Poste de TAZA**  
**Variations des précipitations journalières maxi-annuelles par rapport à la période de référence 1979-1999**

		Modèles										
		MIROC-ESM	CNRM-CM5	CanESM2	FGOALS-s2	BNU-ESM	MIROC5	GFDL-ESM2G	MIROC-ESM-CHEM	GFDL-ESM2M	MRI-CGCM3	bcc-csm1_1
Horizon 2035 (2025-2045)	Valeurs moyennes	-14.4%	-14.3%	-15.7%	-7.2%	-7.0%	-15.1%	-6.4%	2.8%	-27.5%	-15.2%	-6.1%
	Valeurs maximales	-1.8%	-45.1%	-0.4%	-1.4%	0.9%	-1.3%	-0.2%	-10.4%	-16.9%	-15.9%	-1.4%
Horizon 2050 (2040-2060)	Valeurs moyennes	-18.6%	-6.0%	-13.7%	-5.0%	-8.8%	-22.4%	-7.4%	17.0%	-26.3%	-7.6%	-11.5%
	Valeurs maximales	-1.8%	-12.2%	-1.6%	-0.9%	1.4%	-18.4%	0.1%	2.1%	0.5%	-22.5%	-0.6%

 médiane

De ce tableau, il ressort les constatations suivantes :

- **Globalement, on observe une diminution des moyennes des hauteurs des précipitations journalières maxi-annuelles** pour les deux horizons ; cette diminution est en moyenne de -14,3% à l'horizon 2035 et de -8,8% à l'horizon 2050. Cependant, cette diminution est légèrement plus faible pour l'horizon 2050. Sachant qu'un seul modèle (sur les 11) donne une augmentation des moyennes des hauteurs des précipitations journalières maxi-annuelles et que la dispersion est faible, on peut conclure à une tendance à une légère baisse ;
- Pour ce qui concerne les **extrêmes de précipitations** (valeurs maximales des précipitations journalières maxi-annuelles sur les périodes simulées), pour les deux horizons 2035 et 2050, on observe **en moyenne une très légère diminution des hauteurs de précipitations**. A noter qu'un seul modèle (sur les 11) donne une augmentation des hauteurs des précipitations journalières maxi-annuelles pour l'horizon 2035, tandis que pour l'horizon 2050, 4 modèles donnent une légère augmentation. En conclusion, il n'y a pas de tendance significative à la hausse ou à la baisse.

**OUTIL CW – AU DROIT DU TRONÇON**

PLUIE TOTALE ANNUELLE :

Tableau 36 – RR508 – CW - Pan

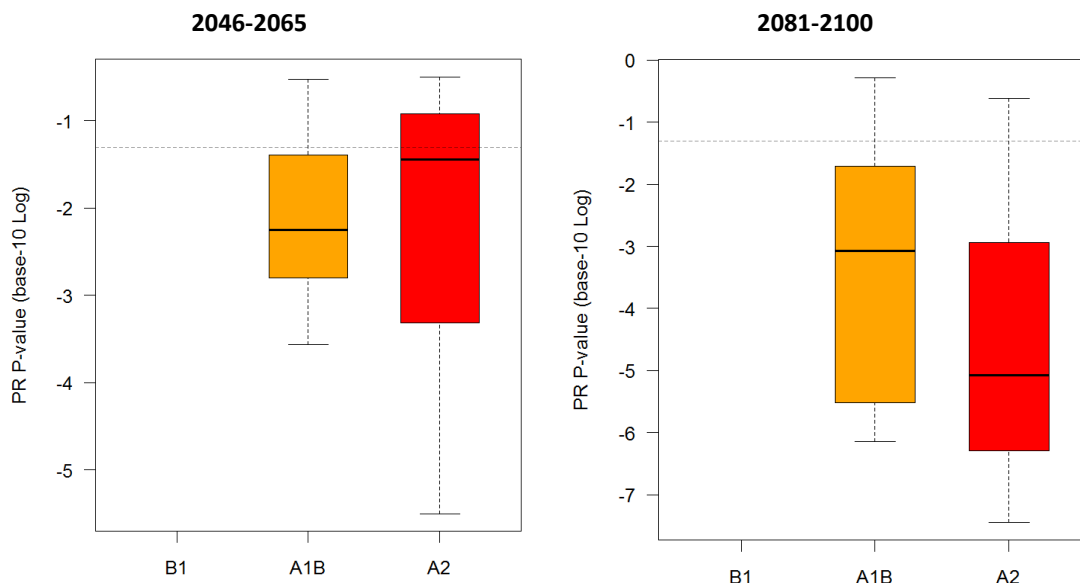
TR (mm)	2046-2065			2081-2100		
	10 <sup>ème</sup> p	med	90 <sup>ème</sup> p	10 <sup>ème</sup> p	med	90 <sup>ème</sup> p
A2	-187,54	-83,72	-69,20	-236,52	-214,59	-63,96
A1B	-161,04	-136,44	-75,67	-228,51	-161,39	-51,38

TR (%)	2046-2065			2081-2100		
	10 <sup>ème</sup> p	med	90 <sup>ème</sup> p	10 <sup>ème</sup> p	med	90 <sup>ème</sup> p
A2	-42,57	-18,26	-15,13	-51,84	-47,68	-14,51
A1B	-36,32	-30,86	-16,61	-51,03	-36,51	-10,58



A l’horizon 2055, pour les deux scénarios, au moins 90% des modèles prévoient une diminution de la précipitation totale annuelle, avec une valeur médiane d’environ -136 mm (-30%) pour l’A1B et d’environ -83 mm (-18%) pour l’A2.

A l’horizon 2090, de la même manière, au moins 90% des modèles prévoient une baisse pour les deux scénarios, avec une valeur médiane d’environ 161 mm (-36%) pour l’A1B et d’environ -214 mm (-47%) pour l’A2.



A l’horizon 2055, d’après le graphique de p value, on constate que pour le scénario A1B, au moins 90% des modèles prévoient une baisse de la pluie totale annuelle significativement différente du présent. Pour l’A2, au moins 50% des modèles prévoient une baisse significativement différente du présent.

A l’horizon 2090, pour les deux scénarios, 90% des modèles prévoient une baisse significativement différente du présent.

PLUIE JOURNALIERE MOYENNE ANNUELLE :

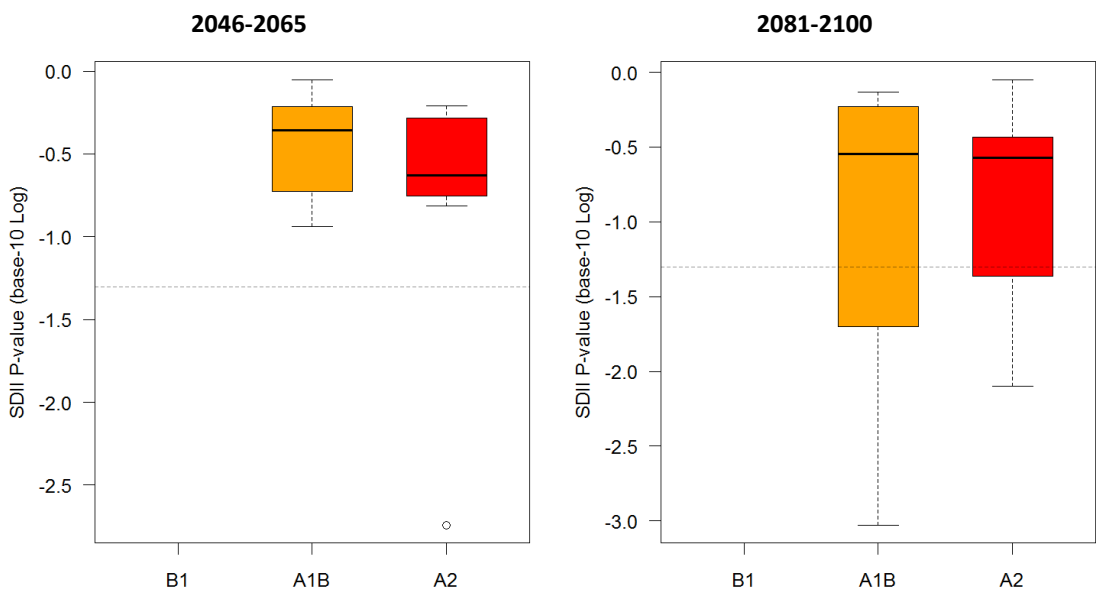
Tableau 37 – RR508 – CW - Pjmoy

DR (mm)	2046-2065			2081-2100		
	10 <sup>ème</sup> p	med	90 <sup>ème</sup> p	10 <sup>ème</sup> p	med	90 <sup>ème</sup> p
A2	-0,87	-0,28	0,64	-0,86	-0,30	1,16
A1B	-0,83	-0,24	0,47	-1,07	-0,28	0,94

DR (%)	2046-2065			2081-2100		
	10 <sup>ème</sup> p	med	90 <sup>ème</sup> p	10 <sup>ème</sup> p	med	90 <sup>ème</sup> p
A2	-12,20	-3,91	8,37	-11,49	-4,19	15,73
A1B	-11,63	-3,27	5,98	-14,83	-3,85	12,69

A l’horizon 2055, on constate que pour les deux scénarios, au moins 50% des modèles prévoient une diminution de la pluie journalière moyenne avec une valeur médiane très proche de 0 (-3%). Ainsi, certains modèles prévoient une augmentation. Dans les deux cas, la variation est comprise entre ±1 mm (-12 à +8%).

A l’horizon 2090, la variation est similaire, mais elle dépasse légèrement ±1 mm (-14 à +15%).



D’après le graphique de p value, à l’horizon 2055, on observe qu’aucun modèle ne prévoit une évolution de la pluie journalière moyenne significativement différente du présent.

A l’horizon 2090, pour les deux horizons, plus de 50% des modèles ne prévoit pas d’évolution significativement différente du présent.

## 3.4.2.3. Synthèse

## PRECIPITATIONS ANNUELLES

Il s'agit des résultats de l'outil CIP, dont la période de référence est 1979-1999. Pour rappel, les données sont projetées à la station, selon des modèles issus de CMIP5. Les résultats présentés ci-dessous sont les anomalies médianes en pourcentage, arrondies à l'unité.

Tableau 38 – CIP – Pan – Synthèse des tronçons

<b>RCP 4,5</b>	<b>Al Hoceima</b>	<b>Errachidia</b>	<b>Agadir</b>	<b>Taza</b>
2035	-10%	-6%	-9%	-10%
2050	-15%	-11%	-13%	-14%

<b>RCP 8.5</b>	<b>Al Hoceima</b>	<b>Errachidia</b>	<b>Agadir</b>	<b>Taza</b>
2035	-11%	-10%	-25%	-6%
2050	-12%	-13%	-34%	-12%

Il s'agit des résultats de l'outil CW, dont la période de référence est 1961-1990. Pour rappel, les données sont projetées sur plusieurs mailles recouvrant l'ensemble du tronçon, selon des modèles issus de CMIP3.

Tableau 39 – CW – Pan – Synthèse des tronçons

<b>A1B</b>	<b>RN2</b>	<b>RR706</b>	<b>RR106</b>	<b>RR508</b>
2055	-32%	-30%	-32%	-31%
2090	-41%	-35%	-40%	-37%

<b>A2</b>	<b>RN2</b>	<b>RR706</b>	<b>RR106</b>	<b>RR508</b>
2055	-21%	-25%	-22%	-18%
2090	-51%	-46%	-42%	-48%

Compte-tenu de ces différences notoires, on s'intéresse tout de même à comparer les deux types de résultats. Cela permet de discuter la capacité des données des stations à représenter l'ensemble du tronçon. Seul le RCP 8.5 et le scénario A2 sont similaires. Pour chacun, on comparera donc les horizons 2050 et 2055, respectivement (encadrés en rouge dans les tableaux ci-avant). On constate que par rapport au tronçon de Taroudant-RR106, la station d'Agadir observe une baisse des précipitations environ un tiers plus élevée. Pour le tronçon Midelt-RR706, la station d'Errachidia projette une diminution de précipitations deux fois moins élevée. Pour le tronçon Chefchaouen-RN2, la station d'Al Hoceima prévoit une baisse deux fois moins élevée également. Par contre, pour le tronçon Taza – RR 508 et la station du même nom, les projections sont du même ordre de grandeur.

Bien que ces conclusions soient à interpréter avec prudence, il apparaît que pour Midelt –RR706 et Chefchaouen-RN2 et Taroudant-RN106 on puisse douter de la capacité des stations à représenter l'ensemble du tronçon. Seuls les résultats au tronçon Taza – RR508 semblent concorder avec les données à la station. Cela est cohérent avec la position de la station relativement proche du tronçon et située au centre. Les autres stations sont plus éloignées de leur tronçon respectif et/ou situées à une extrémité du tronçon.

### PRECIPITATIONS JOURNALIERES MAXI-ANNUELLES

Seul l'outil CIP, dont la période de référence est 1979-1999, nous renseigne sur ce paramètre. Pour rappel, les données sont projetées à la station, selon des modèles issus de CMIP5. Elles ne sont disponibles que pour le RCP 8.5.

Le tableau ci-dessous présente la synthèse des variations des précipitations journalières maxi-annuelles correspondant aux variations moyennes des 11 modèles.

Tableau 40 – CIP – Pjmax – Synthèse des tronçons

#### Synthèse des variations des précipitations journalières maxi-annuelles par rapport à la période de référence 1979-1999

Précipitations journalières maxi-annuelles		Valeurs moyennes		Valeurs maximales (Extrêmes de précipitations)	
		Tendance	variations moyennes (médiane)	Tendance	variations moyennes (médiane)
RN2 - Poste d'AL HOCEIMA	Horizon 2035 (2025-2045)	légère diminution	-18%	Aucune tendance ne se dégage	0%
	Horizon 2050 (2040-2060)		-12%		
RR508 - Poste de TAZA	Horizon 2035 (2025-2045)	légère diminution	-15%	Aucune tendance ne se dégage	0%
	Horizon 2050 (2040-2060)		-9%		
RR706 - Poste d'ERRACHIDIA	Horizon 2035 (2025-2045)	Aucune tendance ne se dégage	0%	Aucune tendance ne se dégage	0%
	Horizon 2050 (2040-2060)				
RR106 - Poste d'AGADIR	Horizon 2035 (2025-2045)	diminution significative	-22%	très légère diminution	-10%
	Horizon 2050 (2040-2060)		-16%		-1%

Ces résultats sont à interpréter avec précaution puisque nous avons souligné la faible représentativité de certaines stations par tronçon (Al Hoceima, Agadir). De plus, il s'agit de valeurs extrêmes, par nature difficile à représenter en modélisation puisque peu fréquentes.

Malgré tout, il ressort les constatations suivantes :

- **Globalement, on observe une diminution des moyennes des hauteurs des précipitations journalières maxi-annuelles** pour les deux horizons, à l'exception du poste d'Errachidia où aucune tendance ne se dégage (pas de baisse ou de hausse) Cette diminution est comprise entre 9 et 22% ;
- Pour ce qui concerne les **extrêmes de précipitations** (valeurs maximales des précipitations journalières maxi-annuelles sur les périodes simulées), pour les deux horizons 2035 et 2050, aucune tendance à la hausse ou à la baisse ne se dégage, excepté pour le poste d'AGADIR où on observe **une très légère diminution des hauteurs de précipitations**.
- A l'horizon 2050, globalement, la diminution est moindre qu'à l'horizon 2035.

### 3.4.3. Synthèse de l'évaluation du changement climatique

#### 3.4.3.1. Précipitations annuelles

Pour ce paramètre, les valeurs extrêmes (minimum et maximum) sont écartées car considérées comme peu fiables. On considère donc le 10ème et le 90ème percentile de l'ensemble des résultats (c'est-à-dire les valeurs données par 80 % des modèles). Enfin, la médiane permet de situer ces extrêmes par rapport à l'ensemble de la distribution. Le 10ème et 90ème percentiles ainsi que la médiane sont des valeurs calculées d'après la distribution des résultats des projections. Ces trois valeurs permettent ainsi de prendre en compte la dispersion inter-modèle.

#### TRONÇON CHEFCHAOUEN – RN2

Pour ce tronçon, nous ne disposons pas de résultats bibliographiques issus de la descente d'échelle dynamique ni de l'outil. Nous avons constaté que les données à la station d'Al Hoceima (outil CIP) n'étaient pas suffisamment pertinentes pour représenter le tronçon. Par conséquent, ce seront les données issues de l'outil CW qui seront utilisées. Elles ne sont disponibles que pour l'horizon 2055 :

Tableau 41 – RN2 – Pan – Synthèse

TR (%)	2046-2065		
	10ème p	med	90ème p
A1B (intermédiaire)	-36,18	-32,02	-16,67
A2 (pessimiste)	-39,37	-21,03	-14,14

Ce tableau montre qu'au moins 90% des modèles indiquent une baisse de la pluviométrie comprise entre -14 et -40 % à l'horizon 2055, ce qui est une très bonne convergence inter-modèles.

#### TRONÇON MIDELT – RR 706

Pour ce tronçon, pour l'horizon 2035 (2021-2050), nous disposons des résultats produits par descente d'échelle dynamique issus de l'étude CC7. Nous privilégierons ces données, car l'étude a été réalisée par la DMN qui a vérifié l'adéquation du modèle régional utilisé ce qui confère aux résultats une plus grande fiabilité que ceux des portails de données : **Scénario intermédiaire (A1B) : -5% à +5%**.

A l'horizon 2050, nous ne disposons pas de résultats bibliographiques issus de la descente d'échelle dynamique. Nous avons constaté que les données à la station d'Errachidia (outil CIP) n'étaient pas suffisamment pertinentes pour représenter le tronçon. Par conséquent, ce seront les données issues de l'outil CW qui seront utilisées. Elles ne sont disponibles que pour l'horizon 2055 :

Tableau 42 – RR706 – Pan – Synthèse

TR (%)	2046-2065		
	10ème p	med	90ème p
A1B (intermédiaire)	-38,67	-29,74	-20,34
A2 (pessimiste)	-48,30	-24,51	-5,96

Pour ce tronçon également, il existe un très fort accord entre les modèles en faveur d'une diminution de la pluviométrie à l'horizon étudié, avec au moins 50 % des modèles indiquant une baisse minimale de 25 à 30 % pour les deux scénarios considérés.

**TRONÇON TAROUDANT-RR106**

Pour ce tronçon, pour l'horizon 2035 (2021-2050), nous disposons de résultats de descente d'échelle dynamique issus de l'étude CC9. Nous privilégierons ces données, car la méthode de descente d'échelle dynamique telle que décrite et validée par la DMN apparaît plus robuste que la méthode statistique :

- Scénario optimiste (RCP 4.5) : variation de -5 à -25%
- Scénario pessimiste (RCP 8.5) : variation de 0 à -30%

A l'horizon 2055, nous ne disposons pas de résultats bibliographiques issus de la descente d'échelle dynamique. Nous avons constaté que les données à la station d'Agadir (outil CIP) n'étaient pas pertinentes pour représenter le tronçon. Par conséquent, ce seront les données issues de l'outil CW qui seront utilisées. Elles ne sont disponibles que pour l'horizon 2055 et montre un signal fort des modèles en direction d'une baisse de la pluviométrie (au moins 90 % dans le sens d'une baisse) :

Tableau 43 – RR106 – Pan – Synthèse

TR (%)	2046-2065		
	10ème p	med	90ème p
A1B (intermédiaire)	-41,02	-31,56	-15,58
A2 (pessimiste)	-47,66	-22,24	1,78

**TRONÇON TAZA-RR 508**

Pour ce tronçon, à l'horizon 2035, nous ne disposons pas de résultats bibliographiques issus de descente d'échelle dynamique et l'outil CW ne couvre pas cet horizon. Nous avons constaté que la station de Taza pouvait être considérée comme représentative du tronçon (outil CIP). Par ailleurs, les données de projections à cette station utilisent des modèles CMIP5 et couvrent les deux horizons retenus pour l'étude, Pour cette raison, nous utiliserons ces données.

Tableau 44 – RR508 – Pan – Synthèse à l'horizon 2035

TR (%)	2025-2045		
	10ème p	med	90ème p
RCP 4.5	-17,54	-9,52	-3,47
RCP 8.5	-14,16	-5,85	-1,58

A l'horizon 2050, nous ne disposons pas non plus de résultats issus de descente d'échelle dynamique, nous utiliserons donc la même source de données que précédemment :

Tableau 45 – RR508 – Pan – Synthèse à l'horizon 2050

TR (%)	2040-2060		
	10ème p	med	90ème p
RCP 4.5	-20,39	-13,79	-4,67
RCP 8.5	-24,53	-12,43	-5,57

## CONCLUSION

En résumé, d'après l'analyse des données bibliographiques et celles des portails, on constate que l'ensemble des travaux s'accorde sur une baisse de la pluviométrie moyenne annuelle (en général au moins 90% des modèles (90<sup>ème</sup> percentile) indiquent une diminution.

Cependant, l'ampleur de cette évolution varie selon les tronçons, les sources de données et les scénarios considérés. Ainsi, en prenant les valeurs médianes présentées ci-dessus (qui représentent au moins 50% de l'ensemble des modèles), on constate :

- des baisses de pluviométrie annuelle de l'ordre de -20 à -30 % seraient attendues pour les tronçons de Midelt (RR706), Taroudant (RR106) et Chefchaouen (RN2) à l'horizon 2055 ;
- pour le tronçon de Taza (RR508), en s'appuyant sur les données du portail CIP, cette baisse serait moins élevée et avoisinerait les -14 % à l'horizon 2050.

### 3.4.3.2. Précipitations journalières maxi-annuelles

Pour l'ensemble des tronçons, la seule source de données pour ce paramètre est l'outil CIP, uniquement pour le scénario pessimiste (RCP 8.5). Nous prendrons donc les variations de la valeur de précipitation maxi-annuelle par rapport à la période de référence données par CIP. Pour chaque tronçon, les résultats sont présentés pour la moyenne dans le tableau ci-après.

Tableau 46 – CIP – Pjmax – Synthèse des tronçons

#### Synthèse des variations des précipitations journalières maxi-annuelles par rapport à la période de référence 1979-1999

Précipitations journalières maxi-annuelles		Valeurs moyennes		Valeurs maximales (Extrêmes de précipitations)	
		Tendance	variations moyennes (médiane)	Tendance	variations moyennes (médiane)
RN2 - Poste d'AL HOCEIMA	Horizon 2035 (2025-2045)	légère diminution	-18%	Aucune tendance ne se dégage	0%
	Horizon 2050 (2040-2060)		-12%		
RR508 - Poste de TAZA	Horizon 2035 (2025-2045)	légère diminution	-15%	Aucune tendance ne se dégage	0%
	Horizon 2050 (2040-2060)		-9%		
RR706 - Poste d'ERRACHIDIA	Horizon 2035 (2025-2045)	Aucune tendance ne se dégage	0%	Aucune tendance ne se dégage	0%
	Horizon 2050 (2040-2060)				
RR106 - Poste d'AGADIR	Horizon 2035 (2025-2045)	diminution significative	-22%	très légère diminution	-10%
	Horizon 2050 (2040-2060)		-16%		-1%

### 3.5. ANALYSE SOMMAIRE DES INCERTITUDES SUR LES RESULTATS DES PROJECTIONS CLIMATIQUES

#### 3.5.1. Considérations générales

Pour l'ensemble des données de projection analysées (bibliographiques ou issues d'outils en ligne), il n'a pas été possible d'accéder aux données de calage et de calculs d'erreur sur les sorties de modèles, qui sont propres à chaque modèle et dépendent des hypothèses, des moyens et méthodes de calculs utilisés par les climatologues.

Cependant, afin d'approcher une part de l'incertitude sur les résultats, comme cela a été expliqué précédemment (cf. partie 3.3.5), les analyses se basent généralement sur un ensemble de modèles plutôt que sur un seul modèle.

Pour ce qui concerne les projections climatiques issues des données bibliographiques, globalement, la plupart des projections climatiques ne présentent pas un degré de précision suffisant permettant leur exploitation aux fins de l'étude en raison de l'absence d'informations sur l'origine de ces données, le manque de lisibilité des cartes de présentation des projections climatiques.

#### 3.5.2. Les projections climatiques issues du portail « Climate Information Portal » (CIP)

Pour les projections climatiques issues du portail CIP et pour ce qui concerne les précipitations journalières maxi-annuelles, nous avons examiné les points suivants :

- la qualité des chroniques des données historiques ;
- la représentativité de la période de référence au regard de la totalité de la période d'observation disponible ;
- la pertinence du calage des modèles sur la période de référence observée.

##### *3.5.2.1. Analyse des chroniques des données historiques*

La présente analyse a consisté à comparer les chroniques des données historiques (observées) prises en compte par le portail CIP pour le calage des modèles par rapport aux chroniques fournies par METEO MAROC (DMN). En l'absence d'acquisition des données, cette analyse comparative n'a pas été effectuée pour le poste d'Al Hoceima.



## RR508 - POSTE DE TAZA

Tableau 47 – RR 508 - Données historiques observées

## Précipitations journalières maxi-annuelles (mm)

Année	Données historiques (observées)	
	Portail CIP	Meteo Maroc (DMN)
1979	90	55.9
1980	45	52.7
1981	34	34.2
1982	40	40.5
1983	46	33.7
1984	36	36.1
1985	45	50.3
1986	41	41.0
1987	79	78.9
1988	36	36.0
1989	69	68.9
1990	48	47.9
1991	27	26.6
1992	47	46.5
1993	30	29.8
1994	39	38.7
1995	29	28.8
1996	55	55.0
1997	49	48.5
1998	42	41.8
1999	26	26.3
2000	année incomplète	
<b>maxi</b>	<b>90</b>	<b>78.9</b>
<b>moyenne</b>	<b>45.4</b>	<b>43.7</b>

Légende :

NA

*écart > 1 mm*  
*non disponible*

Du tableau ci-avant, il ressort que sur la période de référence du portail CIP (1979-1999), la chronique des données observées prise en compte par le portail CIP diffère de la chronique fournie par la DMN (Météo Maroc) pour 4 des 21 années !

## RR706 - POSTE D'ERRACHIDIA

Tableau 48 – RR 706 - Données historiques observées

## Précipitations journalières maxi-annuelles (mm)

Année	Données historiques (observées)	
	Portail CIP	Meteo Maroc (DMN)
1979	49	39.5
1980	29	25.5
1981	9	6.4
1982	71	26.4
1983	28	27.5
1984	17	16.4
1985	23	22.5
1986	12	12.2
1987	18	17.5
1988	17	17.1
1989	24	24.6
1990	17	17.3
1991	22	21.4
1992	18	17.9
1993	34	26.7
1994	30	30.3
1995	33	33.3
1996	36	35.5
1997	25	25.3
1998	21	20.7
1999	22	22.3
2000	année incomplète	-
<b>maxi</b>	<b>71</b>	<b>39.5</b>
<b>moyenne</b>	<b>26.4</b>	<b>23.2</b>

Légende :

NA

*écart > 1 mm*  
*non disponible*

Du tableau ci-avant, il ressort que sur la période de référence du portail CIP (1979-1999), la chronique des données observées prise en compte par le portail CIP diffère de la chronique fournie par la DMN (Météo Maroc) pour 5 des 21 années !

## RR106 - POSTE D'AGADIR

Tableau 49 – RR 106 - Données historiques observées

## Précipitations journalières maxi-annuelles (mm)

Année	Données historiques (observées)	
	Portail CIP	Meteo Maroc (DMN)
1979	38	55.9
1980	38	36.3
1981	32.7	45.1
1982	88	97.9
1983	36	39.1
1984	33	33.3
1985	42	44.3
1986	70	69.9
1987	50	49.5
1988	67	67.3
1989	50	50.2
1990	33	33.3
1991	30	30.8
1992	NA	-
1993	NA	-
1994	NA	-
1995	NA	-
1996	NA	-
1997	NA	-
1998	NA	-
1999	NA	-
2000	année incomplète	-
<b>maxi</b>	<b>88</b>	<b>97.9</b>
<b>moyenne</b>	<b>46.7</b>	<b>50.2</b>

Légende :

	<i>écart &gt; 1 mm</i>
NA	<i>non disponible</i>

Du tableau ci-avant, il ressort :

- ❑ d'une part, que la chronique des données observées est incomplète : les valeurs des précipitations journalières maxi-annuelles des années 1992 à 1999 étant non disponibles !
- ❑ d'autre part, que sur la période renseignée (1979-1991), la chronique des données observées prise en compte par le portail CIP diffère de la chronique fournie par la DMN (Météo Maroc) pour 6 des 13 années !

### 3.5.2.2. Représentativité de la période de référence 1979-1999

Afin d'examiner la pertinence de la période de référence pour les 4 postes étudiés, nous avons comparé les chroniques des pluies journalières maxi-annuelles d'une part, de la période de référence des modèles, soit 1979-1999, et d'autre part, de la totalité de la période d'observation disponible.

#### RR508 - POSTE DE TAZA

Le tableau ci-dessous présente l'analyse comparative des chroniques.

Tableau 50 – RR508 - Analyse comparatif des données historiques observées

### RR508 - Poste de TAZA

#### Analyse comparative des chroniques historiques

Précipitations journalières maxi-annuelles	Données historiques Portail CIP	Données observées Meteo Maroc (DMN)		Ecart (%)		
	1979-1999	1979-1999	1960-2013	CIP/DMN période 1979-1999	DMN 1979-1999/1960-2013	
Nombre d'années d'observation	21	21	54	-	-	
Hauteurs maximales moyennes (mm)	45.4	43.7	51.0	3.8%	-16.6%	
Hauteurs maximales journalières (mm)	90.0	78.9	88.0	14.1%	-11.5%	
Quantiles des hauteurs de précipitations journalières maxi-annuelles (mm)	T = 2 ans	42.7	41.5	48.2	2.9%	-16.2%
	T = 5 ans	57.2	53.5	63.0	7.0%	-17.8%
	T = 10 ans	66.9	61.4	72.8	8.8%	-18.4%
	T = 20 ans	76.1	69.1	82.2	10.2%	-19.0%
	T = 50 ans	88.1	78.9	94.3	11.6%	-19.5%
	T = 100 ans	97.0	86.3	103.4	12.4%	-19.8%

De l'analyse du tableau ci-dessus, il ressort que sur la période de référence 1979-1999 retenue par le portail CIP, celle-ci sous-estime légèrement les paramètres statistiques par rapport à la totalité de la période d'observation. Ainsi, si pour la période actuelle l'outil CIP sous-estime légèrement les paramètres statistiques considérés, on émet l'hypothèse que cela est également vrai pour les résultats des projections climatiques dans le futur.

## RR706 - POSTE D'ERRACHIDIA

Le tableau ci-dessous présente l'analyse comparative des chroniques.

Tableau 51 – RR706 - Analyse comparatif des données historiques observées

## RR706 - Poste d'ERRACHIDIA

## Analyse comparative des chroniques historiques

Précipitations journalières maxi-annuelles	Données historiques Portail CIP	Données observées Meteo Maroc (DMN)		Ecart (%)		
	1979-1999	1979-1999	1973-2013	CIP/DMN période 1979-1999	DMN 1979-1999/1973-2013	
Nombre d'années d'observation	21	21	41	-	-	
Hauteurs maximales moyennes (mm)	26.4	23.2	22.5	14.1%	2.7%	
Hauteurs maximales journalières (mm)	71.0	39.5	44.9	79.7%	-13.7%	
Quantiles des hauteurs de précipitations journalières maxi-annuelles (mm)	T = 2 ans	24.2	21.9	21.2	10.6%	2.9%
	T = 5 ans	36.2	28.8	28.2	26.0%	2.1%
	T = 10 ans	44.2	33.3	32.7	32.7%	1.8%
	T = 20 ans	51.9	37.7	37.1	37.6%	1.6%
	T = 50 ans	61.8	43.4	42.8	42.5%	1.3%
	T = 100 ans	69.2	47.6	47.1	45.4%	1.2%

De l'analyse du tableau ci-dessus, il ressort que sur la période de référence 1979-1999 retenue par le portail CIP, celle-ci surestime fortement les paramètres statistiques par rapport à la totalité de la période d'observation. On émet l'hypothèse que cela sera également vrai pour les projections futures.

### 3.5.2.3. Analyse du calage des modèles sur la période de référence observée

- Pour apprécier la pertinence du calage des modèles du portail CIP sur les chroniques des précipitations journalières maxi-annuelles observées, nous avons utilisé les deux paramètres suivants : le coefficient de Nash, d'utilisation courante par les hydrologues pour apprécier la pertinence des résultats de modélisation. Il renseigne sur les écarts entre les valeurs calculées par le modèle et les valeurs observées. Il s'écrit :

$$\text{Nash} = 100 \left[ 1 - \frac{\sum_i (Q_{\text{obs},i} - Q_{\text{cal},i})^2}{\sum_i (Q_{\text{obs},i} - \bar{Q}_{\text{obs}})^2} \right]$$

$Q_{\text{cal},i}$  : valeur calculée,

$Q_{\text{obs},i}$  : valeur observée,

$Q_{\text{obs}}$  : moyenne des valeurs observées ( $i = 1$  à  $n$ ).

- Le coefficient de corrélation linéaire.

#### RN2 - POSTE D'AL HOCEIMA

Tableau 52 – RN2 - Analyse du calage des modèles sur la période de référence observée

	Modèles										
	MIROC-ESM	CNRM-CM5	CanESM2	FGOALS-s2	BNU-ESM	MIROC5	GFDL-ESM2G	MIROC-ESM-CHEM	GFDL-ESM2M	MRI-CGCM3	bcc-csm1-1
Coef. de Nash	-54.2	-23.5	-56.2	-18.9	34.2	-191.8	-51.3	-111.4	-4.8	-6.9	-54.7
Coef. de corrélation	0.03	0.32	-0.10	0.16	0.59	-0.24	-0.14	-0.30	0.36	0.21	-0.09
	valeur minimale				valeur maximale						

De ce tableau, il ressort que pour tous les modèles, le calage est médiocre : coefficient de Nash <<60 et coefficient de corrélation << 0.7.

#### RR508 - POSTE DE TAZA

Tableau 53 – RR508 - Analyse du calage des modèles sur la période de référence observée

	Modèles										
	MIROC-ESM	CNRM-CM5	CanESM2	FGOALS-s2	BNU-ESM	MIROC5	GFDL-ESM2G	MIROC-ESM-CHEM	GFDL-ESM2M	MRI-CGCM3	bcc-csm1-1
Coef. de Nash	-148.3	-98.5	-133.1	-107.0	-94.0	-207.3	-50.4	-40.0	-241.6	-89.2	-135.1
Coef. de corrélation	-0.07	0.25	0.27	0.20	0.41	-0.03	0.36	0.22	0.01	0.06	0.09
	valeur minimale				valeur maximale						

De ce tableau, il ressort que pour tous les modèles, le calage est médiocre : coefficient de Nash <<60 et coefficient de corrélation << 0.7.

## RR706 - POSTE D'ERRACHIDIA

Tableau 54 – RR706 - Analyse du calage des modèles sur la période de référence observée

	Modèles										
	MIROC-ESM	CNRM-CM5	CanESM2	FGOALS-s2	BNU-ESM	MIROC5	GFDL-ESM2G	MIROC-ESM-CHEM	GFDL-ESM2M	MRI-CGCM3	bcc-csm1-1
Coef. de Nash	-153.6	-92.2	-128.2	-13.3	-91.8	-83.2	-34.0	-113.7	-65.0	-82.9	-8.2
Coef. de corrélation	-0.33	-0.20	-0.19	0.32	-0.04	-0.03	0.23	0.00	-0.06	0.09	0.20

  valeur minimale

  valeur maximale

De ce tableau, il ressort que pour tous les modèles, le calage est médiocre : coefficient de Nash  $\ll 60$  et coefficient de corrélation  $\ll 0.7$ .

## RR106 - POSTE D'AGADIR

Tableau 55 – RR106 - Analyse du calage des modèles sur la période de référence observée

	Modèles										
	MIROC-ESM	CNRM-CM5	CanESM2	FGOALS-s2	BNU-ESM	MIROC5	GFDL-ESM2G	MIROC-ESM-CHEM	GFDL-ESM2M	MRI-CGCM3	bcc-csm1-1
Coef. de Nash	-158.3	-111.5	-63.6	-174.6	-166.2	-147.6	-46.8	-116.6	-152.1	-313.9	-65.5
Coef. de corrélation	-0.10	0.20	0.31	-0.16	-0.10	-0.15	0.35	-0.08	-0.42	-0.21	0.21

  valeur minimale

  valeur maximale

De ce tableau, il ressort que pour tous les modèles, le calage est médiocre : coefficient de Nash  $\ll 60$  et coefficient de corrélation  $\ll 0.7$ .

## 3.5.2.4. Conclusion

De cette analyse, il ressort les principaux points suivants :

- les chroniques prises en compte par le portail CIP diffèrent des données historiques de la DMN (Météo Maroc) ;
- la période de référence 1979-1999 n'est pas représentative de la totalité de la période d'observation disponible ;
- les calages des modèles sur la période de référence 1979-1999 sont médiocres.

Il en ressort donc qu'en plus des incertitudes liées aux méthodes de prévision des modèles (non connues), il faut ajouter la non représentativité des chroniques observées prises en compte dans le portail CIP et le calage médiocre des modèles. De ce fait, **les projections climatiques issues du portail CIP ne peuvent fournir que des tendances et non des variations précises de l'évolution du changement climatique.**

### 3.6. CONCLUSIONS

A la lumière des analyses conduites il est possible de dire qu'il y a un très fort degré de confiance (accord d'au moins 90% des modèles) quant à la baisse des précipitations annuelles pour les quatre tronçons étudiés.

Concernant l'évolution des précipitations journalières maxi-annuelles que pour les différents tronçons, en général au moins de 75 % des modèles (7 sur 11) donnent une diminution des hauteurs maximales moyennes, journalières et des quantiles correspondants, avec des évolutions comprises en moyenne entre -4 et -17 %. On constate donc une convergence notable sur la baisse de l'aléa précipitation extrême dans le futur (on considère dans la littérature qu'un accord proche de 80 % sur le signe d'un changement offre un degré de crédibilité satisfaisant sur ce changement). Néanmoins, cette convergence n'est pas totale puisque qu'un peu moins de 25 % des modèles indiquent dans certains cas une évolution à la hausse de l'aléa, dans des proportions assez importantes pour les tronçons d'Al Hoceima et Errachidia (plus de 50% d'augmentation des valeurs de hauteurs journalières et des quantiles).

Ce résultat n'est pas surprenant en soit car dans de nombreuses régions du globe, y-compris au Maroc, et en particulier à des échelles d'analyse très fines comme celles de l'étude, il est fréquent que pour les précipitations, et de surcroît pour les précipitations extrêmes, les modèles du GIEC divergent à la fois sur le sens et l'amplitude des changements. L'étude des précipitations restent en effet un défi majeur pour les climatologues. D'une façon générale, tout ce qui touche au cycle hydrologique reste assez incertain dans les scénarios de changement climatique et les modèles, en dépit des progrès réalisés grâce notamment aux méthodes de downscaling régional, atteignent très souvent leurs limites s'agissant de la modélisation de la pluviométrie. Une partie de cette divergence entre modèles a pour origine la manière dont chaque modèle représente les processus physiques régissant la formation des précipitations.

La question de l'interprétation de ces résultats et de leur utilisation dans l'évaluation de la vulnérabilité et la prise de décision se pose néanmoins. En dehors de méthodes statistiques et probabilistes complexes (probabilités bayésiennes, modèle de Monte Carlo, etc.), qui relèvent du domaine de la recherche ou nécessitent des ressources importantes, les études de vulnérabilité ont recours en général à des approches simplifiées pour l'interprétation des résultats des projections climatiques. Le tableau ci-dessous présente les approches les plus communément utilisées dans la pratique.

Tableau 56 - : Approches privilégiées face aux incertitudes liées aux modèles climatiques

Approches	Principe	Avantages	Inconvénients
<b>A1. Utiliser le modèle qui reproduit le mieux la climatologie actuelle</b>	<i>Comparer les résultats de modélisation aux observations sur une période historique afin de sélectionner parmi un ensemble de modèles, celui qui donne les résultats les plus proches de la climatologie observée</i>	On sélectionne le modèle qui reproduit le mieux le climat observé. Simplification du processus d'analyse de la vulnérabilité puisque l'on utilise les données d'un seul modèle.	On utilise un seul modèle, l'incertitude sur les résultats est donc importante. On fait l'hypothèse que ce modèle est celui qui représentera le mieux le futur, ce qui n'est pas certain.
<b>A2. Utiliser la médiane inter-modèle</b>	<i>Sélectionner le modèle ou la valeur qui, parmi un ensemble, donne les résultats médians. On choisit cette approche car les résultats extrêmes sont généralement considérés comme peu fiables</i>	Sélectionner le modèle médian est une manière objective de choisir un modèle en l'absence de comparaison robuste avec des données d'observation.	On utilise un seul modèle, l'incertitude sur les résultats est donc importante. La capacité du modèle à représenter le climat réel n'est pas considéré.



Approches	Principe	Avantages	Inconvénients
<b>A3. Utiliser la moyenne inter-modèle</b>	<i>Faire la moyenne des résultats de l'ensemble des modèles</i>	On considère les résultats de l'ensemble des modèles. De plus, cela permet de lisser les extrêmes, qui sont généralement considérés comme peu fiables. Cela donne la tendance inter-modèle.	Cela lisse l'ensemble des résultats, notamment les extrêmes, il peut y avoir une perte d'information (amplitude, variabilité).
<b>A4. Utiliser le modèle le plus pessimiste vis-à-vis de l'aléa étudié</b>	<i>Choisir la projection qui majore le plus l'aléa (Principe de précaution)</i>	On respecte le principe de précaution en se plaçant dans le scénario le plus défavorable. En utilisant les valeurs d'un seul modèle, on facilite la quantification et l'interprétation des impacts	On s'adapte au scénario du pire ce qui peut entraîner une "sur-adaptation" et des coûts importants
<b>A5. Utiliser les 10ème et 90ème percentiles</b>	<i>Utiliser les 10ème et 90ème percentiles calculés d'après la distribution des résultats de l'ensemble des modèles</i>	Cela permet de prendre en compte une enveloppe de futurs climatiques possibles, sans pour autant utiliser les valeurs maximum et minimum de l'ensemble inter-modèles, qui sont considérées comme peu fiables. Cela informe sur l'amplitude des résultats de l'ensemble des modèles et donc sur l'incertitude inter-modèle. En l'absence de comparaison robuste avec des données d'observations, cela permet de considérer les résultats les plus pessimistes, conformément au principe de précaution, sans pour autant écarter les évolutions plus favorables	Rend l'analyse de la vulnérabilité un peu plus complexe car il faut effectuer les calculs pour deux valeurs et réfléchir en termes d'intervalle. Lorsque les modèles ne sont pas d'accord sur le sens des changements, il peut être parfois difficile de conclure. Dans ce cas, cela nécessite une gestion adaptative des infrastructures et de se préparer à différents scénarios alternatifs

De nombreuses études privilégient le choix d'un modèle de référence correspondant très souvent aux approches A1, A2 ou A4 décrites ci-dessus.

L'étude CC10 réalisé par la Banque Mondiale sur les villes de Casablanca et de Rabat illustre bien ce type de choix. Pour évaluer l'incidence du changement climatique sur les précipitations extrêmes, l'étude a analysé l'évolution des quantiles de précipitations journalières maxi-annuelles à partir de 6 couples modèles-scénarios. Comme pour la présente étude, ce travail montre que, pour une période de retour donnée, certains modèles-scénarios donnent une augmentation des phénomènes extrêmes de précipitation, d'autres au contraire indiquent plutôt une diminution. Le tableau ci-dessous montre le pourcentage de changement des amplitudes futures d'extrêmes par rapport à la période de référence calculé par cette étude.

Période de retour en nombre d'années →		10	20	50	100
Ville	Modèle scénario				
Casablanca	CNR_A1B	2	6	11	14
	MET_A1B	0	0	0	1
	MPI_A1B	-4	-11	-19	-26
	ARPG_A2	-8	-14	-22	-28
	ARPG_B1	-6	-6	-6	-5
	ARPG_A1B	-2	-8	-17	-23
Rabat	CNR_A1B	-15	-18	-22	-25
	MET_A1B	1	6	15	25
	MPI_A1B	-16	-26	-38	-46
	ARPG_A2	-2	-2	-2	-3
	ARPG_B1	7	4	-2	-7
	ARPG_A1B	0	2	3	3

Tableau 57 - : Changement, en pourcentage, des précipitations quotidiennes extrêmes entre le présent (1961-2000) et le futur (2021-2050) correspondant aux différents modèles-scénarios et à différentes périodes de retour (Etude EGIS/BM, 2010)

Il ressort de cette analyse que, pour une période de retour de 20 ans, 3 à 4 modèles-scénarios sur 6 prévoient une diminution de l'amplitude des événements extrêmes entre -26% et -2%. Il y a donc pour cette partie du Maroc également une divergence notable entre modèles.

On remarquera au passage que pour les temps de retours les plus élevés, les projections à la baisse des valeurs de quantiles dominant sur celles indiquant une hausse. Cela va dans le sens des résultats obtenus dans la présente étude.

L'étude CC10 précise cependant que la modélisation des extrêmes est par nature associée à une marge d'erreur large. Peu de valeurs sont utilisées pour réaliser les analyses de fréquence et le calcul des périodes de 50 ou 100 ans posent généralement des problèmes méthodologiques dans le cadre d'un climat non stationnaire.

Face à ces incertitudes, il a été décidé dans l'étude CC10 pour la suite de ses travaux de considérer les résultats du modèle-scénario le plus pessimiste sur les zones étudiées, c'est-à-dire de se placer dans le scénario du pire et de répondre ainsi au principe de précaution.

Dans notre cas, choisir le scénario le plus défavorable comme base de la prise de décision risquerait de donner un poids trop important à une augmentation majeure des précipitations extrêmes, alors même que le degré d'accord des modèles sur une évolution inverse s'avère plutôt élevé (proche de 75%). Il s'agit avant tout d'éviter toute sous ou sur-adaptation des infrastructures face à l'évolution future de la pluviométrie.

## 4. ETAPE 3 : DIAGNOSTIC DE LA CONFIGURATION TECHNIQUE ACTUELLE DES 4 TRONÇONS ROUTIERS

### 4.1. VISITES DE TERRAIN ET ETAT DES LIEUX

L'Ingénierie a réalisé des visites de terrain des tronçons retenus dans les termes de référence.

La totalité des tronçons a été parcourue par les équipes de terrain, et un examen sur site des points névralgiques, sélectionnés en concertation avec les collaborateurs des DRETL et DPETL, a été effectué.

Les points névralgiques ont fait l'objet d'un reportage photographique et de fiche d'enquête détaillée, ils sont rappelés ci-dessous :

- Tronçon de la RR 508 entre Sakka et Outabouabane :

Tronçon entre les PK 15+000 et le PK 172+000 : 25 points inspectés.

001	PK 21+557 ;	014	PK 77+800 ;
002	PK 36+700 ;	015	PK 79+400 ;
003	PK 37+800 ;	016	PK 80+500 ;
004	PK 39+800 ;	017	PK 84 +000 ;
005	PK 44+500 ;	018	PK 88 +000 ;
006	PK 50+600 ;	019	PK 96+600 ;
007	PK 53+500 ;	020	PK 104+800 ;
008	PK 55+400 ;	021	PK 117+882 ;
009	PK 56+700 ;	022	PK 126 +089 ;
010	PK 71+800 ;	023	PK 131+362 ;
011	PK 72+100 ;	024	PK 137+630 ;
012	PK 72+300 ;	025	PK 158+150.
013	PK 77 +273 ;		

- Tronçon de la RN 2 entre Chefchaouen et Issaguen :

Tronçon entre les PK 116+000 et le PK 211+000 : 18 points inspectés.

001	PK 122+800 ;	010	PK 143+500 ;
002	PK 124+000 ;	011	PK 144+900 – PK 145+300 ;
003	PK 128+800 ;	012	PK 148+700 ;
004	PK 132+800 ;	013	PK 152 +000;
005	PK 133+600 ;	014	PK 156+200 ;
006	PK 133+800 – 134+500 ;	015	PK 161- 162 ;
007	PK 136+900 ;	016	PK 164+360 ;
008	PK 138+900 ;	017	PK 197+500 ;
009	PK 142+200 – 143+900 ;	018	PK 209+483.

- Tronçon de la RR106 entre Ighrem et Assaki :

Tronçon entre les PK 75+000 et le PK 120+000 : 11 points inspectés.

001	PK 93+270 ;	007	PK 107+100 ;
002	PK 94+500 ;	008	PK 109+600 ;
003	PK 95+970 ;	009	PK 112+400 ;
004	PK 96+970 ;	010	PK 114+000 ;
005	PK 102+200 ;	011	PK 118+000.
006	PK 106+400 ;		

- Tronçon de la RR706 entre Rich et Imilchil :

Tronçon entre les PK 0+000 et le PK 120+000 : 20 points inspectés.

001	PK 10+000 ;	011	PK 62+500 ;
002	PK 17+700 ;	012	PK 65+500 ;
003	PK 37+400 ;	013	PK 70+000 ;
004	PK 43+100 ;	014	PK 75+500 ;
005	PK 47+700 ;	015	PK 85+000 ;
006	PK 48+300 ;	016	PK 93+000 ;
007	PK 49+500 ;	017	PK 94+700 ;
008	PK 50+300 ;	018	PK 100+100 ;
009	PK 53+800 ;	019	PK 108+200 ;
010	PK 60+000 ;	020	PK 116+750.

Ces points ont été implantés sur des cartes (voir Annexe 1 – Rapport des visites).

L'Ingénierie tient à souligner l'importance des réunions de travail et des sorties sur terrain avec les collaborateurs des DRETL et DPETL. En effet des difficultés de repérage sur terrain sont apparues au fur et à mesure de la préparation des missions et même lors de l'implantation des points de visite sur plan:

- Le listing des ouvrages hydrauliques est indiqué par PK et non pas par coordonnées X, Y ;
- Les bornes kilométriques ne sont pas toujours exploitables sur terrain, soit à cause du vandalisme (PK effacé, bornes détruites...) ou à cause de travaux sur les routes (bornes peintes et PK pas encore indiqué)...
- Le tronçon de la RR 508 ne débute pas à Outabouabane mais à 15 km plus loin, dans le sens de Taounate ; Pour la RR508, la route est discontinue vers le PK 115+765 environ, et ce PK est repris quelques kilomètres plus loin vers Sakka. La zone intermédiaire correspond à la voie express.
- Le tronçon de la RR 106 du PK 75 au PK 120 ne lie pas Tafraout à Ighrem, mais Ighrem à Assaki ;
- Le tronçon de la RR 706 relie Rich à Bouzmou, située à 20 km environ d'Imilchil ;

Les visites ont permis d'examiner les spécificités des tronçons routiers étudiés, à savoir :

- a) Infrastructure routière (tracé) :
  - Contexte géographique (relief) ;
  - Implantation géographique de l'infrastructure ;
  - Typologie ;
  - Profil en long (déblais et remblais) ;
  - Profils en travers (déversé, en toit ....) ;
  - .....

## b) Hydrologie, Hydraulique, Assainissement et Drainage:

- Chevelu hydrographique ;
- Nature des écoulements interceptés (concentrés ou diffus) ;
- Nature des bassins versants (importance, couverture végétale, pentes, ...) ;
- Aptitude des sols au ruissellement ;
- Aptitude des sols à l'érosion ;
- Implantation géographique de l'infrastructure par rapport aux contraintes hydrologiques;
- Nature, état et importance des ouvrages hydrauliques de traversée ;
- Nature, état et importance des réseaux d'assainissement et de drainage ;
- Présence de dispositifs de protection spécifiques ;
- .....

## c) Géotechnique (et chaussées) :

- État des chaussées visitées avec album photographique, type et étendu de désordre visible ;
- État visible des accotements des zones visitées illustré par des photographies ;
- État des talus sur le risque de stabilité contre les chutes de blocs, glissement, éboulement...
- Présence ou non de système de protection ou soutènement.

Les conclusions des visites entamées ont été consignées dans le rapport des visites (Voir Annexe 1 – Rapport des visites), elles sont rappelées et synthétisées par tronçon ci-après.

## 4.2. TRONÇON RN2 ENTRE CHEFCHAOUEN ET ISSAGUEN

### 4.2.1. Contexte hydrographique

La figure suivante illustre l'emplacement du tronçon étudié :



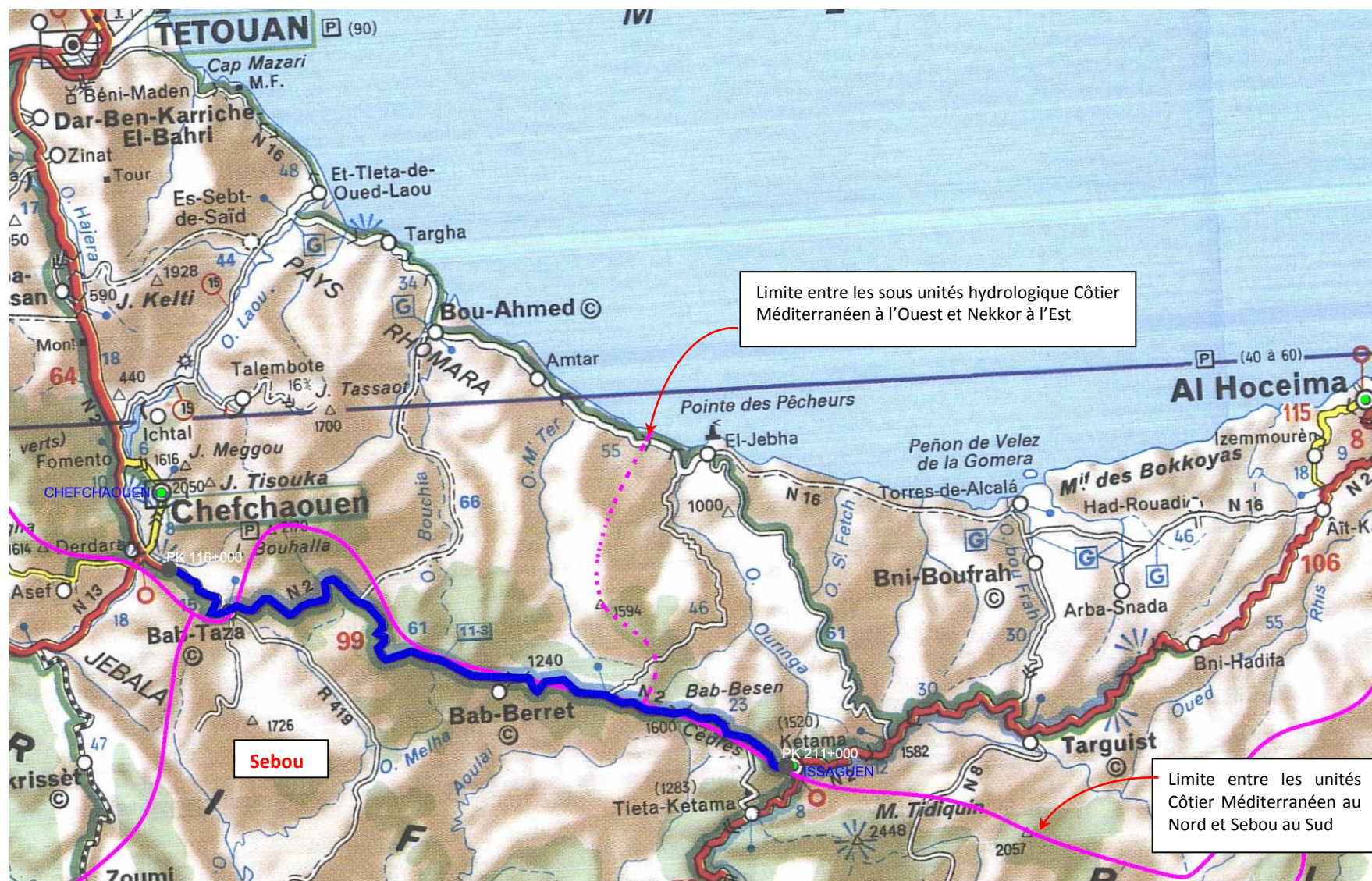


Figure 8 : Emplacement du tronçon de la RN 2 et unités hydrologiques traversées







- Une étude préliminaire relative au traitement des zones de glissement a été récupérée auprès de la DPETL de Chefchaouen. Les données climatiques énoncées dans cette étude se limitent aux paramètres de Montana pour le pluviographe de Tétouan sans indiquer la période d'observation. Le rapport fait référence à l'étude d'exécution de l'autoroute Tétouan-Fnideq de 2004, on en déduit que la période d'observation s'arrête avant 2004.
- Ce même rapport évoque des données IDF du pluviographe de Fès, sans fournir les paramètres ou préciser à quel niveau elles ont été utilisées. Il s'agit a priori d'une erreur de frappe dans le rapport.
- Le volet climatique est décrit de manière générale, sans qu'une série de mesure ne soit fournie en annexe.

On retiendra à la suite de l'examen de ces entrants que, compte tenu du cadre et l'objet de la présente étude, ces informations climatiques ne sont pas particulièrement pertinentes et qu'elles n'ont qu'un caractère de généralités donnant une indication sommaire du climat des zones étudiées.

#### ***DONNEES COLLECTEES PAR L'INGENIERIE ET/OU ACQUISES AUPRES DE METEO MAROC***

L'étude menée par l'Ingénierie, entre 2013 et 2014, pour l'intégration des changements climatiques dans le processus de planification des ressources en eau au Maroc pour le compte de la Direction de la Recherche et de la Planification de l'Eau (DRPE) a permis de collecter les données climatiques auprès de l'Agence du Bassin Hydraulique du Loukkos, située à Tétouan.

Ces données ont été combinées aux données collectées auprès de la Direction de la Météorologie Nationale (DMN).

#### ***SYNTHESE DES DONNEES DISPONIBLES***

La figure suivante illustre l'emplacement des postes pluviométriques et des pluviographes d'intérêts inventoriés dans la zone d'étude pour le tronçon de la RN2. Le tableau présenté ci-après, synthétise les données pluviométriques collectées par l'Ingénierie.

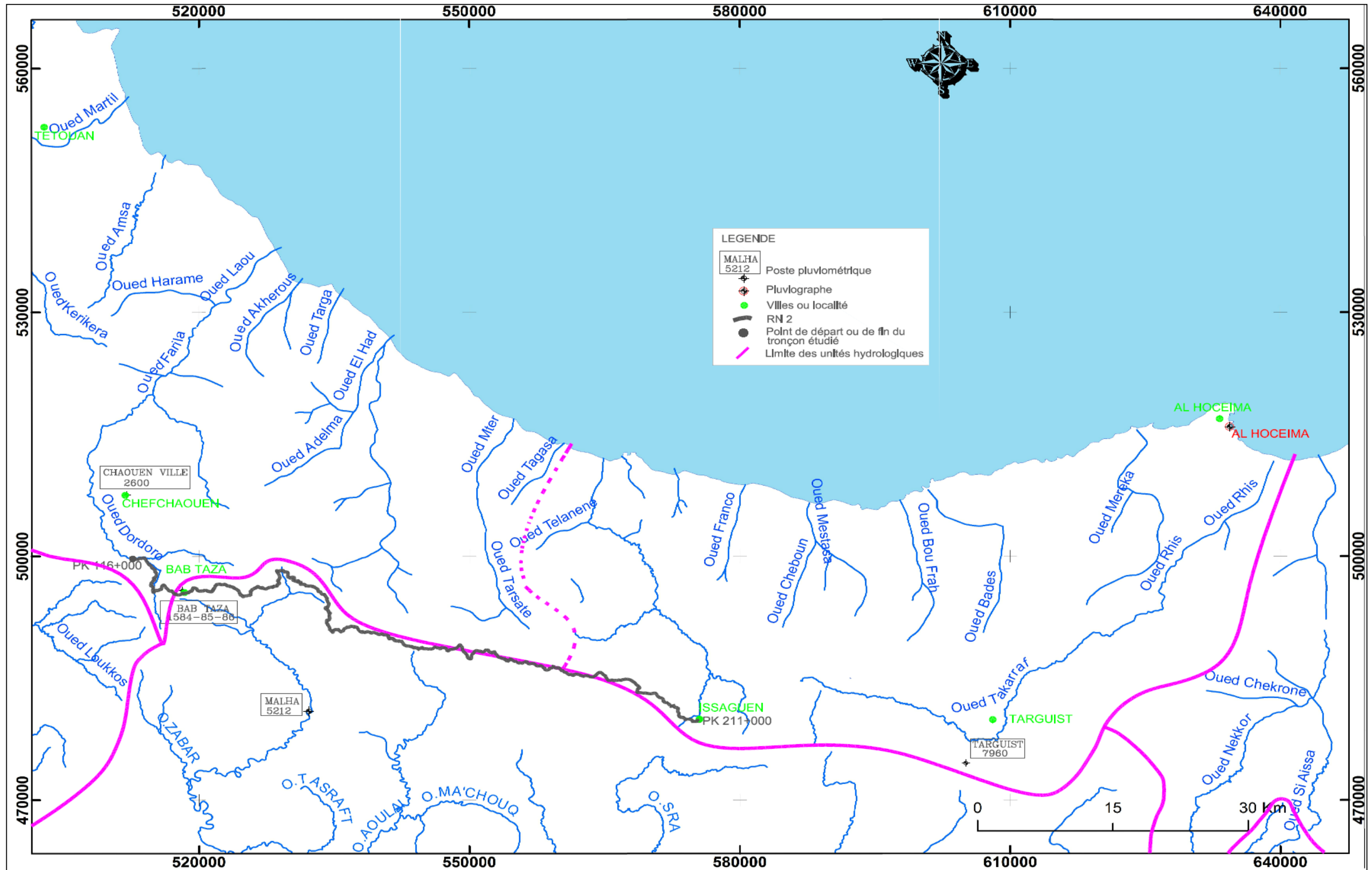


Tableau 58 – Données pluviométriques disponibles - Tronçon Chefchaouen - Issaguen

Unité hydrologique	Poste N°	Nom	Z (mNGM)	Période disponible Pj		Années hydrologiques manquantes
				Début	Fin	
<b>Tronçon 1 : Chefchaouen - Issaguen</b>						
<b>Côtiers Méditerranées</b>	2600	CHAOUEN VILLE	630	01/03/1940	2010	1963-1964; 1967; 1971-1975; 1984-1990; 2005-2009
	1584	BAB TAZA	880	1939	1986	1939-1940; 1941 (1 seul mois disponible); 1957-1960; 1971-1972; 1974
	1585	BAB TAZA	900	1977	2000	2000 (2 mois disponibles avec données nulles)
	1586	BAB TAZA	900	02/09/1995	31/05/2012	1996
<b>Nekkor</b>	7960	TARGUIST	1010	01/07/1963	31/01/2010	1962, 1969 et 1971 (1 seul mois disponible); 1972-1974; 1999
<b>Sebou</b>	5212	MALHA	-	01/12/1999	31/03/2013	-

### POSTES DE REFERENCE

Pour représenter et caractériser la pluviométrie pour chaque tronçon, l'Ingénierie a examiné les données collectées afin de choisir les postes les plus représentatifs par tronçon.

Pour ce faire nous avons privilégié les postes les plus proches, disposant d'une longueur de série de plus de 20 ans et disposant de données actualisées.

Sur la base de cette analyse, il est proposé de prendre en compte les postes suivants pour le tronçon de la RN 2 entre Chefchaouen et Issaguen :

- Chaouen Ville (N°2600) couvrant la période 1940 à 2010 ;
- Bab Taza Unifié correspondant à la consolidation des 3 postes de Bab Taza (N° : 1584, 1585 et 1586) de manière à représenter la période 1933 à 2011 ;
- Targuist (N° 7960) dont la période d'observation est 1963-2009, et qui est représentatif de la zone entre Bab Berred et Issaguen.

### PLUIES JOURNALIERES MAXIMALES ANNUELLES (PJMAX)

Il est à noter qu'il s'agit des données élaborées suite à l'analyse critique des données brutes. Cette analyse s'est basée sur les principes suivants :

- Regroupement des données disponibles ;
- Identification des années hydrologiques constituées de moins de 5 mois de mesure ;
- Identification des valeurs et comparaison des valeurs identifiées à la moyenne des mesures, et aux postes avoisinants ;
- Les valeurs jugées trop faibles par rapport à la moyenne de l'échantillon, ou par rapport aux postes avoisinants ont été écartées, ou dont le nombre de mois de mesure est inférieur à 5 mois et qui ne sont pas cohérentes avec les autres postes, ont été éliminées.

Les caractéristiques des données retenues des pluies journalières maximales annuelles sont présentées ci-dessous :

Tableau 59 – Caractéristiques statistiques des pluies journalières maximales annuelles – Tronçon Chefchaouen - Issaguen

Poste	N°	n	M (mm)	S (mm)	Cv	Me (mm)	Min (mm)	Max (mm)
Chaouen Ville	2600	44	81.1	33.34	0.41	74.4	38.0	166.0
Bab Taza Unifié	1584-85-86	62	96.8	31.65	0.33	95.0	43.0	184.5
Targuist	7960	40	50.5	19.37	0.38	47.7	25.6	97.6

Avec :

- N°: Numéro du poste de pluie
- n : Taille de l'échantillon ou nombre d'années d'observation
- M : Moyenne
- S : Ecart type
- Me : Médiane
- Cv : Coefficient de variation (S/M)
- Max: Maximum
- Min : Minimum

En termes de répartition, on notera que :

- Entre Chefchaouen et Bab Berred : les Pjmax varient dans la gamme 40 à 185 mm avec une médiane moyenne de l'ordre de 85 mm ;
- Entre Bab Berred et Issaguen, représentée par Targuist, les Pjmax varient entre 25 et 100 mm ;
- Les valeurs minimales de Pjmax varient entre 40 et 45 mm pour la zone de Chefchaouen-Bab Berred, et autour de 25 mm entre Bab Berred-Issaguen ;
- Les valeurs maximales de Pjmax varient entre 165 et 185 mm pour la zone de Chefchaouen-Bab Berred, et autour de 100 mm entre Bab Berred-Issaguen.

L'Ingénierie a procédé à l'ajustement statistique de ces pluies pour disposer des quantiles de pluies.

Tableau 60 – Quantiles des pluies journalières maximales annuelles – Tronçon Chefchaouen - Issaguen

Poste	N°	Z (mNGM)	Pjmax (T) (mm)					
			2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Chaouen Ville	2600	630	76	105	125	143	168	186
Bab Taza Unifié	1584-85-86	900	92	120	138	156	179	196
Targuist	7960	1010	47	64	76	87	101	111

Avec :

- mNGM : Unité métrique par rapport au Nivellement Général du Maroc ;
- T : période de retour

On notera que :

- Pour des occurrences moyennes à fortes (T = 20 à 100 ans), les Pjmax (T) varient entre 140 et 200 mm pour Bab Taza et Chefchaouen alors qu'à Targuist elles ne dépassent pas les 115 mm ;
- Pour des occurrences ne dépassant pas 10 ans, elles varient entre 75 et 140 mm sauf pour Targuist où elles sont inférieures à 80 mm.

#### PLUIES ANNUELLES (PAN)

Il est à noter qu'il s'agit des données élaborées suite à l'analyse critique des données brutes. Cette analyse s'est basée sur les principes suivants :

- Regroupement des données disponibles ;
- Identification des années hydrologiques constituées de moins de 8 mois de mesure ;
- Identification des valeurs et comparaison des valeurs identifiées à la moyenne des mesures, et aux postes avoisinants ;
- Les valeurs jugées trop faibles par rapport à la moyenne de l'échantillon, ou par rapport aux postes avoisinants ont été écartées, ou dont le nombre de mois de mesure est inférieur à 8 mois et qui ne sont pas cohérentes avec les autres postes, ont été éliminées.

Les caractéristiques des données de pluie annuelles retenues sont présentées ci-dessous :

Tableau 61 – Caractéristiques statistiques des pluies annuelles – Tronçon Chefchaouen - Issaguen

Poste	N°	n	M (mm)	S (mm)	Cv	Me (mm)	Min (mm)	Max (mm)
Chaouen Ville	2600	39	888.6	334.7	0.38	851.0	345.5	1501.2
Bab Taza Unifié	1584-85-86	58	1230.5	521.6	0.42	1085.2	473.4	2925.5
Targuist	7960	38	388.9	125.3	0.32	375.8	113.7	653.0

En termes de répartition, on notera que :

- Entre Chefchaouen et Bab Berred : les pluies annuelles varient dans la gamme 340 à 2930 mm ;
- Entre Bab Berred et Issaguen, représentée par Targuist, les pluies annuelles varient entre 110 et 660 mm ;
- Les valeurs minimales de pluies annuelles varient entre 340 et 475 mm pour la zone de Chefchaouen-Bab Berred, et autour de 115 mm entre Bab Berred-Issaguen ;
- Les valeurs maximales de pluies annuelles varient entre 1500 et 2930 mm pour la zone de Chefchaouen-Bab Berred, et autour de 655 mm entre Bab Berred-Issaguen.

On retiendra que la pluie moyenne annuelle varie généralement entre 900 et 1250 mm environ entre Chefchaouen et Bab Berred. Entre Bab Berred et Issaguen, représenté par Targuist, elle ne dépasse pas les 390 mm, ce qui s'explique a priori par une partie des précipitations sous forme de neige et par le gradient pluviométrique de l'Ouest vers l'Est.

L'Ingénierie a procédé à l'ajustement statistique de ces pluies pour disposer des quantiles de pluies.

Tableau 62 – Quantiles des pluies annuelles – Tronçon Chefchaouen - Issaguen

Poste	N°	Z (mNGM)	Pan (T) (mm)					
			2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
2600	Chaouen Ville	630	834	1130	1326	1513	1757	1939
1584-85-86	Bab Taza Unifié	900	1145	1606	1911	2204	2583	2867
7960	Targuist	1010	368	479	552	623	714	782

On notera que :

- Pour des occurrences moyennes à fortes (T = 20 à 100 ans), les quantiles de pluies annuelles varient entre 1500 et 2900 mm pour Bab Taza et Chefchaouen alors qu'à Targuist ils ne dépassent pas les 800 mm ;
- Pour des occurrences ne dépassant pas 10 ans, ils varient entre 800 et 1950 mm dans la zone entre Chefchaouen et Bab Berred, alors qu'à Targuist ils varient entre 360 et 560 mm.

## 4.2.2.1.2. LES INTENSITES PLUVIOMETRIQUES

**DONNEES DISPONIBLES**

Le tableau ci-dessous synthétise les données collectées et/ou actualisées par l'Ingénierie :

Tableau 63 – Données pluviographiques disponibles – Tronçon Chefchaouen - Issaguen

Pluviographe	Période d'observation	Données disponibles
El Hoceima	1972-2008	IDF (2, 5, 10, 20,50 et 100)
Chefchaouen	L'inventaire de la DMN, daté de janvier 2013 n'évoque pas de pluviographe pour ce poste	Indisponibles

Le tableau suivant présente les paramètres de Montana (a, b) correspondant aux courbes IDF du pluviographe Al Hoceima :

Tableau 64 – Paramètres de Montana du pluviographe Al Hoceima

T	a (mm/min)	b
2	2.580	0.599
5	3.527	0.577
10	4.172	0.570
20	4.795	0.566
50	5.606	0.562
100	6.215	0.560

**CARACTERISATION DES INTENSITES DE PLUIE**

Compte tenu de l'emplacement géographique du pluviographe Al Hoceima par rapport au tracé routier étudié et à la différence d'altitude, nous avons également cherché à estimer les intensités de pluie à partir des quantiles de pluies journalières maximales annuelles.

Le tableau suivant synthétise les résultats obtenus pour les occurrences de 10 et 100.

En raison des fortes pentes rencontrées, on se limitera à des temps de concentration de moins de 120 minutes.

Tableau 65 – Intensités de pluie décennales et centennales – Tronçon Chefchaouen - Issaguen

T	Poste	N°	Z (mNGM)	I (T) = a(T). b <sup>(T)</sup> (mm/hr)					
				5 min	10 min	15 min	30 min	60 min	120 min
T = 10 ans	<b>Tronçon de la RN 2</b>								
	Chaouen Ville	2600	630	178	118	92	61	40	27
	Bab Taza Unifié	1584-85-86	900	198	131	102	68	45	29
	Targuist	7960	1010	109	72	56	37	24	16
	<b>Pluviographe de référence</b>								
	Al Hoceima	-	-	100	67	53	36	24	16
T = 100 ans	<b>Tronçon de la RN 2</b>								
	Chaouen Ville	2600	630	266	176	138	91	60	40
	Bab Taza Unifié	1584-85-86	900	281	185	145	96	63	42
	Targuist	7960	1010	159	105	82	54	36	24
	<b>Pluviographe de référence</b>								
	Al Hoceima	-	-	151	103	82	56	38	26

On notera que les conclusions sont semblables à celles des quantiles de Pjmax, et que :

- Les intensités de pluies issues du pluviographe d'Al Hoceima représentent plus la zone de Bab Berred-Issaguen que celle de Chefchaouen-Bab Berred ;
- Les intensités de pluies des postes Chaouen et Bab Taza sont plus fortes que celles de Targuist de 1.5 à 1.7 fois environ ;
- Pour une durée de pluie de 30 minutes, les intensités sont importantes et sont comme suit :  
Pour T= 10 ans :
  - Entre Chefchaouen et Bab Berred, elles varient entre 60 et 70 mm/h ;
  - Entre Bab Berred et Issaguen, elles restent inférieures à 40 mm/h ;
 Pour T= 100 ans :
  - Entre Chefchaouen et Bab Berred, elles varient entre 90 et 100 mm/h ;
  - Entre Bab Berred et Issaguen elles restent inférieures à 55 mm/h ;
- Pour des bassins plus réduits avec des temps de concentration entre 5 et 15 minutes, les intensités de pluie sont plus importantes, et de l'ordre de 3 à 1.5 fois celles présentées pour 30 minutes.

#### 4.2.2.2. La neige

L'Ingénierie ne dispose pas de mesures de neige dans la zone d'étude. En effet la DPETL de Chefchaouen a indiqué ne pas disposer de données sur la neige. Elle a affirmé toutefois que la hauteur de neige atteignait en moyenne 0.5 à 0.6 m (sur certaines zones elle peut être de 1 m), et qu'elle engendrait de coupure de routes comme en 1983, 1996, 2002, 2004 et 2008. Elle a également affirmé que les chutes de neige étaient plus importantes dans le passé ; en 1983 la neige est tombée pendant 2 semaines vers Issaguen.

L'analyse de la bibliographie, dont l'ouvrage « Ressources en Eau du Maroc » édité en 1971 par la Direction de l'Hydraulique, montre que la neige tombe chaque année sur les hauts sommets du Rif et peut s'y maintenir jusqu'au mois d'avril. Ceci a été confirmé par la DPETL qui a affirmé que la neige pouvait se maintenir jusqu'au 30/03.



## 4.2.3. Infrastructure routière

### 4.2.3.1. Contexte géographique

La RN 2 relie les villes de Tanger à Al Hoceima, en passant par Tétouan, Chefchaouen, Bab Berred, Issaguen et Targuist, comme l'illustre la figure ci-dessous.



Figure 11 : Contexte géographique du tronçon Chefchaouen – Issaguen

Entre Chefchaouen et Issaguen elle traverse un relief accidenté à montagneux, avec des altitudes variant entre 650 et 1000 mNGM entre les PK 122 et 160, et entre 1000 et 1600 mNGM entre les PK 160 et 211.

### 4.2.3.2. Typologie de la plateforme routière

La plateforme routière est implantée à certains endroits dans des déblais montagneux instables.

Le profil en long se situe généralement soit en profil mixte (déblai-remblai) ou remblai avec un profil en toit et un accotement de rive de 1 m de largeur. Son tracé en plan est sinueux avec une succession de virages.

La RN2 souffre de problèmes de tassement, glissement, enneigement, chute de blocs et verglas. Ces désordres sont accentués par la forte pluviométrie annuelle de la zone qui peut atteindre jusqu'à 1800 mm en une année.

Les désordres se répartissent généralement comme suit :

- Entre Bab Taza et Bab Berred : glissement et tassement ;

- Entre Bab Berred et Issaguen : le problème majeur reste la neige et le verglas qui entraînent une chute importante de trafic de novembre à mi-février (voire fin mars). Dans cette période la température se situe autour de -5 voire -10°C ;
- La chute de blocs se produit principalement entre les PK 142 et 144, et au niveau du PK 197+500.

Pour le PK 197+500 une chute impressionnante s'est produite le 07/02/2014, elle a nécessité le déploiement de 3 chargeurs pour essayer de rouler les blocs de pierre (2 jusqu'à 3 m de diamètre).

Ce point est un point problématique avec une répétition des chutes, et des interventions chaque année à chaque tombée de pluie. La DPETL de Chefchaouen a indiqué qu'une cause probable de cette chute cette année serait a priori liée à la sismicité de la zone (vibrations causées par des séismes vers Al Hoceima).

En termes de coupure, la neige peut causer jusqu'à 2 jours d'arrêt du trafic. Pour le glissement la coupure dépend de l'importance de celui-ci. Généralement les interventions de la DPETL ont pour objectif de ne pas dépasser les 24h.

L'un des points critiques se situe entre les PK 133+600 et 134+500, il s'agit d'un point dur avec des glissements de terrain qui ont mis en évidence l'apparition d'une faille. Celle-ci a entraîné une rupture de trafic de 2 mois.

Le problème du verglas et de la neige se produit principalement entre le 15/11 et 15/02, voire même jusqu'au 30/03. Ce problème reste plus difficile à gérer que la neige seule même si celle-ci dure plus longtemps (jusqu'au mois de mai) et son traitement se fait par la pouzzolane ou le sel.

#### *4.2.3.3. Analyse des données des jours de coupure*

Cette analyse a été effectuée à partir des documents suivants :

- des Bulletins de Viabilité Routière (BVR) fournis par la DR pour les années 2009 à 2014 ;
- des Bulletins de Viabilité Routière (BVR) recueillis sur internet sur le site du Ministère des transports pour l'année 2014 ;
- d'un tableau sommaire de l'historique des coupures fourni par la DR.

Il peut être noté que les éléments fournis sont partiels ; ils ne représentent pas l'exhaustivité des coupures de la RN2.

Le tableau ci-dessous synthétise pour chacun des épisodes recensés les sources d'information, la cause et le type de la coupure, et si possible la durée de coupure de la route.

Tableau 66 – RN2 – Données des jours de coupure

RN2 entre Chefchaouen et Issaguen sur 95 km (PK 116 à 211)								
Année	n° épisode	Source	Section concernée ou PK	Cause de la coupure	Type de coupure	Données recueillies	Etat et date de rétablissement de la route	Durée de la coupure
2009	2009-1	BVR du 14/12/2009 à 12h45	section Bab Barred - Issaguen	Neige	Route enneigée nuit du 13 au 14/12/2009	Pour le Rif la nuit du 13/14 Décembre a connu des chutes légères de neige sur la RN 2 (Issaguen –Bab Barred) qui ont nécessité l'intervention des brigades notamment par traitement à la pouzzolane et salage la route était libre vers 7h00 du matin	14/12/2009 à 7h00	0.5 jour
	2009-2	BVR du 19/12/2009 à 21h00	non précisé	Averses orageuses	Eboulis et ravinements	Au niveau du réseau des provinces du Nord (Tanger ; Tétouan ; Chefchaouen ; Larache) nos équipes ont du intervenir pour dégager des éboulis (RN2 ; RN16 ; RR 410) ou réparer des ravinement d'accotement, mais sans perturbation de la circulation	pas de coupure	-
	2009-3	BVR du 21/12/2009 à 20h00	144 et 152	Averses orageuses	Ravinements d'accotements	DPET Chefchaouen : des ravinements d'accotement et du remblai sur la RN 2 aux Pk 144 et 152 ;situation rétablie sur cet axe ; L'inspection est en cours pour le reste du réseau ; la brigade de déneigement est mobilisée au niveau de Bab Barred	pas de coupure	-
2010	2010-1	BVR du 15/01/2010 à 18h	non précisé	Neige	Route enneigée	RN2 entre Bab Barred et Issaguen : Libre	15/01/2010	?
2011	2011-1	Historique coupure : 30/01/2011	PK 187 et 200	Neige	Route enneigée	-	Coupure	?
	2011-2	Historique coupure : 17/02/2011	PK 150	Neige	Route enneigée	-	Coupure	?
	2011-3	Historique coupure : 15/03/2011	PK 190	Neige	Route enneigée	-	Coupure	?
		Historique coupure : 16/03/2011	PK 200	Neige	Route enneigée	-	Coupure	?
		Bulletin état des routes du 16/03/2011 à 10h	Bab barred - Issaguen PK 156-190	Neige	Route enneigée	Circulation Déneigement en cours	pas de coupure	
		Bulletin état des routes du 16/03/2011 à 12h30	Bab barred - Issaguen	Neige	Route enneigée	Interrompue Tempete de neige actuellement	Coupure	
		Bulletin état des routes du 16/03/2011 à 17h30	Bab barred - Issaguen PK 156 à 199.8	Neige	Route enneigée	Libre	16/03/2011 à 17h	
2012	2012-1	Historique coupure : 16/01/2012	PK 185	Neige	Route enneigée	-	Coupure	?
		Bulletin état des routes du 16/01/2012 à 16h	section Bab Barred - Issaguen	Neige	Route enneigée	RN2 : Bab Barred_ Issaguen : La circulation est libre sous déneigement	pas de coupure	-
		Bulletin état des routes du 17/01/2012 à 17h	section Bab Barred - Issaguen	Neige	Route enneigée	RN2 : Bab Barred_ Issaguen : (communiqué de rétablissement du 17/01/2012 à 16h) ; Libre, interdite aux semi –remorques)	pas de coupure	-
	2012-2	Historique coupure : 08/02/2012	PK 185	Neige	Route enneigée	-	Coupure	?
	2012-3	Historique coupure : 29 et 30/11/2012	PK 171	Neige	Route enneigée	-	Coupure	?
2013	2013-1	Historique coupure : 28/02/2013	PK 186	Neige	Route enneigée	-	Coupure	?
2014	2014-1	Historique coupure : 18 et 19/01/2014	PK 170	Neige	Route enneigée	-	Coupure	
		BVR du 19/01/2014 à 12h	198 à 240	Neige	Route enneigée 17, 18 et 19/01/2014	Des chutes de neige ont été enregistrées dans les nuits du 17/18 et 18/19 Janvier 2014 et les jours du 17 et 18/01/2014, sur les reliefs du Rif et du moyen et haut Atlas situés au dessus de 1400m d'altitude la section du PK 198+000 au PK 240+000 reliant Molla à Khlouket (DRETAL Alhoceima) est rétablie ainsi que la section reliant Bab berred à Issaguen (DPETL de Chefchaouene)	19/01/2014	?
	2014-2	BVR du 15/12/2014 à 9h	Bab Berred - Issaguen PK 170 - 211	Neige	Route enneigée	Libre après déneigement	Libre le 15/12/2014	?
Légende :			source : DR					
			source : site internet du Ministère Transport					

Pour ce tronçon, il ressort que la neige est la principale cause des coupures de la route. Celles-ci se produisent entre la fin novembre et le mois de mars et concernent la section Bab Berred – Issaguen.

## 4.2.3.4. Entretien

La DR établie, à travers des plans de campagne, les budgets alloués chaque année pour l'entretien. Elle nous a fourni ces données et nous avons pu les analyser pour chacun des tronçons étudiés.

Selon les termes de référence, la gestion du tronçon à analyser de la route nationale 2 entre Chefchaouen et Issaguen (PK 116 à 211) appartient à la DPETL de Chefchaouen qui dépend de la DRE de Tanger Tétouan. Lors de la réunion réalisée avec cette DPETL, il nous a été précisé que seul le tronçon situé entre les PK 116 et 198 appartenait à celle-ci et que le reste dépendait de la DPETL de Al Hoceima qui est reliée à la DRE Taza-Al Hoceima.

Le tableau suivant montre les budgets alloués au tronçon étudié depuis l'année 2007 :

Tableau 67 – RN2 – Synthèse du budget d'entretien

TRONÇON: RN2 PK 116 au PK 198 DRE TANGER-TETOUAN	MONTANT EN KDH								TOTAL
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
<b>DESIGNATION</b>									
<b>1/ INVESTISSEMENT DIRECT</b>									
Revêtement Superficiel			0	0		0	0	0	0
Traitement des accotements à l'entreprise	0		0	0		0	0	0	0
Traitement de l'environnement	511		0			500	320	228	1559
Entretien des O.A et assainissement	0		0	0		0	0	0	0
Signalisation Verticale									0
Dispositifs de sécurité				0					0
Signalisation Horizontale	0		0	0		405	0	0	405
<b>2/ DEPENSES LIEES AUX TRAVAUX EN REGIE</b>									
Fourniture d'émulsion									
Fourniture de gravillons									
Autres matériaux de construction									
Carburant et lubrifiants									
Pièces de rechange									
Location des camions et engins									
<b>3/ DEPENSES DE FONCTIONNEMENT</b>									
Petit matériel et outillages									
Bois de chauffage									
Alimentation									
Comptage routier									
Entretien des maisons cantonnières ou abris de neige									
Fournitures des bureaux									
consommable informatique									
<b>AUTRES</b>									
Traitement des accotements et fossés en régie	0			0		0	0	0	
<b>ENNEIGEMENT</b>									
<b>TOTAL</b>	<b>511</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>905</b>	<b>320</b>	<b>228</b>	<b>1964</b>

NON DETAILLE

NON DISPONIBLE

La représentation graphique de ce budget est présentée ci-dessous:

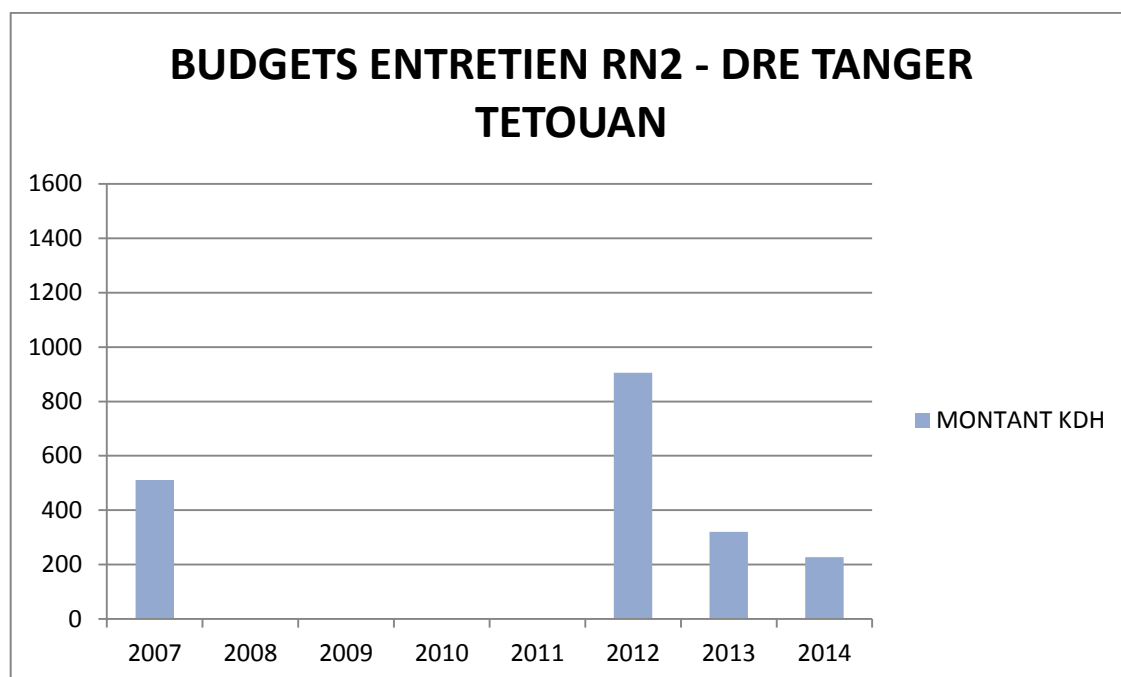


Figure 12 – RN2 – Synthèse du budget d'entretien

Le détail de ce budget par année et par PK est montré dans le tableau suivant :

Tableau 68 – RN2 – Détail du budget d'entretien

Année	PK	Nature	Montant KDH
2007	PK 119,20	Fossés bétonnés	380
	PK 155,60	Confortement ravin	131
2012	PK 97 - 132	Signalisation horizontale	405
	PK 128 - 186	Gabion+bétonnage accotements+fossé bétonné	500
2013	PK 101 - 132	Gabion+bétonnage accotements+fossé bétonné	320
2014	PK 101 - 132	Bétonnage accotements+fossé bétonné	228
<b>TOTAL</b>			<b>1964</b>

L'information, contenue dans les plans de campagne, ne permet pas la localisation exacte de ces opérations d'entretien.

Les budgets alloués par la DPETL de Al Hoceïma pour la RN2 (pour les années disponibles) est de zéro en ce qui concerne les PKs 198 à 211. De ce fait nous n'avons pas inclus de tableau de synthèse concernant cette région.

## 4.2.4. Hydraulique et assainissement

### 4.2.4.1. Contexte hydrographique et hydrologique

Les observations relevées lors des visites de terrain ont été complétées par un travail au bureau, en exploitant les données et études mises à disposition de l'Ingénierie et les fonds topographiques 1/50.000ème et 1/100.000ème.

Ainsi de point de vue hydrographique et hydrologique, il est à noter que

- Le réseau hydrographique est dense ;
- Les écoulements sont concentrés et les lits des Chaâbas et Oueds bien marqués ;
- Les bassins versants de la plupart des points névralgiques ont été délimités (voir Annexe 3 - Plans).

Les caractéristiques de ces bassins sont présentées ci-dessous :

Tableau 69 – Caractéristiques des bassins versants au droit des points névralgiques du tronçon Chefchaouen - Issaguen

PK	S <sub>BV</sub> (km <sup>2</sup> )	L <sub>max</sub> (m)	H <sub>max</sub> (mNGM)	H <sub>min</sub> (mNGM)	H <sub>moy</sub> (mNGM)	Pente (%)
122+800	10.92	5444.19	1600	650	1125	17.4%
124+000	1.00	2317.77	970	700	835	11.6%
128+800	Petit bassin en déblai - limite nécessitant un fond topographique plus précis					
132+800	1.98	2254.14	1208	880	1044	14.6%
133+600	Petit bassin en déblai - limite nécessitant un fond topographique plus précis					
133+800 – 134+500	Pas de BV					
136+900	Petit bassin en déblai - limite nécessitant un fond topographique plus précis					
138+900	7.00	4074.07	1750	800	1275	23.3%
142+200 – 143+900	Pas de BV					
143+500	19.40	8948.31	2150	830	1490	14.8%
144+900 – 145+300	0.93	1166.65	1187	866	1026.5	27.5%
148+700	0.19	503.09	1140	960	1050	35.8%
152+000	Petit bassin en déblai - limite nécessitant un fond topographique plus précis					
156+200	Petit bassin en déblai - limite nécessitant un fond topographique plus précis					
161- 162	0.09	477.55	1410	1280	1345	27.2%
164+360	0.23	899.08	1620	1190	1405	47.8%
197+500	Petit bassin en déblai - limite nécessitant un fond topographique plus précis					
209+483	0.37	1354.72	1840	1580	1710	19.2%

Avec :

- S<sub>bv</sub> : Surface du bassin versant (Km<sup>2</sup>)
- L<sub>max</sub> : Longueur du plus long thalweg (Km)
- H<sub>max</sub> : Altitude de la source du plus long thalweg (mNGM)
- H<sub>min</sub> : Altitude de l'oued au niveau du franchissement (mNGM)
- H<sub>moy</sub> : Altitude moyenne de l'oued (mNGM)
- P : Pente du thalweg (m/m ou en %)

Ces bassins correspondent généralement :

- à des bassins versants « localisés » (< 0.1 km<sup>2</sup>) pour les déblais : exemple du PK 197+500 ;
- à de très petits bassins (de 0.1 à 1 km<sup>2</sup>) : exemple du PK 164+360 ;
- à des petits bassins (de 1 à 20 km<sup>2</sup>) : exemple du PK 138+900 ;
- En termes de pentes, les zones étudiées se caractérisent par leur relief accidenté à montagneux. Ainsi suivant la taille des bassins, les pentes varient :
  - Bassins de moins de 1 km<sup>2</sup> : entre 19 et 48 % ;
  - Bassins entre 1 et 20 km<sup>2</sup> : entre 11 et 24 %.
- L'aptitude des sols au ruissellement est moyenne à forte en particulier pour les bassins en montagne à forte pente. Cette aptitude est légèrement tempérée par la présence d'une couverture végétale assez importante, mais reste toutefois importante vu les pentes rencontrées ;
- Les sols sont généralement fins avec une importante aptitude à l'érosion comme le montrent les ravinements en zone de déblai et l'érosion de certains talus de remblai ;
- Le charriage est important, il est soit d'éléments importants comme les blocs métriques dans l'oued Ametras, soit d'éléments moins grossiers issus de l'altération des schistes.

#### 4.2.4.2. Diagnostic des problématiques recensées

En termes de dispositifs hydrauliques d'assainissement et de drainage, en général ce système se limite à des ouvrages de traversée. Les dispositifs longitudinaux sont soit inexistantes pour la majeure partie du réseau, soit il s'agit de fossés bétonnés trapézoïdaux de 0.5 m à la base et de 0.5 m de profondeur colmatés en partie ou en totalité.

Après l'analyse des listes d'ouvrages hydrauliques mises à disposition de l'Ingénierie, il est à noter que :

- On regrettera l'absence de coordonnées géographiques pour permettre une meilleure implantation des ouvrages. En effet nous nous sommes basés sur les bornes kilométriques et sur les PK indiqués par les collaborateurs de la DPETL pour se repérer ;
- Les dimensions des ouvrages ne sont pas toujours indiquées, certaines sont différentes de celles indiquées dans les listes fournies ;
- Pour la plupart ce sont des ouvrages d'art qui ont été fournis, la liste de la petite hydraulique étant indisponible et nécessitant une opération de repérage par les directions concernées.

Pour l'état des dispositifs hydrauliques, d'assainissement et drainage, l'Ingénierie a constaté certaines déficiences et/ou anomalies de fonctionnement des ouvrages. Ce constat est également évoqué dans les études et données mises à disposition de l'Ingénierie dont :

- Les fiches techniques de réparation de dégâts de crue ;
- Rapports d'inspections des ouvrages d'art, dont on notera ceux transmis par la DPETL de Chefchaouen.

Les anomalies décelées sont détaillées ci-dessous, elles permettent de dresser un diagnostic des aménagements existants et d'en relater le risque qu'ils encourent à l'état actuel. Le risque majeur demeure la destruction de la route et/ou des ouvrages hydrauliques, en partie ou en totalité, et l'interruption du trafic provisoire ou permanente.



Absence de fossés de talus et/ou de pied de déblais, et de dispositifs de drainage interne pour les sections en déblai ou en profil mixte : exemple du PK 197+500



Figure 13 : Absence de drainage au PK 197+500

Absence de captage des Chaâbas en amont, ce qui cause des ravinements dans les talus de déblais et engendre des débordements des écoulements sur la route. Ce constat est lié notamment à l'absence de fossés latéraux de déblai se raccordant à des ouvrages hydrauliques dont l'entrée est de type puisard : exemple du PK 128+800 où une Chaâba arrive en talus de déblai sans dispositif de captage, puis longe le mur de soutènement en gabions



Figure 14 : Absence de captage de Chaâba au PK 128+800

Absence de protection des remblais routiers au droit des ouvrages hydrauliques (perrés maçonnés) : exemple du PK161 environ



Figure 15 : Absence de protections du remblai au PK 161



Colmatage des entrées de certains ouvrages par transport solide, certaines entrées d'ouvrages sont complètement ensevelis et certaines sorties non dégagées: exemple du PK148+700 où des dépôts d'ordures ménagères ont été relevés à l'entrée du dalot



Figure 16 : Dépôts solides à l'entrée de l'OH au PK 148+700

Absence de protection en enrochement des lits des Chaâbas et oueds rétablis par les ouvrages hydrauliques (OH et radiers), ce qui cause des affouillements en particulier pour des OH avec des chutes en aval : exemple du PK 156+200



Figure 17 : Absence de protections en pied de chute au PK 156+200

Le même constat concerne les rejets de fossés et des descentes d'eau : exemple du PK 124+000 où le fossé de pied de remblai rejette les écoulements directement dans le milieu naturel sans protection



Figure 18 : Absence de protections au rejet du fossé au PK 124

Obturation d'une partie ou de la totalité des sections hydrauliques de certains fossés de déblai : exemple du PK 145



Figure 19 : Colmatage du fossé au PK 145

Phénomène de charriage de blocs métriques et d'affouillement de culées, l'exemple le plus marquant reste au niveau de l'Oued Ametras



Figure 20 : Affouillement au droit de la culée de l'oued Ametras

#### 4.2.4.3. Synthèse

L'analyse qualitative et quantitative a mis en évidence la sensibilité de la plateforme routière étudiée, à travers une série d'indicateurs dont la synthèse est présentée ci-dessous :

- Le contexte pluviométrique et topographique est favorable à la genèse des crues : en effet les bassins versants sont bien pentés avec des couvertures végétales moyennes, et des terrains fins et érodables. Le ruissellement peut être caractérisé de moyen pour des occurrences de moins de 10 ans, au-delà il est moyen à élevé, suivant la taille des bassins ;
- De par le contexte accidenté et montagneux, les crues sont de courtes durées, violentes et torrentielles surtout pour des bassins de moins de 100 km<sup>2</sup>. Pour les grands oueds, la crue peut durer plus longtemps ;
- En raison de ce faible temps de parcours et des fortes aptitudes au ruissellement, les débits de crues peuvent être importants comme en attestent les dégâts de crue, dont une partie constatée sur site ;

- L'état des ouvrages (colmatage, absence de dispositifs amont et de protections aux points de rejets, etc.) entraîne une réduction de la débitance des ouvrages, un débordement des écoulements sur les routes et des érosions de talus aussi bien en déblai qu'en remblai ;
- Le mauvais assainissement et/ou drainage des écoulements, notamment depuis les talus de déblai, occasionne des dysfonctionnements des ouvrages, ils sont accompagnés par des érosions de talus, des glissements de terrains ainsi que des inondations des routes ;
- L'absence de protection appropriée des remblais routiers et des lits des Chaâbas en amont et aval des ouvrages, ainsi qu'au droit du rejet des fossés et/ou des descentes d'eau comporte un risque d'érosion et d'affouillement qui peut entraîner la dégradation des remblais et/ou des radiers.

Ces désordres sont synthétisés dans le tableau ci-dessous.



Tableau 70 – Désordres hydrauliques constatés au niveau des points névralgiques du tronçon Chefchaouen - Issaguen

Rapport de visites		Défauts et désordres constatés	Causes envisageables	Typologie des problématiques recensées	
n° point	PK			Principale	secondaire
1	122+800	Ouvrage de franchissement de l'oued Majless : Présence de gros blocs au droit de l'OH avec risque de réduction de la section hydraulique	Problème de charriage de gros blocs	Ouvrage de franchissement d'un oued	Phénomène de charriage de gros blocs
2	124+000	Ouvrage de traversée : absence de protection du remblai et du radier en amont et aval	Absence de dispositifs de protection	Ouvrage de franchissement d'une Chaâba	Absence de protection du remblai, ou du radier amont et aval
		Erosion régressive au droit du rejet du fossé de pied de remblai	Absence de protection au point de rejet	Assainissement	Absence de protection au point de rejet du fossé
		Réseau de collecte en pied de déblai ponctuellement enherbé	Absence d'entretien	Entretien	Absence d'entretien du fossé
3	128+800	Absence de dispositifs de captage des Chaâbas en déblai dont une longeant le mur de soutènement en gabions	Absence de dispositif de captage amont des Chaâbas	Ouvrage de franchissement d'une Chaâba	Absence de captage amont de Chaâba
		Affouillement en pied de l'aménagement en escaliers à la sortie de l'OH	Absence de dispositif de protection contre l'affouillement	Ouvrage de franchissement d'une Chaâba	Absence de protection contre l'affouillement
		Erosion au droit du point de rejet des descentes d'eau	Absence de protection au point de rejet	Assainissement	Absence de protection au point de rejet de descentes d'eau
		Absence de drainage de la chaussée en déblai	Absence de dispositif de drainage	Assainissement	Absence de drainage interne de déblai
4	132+800	Absence de réseau de collecte en pied de déblai	Absence de dispositif d'assainissement	Assainissement	Absence de dispositif d'assainissement
		Ouvrage de traversée de l'oued Bouksibi : absence de protection du remblai et du radier en amont et aval	Absence de dispositifs de protection	Ouvrage de franchissement d'un oued	Absence de protection de remblais, amont et aval de l'ouvrage de franchissement
5	133+600	Absence de réseau de collecte en pied de déblai	Absence de dispositif d'assainissement	Assainissement	Absence de dispositif d'assainissement
		Ouvrage de traversée : pas de raccordement des fossés de déblai avec le puisard en amont	Absence d'aménagements amont de l'ouvrage de traversée	Ouvrage de franchissement d'une Chaâba	Absence de raccordements amont
		Entrée de l'OH colmaté à moitié et sortie en aval non dégagée	Absence d'entretien	Ouvrage de franchissement d'une Chaâba	Absence d'entretien de l'ouvrage
		Ouvrage de traversée : absence de protection du remblai et du radier en amont et aval	Absence de dispositifs de protection	Ouvrage de franchissement d'une Chaâba	Absence de protections du remblai et en amont/aval de l'OH
		Ouvrage de traversée : tête aval manquante	Débordement des eaux de la Chaâba sur la route et érosion pluviale	Erosion pluviale	Erosion du talus de remblai
6	133+800-134+500	Zone de glissement survenu pendant la saison hivernale 1983-1984 ayant nécessité le ripage du tracé vers le déblai et la revue du tracé en plan de la RR			
7	136+900	Zone en cours de traitement - Voir géotechnique			
8	138+900	Ouvrage de franchissement de l'oued Chrafate - Charriage important mais calage de l'ouvrage haut			
9	142+200 + 143+900	Zone d'éboullis - Voir géotechnique			
10	143+500	Ouvrage sur l'oued Ametras : affouillement au droit de la culée rive gauche	Absence de dispositif de protection contre les affouillements	Ouvrage de franchissement d'un oued	Absence de protection contre l'affouillement
		Charriage de grands blocs	Problème de charriage de gros blocs	Ouvrage de franchissement d'un oued	Phénomène de charriage de gros blocs
11	144+900 - 145+300	Absence de dispositifs de captage des Chaâbas en déblai en amont de l'OH existant	Absence de dispositif de captage amont des Chaâbas	Ouvrage de franchissement d'une Chaâba	Absence de captage amont de Chaâba
		Ouvrage de traversée n°1 : Dépôts solides dans le puisard amont et sortie non dégagée	Absence d'entretien	Ouvrage de franchissement d'une Chaâba	Absence d'entretien de l'ouvrage
		Ouvrage de traversée n°2 : sortie très obturée	Absence d'entretien	Ouvrage de franchissement d'une Chaâba	Absence d'entretien de l'ouvrage
		Ouvrage de traversée n°2 : fissuration sur les parois de l'entrée du puisard	Dégradation induite par le glissement	Ouvrage de franchissement d'une Chaâba	Dégradation causée par le glissement
		Ouvrages de traversée : absence de protection du remblai et du radier en amont et aval	Absence de dispositifs de protection	Ouvrage de franchissement d'une Chaâba	Absence de protection du remblai, ou du radier amont et aval
		Sections du fossé de pied de déblai complètement ensevelies ou partiellement colmatées	Absence d'entretien	Entretien	Absence d'entretien du fossé
12	148+700	Absence de dispositifs appropriés de captage de Chaâbas	Absence de dispositif de captage amont des Chaâbas	Ouvrage de franchissement d'une Chaâba	Absence de captage amont de Chaâba
		Déchets ménagers déposés à l'entrée de l'ouvrage de traversée	Absence d'entretien	Ouvrage de franchissement d'une Chaâba	Absence d'entretien de l'ouvrage
		Ouvrage de traversée : absence de protection du remblai et du radier en amont et aval	Absence de dispositifs de protection	Ouvrage de franchissement d'une Chaâba	Absence de protection du remblai, ou du radier amont et aval
		Sections du fossé de pied de déblai colmatées	Absence d'entretien	Entretien	Absence d'entretien du fossé
13	152+000	Absence de fossés de pied ou de talus de déblai par endroits	Absence de dispositif d'assainissement	Assainissement	Absence de dispositif d'assainissement
		Sections de fossé de pied de déblai partiellement colmatées par les dépôts solides	Absence d'entretien	Entretien	Absence d'entretien du fossé
14	156+200	Absence par endroits de fossés de pied de déblai	Absence de dispositif d'assainissement	Assainissement	Absence de dispositif d'assainissement
		Sections du fossé existant de pied de déblai totalement colmatée	Absence d'entretien	Entretien	Absence d'entretien du fossé
		Ouvrage de traversée : absence de fosse de dissipation en pied du dispositif en escalier à la sortie de l'OH	Absence de dispositif de protection contre les affouillements	Ouvrage de franchissement d'une Chaâba	Absence de protection contre l'affouillement
		Ouvrage de traversée : ensablement à l'intérieur de l'OH	Absence d'entretien	Ouvrage de franchissement d'une Chaâba	Absence d'entretien de l'ouvrage
15	161 - 162	Ouvrage de traversée : fissuration des parois du dalot	Dégradation induite par le glissement	Ouvrage de franchissement d'une Chaâba	Dégradation causée par le glissement
		Absence partielle de fossés de talus, de pied de déblai et de pied de remblai ainsi que du drainage interne du déblai	Absence de dispositif d'assainissement	Assainissement	Absence de dispositif d'assainissement
		Colmatage des sections existantes de fossé de pied de déblai	Absence d'entretien	Entretien	Absence d'entretien du fossé
16	164+360	Absence de protection de remblai routier au droit de l'OH	Absence de dispositifs de protection	Ouvrage de franchissement d'une Chaâba	Absence de protection du remblai, ou du radier amont et aval
		Obturation du chenal entre l'OH sous l'ancienne route et la nouvelle	Absence d'entretien	Ouvrage de franchissement d'une Chaâba	Absence d'entretien de l'ouvrage
		Ouvrage de traversée : absence de fosse de dissipation en pied du dispositif en escalier à la sortie de l'OH	Absence de dispositif de protection contre les affouillements	Ouvrage de franchissement d'une Chaâba	Absence de protection contre l'affouillement
17	197+500	Ouvrage de traversée (OH n°2) : absence d'aménagements en amont	Absence de dispositif de captage amont des Chaâbas	Ouvrage de franchissement d'une Chaâba	Absence de captage amont de Chaâba
		Ouvrage de traversée (OH n°2) : une ouverture busée colmatée à 50 %	Absence d'entretien	Ouvrage de franchissement d'une Chaâba	Absence d'entretien de l'ouvrage
		Ouvrage de traversée (OH n°1 et 2) : ouvrages en aval sous la route de déviation de moindre gabarit, risque de blocage hydraulique	Problème de conception hydraulique	Ouvrage de franchissement d'une Chaâba	Section de rétrécissement à l'aval immédiat
18	209+483	Absence de fossé de pied de déblai et de drainage interne du déblai	Absence de dispositif d'assainissement	Assainissement	Absence de dispositif d'assainissement
		Ouvrage de traversée : absence de raccordement fossé de déblai et puisard à l'entrée	Absence de dispositif de captage amont des Chaâbas	Ouvrage de franchissement d'une Chaâba	Absence de captage amont de Chaâba
		Ouvrage de traversée : dépôts solides dans le puisard à l'entrée	Absence d'entretien	Ouvrage de franchissement d'une Chaâba	Absence d'entretien de l'ouvrage
18	209+483	Absence de fossé de talus et de pied de déblai, de pied de remblai et dispositif de drainage interne non décelé	Absence de dispositif d'assainissement	Assainissement	Absence de dispositif d'assainissement
		Phénomène de charriage important avec risque de réduction de la débitance de l'OH	Problème de charriage de gros blocs	Ouvrage de franchissement d'une Chaâba	Charriage de blocs
18	209+483	Ouvrage de traversée : absence de protection du remblai et du radier en amont et aval	Absence de dispositifs de protection	Ouvrage de franchissement d'une Chaâba	Absence de protection du remblai, ou du radier amont et aval

Le tableau suivant synthétise les désordres observés pour la RN 2 :

Tableau 71 – Synthèse des désordres hydrauliques constatés aux points névralgiques – Tronçon Chefchaouen - Issaguen

Thématiques	Typologie des problématiques recensées		Bilan des désordres constatés	
	Principale	secondaire	RN 2	
			Nombre	%
Hydraulique fluviale	Ouvrage de franchissement d'un oued	Dégradations au droit d'un pont submersible	4	8.3%
		Affouillement en aval d'un radier submersible		
		Charriage de gros blocs ou transport de sédiments		
		Dégradations ou affouillement au droit d'un pont		
		Affouillement au droit d'un radier submersible		
		Absence d'aménagements connexes (dispositifs de protection des remblais ou en amont/aval de l'ouvrage)		
	Route en bordure d'un oued : érosion fluviale	Erosion de berge/pied de remblai par attaque du courant et variations des niveaux d'eau (crue et décrue)	0	0.0%
<b>Total</b>		<b>4</b>	<b>8.3%</b>	
Assainissement routier	Assainissement	Absence de réseau de collecte et d'évacuation des eaux pluviales	10	20.8%
		Absence de drainage interne de déblai		
		Absence de dispositifs de protection au droit du rejet du dispositif d'assainissement		
	Entretien du réseau	Absence d'entretien du fossé	6	12.5%
	Ouvrage de franchissement d'une Chaâba	Dégradations du talus de remblai et au débouché de l'ouvrage	27	56.3%
		Absence de dispositifs de protection du remblai routier ou au débouché des ouvrages de traversée		
		Dégradation de l'ouvrage hydraulique		
		Problème de blocage hydraulique en aval		
		Absence de dispositifs de captage amont d'une Chaâba ou de raccordement avec le réseau latéral en amont		
	Erosion pluviale	Absence d'entretien de l'ouvrage	1	2.1%
		Erosion des talus de remblais		
		Erosion du bassin versant amont		
	<b>Total</b>		<b>44</b>	<b>91.7%</b>
<b>Total hydraulique fluviale et assainissement routier</b>		<b>48</b>	<b>-</b>	

Ce tableau montre que les dégâts constatés sur un échantillon de 18 points se répartissent comme suit:

- 92 % environ concernent l'assainissement routier : réseau de captage longitudinal, traversée transversale, érosion des remblais à cause de la pluie, absence de protections de remblai au droit des ouvrages hydrauliques ou en amont et/ou aval de ces ouvrages, etc ;
- 8 % e environ se rapporte à l'hydraulique fluviale : affouillement au droit de culées de ponts, charriage de gros blocs, etc.

Il apparait donc à la lumière de ce diagnostic, qu'actuellement des déficiences et anomalies encomrent le bon fonctionnement de la RN2. Ces dysfonctionnements comportent un risque majeur, qui pourrait être aggravé, éventuellement, par les changements climatiques.

## 4.2.5. Géotechnique et chaussées

### 4.2.5.1. Contexte géologique

La RN2 se situe dans le domaine rifain et plus précisément dans le domaine externe de la chaîne.

Le relief s'abaisse vers le sens du déversement des nappes de charriage, ramenant le paysage en forme de collines pré-rifaines qui sont-elles mêmes bordées par un avant-pays plat à l'Ouest (plaine de Gharb et plateau de Saïss).

La chaîne du rif est subdivisée en trois domaines structuraux :

- Les zones internes situées à l'intérieur de l'arc structural du Rif entre Sebta et Jebha et dans les Bokoyas sont composées de formations rigides cristallines du Paléozoïque et sédimentaires plus récentes dites respectivement sébtides, ghomarides et dorsale calcaire.
- Le domaine des nappes des flyschs jalonne l'arc rifain à l'ouest et se compose essentiellement des flyschs de nappes nommés: Tisirène, Beni Ider, Chouamat – Melloussa et Numidien.
- Le domaine externe, où se situe la route, correspond à l'ancien sillon externe, établi sur la marge nord-africaine, comblé par d'épaisses séries méso-cénozoïques envahit par certains lambeaux des nappes de flyschs.

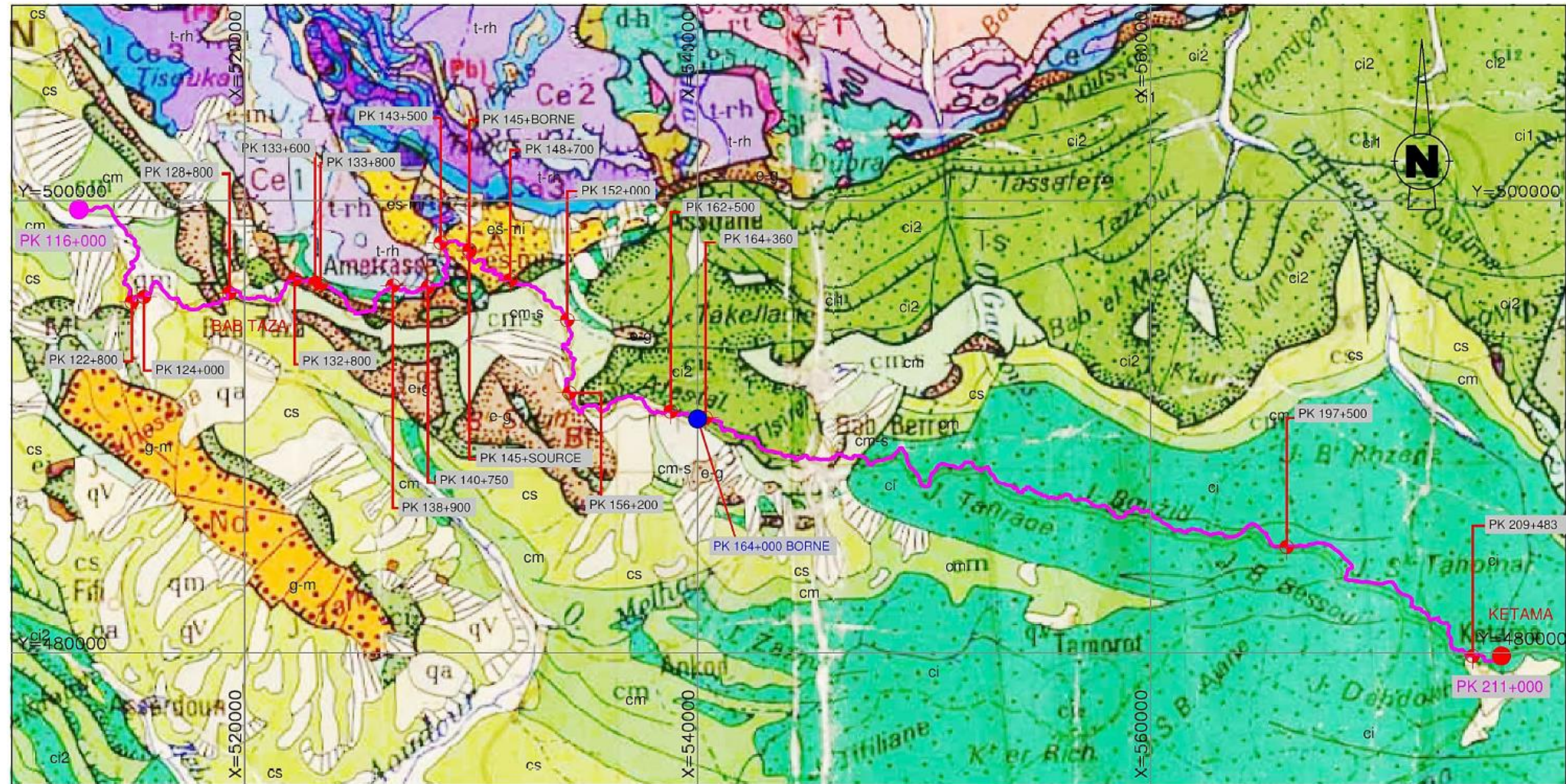
La Chaîne rifaine a subi des déformations tectoniques complexes et multiphasées engendrant des failles et des torsions en plan, et d'écaillés orientées Nord-Sud. Les masses relativement molles apparaissent plissées et écaillées.

Comme l'illustre la figure ci-dessous, l'analyse géologique est comme suit :

- Début de tracé au PK128 : la route se développe dans la nappe de Tanger externe constituée de marnes grises et bleues d'âge Crétacé moyen à supérieur avec des passages d'éboulis de pentes non consolidés du quaternaire ;
- Du PK 128 au PK 140 : la route traverse une zone de limite entre différentes nappes de charriage au Sud de la dorsale calcaire. Cette zone est caractérisée par la dominance des dépôts de pentes d'évolution complexe, il s'agit de formations instables formé de reprise à plusieurs époques ;
- Du PK140 au PK149 : la route traverse la partie Sud de la dorsale calcaire caractérisée par un passage des formations calcaro-dolomitique d'âge Trias-Lias et un passage à faciès détritique d'âge Miocène-Eocène. Cette section est caractérisée par des instabilités rocheuses (écroulement, éboulement et chute de blocs) à risque très fort. Les calcaires sont affectés par une fracturation intense avec un réseau de failles orienté NE-SO ;
- Du PK149 à PK 156 : la route se situe dans unité de Tanger interne constituée de marnes verdâtres et brunes à intercalation de calcaires fins d'âge ;
- Du PK 156 au PK175 : le tracé passe à la limite entre la nappe de Tisirène constituée de flysch avec celle de Béni Ider, d'une part, avec l'unité de Tanger constituée de formations marneuses d'âge Crétacé moyen à supérieur ;
- A partir du PK 175, la route se situe dans l'unité de Ketama caractérisée par des formations marno-calcaire principalement schisteux d'âge Crétacé supérieur.



Extrait de la carte géologique du Rif 1/500000



LEGENDE

Symbole	Unité géologique	CHRONOSTRATIGRAPHIE	
q		Travertins	Quaternaire
es-mi	Dorsale calcaire	Faciès détritique très localisé	Eocène supérieur-Miocène inférieure
t-rh		Calcaire	Trias supérieur-Lias
e-g	Nappe de Béni izer	Flyschs, faciès grossiers et marnes violacées sableuses	Eocène - Oligocène
ci2	Nappe Tisirène	Flyschs	Crétacé inférieur
ci1		Calcschiste à niveaux schisto-gréseux	
g-m	Nappe Numidienne	Grès quartzeux et de fins lits argillitiques	Oligo-Miocène
cm-s cm cs	Unité de Tanger	Marne grise et marno-calcaire	Crétacé moyen et supérieur
ci	Unité de Ketama	Marno-calcaire shisteuse	Crétacé inférieur



Figure 21 : Formations géologiques au droit du tronçon Chefchaouen – Issaguen



#### 4.2.5.2. Diagnostic des problématiques recensées

La RN 2 se situe dans le domaine de Rif. Ce domaine se caractérise par un contexte géologique et géotechnique complexe. Elle se développe dans un relief accidenté constitué de terrains compressibles. Elle traverse des zones de grands glissements de terrain qui causent des désordres importants au niveau de la route.

Plusieurs types de désordres ont été rencontrés au niveau de la chaussée, des remblais, des déblais ainsi qu'au niveau des systèmes de soutènement.

Les différents types de désordres constatés sont présentés ci-après avec les photos correspondantes.

Certaines sections de la route sont situées sur des versants instables qui manifestent de grands glissements. Malgré les traitements ponctuels mis en place, ces glissements restent toujours actifs et engendrent des déplacements, des affaissements et des déformations répétitifs de la chaussée.

L'historique de certains tronçons révèle qu'à chaque saison hivernale des désordres importants se manifestent. Ce dont découle la coupure de la circulation.

Exemple de ces glissements historiques :

- PK 133+600 considéré comme point névralgique vu sa situation sur un grand versant à éboulis instable ;
- PK 133+800 –PK134+500 : Cette section a connu un glissement entraînant un départ de la route sur 400m environ pendant la saison hivernale 1983-1984. Elle a nécessité un changement du tracé en plan en lacet qui pose actuellement un problème de sécurité pour les conducteurs. La route existante est la déviation créée ce jour-là. Elle présente des désordres malgré les interventions effectuées, ce qui témoigne que ce tronçon reste toujours instable.

Les photos suivantes montrent des exemples de versants instables qui ont connu plusieurs interventions ainsi que la dégradation de la chaussée dans ces zones.



Figure 22 : Versant instable traversé par la route au PK 133+600



Figure 23 : Chaussée dégradée située dans l'emprise du glissement (PK 144+900 – 145+300)



Les talus de déblais rocheux à pente raide, présentent le risque de chute de gros blocs suite à la combinaison de facteurs climatiques et tectoniques. Cette combinaison peut engendrer l'éclatement et la dislocation du rocher formant le relief et entraînant la chute de blocs de dimension métrique.

Cette chute de blocs cause la coupure répétitive de la circulation et la dégradation de la chaussée. Le dégagement des blocs se fait par l'équipe chargée de l'entretien à l'aide des moyens disponibles (chargeuses, pelles ...).

Exemple du PK197+500 : Le plus important éboulement est celui survenu le 07/02/2014. Les blocs de grès quartzitique tombés sont de grandes dimensions. Les photos ci-après illustrent ces phénomènes.



Figure 24 : Zone de chute de blocs (PK142+200 – 143+900)



Figure 25 : Eboulement du 07/02/2014 (PK197+500)

Dans les tronçons en profil mixte les tassements de la chaussée sont observés du côté remblai. Ces tassements sont compensés par des rechargements périodiques de la chaussée qui font augmenter la charge sur le remblai et peuvent déclencher des glissements de ce dernier.



Figure 26 : Affaissement et fissuration de la chaussée (PK197+500)



Figure 27 : Fissures longitudinales de la chaussée (PK133+800)

Les moyens de confortement réalisés sont généralement des murs de soutènement en gabion et parfois en béton. Ces confortements ne sont pas basés sur des études poussées (à notre connaissance) et n'assurent généralement pas la stabilité définitive. Ils représentent, a priori, une solution à court

terme et ne traitent pas la problématique dans son ensemble. A noter qu'ils sont parfois déformés ou emportés par les glissements.



Figure 28 : Mur en gabion déformé (PK 164 – 165)



Figure 29 : Mur de soutènement incliné et affaissement de la chaussée (PK136+900)

Le mauvais drainage peut activer des glissements et des affaissements suite à la saturation de support par les écoulements du côté amont.

Les photos suivantes au PK136+900 montrent une déviation de la route et un confortement en cours de réalisation suite à ce problème.



Figure 30 : Confortement du talus aval de la chaussée



Figure 31 : Travaux de réparation de la route en cours

#### 4.2.5.3. Traitements réalisés

En se basant sur les données mises à notre disposition, ci-après quelques exemples de traitements réalisés lors d'anciennes interventions dans ce tronçon.

##### RN 2 – PK 130+300

- Désordres constatés :
  - Déformation et glissement de la chaussée ;

- Fissuration de la chaussée (Dénivelée de 15 cm) ;
  - Difficulté de la circulation sur la chaussée ;
  - Existence des stagnations d'eau à l'amont ;
  - Existence des zones de stagnation des eaux au niveau de talus coté déblai.
- Solutions proposées :
- Conforter le talus coté ravin par les murs en gabion sur 100 ml et 3 m de hauteur ;
  - Mettre en place du mur de soutènement sur 100ml ;
  - Réaliser une risberme en béton B3 sur 100 ml (cunette en B3) ;
  - Protection du pied de talus ravin par les enrochements sur 65 ml (au niveau des cuvettes d'eaux) ;
  - Réaliser des accotements bétonnés sur 100/rive ;
  - Réaliser des bourrelets cotés ravin sur 100 ml ;
  - Réaliser des fossés de crête sur 80ml.
- Illustrations photographiques :







Figure 32 : Reportage photographique au droit du désordre au PK130+900 et des solutions retenues



Figure 33 : Confortement du talus coté ravin par des murs en gabion

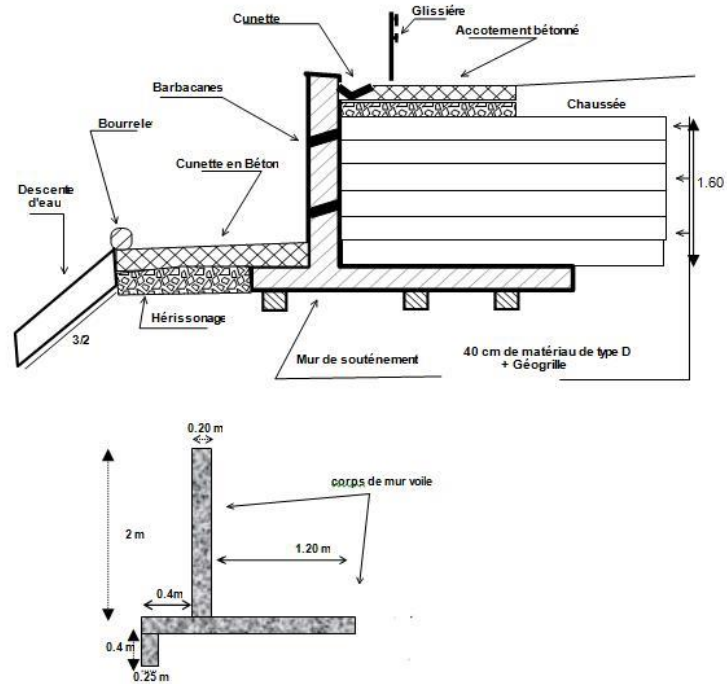


Figure 34 : Mise en place du mur de soutènement sur 100ml

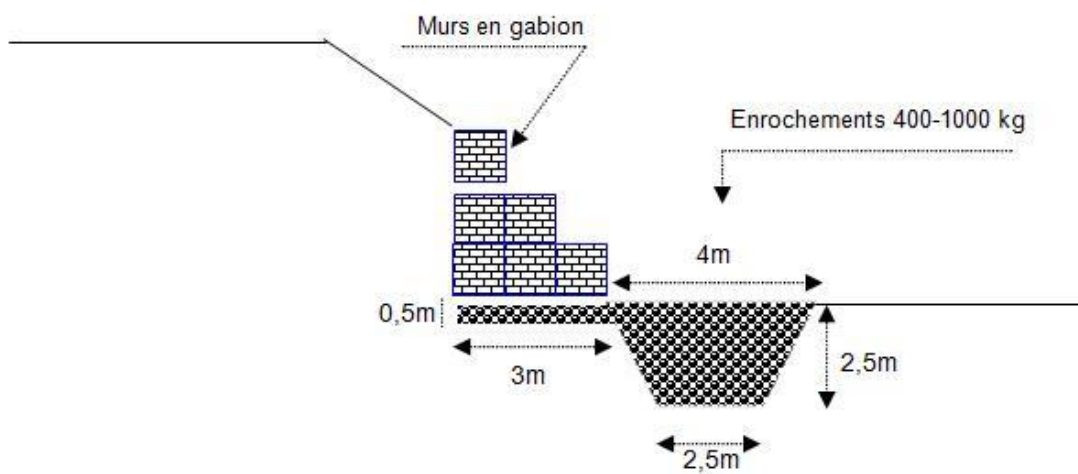


Figure 35 : Protection du pied de talus ravin par les enrochements sur 65 ml

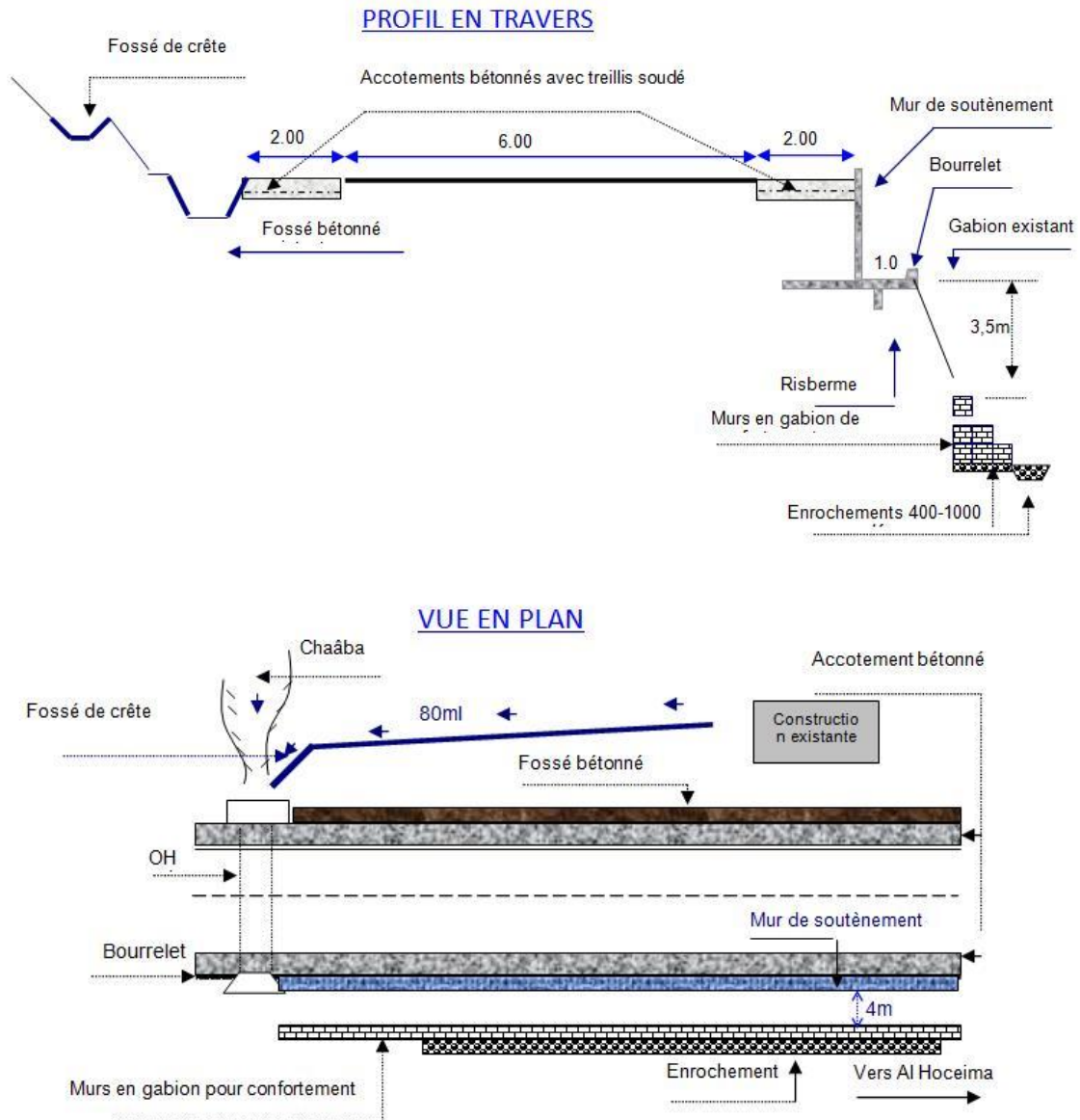


Figure 36 : Détails de la solution retenue au PK 130+300

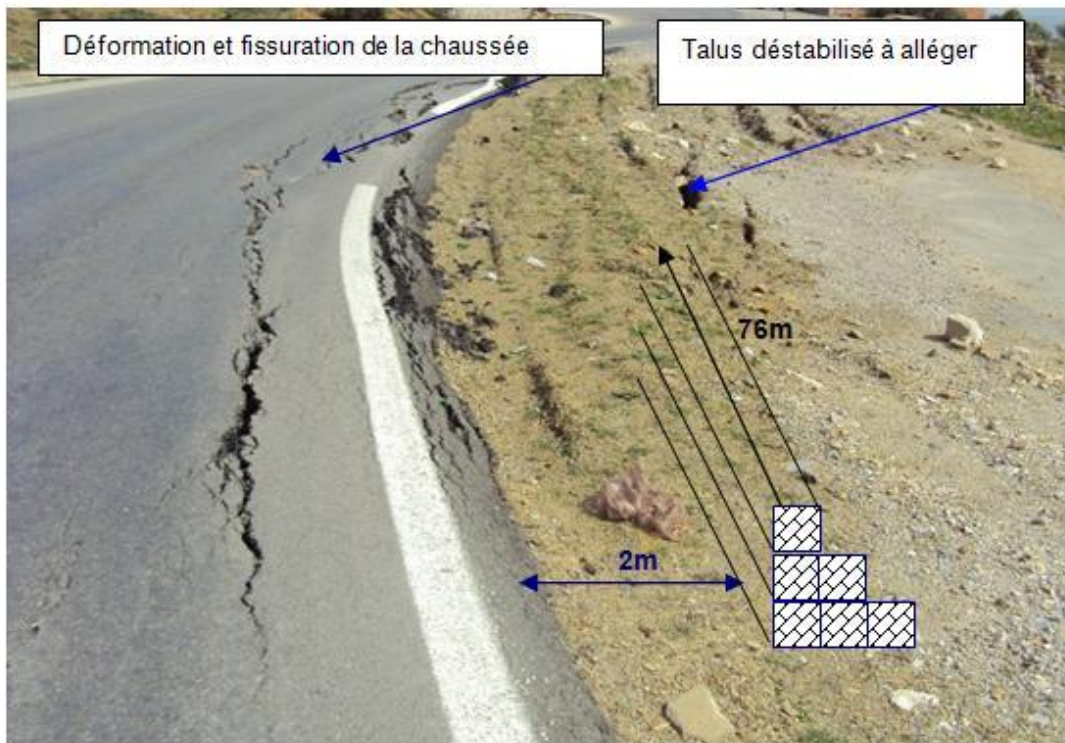
**RN 2 – PK 130+900**

- Désordres constatés :
  - Buse existante dégradée ;
  - Déformation et glissement de la chaussée.
- Solutions proposées:
  - Construire un ouvrage hydraulique de type Dalot 1,50 x 1,50 sur 12 ml au lieu de la buse endommagée (buse coté Chefchaouen) ;
  - Réduire la longueur de la buse en bon état coté Bab Berred (Reprise de la tête aval) ;
  - Alléger la masse de talus coté ravin sur 76 ml ;
  - Aménager l'exutoire en gabion sur 36 m du dalot ;
  - Compléter l'exutoire de la buse coté Bab Berred après réduction sur 8m ;
  - Conforter le talus coté ravin par les murs en gabion sur 76ml ;



- Purger des matériaux contaminés sur 90 ml et 1 m de profondeur ;
- Reconstruire le corps de chaussée sur 90 ml ;
- Réaliser 3 tranchées drainantes transversales + descentes d'eau ;
- Réaliser le fossé bétonné sur 15 ml ;
- Réaliser des fossés de crête sur 195 m ;
- Réaliser des accotements bétonnés sur 90/rive ;
- Réaliser des bourrelets cotés ravin sur 90 ml.

➤ Illustrations photographiques :



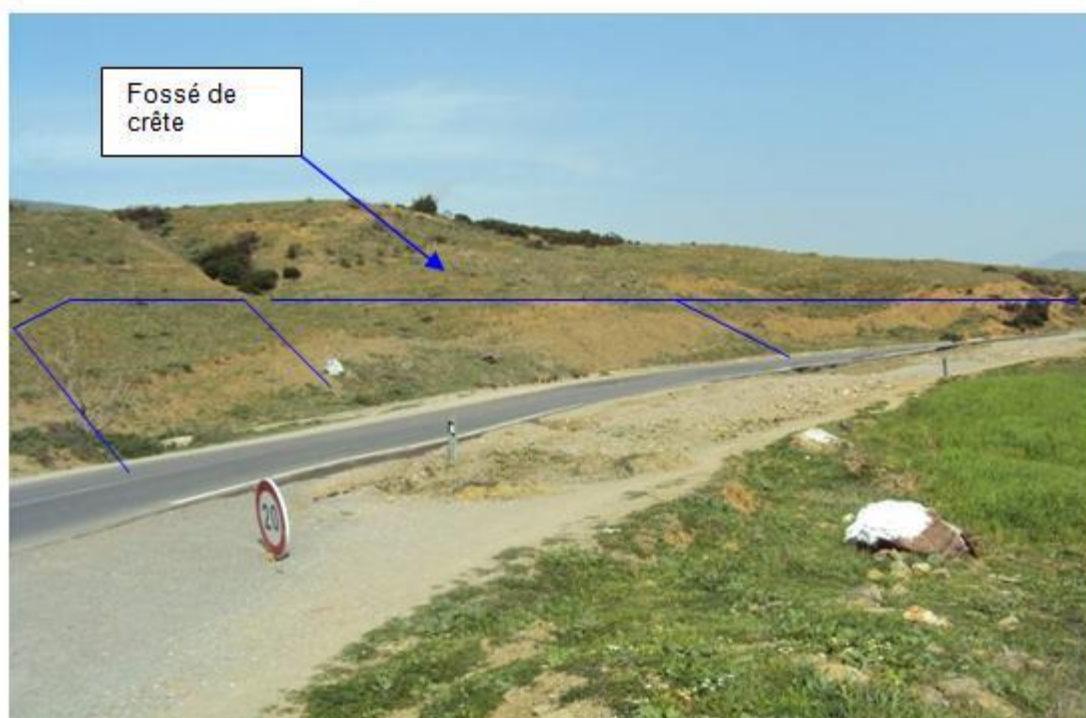
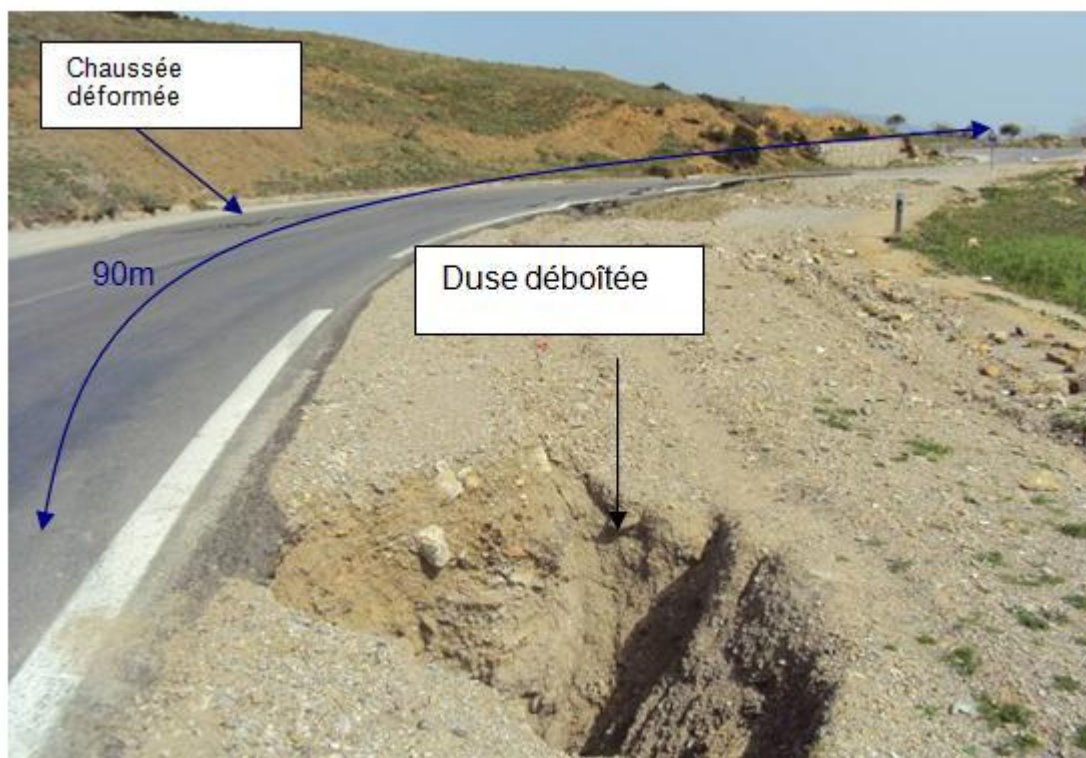
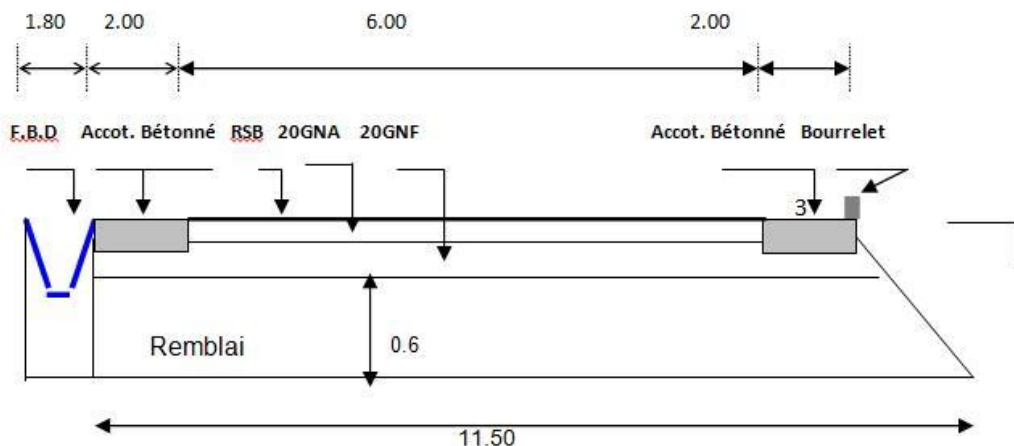


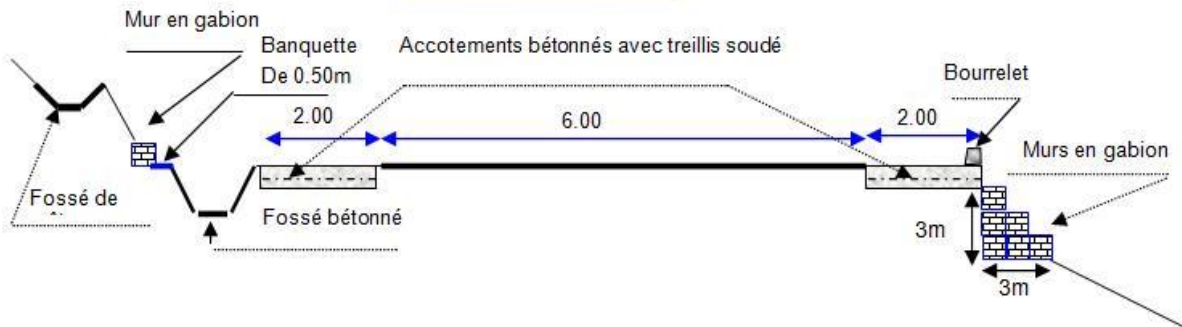
Figure 37 : Reportage photographique au droit du désordre au PK130+900 et des solutions retenues



**Profil en travers schématique de purge et corps de chaussée**



**PROFIL EN TRAVERS**



- 1 = 25m
- 2 = 40m
- 3 = 15m
- 4 = 85m

**VUE EN PLAN**

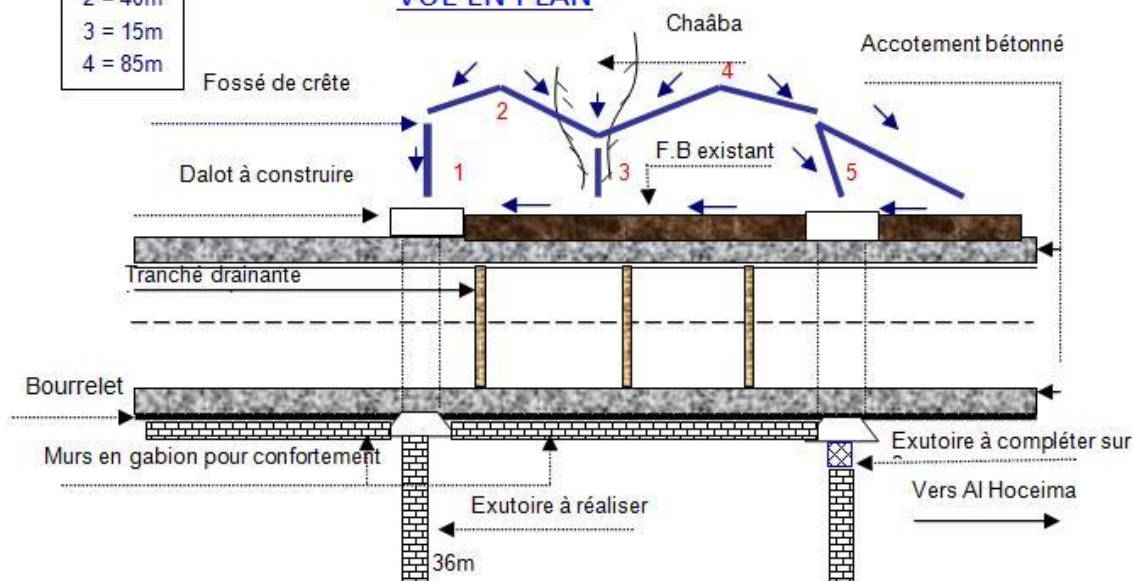


Figure 38 : Détails de la solution retenue au PK 130+900

#### 4.2.5.4. Synthèse

L'analyse menée par l'Ingénierie a mis en évidence la sensibilité de la plateforme routière, à travers les nombreuses dégradations qu'elle a subies et les désordres fréquents dont elle souffre : glissements, affaissement de chaussée, érosion de talus...

Le tableau suivant récapitule les désordres observés sur la RN 2 :

Tableau 72 – Désordres géotechniques et de chaussée constatés au niveau des points névralgiques du tronçon Chefchaouen - Issaguen

Rapport de visites		Défauts et désordres constatés	Causes envisageables	Typologie des problématiques recensées		
n° point	PK			Principale	secondaire	
1	122+800	Voir hydraulique - assainissement				
2	124+000	Voir hydraulique - assainissement				
3	128+800	Chaussée rechargée après dégradation et affaissement	Absence de drainage	Dégradation de la chaussée	fissuration et affaissement de la chaussée	
		Fissuration et affaissement de l'accotement bétonné et une partie de la chaussée coté remblai	Glissement amorcé		accotement bétonné fracturé et affaissé	
		Une partie de mur en gabion déformée coté déblai	Poussée des terres de déblai	Glissement	Versant instable mal drainé et Confortement sous-dimensionné	
		Vestiges d'ancien glissement (fossé et mur déformés)	Versant instable à topographe défavorable			
4	132+800	Rechargement après affaissement et déformation répétitifs de la chaussée	Zone de fluage et pente défavorable	Dégradation de la chaussée	Affaissement de la chaussée	
		Accotement en béton fissuré			accotement bétonné fissuré	
		Zone de glissement		Glissement	Topographie défavorable et Absence de drainage	
5	133+600	zone de glissements important générant des déplacements et des effondrements de la route sur plusieurs mètres	Versant constitué d'éboulis instable à forte pente et topographie défavorable vers l'aval	Glissement	Versant instable à topographie défavorable	
6	133+800-134+500	Fissuration longitudinale de la chaussée et de l'accotement coté remblai	Erosion du remblai et suppression de la butée	Dégradation de la chaussée	Fissuration longitudinale de la chaussée	
		Mur en gabion coté déblai déformé	Poussée de terres de déblai	Glissement	Déformation du moyen de soutènement	
		Zone de glissement survenu pendant la saison hivernale 1983-1984 ayant nécessité le ripage du tracé vers le déblai et la revue du tracé en plan	Zone instable à topographie défavorable		Versant instable à topographie défavorable	
7	136+900	Zone en cours de traitement à cause du problème des affaissements répétitifs de la chaussée sur 350 ml	Saturation du sol support de la chaussée par les écoulements qui proviennent du déblai	Dégradation de la chaussée	Fondation marneuse mal drainée	
8	138+900	Voir hydraulique - assainissement				
9	142+200 + 143+900	Chute de blocs de taille métrique	Dislocation de la dorsale calcaire par la tectonique qui affecte le talus de déblai à pente défavorable	Instabilité rocheuse	Absence de moyens de protection appropriés	
		Cône de déjection formé par des blocs de calcaire				
10	143+500	Voir hydraulique - assainissement				
11	144+900 - 145+300	Dégradation et affaissement de la chaussée après rechargement	Zone de glissement de versant instable	Dégradation de la chaussée	Affaissement et ondulation de la chaussée	
		Arbres inclinés (déblai)			Glissement	Absence de confortement approprié et de drainage Topographie défavorable
		Fossé bétonné fissuré et décalé		Poussée exercée par le déblai		
		Terrains du talus de déblai marneux sont très saturés		Présence d'une source d'eau mal drainée		
		Remblai fissuré		Pente défavorable		
12	148+700	Chaussée affaissée et déformée après rechargement	Glissement amorcé dans le remblai	Dégradation de la chaussée	chaussée affaissée et fissurée	
		Mur en gabion coté remblai déformé	Pente défavorable coté remblai	Glissement	glissement de remblai et absence de drainage	
		Partie de mur en béton décalée	Poussée exercée par les éboulis de talus de déblai (éboulement)	Instabilité rocheuse	Eboulis à blocs sur pente	
13	152+000	Glissement dans le remblai et mur en gabion déformé	Erosion de pied de remblai et pente défavorable	Glissement	Déformation du moyen de soutènement	
		Glissement de peau coté déblai	Talus formé d'éboulis minces		Remblai déformé	
		Fissuration longitudinale et affaissement de la chaussée coté remblai	Absence de drainage et glissement de remblai	Dégradation de la chaussée	Fissuration longitudinale et affaissement de la chaussée	
14	156+200	Signes de déformation des murs de soutènement coté remblai	Insuffisance des dispositions de soutènement	Glissement	Topographie défavorable coté remblai	
		Départ d'une partie de l'accotement bétonné coté remblai	Glissement amorcé dans le remblai à pente défavorable			
		Fissures dans les structures en béton (OH)				
		Rechargement de la chaussée après sa fissuration longitudinale et sa déformation	Dégradation de la chaussée	Fissuration longitudinale et affaissement de la chaussée		
		Chute de blocs coté déblai	Pente raide dans les flyschs fracturés	Instabilité rocheuse	Absence de moyen de protection	
15	161 - 162	Voir hydraulique - assainissement				
16	164+360	Mur de soutènement du remblai en gabion déformé	Le mur en gabion est sous-dimensionné pour supporter le remblai et la chaussée	Glissement	Rechargement de la chaussée et moyen de confortement sous-dimensionné	
		Ce tronçon à été traité après glissement				
17	197+500	Blocs de grès quartzitique tombés de taille métrique (zone d'éboulement)	Présence de quartzite fracturé surmontant les schistes érodables en forte pente	Instabilité rocheuse	Eboulement et dégradation de la chaussée	
		Chaussée rechargée après sa dégradation par l'éboulement				
		Fissuration du remblai	Pente défavorable et rechargement par les blocs tombés	Glissement	Déformation de la chaussée et fissuration du remblai	
		Fissuration et affaissement de la chaussée sur toute sa largeur coté remblai	Glissement amorcé suite l'absence de drainage	Dégradation de la chaussée	Fissuration longitudinale et affaissement de la chaussée	
18	209+483	Voir hydraulique - assainissement				

Ces désordres sont synthétisés ci-après :

Tableau 73 – Synthèse des désordres géotechniques et de chaussée constatés aux points névralgiques –  
Tronçon Chefchaouen - Issaguen

Thématiques	Typologie des problématiques recensées		Bilan des désordres constatés	
	Principale	secondaire	RN 2	
			Nombre	%
Géotechnique	Glissement de terrain	Dégradations et déformations de la chaussée	12	44.4%
		Déformation des systèmes de confortement (mur en gabion ou béton)		
		Fissuration des structures en béton (fossé et accotement en béton)		
		Absence de moyens de soutènement		
		Talus de déblai ou remblai à pente défavorable		
		Prédominance de la marne altérée et saturée		
		Versant instable à topographie défavorable et absence de drainage		
	Instabilité rocheuse (chute de blocs, éboulement)	Dégradation de la chaussée par les blocs chutés	4	14.8%
		Absence de moyens de protection appropriés		
		Déblai de rocher fracturé à forte pente		
<b>Total</b>		<b>16</b>	<b>59.3%</b>	
Structure de chaussée	Affaissement	Déformation et ondulation de la chaussée	0	0.0%
	Dégradation de la Structure de chaussée	Affaissement de la chaussée	11	40.7%
		Fissuration longitudinale		
		Destruction de la chaussée		
		Accotement bétonné fracturé ou détruit		
		Accotement coté déblai comblé par éboulis		
	Evolution de nids de poule			
<b>Total</b>		<b>11</b>	<b>40.7%</b>	
<b>Total Géotechnique et Structure de chaussée</b>		<b>27</b>	<b>-</b>	

Ce tableau montre que pour l'échantillon de 18 points visités, les 27 désordres constatés se répartissent comme suit :

- 59 % sont liés à la géotechnique : glissement de terrain et instabilité rocheuse (chute de blocs, éboulement) ;
- 41 % concernent la structure de chaussée et représentent des dégradations de cette structure (accotements fissurés, affaissement, nids de poule..).

Il apparait donc à la lumière de ce diagnostic, qu'actuellement ces désordres constituent un risque permanent, qui persiste tant que les interventions sont limitées à des travaux de rétablissement de la circulabilité.

Ce risque pourrait être amené à augmenter, éventuellement, à cause des changements climatiques.

## 4.2.6. Contexte socio-économique

### 4.2.6.1. La population desservie

La population sur le tronçon Chefchaouen-Issaguen atteint près de 105 000 habitants en 1994 et environ 127 000 habitants en 2004. Le taux de croissance de la population sur 10 ans est élevé : 21,3%.

La commune comptant le plus grand nombre d'habitants sur ce tronçon est Chefchaouen avec 35 709 habitants recensés en 2004.

		Population	
		1994	2004
<b>Chefchaouene</b>		31 410	35 709
<b>Bab Taza</b>	Centre	1 621	4 006
	Pop rurale	20 239	24 543
<b>Baba Berred</b>	Centre	2 982	5 043
	Pop rurale	16 052	18 196
<b>Tamorot</b>		19 932	24 541
<b>Issaguen</b>	Centre	1 593	1 638
	Pop rurale	11 206	13 787
<b>Total</b>		<b>105 035</b>	<b>127 463</b>

Tableau 74 - Population desservie par le tronçon Chefchaouen-Issaguen (RN2) en 1994 et 2004

### 4.2.6.2. Les activités

Le tronçon dessert 16 établissements industriels en 2012:

- 10 à Chefchaouen ;
- 1 à Bab Berred ;
- 5 à Issaguen.

Il traverse les provinces de Chefchaouen et d'Al Hoceïma.

	Taux d'activité (%)	Nombre d'établissements	Effectifs de la main d'oeuvre	Chiffre d'affaire (Kdh)
Province de Chefchaouene	51,2	16	193	20 118
Province d'Al Hoceïma	49,0	92	1 035	495 422
<b>Total</b>	-	<b>108</b>	<b>1 228</b>	<b>515 540</b>

Tableau 75 - Les indicateurs d'activité autour du tronçon Chefchaouen-Issaguen (2012)

Le taux d'activité dans ces provinces en 2012 est respectivement de 51,2% et de 49,0%, supérieurs à la moyenne nationale qui est de 48,4% en 2012.

La province de Chefchaouen dispose de peu d'activités industrielles (16 établissements industriels en 2012) et de services. Les activités industrielles emploient en 2012 près de 200 salariés. Leur chiffre d'affaires atteint environ 20 000 KDH.

L'agriculture constitue la principale ressource des habitants et emploie 85% de la population active. Cependant, sa rentabilité reste très limitée en raison des facteurs ci-après :

- Les difficultés du relief ;
- La faible fertilité des terres en raison du lessivage des sols continu (érosion) ;
- La faiblesse des superficies agricoles.

Le tourisme constitue une activité prometteuse avec environ 60 000 entrées par an.

La province d'Al Hoceima accueille davantage d'activités industrielles (près de 100 établissements industriels en 2012). Elles emploient en 2012 plus de 1 000 salariés. Leur chiffre d'affaires atteint environ 500 000 KDH.

#### 4.2.6.3. Trafics sur le tronçon

Sur la RN2, les niveaux de trafics sont variables selon les sections. Le trafic moyen journalier annuel en 2012 est compris entre 2 100 et 5 000 véhicules.

Origine	Destination	TMJA	dont VL	dont PL1	dont PL2
Chefchaouene	Bab Taza	<b>4 100</b>	3 239	205	656
Bab Taza	P 4109	<b>2 100</b>	1 659	105	336
P 4109	P 4111	<b>2 100</b>	1 659	105	336
P 4111	Bab Berred	<b>2 100</b>	1 659	105	336
Bab Berred	P 4113	<b>2 100</b>	1 659	105	336
P 4113	Issaguen	<b>5 000</b>	3 950	250	800

Tableau 76 - TMJA 2012 par section sur le tronçon Chefchaouen-Issaguen (RN2)

#### 4.2.6.4. Fonctionnalité du tronçon

La fonctionnalité du tronçon correspond à son poids dans le réseau routier local. Elle se définit par la possibilité du tronçon d'être ou non remplacé (longueur de déviation).

Les tronçons d'étude ont été subdivisés en sections élémentaires afin d'affiner l'analyse. Les extrémités de chaque section correspondent à des intersections avec d'autres voiries du réseau routier.

Cette décomposition permet d'identifier pour chaque section les itinéraires alternatifs possibles et de mesurer la perte d'accessibilité (augmentation de la distance et des temps de parcours) consécutifs à l'impraticabilité de la section suite à un évènement climatique.

Sur ce tronçon reliant Chefchaouen à Issaguen, 6 sections ont été définies :

- Chefchaouen - Bab Taza ;
- Bab Taza – P 4109 ;
- P 4109 - P 4111 ;
- P 4111 – Bab Berred ;
- Bab Berred – P 4113 ;
- P 4113 – Issaguen.



Les itinéraires alternatifs pour chaque section apparaissent en bleu dans la carte ci-dessous.

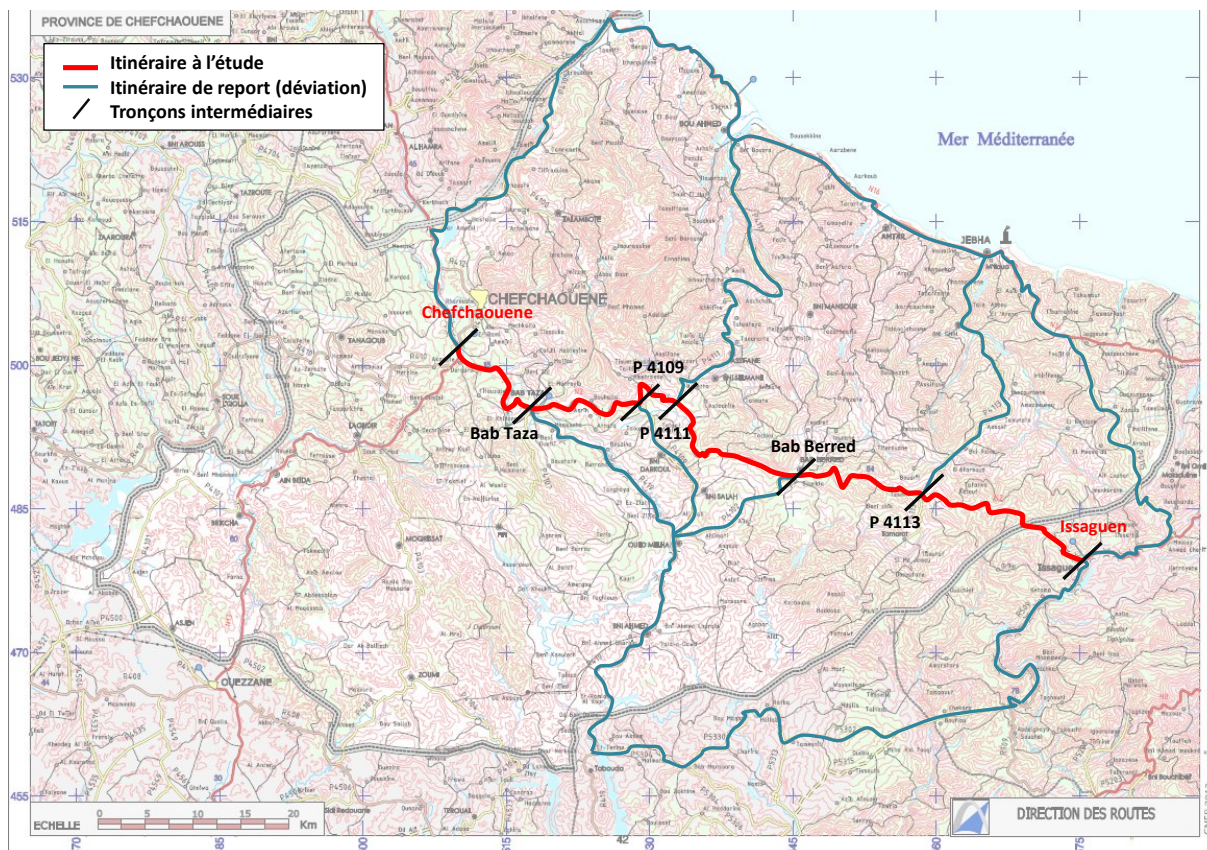


Figure 39 : Sections définies sur le tronçon Chefchaouen-Issaguen

Les distances et temps de parcours en situation normale et en situation dégradée (lorsqu’au moins une section du tronçon est impraticable) ont été estimés via GoogleMaps. Les temps de parcours ont été définis en prenant en compte la redondance du réseau des routes nationales, régionales et provinciales. Les pistes notamment ne sont pas prises en compte pas dans l’analyse, leurs caractéristiques étant bien inférieures au niveau de service des tronçons considérés : absence de revêtement bitumineux, absence de signalisation, largeur de voie faible et surtout possible vulnérabilité aux mêmes événements climatiques que les tronçons considérés.

Origine	Destination	Distance en situation normale (km)	Temps de parcours en situation normale (min)	Distance en situation dégradée (km)	Temps de parcours en situation dégradée (min)
Chefchaouene	Bab Taza	14	10	154	157
Bab Taza	P 4109	13	10	50	82
P 4109	P 4111	10	8	32	69
P 4111	Bab Berred	22	17	153	163
Bab Berred	P 4113	15	13	159	165
P 4113	Issaguen	25	19	85	95

Tableau 77 - Distance et temps de parcours entre Chefchaouen et Issaguen

Le temps de parcours supplémentaire moyen en situation dégradée sur ce tronçon est de 109 minutes.

### 4.3. TRONÇON RR508 ENTRE OUTABOUABANE ET SAKKA

#### 4.3.1. Contexte hydrographique

Ce tronçon chevauche 2 unités hydrologiques dont la frontière se trouve entre les Oueds Larbaa et Msoun :

- Le bassin du Sebou à l'Ouest ;
- Le bassin de la Moulouya vers l'Est appelé encore Maroc Oriental.



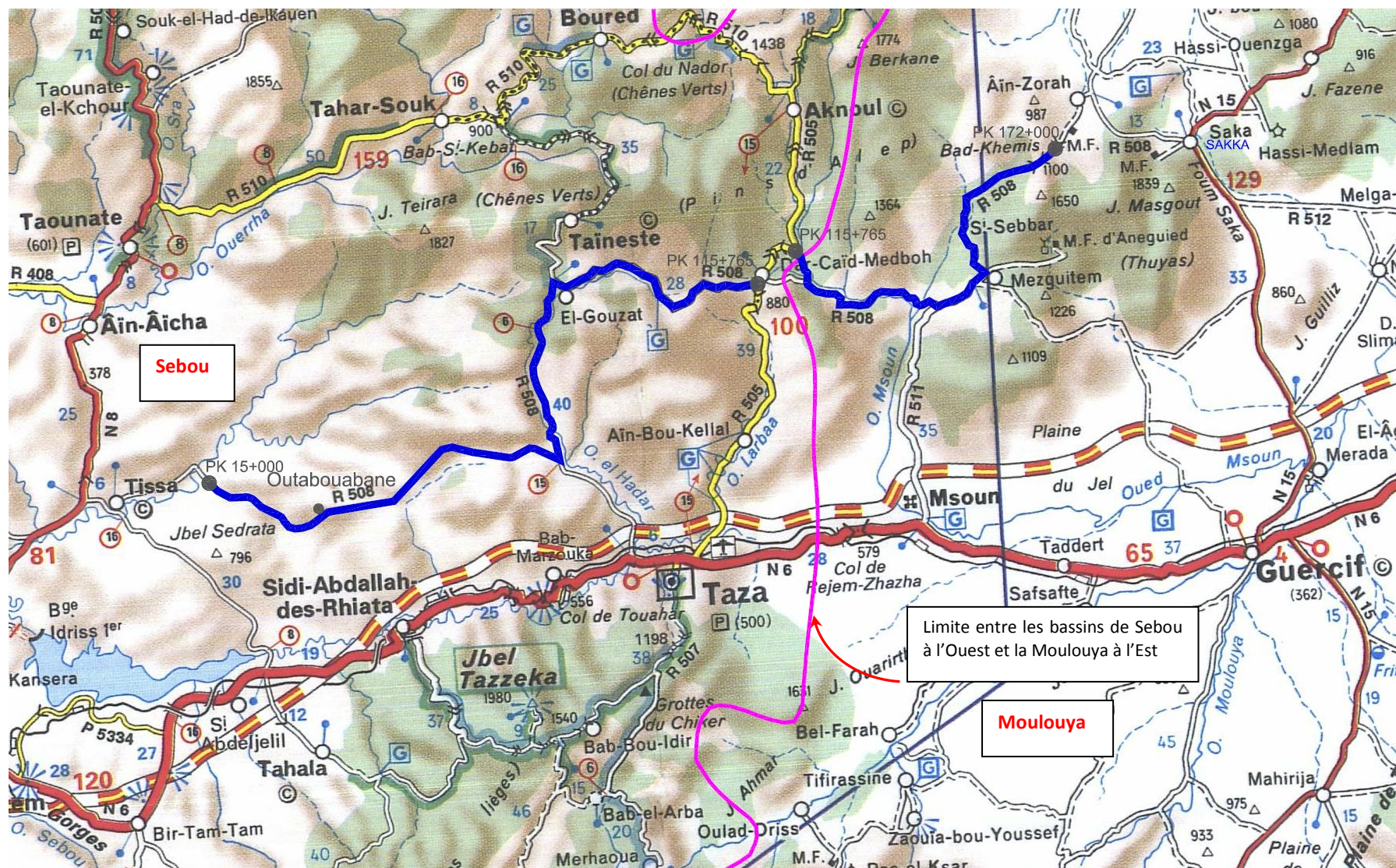


Figure 40 : Emplacement du tronçon de la RR 508 et unités hydrologiques traversées



Les principaux oueds rencontrés au voisinage de la RR508 :

- Bassin du Sebou : Oued Lebène, Lahdar et ses affluents... ;
- Bassin de la Moulouya : Oued Msoun et ses affluents.

### 4.3.2. Contexte climatique

Le bassin du Sebou, dans la partie du tracé étudié, fait partie de la zone pré-rifaine. Dans cette zone la latitude, l'altitude et l'exposition des massifs montagneux influencent de manière notable la distribution des pluies.

Les massifs montagneux de haute altitude et aux versants exposés vers l'Atlantique reçoivent plus d'un mètre de pluie par an, alors que les collines pré-rifaines, moins hautes et plus méridionales ne reçoivent que 600 mm.

La partie orientale de la zone pré-rifaine, dont les versants sont exposés vers l'Est, mis à part les massifs élevés, est encore moins favorisée puisque la moyenne pluviométrique annuelle se situe au-dessous de 500 mm.

La distribution saisonnière des précipitations est semblable d'un bout à l'autre du Pré-rif. Un maximum très accentué se situe en novembre-décembre-janvier ; février et mars marquent un palier un peu moins humide ; juin-juillet-août et septembre sont des mois très secs, le minimum se plaçant d'une manière générale en juillet.

Dans toute cette zone, le nombre de jours de pluie est compris entre 80 par an en montagne et 50 par an dans les secteurs bas de la partie orientale. L'enneigement dure 2 à 3 mois au-dessus de l'altitude de 2 000 m ; il est rare au-dessous de 1500 m, mais les chutes de neige sont habituelles au-dessus de 1000 m. L'amplitude thermique extrême moyenne se situe dans toute la zone pré-rifaine entre 30 et 32°C ce qui correspond à un climat semi-continentale.

Pour les bassins inclus dans la Moulouya, les hautes barrières montagneuses qui limitent le domaine oriental vers l'Ouest privent ces régions des apports des pluies venant de l'Atlantique. Les pluies annuelles varient entre 500 mm dans les parties d'altitude au Nord Est et 300 mm plus au Sud entre Taza et Guercif.

L'aridité est assez générale, elle est atténuée uniquement dans la frange méditerranéenne (indice globale de Thornthwaite de moins de 48 à Guercif). Les hivers sont souvent rigoureux, longs et froids, marqués par des pointes de températures minimale négatives. Les étés sont souvent très chauds et supportables en raison de la sécheresse de l'air.

#### 4.3.2.1. La pluviométrie

##### 4.3.2.1.1. PLUIES ANNUELLES ET JOURNALIERES

#### **DONNEES MISES A DISPOSITION DE L'INGENIERIE PAR LA DR ET LES DPETL**

L'examen des documents a mis en exergue que les données disponibles restent modestes. En effet :

- L'étude initiale relative à la réalisation de la route n'est pas disponible ;
- Un projet d'élargissement et de renforcement du PK 44+200 au PK 64+200 est en cours d'étude. Le volet climatique y est décrit de manière générale et sommaire ;
- On retrouve dans ce document les paramètres de Montana pour l'occurrence centennale sans que la durée d'observation ne soit précisée ;

- Les données pluviométriques de Midelt sont fournies de 1967 et 1983. On comprend dans la suite que ce sont celles de Taza et que les paramètres a et b des IDF ont été estimés depuis la pluie journalière maxi-annuelle de la même occurrence ;
- Une description sommaire de la climatologie est également indiquée dans les 3 rapports géotechniques mis à disposition de l'Ingénierie.

On retiendra à la suite de l'examen de ces entrants que, compte tenu du cadre et l'objet de la présente étude, ces informations climatiques ne sont pas particulièrement pertinentes et qu'elles n'ont qu'un caractère de généralités donnant une indication sommaire du climat des zones étudiées.

#### ***DONNEES COLLECTEES PAR L'INGENIERIE ET/OU ACQUISES AUPRES DE METEO MAROC***

L'étude menée par l'Ingénierie, entre 2013 et 2014, pour l'intégration des changements climatiques dans le processus de planification des ressources en eau au Maroc pour le compte de la Direction de la Recherche et de la Planification de l'Eau (DRPE), a permis de collecter les données des 2 agences suivantes :

- L'Agence du Bassin Hydraulique du Sebou, sise à Fès ;
- L'Agence du Bassin Hydraulique de la Moulouya, située à Oujda.

Ces données ont été combinées aux données collectées auprès de la Direction de la Météorologie Nationale (DMN).

#### ***SYNTHESE DES DONNEES DISPONIBLES***

La figure suivante illustre l'emplacement des postes pluviométriques et des pluviographes d'intérêt inventoriés dans la zone d'étude.

Le tableau présenté ci-après synthétise les données pluviométriques collectées par l'Ingénierie.

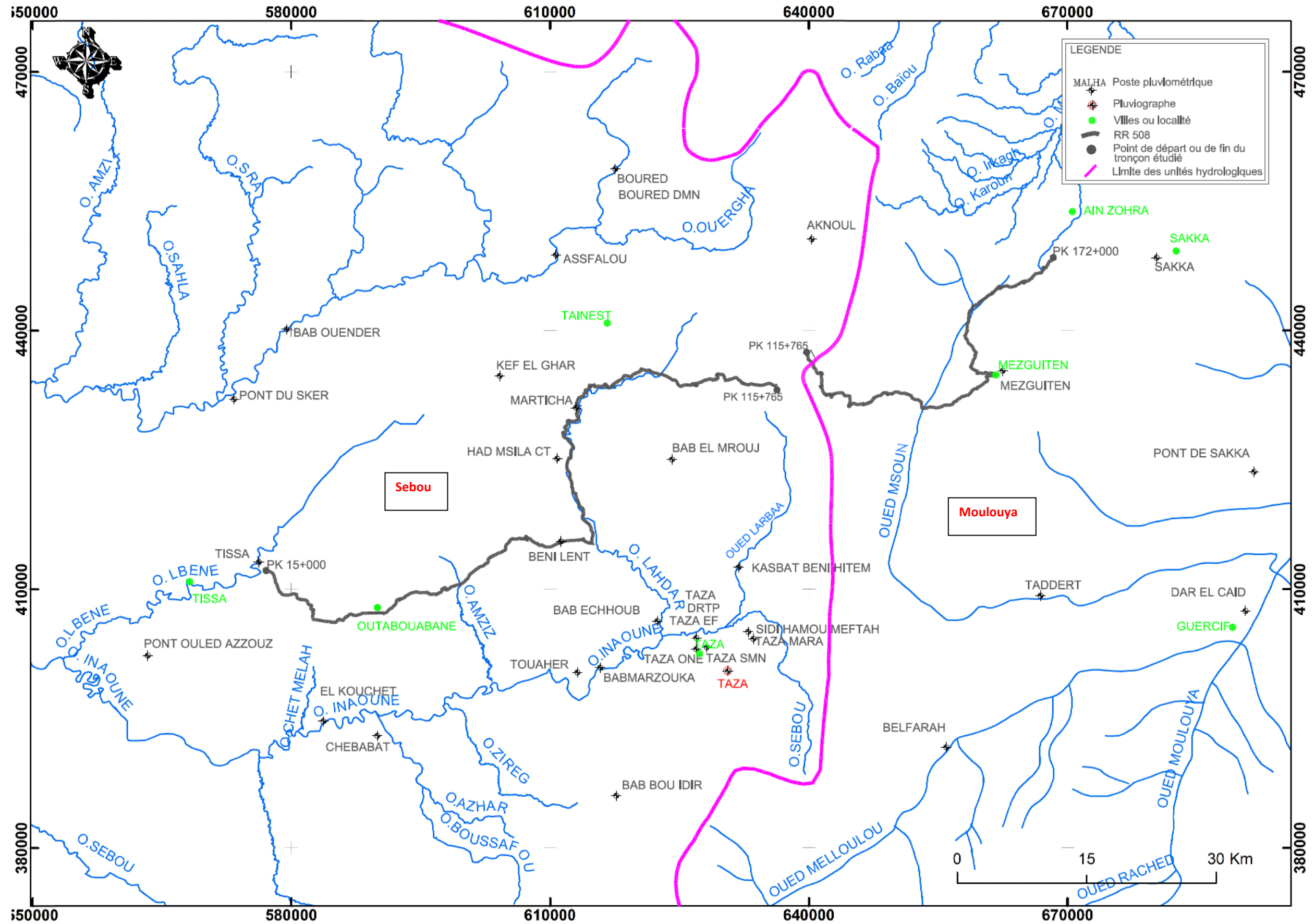


Figure 41 : Emplacement des postes pluviométriques par rapport au tronçon Outabouabane et Sakka

Unité hydrologique	Poste N°	Nom	Z (mNGM)	Période disponible Pj		Années hydrologiques manquantes
				Début	Fin	
<b>Tronçon 2 : Sakka - Outabouabane</b>						
<b>Sebou</b>	1250	ASSFALOU		01/10/2000	28/02/2013	-
	1568	BAB OUENDER	630	1956	2012	-
	6288	PONT DU SKER	665	1956	2001	-
	6292	PONT OULED AZZOUZ	190	1973	1973	-
	1523	BAB ECHHOUB	402	01/02/1993	28/02/2013	-
	1545	BAB EL MROUJ	1060	1920	1980	1924-1933; 1970-1971; 1973; 1975; 1977-1979
	1564	BAB MARZOUKA	365	1970	1993	1994-1998; 2009; 2010 (1 seul mois disponible) ; la période 1970-1998 manque pour les pluies annuelles
		BAB MARZOUKA '		01/09/1999	31/10/2010	
	1726	KASBAT BENI HITEM	508	01/02/1993	28/02/2013	2000-2008
	2338	BOURED		01/09/1998	28/02/2013	-
	2338 bis	BOURED DMN	965	01/08/1984	31/08/2002	1983 et 2001 (1 seul mois disponible); 1991
	3451	EL KOUCHET		01/02/1976	28/02/2001	-
	4768	KEF EL GHAR	600	1931	1986	1956; 1959-1961; 1963-1964; 1971; 1973-1974; 1983
	1522	BAB BOUDIR		janv-98	déc-12	-
	8056	TAZA EF	505	1934	1957	-
	8060	TAZA DRTP	-	1985	2000	1986-1994
	8064	TAZA ONE	450	1923	1970	1939-1955
	8072	TAZA MARA	510	1967	1983	-
	8073	TAZA SMN	510	1917	1997	1939-1958; 1988-1996
	8440	TISSA	275	01/12/1962	28/02/2013	1989
	8744	TOUAHER	560	1942	1973	1970-1972
	5232	MARTICHA	640	1962	1968	-
	4120	HAD MSILA CT	600	1967	1974	-
	1736	BENI LENT	548	1932	1977	-
	6816	SIDI HAMOU MEFTAH	560	1936	1964	1939; 1963
	2584	CHEBABAT	270	1947	1984	1949-1961; 1983
	<b>Moulouya</b>	906	AKNOUL	-	1931	1954
5416		MEZGUITEN	955	1932	1974	1942-1948; 1956; 1958-1960; 1965-1969
7296		TADDERT	455	1966	1993	-
6514		SAKKA	747	1926	1969	1944-1946; 1955; 1956 (1 seul mois disponible); 1957; 1961
6268		PONT DE SAKKA	340	sept.-70	août-06	-
2768		DAR EL CAID	350	mars-57	nov.-93	-
1628		BELFARAH	600	sept.-67	août-06	-

Tableau 78 – Données pluviométriques disponibles – Tronçon Outabouabane - Sakka

### POSTES DE REFERENCE

Pour représenter et caractériser la pluviométrie, l'Ingénierie a examiné les données collectées afin de choisir les postes les plus représentatifs par tronçon.

Pour ce faire nous avons privilégié les postes les plus proches, disposant d'une longueur de série de plus de 20 ans et de données actualisées. Une exception a été faite pour le poste de Sakka, elle se justifie par l'absence de postes d'altitudes similaires avec des données actualisées dans cette zone.

Sur la base de cette analyse, il est proposé de prendre en compte les postes suivants pour le tronçon de la RR 508 entre Outabouabane et Sakka :

- Tissa (N° 8440) qui couvre la période 1962-2012 ;
- Bab Marzouka (N°1564) pour la période 1970 à 2010 ;
- Boured Unifié, issu de la consolidation de 2 postes (N° 2338 et 2338bis), et qui représente la période 1984-2012 ;
- Bab Ouender (N°1568) qui couvre la période 1956-2012 ;
- Sakka (N°6514) qui couvre certes une période non actualisée, mais se situe à une altitude comparable à celle du tronçon étudié ;
- Pont de Sakka (N°6268) pour la période 1970-2005.

### PLUIES JOURNALIERES MAXIMALES ANNUELLES (PJMAX)

Il est à noter qu'il s'agit des données élaborées suite au traitement effectuées par l'Ingénierie pour déceler les valeurs aberrantes et les écarter de l'analyse des pluies.

Les caractéristiques des données des pluies journalières maximales annuelles sont présentées ci-dessous:

Tableau 79 – Caractéristiques statistiques des pluies journalières maximales annuelles – Tronçon Outabouabane - Sakka

Poste	N°	n	M (mm)	S (mm)	Cv	Me (mm)	Min (mm)	Max (mm)
Boured Unifié	2338-38bis	27	50.3	28.4	0.57	44.0	23.0	136.0
Bab Marzouka	1564	33	50.0	17.6	0.35	42.0	30.0	100.0
Bab Ouender	1568	57	68.7	25.8	0.38	63.0	29.0	140.0
Tissa	8440	50	45.5	15.9	0.35	43.5	20.0	94.0
Sakka	6514	35	46.9	22.7	0.48	43.0	12.0	101.0
Pont de Sakka	6268	36	21.8	11.7	0.54	19.5	9.1	68.0

En termes de répartition, on notera que :

Pour la zone de Taza, les pluies dans le bassin du Sebou sont plus importantes que dans la Moulouya représentée par les postes Sakka et Pont de Sakka.

- Les postes de Sebou ont des pluies variant suivant l'altitude : ainsi en hautes altitudes les Pjmax varient entre 20 et 140 mm avec une médiane d'environ 54 mm. Pour des altitudes moins élevées, les Pjmax varient entre 20 et 100 mm avec une médiane d'environ 43 mm ;
- Pour le poste de Pont Sakka, d'une altitude de 340 mNGM, les Pjmax varient entre 9 et 70 mm avec une médiane ne dépassant pas les 20 mm. Situé dans des altitudes plus élevées (747 mNGM) le poste Sakka affiche des pluies plus fortes, variant entre 12 et 100 mm.

L'Ingénierie a procédé à l'ajustement statistique de ces pluies pour disposer des quantiles de pluies.

Tableau 80 – Quantiles des pluies journalières maximales annuelles – Tronçon Outabouabane - Sakka

Poste	N°	Z (mNGM)	Pjmax (T) (mm)					
			2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Boured Unifié	2338-38bis	965	46	75	94	113	137	155
Bab Marzouka	1564	365	47	63	73	83	96	105
Bab Ouender	1568	630	64	87	102	117	136	150
Tissa	8440	275	43	57	66	75	87	96
Sakka	6514	747	43	63	77	89	106	118
Pont de Sakka	6268	340	20	32	39	47	56	64

On notera que les pluies dans le bassin du Sebou sont légèrement plus importantes que dans la Moulouya :

- Pour des occurrences ne dépassant pas la décennale :
  - Les postes de Sebou affichent des quantiles entre 45 et 100 mm en altitude, et entre 40 et 75 mm en altitude moins élevées ;
  - De même pour les 2 postes de la Moulouya, en altitudes les quantiles varient entre 40 et 80 mm, alors que pour des altitudes plus basses, les Pjmax(T) varient entre 20 et 40 mm.
- Pour des occurrences à partir de 20 ans :
  - Les postes de Sebou affichent des quantiles entre 110 et 160 mm en altitude, et entre 75 et 105 mm en altitude moins élevées ;
  - De même pour les 2 postes de la Moulouya, en altitudes les quantiles varient entre 90 et 120 mm, alors que pour des altitudes plus basses, les Pjmax(T) varient entre 45 et 65 mm.

#### PLUIES ANNUELLES (PAN)

Il est à noter qu'il s'agit également des données élaborées suite à l'analyse critique des données brutes ayant permis de déceler et écarter les valeurs aberrantes. Pour la zone de la Moulouya, et tenant compte de l'aridité du climat et le nombre de jour de pluie, généralement inférieur à ceux observés dans le Sebou, l'Ingénierie a intégré les valeurs de pluies annuelles dont le nombre de mois de mesure est de l'ordre de 6 mois, et qui étaient cohérentes avec les valeurs d'autres postes.

Les résultats présentés pour le poste Bab Marzouka sont données à titre indicatif compte tenu de la taille réduite de l'échantillon disponible.



Les caractéristiques des données retenues à la suite de cette analyse sont comme suit :

Tableau 81 – Caractéristiques statistiques des pluies annuelles – Tronçon Outabouabane - Sakka

Poste	N°	n	M (mm)	S (mm)	Cv	Me (mm)	Min (mm)	Max (mm)
Boured Unifié	2338-38bis	26	440.2	241.4	0.55	341.4	236.0	1198.0
Bab Marzouka	1564	9	476.7	142.8	0.30	438.0	270.0	680.0
Bab Ouender	1568	56	731.7	292.2	0.40	680.0	273.0	1535.0
Tissa	8440	50	506.8	188.2	0.37	454.5	199.0	1075.0
Sakka	6514	35	297.3	99.6	0.33	283.2	156.1	523.6
Pont de Sakka	6268	36	133.6	48.0	0.36	129.0	44.0	237.4

En termes de répartition, on notera que pour la zone de Taza, les pluies dans le bassin du Sebou sont plus importantes que dans la Moulouya :

- Les postes de Sebou ont des pluies variant suivant l'altitude : ainsi en hautes altitudes les pluies annuelles varient entre 235 et 1540 mm. Pour des altitudes moins élevées, les pluies annuelles varient entre 200 et 1080 mm ;
- Pour le poste de Pont Sakka, d'une altitude de 340 mNGM, les pluies annuelles varient entre 44 et 240 mm avec une médiane ne dépassant pas les 130 mm. Situé dans des altitudes plus élevées (747 mNGM) le poste Sakka affiche des pluies plus fortes, variant entre 155 et 525 mm.

L'Ingénierie a procédé à l'ajustement statistique de ces pluies pour disposer des quantiles de pluies.

Tableau 82 – Quantiles des pluies annuelles – Tronçon Outabouabane - Sakka

Poste	N°	Z (mNGM)	Pan (T) (mm)					
			2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Boured Unifié	2338-38bis	965	404	652	817	975	1179	1332
Bab Marzouka	1564	365	453	580	663	743	847	925
Bab Ouender	1568	630	684	942	1113	1277	1489	1649
Tissa	8440	275	476	642	752	858	995	1097
Sakka	6514	747	281	369	427	483	556	610
Pont de Sakka	6268	340	126	168	196	223	258	284

On notera que les pluies dans le bassin du Sebou sont plus importantes que dans la Moulouya :

- Les postes de Sebou affichent des quantiles entre 400 et 1650 mm en altitude, et entre 450 et 1100 mm en altitude moins élevées ;
- De même pour les 2 postes de la Moulouya, en altitudes les quantiles varient entre 280 et 610 mm, alors que pour des altitudes moyennes, les quantiles de pluies annuelles varient entre 125 et 285 mm.

#### 4.3.2.1.2. LES INTENSITES PLUVIOMETRIQUES

##### DONNEES DISPONIBLES

Le tableau ci-dessous synthétise les données collectées et/ou actualisées par l'Ingénierie :

Tableau 83 – Données pluviographiques disponibles – Tronçon Outabouabane - Sakka

Pluviographe	Période d'observation	Données disponibles
Taza	1973-2011	IDF (2, 5, 10, 20 ,50 et 100)

Le tableau suivant présente les paramètres de Montana (a, b) relatifs aux courbes IDF du pluviographe Taza :

Tableau 84 – Paramètres de Montana du pluviographe Taza

T	a (mm/min)	b
2	2.054	0.550
5	3.269	0.574
10	4.101	0.585
20	4.912	0.593
50	5.971	0.601
100	6.770	0.606

##### CARACTERISATION DES INTENSITES DE PLUIE

Compte tenu de l'emplacement géographique du pluviographe de Taza par rapport au tracé routier étudié et à la différence d'altitude, nous avons également cherché à estimer les intensités de pluie à partir des quantiles de pluies journalières maximales annuelles.

Le tableau suivant synthétise les résultats obtenus pour les occurrences de 10 et 100. En raison des fortes pentes rencontrées, on se limitera à des temps de concentration de moins de 120 minutes.

Tableau 85 – Intensités pluviométriques décennales et centennales – Tronçon Outabouabane - Sakka

T	Poste	N°	Z (mNGM)	I (T) = a(T). b <sup>(T)</sup> (mm/hr)					
				5 min	10 min	15 min	30 min	60 min	120 min
T = 10 ans	<b>Tronçon de la RR 508</b>								
	Boured Unifié	2338-38bis	965	135	89	70	46	30	20
	Bab Marzouka	1564	365	104	69	54	36	24	16
	Bab Ouender	1568	630	147	97	76	50	33	22
	Tissa	8440	275	95	63	49	32	21	14
	Sakka	6514	747	110	72	57	37	25	16
	Pont de Sakka	6268	340	57	37	29	19	13	8
	<b>Pluviographe de référence</b>								
Taza	60127001	509	96	64	50	34	22	15	
T = 100 ans	<b>Tronçon de la RR 508</b>								
	Boured Unifié	2338-38bis	965	222	146	115	76	50	33
	Bab Marzouka	1564	365	151	99	78	51	34	22
	Bab Ouender	1568	630	215	142	111	73	48	32
	Tissa	8440	275	137	90	71	47	31	20
	Sakka	6514	747	169	112	88	58	38	25
	Pont de Sakka	6268	340	91	60	47	31	21	14
	<b>Pluviographe de référence</b>								
Taza	60127001	509	153	101	79	52	34	22	

On notera que les conclusions sont semblables à celles des quantiles de pluies journalières maximales annuelles, et que :

- ❑ Les intensités de pluies issues du pluviographe de Taza représentent mieux les zones situées au Sud de la RR508 et d'altitudes moins importantes, que les zones d'altitudes comme Bab Ouender et Boured ;
- ❑ Pour une durée de pluie de 30 minutes, les intensités sont importantes et sont comme suit :
  - Pour T= 10 ans : Pour la RR508, suivant l'altitude, cette intensité varie entre :
    - Sebou : entre 30 et 55 mm/h ;
    - Moulouya : entre 15 et 40 mm/h ;
  - Pour T= 100 ans : Pour la RR508, suivant l'altitude, cette intensité varie entre :
    - Sebou : entre 45 et 80 mm/h ;
    - Moulouya : entre 30 et 60 mm/h.
- ❑ Pour des bassins plus réduits avec des temps de concentration entre 5 et 15 minutes, les intensités de pluie sont plus importantes, et de l'ordre de 3 à 1.5 fois celles présentées pour 30 minutes.

#### 4.3.2.2. La neige

L'Ingénierie ne dispose pas de mesures de neige dans la zone d'étude. En effet la DRETL de Taza a indiqué ne pas disposer de données sur la neige.

L'analyse de la bibliographie, dont l'ouvrage « Ressources en Eau du Maroc » édité en 1971 par la Direction de l'Hydraulique, montre que l'enneigement dure 2 à 3 mois au-dessus de l'altitude de 2 000 m ; il est rare au-dessous de 1500 m, mais les chutes de neige sont habituelles au-dessus de 1000 m.

### 4.3.3. Infrastructure routière

#### 4.3.3.1. Contexte géographique

La RR 508 a été construite en 1970, elle relie les régions de Taounate à celle de Guercif, en passant par celle de Taza comme l'illustre la figure ci-dessous.

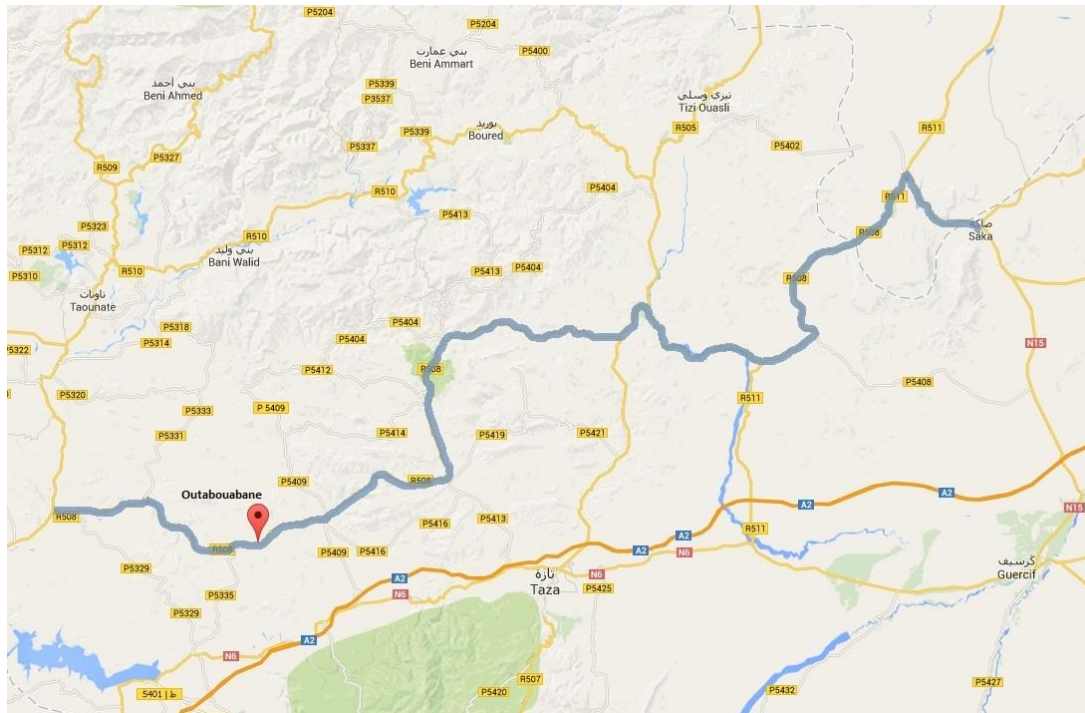


Figure 42 : Contexte géographique du tronçon Outabouabane et Sakka

Entre Outabouabane et Sakka elle traverse un relief accidenté à montagneux, avec des altitudes variant entre 420 et 800 mNGM.

#### 4.3.3.2. Typologie de la plate-forme routière

La plateforme routière est implantée à certains endroits dans des déblais montagneux instables, elle longe entre les PK 71 et 120 l'Oued Lahdar et ses affluents, ainsi que l'Oued Msoun et son principal affluent, l'Oued Boulswab.

Le profil en long se situe généralement soit en profil mixte (déblai-remblai) ou en remblai avec un profil en travers en toit.

La plateforme routière s'étend sur une largeur de 5 à 6 m (chaussée de 3 à 4 m) en quasi-totalité, sur 10 km cette largeur est de 8 m (chaussée de 6 m).

Depuis sa construction, cette route souffre de désordres qui se répartissent généralement comme suit:

- PK 39-PK 138 : le tracé se situe en zone prérifaine, les désordres sont liés au glissement et aux crues ;
- PK 138-PK172 : pas d'instabilité de terrain mais problème des crues.

Depuis 1970, cette route n'a pas fait l'objet d'une intervention pour des cas de défauts structurels majeurs.

Cette route était auparavant constituée de la RS 328, et des CT 4502, 4509 et 4501. Les interventions réalisées correspondent à des réhabilitations de la route en cas de dégradation de la chaussée, ou à des travaux de recalibrage en cas de problème de charriage.

A ce titre des travaux de réhabilitation ont été menés en septembre 2014 en collaboration avec la DPETL de Fès, actuellement la route est en cours de rechargement. Le tronçon, sis entre les PK 39+200 et 45+000, est jugé actuellement « totalement réhabilité » alors qu'au départ c'était une section presque incirculable à cause des problèmes d'assainissement et drainage, ainsi que du glissement de terrain. Ces travaux devront être combinés à ceux d'élargissement qui sont en phase de reprise du dossier d'exécution. Cette étude n'est pas encore approuvée, toutefois l'étude de définition a déjà été validée et pourra être fournie à l'Ingénierie.

Un projet de route structurante est également en cours d'étude : il s'agit de la voie express reliant l'autoroute à Al Hoceima et raccordant les régions de Taounate et du Nord.

#### 4.3.3.1. Analyse des données des jours de coupure

L'analyse des Bulletins de Viabilité Routière (BVR) a permis d'établir, par tronçon, les coupures qui ont suivi les routes ainsi que la cause (neige, crue) et sa durée.

Le tableau suivant montre les données analysées, depuis l'année 2009, qui ont été reçues de la part de la DR et postérieurement implémentées afin d'inclure les derniers épisodes pluvieux de l'année 2014.

Tableau 86 – RR508 – Données des jours de coupure

RR 508 entre Saka et Outabouabane sur 157 km (PK 15 à 172)								
Année	n° épisode	Source	Section concernée ou PK	Cause de la coupure	Type de coupure	Données recueillies	Etat et date de rétablissement de la route	Durée de la coupure
2010	2010-1	BVR du 02/03/2010 à 18h	104,2	Glissement de terrain		DEGATS DE CRUES : RR 508 reliant Jbrna à Beni Ftah : Coupée au pk 104+200, à cause d'un glissement de terrain. Pas de déviation locale,	Coupure	> 7 jours
		BVR du 03/03/2010 à 18h				DEGATS DE CRUES : RR 508 reliant Jbrna à Beni Ftah : Coupée au pk 104+200, à cause d'un glissement de terrain. Pas de déviation locale,	Coupure	
		BVR du 09/03/2010 à 16h				Routes encore coupées : RR 508 reliant Jbarna à Beni Ftah : Coupée au Pk 104+200, à cause d'un glissement de terrain	Coupure	
	2010-2	BVR du 16/03/2010 à 18h	RR 508 reliant Ouled Jbaine à Beni Linte	Dégâts des crues			circulation rétablie 16/03/2010	?
Légende :			source : DR					
			source : site internet du Ministère Transport					

D'après les réunions tenues avec la DRET/DPETL pour ce tronçon et les visites de terrain réalisées, nous constatons que cet inventaire n'est pas exhaustif : certains épisodes de coupure de la route ne figurent pas dans le tableau, en particulier les glissements de terrain qui se sont produits récemment et qui ont engendré des coupures de la route.



Cela montre que soit l'établissement des BVR n'est pas systématique, soit que les données qui nous ont été transmises sont incomplètes. Dans les deux cas de figure, la conclusion est la même, ces données très utiles pour notre étude, mais surtout pour une exploitation correcte de la route, ne sont pas, au jour d'aujourd'hui, exploitables par la DR.

#### 4.3.3.2. Entretien

La DR établie, à travers des plans de campagne, les budgets alloués chaque année pour l'entretien. Elle nous a fourni ces données et nous avons pu les analyser pour chacun des tronçons étudiés.

Le tableau suivant montre les budgets alloués au tronçon étudié depuis l'année 2007 :

Tableau 87 – RR508 – Synthèse du budget d'entretien

TRONÇON: RR508 PK15 au PK 172 DRE TAZA-ALHOCEIMA-TAOUNATE	MONTANT EN KDH								TOTAL
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
<b>DESIGNATION</b>									
<b>1/ INVESTISSEMENT DIRECT</b>									
Revêtement Superficiel	264		0	0					264
Traitement des accotements à l'entreprise	0		0	0					0
Traitement de l'environnement	687		0	0					687
Entretien des O.A	11		26						37
Signalisation Verticale									0
Dispositifs de sécurité									0
Signalisation Horizontale	0		0	38					38
<b>2/ DEPENSES LIEES AUX TRAVAUX EN REGIE</b>									
Fourniture d'émulsion									
Fourniture de gravillons									
Autres matériaux de construction									
Carburant et lubrifiants									
Pièces de rechange									
Location des camions et engins									
<b>3/ DEPENSES DE FONCTIONNEMENT</b>									
Petit matériel et outillages									
Bois de chauffage									
Alimentation									
Comptage routier									
Entretien des maisons cantonnières ou abris de neige									
Fournitures des bureaux									
consommable informatique									
<b>AUTRES</b>									
Traitement des accotements et fossés en régie	0								
<b>ENNEIGEMENT</b>									
<b>TOTAL</b>	<b>962</b>	<b>0</b>	<b>26</b>	<b>38</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1026</b>

NON DETAILLE

NON DISPONIBLE

La représentation graphique de ce budget est présentée ci-dessous:

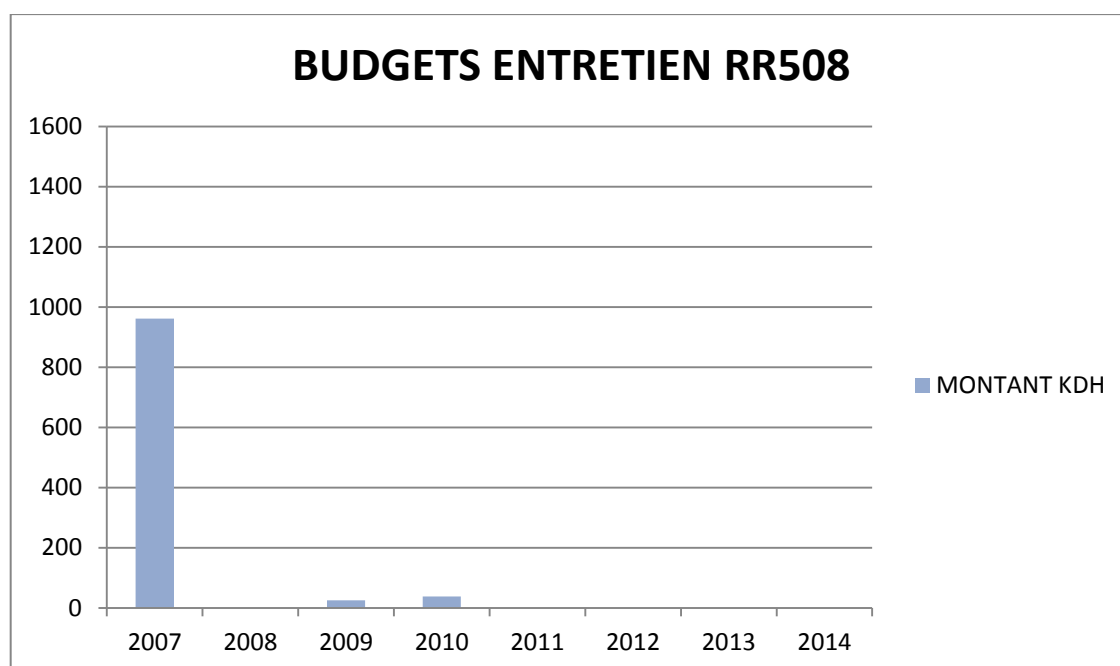


Figure 43 – RR508 – Synthèse du budget d'entretien

Le détail de ce budget par année et par PK est montré dans le tableau suivant :

Tableau 88 – RR508 – Détail du budget d'entretien

Année	PK	Nature	Montant KDH
2007	PK 111-114	RS Bicouche	264
	PK 55,05	Gabions+remblais+fossés bétonnés	687
	PK 92+400	Dalot - réparation garde-corps	6
	PK 94+600	Dalot - réparation garde-corps	5
2009	PK 56,15	Dalot - réparation dalle et parafeuilles + gabions	26
2010	PK 65-76	Signalisation horizontale	38
<b>TOTAL</b>			<b>1026</b>

#### 4.3.4. Hydraulique et assainissement

##### 4.3.4.1. Contexte hydrographique et hydrologique

Les observations relevées lors des visites de terrain ont été complétées par un travail au bureau, en exploitant les données et études mises à disposition de l'Ingénierie et les fonds topographiques 1/50.000<sup>ème</sup> et 1/100.000<sup>ème</sup>. Ainsi de point de vue hydrographique et hydrologique :

- Le réseau hydrographique est dense, avec parfois des axes d'oueds sinueux serpentant et interceptant la route à plusieurs endroits (voir Annexe n°3). Certains oueds importants longeant la plateforme routière, la mettant en danger de sapement des berges. Le cas le plus frappant est celui de l'Oued Lahdar et ses affluents dans la partie sise dans le Sebou, et Oued Msoun et ses affluents - dont le plus important et l'oued Boulswab- dans le bassin de la Moulouya ;
- Les écoulements sont concentrés et les lits des Chaâbas et Oueds bien marqués. Certains oueds ont des lits mineurs et majeurs d'une largeur naturelle importante :
  - Oued Lahdar dans le bassin du Sebou ;
  - Oued Msoun et son affluent, oued Boulswab, dans le bassin de la Moulouya.
- Les bassins versants de la plupart des points névralgiques ont été délimités (voir carte en Annexe n°3).

Les caractéristiques de ces bassins sont présentées ci-dessous :

Tableau 89 – Caractéristiques des bassins versants au droit des points névralgiques du tronçon Outabouabane - Sakka

PK	S <sub>BV</sub> (km <sup>2</sup> )	Lmax (m)	Hmax (mNGM)	Hmin (mNGM)	Hmoy (mNGM)	Pente (%)
21+557	Petit bassin en déblai - limite nécessitant un fond topographique plus précis					
36+700	1.73	3049.25	950	526	738	13.9%
37+800	0.06	352.96	680	500	590	51.0%
39+800	Petit bassin en déblai - limite nécessitant un fond topographique plus précis					
44+500	53.45	11446.32	1130	420	775	6.2%
50+600	0.17	729.11	850	550	700	41.1%
53+500	Petit bassin en déblai - limite nécessitant un fond topographique plus précis					
55+400	Petit bassin en déblai - limite nécessitant un fond topographique plus précis					
56+700	0.04	393.00	770	650	710	30.5%
71+800	Petit bassin en déblai - limite nécessitant un fond topographique plus précis					
Oued limitrophe	261.78	41475.14	1550	520	1035	2.5%
72+100	0.12	1150.5434	810	525	667.5	24.8%
Oued limitrophe	259.78	40597.68	1550	525	1037.5	2.5%
72+300	0.11	833.60	730	500	615	27.6%
Oued limitrophe	259.52	40399.39	1550	530	1040	2.5%
77+273	Petit bassin en déblai - limite nécessitant un fond topographique plus précis					
Oued limitrophe	218.06	35482.40	1550	540	1045	2.8%
77+800	215.94	34927.80	1550	550	1050	2.9%
79+400	Oued longeant route - Pas de traversée					
Oued limitrophe	212.49	32993.00	1550	560	1055	3.0%
80+500	0.08	622.92	844	570	707	44.0%
Oued limitrophe	209.58	31221.27	1550	570	1060	3.1%
84+000	Petit bassin en déblai - limite nécessitant un fond topographique plus précis					
Oued limitrophe	197.49	27507.39	1550	600	1075	3.5%
88+000	144.19	23272.51	1550	600	1075	4.1%
96+600	0.17	567.21	925	820	872.5	18.5%
104+800	Petit bassin en déblai - limite nécessitant un fond topographique plus précis					
117+882	0.63	1462.12	1050	700	875	23.9%
Oued limitrophe	283.83	38999.70	1410	770	1090	1.6%
126+089	0.39	1051.21	857	730	793.5	12.1%
131+362	492.80	51476.32	1410	650	1030	1.5%
137+630	249.82	35263.46	1300	650	975	1.8%
158+150	125.15	20391.45	1300	800	1050	2.5%

Les bassins limitrophes correspondent à des points où les oueds Lahdar, Msoun ou Boulswab longent la plateforme routière.

Ces bassins correspondent généralement :

- à des bassins versants « localisés » (< 0.1 km<sup>2</sup>) pour les déblais : exemple du PK 37+800 ;
  - à de très petits bassins (de 0.1 à 1 km<sup>2</sup>) : exemple du PK 50+600 ;
  - à des petits bassins (de 1 à 20 km<sup>2</sup>) : exemple du PK 36+700 ;
  - à des moyens bassins versants (de 20 à 100 km<sup>2</sup>) : exemple du PK 44+500 ;
  - et à de grands bassins versants de plus de 100 km<sup>2</sup> : exemple de l'oued Lahdar au PK 77+800 (218 km<sup>2</sup>).
- En termes de pentes, les zones étudiées se caractérisent par leur relief accidenté à montagneux. Ainsi suivant la taille des bassins, les pentes varient :
- Bassins de moins de 1 km<sup>2</sup> : entre 12 et 55 % ;
  - Bassins entre 1 et 20 km<sup>2</sup> : autour de 14 %
  - Bassins entre 20 et 100 km<sup>2</sup> : autour de 6 % ;
  - Bassins de plus de 100 km<sup>2</sup> : inférieures à 5 %.

- L'aptitude des sols au ruissellement est moyenne à forte en particulier pour les bassins en montagne à forte pente ;
- Les sols sont généralement fins avec une importante aptitude à l'érosion comme le montrent les ravinements en zone de déblai et l'érosion de certains talus de remblai ;
- Le charriage est important, il est soit d'éléments importants comme les blocs métriques, soit d'éléments moins grossiers issus de l'altération des schistes.

#### 4.3.4.2. Diagnostic des problématiques recensées

En termes de dispositifs hydrauliques et d'assainissement et drainage, en général ce système se limite à des ouvrages de traversée.

Les dispositifs longitudinaux sont soit inexistantes pour la plupart, soit des fossés bétonnés trapézoïdaux de 0.5 m à la base et de 0.5 m de profondeur colmatés en partie ou en totalité.

Après analyse des listes d'ouvrages hydrauliques mises à disposition de l'Ingénierie, il est à noter que :

- La liste fournie ne comporte que les OA entre les PK 39 et 172 ;
- On regrettera l'absence de coordonnées géographiques pour permettre une meilleure implantation des ouvrages. En effet nous nous sommes basés sur les bornes kilométriques et sur les PK indiqués par les collaborateurs des DPETL pour se repérer. Ainsi nous avons constaté des décalages pour certains PK :
  - Le franchissement de l'oued Msoun se fait vers le PK 131 ;
  - La distance digitalisée sur carte topographique, et vérifiée sur Google Earth, entre ce point et le franchissement de l'oued Boulswab est de l'ordre de 7.2 Km ;
  - Le PK pour ce deuxième franchissement serait donc de l'ordre de 138 alors que celui sur le listing des OA mis à disposition de l'Ingénierie est PK 137+400 ;
- Les dimensions des ouvrages ne sont pas toujours indiquées, certaines sont différentes de celles indiquées dans les listes fournies ;
- Pour la plupart ce sont des ouvrages d'art qui ont été indiqués, la liste de la petite hydraulique étant indisponible et nécessitant une opération de repérage par les directions concernées.

Pour l'état des dispositifs hydrauliques, d'assainissement et drainage, l'Ingénierie a constaté des déficiences et/ou anomalies de fonctionnement des ouvrages.

Ce constat est également évoqué dans les études et données mises à disposition de l'Ingénierie dont les fiches techniques de réparation de dégâts de crue : exemple de celles entre les PK15 et PK39.

Les anomalies décelées sont détaillées ci-dessous, elles permettent de dresser un diagnostic des aménagements existants et d'en relater le risque qu'ils encourent à l'état actuel. Le risque majeur demeure la destruction de la route et/ou des ouvrages hydrauliques, en partie ou en totalité, et l'interruption du trafic provisoire ou permanente.

Absence de fossés de talus et/ou de pied de déblais, et de dispositifs de drainage interne pour les sections en déblai ou en profil mixte : exemple du PK 56+700



Figure 44 : Absence de fossé au PK 56+700

Absence de captage des Chaâbas en amont, ce qui cause des ravinements dans les talus de déblais et engendre des débordements des écoulements sur la route. Ce constat est lié notamment à l'absence de fossés latéraux de déblai se raccordant à des ouvrages hydrauliques dont l'entrée est de type puisard : exemple du PK 117+882



Figure 45 : Absence de captage au PK 117+882



Erosion des talus de certains remblais suite au débordement des écoulements sur la route : exemple du PK 55+400 pour lequel les écoulements ont débordé sur la route



Figure 46 : Débordement des eaux sur la route au PK 55+400

Colmatage des entrées de certains ouvrages par transport solide, certaines entrées d'ouvrages sont complètement ensevelies et certaines sorties non dégagées : exemple du PK 50+600 pour lequel l'entrée de l'OH est complètement ensevelie



Figure 47 : OH colmaté au PK 50+600

Absence de protection des remblais routiers au droit des ouvrages hydrauliques (perrés maçonnés) : exemple du PK 96+600 pour lequel la tête aval de l'OH a été emportée et une partie de la chaussée a été érodée



Figure 48 : Absence de protections du remblai au PK 96+600

Absence de protection en enrochement des lits des Chaâbas et oueds rétablis par les ouvrages hydrauliques (OH et radiers), ce qui cause des affouillements en particulier pour des OH avec des chutes en aval : exemple du PK 88+000 pour lequel on a constaté une fosse d'affouillement à la sortie de l'OH sur l'oued El Gouza



Figure 49 : Fosse d'affouillement à la sortie de l'OH au PK 88+000

Affouillement en pied de talus de remblai pour des sections longeant des lits d'oueds : exemple du PK 80+500 pour lequel l'oued a causé une érosion d'une partie du remblai



Figure 50 : Erosion du remblai au PK 80+500

Obturation d'une partie ou de la totalité des sections hydrauliques de certains fossés de déblai : exemple du PK 84+000 où le fossé est partiellement comblé par des matériaux d'érosion



Figure 51 : Obturation de la section du fossé au PK 84+000



Ouvrages hydrauliques détruits et/ou emportés par les crues, les cas rencontrés correspondent aux franchissements des oueds Msoun au PK 131+362



Figure 52 : OH détruit sur l'oued Msoun au PK 131+362

Et oued Boulswab aux PK137+630



Figure 53 : OH détruit sur l'oued Boulswab au PK 137+630

Et 158+150



Figure 54 : OH détruit sur l'oued Boulswab au PK 158+150

#### 4.3.4.3. Synthèse

L'analyse qualitative et quantitative a mis en évidence la sensibilité de la plateforme routière étudiée, à travers une série d'indicateurs dont la synthèse est présentée ci-dessous :

- Le contexte pluviométrique et topographique est favorable à la genèse des crues : en effet les bassins versants sont bien pentés avec des couvertures végétales assez lâches et des terrains fins et érodables.
- Le ruissellement peut être caractérisé de moyen pour des occurrences de moins de 10 ans, au-delà il est moyen à élevé, suivant la taille des bassins ;
- De par le contexte accidenté et montagneux, les crues sont de courtes durées, violentes et torrentielles surtout pour des bassins de moins de 100 km<sup>2</sup>. Pour les grands oueds, la crue peut durer plus longtemps ;
- En raison de ce faible temps de parcours, et des fortes aptitudes au ruissellement, les débits de crues peuvent être importants comme en attestent les dégâts de crue, dont une partie constatée sur site ;
- L'état des ouvrages (colmatage, absence de dispositifs amont, et de protections aux points de rejets, etc.) entraîne une réduction de la débitance des ouvrages, un débordement des écoulements sur les routes et des érosions de talus aussi bien en déblai qu'en remblai ;
- Le mauvais assainissement et/ou drainage des écoulements, notamment depuis les talus de déblai, occasionne des dysfonctionnements des ouvrages, ils sont accompagnés par des érosions de talus, des glissements de terrains ainsi que des inondations de la route ;
- L'absence de protection appropriée en pied de remblai lorsque de grands oueds longent la route, et qu'ils contrôlent des bassins versants de plus de 100, voire même 1000 km<sup>2</sup> pour certains, sont des facteurs de risque qui mettent en péril la stabilité, voire la pérennité de la plateforme routière étudiée (cas des oueds Lahdar, Msoun et Boulswab) ;
- Une attention particulière est à accorder aux radiers submersibles à gué assurant le franchissement des oueds Msoun et Boulswab qui ont été ruinés par les crues. Ces dégâts mettent en exergue des défauts de conception et d'absence des protections.

Ces désordres sont synthétisés dans le tableau en page suivante.

Rapport de visites		Défauts et désordres constatés	Causes envisageables	Typologie des problématiques recensées	
n° point	PK			Principale	secondaire
1	21+557	Absence de réseau de collecte en pied de déblai	Absence d'assainissement-drainage de la route	Assainissement	Absence de réseau de collecte et d'évacuation des eaux pluviales
2	36+700	Réseau de collecte en pied de déblai ponctuellement colmaté	Glissement du terrain du bassin versant amont et absence d'entretien suite à la réhabilitation du site		voir Géotechnique
3	37+800	Réseau de collecte en pied de déblai partiellement colmaté suite à un glissement de terrain	Glissement de terrain		voir Géotechnique
4	39+800	Ouvrage de traversée : têtes amont et aval colmatées	Glissement du terrain du bassin versant amont et absence d'entretien suite à la réhabilitation du site	Entretien	Absence d'entretien du fossé
		Réseau de collecte en pied de déblai partiellement colmaté	Absence d'entretien et érosion pluviale au niveau du bassin versant amont	Erosion pluviale	Erosion du bassin versant
5	44+500	Ouvrage de rétablissement de l'oued ruiné par les crues et réparation en 2011 avec déviation du tracé de la route en amont	-		
		Pont submersible (en remplacement d'un radier submersible) : absence de dispositifs de protection au droit des remblais amont (coude de l'oued)	Absence de dispositif de protection contre les affouillements et l'érosion latérale au niveau des remblais	Ouvrage de franchissement d'un oued en basses eaux	Affouillement au droit d'un ancien radier submersible Absence d'aménagements connexes (dispositifs de protection des remblais)
		Affouillement en aval immédiat de l'ancien radier submersible : érosion régressive	Absence de dispositif de protection contre les affouillements		
6	50+600	Ouvrage de traversée : tête amont totalement colmatée et tête aval effondrée	Absence d'entretien et érosion pluviale au niveau du bassin versant amont	Ouvrage de franchissement d'une Chaâba	Absence d'entretien de l'ouvrage et d'aménagement amont
		Absence de réseau de collecte en pied de déblai	Absence d'assainissement-drainage de la route	Assainissement	Absence de réseau de collecte et d'évacuation des eaux pluviales
		Fort érosion des talus de remblai suite aux débordements sur la chaussée	Colmatage ouvrage de traversée et absence de réseau de pied de déblai	Erosion pluviale	Erosion du bassin versant, des talus de déblais et de remblais
7	53+500	Ouvrage de traversée : partiellement colmaté	Absence d'entretien et érosion pluviale au niveau du bassin versant amont	Ouvrage de franchissement d'une Chaâba	Absence d'entretien de l'ouvrage et d'aménagement amont
		Débordements des eaux sur la route entraînant une érosion en pied de mur de gabions situé en pied du talus de remblai	Colmatage partiel de l'ouvrage de traversée et absence de surverse latérale aménagée vers le fossé de pied de déblai existant	Erosion pluviale	Erosion du bassin versant amont
		Absence ponctuelle de réseau de collecte en pied de déblai	Absence d'assainissement-drainage de la route	Assainissement	Absence de réseau de collecte et d'évacuation des eaux pluviales
8	55+400	Fossé de recueil des eaux pluviales en pied de déblai colmaté en amont de l'ouvrage de traversée	Erosion du talus de déblai et absence d'entretien	Entretien	Absence d'entretien du fossé
		Erosion du talus de remblai suite aux débordements des eaux du fossé de pied de déblai sur la chaussée	Fossé pied de déblai colmaté favorisant les débordements sur la chaussée	Erosion pluviale	Erosion des talus de remblais
9	56+700	Absence de réseau de collecte en pied de déblai	Absence d'assainissement-drainage de la route	Assainissement	Absence de réseau de collecte et d'évacuation des eaux pluviales
		Point bas non assaini			
10	71+800	Absence de réseau de collecte en pied de déblai	Absence d'assainissement-drainage de la route	Assainissement	Absence de réseau de collecte et d'évacuation des eaux pluviales
11	72+100	Absence de réseau de collecte en pied de déblai	Absence d'assainissement-drainage de la route	Assainissement	Absence de réseau de collecte et d'évacuation des eaux pluviales
12	72+300	Route longeant un oued avec présence du pied de talus de remblai au fond de l'oued : présence d'une protection en enrochements discontinue et ponctuellement d'un mur	Attaque en pied de l'Oued suite attaque du courant au droit d'un méandre	Erosion fluviale (route longeant un oued)	Erosion de berge/pied de remblai par attaque du courant et variations des niveaux d'eau (crue et décrue)
		Ouvrage de traversée : érosion talus de remblai aval	Débordement d'une Chaâba sur la route	Erosion pluviale	Erosion des talus de remblais
13	77+000	Route longeant la rive concave d'un oued avec talus de remblai au pied de l'oued : affouillements ponctuels en pied	Attaque en pied de l'Oued suite attaque du courant au droit d'un méandre	Erosion fluviale (route longeant un oued)	Erosion de berge/pied de remblai par attaque du courant et variations des niveaux d'eau (crue et décrue)
		Absence de réseau de collecte en pied de déblai	Absence d'assainissement-drainage de la route	Assainissement	Absence de réseau de collecte et d'évacuation des eaux pluviales
14	77+800	Affouillement remblai au droit de la culée amont côté rive gauche	Attaque du courant de l'oued lors des crues	Ouvrage de franchissement d'un oued	Dégradations au droit d'un pont
15	79+400	Route longeant la rive concave d'un oued avec talus de remblai au pied de l'oued : érosion latérale et affouillements en pied	Attaque du courant en pied de l'oued lors des crues : affouillement	Erosion fluviale (route longeant un oued)	Erosion de berge/pied de remblai par attaque du courant et variations des niveaux d'eau (crue et décrue)
		Absence de réseau de collecte en pied de déblai	Absence d'assainissement-drainage de la route	Assainissement	Absence de réseau de collecte et d'évacuation des eaux pluviales
16	80+500	Effondrement ponctuel d'un mur de protection du talus de remblai au pied d'un oued	Attaque du courant en pied de l'oued lors des crues : affouillement	Erosion fluviale (route longeant un oued)	Erosion de berge/pied de remblai par attaque du courant et variations des niveaux d'eau (crue et décrue)
		Route longeant un oued : présence de murs latéraux à la route "perché"			
		Absence de réseau de collecte en pied de déblai	Absence d'assainissement-drainage de la route	Assainissement	Absence de réseau de collecte et d'évacuation des eaux pluviales
17	84+000	Présence d'un mur au pied de l'Oued affaissé	Attaque du courant en pied de l'oued lors des crues et/ou glissement du talus de remblai	Erosion fluviale (route longeant un oued)	Erosion de berge/pied de remblai par attaque du courant et variations des niveaux d'eau (crue et décrue)
		Route longeant un oued avec pied de talus de remblai au fond de l'oued	Absence de dispositif de protection du pied du talus de remblai		
		Colmatage du fossé latéral de pied de déblai suite à des éboulis	Erosion du talus de déblai et absence d'entretien	Entretien	Absence d'entretien du fossé
18	88+000	Réparation en 2011 de l'accès en rive gauche au pont submersible au droit du franchissement d'un oued	-	Ouvrage de franchissement d'un oued en basses eaux	Dégradations au droit d'un pont submersible
		Affouillement en aval immédiat du pont submersible	Absence de dispositif de protection contre les affouillements		
19	96+600	Chaussée partiellement emportée au niveau du talus de remblai aval	Débordement d'une Chaâba sur la route	Erosion pluviale	Erosion des talus de remblais
		Ouvrage de traversée : tête aval emportée	Affouillement au débouché aval du dalot et absence d'aménagement entre le débouché du dalot et l'oued	Ouvrage de franchissement d'une Chaâba	Dégradations du talus de remblai et au débouché de l'ouvrage
20	104+800	Erosion des talus de remblai avec murs de protection emportés et/ou affaîssés	Absence d'assainissement-drainage de la route	Erosion pluviale	Erosion des talus de remblais
		Ouvrage de traversée : tête aval emporté et ravinement aval	Absence d'ouvrage de tête au débouché de l'ouvrage de traversée	Assainissement	Absence de réseau de collecte et d'évacuation des eaux pluviales
			Absence de dispositifs de protection au débouché de l'ouvrage de traversée		Absence de dispositifs de protection au débouché de l'ouvrage de traversée
21	117+882	Affouillement en aval immédiat d'un radier submersible	Absence de dispositif de protection contre les affouillements	Ouvrage de franchissement d'un oued en basses eaux	Affouillement en aval d'un radier submersible
		Très forte érosion du fossé latéral, du talus de déblai et de l'accotement	Erosion pluviale du fossé latéral et du déblai suite aux apports des ruissellements extérieurs et de la route	Erosion pluviale	Erosion des talus de déblais et des fossés latéraux
22	126+089	Coupures fréquentes de la route	Absence d'assainissement-drainage de la route engendrant des coupures fréquentes	Assainissement	Absence de réseau de collecte et d'évacuation des eaux pluviales
23	131+362	Pont submersible emporté par les crues : coupure de la route	Absence de fondation sur substratum inaffouillable Absence de dispositif de protection contre les affouillements Mauvais calage altimétrique (pont submersible trop haut)	Ouvrage de franchissement d'un oued en basses eaux	Dégradations au droit d'un pont submersible
24	137+630	Pont submersible emporté par les crues : coupure de la route	Absence de fondation sur substratum inaffouillable Absence de dispositif de protection contre les affouillements Mauvais calage altimétrique (pont submersible trop haut)	Ouvrage de franchissement d'un oued en basses eaux	Dégradations au droit d'un pont submersible
25	158+150	Pont submersible emporté par les crues : coupure de la route	Absence de fondation sur substratum inaffouillable Absence de dispositif de protection contre les affouillements Mauvais calage altimétrique (pont submersible trop haut)	Ouvrage de franchissement d'un oued en basses eaux	Dégradations au droit d'un pont submersible

Tableau 90 – Désordres hydrauliques constatés au niveau des points névralgiques du tronçon Outabouabane - Sakka

Le tableau suivant synthétise les désordres observés pour la RR 508 :

Tableau 91 – Synthèse des désordres hydrauliques constatés aux points névralgiques – Tronçon Outabouabane - Sakka

Thématiques	Typologie des problématiques recensées		Bilan des désordres constatés	
			RR 508	
	Principale	secondaire	Nombre	%
Hydraulique fluviale	Ouvrage de franchissement d'un oued	Dégradations au droit d'un pont submersible	7	18.9%
		Affouillement en aval d'un radier submersible		
		Dégradations au droit d'un pont		
		Affouillement au droit d'un ancien radier submersible		
		Absence d'aménagements connexes (dispositifs de protection des remblais)		
	Route en bordure d'un oued : érosion fluviale	Erosion de berge/pied de remblai par attaque du courant et variations des niveaux d'eau (crue et décrue)	5	13.5%
<b>Total</b>			<b>12</b>	<b>32.4%</b>
Assainissement routier	Assainissement	Absence de réseau de collecte et d'évacuation des eaux pluviales	11	29.7%
		Absence de dispositifs de protection au débouché des ouvrages de traversée		
	Entretien du réseau	Absence d'entretien du fossé	3	8.1%
	Ouvrage de franchissement d'une Chaâba	Dégradations du talus de remblai et au débouché de l'ouvrage	3	8.1%
		Absence d'entretien de l'ouvrage et d'aménagement amont		
	Erosion pluviale	Erosion des talus de déblais et des fossés latéraux	8	21.6%
		Erosion des talus de remblais		
		Erosion du bassin versant amont		
Erosion des talus de déblais				
<b>Total</b>			<b>25</b>	<b>67.6%</b>
<b>Total hydraulique fluviale et assainissement routier</b>			<b>37</b>	<b>-</b>

Ce tableau montre que les dégâts constatés sur un échantillon de 25 points se répartissent comme suit:

- 67 % concernent l'assainissement routier : réseau de captage longitudinal, traversée transversale, érosion des remblais à cause de la pluie, ravinement en talus de déblai... ;
- 33 % environ se rapporte à l'hydraulique fluviale : ponts dégradés, affouillement de radier d'ouvrage hydraulique, absences de dispositifs de protection des extrémités...

Il apparaît donc à la lumière de ce diagnostic, qu'actuellement des déficiences et anomalies encombreront le bon fonctionnement de la RR508. Ces dysfonctionnements comportent un risque majeur, qui pourrait être aggravé, éventuellement, par les changements climatiques.



### 4.3.5. Géotechnique et chaussées

#### 4.3.5.1. Contexte géologique

La RR508 se situe dans le domaine de Rif. Ce domaine constitue un contexte géologique et géotechnique complexe car il est formé d'un empilement de nappes de charriage. Elle se développe dans un relief accidenté constitué de terrains compressibles. Elle traverse des zones de grands glissements de terrain qui causent des désordres importants au niveau de la route.

D'après la figure, présentée ci-dessous et couvrant la région de la route, les formations rencontrées sont :

- Des argiles marneuses tireuses noirâtres du Quaternaire récent ;
- Des argiles limoneuses marneuses, alluvions et cailloutis des terrasses alluviales du Quaternaire (Rharbien, Tansifien et Soltanien). Cette formation affleure par endroits au niveau de la section longeant l'oued M'saben vers PK56 ;
- Marnes gris bleuâtre vert et noirâtre en alternance avec les bancs de calcaire du Miocène de la zone montagneuse vers le PK 48+500 ;
- Marnes à bancs de grès calcaires d'âge Oligocène caractérisant la zone du PK56+500 à PK58+600 ;
- Marnes blanchâtre à silex à intercalation de bancs calcaires du paléocène affleure vers PK62 ;
- Série schisto-gréseuse et pélite sembdre du Jurassique supérieur ;
- Marne calcaire et marnes du Tithonien supérieur ;
- Marno-gréseuse flyschoides du Valangien Aptien ;
- Série flyschoides de l'Oligocène supérieur.



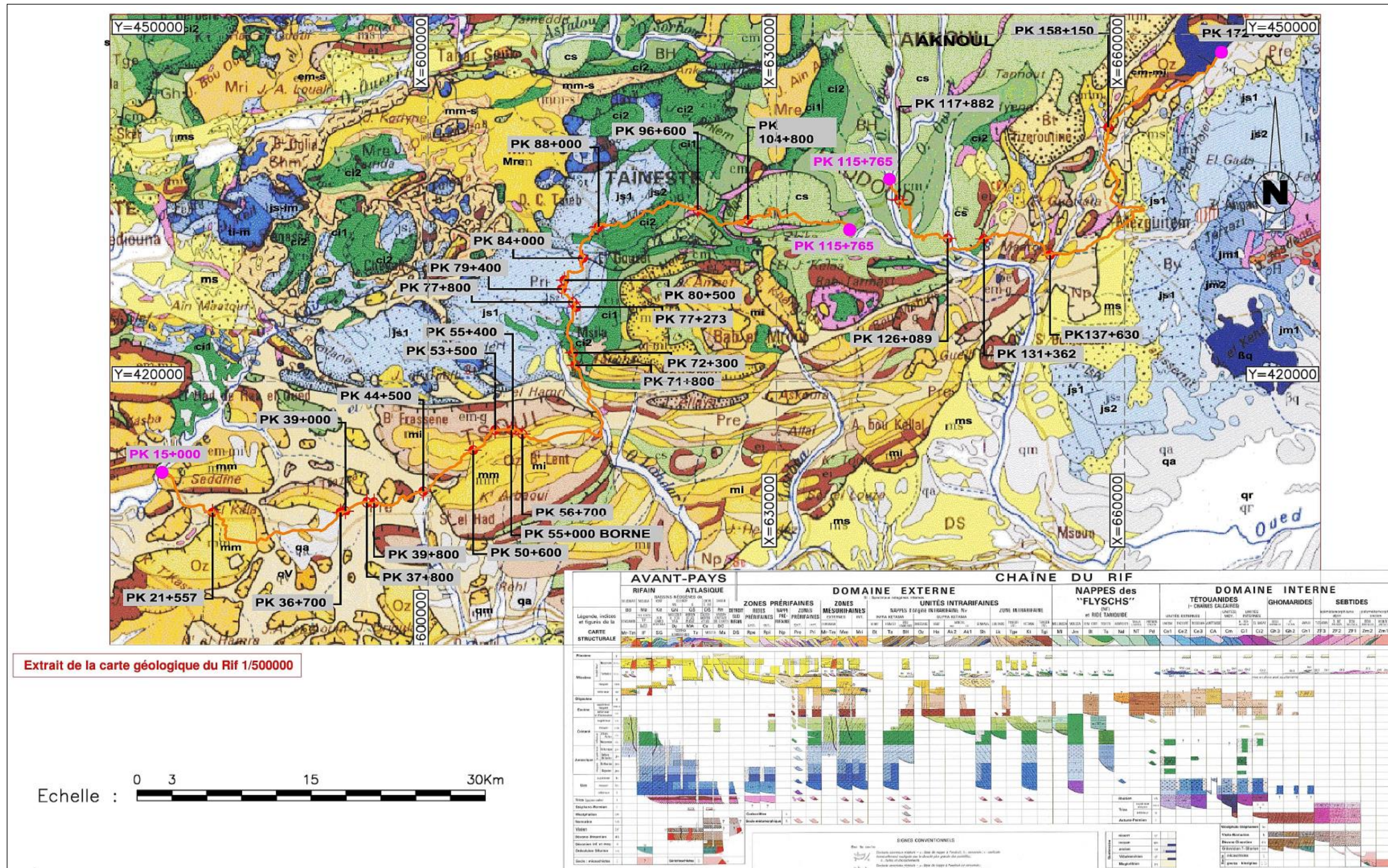


Figure 55 : Formations géologiques traversées par le tronçon Outabouabane - Sakka



#### 4.3.5.2. Diagnostic des problématiques recensées

Les documents relatifs à la géotechnique, mis à disposition de l'Ingénierie, sont surtout des rapports d'études géotechniques de prédimensionnement des structures chaussées, réalisées dans le cadre d'élargissement et de renforcement des tronçons.

Les études qui traitent le problème d'instabilité de terrain ainsi que les rapports ou notes de dimensionnement des méthodes de confortement ne sont pas disponibles.

Les fiches techniques des désordres traités relèvent les désordres constatés sur le terrain et quelques solutions proposées. A titre de rappel du PK44+800 de la RR508 où les dégâts se manifestent principalement par :

- Des glissements de terrain ;
- Sapement de l'oued sur la plateforme ;
- Emportement totale ou partiel de quelque ouvrage d'art ;
- Écroulement de quelques murs de soutènement ou de protection.

Les terrains constituant l'environnement géologique de la route, sont à prédominance marneuse. La présence de la marne altérée en pente et en relief constitue un facteur conditionnant, en présence d'un facteur déclenchant (précipitations), est l'une des principales causes d'apparition de ces glissements.

Les différents types de désordres constatés sont présentés ci-après avec les illustrations correspondantes.

Des tronçons de la route sont situés dans des versants instables. Ces derniers sont le siège de glissements importants qui affectent la route sur des centaines de mètres de longueur.

La photo suivante montre un glissement de versant au PK37+800, déclenché dans la marne et qui a emporté la chaussée ainsi que le mur de soutènement en gabion.



Figure 56 : Glissement de versant (PK37+800)

Glissement de déblai : il s'agit d'une poussée importante qui a provoqué un glissement circulaire et une déformation des gabions (cf. photo suivante).

Ce glissement se manifeste au niveau de la chaussée par des fissures longitudinales. A ce phénomène s'ajoute un problème de ravinement au niveau de quelques PK.



Figure 57 : Glissement de talus de déblai (PK55+400)

Dans les tronçons en profil mixte les principaux désordres et affaissements de la chaussée apparaissent du côté remblai. Les désordres se manifestent par fissuration longitudinale et transversale et affaissement de la chaussée côté remblai. Ce phénomène est lié à un mauvais drainage (fossé colmaté), comme illustré par les photos suivantes :



Figure 58 : Fissuration longitudinale et transversale et affaissement de la chaussée côté remblai-(PK53+500)

Dans certaines sections longeant l'oued, le sapement de pied en cas de crue, érode le talus de remblai et conduit au déclenchement des glissements importants qui peuvent affecter toute la plate-forme de la chaussée et éventuellement les systèmes de soutènement ponctuels. Ce phénomène se produit fréquemment et nécessite des interventions annuelles.



Figure 59 : Sapement de pied et effondrement de gabion (PK80+500)

L'érosion des talus de déblai constitués de marne ou flysch délitable, produit des éboulis qui colmatent les fossés bétonnés suite à l'absence d'espace de stockage ou rangé de gabion en pied de versant. En effet le colmatage du fossé entraîne le débordement des eaux et éboulis sur la chaussée ce qui résulte sa dégradation. Ce problème nécessite des interventions répétitives.



Figure 60 : Fossé rempli de matériaux d'érosion (PK84)

Affouillement près de l'ouvrage hydraulique et effondrement de ce dernier et du mur en gabion



Figure 61 : Affouillement du remblai et départ de mur en gabion (PK50+600)

Erosion de la fondation : il s'agit d'un ravinement qui a engendré l'érosion d'une partie de la plate-forme.

Ce problème est la marne altérée très érodable en fondation et absence de protection et de drainage.



Figure 62 : Erosion de la fondation (PK117+882)



Erosion de remblai : cet exemple illustre une érosion hydrique due à l'absence de drainage ou OH.



Figure 63 : Erosion du talus de remblai (PK50+600)

Dégradation de la chaussée à cause du mauvais drainage et saturation en eaux après colmatage du fossé par les éboulis qui débordent sur le mur de protection en gabion.



Figure 64 : Chaussée dégradée (PK77+800)

Certains déblais rocheux situés dans des zones instables, constituent un risque chute de blocs et d'écroulement. Ce risque est dû à la fracturation des roches et au départ de la matrice par érosion. Les photos ci-après illustrent ce phénomène et constituent un point de coupure de la route nécessitant une intervention pour dégager les gros blocs



Figure 65 : Zone instable à risque d'écroulement (PK104+800)



Le confortement se fait principalement par des murs en gabion qui ne sont pas bien adaptés à la problématique dans quelques cas observés (mal positionnés ou mal dimensionnés). La photo suivante illustre un exemple d'un mur avec risque d'affouillement.



Figure 66 : Mur perché suite au sapement de l'oued (PK80+500)

#### 4.3.5.3. Synthèse

L'analyse menée par l'Ingénierie a mis en évidence la sensibilité de la plateforme routière, à travers les nombreuses dégradations qu'elle a subies et les désordres fréquents dont elle souffre : glissements, affaissement de chaussée, érosion de talus, sapement des berges...

Le tableau suivant présente les désordres constatés sur la RR508.

Tableau 92 – Désordres géotechniques et de chaussée relevés au niveau des points névralgiques du tronçon Outabouabane – Sakka

Rapport de visites		Défauts et désordres constatés	Causes envisageables	Typologie des problématiques recensées	
n° point	PK			Principale	secondaire
1	21+557	Une partie de mur en gabion déplacée et renversée	La poussée de la masse glissée est maximale dans cette partie	Glissement	Confortement sous-dimensionné
		Glissement de talus déblai	Chute de caractéristiques mécaniques de déblai après saturation de la marne altérée		Absence de drainage de déblai
		Traces de chute de gabion sur chaussée	Gabion renversé sur chaussée	Dégradation de la chaussée	corps de chaussée dégradé
2	36+700	Chaussée déplacée et détruite sur une longueur de 200 m environ	Saturation du versant instable à topographie défavorable	Dégradation de la chaussée	Chaussée détruite
		Glissement de versant instable constitué de la marne altérée		Glissement	Glissement de versant
3	37+800	Partie du mur en gabion emportée par le glissement	Glissement de terrain constitué de la marne altérée suite au sapement de pied	Glissement	Absence de protection de pied
		Chaussée détruite	Zone de glissement	Dégradation de la chaussée	Chaussée détruite
4	39+800	Travaux de réhabilitation de la chaussée	zone dégradée	Dégradation de la chaussée	chaussée détruite
5	44+500	Voir hydraulique - assainissement			
6	50+600	Mur en gabion effondré avec l'OH et départ de l'accotement	Départ du remblai support constitué par des matériaux sensibles à l'érosion et talus à pente relativement forte	Glissement	Pente défavorable et absence de drainage
7	53+500	Mur en gabion affaissé et déformé	Erosion du remblai support à la base du mur en gabion	Glissement	Terrain marneux et absence de drainage
		Fissuration longitudinale et transversale et affaissement de la chaussée et accotement dégradés	Glissement amorcé	Dégradation de la chaussée	Fissuration et affaissement de la chaussée
8	55+400	Glissement de talus de déblai et de remblai	Talus dans la marne et remblai à pente relativement forte	Glissement	Absence de drainage de déblai et de remblai
		Mur en maçonnerie emporté avec le remblai par le glissement	Glissement de remblai à pente défavorable et absence de drainage		Topographie défavorable
		Déformation des murs de soutènement en gabion coté déblai	Poussée de la masse glissée supérieure à la butée		Glissement en amont et aval moyens de confortement insuffisants
		Fissures longitudinales de la chaussée	Zone de glissement	Dégradation de la chaussée	Fissuration longitudinale
9	56+700	Corps de chaussée dégradée	Absence de drainage de la route et glissement amorcé dans le remblai Absence de protection du talus de déblai	Dégradation de la chaussée	dégradation du corps de chaussée accotement comblé d'éboulis
		Accotement coté déblai comblé par les éboulis mince de pente		Glissement	glissement de remblai
		Affaissements avec fissuration du remblai			
10	71+800	Glissement de déblai et de remblai	Suppression de butée suite au sapement de pied par l'oued	Glissement	Absence de protection de pied
		Chaussée dégradée avec affaissement et fissuration	Zone de glissement	Dégradation de la chaussée	Fissuration et affaissement de la chaussée
11	72+100	Voir hydraulique - assainissement			
12	72+300	Confortement de talus de déblai par mur en gabion et celui de remblai par mur en maçonnerie et enrochement	Glissement ( section longeant l'oued )	Glissement	Insuffisance de moyen de protection et de confortement
		Dégradation de la chaussée et affaissement coté remblai	Suppression de la butée suite au sapement du pied de remblai	Dégradation de la chaussée	Fissuration et affaissement de la chaussée
13	77+000	Voir hydraulique - assainissement			
14	77+800	Dégradation du corps de chaussée	Absence de drainage	Dégradation de la chaussée	évolution des nids de poule
15	79+400	Voir hydraulique - assainissement			
16	80+500	Chaussée dégradée, fissurée et affaissée	Voir hydraulique - assainissement	Dégradation de la chaussée	Fissuration et affaissement de la chaussée
			Présence d'une source en amont et absence de drainage		
		Mur en gabion dégradé et détruit	Glissement amorcé suite à la suppression de butée par sapement	Glissement	Insuffisance de moyen de protection et de confortement
17	84+000	Chaussée dégradée (nids de poule remplis)	Voir hydraulique - assainissement	Dégradation de la chaussée	nid de poule remplis
18	88+000	Chaussée dégradée dans la zone de raccordement avec l'ouvrage hydraulique	Voir hydraulique - assainissement	Dégradation de la chaussée	revêtement dégradé
19	96+600	Voir hydraulique - assainissement			
20	104+800	Blocs détachés de grande dimension	Versant rocheux instable très fracturé	Instabilité rocheuse	Eboulement et chute de blocs
		Chaussée dégradée voire détruite	éboulement	Dégradation de la chaussée	revêtement dégradé
		Glissement coté remblai	Pente défavorable dans une zone instable	Glissement	Topographie défavorable
21	117+882	Départ de l'accotement suite à l'érosion de la marne	Absence de dispositif de protection	Dégradation de la chaussée	Fondation marneuse
22	126+089	Tronçon en cours de réparation après dégradation de la chaussée	Voir hydraulique - assainissement	Dégradation de la chaussée	Chaussée détruite
23	131+362	Chaussée emportée avec l'OH		Dégradation de la chaussée	Chaussée détruite
24	137+630	Chaussée emportée avec l'OH		Dégradation de la chaussée	Chaussée détruite
25	158+150	Chaussée emportée avec l'OH		Dégradation de la chaussée	Chaussée détruite

Le tableau suivant présente la répartition des désordres constatés par thématiques :

Tableau 93 – Synthèse des désordres géotechniques et de chaussée constatés aux points névralgiques – Tronçon Outabouabane - Sakka

Thématiques	Typologie des problématiques recensées		Bilan des désordres constatés	
	Principale	secondaire	RR 508	
			Nombre	%
Géotechnique	Glissement de terrain	Dégradations de la chaussée	14	40.0%
		Dispositifs de protection et de confortement insuffisants ou absents		
		Absence de drainage de remblai et déblai		
		Glissement de remblai		
		Topographie défavorable		
		Prédominance de terrains marneux altérés en surface		
	Instabilité rocheuse	Eboulement et chute de blocs de versants rocheux à pente défavorable	1	2.9%
		Dégradations de la chaussée		
<b>Total</b>		<b>15</b>	<b>42.9%</b>	
Structure de chaussée	Dégradation de la structure de la chaussée	Destruction de la chaussée	20	57.1%
		Fissuration longitudinale		
		Affaissement de la chaussée		
		Evolution de nid de poule		
		Accotement comblé par éboulis		
		Corps de chaussée dégradé		
	<b>Total</b>	<b>20</b>	<b>57.1%</b>	
<b>Total Géotechnique et Structure de chaussée</b>		<b>35</b>	<b>-</b>	

Ainsi, au niveau de l'échantillon des 25 points de la visite de terrain, 35 désordres ont été décelés dont :

- 43 % concernent la géotechnique : glissement de terrain et instabilité rocheuse ;
- 57 % se rapportent à la structure de chaussée et caractérisent une dégradation subie par cette dernière au niveau du corps de chaussée, accotement...

Il apparaît donc à la lumière de ce diagnostic, qu'actuellement ces désordres constituent un risque permanent, qui persiste tant que les interventions sont limitées à des travaux de rétablissement de la circulabilité.

Ce risque pourrait être amené à augmenter, éventuellement, à cause des changements climatiques.

### 4.3.6. Contexte socio-économique

#### 4.3.6.1. La population desservie

La population sur le tronçon Outabouabane-Saka atteint près de 125 000 habitants en 1994 et environ 117 000 habitants en 2004.

On constate que la population desservie par le tronçon a diminué en 10 ans. Cette baisse représente 6,1%.

Les communes comptant le plus grand nombre d'habitants sur ce tronçon sont Saka et Oulad Zbair avec en 2004 respectivement 19 547 habitants et 18 933 habitants.

		Population	
		1994	2004
<b>Outabouabane</b>		10 855	10 545
<b>Oulad Zbair</b>	<i>Centre</i>	3 001	4 193
	<i>Pop rurale</i>	15 788	14 740
<b>Bni Lent</b>		15 033	13 678
<b>Had Msila</b>		11 161	10 153
<b>El Gouzate</b>		8 992	7 710
<b>Bni Ftah</b>		14 246	12 378
<b>Barna</b>		4 145	3 456
<b>Mazguitam</b>		11 138	9 891
<b>Ain Zohra</b>		11 616	11 258
<b>Saka</b>		19 331	19 547
<b>Total</b>		<b>125 306</b>	<b>117 549</b>

Tableau 94 - Population desservie par le tronçon Outabouabane -Saka (R508) en 1994 et 2004

#### 4.3.6.2. Les activités

Le tronçon dessert en 2012 2 établissements industriels :

- 1 à Outabouabane ;
- 1 à Bni Ftah.

Les communes desservies sont caractérisées par leurs activités agricoles, en particulier Bni Lent et Ouled Zbair. Il traverse les provinces de Taounate et de Taza pour lesquelles le taux d'activité en 2012 est respectivement de 55,6% et de 47,4%.

La province de Taounate accueille peu d'activités industrielles (30 établissements industriels en 2012). Elles emploient en 2012 près de 150 salariés et génèrent un chiffre d'affaires d'environ 17 000 KDH.

En revanche, la province de Taza accueille beaucoup plus d'activités : 77 établissements industriels emploient en 2012 au total plus de 1 500 salariés. Le chiffre d'affaires généré est d'environ 900 000 KDH.

	Taux d'activité (%)	Nombre d'établissements	Effectifs de la main d'oeuvre	Chiffre d'affaire (Kdh)
Province de Taounate	55,6	30	152	16 661
Province de Taza	47,4	77	4 518	898 382
<b>Total</b>	-	<b>107</b>	<b>4 670</b>	<b>915 043</b>

Tableau 95 - Indicateurs d'activité autour du tronçon Outabouabane -Saka (2012)

#### 4.3.6.3. Trafics sur le tronçon

Le trafic moyen journalier annuel en 2012 est de 1 600 véhicules.

Origine	Destination	TMJA	dont VL	dont PL1	dont PL2
Outabouabane	Oulad Zbair	<b>1 600</b>	1 264	80	256
Oulad Zbair	P 5413	<b>1 600</b>	1 264	80	256
P 5413	Had Msila	<b>1 600</b>	1 264	80	256
Had Msila	El Gouzate	<b>1 600</b>	1 264	80	256
El Gouzate	Bni Ftah	<b>1 600</b>	1 264	80	256
Bni Ftah	R 505	<b>1 600</b>	1 264	80	256
R 505	Jbarna	<b>1 600</b>	1 264	80	256
Jbarna	R 511	<b>1 600</b>	1 264	80	256
R 511	Mazguitam	<b>1 600</b>	1 264	80	256
Mazguitam	Ain Zohra	<b>1 600</b>	1 264	80	256
Ain Zohra	Saka	<b>1 600</b>	1 264	80	256

Tableau 96 - TMJA 2012 par section sur le tronçon Outabouabane-Saka (R508)

#### 4.3.6.4. Fonctionnalité du tronçon

Sur ce tronçon reliant Outabouabane à Saka, 11 sections ont été définies :

- Outabouabane – Oulad Zbair ;
- Oulad Zbair – P 5413 ;
- P 5413 – Had Msila ;
- Had Msila – El Goujate ;
- El Goujate – Bni Ftah ;
- Bni Ftah – R 505 ;
- R 505 - Jbarna ;
- Jbarna – R 511 ;
- R 511 – Mazguitam ;
- Mazguitam – Ain Zohra ;
- Ain Zohra – Saka.



Les itinéraires alternatifs pour chaque section apparaissent en bleu dans la carte ci-après.

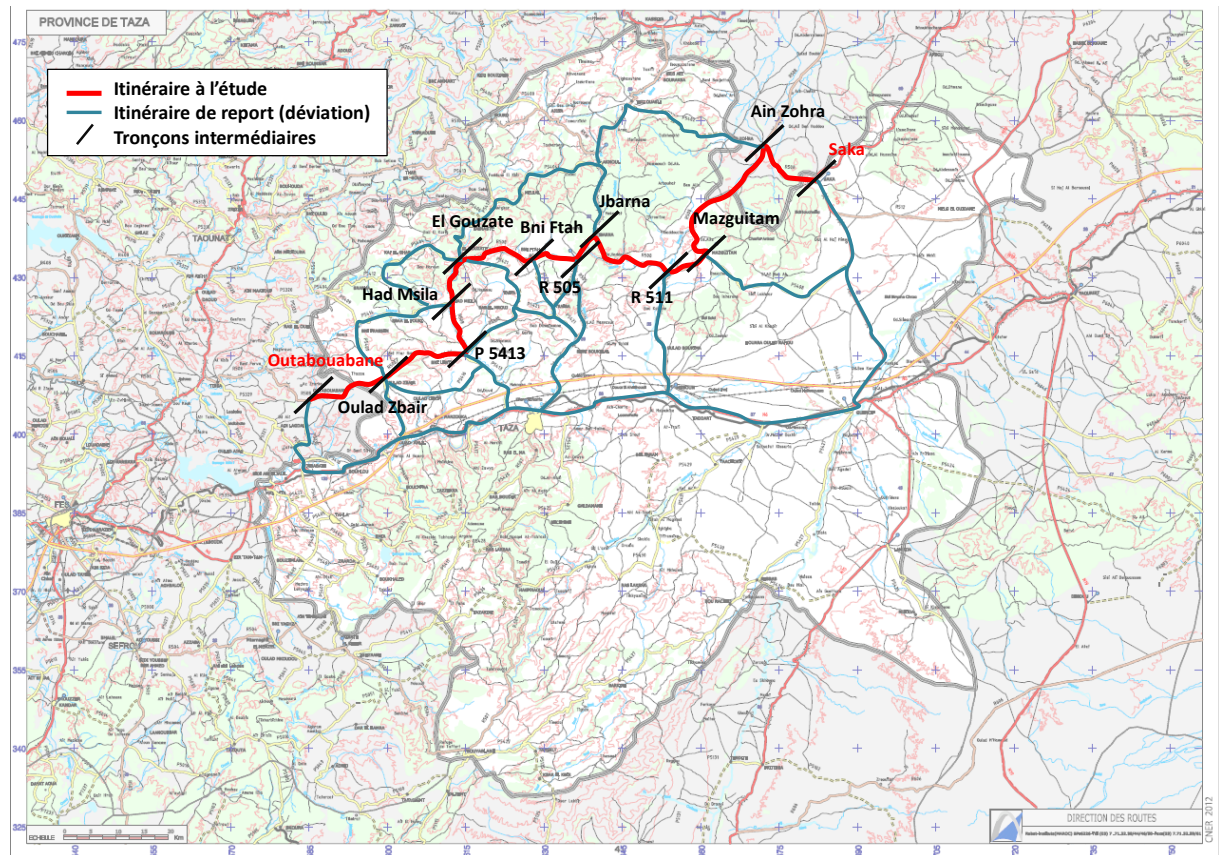


Figure 67 : Sections définies sur le tronçon Outabouabane-Saka

Les distances et temps de parcours en situation normale et en situation dégradée (lorsqu'au moins une section du tronçon est impraticable) ont été estimés via GoogleMaps. Les temps de parcours ont été définis en prenant en compte la redondance du réseau des routes nationales, régionales et provinciales. Les pistes notamment ne sont pas prises en compte pas dans l'analyse, leurs caractéristiques étant bien inférieures au niveau de service des tronçons considérés : absence de revêtement bitumineux, absence de signalisation, largeur de voie faible, et surtout possible vulnérabilité aux mêmes événements climatiques que les tronçons considérés.

Origine	Destination	Distance en situation normale (km)	Temps de parcours en situation normale (min)	Distance en situation dégradée (km)	Temps de parcours en situation dégradée (min)
Outabouabane	Oulad Zbair	10	11	56	50
Oulad Zbair	P 5413	22	25	29	37
P 5413	Had Msila	12	9	50	60
Had Msila	El Gouzate	12	9	50	71
El Gouzate	Bni Ftah	13	10	30	36
Bni Ftah	R 505	15	12	37	44
R 505	Jbarna	7	6	150	141
Jbarna	R 511	23	20	84	59
R 511	Mazguitam	9	8	108	79
Mazguitam	Ain Zohra	32	27	73	61
Ain Zohra	Saka	14	11	92	76

Tableau 97 - Distance et temps de parcours entre Outabouabane et Saka

Le temps de parcours supplémentaire moyen en situation dégradée sur ce tronçon est de 51 minutes.



## 4.4. TRONÇON RR706 ENTRE RICH ET IMILCHIL

### 4.4.1. Contexte hydrographique

Le tracé routier de la RR706 traverse 2 unités hydrologiques :

- Entre Imilchil et Bouzmou: il s'agit du bassin versant de l'oued Oum Er Rbia ;
- Entre Bouzmou et Rich : il s'agit de l'unité hydrologique de l'oued Ziz.

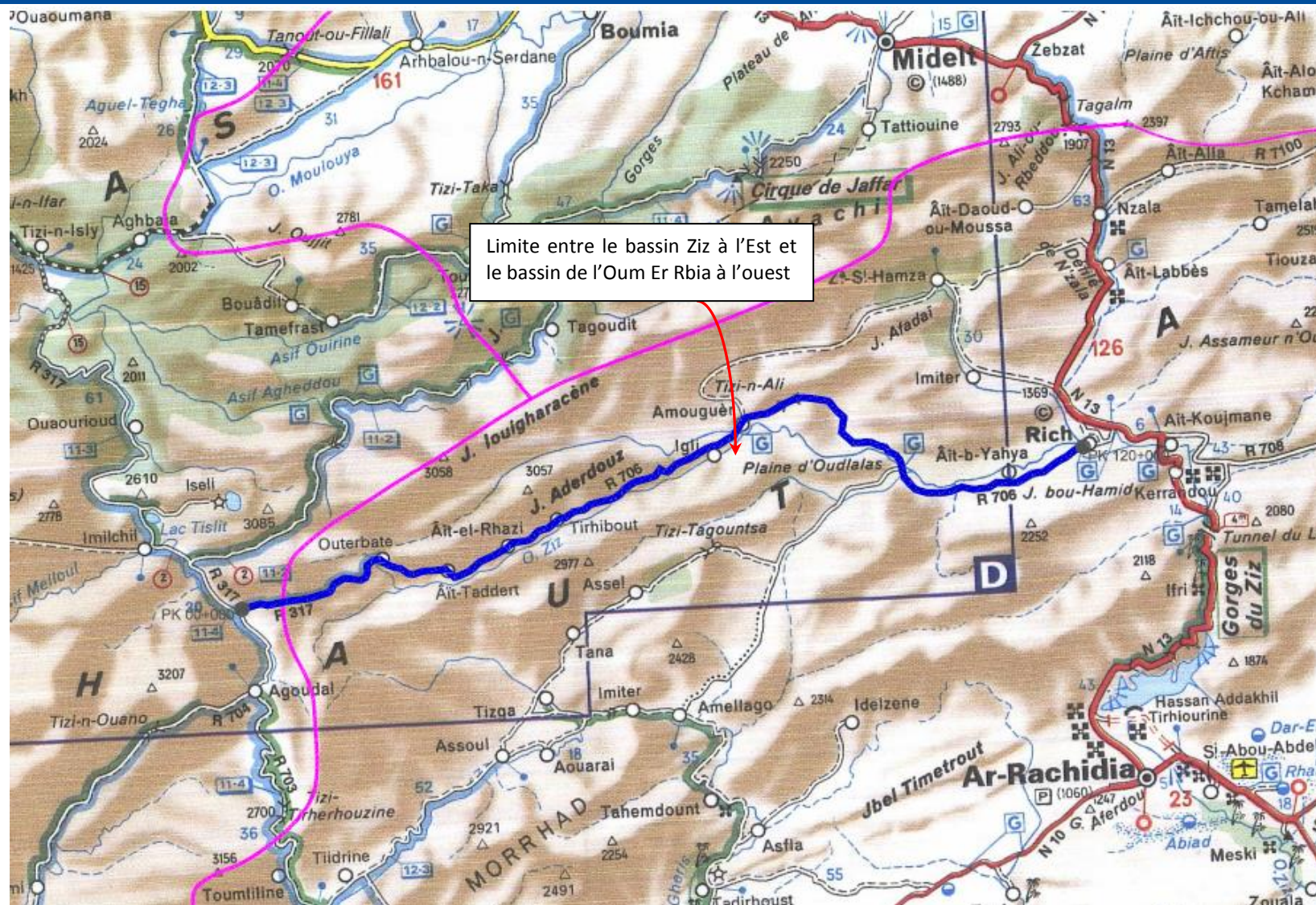


Figure 68 : Emplacement du tronçon de la RR 706 et unités hydrologiques traversées

Les principaux oueds rencontrés au droit de ce tronçon sont :

- Bassin de Ziz : Oued Ziz et ses affluents dont l'Oued M'zizel ;
- Bassin de l'Oum Er Rbia : il s'agit d'affluents de l'Oued Al Abid.

#### 4.4.2. Contexte climatique

Le bassin versant du Ziz, fait partie du domaine sud-atlasique, il est très vaste et présente une forme assez régulière.

Le réseau hydrographique est riche en vallées importantes, mais à faible développement de cours pérennes ; l'Oued Ziz présente un régime à tendances sahariennes. En effet le climat est aride ce qui se traduit par la faiblesse des précipitations : même dans les hauts bassins versants elle ne dépasse pas 200 mm.

Les étés sont chauds, continentaux : plus de 30°C de moyenne des maxima de juin à août, avec des nuits plus fraîches.

Vers Bouzmou et Imilchil, le tracé traverse les hauts bassins de l'Oued Oum Er Rbia, plus particulièrement celui de l'Oued El Abid, affluent rive gauche. Ce bassin est relativement bien arrosé avec une pluviométrie annuelle moyenne d'environ 490 mm.

Les pluies, qui se produisent sous forme de pluie et également de neige, tombent principalement entre novembre et avril avec un premier maximum en décembre et un second en Mars. Ces six mois fournissent 75 % du total annuel.

La période la plus sèche a lieu de juin à septembre. Les mois de mai et octobre assurent la transition.

De 5 à 20 mm ces précipitations se font souvent sous forme de neige, mais cette neige est peu abondante et fond en général assez rapidement. Ensuite, elles décroissent jusqu'à la saison sèche qui se situe entre juin et septembre.

On remarque que les maximums de températures se situent à la période de Juillet-Août, avec un maximum de 37° C et un minimum d'environ 20° C. Quant à la saison la plus froide qui se situe entre Décembre-Janvier, on observe une valeur minimum de presque 2 ° C et une moyenne entre 8 à 12° C.

##### 4.4.2.1. La pluviométrie

###### 4.4.2.1.1. PLUIES ANNUELLES ET JOURNALIERES

#### **DONNEES MISES A DISPOSITION DE L'INGENIERIE PAR LA DRETL LES DPETL**

L'examen des documents envoyés par ces organismes a mis en exergue que les données disponibles restent modestes. En effet :

- L'étude initiale relative à la réalisation de la route n'est pas disponible ;
- Les entrants mis à disposition de l'Ingénierie ne comprennent pas de données climatiques.

On retiendra à la suite de l'examen de ces intrants que, compte tenu du cadre et l'objet de la présente étude, ces informations climatiques ne sont pas particulièrement pertinentes et qu'elles n'ont qu'un caractère de généralités donnant une indication sommaire du climat des zones étudiées.

#### **DONNEES COLLECTEES PAR L'INGENIERIE ET/OU ACQUISES AUPRES DE METEO MAROC**

L'étude menée par l'Ingénierie, entre 2013 et 2014, pour l'intégration des changements climatiques dans le processus de planification des ressources en eau au Maroc pour le compte de la Direction de la Recherche et de la Planification de l'Eau (DRPE), a permis de collecter les données des 2 agences suivantes :

- L'Agence du Bassin Hydraulique de l'Oum Er Rbia, sise à Béni Mellal ;
- L'Agence du Bassin Hydraulique du Guir, Rhéris, Ziz et Maïder, située à Errachidia.

Ces données ont été combinées aux données collectées auprès de la Direction de la Météorologie Nationale (DMN).

#### **SYNTHESE DES DONNEES DISPONIBLES**

La figure suivante illustre l'emplacement des postes pluviométriques et des pluviographes d'intérêt inventoriés dans la zone d'étude pour ce tronçon. Le tableau présenté ci-après synthétise les données pluviométriques collectées par l'Ingénierie.



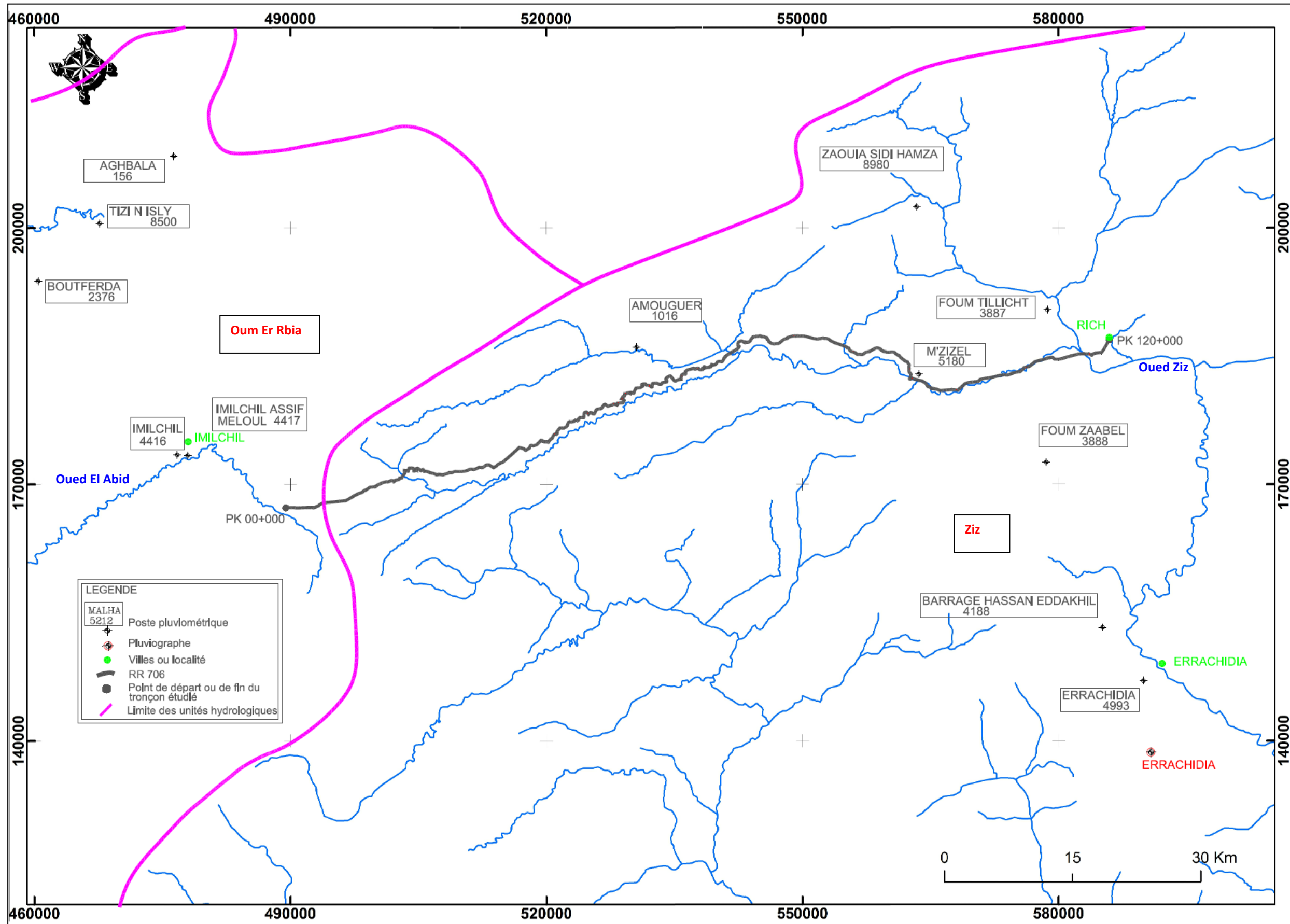


Figure 70 – Emplacement des postes pluviométriques et des pluviographes par rapport au tronçon Rich - Imilchil

Tableau 98 – Données pluviométriques disponibles – Tronçon Rich - Imilchil

Unité hydrologique	Poste N°	Nom	Z (mNGM)	Période disponible Pj		Années hydrologiques manquantes
				Début	Fin	
<b>Tronçon 3 : Imilchil - Rich</b>						
Ziz	1016	AMOUGUER	1600	1953-03-01	1992-12-31	1965-1969; 1985; 1987-1991
	4188	BARRAGE HASSAN EDDAKHIL	1130	22/10/1975	août-07	-
	4993	ERRACHIDIA	1028	01/07/1958	déc.-04	-
	4992	ERRACHIDIA	1060	1973	1994	1988-1993
	4994	ERRACHIDIA	1060	1940	1965	1956; 1962-1963
	8980	ZAOUIA SIDI HAMZA	1650	1939-07-01	août-13	1938 et 1952 (1 seul mois disponible); 1939-1949; 1953-1969; 2007; 2008
	3887	FOUM TILLICHT	1400	1975-02-01	août-13	2007; 2008
	3888	FOUM ZAABAL	1230	1970-05-01	août-13	2007; 2008
	5180	M'ZIZEL	1441	01/09/1982	août-13	2006; 2008
Oum Er Rbia	2376	BOUTFERDA	1550	1960	2000	Pluies annuelles non disponibles
	4416	IMILCHIL	2200	-	-	-
	4417	IMILCHIL ASSIF MELOUL	2150	1932	1978	1956-1957
	156	AGHBALA	1700	01/07/1965	1997	-
	8500	TIZI N ISLY	1330	01/06/1975	31/01/2013	-



### POSTES DE REFERENCE

Pour représenter et caractériser la pluviométrie dans cette zone, l'Ingénierie a examiné les données collectées afin de choisir les postes les plus représentatifs par tronçon.

Pour ce faire nous avons privilégié les postes les plus proches, disposant d'une longueur de série de plus de 20 ans et de données actualisées. Une exception a été faite pour le poste de Boutferda, dont les données disponibles s'arrêtent en 2000, afin de disposer de 2 postes représentatifs de cette partie du bassin de l'Oum Er Rbia.

Sur la base de cette analyse, il est proposé de prendre en compte les postes pour le tronçon de la RR706 entre Rich et Imilchil :

- Zaouia Sidi Hamza (N°8980) pour la période 1939-2012 ;
- Foug Tillicht (N°3887) qui couvre la période 1974-2012 ;
- Foug Zaabal (N°3888) pour la période 1970-2012 ;
- M'Zizel (N°5180) couvrant la période 1982-2012 ;
- Tizi N Isly (N°8500) pour la période 1975-2012 ;
- Boutferda (N°2376) qui couvre la période 1960-2000.

### PLUIES JOURNALIERES MAXIMALES ANNUELLES (PJMAX)

Il est à noter que les valeurs présentées correspondent aux données élaborées, obtenues suite à l'analyse critique des données brutes pour identifier les valeurs aberrantes et les écarter.

Les caractéristiques des données des pluies journalières maximales annuelles sont présentées ci-dessous :

Tableau 99 – Caractéristiques statistiques des pluies journalières maximales annuelles – Tronçon Rich - Imilchil

Poste	N°	n	M (mm)	S (mm)	Cv	Me (mm)	Min (mm)	Max (mm)
Foug Tillicht	3887	36	28.5	14.0	0.49	23.2	11.0	64.7
Foug Zaabel	3888	40	30.6	16.9	0.55	27.7	11.0	80.0
Mzizel	5180	29	24.7	10.6	0.43	21.1	12.9	55.0
Zaouia Sidi Hamza	8980	43	33.5	12.5	0.37	31.3	16.4	70.0
Boutferda	2376	41	44.3	16.7	0.38	42.5	21.8	84.6
Tizi N Isly	8500	38	40.4	11.4	0.28	40.0	21.0	63.0

En termes de répartition, on notera que les pluies journalières maximales annuelles varient :

- Dans le bassin de Ziz : entre 10 et 80 mm, avec une médiane moyenne de l'ordre de 25 mm ;
- Dans le bassin de l'Oum Er Ria : entre 20 et 85 mm, avec une médiane moyenne autour de 40 mm.

Tableau 100 – Quantiles des pluies journalières maximales annuelles – Tronçon Rich - Imilchil

Poste	N°	Z (mNGM)	Pjmax (T) (mm)					
			2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Foum Tillicht	3887	1400	26	39	47	55	65	73
Foum Zaabel	3888	1230	28	43	53	62	74	84
Mzizel	5180	1441	23	34	41	48	57	63
Zaouia Sidi Hamza	8980	1650	31	42	50	57	66	73
Boutferda	2376	1550	42	56	66	76	88	97
Tizi N Isly	8500	1330	39	49	55	62	70	76

On notera que les Pjmax(T) varient :

- Pour les occurrences de moins de 20 ans :
  - Dans le bassin de Ziz : entre 20 et 55 mm ;
  - Dans le bassin de l'Oum Er Ria : entre 40 et 70 mm ;
- Pour les occurrences au-delà de 20 ans :
  - Dans le bassin de Ziz : entre 45 et 85 mm ;
  - Dans le bassin de l'Oum Er Ria : entre 60 et 100 mm.

#### PLUIES ANNUELLES (PAN)

Ces données ont fait également l'objet d'une analyse critique pour identifier et écarter les valeurs aberrantes, en tenant compte de l'aridité du climat, le nombre de jour de pluie moins important que celui dans les régions du Nord, et en comparaison avec les données des postes avoisinants.

Les caractéristiques des données des pluies annuelles sont présentées ci-dessous :

Tableau 101 – Caractéristiques statistiques des pluies annuelles – Tronçon Rich - Imilchil

Poste	N°	n	M (mm)	S (mm)	Cv	Me (mm)	Min (mm)	Max (mm)
Foum Tillicht	3887	36	182.5	88.8	0.49	158.3	79.7	471.5
Foum Zaabel	3888	40	169.5	81.1	0.48	148.6	48.1	392.2
Mzizel	5180	29	168.0	76.4	0.45	159.3	58.3	318.0
Zaouia Sidi Hamza	8980	43	245.0	86.4	0.35	232.6	92.3	440.5
Tizi N Isly	8500	38	418.8	151.4	0.36	404.0	201.0	962.0

En termes de répartition, on notera que les pluies annuelles varient :

- Dans le bassin de Ziz : entre 48 et 475 mm ;
- Dans le bassin de l'Oum Er Ria : entre 200 et 965 mm, avec une médiane autour de 400 mm.

Tableau 102 – Quantiles des pluies annuelles – Tronçon Rich - Imilchil

Station	N°	Z (mNGM)	Pan (T) (mm)					
			2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Foum Tillicht	3887	1400	168	246	298	348	413	461
Foum Zaabel	3888	1230	156	228	275	321	380	424
Mzizel	5180	1441	155	223	268	311	366	408
Zaouia Sidi Hamza	8980	1650	231	307	358	406	469	516
Tizi N Isly	8500	1330	394	528	616	701	811	894

On notera que les quantiles des pluies annuelles varient :

- Pour les occurrences de moins de 20 ans :
  - Dans le bassin de Ziz : les pluies varient entre 150 et 360 mm ;
  - Dans le bassin de l'Oum Er Ria : les pluies varient entre 390 et 620 mm ;
- Pour les occurrences au-delà de 20 ans :
  - Dans le bassin de Ziz : les pluies varient entre 300 et 520 mm ;
  - Dans le bassin de l'Oum Er Ria : les pluies varient entre 700 et 900 mm.

#### 4.4.2.1.2. LES INTENSITES PLUVIOMETRIQUES

#### DONNEES DISPONIBLES

Le tableau ci-dessous synthétise les données collectées et/ou actualisées par l'Ingénierie :

Tableau 103 – Données pluviographiques disponibles – Tronçon Rich - Imilchil

Pluviographe	Période d'observation	Données disponibles
Errachidia	1980-2011	IDF (2, 5, 10, 25, 50 et 100)

Le tableau suivant présente les paramètres de Montana (a, b) correspondant aux courbes IDF du pluviographe Errachidia :

Tableau 104 – Paramètres de Montana du pluviographe Errachidia

T	a (mm/min)	b
2	1.389	0.578
5	2.325	0.534
10	2.981	0.525
25	3.819	0.520
50	4.443	0.517
100	5.064	0.515

### CARACTERISATION DES INTENSITES DE PLUIE

Compte tenu de l'emplacement géographique du pluviographe d'Errachidia par rapport au tracé routier étudié et à la différence d'altitude, nous avons également cherché à estimer les intensités de pluie à partir des quantiles de pluies journalières maximales annuelles.

Le tableau suivant synthétise les résultats obtenus pour les occurrences de 10 et 100.

En raison des fortes pentes rencontrées, on se limitera à des temps de concentration de moins de 120 minutes.

Tableau 105 – Intensités pluviométriques décennales et centennales – Tronçon Rich - Imilchil

T	Poste	N°	Z (mNGM)	I (T) = a(T). b <sup>(m)</sup> (mm/hr)					
				5 min	10 min	15 min	30 min	60 min	120 min
T = 10 ans	<b>Tronçon de la RR 706</b>								
	Foum Tillicht	3887	1400	67	44	35	23	15	10
	Foum Zaabel	3888	1230	75	50	39	26	17	11
	Mzizel	5180	1441	59	39	30	20	13	9
	Zaouia Sidi Hamza	8980	1650	71	47	37	24	16	11
	Boutferda	2376	1550	95	62	49	32	21	14
	Tizi N Isly	8500	1330	79	52	41	27	18	12
	<b>Pluviographe de référence</b>								
Errachidia	60210001	1037	77	53	43	30	21	14	
T = 100 ans	<b>Tronçon de la RR 706</b>								
	Foum Tillicht	3887	1400	104	69	54	35	23	15
	Foum Zaabel	3888	1230	120	79	62	41	27	18
	Mzizel	5180	1441	91	60	47	31	20	13
	Zaouia Sidi Hamza	8980	1650	104	69	54	36	23	15
	Boutferda	2376	1550	139	91	72	47	31	21
	Tizi N Isly	8500	1330	109	72	56	37	25	16
	<b>Pluviographe de référence</b>								
Errachidia	60210001	1037	133	93	75	53	37	26	

On notera que les conclusions sont semblables à celles des quantiles de Pjmax, et que :

- ❑ Les intensités issues du pluviographe d'Errachidia sont légèrement plus importantes que celles estimées à partir des pluies journalières maximales annuelles des postes du bassin de Ziz. Elles sont comparables à celles estimées à partir des Pjmax du bassin de l'Oum Er Rbia pour T= 10 ans, mais plus importantes pour T=100 ans.

Ces intensités nous paraissent légèrement surestimées, ce qui peut être éventuellement dû à la taille de l'échantillon et la période récente d'observation (1980-2011) ;

- ❑ Pour une durée de pluie de 30 minutes, les intensités sont importantes et sont comme suit :
  - Pour T= 10 ans :
    - Pour le bassin de Ziz : elles se situent entre 20 et 30 mm/h environ ;
    - Pour le bassin d'Oum Er Rbia : elles varient entre 25 et 35 mm/h ;

- Pour T= 100 ans :
  - Pour le bassin de Ziz : elles se situent entre 30 et 40 mm/h environ (voire 55 mm/h pour le pluviographe d'Errachidia) ;
  - Pour le bassin d'Oum Er Rbia : elles varient entre 35 et 50 mm/h ;
- Pour des bassins plus réduits avec des temps de concentration entre 5 et 15 minutes, les intensités de pluie sont plus importantes, et de l'ordre de 3 à 1.5 fois celles présentées pour 30 minutes.

#### 4.4.2.2. La neige

L'Ingénierie ne dispose pas de mesures de neige dans la zone d'étude. En effet la DPETL de Midelt a indiqué ne pas disposer de données sur la neige. Elle a toutefois indiqué qu'il y a un problème lié au phénomène de neige comme celui au PK 11 où la neige peut atteindre une hauteur de 3 m.

La section enneigée se situe entre les PK 0 et PK 60, avec des hauteurs de neige pouvant atteindre 3 à 4 m au PK 11.

### 4.4.3. Infrastructure routière

#### 4.4.3.1. Contexte géographique

La RR 706 relie les villes de Rich et Imilchil, comme l'illustre la figure ci-dessous.



Figure 71 : Contexte géographique du tronçon Rich - Imilchil

Entre Rich et Imilchil elle traverse un relief accidenté à montagneux, avec des altitudes variant entre 1300 et 2300 mNGM.

#### 4.4.3.2. Typologie de la plate-forme routière

La plateforme routière est implantée à certains endroits dans des déblais montagneux instables, avec des zones longeant l'oued Ziz et ses affluents.

Le profil en long se situe généralement soit en profil mixte (déblai-remblai) ou remblai avec un profil en toit. Son tracé en plan est sinueux avec une succession de virages (1053 virages sur un linéaire de 60 km).

La RR706 comporte 2 principales sections :

- Du PK 0 à 75 : dont la construction remonte à la période entre 1980 et 1996, avant c'était une piste ;
- Du PK 75 à PK 120 : terminée en 1978.

Cette route connaît des désordres fréquents qui se répartissent comme suit :

- La section névralgique se situe principalement entre le PK 0 et PK 96 environ ;
- La RR706 se caractérise par un passage dans une zone de gorge de l'oued Ziz et ses affluents ;
- La zone est également caractérisée par un fort phénomène de charriage (blocs de pierre, tout venant..) qui entraîne le colmatage systématique des ouvrages hydrauliques au passage de chaque crue ;
- Le transport solide était également accompagné par un phénomène d'ensablement ;
- Il y a un problème lié au phénomène de neige comme celui au PK 11 et où la neige peut atteindre une hauteur de 3 m. La section enneigée se situe entre les PK 0 et PK 60, avec des hauteurs de neige pouvant atteindre 3 à 4 m au PK 11 ;
- Le phénomène de sapement de berges est présent (cas du PK 24).

En termes de coupures, la DPETL de Midelt a indiqué que :

- Le PK 93 constitue un point de coupure pouvant aller jusqu'à 8 heures. Il s'agit d'un ouvrage sur l'oued Ziz dont une étude de reconstruction est en cours d'élaboration ;
- Les coupures causées par la neige se situent entre le PK 0 et PK 60, et nécessitent des interventions entre la période de novembre et mai de chaque année ;
- Les interventions se font par fréquence de 3 à 4 fois par saison hivernale ;
- Les interventions réalisées se résument à rétablir la circulabilité de la route, par remblaiement des zones emportées par la crue et par réhabilitation de la route. Le nettoyage des ouvrages est également réalisé pour lutter contre le problème de colmatage des OH ;
- Le budget des interventions reste assez modeste. Lorsque toute la route était gérée par la DPETL d'Errachidia, une enveloppe de 6 MDH était consacrée pour un linéaire total de 1100 à 1200 km. La RR706 constituait la route à laquelle la plus grande part de ce budget était affectée (plus de 50%).



4.4.3.3. Analyse des données des jours de coupure

L'analyse des Bulletins de Viabilité Routière (BVR) a permis d'établir, par tronçon, les coupures qui ont suivi les routes ainsi que la cause (neige, crue) et sa durée.

Le tableau suivant montre les données analysées, depuis l'année 2009, qui ont été reçues de la part de la DR et postérieurement implémentées afin d'inclure les dernières épisodes pluvieux de l'année 2014.

Tableau 106 – RR706 – Données des jours de coupure

Année	n° épisode	Source	Section concernée ou PK	Cause de la coupure	Type de coupure	Données recueillies	Etat et date de rétablissement de la route	Durée de la coupure
2009	2009-1	BVR du 10/09/2009 à 18h	PK 94	Averses orageuses	Crue Oued ZIZ du 9 au 10/09/2009	Coupure : le 10/10/2009 à 12h. Circulation rétablie à 17h30 après décrue d'Oued Ziz	10/09/2009	5h30
	2009-2	BVR du 14/09/2009 à 18h	PK 94	Averses orageuses	Crue oued du 12 au 14/09/2009	Des averses orageuses importantes ont marqué la période du 12 au 14 septembre 2009 et particulièrement la nuit du 13 au 14 Septembre. La circulation est rétablie sur les axes suivants, après décrues d'oueds et dégageage des charriages	14/09/2009	maxi 2 jours
2010	2010-1	BVR du 15/01/2010 à 18h	?	Neige	Route enneigée	RR706 entre Imilchil et Errich: Libre	15/01/2010	?
2011	2011-1	Historique coupure : 05/06/2011	PK 93	Dégât des crues	-	-	-	-
2012	2012-1	Bulletin état des routes du 17/01/2012 à 17h	PK 0 à 40	Neige	Route enneigée	Libre interdit aux semi remorques Circulation rétablie à partir de 14h Hauteurs de neige : - IMILCHIL : 30 cm - TIZI TLGMT : 5 cm	17/01/2012 à 14h	?
		Bulletin état des routes du 17/01/2012 à 17h30	section Bouzmou - Amougar PK 0 à 40	Neige	Route enneigée	Libre Hauteurs de neige : - IMILCHIL : 30 cm - TIZI TLGMT : 5 cm		
2014	2014-1	BVR du 30/01/2014 à 10h	PK 50 à 82	Chutes de neige	29/01/2014	Des chutes de neige ont été enregistrées au cours de cette journée du 29 Janvier 2014 sur les reliefs du Rif et du moyen et haut Atlas situés au dessus de 1100 m d'altitude Les routes suivantes sont libres avec interdiction des semi-remorques	30/01/2014 10H00	maxi 1,5 jours
		29 et 30/01/2014			Des chutes de neige ont été enregistrées au cours des journées du 29 et 30 et la nuit du 29 au 30 Janvier 2014 sur les reliefs du Rif et du moyen et haut Atlas situés au dessus de 1100 m d'altitude Les routes suivantes sont libres avec interdiction des semi-remorques			
		29, 30 et 31/01/2014			Des chutes de neige ont été enregistrées au cours des journées du 29 et 30 et pendant les deux nuits du 29/30 et 30/31 Janvier 2014 sur les reliefs du Rif et du moyen et haut Atlas situés au dessus de 1100 m d'altitude Les routes rétablies après déneigement			
		29, 30 et 31/01/2014			Des chutes de neige ont été enregistrées au cours des journées du 29 et 30 et pendant les deux nuits du 29/30 et 30/31 Janvier 2014 sur les reliefs du Rif et du moyen et haut Atlas situés au dessus de 1100 m d'altitude Les tronçons de route rétablis après déneigement			
		29, 30 et 31/01/2014			Des chutes de neige ont été enregistrées au cours des journées du 29, 30 et 31 et pendant les deux nuits du 29/30 et 30/31 Janvier 2014 sur les reliefs du Rif et du moyen et haut Atlas situés au dessus de 1100 m d'altitude la section du PK 50 au PK 82 reliant Errachidia à Imilchil est rétablie			
		29, 30 et 31/01/2014			Des chutes de neige ont été enregistrées au cours des journées du 29, 30 et 31 et pendant les nuits du 29/30 et 30/31 Janvier 2014 sur les reliefs du Rif et du moyen et haut Atlas situés au dessus de 1100 m d'altitude			
	2014-2	Historique coupure : 22/11/2014 BVR du 23/11/2014 à 11h	PK 55	Pluies torrentielles	Dégât des crues	- Suite aux pluies torrentielles, Les tronçons de routes ci-après sont coupés à la circulation à cause des crues des oueds La route régionale n°706 au PK 55 reliant Rich à imilchil au niveau d'oued Ziz(DPET de Midelt)	Coupure 23/11/2014 11h	= 1 jour
	2014-3	Historique coupure : 23/11/2014	PK 93	Dégât des crues	-	-	-	-
	2014-4	Historique coupure : 25/11/2014	PK 93	Dégât des crues	-	-	-	-
	2014-5	BVR du 28/11/2014 à 13h	PK 6	Crues	Crue de l'oued Ziz	Route coupée par les crues au niveau de l'oued Ziz	Coupure	4 jours maxi
			PK 12		Crue d'une chaâba	Route coupée par les crues au niveau d'une chaâba	Coupure	
BVR du 30/11/2014 à 9h		PK 6	Crues	Crue de l'oued Ziz	Route coupée par les crues au niveau de l'oued Ziz	Coupure		
		PK 12		Crue d'une chaâba	Route coupée par les crues au niveau d'une chaâba	Coupure		
BVR du 01/02/2014 à 17h	PK 6	Crues	Crue de l'oued Ziz	Route coupée par les crues au niveau de l'oued Ziz	Route rétablie le 01/02/2014			
	PK 12		Crue d'une chaâba	Route coupée par les crues au niveau d'une chaâba	Route rétablie le 01/02/2014			
Légende :		source : DR						
		source : site internet du Ministère Transport						

De l'analyse de ce tableau, il ressort les points suivants :

- ce tableau nous renseigne sur les PKs où ont eu lieu les derniers épisodes (PK 6 et PK 12). En effet, ces PKs n'avaient pas été identifiés par les responsables de la DR comme vulnérables et ils n'ont donc pas été visités. Ceci montre le besoin de réaliser une analyse détaillée de la vulnérabilité des routes au Maroc. Toute recommandation pour s'adapter au changement climatique demeurera inutile sans l'identification préalable des points vulnérables face au climat actuel.
- sur les causes des coupures : les crues et la neige. Aucune coupure n'a été identifiée suite à des désordres géotechniques.

#### 4.4.3.4. Entretien

La DR établie, à travers des plans de campagne, les budgets alloués chaque année pour l'entretien. Elle nous a fourni ces données et nous avons pu les analyser pour chacun des tronçons étudiés.

Le tableau suivant montre les budgets alloués au tronçon étudié depuis l'année 2007 :

Tableau 107 – RR706 – Synthèse du budget d'entretien

TRONÇON: RR706 PK0 au PK120 DRE MEKNES TAFILALET	MONTANT EN KDH								TOTAL
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
<b>DESIGNATION</b>									
<b>1/ INVESTISSEMENT DIRECT</b>									
Revêtement Superficiel	0		0	0		0			0
Traitement des accotements à l'entreprise	0		0	0		0			0
Traitement de l'environnement	380		400	400		520			1700
Entretien des O.A et assainissement	230		150	0		160			540
Signalisation Verticale									0
Dispositifs de sécurité									0
Signalisation Horizontale	0		0	0		0			0
<b>2/ DEPENSES LIEES AUX TRAVAUX EN REGIE</b>									
Fourniture d'émulsion									
Fourniture de gravillons									
Autres matériaux de construction									
Carburant et lubrifiants									
Pièces de rechange									
Location des camions et engins									
<b>3/ DEPENSES DE FONCTIONNEMENT</b>									
Petit matériel et outillages									
Bois de chauffage									
Alimentation									
Comptage routier									
Entretien des maisons cantonnières ou abris de neige									
Fournitures des bureaux									
consommable informatique									
<b>AUTRES</b>									
Traitement des accotements et fossés en régie	800		750	0		0			
<b>ENNEIGEMENT</b>									
<b>TOTAL</b>	1410	0	1300	400	0	680	0	0	3790

NON DETAILLE

NON DISPONIBLE

La représentation graphique de ce budget est présentée ci-dessous :

## BUDGETS ENTRETIEN RR706

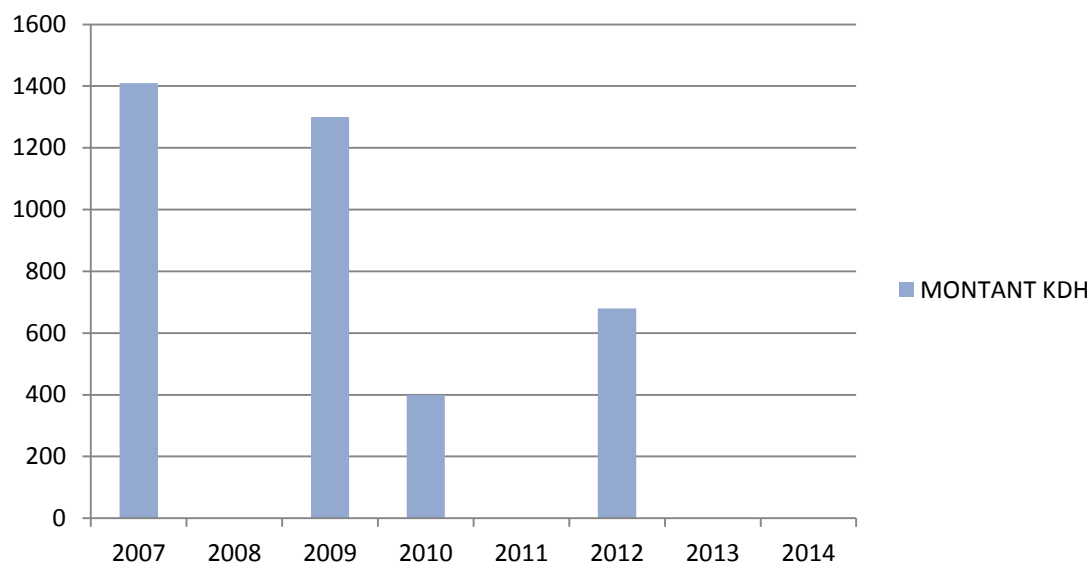


Figure 72 – RR706 – Synthèse du budget d'entretien

Le détail de ce budget par année et par PK est montré dans le tableau suivant :

Tableau 108 – RR706 – Détail du budget d'entretien

Année	PK	Nature	Montant KDH
2007	PK 25 - 85	Construction murets	380
	PK 93	Radier évidé - protection aval	199
	PK 95+400	Radier submersible - bétonnage chute et radier	31
	PK 77 - 117	Rechargement	800
2009	PK 25 - 80	Construction murets	400
	PK 93	Radier submersible - Protection radier	150
	PK 0 - 42	Rechargement	750
2010	PK 10 - 80	Construction murets	400
2012	PK 0 - 70	Construction murets	520
	PK 93	Radier submersible - Protection en gabion	160
<b>TOTAL</b>			<b>3790</b>

Selon la DPETL, les interventions sur le radier situé au PK 93 se répètent au fil du temps. Avec une inversion (connue) de 509 KDH lors des 8 dernières années. Il serait intéressant de pouvoir comparer la fréquence des interventions, une fois les études en cours achevées et l'ouvrage reconstruit.

#### 4.4.4. Hydraulique et assainissement

##### 4.4.4.1. Contexte hydrographique et hydrologique

Les observations relevées lors des visites de terrain ont été complétées par un travail au bureau, en exploitant les données et études mises à disposition de l'Ingénierie et les fonds topographiques 1/50.000<sup>ème</sup> et 1/100.000<sup>ème</sup>.

Ainsi de point de vue hydrographique et hydrologique :

- Le réseau hydrographique est dense, avec parfois des axes d'oueds sinueux serpentant et interceptant la route à plusieurs endroits (voir carte en Annexe n°3). Certains oueds importants longeant la plateforme routière, la mettant en danger de sapement des berges, dont l'Oued Ziz et ses affluents dont les plus importants sont Mzizel et Ait Yahya ;
- Les écoulements sont concentrés et les lits des Chaâbas et Oueds bien marqués. Certains oueds ont des lits mineurs et majeurs d'une largeur naturelle importante en particulier l'Oued Ziz ;
- Les bassins versants de la plupart des points névralgiques ont été délimités (voir carte en Annexe n°3). Les caractéristiques de ces bassins sont présentées ci-dessous :

Tableau 109 – Caractéristiques des bassins versants au droit des points névralgiques du tronçon Rich - Imilchil

PK	S <sub>BV</sub> (km <sup>2</sup> )	Lmax (m)	Hmax (mNGM)	Hmin (mNGM)	Hmoy (mNGM)	Pente (%)
10+000	4.87	4385.06	2750	2260	2505	11.2%
17+700	Petit bassin en déblai - limite nécessitant un fond topographique plus précis					
37+400	4.28	5010.32	2950	1850	2400	22.0%
43+100	359.47	47724.01	2876	1820	2348	2.2%
47+700	376.84	51822.26	2876	1800	2338	2.1%
48+300	Petit bassin en déblai - limite nécessitant un fond topographique plus précis					
Oued limitrophe	379.98	52678.38	2876	1780	2328	2.1%
49+500	0.55	1445.20	2050	1750	1900	20.8%
50+300	3.72	3093.51	2060	1750	1905	10.0%
Oued limitrophe	392.62	54763.44	2876	1760	2318	2.0%
53+800	0.29	976.22	2060	1800	1930	26.6%
Oued limitrophe	398.79	58849.77	2876	1716	2296	2.0%
60+000	0.24	772.49	2150	1740	1945	53.1%
62+500	Petit bassin en remblai - limite nécessitant un fond topographique plus précis					
Oued limitrophe	445.77	66449.54	2876	1660	2268	1.8%
65+500	469.91	69637.16	2876	1650	2263	1.8%
70+000	3.58	4272.56	1850	1580	1715	6.3%
75+500	Petit bassin en remblai - limite nécessitant un fond topographique plus précis					
85+000	107.08	16899.02	2500	1530	2015	5.7%
93+000	1229.43	100871.41	2876	1450	2163	1.4%
94+700	184.24	43981.14	2950	1450	2200	3.4%
100+100	14.52	9438.17	2112	1434	1773	7.2%
108+200	13.60	7193.25	2328	1365	1846.5	13.4%
116+750.	3123.60	129219.42	2876	1325	2100.5	1.2%

Les bassins limitrophes correspondent à des points où l'oued Ziz et/ou ses affluents longent la plateforme routière.

Les bassins correspondent généralement :

- à de très petits bassins (de 0.1 à 1 km<sup>2</sup>) : exemple du PK 49+500 ;
  - à des petits bassins (de 1 à 20 km<sup>2</sup>) : exemple du PK 50+300 ;
  - et à de grands bassins versants de plus de 100 km<sup>2</sup> : exemple de l'oued Ziz au PK 93+000 (1230 km<sup>2</sup>) et 116+750 (3123.6 km<sup>2</sup>).
- En termes de pentes, les zones étudiées se caractérisent par leur relief accidenté à montagneux.
- Ainsi suivant la taille des bassins, les pentes varient :
- Bassins de moins de 1 km<sup>2</sup> : entre 20 et 55 % ;
  - Bassins entre 1 et 20 km<sup>2</sup> : entre 6 et 55 % ;
  - Bassins de plus de 100 km<sup>2</sup> : inférieures à 6 %.
- L'aptitude des sols au ruissellement est forte en particulier pour les bassins en montagne à forte pente ;
- Les sols sont généralement fins avec une importante aptitude à l'érosion comme le montrent les ravinements en zone de déblai et l'érosion de certains talus de remblai ;

- Le charriage est important, il est soit d'éléments importants comme les blocs métriques, soit d'éléments moins grossiers issus de l'altération des schistes.

#### 4.4.4.2. Diagnostic des problématiques recensées

En termes de dispositifs hydrauliques et d'assainissement et drainage, en général ce système se limite à des ouvrages de traversée. Les dispositifs longitudinaux sont soit inexistantes pour la plupart, soit des fossés bétonnés trapézoïdaux de 0.5 m à la base et de 0.5 m de profondeur colmatés en partie ou en totalité.

Après analyse des listes d'ouvrages hydrauliques mises à disposition de l'Ingénierie, il est à noter que :

- On regrettera l'absence de coordonnées géographiques pour permettre une meilleure implantation des ouvrages. En effet nous nous sommes basés sur les bornes kilométriques et sur les PK indiqués par les collaborateurs des DPETL pour se repérer ;
- Les dimensions des ouvrages ne sont pas toujours indiquées, certaines sont différentes de celles indiquées dans les listes fournies : Exemple du PK 93 de la RR706 : sur site c'est le PK 93+000 et un pertuis de 4 ouvertures alors que la liste évoque 4 pertuis au PK 92+850.

Pour l'état des dispositifs hydrauliques, d'assainissement et drainage, l'Ingénierie a constaté des déficiences et/ou anomalies de fonctionnement des ouvrages.

Ce constat est également évoqué dans les études et données mises à disposition de l'Ingénierie, à savoir dans les 2 rapports d'inspections des ouvrages d'art.

Il est à noter que l'exploitation de ces 2 entrants nécessite de les associer au rapport de visite afin de se repérer : en effet les PK sur le rapport BCEOM correspondent aux anciens PK relatifs à la CT3443. Le rapport élaboré par la DPETL d'Errachidia ne contient quant à lui pas les ouvrages de la RR 706.

Les anomalies décelées sont détaillées ci-dessous, elles permettent de dresser un diagnostic des aménagements existants et d'en relater le risque qu'ils encourent à l'état actuel. Le risque majeur demeure la destruction de la route et/ou des ouvrages hydrauliques, en partie ou en totalité, et l'interruption du trafic provisoire ou permanente.

Absence de fossés de talus et/ou de pied de déblais, et de dispositifs de drainage interne pour les sections en déblai ou en profil mixte : exemple du PK10+000 où on note le ravinement en pied de déblai et l'absence de fossés.



Figure 73 : Absence de fossés au PK 10



Absence de captage des Chaâbas en amont, ce qui cause des ravinements dans les talus de déblais et engendre des débordements des écoulements sur la route. Ce constat est lié notamment à l'absence de fossés latéraux de déblai se raccordant à des ouvrages hydrauliques dont l'entrée est de type puisard : exemple du PK 75+500.



Figure 74 : Absence de captage au PK 75+500

Erosion des talus de certains remblais suite au débordement des écoulements sur la route : exemple du PK 49+500.



Figure 75 : Débordement des eaux au PK 49+500

Colmatage des entrées de certains ouvrages par transport solide, certaines entrées d'ouvrages sont complètement ensevelies et certaines sorties non dégagées : exemple du PK 37+400 où l'entrée de l'OH a été ensevelie et la sortie complètement colmatée.

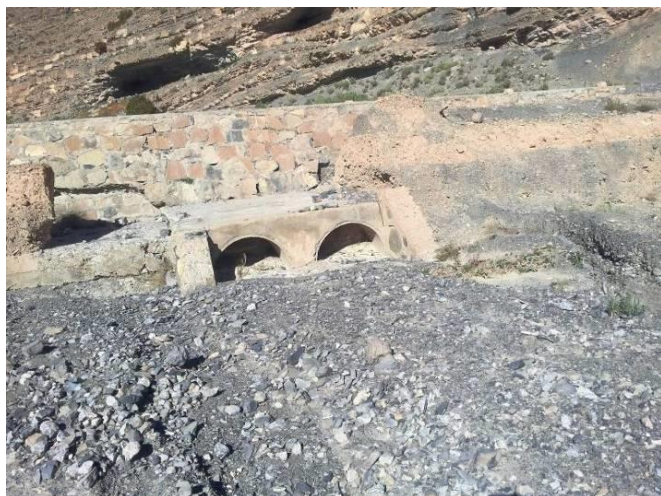


Figure 76 : OH colmaté au PK 37+400

Absence de protection des remblais routiers au droit des ouvrages hydrauliques (perrés maçonnés) : exemple du PK 60+000.



Figure 77 : Absence de protection du remblai au PK 60

Sections hydrauliques d'ouvrages non cohérentes avec l'importance des oueds franchis : exemple du radier submersible sur l'oued Ziz au PK 93+000 et qui n'est composé que de 4 pertuis (2.0 x 0.8).



Figure 78 : Ouvrage sous dimensionné sur l'oued Ziz au PK 93

Dégradation de l'extrémité de zones d'about de ponts submersibles : exemple du PK 85+000.



Figure 79 : Dégradation de la zone d'about du RS au PK 85



Absence de protection en enrochement des lits des Chaâbas et oueds rétablis par les ouvrages hydrauliques (OH et radiers), ce qui cause des affouillements en particulier pour des OH et/ou radiers submersibles avec des chutes en aval : exemple du PK 60+000.



Figure 80 : Absence de protection en aval de l'OH au PK 60

Affouillement en pied de talus de remblai et départ d'une partie de l'accotement et/ou de la chaussée pour des sections longeant des lits d'oueds : exemple du PK 50+300 où l'oued amorce un coude au droit du remblai, sis sur la rive gauche, et pour lequel aucune protection n'est aménagée.



Figure 81 : Sapement des berges au PK 50+300

Obturation d'une partie ou de la totalité des sections hydrauliques de certains fossés de déblai : exemple du PK 49+500.



Figure 82 : Obturation de la section du fossé au PK 49+500

#### 4.4.4.3. Synthèse

L'analyse qualitative et quantitative a mis en évidence la sensibilité de la plateforme routière étudiée, à travers une série d'indicateurs dont la synthèse est présentée ci-dessous :

- Le contexte pluviométrique et topographique est favorable à la genèse des crues : en effet les bassins versants sont bien pentés avec des couvertures végétales lâches et des terrains fins et érodables. Le ruissellement peut être caractérisé de moyen pour des occurrences de moins de 10 ans, au-delà il est moyen à élevé, suivant la taille des bassins ;
- De par le contexte accidenté et montagneux, les crues sont de courtes durées, violentes et torrentielles surtout pour des bassins de moins de 100 km<sup>2</sup>. Pour les grands oueds, la crue peut durer plus longtemps ;
- En raison de ce faible temps de parcours et des fortes aptitudes au ruissellement, les débits de crues peuvent être importants comme en attestent les dégâts de crue, dont une partie constatée sur site ;
- L'état des ouvrages (colmatage, absence de dispositifs amont, et de protections aux points de rejets, etc.) entraîne une réduction de la débitance des ouvrages, un débordement des écoulements sur les routes et des érosions de talus aussi bien en déblai qu'en remblai ;
- Le mauvais assainissement et/ou drainage des écoulements, notamment depuis les talus de déblai, occasionne des dysfonctionnements des ouvrages, ils sont accompagnés par des érosions de talus, des glissements de terrains ainsi que des inondations des routes ;
- L'absence de protection appropriée en pied de remblai lorsque de grands oueds longent la route, et qu'ils contrôlent des bassins versants de plus de 100, voire même 1000 km<sup>2</sup> pour certains, sont des facteurs de risque qui mettent en péril la stabilité, voire la pérennité des plateformes routières étudiées (cas de l'oued Ziz et de ses affluents) ;
- Une attention particulière est à accorder aux radiers submersibles à gué assurant le franchissement des oueds Ziz et ses affluents qui ont été dégradés par les crues. Ces dégâts mettent en exergue des défauts de conception et d'absence des protections.

Ces désordres sont synthétisés dans le tableau en pages suivantes.

Tableau 110 – Désordres hydrauliques constatés au niveau des points névralgiques du tronçon Rich - Imilchil

Rapport de visites		Défauts et désordres constatés	Causes envisageables	Typologie des problématiques recensées	
n° point	PK			Principale	secondaire
1	10+000	Absence de fossé de pied de déblai, de pied de remblai et de drainage interne du déblai	Absence de dispositif d'assainissement	Assainissement	Absence de dispositif d'assainissement
		Erosion du talus de remblai et en pied de déblai	Absence de protection du talus de remblai et déblai	Erosion pluviale	Erosion du talus de remblai et déblai
		Ouvrage de traversée : absence de protection du remblai et du radier en amont et aval	Absence de dispositifs de protection	Ouvrage de franchissement d'une Chaâba	Absence de protection du remblai, ou du radier amont et aval
2	17+700	Absence de fossé de pied de déblai et de drainage interne du déblai - Zone de stagnation des eaux en déblai	Absence de dispositif d'assainissement - Point bas en déblai non assaini	Assainissement	Absence de dispositif d'assainissement
3	37+400	Zone de dégradation de la chaussée et départ d'une partie de l'accotement	Débordement des eaux de la Chaâba sur la route et érosion pluviale	Erosion pluviale	Erosion du talus de remblai et déblai
		Important phénomène de transport solide	Erosion dans le bassin versant		Erosion dans le bassin versant
		Ouvrage de traversée : entrée complètement ensevelie et sortie colmatée	Absence d'entretien et calage bas de l'ouvrage	Ouvrage de franchissement d'une Chaâba	Absence d'entretien de l'ouvrage
		Absence de fossé de pied de déblai et de drainage de la chaussée en déblai	Absence de dispositif d'assainissement	Assainissement	Absence de dispositif d'assainissement
4	43+100	Absence de fossé de pied de déblai et de drainage de la chaussée en déblai	Absence de dispositif d'assainissement	Assainissement	Absence de dispositif d'assainissement
		Présence d'un mur de protection en pierre, avec des points de discontinuités - Affouillement en pied du mur de protection et érosion du talus de remblai	Discontinuités du mur de protection et érosion fluviale	Route en bordure d'un oued : érosion fluviale	Sapement des berges et du remblai routier par l'oued longeant la route
5	47+700	Route complètement détruite par les crues en 2007	Erosion fluviale	Route en bordure d'un oued : érosion fluviale	Sapement des berges et du remblai routier par l'oued longeant la route
		Affouillement en pied du mur de protection et érosion du talus de remblai	Discontinuités du mur de protection et érosion fluviale		Sapement des berges et du remblai routier par l'oued longeant la route
		Dépôts solides en zone de déblai	Erosion du talus de déblai	Erosion pluviale	Erosion du talus de déblai
		Erosion du talus de remblai	Débordement des eaux de la Chaâba sur la route et érosion pluviale		Erosion du talus de remblai
		Absence de fossé de pied de déblai et de drainage de la chaussée en déblai	Absence de dispositif d'assainissement	Assainissement	Absence de dispositif d'assainissement
6	48+300	Affouillement en pied du mur de protection et érosion du talus de remblai	Protection insuffisante contre le sapement des berges et érosion fluviale	Route en bordure d'un oued : érosion fluviale	Sapement des berges et du remblai routier par l'oued longeant la route
		Dépôts solides en zone de déblai	Erosion du talus de déblai		Erosion du talus de déblai
		Erosion du talus de remblai	Débordement des eaux de la Chaâba sur la route et érosion pluviale	Erosion pluviale	Erosion du talus de remblai
		Erosion prononcée par une Chaâba en déblai	Absence de captage d'une Chaâba en déblai		Erosion pluviale par une Chaâba non captée
		Absence de fossé de pied de déblai et de drainage de la chaussée en déblai	Absence de dispositif d'assainissement	Assainissement	Absence de dispositif d'assainissement
7	49+500	Absence partielle de fossé de pied de déblai et de drainage de la chaussée en déblai	Absence de dispositif d'assainissement	Assainissement	Absence de dispositif d'assainissement
		Présence d'un fossé en pied de déblai dont la section est colmatée en partie	Absence d'entretien	Entretien	Absence d'entretien du fossé
		Dépôts solides en zone de déblai	Erosion du talus de déblai	Erosion pluviale	Erosion du talus de déblai
		Erosion du talus de remblai	Débordement des eaux de la Chaâba sur la route et érosion pluviale		Erosion du talus de remblai
		Absence de dispositif de captage de la Chaâba en déblai	Absence de captage d'une Chaâba en déblai	Ouvrage de franchissement d'une Chaâba	Absence de captage amont de Chaâba
		Ouvrage de traversée : entrée complètement ensevelie et sortie colmatée à 90 %	Absence d'entretien de l'ouvrage hydraulique et transport solide		Absence d'entretien de l'ouvrage
8	50+300	Absence de protection de remblai routier le long de l'oued longeant la route	Erosion fluviale et absence de protection contre l'érosion	Route en bordure d'un oued : érosion fluviale	Sapement des berges par l'oued longeant la route
		Ouvrage de traversé : absence de protection du remblai et amont/aval du radier	Absence de dispositifs de protection	Ouvrage de franchissement d'une Chaâba	Absence de protection du remblai, ou du radier amont et aval
		Erosion du talus de remblai y compris au droit de l'ouvrage de traversée	Débordement des eaux de la Chaâba sur la route et érosion pluviale	Erosion pluviale	Erosion du talus de remblai et déblai
		Absence de fossé de pied de déblai et de drainage de la chaussée en déblai	Absence de dispositif d'assainissement	Assainissement	Absence de dispositif d'assainissement
9	53+800	Affouillement en pied de déblai montrant que l'oued a déjà débordé sur la route	Erosion fluviale et calage bas de la route	Route en bordure d'un oued : érosion fluviale	Sapement des berges par l'oued longeant la route
		Absence de fossé de pied de déblai et de drainage de la chaussée en déblai	Absence de dispositif d'assainissement	Assainissement	Absence de dispositif d'assainissement
10	60+000	Ouvrage de traversée : absence de protection du remblai et du radier en amont et aval	Absence de dispositif de protection	Ouvrage de franchissement d'une Chaâba	Absence de protection du remblai, ou du radier amont et aval
		Ouvrage de traversée : dénivelée importante entre la sortie et le fond de la Chaâba	Absence d'aménagement aval		Absence d'aménagements aval
		Erosion du talus de remblai y compris au droit de l'ouvrage de traversée	Débordement des eaux de la Chaâba sur la route et érosion pluviale	Erosion pluviale	Erosion du talus de remblai et déblai
		Absence de fossé de pied de déblai et de drainage de la chaussée en déblai	Absence de dispositif d'assainissement	Assainissement	Absence de dispositif d'assainissement
11	62+500	Routes réhabilitée en 2010 suite aux dégâts de crue de l'oued Ziz et le départ de plus de la moitié de la route	Sapement des berges et érosion fluviale	Route en bordure d'un oued : érosion fluviale	Sapement des berges et du remblai routier par l'oued longeant la route
		Traces d'affouillement en pied du talus de remblai	Protection insuffisante contre le sapement des berges et érosion fluviale		Sapement des berges et du remblai routier par l'oued longeant la route
		Ouvrage de traversée : absence de protection du remblai et du radier en amont et aval	Absence de dispositif de protection	Ouvrage de franchissement d'une Chaâba	Absence de protection du remblai, ou du radier amont et aval
		Ouvrage de traversée : dénivelée importante entre la sortie et le fond de la Chaâba	Absence d'aménagement aval		Absence d'aménagements aval
		Absence de fossé de pied de déblai et de drainage de la chaussée en déblai	Absence de dispositif d'assainissement	Assainissement	Absence de dispositif d'assainissement
12	65+500	Route longeant l'oued avec absence de protection au droit du coude de l'oued	Absence de protection contre l'érosion fluviale	Route en bordure d'un oued : érosion fluviale	Sapement des berges et du remblai routier par l'oued longeant la route
		Erosion prononcée par une Chaâba en déblai	Absence de captage d'une Chaâba en déblai		Erosion pluviale par une Chaâba non captée
		Erosion du talus de remblai	Débordement des eaux de la Chaâba sur la route et érosion pluviale	Erosion pluviale	Erosion du talus de remblai
		Absence de fossé de pied de déblai et de drainage de la chaussée en déblai	Absence de dispositif d'assainissement	Assainissement	Absence de dispositif d'assainissement
13	70+000	Ouvrage de franchissement de l'oued Ait Yahya : absence de protections contre l'affouillement	Absence de protection contre l'affouillement	Ouvrage de franchissement d'un oued	Absence de protections
		Erosion sur la rive gauche	Absence de protections sur les rives		Erosion fluviale
		Présence de ruines de l'ancienne route de déviation (ancien dalot) en amont de l'ouvrage de franchissement	-		-

Rapport de visites		Défauts et désordres constatés	Causes envisageables	Typologie des problématiques recensées	
n° point	PK			Principale	secondaire
14	75+500	Absence de fossé de pied de déblai et de drainage de la chaussée en déblai	Absence de dispositif d'assainissement	Assainissement	Absence de dispositif d'assainissement
		Ravinements sur le talus de déblai au droit d'une Chaâba non captée	Absence de captage d'une Chaâba en déblai	Erosion pluviale	Erosion pluviale par une Chaâba non captée
		Dépôts solides en zone de déblai	Erosion du talus de déblai		Erosion du talus de déblai
		Erosion en pied de remblai au droit du mur de protection	Absence du fossé de pied de remblai et érosion pluviale		Erosion du talus de remblai
15	85+000	Ouvrage de franchissement de l'oued Alloutif par un pont submersible : affouillement et affaissement du mur en béton sur la zone d'about sur la rive droite	Absence de dispositif de protection et érosion fluviale	Ouvrage de franchissement d'un oued	Dégradation de la zone d'about sur la rive droite
		Absence de protection contre l'affouillement	Absence de dispositif de protection		Absence de protection sur la rive droite
		Absence de fossé de pied de déblai et de drainage de la chaussée en déblai	Absence de dispositif d'assainissement	Assainissement	Absence de dispositif d'assainissement
16	93+000	Franchissement de l'oued Ziz par un radier submersible constituant un point de coupure fréquente et trace de débordement de l'oued sur la route, depuis la rive droite, à environ 5 m du radier	Ouvrage de franchissement inadaptée	Ouvrage de franchissement d'un oued	Ouvrage sous dimensionné
		Chute aval et fosse d'affouillement masquée par l'écoulement à grande vitesse	Absence de dispositif de protection contre l'affouillement en aval		Absence de protection contre l'affouillement
		Absence de protection des zones d'about du radier submersible	Absence d'aménagements connexes		Absence d'aménagements connexes
		Absence de fossé de pied de déblai et de drainage interne du déblai	Absence de dispositif d'assainissement	Assainissement	Absence de dispositif d'assainissement
17	94+700	Franchissement de l'oued Mzizel via un radier submersible constituant un de coupure fréquente pendant environ 6 h.	Point névralgique en raison du calage de la route et du type de franchissement	Ouvrage de franchissement d'un oued	Dégradation du radier submersible
		Destruction des plots de guidage du RS et arrachage du béton au niveau des marches des escaliers en aval	Débordement de l'oued sur le radier submersible		Dégradation de l'ouvrage d'art
		Affouillement en pied du seuils et sur la rive gauche du mur en maçonnerie			Absence de protection contre l'affouillement
		Absence de fossé de pied de déblai et de drainage interne du déblai	Absence de dispositif d'assainissement	Assainissement	Absence de dispositif d'assainissement
18	100+100	Absence de fossé de pied de déblai, de remblai, et de drainage interne du déblai	Absence de dispositif d'assainissement	Assainissement	Absence de dispositif d'assainissement
		Ouvrage de traversée : affouillement du radier et arrachage du béton en amont	Absence d'entretien et de traitement de l'ouvrage	Ouvrage de franchissement d'une Chaâba	Absence d'entretien de l'ouvrage
		Ouvrage de traversée : affouillement en aval et destruction partielle du radier bétonné	Absence de dispositifs de protection		Absence de protection du radier amont et aval
19	108+200	Absence de fossé de pied de déblai et de drainage interne du déblai	Absence de dispositif d'assainissement	Assainissement	Absence de dispositif d'assainissement
		Ouvrage de traversée : présence d'une fosse d'affouillement en fin de la chute e 2 m en aval	Absence de dispositifs de protection contre l'affouillement	Ouvrage de franchissement d'une Chaâba	Absence de protection contre l'affouillement
		Ouvrage de traversée : dégradation des murs voiles et arrachage du béton	Absence d'entretien et de traitement de l'ouvrage		Absence d'entretien de l'ouvrage
		Erosion du remblai sur la rive gauche	Erosion pluviale	Erosion pluviale	Erosion du talus de remblai
20	116+750	Franchissement de l'oued Ziz par un pont dalle. Le débordement s'est produit, d'après les DPETL, 2 fois lors des 10 dernières années.	Pont submersible	Ouvrage de franchissement d'un oued	-
		Laisse de crue montrant que l'ouvrage a déjà fonctionné en charge			
		Traces d'affouillement autour des piles de l'OA	Absence de dispositifs de protection		Absence de protection contre l'affouillement



Le tableau suivant synthétise les désordres observés pour la RR 706 :

Tableau 111 – Synthèse des désordres hydrauliques constatés aux points névralgiques – Tronçon Rich - Imilchil

Thématiques	Typologie des problématiques recensées		Bilan des désordres constatés	
			RR 706	
	Principale	secondaire	Nombre	%
Hydraulique fluviale	Ouvrage de franchissement d'un oued	Dégradations au droit d'un pont submersible	11	16.2%
		Affouillement en aval d'un radier submersible		
		Chariage de gros blocs ou transport de sédiments		
		Dégradations ou affouillement au droit d'un pont		
		Affouillement au droit d'un radier submersible		
		Absence d'aménagements connexes (dispositifs de protection des remblais ou en amont/aval de l'ouvrage)		
	Route en bordure d'un oued : érosion fluviale	Erosion de berge/pied de remblai par attaque du courant et variations des niveaux d'eau (crue et décrue)	7	10.3%
<b>Total</b>			<b>18</b>	<b>26.5%</b>
Assainissement routier	Assainissement	Absence de réseau de collecte et d'évacuation des eaux pluviales	18	26.5%
		Absence de drainage interne de déblai		
		Absence de dispositifs de protection au droit du rejet du dispositif d'assainissement		
	Entretien du réseau	Absence d'entretien du fossé	1	1.5%
	Ouvrage de franchissement d'une Chaâba	Dégradations du talus de remblai et au débouché de l'ouvrage	13	19.1%
		Absence de dispositifs de protection du remblai routier ou au débouché des ouvrages de traversée		
		Dégradation de l'ouvrage hydraulique		
		Problème de blocage hydraulique ou de chute en aval		
		Absence de dispositifs de captage amont d'une Chaâba ou de raccordement avec le réseau latéral en amont		
		Absence d'entretien de l'ouvrage		
	Erosion pluviale	Erosion des talus de déblais et des fossés latéraux	18	26.5%
		Erosion des talus de remblais		
		Erosion du bassin versant amont		
Erosion des talus de déblais				
<b>Total</b>			<b>50</b>	<b>73.5%</b>
<b>Total hydraulique fluviale et assainissement routier</b>			<b>68</b>	<b>-</b>

Ce tableau montre que les dégâts constatés sur un échantillon de 20 points se répartissent comme suit :

- 74 % concernent l'assainissement routier : réseau de captage longitudinal, traversée transversale, érosion des remblais à cause de la pluie, ravinement en talus de déblai... ;
- 26 % environ se rapporte à l'hydraulique fluviale : sapement des berges par l'oued Ziz ou ses affluents, affouillement de radier d'ouvrage hydraulique, absences de dispositifs de protection des extrémités...

Il apparaît donc à la lumière de ce diagnostic, qu'actuellement des déficiences et anomalies encombrant le bon fonctionnement de la RR706. Ces dysfonctionnements comportent un risque majeur, qui pourrait être aggravé, éventuellement, par les changements climatiques.

#### 4.4.5. Géotechnique et chaussées

##### 4.4.5.1. Contexte géologique

La route RR706 se situe dans le domaine du Haut Atlas de Midelt. Ce domaine est constitué de terrains mésozoïques d'âge Jurassique allant du Lias inférieur au Dogger. Ces terrains sont formés de grès, silts, marnes, marno-calcaires et calcaires.

Ces formations sont affectées par un réseau de grands accidents qui déterminent une série de compartiments en forme de horsts et grabens, allongés dans la direction E-W. La résultante de ces accidents a eu pour effet de porter, en marche d'escaliers successifs, le Lias inférieur et moyen à une altitude bien supérieure à celle des formations tertiaires du plateau de la Moulouya.

Le tronçon objet de l'étude s'étale sur les formations du Jurassique inférieur et moyen.

Les différentes nuances lithologiques, illustrées par la figure ci-dessous, se présentent comme suit :

- Les calcaires noirs désignent toutes les nuances dures de calcaires noirs à grains fins, fracturés et à trace d'oxydation dans les plans de fractures ;
- Les marno-calcaires, faciès de teinte verdâtres à noirâtre, schisteux et débitable formant les intercalations entre les bancs de calcaires.

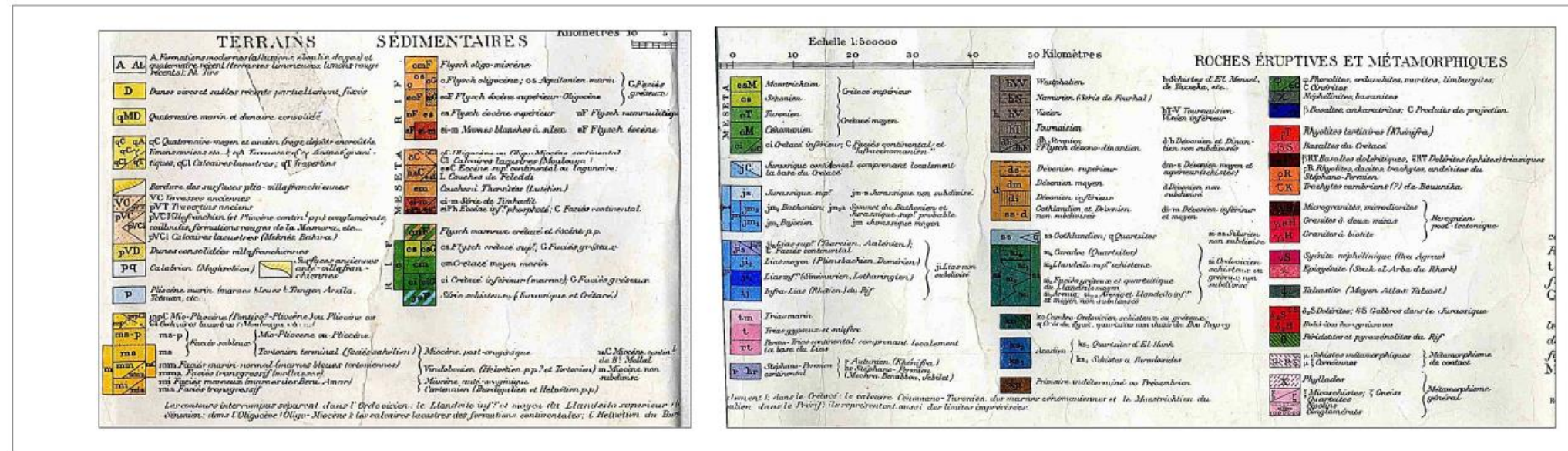
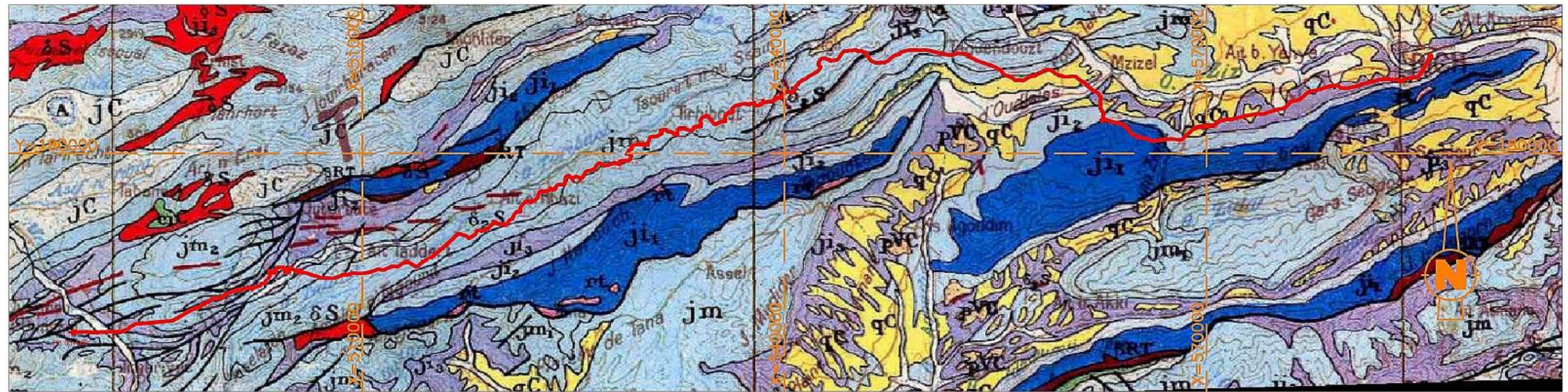
Les formations rocheuses sont très fracturées, à traces d'oxydation dans les plans de fractures.

Les dépôts quaternaires sont essentiellement des éboulis occupant les pieds des versants, les matériaux de charriage dans les chaâbas et thalwegs. Ces dépôts sont principalement issus de l'érosion la marne schisteuse délitable.

Dans les oueds, il s'agissait d'anciennes terrasses à dépôts limono-graveleux ainsi que des alluvions en fond de vallée.



Extrait de la carte géologique du RABAT 1/500000



Echelle : 0 3 15Km

Figure 83 : Formations géologiques traversées par le tronçon Rich - Imilchil



#### 4.4.5.2. Diagnostic des problématiques recensées

Les données mises à disposition de l'ingénierie correspondent principalement à des marchés de travaux de construction des murs de protection et de soutènement et des fiches techniques relatives aux réparations des dégâts de crues.

Les documents reçus ne contiennent pas de données concernant les études géotechniques qui traitent les désordres.

Le diagnostic se base par conséquent sur les appréciations relevées lors des visites de terrain. Ces missions ont mis en exergue que la section étudiée a connu plusieurs types de désordres à savoir : des glissements de terrain, chute de blocs, charriage, érosion, affaissement...

Les différents types de désordres constatés sont présentés ci-après avec les illustrations correspondantes.

Dans ce tronçon le charriage est un problème fréquent dans les zones de franchissement des Oueds et Chaâbas.

Les zones de charriage correspondent aux chaâbas et thalwegs. Ces Chaâbas charrient des quantités importantes de matériaux et dépôts solides. Ces dépôts sont constitués de débris de schistes altérés caractérisant l'environnement géologique de la route.

Ces matériaux entravent la circulation et entraînent des dégradations de la chaussée et ses accotements. La photo suivante montre ce problème de charriage au niveau de Chaâba.



Figure 84 : Zone de charriage (PK49+500)

Le risque de chute de blocs et de pierres est présent dans les zones de déblais rocheux de très forte pente. Dans ces zones le rocher est très fracturé.

La présence de familles de fractures parallèles à la route ayant un pendage défavorable par endroits, favorise le découpage du rocher en dièdres instables. La photo suivante illustre ce problème :



Figure 85 : Blocs écroulés (PK43+100)

Dans les tronçons longeant l'oued et en profil mixte, le problème fréquent est le sapement du pied de talus de remblai par l'oued. Ce sapement conduit à l'apparition de plusieurs désordres dans le remblai ainsi que la chaussée.

Ces désordres sont :

- Les glissements de talus de remblai qui s'activent suite au sapement de pied



Figure 86 : Glissement de talus (PK47+700)

- Affaissement et fissuration longitudinale de la chaussée côté oued



Figure 87 : Fissuration et affaissement de la chaussée côté oued (PK62+500)

- Erosion / sapement du talus de remblai



Figure 88 : Erosion de talus de remblai (PK65+500)

Les talus de déblais constitués de schistes altérés sont sensibles à l'érosion. Les éboulis de schistes qui en résultent en présence d'eau en quantité sont déposés en pied de talus. Ils couvrent l'accotement et une partie de la chaussée côté déblai.





Figure 89 : Eboulis de pente (PK50+300)

Les confortements de talus réalisés sont principalement des murs de soutènement en gabion ou en maçonnerie ;



Figure 90 : Confortement par mur en maçonnerie (PK62+500)

#### 4.4.5.3. Synthèse

L'analyse menée par l'Ingénierie a mis en évidence la sensibilité de la plateforme routière, à travers les nombreuses dégradations qu'elle a subies et les désordres fréquents dont elle souffre : glissements, sapements des berges, affaissement de chaussée, érosion de talus...

Le tableau ci-dessous récapitule les désordres constatés sur la RR 706.

Tableau 112 – Désordres géotechniques et de chaussée relevés au droit des points névralgiques du tronçon Rich - Imilchil

Rapport de visites		Défauts et désordres constatés	Causes envisageables	Typologie des problématiques recensées	
n° point	PK			Principale	secondaire
1	10+000				
2	17+700		Voir hydraulique - assainissement		
3	37+400	Dépat d'une partie de la chaussée et accotement	Voir hydraulique - assainissement	Dégradation de la chaussée	Chaussée et accotement détruits
		Chaussée couverte par matériaux de charriage			Chaussée masquée
4	43+100	Eboulement et chute de blocs métriques	Fractures parallèles à la route ayant un pendage défavorable, favorisent le découpage du rocher en dièdres	Instabilité rocheuse	Absence de moyens de protection
		Accotement coté déblai comblé par des éboulis à blocs	Pente raide du déblai	Dégradation de la chaussée	Accotement comblé
5	47+700	Le remblai et la chaussée sont emportés plusieurs fois	Glissement de remblai suite à la suppression de butée par sapement	Glissement	Glissement de remblai
		Fissuration longitudinale et affaissement de la chaussée coté remblai	Voir hydraulique - assainissement	Dégradation de la chaussée	Fissuration longitudinale et affaissement
		Chaussée couverte par matériaux de charriage			Chaussée masquée
6	48+300		Voir hydraulique - assainissement		
7	49+500	Chaussée couverte par matériaux de charriage	Voir hydraulique - assainissement	Dégradation de la chaussée	Chaussée masquée
		Fissuration de la chaussée et affaissement coté remblai			Fissuration longitudinale et affaissement
		Glissement amorcé		Suppression de butée en pied de remblai	Glissement
8	50+300	Chute de pierre provenant du rocher constituant le versant	Forte pente du versant fracturé	Instabilité rocheuse	Absence de moyens de protection approprié
		Eboulis de schiste en pied de talus couvrant l'accotement coté déblai	Terrain constituant le déblai schisteux et fracturé	Dégradation de la chaussée	Accotement comblé
9	53+800	Chute de blocs et de pierres	Rocher fracturé avec un talus à pente vertical	Instabilité rocheuse	Absence de moyens de protection approprié
		Versant occupé par des éboulis à blocs près de la zone à talus vertical		Dégradation de la chaussée	Accotement comblé
10	60+000	Chute de blocs	Les bancs ont un pendage défavorable et ils sont affectés par un réseau de fracture favorisant le détachement des blocs de grande dimension	Instabilité rocheuse	Topographie défavorable
		Versant est constitué d'éboulis à blocs dans sa partie basse			Absence de moyens de protection approprié
		Fissuration longitudinale de la chaussée	Voir hydraulique - assainissement	Dégradation de la chaussée	Fissuration longitudinale
11	62+500	Fissuration longitudinale	Voir hydraulique - assainissement	Dégradation de la chaussée	Fissuration longitudinale
		Partie de la chaussée rechargée après dégradation			Affaissement et Ressuage
12	65+500	Partie de l'accotement érodé		Dégradation de la chaussée	Accotement érodé
13	70+000				
14	75+500	Partie de l'accotement et chaussée érodé et présence de nid de poule		Dégradation de la chaussée	Nid de poule et accotement érodé
15	85+000				
16	93+000	Chaussée dégradée au niveau de l'OH		Dégradation de la chaussée	Revêtement érodé
17	94+700				
18	100+100	Dégradation du revêtement de l'OH		Dégradation de la chaussée	Revêtement érodé
19	108+200	Ressuage au niveau de OH		Dégradation de la chaussée	Ressuage
20	116+750				

Le tableau ci-après synthétise ce diagnostic par thématiques :

Tableau 113 – Synthèse des désordres géotechniques et de chaussée constatés aux points névralgiques –  
Tronçon Rich - Imilchil

Thématiques	Typologie des problématiques recensées		Bilan des désordres constatés	
	Principale	secondaire	RR 706	
			Nombre	%
Géotechnique	Glissement	Absence de protection de pied	2	8.3%
		Glissement de remblai		
		Dégradations de la chaussée		
	Instabilité rocheuse	Dégradations de la chaussée	5	20.8%
		Talus verticaux		
		Absence de moyens de protection appropriés		
Total		7	29.2%	
Structure de chaussée	Dégradation de la Structure de chaussée	Affaissement de la chaussée coté remblai	17	70.8%
		Fissuration longitudinale		
		chaussée masqué par matériaux de charriage		
		Accotement coté déblai comblé par éboulis		
		Ressuage		
		Accotement et chaussée érodé		
	Total		17	70.8%
Total Géotechnique et Structure de chaussée		24	-	

Ainsi sur l'échantillon des 20 points de visite de terrain, 24 désordres ont été décelés comme suit :

- 29 % se rapportent à la géotechnique (glissement de terrain, instabilité rocheuse) ;
- 71 % concernent des dégradations de la structure de chaussée (affaissement, érosion d'accotement, fissuration...).

Il apparaît donc à la lumière de ce diagnostic, qu'actuellement ces désordres constituent un risque permanent, qui persiste tant que les interventions sont limitées à des travaux de rétablissement de la circulabilité.

Ce risque pourrait être amené à augmenter, éventuellement, à cause des changements climatiques.

#### 4.4.6. Contexte socio-économique

##### 4.4.6.1. La population desservie

La population sur le tronçon Imilchil – Er Rich atteint près de 38 000 habitants en 1994 et environ 46 000 habitants en 2004.

Le taux de croissance de la population sur 10 ans est élevé : 20,6%.

La commune comptant le plus grand nombre d'habitants sur ce tronçon est Er Rich avec 20 155 habitants recensés en 2004.

	Population	
	1994	2004
<b>Imilchil</b>	7 253	8 222
<b>Outerbate</b>	5 898	6 137
<b>Amouguer</b>	4 787	5 119
<b>M'Zizel</b>	6 309	6 443
<b>Er-Rich</b>	13 952	20 155
<b>Total</b>	<b>38 199</b>	<b>46 076</b>

Tableau 114 - Population desservie par le tronçon Imilchil-Er Rich (R706) en 1994 et 2004

##### 4.4.6.2. Les activités

Le tronçon dessert en 2012 1 établissement industriel, à Er Rich.

Il se situe dans la province d'Errachidia. Le taux d'activité en 2012 est de 40,2%, soit très inférieur à la moyenne nationale de 48,4%.

La province accueille peu d'établissements industriels (20 établissements industriels en 2012). Ces établissements emploient près de 400 salariés, mais génèrent un chiffre d'affaires élevé, d'environ 600 000 Kdh.

	Taux d'activité (%)	Nombre d'établissements	Effectifs de la main d'oeuvre	Chiffre d'affaire (Kdh)
Province d'Errachidia	40,2	20	404	625 510
<b>Total</b>	<b>-</b>	<b>20</b>	<b>404</b>	<b>625 510</b>

Tableau 115 - Indicateurs d'activité autour du tronçon Imilchil-Er Rich (2012)

#### 4.4.6.3. Trafics sur le tronçon

Le trafic moyen journalier annuel en 2012 est de 1 500 véhicules.

Origine	Destination	TMJA	dont VL	dont PL1	dont PL2
Imilchil	R 703	<b>1 500</b>	1 185	75	240
R 703	Amouguer	<b>1 500</b>	1 185	75	240
Amouguer	M Zizel	<b>1 500</b>	1 185	75	240
M Zizel	Er Rich	<b>1 500</b>	1 185	75	240

Tableau 116 - TMJA 2012 par section sur le tronçon Imilchil-Er Rich (R706)

#### 4.4.6.4. Fonctionnalité du tronçon

Cinq sections ont été définies entre Imilchil et Er Rich :

- Imilchil – P 7319 ;
- P 7319 – R 703 ;
- R 703 – Amouguer ;
- Amouguer – M Zizel ;
- M Zizel – Er Rich

Les itinéraires alternatifs pour chaque section apparaissent en bleu dans la carte ci-dessous.

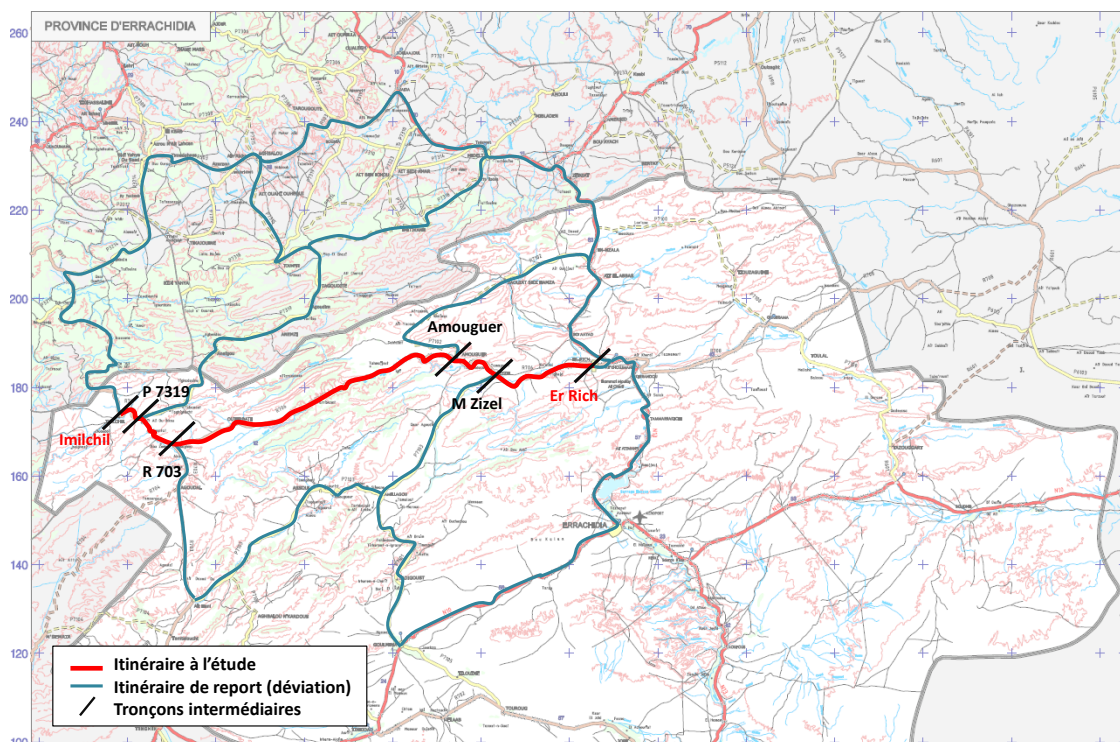


Figure 91 : Sections définies sur le tronçon Imilchil – Er Rich



Les distances et temps de parcours en situation normale et en situation dégradée (lorsqu'au moins une section du tronçon est impraticable) ont été estimés via GoogleMaps. Les temps de parcours ont été définis en prenant en compte la redondance du réseau des routes nationales, régionales et provinciales. Les pistes notamment ne sont pas prises en compte pas dans l'analyse, leurs caractéristiques étant bien inférieures au niveau de service des tronçons considérés : absence de revêtement bitumineux, absence de signalisation, largeur de voie faible, et surtout possible vulnérabilité aux mêmes événements climatiques que les tronçons considérés.

Origine	Destination	Distance en situation normale (km)	Temps de parcours en situation normale (min)	Distance en situation dégradée (km)	Temps de parcours en situation dégradée (min)
Imilchil	R 703	12	9	367	334
R 703	Amouguer	82	62	168	156
Amouguer	M Zizel	12	9	238	209
M Zizel	Er Rich	26	22	252	231

Tableau 117 - Distance et temps de parcours entre Imilchil et Er Rich

Le temps de parcours supplémentaire moyen en situation dégradée sur ce tronçon est de 207 minutes.

## 4.5. TRONÇON RR106 ENTRE IGHREM ET ASSAKI

### 4.5.1. Contexte hydrographique

La carte suivante illustre l'emplacement de la zone d'étude :

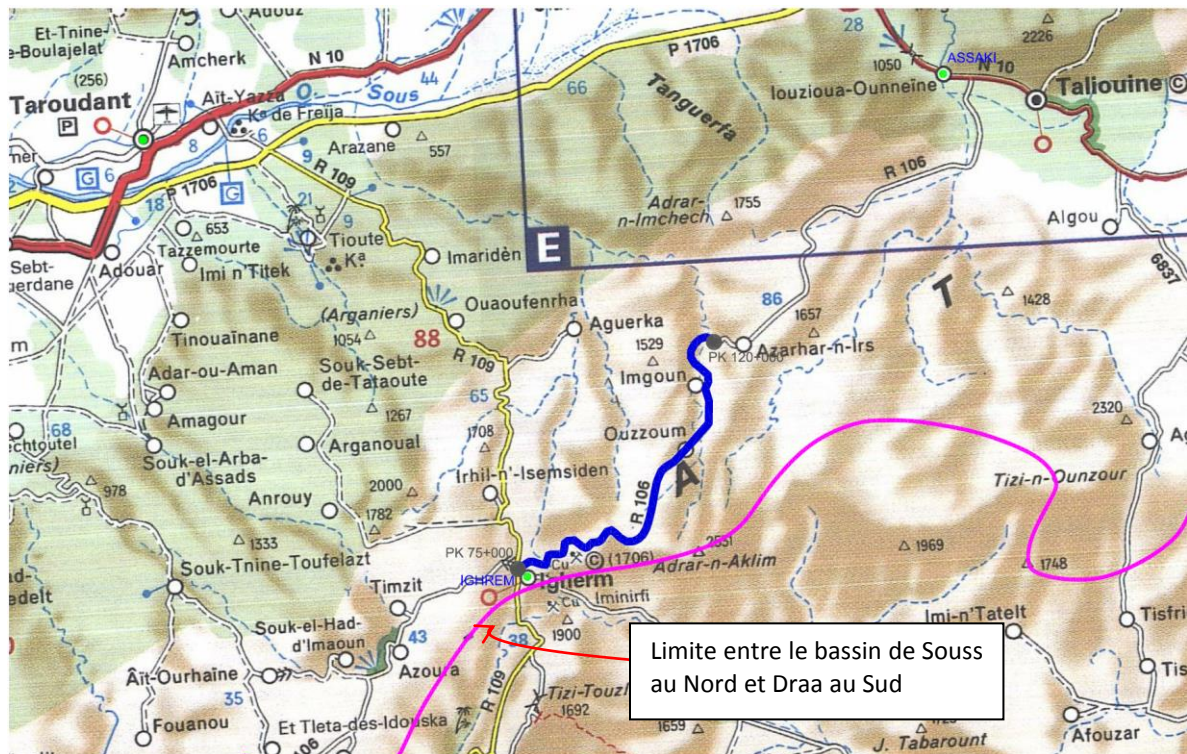


Figure 92 Emplacement du tronçon Ighrem – Assaki et unités hydrologiques traversées

Le tronçon de la RR106 se situe à l'intérieur du bassin versant de l'oued Souss.

Les oueds rencontrés sont des affluents rive gauche dont le plus important est l'oued Tiwaldine.

### 4.5.2. Contexte climatique

Le tracé étudié se situe sur les versants de la chaîne de l'Anti-Atlas, et ce dans le bassin rive gauche de l'oued Souss.

Le climat de cette zone est semi-aride. La pluviométrie annuelle se situe aux alentours des 200 mm.

Les précipitations sur la région d'étude présentent une grande variabilité spatiale et temporelle avec deux saisons :

- La saison humide (novembre à mars), durant laquelle la région reçoit 70 à 75 % de la pluie annuelle avec un premier pic en automne, et un deuxième en hiver.
- La saison sèche (avril à octobre) durant laquelle la région reçoit de 25 à 30% de la pluie annuelle.

En montagne, les écarts de températures sont sensibles. A Ighrem (altitude 1750 m), localité située sur la ligne de crête de l'Anti-Atlas près du sommet du massif, la température moyenne annuelle descend à 14.5°C, les moyennes mensuelles extrêmes étant de 4.8°C en janvier et de 25.4°C en juillet.

Les hivers sont donc froids (décembre-janvier surtout) avec fréquemment des minima inférieurs à 0°C (moyenne des minima de janvier : - 0.2°C). Les étés sont chauds, continentaux : plus de 30°C de moyenne des maxima de juin à août, avec des nuits plus fraîches.

Les amplitudes thermiques sont également élevées et peuvent atteindre 48°C.

#### 4.5.2.1. La pluviométrie

##### 4.5.2.1.1. PLUIES ANNUELLES ET JOURNALIERES

#### **DONNEES MISES A DISPOSITION DE L'INGENIERIE PAR LA DR ET LES DPETL**

L'examen des documents envoyés par ces organismes a mis en exergue que les données disponibles restent modestes. En effet :

- L'étude initiale relative à la réalisation de la route n'est pas disponible ;
- Une description climatique brève et générale est indiquée dans les rapports géotechniques ;
- Une étude des ouvrages d'assainissement et protection de la RR 106 entre Assaki et Ighrem a été mise à disposition de l'Ingénierie pour 2 phases : phase préliminaire, validée par la DPETL de Taroudant, et une phase d'exécution pas encore approuvée.
- Les 2 phases abordent le volet climatique d'une manière très brève. Les données d'intérêt qui y sont indiquées sont :
  - la pluie maximale de 24 heures, prise égale à 75 mm en phase préliminaire puis à 67 mm en phase d'exécution ;
  - la pluie annuelle prise égale à 250 mm/an ;
  - les paramètres de Montana pour des tc de moins de 90 minutes et entre 90 et 1440 minutes. L'origine de ces valeurs n'est pas précisée.
- On attire l'attention sur le fait que la période de retour prise en compte dans cette étude est de 100 ans en phase préliminaire, puis de 10 ans en phase d'exécution.

On retiendra à la suite de l'examen de ces entrants que, compte tenu du cadre et l'objet de la présente étude, ces informations climatiques ne sont pas particulièrement pertinentes et qu'elles n'ont qu'un caractère de généralités donnant une indication sommaire du climat des zones étudiées.

#### **DONNEES COLLECTEES PAR L'INGENIERIE ET/OU ACQUISES AUPRES DE METEO MAROC**

L'étude menée par l'Ingénierie, entre 2013 et 2014, pour l'intégration des changements climatiques dans le processus de planification des ressources en eau au Maroc pour le compte de la Direction de la Recherche et de la Planification de l'Eau (DRPE), a permis de collecter les données de l'Agence du Bassin Hydraulique du Souss Massa Draa, sise à Agadir.

Ces données ont été combinées aux données collectées auprès de la Direction de la Météorologie Nationale (DMN).

### *SYNTHESE DES DONNEES DISPONIBLES*

La figure suivante illustre l'emplacement des postes pluviométriques et pluviographes d'intérêt inventoriés dans la zone d'étude.

Un zoom sur la RR106 est également présenté pour mieux apprécier l'emplacement des postes d'intérêt.

Le tableau présenté ci-après synthétise les données pluviométriques collectées par l'Ingénierie.

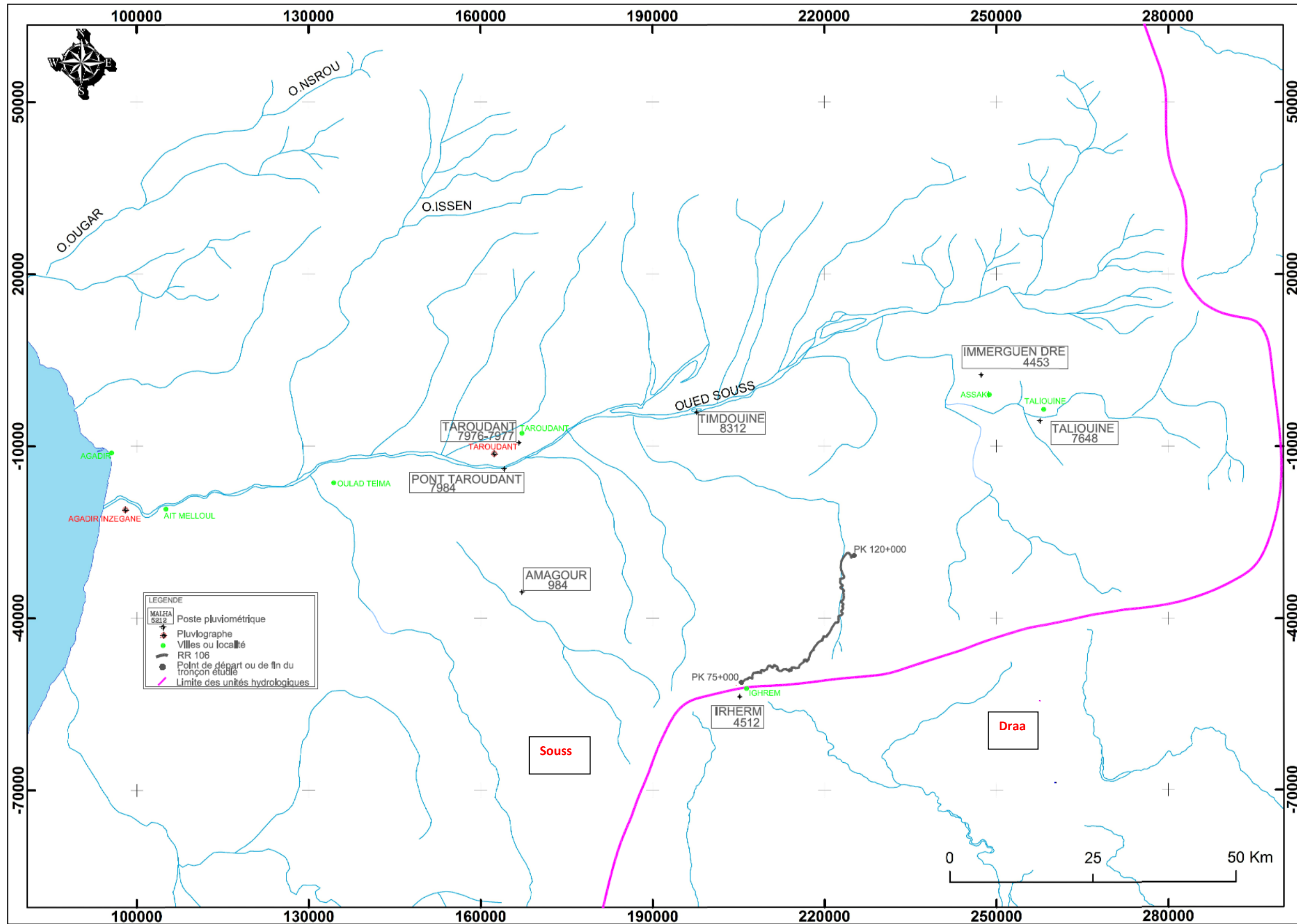


Figure 93 : Emplacement des postes pluviométriques par rapport au tronçon Ighrem - Assaki



Tableau 118 – Données pluviométriques disponibles – Tronçon Ighrem - Assaki

Unité hydrologique	Poste N°	Nom	Z (mNGM)	Période disponible Pj		Années hydrologiques manquantes
				Début	Fin	
<b>Tronçon 4 : Ighrem - Assaki</b>						
Souss Massa Draa	4512	IGHREM	1750	01/08/1930	1988	1929 et 1963 (1 seul mois disponible); 1957-1959; 1964-1970; 1974; 1977-1983
	4453	IMMERGUEN DRE	870	1970	2012	2012 (1 seul mois disponible)
	8312	TIMDOUINE	-	1965	2002	1969
	7648	TALIOUINE	1020	1932	2002	1989-1994
	7976	TAROUDANT	255	1920	1975 (+ année 2009)	1968; 1970-1971; 1976-2008
	7977	TAROUDANT COLLEGE	-	1966	1979	1972-1977
	7978	TAROUDANT	-	1995	2002	-
	7984	TAROUDANT PONT RP 32	225	1966	2011	-
	7985	TAROUDANT PONT P.G	225	2002	2009	-
	7988	TAROUDANT EF	250	1982	1983	1982 et 1983 (mois d'un mois de mesure)
984	MAGOUR (LARBAT ASSAD)	450	1941	2002	1942-1946; 1956; 1988-1998	

### POSTES DE REFERENCE

Pour caractériser les pluies au niveau ce tronçon, nous avons privilégié les postes les plus proches, disposant d'une longueur de série de plus de 20 ans et disposant de données actualisées.

Une exception a été faite pour le poste de Taliouine, elle est justifiée par le peu de données dans cette zone du bassin du Souss. L'Ingénierie a également pris en compte, à titre indicatif, les données du poste d'Ighrem, bien qu'elles s'arrêtent en 1969, afin de disposer de données proches du tronçon étudié.

Sur la base de cette analyse, il est proposé de prendre en compte les postes suivants :

- Taliouine (N°7648) qui couvre la période 1932-2002 ;
- Immerguen DRE (N°4453) pour la période 1970-2011 ;
- Taroudant Unifié correspondant à l'unification de 6 postes (N°7976-77-78-84-85-88) de manière à représenter la période 1920-2011 ;
- Ighrem (N°4512) qui couvre la période entre 1930 et 1988.

### PLUIES JOURNALIERES MAXIMALES ANNUELLES (PJMAX)

Il est à noter que les séries présentées sont celles élaborées à partir des données brutes, suite à une analyse critique ayant permis de déceler les valeurs aberrantes et de les écarter.

Les caractéristiques des données des pluies journalières maximales annuelles sont présentées ci-dessous :

Tableau 119 – Caractéristiques statistiques des pluies journalières maximales annuelles – Tronçon Ighrem - Assaki

Poste	N°	n	M (mm)	S (mm)	Cv	Me (mm)	Min (mm)	Max (mm)
Immerguen DRE	4453	39	35.5	12.5	0.35	34.0	18.0	62.0
Taliouine	7648	54	30.1	11.6	0.39	28.5	11.0	76.0
Ighrem	4512	25	28.3	10.7	0.38	27.0	12.0	51.0
Taroudant Unifié	7976-77-78-84-85-88	92	41.1	14.8	0.36	40.2	11.0	80.5

En termes de répartition, on notera que les pluies maximales journalières annuelles varient entre 10 et 80 mm avec une médiane moyenne d'environ 30 mm.

Les observations restent assez comparables pour les 4 postes malgré les écarts d'altitudes entre eux.

Tableau 120 – Quantiles des pluies journalières maximales annuelles – Tronçon Ighrem - Assaki

Poste	N°	Z (mNGM)	Pjmax (T) (mm)					
			2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Immerguen DRE	4453	870	33	45	52	59	68	75
Taliouine	7648	1020	28	40	47	54	63	70
Ighrem	4512	1750	27	36	42	48	56	62
Taroudant Unifié	7976-77-78-84-85-88	255	39	52	60	69	79	87

On notera que dans le Souss, les quantiles de pluies varient comme suit :

- Pour les occurrences de moins de 20 ans :
  - Entre 25 et 60 mm environ ;
- Pour des occurrences au-delà de 20 ans :
  - Entre 50 et 90 mm environ.

#### PLUIES ANNUELLES (PAN)

Il est à noter que ce sont des séries élaborées à partir des données brutes, suite à une analyse critique ayant permis de déceler et écarter les valeurs aberrantes : l'analyse a tenu compte de l'aridité du climat, caractérisée par le faible nombre de jour de pluie par rapport aux zones plus arrosées au Nord. L'Ingénierie a intégré des valeurs d'années hydrologiques d'environ 6 mois de mesure, et qui présentaient une cohérence avec les valeurs d'autres postes avoisinants.

Les caractéristiques des données des pluies annuelles sont présentées ci-dessous :

Tableau 121 – Caractéristiques statistiques des pluies annuelles – Tronçon Ighrem - Assaki

Poste	N°	n	M (mm)	S (mm)	Cv	Me (mm)	Min (mm)	Max (mm)
Immerguen DRE	4453	39	271.3	128.1	0.5	257.0	77.0	654.9
Taliouine	7648	44	223.4	89.4	0.4	212.0	64.0	521.0
Ighrem	4512	19	193.3	55.1	0.3	183.0	90.0	271.0
Taroudant Unifié	7976-77-78-84-85-88	92	214.0	108.9	0.5	203.4	31.0	609.8

En termes de répartition, on notera que les pluies annuelles varient entre 30 et 655 mm avec une médiane moyenne d'environ 200 mm. Les valeurs du poste d'Ighrem sont à relativiser compte tenu de la série prise en compte qui s'arrête en 1969 et que plusieurs années ont été écartées vu le nombre de mois de mesure et l'incohérence avec les autres postes.

Tableau 122 – Quantiles des pluies annuelles – Tronçon Ighrem – Assaki

Poste	N°	Z (mNGM)	Pjmax (T) (mm)					
			2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Immerguen DRE	4453	870	250	363	438	510	603	673
Taliouine	7648	1020	209	288	340	390	455	504
Ighrem	4512	1750	184	233	265	296	336	366
Taroudant Unifié	7976-77-78-84-85-88	255	196	292	356	417	496	556

On notera que dans le Souss, les quantiles de pluies annuelles varient comme suit :

- Pour les occurrences de moins de 20 ans : entre 180 et 440 mm environ ;
- Pour des occurrences au-delà de 20 ans : entre 300 et 675 mm environ.

#### 4.5.2.1.2. LES INTENSITES PLUVIOMETRIQUES

##### DONNEES DISPONIBLES

Le tableau ci-dessous synthétise les données collectées et/ou actualisées par l'Ingénierie :

Tableau 123 – Données pluviographiques disponibles – Tronçon Ighrem - Assaki

Pluviographe	Période d'observation	Données disponibles
Agadir Inzegane	1960-2010	IDF (2, 5, 10, 20,50 et 100)
Taroudant	L'inventaire de la DMN, daté de janvier 2013 n'évoque pas de pluviographe pour ce poste	Indisponibles

Le tableau suivant présente les paramètres de Montana (a, b) correspondant aux courbes IDF du pluviographe Agadir :

Tableau 124 – Paramètres de Montana du pluviographe Agadir

T	a (mm/min)	b
2	2.868	0.620
5	4.570	0.624
10	5.710	0.626
20	6.807	0.628
50	8.230	0.629
100	9.297	0.630

### CARACTERISATION DES INTENSITES DE PLUIE

Compte tenu de l'emplacement géographique du pluviographe d'Agadir par rapport au tracé routier étudié et à la différence d'altitude, nous avons également cherché à estimer les intensités de pluie à partir des quantiles de pluies journalières maximales annuelles.

Le tableau suivant synthétise les résultats obtenus pour les occurrences de 10 et 100. En raison des fortes pentes rencontrées, on se limitera à des temps de concentration de moins de 120 minutes.

T	Poste	N°	Z (mNGM)	I (T) = a(T). b <sup>(T)</sup> (mm/hr)					
				5 min	10 min	15 min	30 min	60 min	120 min
T = 10 ans	<b>Tronçon de la RR 106</b>								
	Immerguen DRE	4453	870	74	49	38	25	17	11
	Taliouine	7648	1020	67	44	35	23	15	10
	Ighrem	4512	1750	61	40	31	21	14	9
	Taroudant Unifié	7976-77-78-84-85-88	255	86	57	45	30	19	13
	<b>Pluviographe de référence</b>								
Agadir Inzegane	60250001	18	125	81	63	41	26	17	
T = 100 ans	<b>Tronçon de la RR 106</b>								
	Immerguen DRE	4453	870	107	71	56	37	24	16
	Taliouine	7648	1020	101	67	52	34	23	15
	Ighrem	4512	1750	89	58	46	30	20	13
	Taroudant Unifié	7976-77-78-84-85-88	255	125	83	65	43	28	19
	<b>Pluviographe de référence</b>								
Agadir Inzegane	60250001	18	202	131	101	65	42	27	

On notera que :

- Les intensités issues du pluviographe d'Agadir Inzegane sont plus importantes que celles dans la zone d'Ighrem, ceci est vraisemblable vu les influences climatiques en zone atlantique et que cette zone reçoit plus de précipitations en général que la partie continentale ;
- Pour une durée de pluie de 30 minutes, les intensités sont importantes et sont comme suit :
  - Pour T= 10 ans : Elles varient entre 20 et 30 mm/h ;
  - Pour T= 100 ans : Elles varient entre 30 et 45 mm/h.
- Pour des bassins plus réduits avec des temps de concentration entre 5 et 15 minutes, les intensités de pluie sont plus importantes, et de l'ordre de 3 à 1.5 fois celles présentées pour 30 minutes.

#### 4.5.2.2. La neige

L'Ingénierie ne dispose pas de mesures de neige dans la zone d'étude. En effet la DPETL de Taroudant a indiqué ne pas disposer de données sur la neige



### 4.5.3. Infrastructure routière

#### 4.5.3.1. Contexte géographique

La RR 106 relie les localités d'Ighrem et Assaki comme l'illustre la figure ci-dessous.

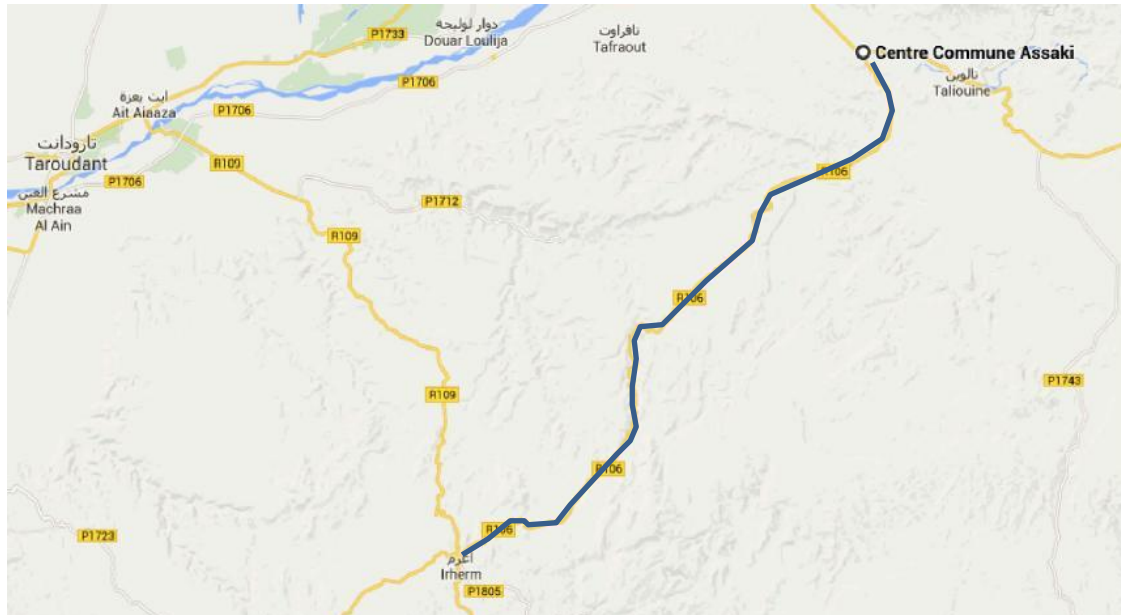


Figure 94 : Contexte géographique du tronçon Ighrem - Assaki

Entre Ighrem et Assaki, elle traverse un relief accidenté à montagneux avec des altitudes variant entre 1100 et 1700 mNGM.

#### 4.5.3.2. Typologie de la plate-forme routière

La plateforme routière est implantée à certains endroits dans des déblais montagneux instables, elle longe par endroits l'oued Tiwaldine avec un risque majeur de sapement de berges.

Le profil en long se situe généralement soit en profil mixte (déblai-remblai) ou remblai avec un profil en travers en toit. Son tracé en plan est sinueux avec une succession de virages. La plateforme s'étend sur une largeur de 8 m avec 6 m de chaussée et 2 m d'accotement (1 m par côté).

La RR106 se caractérise par un passage dans une zone de gorge de l'oued Tiwaldine dont le tracé est sinueux. De ce fait il traverse la route à plusieurs endroits et passe d'un côté à un autre. Il s'agit en grande partie d'un problème de tracé en plan et d'hydraulique. Il n'y a pas de problème lié au phénomène de neige, mais de crues dont la dernière s'est déroulée du 20 au 22 octobre 2014.

Une étude a permis d'estimer le budget de réhabilitation de cette route à environ 10 MDH sur un linéaire de 20 km, avec possibilité de déplacer le tracé de la route pour qu'il ne passe plus dans le lit de l'oued.

La DPETL de Taroudant a indiqué que les coupures de routes ne dépassent pas généralement les 3 jours. Les coupures surviennent soit en période hivernale (mois 10, 1 ou 2), pendant les orages d'été qui se produisent pendant le mois d'août, ou encore pendant le mois de septembre.

La faiblesse de trafic (< 50 véhicules par jour) fait que ces coupures n’entraînent généralement pas de pertes humaines.

Quant aux interventions réalisées, elles se résument à rétablir la circulabilité de la route, par remblaiement des zones emportées par la crue et par réhabilitation de la route.

4.5.3.3. Analyse des données des jours de coupure

L’analyse des Bulletins de Viabilité Routière (BVR) a permis d’établir, par tronçon, les coupures qui ont suivi les routes ainsi que la cause (neige, crue) et sa durée.

Le tableau suivant montre les données analysées, depuis l’année 2009, qui ont été reçues de la part de la DR et postérieurement implémentées afin d’inclure les derniers épisodes pluvieux de l’année 2014.

Tableau 125 – RR706 – Données des jours de coupure

RR 106 entre Ighrem et Assaki sur 45 km (PK 75 à 120)									
Année	n° épisode	Source	Section concernée ou PK	Cause de la coupure	Type de coupure	Données recueillies	Etat et date de rétablissement de la route	Durée de la coupure	
2009	2009-1	Bulletin état des routes du 22/06/2009 à 18h	?	Averses orageuses					
2010	2010-1	BVR du 02/03/2010 à 18h	PK 105 à 118	Crues	Crue de l'oued Arghen	RR106 reliant Ighrem et Assaki est Coupée entre PK105 et Pk 118, à cause des crues d'Oued Arghen. Pas de déviation locale possible.	coupure	> 1 jour	
		BVR du 03/03/2010 à 18h				RR106 reliant Ighrem et Assaki est Coupée entre PK105 et Pk 118, à cause des crues d'Oued Arghen. Pas de déviation locale possible.	coupure		
2014	2014-1	Historique coupure : 12/05/2014	PK 102	Dégât des crues	-	-	-	-	
	2014-2	Historique coupure : 22/11/2014	PK 100	Dégât des crues	-	-	-	-	
	2014-3	BVR du 23/11/2014 à 14h	PK 102	Pluies torrentielles - Crues	Crue de l'oued Ait El Kaid	Suite aux pluies torrentielles, Les tronçons de routes ci-après sont coupés à la circulation à cause des crues des oueds La route régionale n° 106 reliant Talouine à Tafraout au PK 102 au niveau d'oued Ait El Kaid (DPETL de Taroudante)	coupure	15 jours maxi	
		BVR du 23/11/2014 à 16h					coupure		
		BVR du 23/11/2014 à 20h					coupure		
		BVR du 24/11/2014 à 8h					coupure		
		BVR du 24/11/2014 à 12h					coupure		
		BVR du 24/11/2014 à 16h					coupure		
		BVR du 24/11/2014 à 20h					coupure		
		BVR du 25/11/2014 à 9h					coupure		
		BVR du 25/11/2014 à 16h					coupure		
		BVR du 25/11/2014 à 20h					coupure		
		BVR du 26/11/2014 à 9h					coupure		
		BVR du 26/11/2014 à 12h					coupure		
		BVR du 26/11/2014 à 20h					coupure		
		BVR du 27/11/2014 à 21h					coupure		
		BVR du 28/11/2014 à 13h					Route coupée par les crues au niveau de l'oued Ait Elkaid		coupure
		BVR du 30/11/2014 à 9h					Route coupée par les crues au niveau de l'oued Ait Elkaid		coupure
BVR du 01/12/2014 à 17h	Route coupée par les crues au niveau de l'oued Ait Elkaid	coupure							
BVR du 04/12/2014 à 13h	PK 106 - 110	Route coupée par les crues au niveau de l'oued Ait Elkaid	coupure						
BVR du 07/12/2014 à 21h		Route coupée par les crues au niveau de l'oued Ait Elkaid	route rétablie le 07/12/2014						

Légende : source : DR source : site internet du Ministère Transport

De l’analyse de ce tableau, il ressort les points suivants :

- ce tableau nous renseigne sur les PKs où ont eu lieu les derniers épisodes (PK 102 -106 -110). Ces PKs avaient été identifiés par les responsables de la DR comme vulnérables et ont été visités. Bien que ces points soient déjà identifiés comme vulnérables, nous attirons l’attention sur certains éléments à l’origine des dégâts qui pourront nous aider par la suite à établir des recommandations utiles :
  - Analyse de l’épisode de pluie : s’agit-il vraiment d’une crue extraordinaire et quelle est la période de retour associée ?

- Analyse des dégâts et coupures déjà subis pour ce tronçon : aurait-on pu prévenir les dégâts de cet épisode ? Quelles sont les interventions réalisées par la DR après cet évènement ?
- sur les causes des coupures : les crues des oueds. Aucune coupure n'a été identifiée suite à des désordres géotechniques.

#### 4.5.3.4. Entretien

La DR établie, à travers des plans de campagne, les budgets alloués chaque année pour l'entretien. Elle nous a fourni ces données et nous avons pu les analyser pour chacun des tronçons étudiés.

Le tableau suivant montre les budgets alloués au tronçon étudié depuis l'année 2007 :

Tableau 126 – RR106 – Synthèse du budget d'entretien

TRONÇON: RR106 PK75 au PK120 DRE SOUS MASSA DRAA	MONTANT EN KDH								TOTAL
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
<b>DESIGNATION</b>									
<b>1/ INVESTISSEMENT DIRECT</b>									
Revêtement Superficiel	0		0	0		0			0
Traitement des accotements à l'entreprise	0		0	0		0			0
Traitement de l'environnement	0		0	0		0			0
Entretien des O.A et assainissement	0		0	0		0			0
Signalisation Verticale						39			39
Dispositifs de sécurité			0	0		0			0
Signalisation Horizontale	0		0			320			320
<b>2/ DEPENSES LIEES AUX TRAVAUX EN REGIE</b>									
Fourniture d'émulsion									
Fourniture de gravillons									
Autres matériaux de construction									
Carburant et lubrifiants									
Pièces de rechange									
Location des camions et engins									
<b>3/ DEPENSES DE FONCTIONNEMENT</b>									
Petit matériel et outillages									
Bois de chauffage									
Alimentation									
Comptage routier									
Entretien des maisons cantonnières ou abris de neige									
Fournitures des bureaux									
consommable informatique									
<b>AUTRES</b>									
Traitement des accotements et fossés en régie	0		0	0		0			
<b>ENNEIGEMENT</b>	0		0	0		0			
<b>TOTAL</b>	0	0	0	0	0	359	0	0	359

NON DETAILLE

NON DISPONIBLE

La représentation graphique de ce budget est présentée ci-dessous:

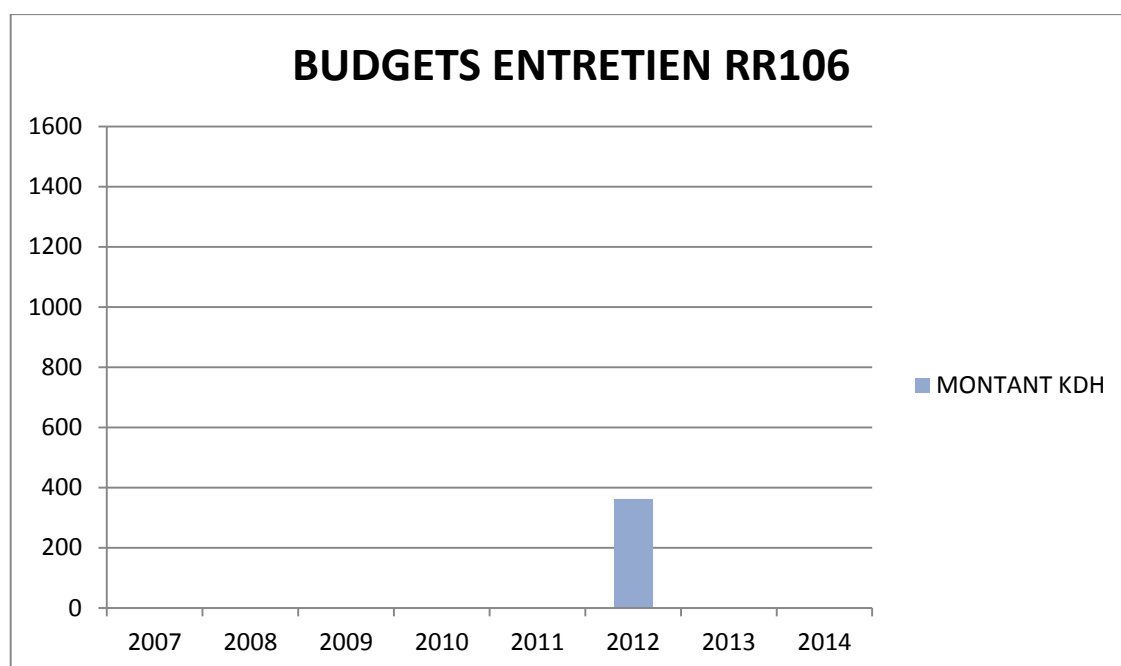


Figure 95 - RR106 – Synthèse du budget d'entretien

Le détail de ce budget par année et par PK est montré dans le tableau suivant :

Tableau 127 – RN2 – Détail du budget d'entretien

Année	PK	Nature	Montant KDH
2012		Signalisation verticale	39
	PK 74 - 166	Signalisation horizontale	320
		<b>TOTAL</b>	<b>359</b>

#### 4.5.4. Hydraulique et assainissement

##### 4.5.4.1. Contexte hydrographique et hydrologique

Les observations relevées lors des visites de terrain ont été complétées par un travail au bureau, en exploitant les données et études mises à disposition de l'Ingénierie et les fonds topographiques 1/50.000<sup>ème</sup> et 1/100.000<sup>ème</sup>.

Ainsi de point de vue hydrographique et hydrologique :

- Le réseau hydrographique est dense, avec parfois des axes d'oueds sinueux serpentant et interceptant la route à plusieurs endroits (voir carte en Annexe n°3). Certains oueds important longeant la plateforme routière, la mettant en danger de sapement des berges, en particulier l'Oued Tiwaldine et ses affluents ;
- Les écoulements sont concentrés et les lits des Chaâbas et Oueds bien marqués ;
- Les bassins versants de la plupart des points névralgiques ont été délimités (voir carte en Annexe n°3).

Les caractéristiques de ces bassins sont présentées ci-dessous :

Tableau 128 – Caractéristiques des bassins versants au droit des points névralgiques du tronçon Ighrem - Assaki

PK	S <sub>BV</sub> (km <sup>2</sup> )	Lmax (m)	Hmax (mNGM)	Hmin (mNGM)	Hmoy (mNGM)	Pente (%)
93+270	0.13	523.68	1760	1700	1730	11.5%
94+500	0.06	424.76	1880	1640	1760	56.5%
95+970	0.70	1390.28	1880	1550	1715	23.7%
96+970	0.10	453.38	1650	1500	1575	33.1%
102+200	25.15	9047.86	1900	1380	1640	5.7%
106+400	0.15	628.02	1630	1290	1460	54.1%
Oued limitrophe		14042.60	1900	1290	1595	4.3%
107+100	60.74	14696.53	1900	1280	1590	4.2%
109+600	64.88	17239.05	1900	1240	1570	3.8%
112+400	77.68	20406.52	1900	1200	1550	3.4%
114+000	83.75	21989.73	1900	1180	1540	3.3%
118+000.	144.71	26218.31	1900	1120	1510	3.0%

Les bassins limitrophes correspondent à des points où l'oued Tiwaldine et/ou ses affluents longent la plateforme routière.

Les bassins correspondent généralement :

- A des petits bassins localisés (de moins de 0.1 km<sup>2</sup>) : exemple du PK 94+500 ;
- à de très petits bassins (de 0.1 à 1 km<sup>2</sup>) : exemple du PK 95+970 ;
- à des moyens bassins (de 20 à 100 km<sup>2</sup>) : exemple du PK 120+400 ;
- et à de grands bassins versants de plus de 100 km<sup>2</sup> : cas de l'oued Tiwaldine au PK 118+000 (145 km<sup>2</sup>).



- En termes de pentes, les zones étudiées se caractérisent par leur relief accidenté à montagneux. Ainsi suivant la taille des bassins, les pentes varient :
  - Bassins de moins de 1 km<sup>2</sup> : entre 11 et 57 % ;
  - Bassins entre 20 et 100 km<sup>2</sup> : entre 3 et 6 % ;
  - Bassins de plus de 100 km<sup>2</sup> : inférieures à 4 %.
- L'aptitude des sols au ruissellement est forte en particulier pour les bassins en montagne à forte pente ;
  - Les sols sont généralement fins avec une importante aptitude à l'érosion comme le montrent les ravinements en zone de déblai et l'érosion de certains talus de remblai ;
  - Le charriage est important, il est soit d'éléments importants comme les blocs métriques, soit d'éléments moins grossiers issus de l'altération des schistes.

#### 4.5.4.2. Diagnostic des problématiques recensées

En termes de dispositifs hydrauliques et d'assainissement et drainage, en général ce système se limite à des ouvrages de traversée. Les dispositifs longitudinaux sont soit inexistantes pour la plupart, soit des fossés bétonnés trapézoïdaux de 0.5 m à la base et de 0.5 m de profondeur colmatés en partie ou en totalité.

Après analyse des listes d'ouvrages hydrauliques mises à disposition de l'Ingénierie, il est à noter que :

- La liste transmise ne correspond qu'au tronçon entre les PK 95 et 120 ;
- On regrettera l'absence de coordonnées géographiques pour permettre une meilleure implantation des ouvrages. En effet nous nous sommes basés sur les bornes kilométriques et sur les PK indiqués par les collaborateurs des DPETL pour se repérer ;
- La liste des ouvrages transmises par la DPETL de Taroudant ne concerne que la section PK 95-PK120. Cette liste a nécessité un traitement de la part de l'Ingénierie étant donné que le système des PK ne correspond pas à celui de la DR mais à une implantation proposée par le BET chargé de l'étude de traitement des dégâts. Bien que la correspondance ait été fournie par la DPETL, nous avons dû revoir ces points sur site sur la base des bornes kilométriques sur lesquelles les PK restaient visibles.
- Les dimensions des ouvrages ne sont pas toujours indiquées, certaines sont différentes de celles indiquées dans les listes fournies :
  - Exemple du PK 118 de la RR106 : sur site l'OH est composé de 24 buses D800 alors que la liste et le rapport de l'étude de traitement évoque 22 D800 ;
  - Il y a une interférence entre les ouvrages existants sur site et les ouvrages cités dans la liste : ainsi l'OH n°4 est un triple dalot (3 x 1.5) sur la liste alors que sur site il s'agit d'un dalot (1.5 x 1) et d'une buse D1000.

Pour l'état des dispositifs hydrauliques, d'assainissement et drainage, l'Ingénierie a constaté des déficiences et/ou anomalies de fonctionnement des ouvrages.

Ce constat est également évoqué dans les études et données mises à disposition de l'Ingénierie en particulier l'étude des ouvrages d'assainissement et protection des routes, transmise par la DPETL de Taroudant.

Les anomalies décelées sont détaillées ci-dessous, elles permettent de dresser un diagnostic des aménagements existants et d'en relater le risque qu'ils encourent à l'état actuel. Le risque majeur demeure la destruction de la route et/ou des ouvrages hydrauliques, en partie ou en totalité, et l'interruption du trafic provisoire ou permanente.

Une partie du tronçon se trouve dans les gorges de l'oued Tiwaldine, ce qui rend toute cette partie névralgique et vulnérable aux dégâts de crue : le point le plus marquant reste le PK 102+200 où une partie de la plateforme routière a été complètement emportée.



Figure 96 : Sapement du remblai de la RR 106 au PK 102+200

Absence de fossés de talus et/ou de pied de déblais, et de dispositifs de drainage interne pour les sections en déblai ou en profil mixte : exemple du PK 94+500.



Figure 97 : Absence de fossés au PK 94+500

Erosion des talus de certains remblais suite au débordement des écoulements sur la route : exemple du PK 96+970 où l'accotement et remblai autour de l'OH a été emporté.



Figure 98 : Dégâts de crue au PK 96+970



Absence de captage des Chaâbas en amont, ce qui cause des ravinements dans les talus de déblais et engendre des débordements des écoulements sur la route.

Ce constat est lié notamment à l'absence de fossés latéraux de déblai se raccordant à des ouvrages hydrauliques dont l'entrée est de type puisard : exemple du PK 93+270.



Figure 99 : Absence de captage amont au PK 93+270

Colmatage des entrées de certains ouvrages par transport solide, certaines entrées d'ouvrages sont complètement ensevelies et certaines sorties non dégagées : exemple du PK 96+970 pour lequel l'entrée de l'OH est complètement ensevelie comme le montre la photo ci-dessous prise depuis la sortie vers l'entrée.



Figure 100 : Colmatage de l'entrée de l'OH au PK 96+970

Absence de protection des remblais routiers au droit des ouvrages hydrauliques (perrés maçonnés) : exemple du PK 95+970 où on note l'érosion du remblai de part et d'autre des murs en ailes du dalot.



Figure 101 : Absence de protections du remblai au PK 95+970

Implantation de certains ouvrages hydrauliques non cohérente avec le sens de l'écoulement. De même la multiplication des ouvertures de faible diamètre favorise le colmatage par transport solide : exemple du PK 106+400 où le radier évidé, composé de 15 buses D800, est implanté en biais avec l'oued. La route est d'ailleurs implantée dans les gorges de l'oued.



Figure 102 : Implantation problématique de la RR 106 et de l'OH au PK 106+400

Absence de protection en enrochement des lits des Chaâbas et oueds rétablis par les ouvrages hydrauliques (OH et radiers), ce qui cause des affouillements en particulier pour des OH avec des chutes en aval : exemple du PK 109+600.



Figure 103 : Absence de protections en aval de l'OH au PK 109+600

Affouillement en pied de talus de remblai et départ d'une partie de l'accotement et de la chaussée pour des sections longeant des lits d'oueds : exemple du PK112+400 où le côté gauche a été emporté par les crues de l'oued avec un coude au droit du talus de remblai.



Figure 104 : Sapement des berges au PK 112+400



Absence de protection en zone d'about de certains radiers submersibles évidés : exemple du PK 106+400 où des affouillements sur la rive droite ont été décelés.



Figure 105 : Absence de protections contre l'affouillement au PK 106+400

#### 4.5.4.3. Synthèse

L'analyse qualitative et quantitative a mis en évidence la sensibilité de la plateforme routière, à travers une série d'indicateurs dont la synthèse est présentée ci-dessous :

- Le contexte pluviométrique et topographique est favorable à la genèse des crues : en effet les bassins versants sont bien pentés avec des couvertures végétales lâches, et des terrains fins et érodables. Le ruissellement peut être caractérisé de moyen pour des occurrences de moins de 10 ans, au-delà il est moyen à élevé, suivant la taille des bassins ;
- De par le contexte accidenté et montagneux, les crues sont de courtes durées, violentes et torrentielles surtout pour des bassins de moins de 100 km<sup>2</sup>. Pour les grands oueds, la crue peut durer plus longtemps ;
- En raison de ce faible temps de parcours, et des fortes aptitudes au ruissellement, les débits de crues peuvent être importants comme en attestent les dégâts de crue, dont une partie constatée sur site ;
- L'état des ouvrages (colmatage, absence de dispositifs amont, et de protections aux points de rejets, etc.) entraîne une réduction de la débitance des ouvrages, un débordement des écoulements sur les routes et des érosions de talus aussi bien en déblai qu'en remblai ;
- Le mauvais assainissement et/ou drainage des écoulements, notamment depuis les talus de déblai, occasionne des dysfonctionnements des ouvrages, ils sont accompagnés par des érosions de talus, ainsi que des inondations de la route ;
- L'absence de protection appropriée en pied de remblai lorsque de grands oueds longent la route, et qu'ils contrôlent des bassins versants de plus de 100, voire même 1000 km<sup>2</sup> pour certains, sont des facteurs de risque qui mettent en péril la stabilité, voire la pérennité de la plateforme routière étudiée (cas de l'oued Tiwaldine).

Ces désordres sont synthétisés dans le tableau en page suivante.



Tableau 129 – Désordres hydrauliques relevés au droit des points névralgiques du tronçon Ighrem - Assaki

Rapport de visites		Défauts et désordres constatés	Causes envisageables	Typologie des problématiques recensées	
n° point	PK			Principale	secondaire
1	93+270	Absence de fossé de pied de déblai, de pied de remblai et de drainage interne du déblai	Absence de dispositif d'assainissement	Assainissement	Absence de dispositif d'assainissement
		Erosion du talus de remblai y compris au droit des murs en ailes de l'OH et dégradation des murs de soutènement en gabions coté Chaâba	Débordement des eaux de la Chaâba sur la route et érosion pluviale	Erosion pluviale	Erosion du talus de remblai et déblai
		Ouvrage de traversée : début d'affouillement sous la dalle en béton à la sortie de l'OH favorisée par la forte dénivelée avec le fond de la Chaâba	Absence de dispositif de protection contre l'affouillement en aval	Ouvrage de franchissement d'une Chaâba	Absence de protection contre l'affouillement
		Absence de raccordement amont du puisard et de captage de la Chaâba en amont ce qui favorise le débordement sur la route	Absence d'aménagement de captage en amont		Absence de captage amont de Chaâba
		Ouvrage de traversée : absence de protection du remblai et du radier en amont et aval	Absence de dispositifs de protection		Absence de protection du remblai, ou du radier amont et aval
2	94+500	Absence de fossé de pied de déblai et de drainage interne du déblai	Absence de dispositif d'assainissement	Assainissement	Absence de dispositif d'assainissement
3	95+970	Charriage important de gros blocs	Erosion dans le bassin versant	Erosion pluviale	Erosion dans le bassin versant
		Erosion du talus de remblai y compris au droit des murs en ailes de l'OH en amont et du remblai coté Chaâba	Débordement des eaux de la Chaâba sur la route et érosion pluviale		Erosion du talus de remblai
		Ouvrage de traversée : absence de protection du remblai et du radier en amont et aval	Absence de dispositifs de protection	Ouvrage de franchissement d'une Chaâba	Absence de protection du remblai, ou du radier amont et aval
		Absence de fossé de pied de déblai et de drainage de la chaussée en déblai	Absence de dispositif d'assainissement	Assainissement	Absence de dispositif d'assainissement
4	96+970	Absence de fossé de pied de déblai et de drainage de la chaussée en déblai	Absence de dispositif d'assainissement	Assainissement	Absence de dispositif d'assainissement
		Partie de la chaussée du coté droit emportée par les crues et remblai autour de la tête aval des 2 ouvrages de traversée totalement érodée	Débordement des eaux de la Chaâba sur la route et érosion pluviale	Erosion pluviale	Erosion du talus de remblai et déblai
		Ouvrage de traversée n°1 : l'entrée n'est plus repérable sur site (probablement ensevelie sous terrain naturel)	Absence d'entretien et transport solide	Ouvrage de franchissement d'une Chaâba	Absence d'entretien de l'ouvrage
		Ouvrages de traversée n°1 et 2 : chute aval à la sortie et absence de protection contre l'affouillement	Absence de dispositif de protection contre l'affouillement en aval		Absence de protection contre l'affouillement
		Ouvrages de traversée n°1 et 2 : absence de protection du remblai et du radier en amont et aval	Absence de dispositifs de protection		Absence de protection du remblai, ou du radier amont et aval
5	102+200	Route en parallèle avec l'Oued Tiwaldine avec côté droit emporté par les crues	Erosion fluviale	Route en bordure d'un oued : érosion fluviale	Sapement des berges et du remblai routier par l'oued longeant la route
		Affouillement en pied du mur de soutènement en gabions et risque de départ lors des prochaines crues	Discontinuités du mur de protection et érosion fluviale		
		Ouvrage de traversée n°1 : érosion du remblai autour de l'ouvrage à cause de l'oued	Erosion du talus de déblai		
		Ouvrage de traversée n°2 : entrée colmatée à plus à 65 %	Absence d'entretien et transport solide	Ouvrage de franchissement d'une Chaâba	Absence d'entretien de l'ouvrage
		Ouvrages de traversée : absence de protection du remblai et du radier en amont et aval	Absence de dispositifs de protection		Absence de protection du remblai, ou du radier amont et aval
6	106+400	Franchissement de l'oued Tiwaldine par un radier submersible dégradé par les crues	Tracé de la route dans le lit de l'oued et implantation de l'ouvrage par rapport au sens de l'écoulement	Ouvrage de franchissement d'un oued	Dégradation du radier submersible
		Affouillement sous la dalle de la zone d'about de la rive droite	Erosion fluviale et absence de protection contre l'érosion		Absence d'aménagements sur les rives
		Absence de protections à l'aval du radier submersible	Absence de dispositif de protection contre l'affouillement en aval		Absence de protection contre l'affouillement
		Entrée des buses sous le RS totalement ensevelie	Transport solide et blocage par les piédroits des buses		Transport solide
7	107+100	Franchissement de l'oued Tiwaldine par un radier submersible dégradé par les crues	Tracé de la route dans le lit de l'oued et implantation de l'ouvrage par rapport au sens de l'écoulement	Ouvrage de franchissement d'un oued	Dégradation du radier submersible
		Absence de protections à l'aval du radier submersible	Absence de dispositif de protection contre l'affouillement en aval		Absence de protection contre l'affouillement
		Entrée des buses du RS totalement ensevelie	Transport solide et blocage par les piédroits des buses		Transport solide
8	109+600	Franchissement de l'oued Tiwaldine par un radier submersible dégradé par les crues	Tracé de la route dans le lit majeur de l'oued et implantation de l'ouvrage par rapport au sens de l'écoulement	Ouvrage de franchissement d'un oued	Dégradation du radier submersible
		Longueur des zones d'about insuffisante	Aménagements des extrémités du RS insuffisants		Aménagements insuffisants
		Chute en aval des buses du RS et formation d'une fosse d'affouillement sur une largeur maximale de 4 m et une profondeur de 1 m	Absence de dispositifs de protection contre l'affouillement		Absence de protection contre l'affouillement
9	112+400	Route en parallèle avec l'Oued Tiwaldine avec côté gauche emporté par les crues sur une largeur de 10 m et une longueur de 30 m	Absence de protections du remblai routier	Route en bordure d'un oued : érosion fluviale	Sapement des berges et du remblai routier par l'oued longeant la route
		Absence de fossé de pied de déblai et de drainage de la chaussée en déblai	Absence de dispositif d'assainissement	Assainissement	Absence de dispositif d'assainissement
10	114+000	Franchissement de l'oued Tiwaldine par un radier submersible dégradé par les crues	Tracé de la route dans le lit majeur de l'oued et implantation de l'ouvrage par rapport au sens de l'écoulement	Ouvrage de franchissement d'un oued	Dégradation du radier submersible
		Départ d'une partie de la chaussée et de l'accotement du coté droit	Débordement des eaux de l'oued sur la route		Erosion fluviale
		Absence de protections suffisante à l'aval du radier submersible	Absence de dispositif de protection contre l'affouillement en aval		Absence de protection contre l'affouillement
		Entrée de 6 des 22 buses du RS totalement ensevelie	Transport solide et blocage par les piédroits des buses		Transport solide
11	118+000	Franchissement de l'oued Tiwaldine par un radier submersible avec érosion sur la rive droite et dépôts sur la rive gauche, induits par le coude de l'oued en amont de la route	Tracé de la route dans le lit majeur de l'oued et implantation de l'ouvrage par rapport au sens de l'écoulement	Ouvrage de franchissement d'un oued	Dégradation du radier submersible
		Erosion en pied des gabions prévus pour rattraper la dénivelée avec le fond de l'oued en aval	Absence de dispositif de protection contre l'affouillement en aval		Absence de protection contre l'affouillement
		Second point de débordement vers la zone d'about en aval, un mur de protection -en prolongement de la zone d'about sur la rive gauche- a été mis en place mais on constate l'érosion à son pied			
		Dépôts à l'entrée d'une buse du RS	Transport solide et blocage par les piédroits des buses		Transport solide

Le tableau suivant synthétise les désordres observés pour la RR 106 :

Tableau 130 – Synthèse des désordres hydrauliques constatés aux points névralgiques – Tronçon Ighrem - Assaki

Thématiques	Typologie des problématiques recensées		Bilan des désordres constatés	
	Principale	secondaire	RR 106	
			Nombre	%
Hydraulique fluviale	Ouvrage de franchissement d'un oued	Dégradations au droit d'un pont submersible	17	45.9%
		Affouillement en aval d'un radier submersible		
		Charriage de gros blocs ou transport de sédiments		
		Dégradations ou affouillement au droit d'un pont		
		Affouillement au droit d'un radier submersible		
		Absence d'aménagements connexes (dispositifs de protection des remblais ou en amont/aval de l'ouvrage)		
	Route en bordure d'un oued : érosion fluviale	Erosion de berge/pied de remblai par attaque du courant et variations des niveaux d'eau (crue et décrue)	2	5.4%
<b>Total</b>			<b>19</b>	<b>51.4%</b>
Assainissement routier	Assainissement	Absence de réseau de collecte et d'évacuation des eaux pluviales	5	13.5%
		Absence de drainage interne de déblai		
		Absence de dispositifs de protection au droit du rejet du dispositif d'assainissement		
	Entretien du réseau	Absence d'entretien du fossé	0	0.0%
	Ouvrage de franchissement d'une Chaâba	Dégradations du talus de remblai et au débouché de l'ouvrage	9	24.3%
		Absence de dispositifs de protection du remblai routier ou au débouché des ouvrages de traversée		
		Dégradation de l'ouvrage hydraulique		
		Problème de blocage hydraulique ou de chute en aval		
		Absence de dispositifs de captage amont d'une Chaâba ou de raccordement avec le réseau latéral en amont		
		Absence d'entretien de l'ouvrage		
	Erosion pluviale	Erosion des talus de déblais et des fossés latéraux	4	10.8%
		Erosion des talus de remblais		
		Erosion du bassin versant amont		
Erosion des talus de déblais				
<b>Total</b>			<b>18</b>	<b>48.6%</b>
<b>Total hydraulique fluviale et assainissement routier</b>			<b>37</b>	<b>-</b>

Ce tableau montre que les dégâts constatés sur un échantillon de 11 points se répartissent comme suit :

- 49 % concernent l'assainissement routier : réseau de captage longitudinal, traversée transversale, érosion des remblais à cause de la pluie, envasement des entrées des ouvrages... ;

- 51 % environ se rapporte à l'hydraulique fluviale : radiers submersibles dégradés, affouillement en aval d'ouvrage hydraulique, absences de dispositifs de protection des extrémités et contre l'affouillement, sapement des berges par l'oued Tiwaldine longeant la route...

Il apparait donc à la lumière de ce diagnostic, qu'actuellement des déficiences et anomalies encombrant le bon fonctionnement de la RR106. Ces dysfonctionnements comportent un risque majeur, qui pourrait être aggravé, éventuellement, par les changements climatiques.

#### 4.5.5. Géotechnique et chaussées

##### 4.5.5.1. Contexte géologique

La route RR106 se situe dans le domaine Anti-atlasique, et plus précisément la boutonnière d'Ighrem.

L'Anti-Atlas constitue un segment de la chaîne panafricaine où les terrains précambriens affleurent dans des boutonnières disposées suivant une direction globale NE-SO.

L'Anti-Atlas occidental comporte une couverture marine d'âge paléozoïque et infracambrien supérieur (Adoudounien) dans laquelle des boutonnières font apparaître les terrains antérieurs : Infracambrien inférieur volcano-détritique (Précambrien III ou PIII) et socle plus ancien intensément tectonisé et plus ou moins métamorphique (PI, PI-II, PII et PII-III).

Au Sud-Est de Taroudant, la boutonnière précambrienne d'Ighrem est formée de massifs de quartzites ennoyés par des horizons de conglomérats grossiers et des formations volcano-détritiques recouvertes par la couverture Adoudounienne. Cette dernière débute par une série de base carbonatée et volcanique surmontée par les Dolomies inférieures et les schistes de la Série Lie-de-Vin.

D'après la figure présentée ci-dessous, les principales formations géologiques rencontrées sont :

- Du PK 75 au PK 80 : la route se développe dans les grès rouges plus ou moins grossiers avec des niveaux de conglomérat du Précambrien III ;
- Du PK 80 au PK 108 : la route se situe dans les terrains d'âge Précambrien I13 constitués de conglomérats de la formation d'Ida ou Gnidif à intercalation de pélite et grès vert PK 108 au PK 120 : ce tronçon se situe dans les formations de la couverture Adoudounienne formées de calcaires et dolomies inférieures.



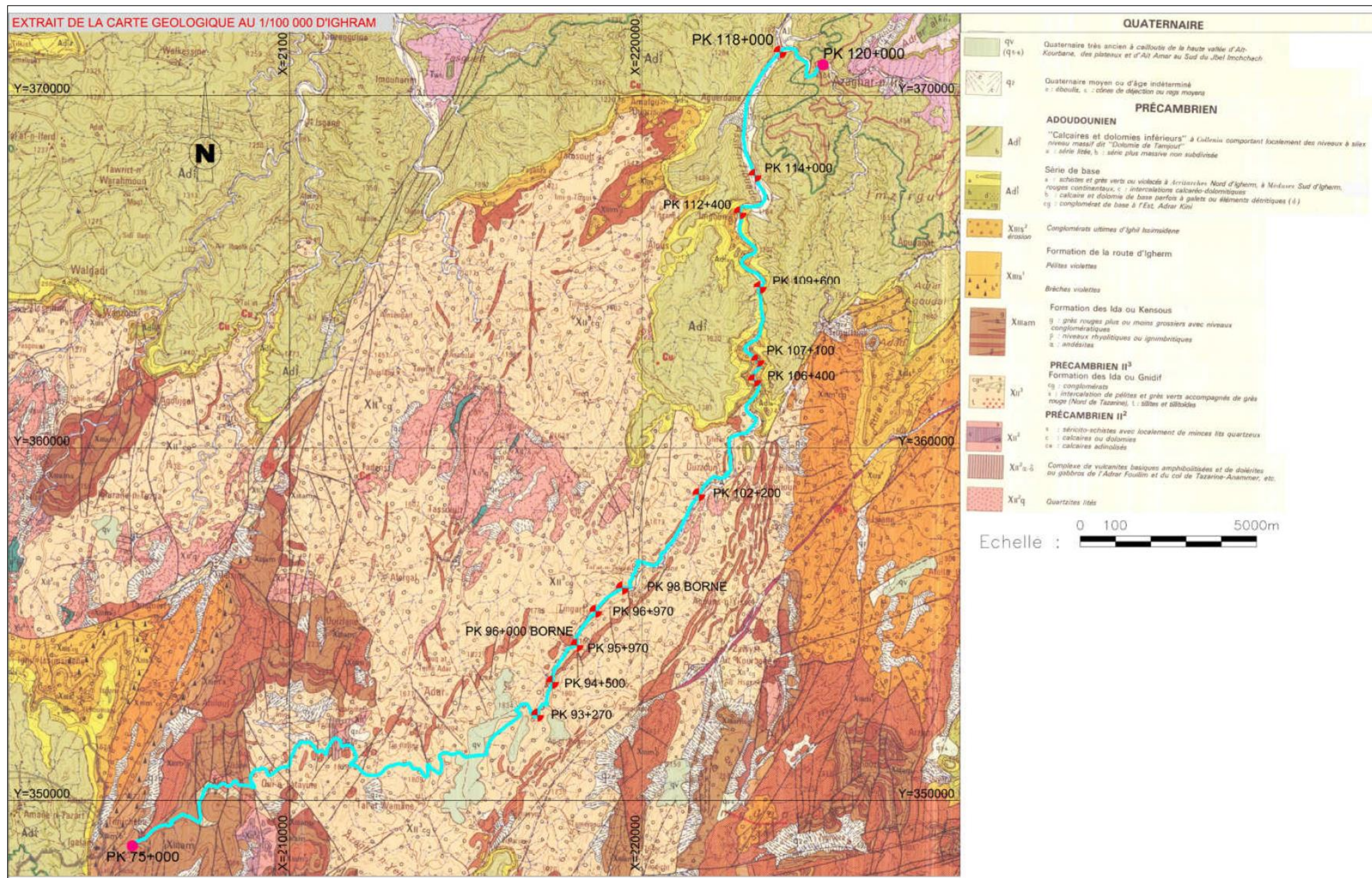


Figure 106 : Formations géologiques traversées par le tronçon Ighrem - Imilchil



#### 4.5.5.2. Diagnostic des problématiques recensées

Les différents documents mis à disposition de l'Ingénierie ne contiennent pas des informations géotechniques qui peuvent être utiles dans la présente étude.

Il est à rappeler que les documents ayant une relation avec la géotechnique ne traitent que le volet dimensionnement de la chaussée.

Le diagnostic se base par conséquent sur les appréciations relevées lors des visites de terrain. Ces missions ont mis en évidence que la route RR106 se situe dans l'Anti-Atlas et plus précisément dans la région d'Ighrem dans un environnement géologique à prédominance de conglomérat altéré en surface et affecté par un réseau de fracturation. Les versants sont dominés par les blocs de conglomérats.

Les désordres liés à la géotechnique sont relativement réduits par rapport aux tronçons nord. Les exemples des désordres rencontrés sont développés ci-après.

Les zones d'éboulements correspondent à des talus de déblai rocheux conglomératique à forte pente. Les blocs sont détachés suivant les fractures décomposant le rocher et en présence d'eau provoquant l'érosion de la matrice.

Les blocs détachés causent des dégradations de la chaussée et nécessitent des interventions permettant le rétablissement de la circulation.



Figure 107 : Zone d'éboulement PK94+500



Dans les sections longeant l'oued, la chaussée et le remblai ainsi que le mur de soutènement en gabion, sont affectés par le glissement qui s'active par sapement du pied.



Figure 108 : Mur en gabion détruit - PK102+200

L'absence de drainage à cause du colmatage des OH, entraîne la détérioration et l'érosion hydrique de la plate-forme. Ce phénomène très fréquent au niveau des Chaâbas ou thalweg nécessite des rechargements ou reconstruction des parties détruites.



Figure 109 : Chaussée détruite à cause de colmatage de l'OH – PK97

Le confortement des talus est fait généralement par les murs en gabion qui sont détériorés au voisinage des ouvrages hydrauliques (phénomène fréquent) suite au débordement des eaux sur la chaussée après colmatage des ouvrages.

L'affouillement accompagne généralement ce phénomène.



Figure 110 : Mur de soutènement en gabion démoli -PK 93+270

#### 4.5.5.3. Synthèse

L'analyse menée par l'Ingénierie a mis en évidence la sensibilité de la plateforme routière, à travers les nombreuses dégradations qu'elle a subies et les désordres fréquents dont elle souffre : chutes de blocs, sapements des berges, affaissement de chaussée, érosion de talus...

Le tableau ci-après récapitule les désordres rencontrés sur la RR106.

Tableau 131 – Désordres géotechniques et de chaussée relevés au droit des points névralgiques du tronçon Ighrem - Assaki

Rapport de visites		Défauts et désordres constatés	Causes envisageables	Typologie des problématiques recensées	
n° point	PK			Principale	secondaire
1	93+270	L'accotement coté remblai est bétonné après sa dégradation	Départ d'une partie de remblai	Dégradation de la chaussée	Accotement érodé
		Le talus en déblai est dominé par des gros blocs de conglomérat	Rocher fracturé et érodé	Instabilité rocheuse	Absence de moyen de protection approprié
2	94+500	Chaussée dégradée ( traces de blocs tombés)	Chute de blocs	Dégradation de la chaussée	Dégradation de la chaussée
		Eboulement de blocs d'ordre métrique	Le rocher de déblai est fracturés et détachés en dièdres	Instabilité rocheuse	Absence de moyen de protection approprié
3	95+970	La partie traitée coté remblai est dégradée	Absence de drainage	Dégradation de la chaussée	Accotement érodé
		Le versant en déblai est formé par des chaos de conglomérat	Rocher fracturé et érodé en pente	Instabilité rocheuse	Absence de moyen de protection approprié
4	96+970	moitié de la chaussée détruite	Voir hydraulique - assainissement	Dégradation de la chaussée	Chaussée détruite
5	102+200	Partie de chaussée reconstruite après sa destruction		Dégradation de la chaussée	Chaussée détruite
6	106+400	Route dégradée près de OH		Dégradation de la chaussée	Chaussée détruite
7	107+100	chaussée dégradée dans zone de raccordement avec le radier		Dégradation de la chaussée	Chaussée détruite
8	109+600	chaussée dégradée dans zone de raccordement avec le radier		Dégradation de la chaussée	Chaussée détruite
9	112+400	Eboulement de gros blocs	Rocher fracturé à pente raide	Instabilité rocheuse	Absence de moyen de protection approprié
		Moitié de chaussée détruite	Voir hydraulique - assainissement	Dégradation de la chaussée	Chaussée détruite
10	114+000	Départ d'une partie de la chaussée et de l'accotement du coté droit de la route	Voir hydraulique - assainissement	Dégradation de la chaussée	Chaussée et accotement détruits
11	118+000	Erosion du revêtement superficiel		Dégradation de la chaussée	Revêtement érodé

Le tableau suivant présente ces désordres suivant les thématiques concernées :

Tableau 132 – Synthèse des désordres géotechniques et de chaussée constatés aux points névralgiques – Tronçon Ighrem - Assaki

Thématiques	Typologie des problématiques recensées		Bilan des désordres constatés	
	Principale	secondaire	RR 106	
			Nombre	%
Géotechnique	Glissement de terrain	Dégradations de la chaussée	0	0.0%
		Dispositifs de protection et de confortement insuffisants ou absents		
		Absence de drainage de remblai et déblai		
		Glissement de remblai		
		Topographie défavorable		
		Prédominance de terrains marneux altérés en surface		
	Instabilité rocheuse	Chute de blocs et éboulement	4	26.7%
		Dégradation de la chaussée		
<b>Total</b>		<b>4</b>	<b>26.7%</b>	
Structure de chaussée	Dégradation de la Structure de chaussée	Chaussée détruite	11	73.3%
		Accotement érodé ou détruit		
		Revêtement érodé		
	<b>Total</b>		<b>11</b>	<b>73.3%</b>
<b>Total Géotechnique et Structure de chaussée</b>			<b>15</b>	<b>-</b>

La lecture de ce tableau montre que, sur 11 points de visites constituant l'échantillon d'analyse, 15 désordres ont été décelés dont :

- 27 % liés à la géotechnique (glissement de terrain, instabilité rocheuse) ;
- 73 % se rapportent à la structure de chaussée et caractérisent des dégradations concernant l'accotement, le revêtement ou le corps de chaussée en entier.

Il apparaît donc à la lumière de ce diagnostic, qu'actuellement ces désordres constituent un risque permanent, qui persiste tant que les interventions sont limitées à des travaux de rétablissement de la circulabilité.

Ce risque pourrait être amené à augmenter, éventuellement, à cause des changements climatiques.

## 4.5.6. Contexte socio-économique

### 4.5.6.1. La population desservie

La population sur le tronçon Ighrem-Assaki est restée quasiment stable entre 1994 et 2004 avec environ 24 000 habitants recensés sur ces deux années.

Les communes desservies par ce tronçon ont des populations relativement faibles, comprises entre 4 600 et 8 300 habitants.

	Population	
	1994	2004
Igherm	4 558	4 624
Adar	5 503	5 098
Azaghar N'Irs	6 369	5 943
Assaki	7 498	8 296
<b>Total</b>	<b>23 928</b>	<b>23 961</b>

Tableau 133 - Population desservie par le tronçon Ighrem-Assaki (R106) en 1994 et 2004

### 4.5.6.2. Les activités

Le tronçon ne dessert en 2012 aucun établissement industriel.

Il se situe dans la province de Taroudant où le taux d'activité en 2012 est de 56,4%, soit supérieur à la moyenne nationale de 48,4%.

La province accueille peu d'établissements industriels (10 établissements industriels en 2012). Ces établissements emploient toutefois près de 1 000 salariés et génèrent un chiffre d'affaires très élevé, d'environ 3 700 000 Kdh.

	Taux d'activité (%)	Nombre d'établissements	Effectifs de la main d'oeuvre	Chiffre d'affaire (Kdh)
Province de Taroudant	56,4	10	1 678	3 674 507
<b>Total</b>	-	<b>10</b>	<b>1 678</b>	<b>3 674 507</b>

Tableau 134 - Indicateurs d'activité autour du tronçon Ighrem-Assaki (2012)

### 4.5.6.3. Trafics sur le tronçon

Sur le tronçon Ighrem-Assaki, les données de trafic n'étant pas disponibles, nous avons pris comme hypothèse que le TMJA était du même ordre de grandeur que celui constaté sur le tronçon Imilchil-Er Rich (R706). Ces deux routes ont en effet des caractéristiques identiques (2x1 voies) et desservent des territoires similaires (faible densité de population).



Le trafic moyen journalier annuel estimé en 2012 est de l'ordre 1 500 véhicules.

Origine	Destination	TMJA	dont VL	dont PL1	dont PL2
Irgherm	Assaki	1 500	1 185	75	240

Tableau 135 - TMJA 2012 par section sur le tronçon Irgherm-Assaki (R106)

4.5.6.4. Fonctionnalité du tronçon

Ce tronçon est marqué par la faiblesse d'un réseau routier redondant. Aucune section n'a pu être définie à l'intérieur du tronçon.

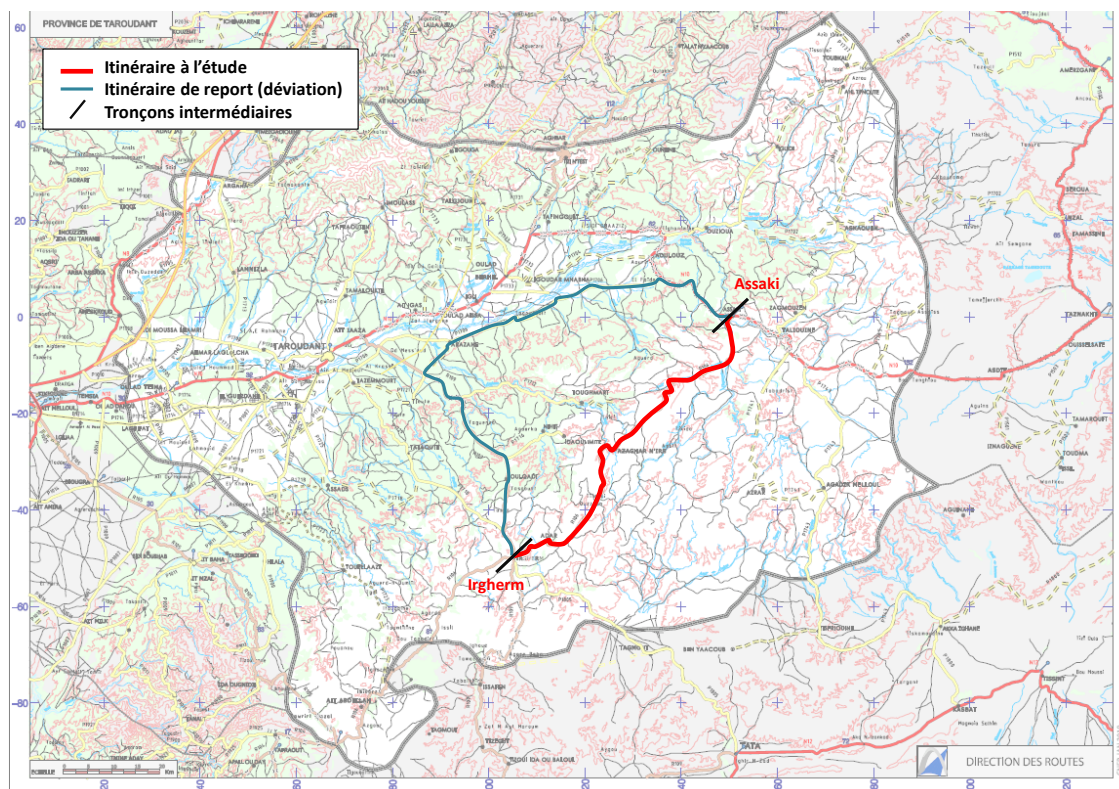


Figure 111 : Sections définies sur le tronçon Ighrem-Assaki

Les distances et temps de parcours en situation normale et en situation dégradée (lorsqu'au moins une section du tronçon est impraticable) ont été estimés via GoogleMaps. Les temps de parcours ont été définis en prenant en compte la redondance du réseau des routes nationales, régionales et provinciales. Les pistes notamment ne sont pas prises en compte pas dans l'analyse, leurs caractéristiques étant bien inférieures au niveau de service des tronçons considérés : absence de revêtement bitumineux, absence de signalisation, largeur de voie faible, et surtout possible vulnérabilité aux mêmes événements climatiques que les tronçons considérés.

Origine	Destination	Distance en situation normale (km)	Temps de parcours en situation normale (min)	Distance en situation dégradée (km)	Temps de parcours en situation dégradée (min)
Irgherm	Assaki	89	75	137	128

Tableau 136 - Distance et temps de parcours entre Ighrem et Assaki

Le temps de parcours supplémentaire moyen en situation dégradée sur ce tronçon est de 53 minutes.

## 5. ÉTAPE 4 : EVALUATION DES IMPACTS POTENTIELS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

### 5.1. APPROCHE METHODOLOGIQUE PROPOSEE

#### 5.1.1. Risques hydrologiques

##### 5.1.1.1. Quantification sommaire des impacts hydrologiques

Pour caractériser les impacts potentiels du changement climatique sur les risques hydrologiques (inondations, érosion pluviale, érosion fluviale, charriage et transport solide), nous avons examiné les impacts des variations pluviométriques sur les estimations des débits de projet, lesquels permettent de dimensionner :

- d'une part, les ouvrages hydrauliques de traversée qui assurent le rétablissement des écoulements superficiels générés par les bassins versants interceptés par l'infrastructure routière ;
- et d'autre part, les réseaux de collecte et d'évacuation des eaux pluviales dans l'emprise de la route (réseaux d'assainissement de la plate-forme routière).

Il peut être noté que nous n'avons listé ci-après que les méthodes faisant intervenir un ou plusieurs paramètres dépendant du facteur pluviométrique.

##### 5.1.1.1.1. Les méthodes d'estimation des débits de projet des ouvrages de rétablissement des bassins versants

#### LES FORMULES EMPIRIQUES POUR LES BASSINS VERSANTS NON JAUGES ≤ 20 KM<sup>2</sup> :

Il existe plusieurs formules de transfert Pluie-Débit. L'une des méthodes les plus fréquemment utilisée est la **méthode rationnelle**, qui permet d'approcher le débit de crue pour différentes occurrences, moyennant la prise en compte de l'aptitude au ruissellement, la surface du bassin versant et l'intensité de la pluie, et ce comme suit :

$$Q(T) = \frac{C(T) \times I(T, t_c) \times A}{3.6}$$

Avec :

- Q(T) : Débit de pointe de la crue en m<sup>3</sup>/s ;
- T : Période de retour (ans) ;
- C(T) : Coefficient de ruissellement ;
- I(T, t<sub>c</sub>) : Intensité de la pluie en mm/h ;
- A : Superficie du bassin versant en km<sup>2</sup> ;
- t<sub>c</sub> : Temps de concentration en min.

Pour l'application de la méthode rationnelle, deux paramètres dépendent de la pluviométrie :

- **l'intensité de la pluie** : les modèles climatiques fournissent l'évolution des pluies annuelles et/ou journalières, mais ils ne fournissent pas l'évolution des caractéristiques de la pluie à des pas de temps inférieurs (pluies horaires et infra-horaires). En l'absence d'information sur les variations des intensités pluviométriques, nous avons pris l'hypothèse que les pluies de durées inférieures à 24 heures évoluent sur les mêmes variations que les pluies journalières. Ainsi, dans la suite du rapport, la variation de l'intensité de la pluie sera égale à la variation de la pluie journalière ;
- **le coefficient de ruissellement** : la valeur du coefficient de ruissellement varie avec l'intensité de la pluie, mais cette variation diffère selon le degré de perméabilité et de rétention des sols constituant le bassin versant. La variabilité du coefficient de ruissellement est fonction de la rétention initiale  $P_0$  du bassin versant :
  - pour  $T = 10$  ans, le coefficient  $C_{10}$  est défini en fonction de la nature géologique des sols, de la morphologie et de la couverture végétale ;
  - pour  $T > 10$  ans, le coefficient  $C_T$  est défini à partir de la formule suivante :

$$C_T = 0.8 \cdot \left(1 - \frac{P_0}{P_T}\right)$$

avec  $P_T$  : pluie journalière de période de retour  $T$  (mm) et  $P_0$  : rétention initiale (mm) déduite de  $C_{10}$  (coefficient de ruissellement décennal) :

si  $C_{10} < 0,8$ ,  $P_0 = (1 - C_{10}/0,8) \cdot P_{10}$  avec  $P_{10}$  : pluie journalière décennale,

si  $C_{10} \geq 0,8$ , on admettra  $P_0 = 0$  et  $C_T = C_{10}$ .

Partant du constat que pour les postes étudiés (AL HOCEIMA, TAZA, ERRACHIDIA et AGADIR) les variations des quantiles des pluies journalières maxi-annuelles sont peu différentes, les variations des coefficients de ruissellement entre la période de référence et les horizons futurs seront très faibles (dans la globalité de l'ordre de 1%), celles-ci ont été négligées au regard des incertitudes existants sur le choix des coefficients de ruissellement pour la période de retour décennale.

Une autre formule est utilisée au Maroc, il s'agit de la formule de Mac Math, applicable jusqu'à 10 km<sup>2</sup>, et qui s'exprime comme suit :

$$Q_T = K \times P(24h, T) \times A^{0.58} \times i^{-0.42}$$

Avec :

$Q_T$  : Débit maximal de période de retour  $T$  en (m<sup>3</sup>/s) ;

$K$  : Coefficient qui dépend du couvert végétal et de la topographie du bassin versant ;

$A$  : Superficie du bassin versant (en km<sup>2</sup>) ;

$i$  : Pente du plus long talweg (en m/m) ;

$P(24h, T)$  : Précipitation maximale en 24 heures (en mm).

Pour l'application de la formule de Mac Math, un seul paramètre dépend de la pluviométrie, il s'agit de la pluie maximale en 24 heures. Celle-ci peut être estimée par la pluie journalière maxi-annuelle à partir de la correction de Weiss :  $P(24h, T) = 1,143 \times P_{jmax}(T)$ .

#### LES METHODES APPLIQUEES AUX BASSINS VERSANTS JAUGES :

Pour les bassins versants jaugés, les débits de crue sont estimés d'une part, par analyse statistique des chroniques des débits observés à la station de mesure et d'autre part, par application de la méthode du gradex pour les débits de fréquences rare et exceptionnelle.

La méthode du gradex utilise l'information pluviométrique pour extrapoler la distribution de fréquence des débits. La méthode part du principe que lorsque le débit dépasse une certaine valeur le sol est saturé. Cette valeur dénommée débit seuil (ou point pivot), peut varier du débit décennal au débit cinquantennal selon les sols et les caractéristiques du bassin versant. Ainsi, pendant le temps de base de ruissellement D (assimilé à la durée caractéristique), tout accroissement de pluie induit le même accroissement en débit.

La formulation est la suivante pour les débits instantanés :

$$Q_p(T) = Q_p(T0) + [(u(T) - u(T0)) * Gp * Rm * S / (3,6D)]$$

avec :

$Q_p(T)$  : débit de pointe en  $m^3/s$  ;

$Q_p(T0)$  : débit de pointe du seuil d'extrapolation (point pivot) en  $m^3/s$  ;

D : temps de base de l'hydrogramme de ruissellement ou temps de concentration du bassin versant en heures (assimilé à la durée caractéristique) ;

Gp : gradex des pluies pour la durée caractéristique ;

Rm : coefficient de forme (rapport débit instantané/débit moyen sur la durée D) ;

T : période de retour en années ;

T0 : période de retour du seuil d'extrapolation (point pivot) en années ;

S : superficie du bassin versant ( $km^2$ ) ;

u : variable de Gumbel.

$$u = -\ln \left[ -\ln \left( 1 - \frac{1}{T} \right) \right]$$

Il en ressort donc que pour les bassins versants jaugés, la variation des débits est égale à la variation du débit de pointe du seuil d'extrapolation (déterminé par analyse statistique des débits observés) et à la variation du gradex des pluies.

##### 5.1.1.1.2. Les méthodes d'estimation des débits de projet des réseaux d'assainissement des plates-formes routières

La méthode de dimensionnement des réseaux d'assainissement est fondée sur l'application de la méthode rationnelle telle que présentée au chapitre ci-avant.

##### 5.1.1.1.3. Tableau de synthèse des méthodes retenues pour la quantification des impacts hydrologiques

Le tableau en page suivante synthétise les méthodes retenues pour la quantification des impacts hydrologiques générés par le changement climatique.

Il peut être noté que globalement, la variation des débits est égale à la variation des pluies journalières maxi-annuelles.

Tableau 137 – Tableau de synthèse des méthodes retenues pour la quantification des impacts hydrologiques

Bassins versants (BV)	Formules empiriques ou méthodes d'estimation des débits de projet		Paramètres dépendant du facteur pluviométrique	Hypothèses	Variation du débit de pointe en fonction de la variation générée par le changement climatique
BV non jaugés	Méthode rationnelle	$Q(T) = \frac{C(T) \times I(T, t_c) \times A}{3.6}$	intensité de la pluie	$\Delta i = \Delta P_{jmax}$	$\Delta Q(T) = \Delta P_{jmax}(T)$
			coefficient de ruissellement	$C_T = 0.8 \cdot (1 - \frac{P_0}{P_T})$ $P_0 = (1 - C_{10}/0.8) \cdot P_{10}$	
	Formule de Mac Math	$Q_T = K \times P(24h, T) \times A^{0.58} \times i^{0.42}$	Pluie maximale en 24h	$P(24h, T) = 1,143 \times P_{jmax}$	$\Delta Q(T) = \Delta P_{jmax}(T)$
BV jaugés	Analyse statistique des chroniques de débits observés et application de la méthode du gradex	$Q_p(T) = Q_p(T_0) + [(u(T) - u(T_0)) * Gp * Rm * S / (3,6D)]$	Gradex des pluies	-	$\Delta Q_p(T) = \Delta Q_p(T_0) + \Delta Gp$

**Légende :** $\Delta$  : variation $i$  : intensité de la pluie $P_{jmax}(T)$  : pluie journalière maxi-annuelle de période de retour  $T$  $P(24h, T)$  : pluie maximale en 24h $Q(T)$  : débit de pointe selon la période de retour  $T$  $Q_p(T)$  : débit de pointe instantané $Q_p(T_0)$  : débit de pointe instantané pour le seuil d'extrapolation $Gp$  : gradex des pluies $P_0$  : rétention initiale $P_{10}$  : pluie journalière décennale $P(T)$  : pluie journalière de période de retour  $T$  $C_T$  : coefficient de ruissellement de période de retour  $T$  $C_{10}$  : coefficient de ruissellement décennal



### 5.1.1.2. Analyse des incertitudes hydrologiques

#### 5.1.1.2.1. Les sources d'incertitude

Les sources d'incertitude concernent d'une part l'analyse fréquentielle et d'autre part, les méthodes d'estimation des débits.

L'analyse fréquentielle est une méthode statistique de prédiction consistant à étudier les événements passés afin d'en définir les probabilités d'apparition future. Dans le cas présent, l'analyse fréquentielle a pour objectifs de définir les paramètres hydropluviométriques, c'est-à-dire à caractériser la pluviométrie et l'hydrométrie (hauteurs d'eau et débits mesurés aux stations).

A chacune des principales étapes de l'analyse fréquentielle des pluies et des débits des incertitudes existent :

- au niveau de l'étape de collecte de l'information historique : les incertitudes potentielles proviennent d'une part, dans les mesures qui sont effectuées par les gestionnaires des stations (liées au matériel et/ou à l'opérateur) et d'autre part, par la collecte et la mise en forme de l'information (erreurs de report, de saisies des données,.....) ;
- au niveau de l'étape de constitution de la chronique : cela peut concerner par exemple la prise en compte de valeurs issues d'années incomplètes, la prise en compte ou non d'une valeur exceptionnelle (un horsain) peut modifier de façon sensible la fonction de répartition ;
- au niveau de l'étape de choix du modèle fréquentiel : il existe de nombreuses lois statistiques, et c'est du choix du modèle fréquentiel (loi de Gumbel ou autres lois statistiques) que dépend la fiabilité des résultats ;
- au niveau de l'étape de l'ajustement du modèle fréquentiel : il s'agit des incertitudes d'échantillonnage qui sont, d'un point de vue pratique, représentées par un intervalle de confiance.

Dans la suite de ce chapitre, nous présentons d'une part, les incertitudes calculables de l'analyse fréquentielle, soit les incertitudes d'échantillonnage et d'autre part, les incertitudes des méthodes de calcul des débits.

#### 5.1.1.2.2. Incertitudes sur l'estimation des quantiles

Pour mieux approcher ces incertitudes, l'Ingénierie a examiné les intervalles de confiance des quantiles des pluies journalières maxi-annuelles, des pluies annuelles et des intensités de pluie estimées dans la partie de diagnostic.

On appelle intervalle de confiance à p % sur l'estimation d'une variable X(T), l'intervalle limité par deux bornes P1 et P2 de manière à ce que l'on ait p % de chance que :  $P1 < X(T) < P2$ .

En analyse statistique appliquée à l'hydrologie, on prend généralement p égal à 90 %. Cette valeur est associée généralement à un paramètre  $\alpha$ , dit seuil de risque, avec :  $\alpha = 1 - p$ .

La détermination des intervalles de confiances autour d'un quantile dépend de la loi statistique utilisée. Ainsi pour la loi de Gumbel, qui a été retenue par l'Ingénierie, ces intervalles s'expriment en fonction de l'écart type  $\sigma$  comme suit :

$$X'(T) - T_2 \cdot \sigma < X(T) < X'(T) + T_1 \cdot \sigma$$

Avec T1 et T2 des paramètres dépendant de la taille de l'échantillon, de la fréquence F et de la valeur de  $\alpha$ . Ces deux paramètres sont évalués comme suit (avec le signe + pour T<sub>1</sub> et - pour T<sub>2</sub>) :

$$T_{1,2} = \frac{\frac{z_{1-\alpha/2}}{\sqrt{n}} \sqrt{1+1.1396 K_q+1.1K_q^2} \pm \frac{z_{1-\alpha/2}^2}{n} (1.1K_q+0.5772)}{1 - \frac{1.1z_{1-\alpha/2}^2}{n}}$$

Où  $z_{1-\alpha/2}$  désigne la variable normale centrée réduite correspondant à la fréquence au non dépassement  $1 - \alpha/2$ , et  $K_q$  variable réduite de Gumbel correspondant à la fréquence au non dépassement  $F$ , ramenée à sa moyenne et à son écart type :

$$K_q = \frac{-\text{Ln}(-\text{Ln}F) - 0.577}{1.28}$$

On considère pour la suite d'analyse un seuil de risque à 10 %, ce qui correspond à des intervalles de confiance à 90 %. C'est-à-dire qu'on cherche l'intervalle à l'intérieur duquel les quantiles des pluies (maximales journalières) annuelles se situent à 90 %.

#### 5.1.1.2.3. Incertitudes liées aux méthodes d'estimation des débits

Comme indiqué auparavant il existe plusieurs formules de transformation Pluie-Débit pour l'estimation des débits de projet. Chaque méthode comporte des incertitudes à travers les paramètres qui entrent en jeu, on ne présente ci-après que les principales méthodes faisant intervenir directement les facteurs pluviométriques.

#### **METHODE RATIONNELLE :**

Cette méthode est la plus fréquemment utilisée pour les petits bassins versants du fait de sa simplicité.

L'hypothèse de base étant que le débit maximal se produit lorsque la durée d'une précipitation d'intensité constante et de distribution uniforme est égale au temps de concentration du bassin. Ce temps est défini comme le temps que prendra l'eau de ruissellement pour parcourir la distance entre le point le plus éloigné de l'exutoire et ce dernier.

Cette hypothèse de base s'accompagne d'autres hypothèses et d'incertitudes afférentes :

- Pour la précipitation de durée égale au temps de concentration la période de retour du débit de pointe est identique à celle de la pluie ;
- Le taux maximal de ruissellement est une portion du taux de pluie, d'où la linéarité entre le débit et la pluie ;
- Le coefficient de ruissellement est le même pour des précipitations de différentes occurrences et pour tout évènement de pluie sur un même bassin versant.

Certains auteurs remettent en cause ces hypothèses pour le cas de bassin de type rural en particulier les points suivants :

- un temps de concentration unique pour un bassin versant est une hypothèse simpliste, mais certaines simulations montrent que le temps d'écoulement le long d'un bassin versant peut varier en fonction de l'importance du débit ;
- une pluie d'une occurrence donnée ne provoquerait pas forcément un ruissellement de période de retour identique : en effet les conditions antécédentes d'humidité peuvent influencer la réponse hydrologique d'un bassin ;
- Certains organismes ont fait étudier une même série de bassins versants par plusieurs spécialistes et ont ensuite comparé les résultats. Les conclusions de ces spécialistes ont mis en exergue des différences relatives sur les débits de pointe allant jusqu'à 400 %.

Ces différences sont induites principalement par la diversité des méthodes de détermination du coefficient de ruissellement et du temps de concentration.

*Coefficient de ruissellement :*

Le coefficient de ruissellement est un élément important intervenant dans la transformation pluie-débit. Plusieurs tables sont disponibles dans la littérature pour estimer ce paramètre. A cet égard on cite la table BCEOM qui est présentée dans le guide « Hydraulique Routière » édité par le Bureau Continental des Etudes Outre-Mer en 1981. Elle est tirée d'un Rapport sur une mission en Afrique Noire effectuée pendant mai-juin 1950 par MM. BONNENFANT et R. PELTIER.

Tableau 138 – Table BCEOM du coefficient de ruissellement

Code	Nature de la couverture végétale	Petits bassins de 0 à 10 Ha				Bassins moyens de 10 à 1500 Ha			
		Présentant une pente de :							
		Moins de 5%	De 5 à 10%	De 10 à 30%	Plus de 30%	Moins de 5%	De 5 à 10%	De 10 à 30%	Plus de 30%
1	Plates-formes et chaussées de routes	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
2	Terrain dénudé ou à végétation non couvrante, Terrains déjà entachés par l'érosion, Labours frais	0.8	0.85	0.9	0.95	0.7	0.75	0.8	0.85
3	Cultures couvrantes, Céréales hautes, Terrains de parcours, Petite brousse clairsemée	0.75	0.8	0.85	0.9	0.52	0.6	0.72	0.8
4	Prairies, Brousses denses, Savane à sous-bois	0.7	0.75	0.8	0.85	0.3	0.36	0.42	0.5
5	Forêt ordinaire en futaie, sous-bois touffus	0.3	0.5	0.6	0.7	0.13	0.2	0.25	0.3
6	Grande forêt primaire	0.2	0.25	0.3	0.4	0.15	0.18	0.22	0.25
Hydraulique routière page 115		0 à 0.1 km <sup>2</sup>				supérieur à 0.1 km <sup>2</sup>			

Les auteurs de l'« Hydraulique Routière » indiquent que cette table donne des résultats cohérents avec les mesures expérimentales. Cette formule est utilisée avec pondération pour tenir compte des :

- Surfaces pavées;
- Surfaces cultivées ;
- Surfaces dénudées ;
- Surfaces boisées.

On note que l'appréciation des types de couvertures végétales reste délicate : ainsi pour un bassin de plus de 0.1 km<sup>2</sup>, un terrain considéré comme dénudé au lieu de terrain de parcours induit une augmentation de coefficient de ruissellement, et donc de débit de pointe, de 10 à 35 %.

*Temps de concentration :*

Le temps de concentration, est généralement estimé à partir de formules empiriques élaborées dans des pays différents et des contextes climatiques et orographiques différents.

L'une des approches fréquemment utilisée au Maroc consiste à l'estimer par les 9 formules suivantes : Kirpich, Turraza, Espagnole, Ventura, Californienne, Ven Te Chow, Us corps, Giandotti et Setra. Puis on écarte les valeurs faibles et fortes, et on retient la moyenne des 5 formules restantes.

Il est à noter qu'en novembre 1984, une formation continue a été faite au niveau de la DRC, division technique par Mijuskovic Branislav, il a élaboré un document dans lequel on présente les différentes formules d'estimation du temps de concentration sans préciser laquelle adopter. On note dans ce document qu'il présente les formules comme donnant des temps de retard tg et que :  $tc=2.2 \text{ tg}$ .

L'expertise de l'Ingénierie en matière des études hydrologiques et hydrauliques routières a mis en exergue que cette majoration était souvent pratiquée sur une partie des 9 formules choisies (Espagnole, Californienne et US Corps), et que les valeurs fortes de tc sont généralement celles des formules ayant été majorées de 2.2.

On présente ci-après, à titre indicatif, les résultats d'application de ces formules en cas de majoration d'une partie et si on opère une moyenne ciblée, ainsi que l'écart par rapport à l'utilisation d'une formule seule (exemple de Kirpich) :

Tableau 139 – Comparaison du temps de concentration issus de plusieurs formules

Bassin			Temps de concentration en minutes										
A (km²)	L (km)	P (m/m)	Kirpich	Turraza	Espagnole	Ventura	Californienne	VanTeChow	US Corps	Giandotti	SETRA	Moyenne ciblée	Ecart Kirpich
0.25	0.94	0.12	8.3	11.7	23.9	11.2	19.0	14.1	23.9	34.5	39.3	18.4	122%
0.02	0.23	0.13	5.0	5.0	8.0	5.0	6.1	5.5	8.0	16.2	9.6	6.5	30%
0.10	0.43	0.07	5.5	8.4	14.4	8.9	12.5	9.9	14.4	35.9	18.0	12.0	121%
0.03	0.29	0.17	5.0	5.0	9.1	5.0	6.6	5.9	9.1	17.6	12.1	7.1	42%
0.18	0.87	0.12	7.8	10.2	22.6	9.4	18.0	13.5	22.6	31.4	36.4	17.2	120%
0.38	0.96	0.09	9.2	15.2	25.3	15.4	21.1	15.4	25.3	43.9	39.9	20.5	123%
0.01	0.26	0.19	5.0	5.0	8.2	5.0	5.8	5.3	8.2	11.9	10.8	6.5	30%
0.47	1.14	0.06	12.8	22.3	31.9	22.2	29.4	20.3	31.9	59.3	47.6	27.1	112%
0.17	0.52	0.09	5.7	9.5	15.9	10.4	13.1	10.4	15.9	37.2	21.6	13.1	129%
1.18	2.63	0.07	22	36	26	31	23	32	26	65	110	28	25%
0.30	1.38	0.03	19	29	19	25	20	29	19	73	57	22	16%
0.20	1.07	0.03	15	22	15	19	16	24	15	63	45	18	17%
0.16	0.55	0.03	9	16	9	16	9	15	9	59	23	12	33%
0.68	1.82	0.05	19	30	21	27	19	28	21	65	76	23	25%
0.06	0.29	0.09	5	6	5	6	5	7	5	30	12	6	15%
0.70	1.74	0.11	13	20	17	19	14	21	17	45	73	18	33%
5.65	5.58	0.04	49	103	51	91	51	62	51	127	232	62	26%
0.36	0.99	0.01	29	64	20	64	30	40	20	183	41	35	22%
0.70	1.59	0.01	38	85	28	81	40	50	28	193	66	46	19%
0.81	1.77	0.01	42	93	31	87	44	54	31	200	74	49	18%
0.16	0.52	0.01	13	28	11	30	14	21	11	109	21	17	31%

Le tableau met en avant des écarts sur le temps de concentration, suivant l'approche suivie, qui peuvent varier de 15 à 130 %. Ce qui se traduit par un impact sur les débits de pointe entre 8 et 64 %.

Ceci montre la sensibilité de ce paramètre puisqu'une surestimation du temps de concentration de 10 à 20 minutes par exemple, induit une sous-estimation de débit de 5 à 50 %. D'où l'importance du choix de la formule la plus appropriée pour l'estimation de ce paramètre.

*Intensité de pluie :*

L'intensité de pluie est un paramètre important qui intervient dans la formule Rationnelle. Il représente la quantité de pluie tombée en une durée donnée, prise généralement égale au temps de concentration.

Son estimation se fait généralement par la relation de Montana :  $I(T) = a(T) \cdot t_c^{-b(T)}$ .

Les 2 paramètres a et b sont issus du dépouillement des enregistrements des pluviographes, sur des pas de temps allant de 5 à 360 minutes.

Plusieurs incertitudes peuvent accompagner l'estimation des intensités de pluie :

- Choix du pluviographe de référence : généralement on privilégie des postes proches et d'altitudes comparables. Toutefois, ces données ne sont pas toujours disponibles à cause :
  - soit de l'absence de pluviographe ;
  - soit du non dépouillement de données enregistrées actualisées.
- Mode d'élaboration des paramètres de Montana : lors de l'acquisition de courbes IDF auprès de la DMN nous avons constaté que certaines majorations étaient faites avant d'estimer les couples (a(T), b(T)) par corrélation linéaire. De ce fait, certaines intensités peuvent être surestimées.

**METHODE DU GRADEX :**

La description de la méthode du Gradex se trouve dans l'article de P. Guillot et D. Duban (1968).

Le principe de cette méthode, a été évoqué auparavant. Il s'agit d'estimer les débits de pointe à travers la variation de pluies journalières maximales annuelles en supposant qu'à partir d'une période de retour charnière, tout ce qui tombe ruisselle.

Le ruissellement estimé est alors transformé en volume, puis en débit de pointe moyennant un coefficient de pointe, Cp, traduisant la relation débit instantané maximal annuel vs. Débit journalier maximal annuel.

Cette méthode comporte elle aussi des incertitudes entachant l'estimation de certains paramètres, pour son application aux stations hydrométriques de référence, puis la transposition vers les sites non jaugés.

*Réseau de mesure :*

La densité du réseau de mesure de pluie et/ou de débit est un des points importants dans le processus d'estimation des débits de pointe.

En effet plus le réseau est dense, plus la donnée hydro-climatique prise en compte est pertinente et représente de manière assez fiable le comportement de la zone étudiée.

Cette densité est à combiner à l'état des données des postes existants : on citera par exemple la zone d'Ighrem se trouvant sur la rive gauche de l'oued Souss et qui est doublement pénalisée par :

- la faible densité du réseau de mesure, car mis à part le poste d'Ighrem, les postes existants et exploitables sont ceux d'Immerguen et Taliouine vers l'Est et de Taroudant vers le Nord ;
- Le poste d'Ighrem ne dispose pas de données actualisées depuis les années 1980 ;
- Aucune station hydrométrique n'existe sur cette rive du Souss, ce qui fait que l'estimation des débits comporte des incertitudes importantes.



*Site jaugés :*

L'exploitation de la méthode nécessite des données de pluie et de débit dans le bassin versant de la station de référence pour aboutir aux débits de projet.

Généralement le réseau de pluie est plus suivi et comporte des séries de longueurs plus importantes que celle de débits de pointe et débits journaliers.

Les pluies journalières maximales annuelles peuvent faire l'objet d'une analyse critique pour déceler les valeurs aberrantes et les écarter en cas de non homogénéité avec celles des postes avoisinants.

Pour les débits, cette opération est plus délicate : en effet les débits sont généralement issus de la conversion des hauteurs de mesure vers des débits instantanés, via des courbes d'étalonnage.

L'expérience de l'Ingénierie lui a permis de relever un nombre d'incertitudes affectant cette conversion, dont on citera :

- L'élaboration de ces courbes nécessite la disponibilité de jaugeages ou mesures de débits pour les crues, en particulier pour les hautes eaux, mesures qui ne sont généralement pas disponibles ;
- L'extrapolation de la courbe se fait parfois de manière approximative, sans analyse hydraulique, ce qui peut fausser les débits maximums ;
- L'actualisation des courbes doit se faire de manière régulière et se baser sur des profils en travers et en long actualisés. Or les courbes exploitées ne sont pas toujours cohérentes avec la période de validité des courbes élaborées ;
- En basses et moyenne eaux, l'incertitude sur les courbes peut affecter notablement les cumuls journaliers.

Cette incertitude se traduit également pour le coefficient de pointe dans la méthode Rationnelle. En effet si les débits de pointes et journaliers sont entachés d'incertitudes, ce quotient peut conduire à des sous-estimations de débits importantes.

Une sous-estimation de 20 % de ce coefficient, conduit automatiquement à un débit sous-estimé de 20%.

*Site non jaugés :*

La transposition des débits de projet vers les sites non jaugés se font généralement via des formules de type Francou-Rodier ou pas débits spécifiques.

L'Ingénierie précise que ces 2 méthodes supposent que la pluviométrie, morphologie et taille des bassins, jaugé et non jaugé, soient comparables. Or cette hypothèse n'est généralement pas remplie et peut conduire à une sur ou sous-estimation des débits de pointe.

Il est possible, certes, de caler des formules régionales sur ces débits et de les appliquer aux sites non jaugés. Toujours est-il qu'au Maroc, les surfaces contrôlées par les stations hydrométriques sont généralement supérieures à 200 km<sup>2</sup>.

L'absence, en général, de stations jaugeant des bassins versants entre 20 et 200 km<sup>2</sup> conduit à des incertitudes de débits qui peuvent varier de 50 à 100 %.

## CONCLUSIONS :

L'estimation des débits de pointe est souvent une opération difficile à appréhender, et entachée d'incertitudes relatives aux paramètres de calculs, données de base hydro-pluviométriques...

Les incertitudes sur les débits de pointe sont variables, suivant les périodes de retour, avec des différences relatives par rapport à des débits vraisemblables entre 10 et 100 %, voire même 400 % dans des cas particuliers (cas par exemple de l'utilisation de formules de calcul inadaptées et/ou dont les unités ont été mal converties depuis le système américain vers le système international).

### 5.1.1.3. Evaluation qualitative des impacts du changement climatique

#### 5.1.1.3.1. Hypothèses

Outre le débit de projet, d'autres paramètres physiques ou géomorphologiques sont liés à la pluviométrie, de manière directe ou indirecte, dont on citera :

- Les inondations induites par des événements forts à exceptionnels, et dont les dégâts sont tributaires des ouvrages de traversées de la petite hydraulique et de franchissement de la moyenne et grande hydraulique : calage en lit mineur et/ou majeur, obstacles des piédroits, ouverture hydraulique offerte à l'écoulement, implantation en plan... ;
- L'érosion : l'érosion pluviale affecte à la fois les talus de déblai et de remblai et provoque des ravinements sur ces surfaces. Les matériaux érodés sont par la suite lessivés par les pluies et par conséquent transportés depuis le déblai vers le remblai, ou piégés dans le réseau d'assainissement longitudinal (fossés, caniveaux...) ou transversal (dalots ou buses). L'érosion fluviale peut se produire dans le cas d'écoulement d'oueds longeant des remblais de plateformes routières, surtout en absence de protections appropriées ;
- L'affouillement : ce phénomène traduit des érosions du lit des oueds au droit d'obstacles hydrauliques et/ou de modification de la largeur hydraulique au droit d'ouvrages de franchissement. On le rencontre particulièrement à la sortie de ponceaux (buses, dalots ou voûtes), ainsi qu'au droit des piles ou culées des ponts et viaducs routiers. Des vitesses d'écoulement importantes, combinées à une absence de protection appropriées, peut conduire à une dégradation de ces ouvrages avec des degrés variables : destruction et pertes de têtes d'ouvrages hydraulique, affouillement du radier, fosse d'affouillement en aval avec risque de destruction totale du pont... ;
- Le charriage et transport de sédiments : le transport solide de gros blocs ou de sédiments peut être favorisé par des activités humaines liées à l'aménagement du territoire dans les parties amont de bassin versant, et la nature géologique des formations rencontrées. Ces éléments peuvent alors être transportés par les eaux pluviales ou fluviales et se retrouver au niveau des ouvrages de traversée. Leur piégeage au niveau de ces ouvrages hydrauliques peut en réduire la débitance et constituer des points d'étranglement, et donc d'inondation éventuelle des routes interceptant les écoulements.

Il est toutefois difficile d'apprécier l'impact climatique sur ces phénomènes physiques de manière quantitative. Seule une appréciation qualitative pourrait être envisagée :

- Les inondations : sont fortement corrélées aux événements extrêmes mais également à l'état du réseau longitudinal et transversal. On notera toutefois, qu'avec des aménagements inchangés, une augmentation des valeurs extrêmes ( $P_{jmax}$ , intensités de pluie) entraînerait une aggravation probable de l'inondation des plateformes routières. De même on pourrait s'attendre éventuellement à une baisse de la fréquence d'inondation de ces voies en cas de baisse de ces maximas ;

- L'érosion est corrélée à l'intensité des pluies quand elle est pluviale, et aux valeurs extrêmes de pluie et débit pour celle induite par les oueds. Une augmentation de ces grandeurs physiques induirait probablement une amplification de ce phénomène. De même on pourrait s'attendre à une réduction de l'érosion en cas de baisse de ces paramètres ;
- L'affouillement est fortement lié aux vitesses d'écoulement, et donc à la variation des débits de pointe ;
- Le charriage est un phénomène complexe qui reste difficile à appréhender, son évolution ne pourrait être réduite à la variable débit de crue ou pluie extrême. On notera toutefois que l'augmentation des débits des Oueds et Chaâbas pourrait induire un rehaussement des vitesses d'écoulement, et par conséquent de ce phénomène. De même qu'une baisse de débits entraînerait une réduction de ce phénomène.

Ces appréciations comportent des incertitudes, en effet d'autres paramètres autres que les maximas de pluies journalières peuvent intervenir pour ces phénomènes :

- L'inondation peut être amplifiée par le transport solide de sédiments, qui peuvent, sous l'effet thermique, se solidifier et former une tranche morte à l'intérieur des ouvrages hydrauliques. L'inondation dépend aussi de l'antécédent d'humidité de sol, et traduit une réponse hydrologique du bassin versant qui n'est pas toujours simple à appréhender. Ainsi, avec les mêmes cumuls annuels de pluie et des maximas de pluie journalière comparables, des événements moins prononcés peuvent produire des inondations plus importantes suivant l'état de saturation du sol induite par les 5 jours de pluies précédents ces événements.

Elle peut aussi être affectée par le rehaussement du niveau de la marée ;

- L'érosion pluviale peut être intensifiée par l'altération des formations géologiques rencontrées, et dont une partie peut être induite par les variations entre les températures maximales et minimales et les cycles gel/dégel. Cette érosion est aussi affectée par la nature et qualité du couvert végétal : une raréfaction ou diminution de ce dernier peut altérer la résistance des sols à l'érosion et les rendre plus vulnérable même si l'intensité de pluie baisse.

Cette hypothèse est fort probable puisque les modèles de changements climatiques s'accordent généralement quant à l'augmentation de la température dans l'avenir et la diminution des pluies, ce qui peut affecter la densité et qualité de la végétation qui représente généralement une protection superficielle des sols ;

- Les changements de lit des oueds, pour des lits instables ou dont le tracé en plan est sinueux, peut affecter également l'érosion fluviale au droit d'un remblai routier limitrophe ;
- Le charriage peut être amplifié, même en cas de baisse de pluies extrêmes, par la détérioration de formations géologiques dans la partie amont de bassins versants à cause des variations thermiques.

Ces constats traduisent la difficulté d'apprécier l'évolution qualitative de ces phénomènes, sur la base uniquement de la pluie annuelle et/ou des maximas de pluie journalière.

Une appréhension de ces évolutions nécessiterait probablement des modèles de changement climatique plus développés en vue d'étudier l'impact à la fois sur les événements d'orage, les débits de crue des oueds, le couvert végétal, les amplitudes thermiques et les pluies maximales journalières. Ces modèles seront également une opportunité pour étudier la sensibilité de ces différents facteurs afin d'en déceler le facteur le plus prépondérant, qui impacterait le plus chacun des phénomènes physiques analysés.

## 5.1.2. Risques géologiques

### 5.1.2.1. Typologies de désordres rencontrés

#### 5.1.2.1.1. Glissements

Il s'agit de déplacements des masses des sols en pente ayant une granulométrie fine plus ou moins argileux ou marneux et avec une sensibilité à l'eau.

#### LES CAUSES PROBABLES DES GLISSEMENTS DE TERRAIN

Les instabilités des pentes constituent les causes principales des glissements de terrain. Plusieurs facteurs rentrent en jeu, il s'agit généralement de :

- Les caractéristiques intrinsèques et mécaniques des terrains constituant le site ;
- L'effet de l'eau provoquant la diminution de la résistance des sols en place et par conséquent l'instabilité des versants argileux et marneux. Cette eau peut même modifier la structure de certains matériaux argileux et provoquer des phénomènes de retrait gonflement ;
- le degré de la pente des versants ;
- La présence ou absence de la végétation;

L'eau, la pente et La nature lithologie constituent les principaux facteurs d'apparition de ces phénomènes de glissement. Les matériaux affectés sont dans notre cas les roche marneuses ou schisteuse, formations tertiaires altérées, colluvions fines, etc. la présence de sol fin en forte proportion est toujours un facteur défavorable compte tenu de ses mauvaises caractéristiques mécaniques. La présence de sources et les fortes précipitations conduisent à la saturation des sols en eau et constituent aussi un rôle moteur dans la naissance de ces mouvements.

La présence simultanée de plusieurs facteurs est nécessaire afin de provoquer un glissement. On peut distinguer des facteurs déclenchants et des facteurs conditionnants de ce type d'instabilité.

#### LES FACTEURS CONDITIONNANTS

Il s'agit de facteurs déterminant les conditions de stabilité ou d'instabilité:

- **La nature lithologie, par** nature des matériaux et structure en cas de roche, est le 1<sup>er</sup> facteur conditionnant dans la stabilité au glissement ;
- **Le degré de pente** constitue un facteur prépondérant pour la naissance des glissements des versants.
- **Le relief** : plus l'altitude augmente, plus le risque d'événement de glissement de terrain est présent.
- **La présence de réseau de drainage** principalement en liaison avec l'érosion hydrique comme les sapements de berges.

**Les mouvements tectoniques** peuvent assurer le conditionnement ou déclenchement des mouvements de sols généralement dans les zones de concentration des activités tectoniques (zone de faille par exemple).

#### LES FACTEURS DECLENCHANTS

Il s'agit d'un changement rapide des conditions du versant définies par les facteurs déterminants qui sont :

- **La magnitude sismique** qui peut déclencher un mouvement de masse à partir d'un seuil critique d'activation.
- **La pluviométrie** est principalement le 1<sup>er</sup> déclencheur des glissements par diminuant la résistance au cisaillement en provoquant la saturation des terrains en place.
- **Les cours d'eau** par action érosive (ravinement, sapement de berges, érosion régressive, etc.) peuvent provoquer indirectement le déclenchement de ces mouvements de masse. En effet, leur action érosive (ravinement, sapement de berges, érosion régressive, etc.) Il s'ajoute à cela les actions chimiques en présence d'eau entraînant une altération des matériaux comme l'oxydo-réduction, l'hydrolyse, etc.
- **La végétation** constitue une action stabilisante sur les versants à matériaux de sols fins.

#### LES DIFFERENTES MANIFESTATIONS

Les glissements de terrain se manifestent généralement par :

- Une ou des fissures en partie amont qu'on appelle les niches d'arrachement ;
- Un bourrelet de pied dans sa partie aval ;
- Des fissures en crête de talus perpendiculaires à la direction générale du mouvement. Sur un profil, on observe une dépression vers le haut et un bombement vers le pied ;
- Le déplacement d'une partie du terrain le long d'une surface de rupture ;
- Une surface topographique irrégulière ;
- La présence de désordre et déformation du réseau routier traversant le glissement ;
- Des troncs d'arbres non droits.

##### 5.1.2.1.2. Éboulements

Les éboulements sont des phénomènes discontinus qui affectent des roches cohérentes, impliquant qu'une portion de roche, de volume quelconque, parvienne à se détacher de la masse rocheuse (Calvino A., 2004).

#### LES CAUSES PROBABLES DES EBOULEMENTS

Les principales causes d'éboulement sont :

- Lithologie et les conditions hydrogéologiques et géologiques ;
- La disparition de la végétation ;
- Les pressions hydrostatiques dues à la pluviométrie et à la fonte des neiges ;
- Le sapement ou l'affouillement du pied du versant ;
- Écroulement de la falaise qui limite un massif de roche fissuré ;
- Les Variations de températures ;
- L'activité sismique ;
- Eau : avec les différents types de circulation (l'érosion, l'action souterraine, érosion par les eaux de ruissellement etc.).

#### LES DIFFERENTES MANIFESTATIONS

Les éboulements peuvent mobiliser des volumes de matériaux important et se révèlent généralement par des écroulements et des chutes de pierres ou de blocs.



### 5.1.2.1.3. Affaissements/effondrements

Un affaissement est une déformation dans le sens vertical formant une dépression de la surface du sol et qui peut précéder éventuellement un effondrement.

Un effondrement est un abaissement relativement rapide de la surface qui peut atteindre plusieurs mètres de profondeur et une surface importante.

#### LES CAUSES PROBABLES DES AFFAISSEMENTS/ EFFONDREMENTS

Causes anthropiques	Causes naturelles
<ul style="list-style-type: none"> <li>- consommation excessive des nappes phréatiques) et modification de l'apport en eau (fuite, égouttage, drainage ...)</li> <li>- travaux à proximité (excavation, terrassement, remblais, vibrations, circulation routières ...)</li> <li>- surcharges (véhicules, constructions, ...)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- variation teneur en eau (précipitations) infiltration des eaux et dissolution de roches ;</li> <li>-érosion souterraine,</li> <li>- les caractéristiques mécaniques des sols (phénomènes de retrait gonflement, glissement)</li> <li>-effets sismiques</li> </ul>

Tableau 140 : Les causes probables des affaissements/ effondrements

#### LES DIFFERENTES MANIFESTATIONS

Quelques aspects de dégradations du sol sont à l'origine des phénomènes d'affaissements/effondrement, il s'agit de :

- Désordres et déformations au niveau du toit des cavités avec éventuellement des chutes de toit et montées de voûte ainsi que et Le phénomène de fontis ;
- Effondrements en masse dans un stade avancé ;
- Des éboulements des versants ;
- Ravinement lié aux ruissellements.

### 5.1.2.1.4. Le phénomène de retrait-gonflement

Le retrait-gonflement est un phénomène qui se manifeste principalement dans les sols à granulométrie fine et ayant certaines caractéristiques minéralogiques (argiles et marnes). Ce phénomène qui est à l'origine de quelques types désordres, se déclenche suite aux variations de teneur en eau des sols. En effet en périodes de sécheresse, le manque d'eau entraîne une décroissance du volume ou un tassement du sol. À l'inverse, un apport en eau conduisant à la saturation des sols et induisant au phénomène de gonflement.

#### LES CAUSES PROBABLES DE RETRAIT-GONFLEMENT

Le phénomène de retrait-gonflement dépend essentiellement de :

- Des caractéristiques mécaniques et minéralogiques du sol ;
- Des fluctuations climatologiques et leur intensité ;
- De l'épaisseur du sol concerné par des variations des teneurs en eau ;

- Des autres facteurs d'environnements tels que : la végétation, la topographie (pente) et la présence d'eaux souterraines (nappe, source...);
- Du changement de l'équilibre hydrique causé par un mauvais drainage, une stagnation d'eau suite à des précipitations etc.

#### LES DIFFERENTES MANIFESTATIONS

Le retrait-gonflement génère des désordres liés à des soulèvements (gonflement) en période de précipitation suite à une saturation des sols et un retrait de ces sols en périodes sèches induisant des tassements.

##### 5.1.2.1.5. Risques anthropiques

Les risques anthropiques sont déclenchés par des actions humaines. Ainsi, plusieurs désordres sont à l'effet des travaux d'aménagement ou de construction réalisés par l'homme :

- Changement des pentes naturelle suite aux travaux de terrassements : mise en forme d'un terrain, soit en comblant un terrain (remblai) ou l'excavant (déblai).
- Canalisation des eaux.
- Travaux d'affouillement au pied d'un versant.
- Application d'une surcharge sur un sol qui a des caractéristiques médiocres.
- Répartition aléatoire des écoulements superficiels et souterrains.
- Variation de la teneur en eau du sol soit par l'ajout de l'eau (irrigation), ou diminution de cette teneur (drainage).

#### TERRASSEMENTS

Les travaux de terrassement peuvent se résumer à des déplacements de masses de terres qui sont soit en déblai ou en remblai dont le but est de construire un édifice, d'installer des réseaux routiers ou d'assainissement etc., Les problèmes confrontés après ces types de travaux, sont liés généralement, soit aux études géotechniques qui n'ont pas été exploitées correctement, soit à une mauvaise exécution.

#### DEBLAIS

Plusieurs problèmes sont à l'issue de terrassement en déblais à savoir les effondrements, les glissements de talus, les éboulements, des fracturations de murs de soutènements et le gonflement de sol d'assise.

La dégradation de talus résulte de la géologie et la géotechnique du terrain, de l'hydrologie et hydrogéologie de la zone et en fin de la topographie ou la géométrie.

#### REMBLAIS

Les problèmes résultants de la construction de remblai sont essentiellement :

- L'instabilité de sol d'assise qui engendre des tassements, des glissements et des ruptures.
- La mise en place des matériaux de faibles qualités
- L'instabilité de l'ouvrage.

Lors de l'étude d'avant-projet, les études géotechniques doivent être bien faites afin d'éviter ces désordres.

#### LA STABILITE DES TALUS DE TERRASSEMENTS

L'étude de stabilité est indispensable avant la construction de chaque ouvrage d'art. Le talus sous ses deux formes, en déblai ou en remblai, considère l'un des ouvrages qui nécessitent des études géotechniques pour maintenir leur stabilité. Dans le cas d'instabilité, différentes méthodes de traitement peuvent être adoptées selon le type de sol ou de roche constituant le talus.

Le calcul de stabilité du talus est destiné à prévenir des incidents (glissement, rupture..), c'est –à-dire à trouver la pente à donner à un talus pour qu'il présente un certain degré de sécurité vis – à – vis des glissements. La quantité de terrassement est définie selon la pente de talus.

Soit qu'il s'agit d'un déblai ou d'un remblai, la réduction ou l'augmentation de la pente du talus est liée aux données géotechniques.

#### TASSEMENTS

Le tassement du sol est une déformation verticale due à l'application des contraintes telles que les remblais, les surcharges, les fondations ou son propre poids.

Les tassements peuvent être uniformes ou différentiels selon la nature du sol support. Dans le cas des sols non saturés les tassements sont presque instantanés mais dans les sols saturés, ils peuvent s'étendre sur quelques secondes (sols sableux-graveleux), jusqu'à plusieurs dizaines d'années dans les argiles peu perméables. Pour vérifier la conformité des structures vis-à-vis des conditions de sécurité et de service on doit faire un calcul préalable de tassement.

Le maintien de la pérennité de l'ouvrage est lié à la capacité portante du sol d'assise et son comportement vis-à-vis du tassement qui peut être généré par le poids de l'ouvrage.

#### 5.1.2.1.6. Les phénomènes de dégradation des chaussées

Les dégradations sont nombreuses et complexes suivant les types de chaussée. Toutefois, pour les 4 tronçons étudiés on distingue principalement :

- **fissuration** : c'est une rupture qui apparaît à la surface de la couche de roulement sans parfois atteindre les couches supports.
- **nids de poule** : c'est une petite fouille à la surface de la chaussée qui résulte soit d'un vieillissement des enrobés bitumineux qui forme le revêtement superficiel, soit d'un fort trafic.
- **flaches** : c'est une déformation de la chaussée généralement caractérisée par des dépressions arrondies et superficielles.

#### CLASSEMENTS DES DEGRADATIONS

On peut distinguer 3 types principaux de désordres dans une chaussée souple :

- **Les fissurations** : elles peuvent affecter une partie ou la totalité de la chaussée. Dans la majorité des cas, elles affectent la couche de roulement.
- **Les déformations** : sont reproduits au sein du corps de la chaussée selon la forme ou la localisation sous deux types, affaissement et flache.
- **Les arrachements** : Ils concernent seulement la couche de roulement. Dans le cas des quatre tronçons étudiés les arrachements sont envisagés par les nids de poule.

#### LES PRINCIPALES CAUSES DE DEGRADATIONS DES CHAUSSEES SOUPLES

Elles sont :

- Mauvais dimensionnement ;
- Augmentation du trafic supérieur à celui prévu lors des études ;
- Faible portance du sol d'assise ;
- Le changement climatique ;
- Les caractéristiques médiocres des matériaux.

#### LES CAUSES PROBABLES DE CHAQUE TYPE DE DEGRADATION

Type de dégradation	Causes probables
Affaissement s	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> glissement général ou local</li> <li><input type="checkbox"/> mauvais drainage peut réduire la portance du sol support</li> <li><input type="checkbox"/> sous-dimensionnement de l'assise</li> <li><input type="checkbox"/> tassement ou retrait- gonflement du sol support</li> </ul>
Fissures	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> glissement général ou local</li> <li><input type="checkbox"/> portance insuffisante</li> <li><input type="checkbox"/> tassement ou retrait- gonflement du sol support</li> <li><input type="checkbox"/> manque d'une couche d'adhérence entre la couche de base et la couche de roulement</li> </ul>

	<input type="checkbox"/> régression des matériaux qui forment les couches de chaussée
Flache	<input type="checkbox"/> tassement du sol porteur de la chaussée <input type="checkbox"/> drainage défectueux <input type="checkbox"/> mauvais compactage de couche de roulement ou de couche de base
Nid de poule	<input type="checkbox"/> dégradation de la qualité des matériaux <input type="checkbox"/> décollement de la couche de roulement <input type="checkbox"/> propagation et évolution des fissurations

Tableau 141 : Les causes probables de chaque type de dégradation

### 5.1.2.2. Estimation de l'impact du changement climatique sur les désordres rencontrés

#### 5.1.2.2.1. Hypothèses

L'objet de ce document est de présenter, à partir de la littérature, les méthodes et/ou paramètres qui permettraient d'analyser l'impact du changement climatique sur les désordres en matière de géotechnique.

Ces méthodes se sont avérées, d'après nos recherches, d'ordre qualitatif et ne permettent pas de cerner et apprécier de manière quantitative l'impact du changement climatique sur les désordres constatés.

En effet, si on prend l'exemple des désordres liés au glissement, l'apparition d'un mouvement de terrain est la conjonction de plusieurs facteurs qui peuvent être :

- **permanents** : c'est à-dire peu ou pas variable dans le temps (géologie : nature et propriétés des matériaux, présence de plans de rupture préférentiels, pente des terrains,..) ;
- **semi-permanents** : c'est-à-dire évolutifs dans le temps (teneur en eau des matériaux, érosion en bas de pente, ..).

Les facteurs climatiques peuvent jouer un rôle direct (facteur déclenchant) ou indirect dans l'apparition d'un mouvement de terrain. Une synthèse de la sensibilité de l'aléa face à ces paramètres est présentée ci-après pour chaque typologie de mouvement de terrain.

L'analyse combinée de la pluviométrie et des déplacements a montré qu'il existe une relation directe pluies/déplacements. Cela s'explique probablement par un phénomène de mise en pression des surfaces de cisaillement par les eaux d'infiltration rejoignant le corps des glissements.

#### 5.1.2.2.2. Incertitudes

Cette évaluation qualitative comporte également des incertitudes. A titre d'exemple, la persistance d'un déplacement minimum en période sèche alors que les sources sont à l'étiage, montre que les masses instables ont une capacité à glisser purement gravitairement. La résistance au cisaillement résiduelle des surfaces de glissement, acquise en grands déplacements, ne suffit plus à contenir la masse glissée.

La pluviométrie joue donc le rôle d'accélérateur des mouvements, et n'a donc pas un effet purement déclencheur.



Il semble donc que l'évolution de ces désordres ne puisse pas être réduite à celle du facteur « Pluie » : en effet d'autres facteurs interviennent, quelquefois de manière plus accentuée, dans la genèse et/ou l'évolution de ces désordres comme en témoigne la description détaillée présentée auparavant. Parmi ces paramètres on citera par exemple :

- **La température** : ce paramètre joue un rôle important en particulier les valeurs maximales ainsi que les amplitudes de variation entre les valeurs minimales et maximales. Des gradients de température importants peuvent déclencher par exemple des altérations de formations géologiques telles que les schistes et en accentuer les fracturations. Il est aussi important de souligner qu'une grande partie des modèles de changement climatique convergent vers une augmentation des valeurs thermiques, de ce fait une hausse thermique pourrait favoriser l'augmentation des désordres même si la tendance des pluies journalières maximales annuelles est à la baisse ;
- **L'intensité de précipitation** : la répartition des pluies dans le temps est un facteur important dans l'évolution des désordres constatés, et qui n'est pas toujours facile à appréhender. En effet on peut noter qu'une baisse des maxima de pluie journalière ne traduit pas forcément une baisse de l'intensité de pluie car :
  - l'intensité de pluie varie suivant la durée (5, 10, 15, 30, 60, 120 ou 360 minutes) ;
  - on peut observer pour 2 évènements de même cumul journalier une répartition hétérogène de la pluie en ces 24 heures, ce qui peut se traduire par des intensités de pluie très variables pour les mêmes pas de temps considérés : un même cumul journalier peut tomber en totalité en 2 heures comme il peut tomber en 12 heures de manière uniforme, ce qui donnerait des intensités de pluie, pour un pas de temps de 2 heures, dans un rapport de 1 à 6.

Notons par ailleurs que ce sont les évènements ponctuels, de durée faible à moyenne, mais de forte à très forte intensité qui peuvent accélérer ou déclencher l'apparition de risques naturels liés à la géologie ou la géotechnique ;

- **Les cycles gel/dégel** : ces phénomènes peuvent impacter principalement les roches et les corps de chaussées par des phénomènes d'augmentation du volume des fissures ou cavités induisant la dégradation de ces éléments.

Il apparaît donc, a priori, que l'appréciation de l'évolution des désordres exclusivement sur la base de celle des pluies (pluies annuelles, maximas de pluies journalières annuelles) comporte des incertitudes importantes et que l'impact du changement climatique sur les maximas des pluies journalières, et les pluies annuelles, ne permet pas d'appréhender de manière claire l'évolution du potentiel de risques liés aux désordres géologiques et géotechniques.

Cette difficulté est due à la complexité des phénomènes rencontrés qui font intervenir plusieurs facteurs climatiques (température, pluie, gel/dégel, intensité des pluies..), topographique, et de sol (caractéristiques intrinsèques et mécaniques des sols).

Il serait souhaitable, pour mieux appréhender cette évolution de :

- Développer des modèles de changement climatique spécifiques intégrant l'ensemble de ces facteurs (évènement d'orage, température, cycles gel/dégel, couvert végétal...) et permettant d'identifier pour chaque désordre le facteur le plus prépondérant ;
- Elaborer des études spécifiques (essai in situ et en laboratoire, mesure de cohésion et angle de frottement, poids volumique...) adaptées aux désordres rencontrés et aux formations géologiques traversées ;

Réaliser un suivi régulier de ces désordres via des dispositifs d'auscultation, ainsi qu'un relevé topographique combiné au suivi du niveau de battement de nappe. L'objectif étant de pouvoir déterminer l'amplitude d'évolution du risque en fonction de celle du facteur pluviométrique

### 5.1.3. Risques liés aux chutes de neige

#### 5.1.3.1. Approche proposée

Le maintien de la viabilité des routes enneigées constitue un enjeu crucial pour les gestionnaires de la route tant sur le plan économique que de la sécurité routière.

Les interruptions de circulation portent en effet un réel préjudice à la population et à l'activité économique et commerciale des régions concernées car au Maroc, 90 % des personnes et 75 % des marchandises sont en effet déplacées par la route.

Les actions entreprises en cas d'enneigement sont les suivantes : fermeture de la voie avec pose de barrières de neige, gardiennage de part et d'autre de la section enneigée, déviation de la circulation si cela est possible, diffusion de l'information de coupure, opérations de déneigement, puis réouverture de la section coupée et diffusion de l'information de réouverture. Ce sont par conséquent des actions nécessitant une mobilisation importante des ressources humaines et matérielles.

Pour estimer les impacts de changement climatique sur les 4 tronçons, la démarche envisagée était la suivante :

- Analyse de données climatiques observées de la neige pendant une période de référence d'une longueur suffisante ;
- Caractérisation de l'évolution du paramètre neige à cause du changement climatique, à travers l'analyse des études et des données de projection climatique disponible.

Aucun de ces données étant disponible, l'analyse de risque ne peut être réalisée.

## 5.2. TRONÇON RN2 ENTRE CHEFCHAOUEN ET ISSAGUEN

### 5.2.1. Rappel des résultats du changement climatique

L'analyse des changements climatiques a été réalisée par l'Ingénierie sur la base de l'analyse des projections climatiques disponibles, ce qui a permis d'aboutir aux variations suivantes par rapport à la période de référence 1979-1999.

#### 5.2.1.1. Pluie annuelle

Le tableau suivant synthétise les variations prévues pour la période 2046-2065 (horizon 2055) pour deux scénarii : A1B (intermédiaire) et A2 (pessimiste):

Tableau 142 – Rappel des résultats de changement climatique des pluies annuelles – Tronçon Chefchaouen – Issaguen

TR (%)	2046-2065		
	10ème p	med	90ème p
A1B (intermédiaire)	-36,18	-32,02	-16,67
A2 (pessimiste)	-39,37	-21,03	-14,14

On note une prévision à la baisse des pluies annuelles entre -40 et -14 %, avec une médiane autour de -21 % pour le scénario A2 et -32 % pour le scénario A1B.

#### 5.2.1.2. Pluie journalière maximale annuelle

Pour ce paramètre, nous avons :

- d'une part, analysé les variations des valeurs moyennes et des valeurs extrêmes à partir de la médiane et de la dispersion de la distribution des 11 modèles afin de définir les tendances aux horizons étudiés. Le tableau ci-après synthétise les tendances et variations retenues.

Tableau 143 – RN2 - Pluies journalières maxi-annuelles : variations et tendances

Précipitations journalières maxi-annuelles		Valeurs moyennes		Valeurs maximales (Extrêmes de précipitations)	
		Tendance	variations moyennes (médiane)	Tendance	variations moyennes (médiane)
RN2 - Poste d'AL HOCEIMA	Horizon 2035 (2025-2045)	légère diminution	-18%	Aucune tendance ne se dégage	0%
	Horizon 2050 (2040-2060)		-12%		

- d'autre part, effectué une analyse fréquentielle des chroniques historiques et futures d'une façon identique à l'analyse statistique réalisée dans l'étape de diagnostic. Les variations sont synthétisées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 144 – RN2 - Rappel des résultats de changement climatique des pluies journalières maxi-annuelles

**RN2 - Poste d'AL HOCEIMA****Variations des précipitations journalières maxi-annuelles par rapport à la période de référence 1979-1999**

Précipitations journalières maxi-annuelles		Horizon 2035 (2025-2045)			Horizon 2050 (2040-2060)		
		Mini	Moyenne	Maxi	Mini	Moyenne	Maxi
Valeurs moyennes		-43.5%	-14.9%	26.9%	-33.4%	-11.9%	31.8%
Valeurs maximales (Extrêmes de précipitations)		-47.1%	1.8%	86.8%	-29.8%	4.3%	100.5%
Quantiles des hauteurs de précipitations journalières maxi-annuelles	T = 2 ans	-42.4%	-15.7%	21.0%	-33.3%	-13.2%	25.7%
	T = 5 ans	-46.7%	-12.0%	47.7%	-37.2%	-7.6%	53.2%
	T = 10 ans	-48.2%	-10.4%	60.5%	-39.1%	-5.2%	66.3%
	T = 20 ans	-49.3%	-9.3%	70.3%	-40.3%	-3.4%	76.3%
	T = 50 ans	-50.2%	-8.1%	80.4%	-41.5%	-1.7%	86.7%
	T = 100 ans	-50.7%	-7.3%	86.7%	-42.1%	-0.7%	93.1%

La lecture de ce tableau montre :

- une tendance à la baisse de -14.9 % et -11.9 % pour la moyenne des hauteurs journalières maximales annuelles sur les 2 périodes de prévision 2025-2045 et 2040-2060 ;
- une légère tendance à la hausse pour le maximum des hauteurs journalières maximales annuelles, elle est de 1.8 % à l'horizon 2035 et de 4.3% à l'horizon 2050 ;
- pour les quantiles des pluies journalières maximales annuelles, la tendance est à la baisse entre -7.3 et -15.7 % à l'horizon 2035, et entre -0.7 et -13.2 % à l'horizon 2050. Ce qui correspond à des variations moyennes de -10.5 % environ à l'horizon 2035 et -5.3 % environ à l'horizon 2050.

**5.2.1.3. Intensité des pluies**

Cet aspect n'a pas été traité dans l'analyse climatique en raison de l'absence de données.

L'extrapolation depuis la variation des pluies journalières maximales reste délicate, en particulier pour des durées de pluies faibles à moyennes (entre 5 et 60 minutes).

**5.2.1.4. Neige**

En absence de données collectées sur la neige, ce paramètre n'a pas pu être examiné par l'Ingénierie.

## 5.2.2. Risques hydrologiques

### 5.2.2.1. Quantification sommaire des impacts hydrologiques

Les résultats de changements climatiques ont mis en évidence une diminution des quantiles de pluies journalières maximales annuelles : en moyenne elle serait autour de -10.5 % pour la période 2025-2045, et de -5.3 % pour la période 2040-2060.

On pourrait s'attendre, a priori, à des baisses de débits de projet sur ces deux périodes, avec des variations comparables à celles résumées ci-avant. Toutefois, au regard de l'absence d'analyse de l'évolution des intensités de pluie d'une part, et de l'aptitude au ruissellement d'autres part, la tendance de variation des débits reste difficile à prévoir.

Il est en effet nécessaire de souligner les incertitudes qui pèsent sur le calcul des débits de projet, d'autant plus que les bassins versants interceptant la RN 2 contrôlent des surfaces ne dépassant pas les 20 km<sup>2</sup>. Or pour cette catégorie de bassins, et vu les pentes rencontrées sur ce tronçon de montagne, les temps de concentrations sont généralement moyens à faibles comme le montre le calcul effectuée pour les bassins des points de visite :

Tableau 145 – Temps de concentration des petits bassins versants – Tronçon Chefchaouen - Issaguen

Rapport de visites		Surface de bassin versant drainé	Pente	temps de concentration tc
n° point	PK	Km <sup>2</sup>	%	min
1	122+800	10.92	17.45%	28.71
2	124+000	1.00	11.65%	17.38
4	132+800	1.98	14.55%	15.61
8	138+900	7.00	23.32%	20.54
10	143+500	19.40	14.75%	44.90
11	144+900 – 145+300	0.93	27.51%	7.36
12	148+700	0.19	35.78%	5.00
15	161- 162	0.09	27.22%	5.00
16	164+360	0.23	47.83%	5.00
18	209+483	0.37	19.19%	9.48

Le tableau montre que les temps de concentration varient entre 5 et 45 minutes. Or pour ces gammes la variation des intensités de pluie est difficile à prédire : en termes de cumul journalier on peut observer des baisses mais en termes de répartition dans la journée de cette même pluie on peut observer des hausses d'intensité.



## 5.2.2.2. Analyse des incertitudes hydrologiques

**QUANTILES DE PLUIES JOURNALIERES MAXIMALES ANNUELLES**

Le tableau suivant rappelle les quantiles des pluies maximales journalières annuelles obtenus par ajustement statistique à la loi de Gumbel :

Tableau 146 – Rappel des quantiles des pluies journalières maximales annuelles – Tronçon Chefchaouen - Issaguen

Poste	N°	Z (mNGM)	Pjmax (T) (mm)					
			2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Chaouen Ville	2600	630	76	105	125	143	168	186
Bab Taza Unifié	1584-85-86	900	92	120	138	156	179	196
Targuist	7960	1010	47	64	76	87	101	111

L'estimation des intervalles de confiance pour ces postes permet d'aboutir au tableau suivant :

Tableau 147 – Intervalles de confiance des pluies journalières maximales annuelles en mm – Tronçon Chefchaouen - Issaguen

Poste	N°	n	Ecart type $\sigma$	Intervalle de confiance à 90 % (mm)					
				2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Chaouen Ville	2600	44	33.34	[68-85]	[94-122]	[110-148]	[126-173]	[145-205]	[160-230]
Bab Taza Unifié	1584-85-86	62	31.65	[86-99]	[111-132]	[127-156]	[141-178]	[160-207]	[175-229]
Targuist	7960	40	19.37	[43-53]	[58-75]	[67-90]	[76-105]	[87-124]	[96-138]

Ce qui correspond à des écarts par rapport aux quantiles calculés comme suit :

Tableau 148 – Intervalles de variation en mm des quantiles des pluies journalières maximales annuelles – Tronçon Chefchaouen - Issaguen

Poste	N°	n	Ecart type $\sigma$	Variation dans l'intervalle de confiance à 90 % (mm)					
				2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Chaouen Ville	2600	44	33.34	[-7, +9]	[-11, +17]	[-14, +23]	[-18, +29]	[-22, +38]	[-26, +44]
Bab Taza Unifié	1584-85-86	62	31.65	[-6, +7]	[-9, +13]	[-12, +18]	[-15, +22]	[-18, +29]	[-22, +33]
Targuist	7960	40	19.37	[-4, +6]	[-6, +10]	[-9, +14]	[-11, +18]	[-14, +23]	[-16, +27]

En pourcentages, ces variations sont comme suit :

Tableau 149 – Intervalles de variation en % des quantiles des pluies journalières maximales annuelles – Tronçon Chefchaouen - Issaguen

Poste	N°	n	Ecart type $\sigma$	Variation dans l'intervalle de confiance à 90 % (%)					
				2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Chaouen Ville	2600	44	33.34	[-10, 12]	[-10, 16]	[-11, 19]	[-12, 20]	[-13, 22]	[-14, 24]
Bab Taza Unifié	1584-85-86	62	31.65	[-6, 8]	[-7, 11]	[-8, 13]	[-9, 14]	[-10, 16]	[-11, 17]
Targuist	7960	40	19.37	[-9, 12]	[-10, 16]	[-11, 19]	[-12, 21]	[-13, 23]	[-14, 24]

On notera que ces variations sont intimement liées à l'écart type et la taille des échantillons des données observées : plus la dispersion autour de la moyenne est importante plus ces variations sont importantes. De même plus la taille de l'échantillon est réduite plus ces variations sont importantes.

Notons que du fait du caractère aléatoire des valeurs extrêmes, cette dispersion reste difficile, voire impossible à maîtriser.

On retiendra donc que les variations des quantiles de pluies journalières maximales annuelles se situent en moyenne comme suit :

Tableau 150 – Intervalle de variation moyenne en % des quantiles des pluies journalières maximales annuelles – Tronçon Chefchaouen - Issaguen

Variation moyenne dans l'intervalle de confiance à 90 % (%)					
2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
[-8, 10]	[-9, 14]	[-10, 17]	[-11, 19]	[-12, 21]	[-13, 22]

### QUANTILES DE PLUIES ANNUELLES

Le tableau suivant rappelle les quantiles des pluies annuelles obtenus par ajustement statistique à la loi de Gumbel :

Tableau 151 – Rappel des quantiles des pluies annuelles – Tronçon Chefchaouen - Issaguen

Poste	N°	Z (mNGM)	Loi statistique	Pan (T) (mm)					
				2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Chaouen Ville	2600	630	Gumbel	834	1130	1326	1513	1757	1939
Bab Taza Unifié	1584-85-86	900	Gumbel	1145	1606	1911	2204	2583	2867
Targuist	7960	1010	Gumbel	368	479	552	623	714	782

L'estimation des intervalles de confiance pour ces postes permet d'aboutir au tableau suivant :

Tableau 152 – Intervalles de confiance des pluies annuelles en mm – Tronçon Chefchaouen - Issaguen

Poste	N°	n	Ecart type $\sigma$	Intervalle de confiance à 90 % (mm)					
				2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Chaouen Ville	2600	39	334.74	[756-932]	[1016-1313]	[1176-1577]	[1327-1833]	[1521-2167]	[1665-2418]
Bab Taza Unifié	1584-85-86	58	521.64	[1046-1264]	[1457-1826]	[1714-2213]	[1958-2587]	[2270-3074]	[2503-3440]
Targuist	7960	38	125.32	[339-406]	[436-549]	[496-648]	[552-745]	[625-870]	[678-965]

Ce qui correspond à des écarts par rapport aux quantiles calculés comme suit :

Tableau 153 – Intervalle de variation en mm des quantiles des pluies annuelles – Tronçon Chefchaouen - Issaguen

Poste	N°	n	Ecart type $\sigma$	Variation dans l'intervalle de confiance à 90 % (mm)					
				2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Chaouen Ville	2600	39	334.74	[-78, +98]	[-114, +183]	[-149, +251]	[-186, +320]	[-236, +410]	[-274, +479]
Bab Taza Unifié	1584-85-86	58	521.64	[-99, +120]	[-149, +220]	[-197, +301]	[-247, +383]	[-313, +491]	[-364, +573]
Targuist	7960	38	125.32	[-30, +37]	[-43, +70]	[-56, +96]	[-71, +122]	[-89, +156]	[-104, +182]

En pourcentages, ces variations sont comme suit :

Tableau 154 – Intervalle de variation en % des quantiles des pluies annuelles – Tronçon Chefchaouen - Issaguen

Poste	N°	n	Ecart type $\sigma$	Variation dans l'intervalle de confiance à 90 % (%)					
				2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Chaouen Ville	2600	39	334.74	[-9, 12]	[-10, 16]	[-11, 19]	[-12, 21]	[-13, 23]	[-14, 25]
Bab Taza Unifié	1584-85-86	58	521.64	[-9, 10]	[-9, 14]	[-10, 16]	[-11, 17]	[-12, 19]	[-13, 20]
Targuist	7960	38	125.32	[-8, 10]	[-9, 15]	[-10, 17]	[-11, 20]	[-13, 22]	[-13, 23]

Ces variations de quantiles des pluies annuelles se situent en moyenne comme suit :

Tableau 155 – Intervalle de variation moyenne en % des quantiles des pluies annuelles – Tronçon Chefchaouen - Issaguen

Variation moyenne dans l'intervalle de confiance à 90 % (%)					
2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
[-9, 11]	[-9, 15]	[-11, 17]	[-12, 19]	[-13, 21]	[-13, 23]

#### QUANTILES DES INTENSITES PLUVIOMETRIQUES

L'Ingénierie a estimé les intensités de pluie au droit des postes de pluie, de ce fait les intervalles de confiance vis-à-vis de l'intensité pluviométrique sont déduits de ceux proposés pour la pluie journalière maximale annuelle. Le tableau suivant rappelle les intensités estimées pour les occurrences de 10 et 100 ans.

Il est toutefois utile de souligner que ces estimations sont données à titre indicatif, et qu'une meilleure appréhension de ce paramètre nécessiterait la disponibilité d'enregistrements pluviographiques au niveau de ces postes de pluies, ou de données brutes au niveau du pluviographe d'Al Hoceima.

Tableau 156 – Rappel des intensités pluviométriques décennales et centennales – Tronçon Chefchaouen - Issaguen

Poste	N°	Z (mNGM)	Occurrence (ans)	I (T) (mm/hr)					
				5 min	10 min	15 min	30 min	60 min	120 min
Chaouen Ville	2600	630	10	178	118	92	61	40	27
Bab Taza Unifié	1584-85-86	900	10	198	131	102	68	45	29
Targuist	7960	1010	10	109	72	56	37	24	16
Chaouen Ville	2600	630	100	266	176	138	91	60	40
Bab Taza Unifié	1584-85-86	900	100	281	185	145	96	63	42
Targuist	7960	1010	100	159	105	82	54	36	24

L'estimation des intervalles de confiance pour ces postes permet d'aboutir au tableau suivant :

Tableau 157 – Intervalles de confiance des intensités de pluie – Tronçon Chefchaouen - Issaguen

Poste	N°	Z (mNGM)	Occurrence (ans)	Intervalle de confiance à 90 % (mm/hr)					
				5 min	10 min	15 min	30 min	60 min	120 min
Chaouen Ville	2600	630	10	[158, 212]	[104, 140]	[82, 109]	[54, 72]	[36, 48]	[24, 31]
Bab Taza Unifié	1584-85-86	900	10	[181, 223]	[120, 147]	[94, 115]	[62, 76]	[41, 50]	[27, 33]
Targuist	7960	1010	10	[96, 129]	[64, 85]	[50, 67]	[33, 44]	[22, 29]	[14, 19]
Chaouen Ville	2600	630	100	[229, 329]	[151, 217]	[118, 170]	[78, 112]	[51, 74]	[34, 49]
Bab Taza Unifié	1584-85-86	900	100	[250, 329]	[165, 217]	[129, 170]	[85, 112]	[56, 74]	[37, 49]
Targuist	7960	1010	100	[137, 198]	[90, 131]	[71, 103]	[47, 68]	[31, 45]	[20, 29]

Ce qui correspond à des écarts par rapport aux quantiles calculés comme suit :

Tableau 158 – Intervalles de variation en mm/hr des intensités de pluies – Tronçon Chefchaouen - Issaguen

Poste	N°	Z (mNGM)	Occurrence (ans)	Variation dans l'intervalle de confiance à 90 % (mm/hr)					
				5 min	10 min	15 min	30 min	60 min	120 min
Chaouen Ville	2600	630	10	[-20, 33]	[-13, 22]	[-10, 17]	[-7, 11]	[-5, 7]	[-3, 5]
Bab Taza Unifié	1584-85-86	900	10	[-17, 25]	[-11, 17]	[-9, 13]	[-6, 9]	[-4, 6]	[-2, 4]
Targuist	7960	1010	10	[-12, 20]	[-8, 14]	[-6, 11]	[-4, 7]	[-3, 5]	[-2, 3]
Chaouen Ville	2600	630	100	[-37, 63]	[-25, 41]	[-19, 33]	[-13, 21]	[-8, 14]	[-6, 9]
Bab Taza Unifié	1584-85-86	900	100	[-31, 48]	[-20, 31]	[-16, 25]	[-11, 16]	[-7, 11]	[-5, 7]
Targuist	7960	1010	100	[-23, 39]	[-15, 26]	[-12, 20]	[-8, 13]	[-5, 9]	[-3, 6]

En pourcentages, ces variations sont comme suit :

Tableau 159 – Intervalles de variation en % des intensités de pluies – Tronçon Chefchaouen - Issaguen

Poste	N°	Z (mNGM)	Occurrence (ans)	Variation dans l'intervalle de confiance à 90 % (%)					
				5 min	10 min	15 min	30 min	60 min	120 min
Chaouen Ville	2600	630	10	[-11, 19]					
Bab Taza Unifié	1584-85-86	900	10	[-8, 13]					
Targuist	7960	1010	10	[-11, 19]					
Chaouen Ville	2600	630	100	[-14, 24]					
Bab Taza Unifié	1584-85-86	900	100	[-11, 17]					
Targuist	7960	1010	100	[-14, 24]					

Soit une variation moyenne pour l'occurrence décennale de l'ordre de [-10, +16], et de [-13, +21] pour T=100 ans.

#### INCERTITUDES LIEES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Les résultats du changement climatique peuvent varier suivant les modèles de prévision utilisés.

Le tableau suivant rappelle les bornes de variation en % des variables analysées pour les pluies journalières maximales annuelles:

Tableau 160 – Intervalles de variation des résultats de changement climatique – Tronçon Chefchaouen - Issaguen

Pjmax moyenne	Pjmax maximale	Quantiles de pluies journalières maximales annuelles					
		2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
<b>Horizon 2025-2045</b>							
[-44, +27]	[-47, +87]	[-42, +21]	[-47, +48]	[-48, +60]	[-49, +70]	[-50, +80]	[-51, +87]
<b>Horizon 2040-2060</b>							
[-33, +32]	[-30, +101]	[-33, +26]	[-37, +53]	[-39, +66]	[-40, +76]	[-41, +87]	[-42, +93]

Ces valeurs montrent une variabilité importante pour le changement climatique affectant les maxims de pluies journalières annuelles (moyenne, maximum et quantiles), ce qui incite à la prudence lors de l'exploitation de ces résultats.



### INCERTITUDES LIEES A L'IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR L'ESTIMATION DES DEBITS DE PROJET

L'estimation de l'impact du changement climatique sur l'estimation des débits de projet, à partir de l'évolution prévisionnelle des pluies, comporte des incertitudes :

Pour les bassins de moins de 20 à 100 km<sup>2</sup> :

- l'évolution des maxima des pluies journalières annuelles ne renseigne pas sur celle des intensités de pluie, en particulier dans un contexte montagneux et des bassins versants de pentes importantes. En effet la répartition de la pluie journalière dans le temps ne suit pas systématiquement la même tendance que celle du cumul journalier, et des pics d'intensités plus prononcés peuvent être enregistrés pour des durées de pluies faibles à moyenne, même si le cumul journalier baisse ;
- outre l'intensité de pluie, l'évolution du couvert végétal reste une inconnue qui impacte l'aptitude au ruissellement et donc la variation du débit de pointe.

Pour les bassins de plus de 20 à 100 km<sup>2</sup> :

- l'étude de changement climatique ne renseigne pas sur l'évolution des débits instantanés ou journaliers au niveau des oueds jaugés par des stations hydrométriques. On notera que des pics de débits instantanés combinés à une variation moins prononcée des débits journaliers peuvent induire des augmentations des coefficients de pointe, et par conséquent des débits de projets même en cas de baisse des maxima de pluies journalières maximales annuelles.

Ces constats amènent à la prudence lors de l'analyse des impacts du changement climatique sur l'estimation des débits de projet, en particulier lorsque la tendance des maxima de pluies est à la baisse.

### CONCLUSION

L'analyse des incertitudes combinée aux résultats du changement climatique met en avant des incertitudes sur :

- l'estimation des quantiles de pluies journalières maximales annuelles (entre -13 et + 22 %), et des pluies annuelles (entre -13 et + 23 %) ;
- l'impact du changement climatiques sur les pluies journalières maximales annuelles (entre -51 et +101 %), et des pluies annuelles (-39 et -14 %) ;
- l'impact du changement climatique sur les méthodes d'estimation des débits de projet ;
- l'évolution d'autres paramètres intervenant dans le calcul de ces débits en fonction du changement climatique (intensités de pluie, débits de pointe, couvert végétal...).

Il convient également de rappeler que l'estimation des débits de projet comporte elle-même des incertitudes variant de 10 à 100 %.

A la lumière de ces résultats, l'Ingénierie est d'avis que l'évolution des débits de projet pour les bassins interceptés par la RN2 reste difficile à appréhender : la baisse, en moyenne de -10.5 et -5.3 % suivant les horizons considérés, des maxima de pluies journalières maximales annuelles n'induirait pas systématiquement une baisse de ces débits, et ne permet pas de conclure une atténuation des risques potentiels liés aux crues. De plus, la moyenne de baisse n'est pas très significative par rapport aux incertitudes qui pèsent sur l'évolution des débits de crue à l'avenir.

### 5.2.2.3. Evaluation qualitative des impacts du changement climatique

Comme indiqué dans l'approche proposée par l'Ingénierie, les phénomènes ou risques naturels encourus par la RN2 (inondations, érosion pluviale, affouillement, charriage et transport solide) sont très complexes et font intervenir plusieurs facteurs.

Leur évolution dans le temps, sur la base uniquement de celle des pluies extrêmes est difficile à appréhender, d'autant plus que de grandes incertitudes pèsent sur l'évaluation de la tendance de variation des intensités de pluie et du couvert végétal d'une part, et des débits de crue des oueds ou de projet d'autre part.

Ces incertitudes ne permettent pas de préciser qualitativement de manière claire, l'évolution de ces phénomènes physiques et du potentiel de risques afférents qu'ils font subir à la plateforme routière. Après cette étude rien ne permet de déduire si ces risques vont baisser ou augmenter à l'avenir. Ils pourront toutefois, vraisemblablement, et comme l'a montré le diagnostic et les visites de terrain réalisés, persister à l'avenir si la situation actuelle de la RN 2 n'est pas revue et améliorée pour atténuer la vulnérabilité de cette route et résoudre les désordres constatés.

Pour ce faire la réalisation d'études techniques spécifiques est indispensable pour déceler l'origine exacte de ces dégradations et proposer les solutions les plus appropriées.

## 5.2.3. Risques géologiques

### 5.2.3.1. Rappel des désordres rencontrés

Les principaux types de désordres affectant le tronçon routier et son environnement sont rappelés comme suit :

- Les glissements de terrain ;
- Les instabilités rocheuses (éboulements et chutes de blocs) ;
- La dégradation de la chaussée (fissuration, affaissement, etc.).

### 5.2.3.2. Impact du changement climatique sur l'évolution des désordres géologiques

L'effet du changement climatique est analysé pour chaque typologie de désordre comme suit :

#### **GLISSEMENTS DE TERRAIN :**

La section la plus concernée par ce type de désordre est celle située entre Bab Taza et Bab Berred.

Les terrains affectés par le glissement sont à dominance marneuse et éboulis sensibles à l'eau.

Les résultats de l'étude de changement climatique dans ce tronçon, montrent une baisse significative des précipitations annuelles et une légère baisse des précipitations journalières maxi-annuelles pour les deux scénarii. Cette tendance à la baisse de la pluviométrie ne permet pas toutefois de conclure à une régression de la fréquence d'apparition de ces instabilités.

En effet, les autres paramètres climatiques, non disponibles dans cette étude, auront éventuellement un effet direct sur l'augmentation du risque de glissement dans ce tronçon :

- Une augmentation des intensités de pluie (horaires ou infra-horaires) engendrerait une augmentation de risque de glissement de terrain ;

- L'accroissement des écarts thermiques produirait la fatigue des niveaux de surface due aux sollicitations thermiques cycliques (fissuration du sol).

#### **INSTABILITES ROCHEUSES**

Les désordres liés aux instabilités rocheuses dans ce tronçon pourraient garder la même fréquence avec la diminution de la pluviométrie annuelle et la pluie journalière maximales.

Par ailleurs, l'augmentation des précipitations intenses à caractère ponctuel engendrerait la déstabilisation des parois rocheuses pouvant entraîner le basculement de blocs rocheux.

Les chutes de blocs et les éboulements causent des dommages importants à la route

D'autres actions déstabilisatrices liées aux sollicitations cycliques, sont:

- L'accentuation des épisodes de sécheresse favorisant l'altération superficielle et la fatigue de la roche (fracturation) ;
- Dans la section de la route qui reçoit la neige et dans les versants rocheux l'accroissement des cycles de gel-dégel augmenterait le risque des chutes de blocs par l'éclatement de roches.

#### **EROSION DE SOL**

L'érosion du sol est directement liée à l'intensité des précipitations. Vu la non disponibilité des données sur l'intensité de pluie horaire ou infra-horaire, l'effet de ce paramètre sur le risque d'érosion n'est pas étudié.

Par ailleurs, une augmentation de ce phénomène touchera de façon préférentielle les terrains en partie dénudés et vallonnés. Le phénomène d'érosion des sols, pourrait être accentué avec la sécheresse accrue. Une dessiccation des sols pouvant provoquer des éboulis accentués en pied de versant.

#### **DEGRADATIONS DE LA CHAUSSEE**

Ces désordres sont plus impactés par les variations thermiques (jour et nuit) et par les cycles de gel/dégel.

Une augmentation de ces amplitudes entraînerait une augmentation de ces dégradations, en particulier si le drainage des eaux n'est pas assuré.

#### **5.2.3.3. Conclusion**

La synthèse de l'évolution climatique prévue met en évidence, une baisse significative des précipitations annuelles et une légère baisse des pluies journalières maxi-annuelles (valeurs moyennes) pour les deux scénarii étudiés. De plus, aucune tendance significative à la baisse ou à la hausse n'a pu être mise en évidence pour les phénomènes pluvieux ponctuels extrêmes (orages). Enfin, l'impact du changement climatique sur les autres paramètres climatiques, que sont la température et les cycles de gel/dégel ne sont pas traités.

Dans cette configuration, rien ne permet de conclure si les risques liés aux phénomènes géologiques constatés baisseront ou augmenteront à l'avenir. Le diagnostic issu des visites de terrain, associé à l'expérience de l'Ingénierie, montrent toutefois que le risque persisterait vraisemblablement tant que les sections de la RN2 concernées par ces désordres ne seront pas traitées dans le cadre d'études techniques spécifiques.

## 5.2.4. Risques liés aux chutes de neige

### 5.2.4.1. Rappel des désordres rencontrés

Les désordres rencontrés concernent des coupures du trafic induites par les chutes de neige et le phénomène de verglas.

Ces coupures nécessitent une mobilisation de moyens humains et techniques en vue de rétablir la circulation et d'éviter l'enclavement des localités en particulier entre Bab Berred et Issaguen.

Ces coupures peuvent durer jusqu'à 2 jours, et ont lieu entre le 15/01 et le 30/03 de chaque année.

### 5.2.4.2. Impact du changement climatique sur l'évolution des désordres liés à la neige

En absence de données collectées sur la neige, l'impact du changement climatique sur ce paramètre n'a pas pu être examiné par l'ingénierie. De ce fait il n'est pas possible d'analyser l'évolution des désordres relatifs au phénomène de neige.

### 5.3. TRONÇON RR508 ENTRE OUTABOUABANE ET SAKKA

#### 5.3.1. Rappel des résultats du changement climatique

L'analyse des changements climatiques a été réalisée par l'Ingénierie sur la base de l'analyse des projections climatiques disponibles, ce qui a permis d'aboutir aux variations suivantes.

##### 5.3.1.1. Pluie annuelle

Le tableau suivant synthétise les variations prévues pour les périodes 2025-2045 (horizon 2035) et 2040-2060 (horizon 2050) pour deux scénarii : RCP 4.5 et RCP 8.5 :

Tableau 161 – Rappel des résultats de changement climatique pour les pluies annuelles – Tronçon Outabouabane –Sakka

TR (%)	2046-2065		
	10ème p	med	90ème p
RCP 4.5	-17,54	-9,52	-3,47
RCP 8.5	-14,16	-5,85	-1,58

TR (%)	2046-2065		
	10ème p	med	90ème p
RCP 4.5	-20,39	-13,79	-4,67
RCP 8.5	-24,53	-12,43	-5,57

On note une prévision à la baisse des pluies annuelles :

- Horizon 2035 : entre -17.55 et -1.58 %, avec une médiane autour de -5.85 % pour le scénario RCP 4.5 et -9.5 % pour le scénario RCP 8.5 ;
- Horizon 2050 : entre -24.6 et -4.6 %, avec une médiane autour de -13.8 % pour le scénario RCP 4.5 et - 12.4 % pour le scénario RCP 8.5

##### 5.3.1.2. Pluie journalière maximale annuelle

Pour ce paramètre, nous avons :

- d'une part, analysé les variations des valeurs moyennes et des valeurs extrêmes à partir de la médiane et de la dispersion de la distribution des 11 modèles afin de définir les tendances aux horizons étudiés. Le tableau ci-après synthétise les tendances et variations retenues.



Tableau 162 – RR508 - Pluies journalières maxi-annuelles : variations et tendances

Précipitations journalières maxi-annuelles		Valeurs moyennes		Valeurs maximales (Extrêmes de précipitations)	
		Tendance	variations moyennes (médiane)	Tendance	variations moyennes (médiane)
RR508 - Poste de TAZA	Horizon 2035 (2025-2045)	légère diminution	-15%	Aucune tendance ne se dégage	0%
	Horizon 2050 (2040-2060)		-9%		

- d'autre part, effectué une analyse fréquentielle des chroniques historiques et futures d'une façon identique à l'analyse statistique réalisée dans l'étape de diagnostic. Les variations sont synthétisées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 163 – RR508 - Rappel des résultats de changement climatique pour les pluies journalières maxi-annuelles

RR508 - Poste de TAZA							
Variations des précipitations journalières maxi-annuelles par rapport à la période de référence 1979-1999							
Précipitations journalières maxi-annuelles	Horizon 2035 (2025-2045)			Horizon 2050 (2040-2060)			
	Mini	Moyenne	Maxi	Mini	Moyenne	Maxi	
Valeurs moyennes	-27.5%	-11.5%	2.8%	-26.3%	-10.0%	17.0%	
Valeurs maximales (Extrêmes de précipitations)	-45.1%	-8.5%	0.9%	-22.5%	-4.9%	2.1%	
Quantiles des hauteurs de précipitations journalières maxi-annuelles	T = 2 ans	-26.1%	-11.1%	3.1%	-26.2%	-10.2%	15.7%
	T = 5 ans	-32.1%	-12.7%	1.7%	-28.9%	-9.5%	21.4%
	T = 10 ans	-34.7%	-13.3%	1.1%	-32.3%	-9.2%	24.0%
	T = 20 ans	-36.9%	-13.8%	0.6%	-34.7%	-9.0%	26.0%
	T = 50 ans	-41.1%	-14.2%	0.6%	-37.0%	-8.7%	28.0%
	T = 100 ans	-43.5%	-14.4%	1.4%	-38.3%	-8.5%	29.2%

La lecture de ce tableau montre :

- une tendance à la baisse de -11.5 % et -10 % pour la moyenne des hauteurs journalières maximales annuelles sur les 2 périodes de prévision 2025-2045 et 2040-2060 ;

- une tendance à la baisse pour le maximum des hauteurs journalières maximales annuelles, elle est de -8.5 % à l'horizon 2035 et de -4.9 % à l'horizon 2050 ;
- Pour les quantiles des pluies journalières maximales annuelles, la tendance est à la baisse entre -11.1 et -14.4 % à l'horizon 2035, et entre -8.5 et -10.2 % à l'horizon 2050. Ce qui correspond à des variations moyennes de -13.2 % environ à l'horizon 2035 et -9.2 % environ à l'horizon 2050.

#### 5.3.1.3. Intensité des pluies

Cet aspect n'a pas été traité dans l'analyse climatique.

L'extrapolation depuis la variation des pluies journalières maximales reste délicate, en particulier pour des durées de pluies faibles à moyennes (entre 5 et 60 minutes).

#### 5.3.1.4. Neige

En absence de données collectées sur la neige, ce paramètre n'a pas pu être examiné par l'ingénierie.

### 5.3.2. Risques hydrologiques

#### 5.3.2.1. Quantification sommaire des impacts hydrologiques

Les résultats de changements climatiques ont mis en évidence une diminution des quantiles de pluies journalières maximales annuelles : en moyenne elle serait autour de -13 % pour la période 2025-2045, et de -9 % pour la période 2040-2060.

On pourrait s'attendre, a priori, à des baisses de débits de projet sur ces deux périodes, avec des variations comparables à celles résumées ci-avant. Toutefois, au vue de l'absence d'analyse de l'évolution des intensités de pluie d'une part, et de l'aptitude au ruissellement d'autres part, la tendance de variation des débits reste difficile à prévoir.

Il est en effet nécessaire de souligner les incertitudes qui pèsent sur le calcul des débits de projet.

La RR508 intercepte des bassins de moins de 20 km<sup>2</sup>, entre 20 et 100 km<sup>2</sup>, et dépassant les 100 km<sup>2</sup>.

Pour les bassins de moins de 20 km<sup>2</sup>, et vu les pentes rencontrées sur ce tronçon de montagne, les temps de concentrations sont en général moyens à faibles comme le montre le calcul effectuée pour les bassins des points de visite :

Tableau 164 – Temps de concentration des petits bassins versants – Tronçon Outabouabane -Sakka

Rapport de visites		Surface de bassin versant drainé Km <sup>2</sup>	Pente %	temps de concentration tc min
n° point	PK			
2	36+700	1.73	13.91%	20.05
3	37+800	0.06	51.00%	5.00
6	50+600	0.17	41.15%	5.00
9	56+700	0.04	30.53%	5.00
11	72+100	0.12	24.77%	7.58
12	72+300	0.11	27.59%	5.67
16	80+500	0.08	43.99%	5.00
19	96+600	0.17	18.51%	5.00
21	117+882	0.63	23.94%	9.24
22	126+089	0.39	12.08%	9.32

Le tableau montre que les temps de concentration varient entre 5 et 20 minutes. Or pour ces gammes, la variation des intensités de pluie est difficile à prédire : en termes de cumul journalier on peut observer des baisses, mais en termes de répartition dans la journée de cette même pluie on peut observer des hausses d'intensité.

Pour les bassins de plus de 20 km<sup>2</sup> franchis ou dont les oueds longeant la RR508, l'évolution des maxima de débits de crue des oueds jaugés ne suit pas systématiquement la même tendance de baisse que celle des maxima de pluie journalière annuelle. De ce fait il est difficile d'appréhender l'évolution des débits de projet de ces bassins.

## 5.3.2.2. Analyse des incertitudes hydrologiques

## QUANTILES DE PLUIES JOURNALIERES MAXIMALES ANNUELLES

Le tableau suivant rappelle les quantiles des pluies maximales journalières annuelles obtenus par ajustement statistique à la loi de Gumbel :

Tableau 165 – Rappel des quantiles de pluies journalières maximales annuelles – Tronçon Outabouabane - Sakka

Poste	N°	Z (mNGM)	Pjmax (T) (mm)					
			2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Boured Unifié	2338-38bis	965	46	75	94	113	137	155
Bab Marzouka	1564	365	47	63	73	83	96	105
Bab Ouender	1568	630	64	87	102	117	136	150
Tissa	8440	275	43	57	66	75	87	96
Sakka	6514	747	43	63	77	89	106	118
Pont de Sakka	6268	340	20	32	39	47	56	64

L'estimation des intervalles de confiance pour ces postes permet d'aboutir au tableau suivant :

Tableau 166 – Intervalles de confiance des quantiles de pluies journalières maximales annuelles – Tronçon Outabouabane -Sakka

Poste	N°	n	Ecart type $\sigma$	Intervalle de confiance à 90 % (mm)					
				2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Boured Unifié	2338-38bis	27	28.43	[38-57]	[64-95]	[80-122]	[95-148]	[114-182]	[128-208]
Bab Marzouka	1564	33	17.60	[43-53]	[56-73]	[65-88]	[72-102]	[82-120]	[90-133]
Bab Ouender	1568	57	25.84	[60-70]	[80-98]	[93-118]	[105-136]	[120-160]	[132-178]
Tissa	8440	50	15.94	[40-47]	[52-64]	[60-76]	[67-88]	[77-103]	[84-115]
Sakka	6514	35	22.73	[38-50]	[55-77]	[66-95]	[76-113]	[89-136]	[99-153]
Pont de Sakka	6268	36	11.68	[17-24]	[28-38]	[34-49]	[40-59]	[48-72]	[54-81]

Ce qui correspond à des écarts par rapport aux quantiles calculés comme suit :

Tableau 167 – Intervalles de variation en mm des quantiles de pluies journalières maximales annuelles – Tronçon Outabouabane -Sakka

Poste	N°	n	Ecart type $\sigma$	Variation dans l'intervalle de confiance à 90 % (mm)					
				2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Boured Unifié	2338-38bis	27	28.43	[-8, +11]	[-11, +20]	[-15, +28]	[-18, +35]	[-23, +45]	[-27, +53]
Bab Marzouka	1564	33	17.60	[-4, +6]	[-6, +11]	[-8, +15]	[-10, +19]	[-13, +24]	[-15, +28]
Bab Ouender	1568	57	25.84	[-5, +6]	[-7, +11]	[-10, +15]	[-12, +19]	[-16, +25]	[-18, +29]
Tissa	8440	50	15.94	[-3, +4]	[-5, +7]	[-6, +10]	[-8, +13]	[-10, +17]	[-12, +19]
Sakka	6514	35	22.73	[-6, +7]	[-8, +13]	[-11, +18]	[-13, +23]	[-17, +30]	[-19, +35]
Pont de Sakka	6268	36	11.68	[-3, +4]	[-4, +7]	[-5, +9]	[-7, +12]	[-9, +15]	[-10, +18]

En pourcentages, ces variations sont comme suit :

Tableau 168 – Intervalles de variation en % des quantiles de pluies journalières maximales annuelles – Tronçon Outabouabane -Sakka

Poste	N°	n	Ecart type $\sigma$	Variation dans l'intervalle de confiance à 90 % (%)					
				2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Boured Unifié	2338-38bis	27	28.43	[-17, 23]	[-15, 27]	[-16, 29]	[-16, 31]	[-17, 33]	[-17, 34]
Bab Marzouka	1564	33	17.60	[-9, 12]	[-10, 17]	[-12, 20]	[-13, 23]	[-14, 25]	[-15, 27]
Bab Ouender	1568	57	25.84	[-8, 9]	[-9, 13]	[-10, 15]	[-11, 16]	[-12, 18]	[-12, 19]
Tissa	8440	50	15.94	[-8, 9]	[-9, 13]	[-10, 15]	[-11, 17]	[-12, 19]	[-12, 20]
Sakka	6514	35	22.73	[-13, 17]	[-13, 21]	[-14, 24]	[-15, 26]	[-16, 28]	[-16, 30]
Pont de Sakka	6268	36	11.68	[-14, 18]	[-13, 21]	[-14, 24]	[-14, 25]	[-15, 27]	[-16, 28]

On retiendra donc, qu'en moyenne, ces variations se situent comme suit :

Tableau 169 – Intervalle de variation moyenne en % des quantiles de pluies journalières maximales annuelles – Tronçon Outabouabane -Sakka

Variation moyenne dans l'intervalle de confiance à 90 % (%)					
2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
[-12, 15]	[-11, 19]	[-12, 21]	[-13, 23]	[-14, 25]	[-15, 26]

### QUANTILES DE PLUIES ANNUELLES

Le tableau suivant rappelle les quantiles des pluies annuelles obtenus par ajustement statistique à la loi de Gumbel :

Tableau 170 – Rappel des quantiles de pluies annuelles – Tronçon Outabouabane -Sakka

Poste	N°	Z (mNGM)	Pan (T) (mm)					
			2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Boured Unifié	2338-38bis	965	404	652	817	975	1179	1332
Bab Marzouka	1564	365	453	580	663	743	847	925
Bab Ouender	1568	630	684	942	1113	1277	1489	1649
Tissa	8440	275	476	642	752	858	995	1097
Sakka	6514	747	281	369	427	483	556	610
Pont de Sakka	6268	340	126	168	196	223	258	284

L'estimation des intervalles de confiance pour ces postes permet d'aboutir au tableau suivant. On notera que les valeurs proposées pour Bab Marzouka ne sont qu'à titre indicatif au vu de la taille réduite de l'échantillon disponible.



Tableau 171 – Intervalles de confiance des quantiles de pluies annuelles – Tronçon Outabouabane -Sakka

Poste	N°	n	Ecart type $\sigma$	Intervalle de confiance à 90 % (mm)					
				2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Boured Unifié	2338-38bis	26	241.43	[334-496]	[555-828]	[690-1059]	[817-1283]	[980-1575]	[1101-1795]
Bab Marzouka	1564	9	142.85	[371-587]	[486-850]	[547-1040]	[603-1225]	[672-1467]	[723-1649]
Bab Ouender	1568	56	292.18	[627-752]	[857-1068]	[1001-1286]	[1137-1496]	[1311-1771]	[1442-1977]
Tissa	8440	50	188.18	[437-523]	[585-730]	[677-872]	[763-1010]	[875-1190]	[958-1325]
Sakka	6514	35	99.56	[256-312]	[334-428]	[381-508]	[425-586]	[482-687]	[525-763]
Pont de Sakka	6268	36	47.96	[114-140]	[151-196]	[174-234]	[196-271]	[223-320]	[243-357]

Ce qui correspond à des écarts par rapport aux quantiles calculés comme suit :

Tableau 172 – Intervalles de variation en mm des quantiles de pluies annuelles – Tronçon Outabouabane - Sakka

Poste	N°	n	Ecart type $\sigma$	Intervalle de confiance à 90 % (mm)					
				2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Boured Unifié	2338-38bis	26	241.43	[-70, +92]	[-97, +176]	[-127, +242]	[-158, +308]	[-200, +396]	[-232, +462]
Bab Marzouka	1564	9	142.85	[-82, +134]	[-93, +271]	[-116, +377]	[-140, +482]	[-175, +620]	[-202, +724]
Bab Ouender	1568	56	292.18	[-57, +68]	[-85, +126]	[-112, +173]	[-140, +219]	[-178, +281]	[-207, +328]
Tissa	8440	50	188.18	[-39, +47]	[-57, +87]	[-76, +120]	[-95, +152]	[-120, +195]	[-140, +228]
Sakka	6514	35	99.56	[-25, +31]	[-35, +59]	[-46, +81]	[-58, +103]	[-73, +132]	[-85, +154]
Pont de Sakka	6268	36	47.96	[-12, +15]	[-17, +28]	[-22, +38]	[-28, +48]	[-35, +62]	[-41, +73]

En pourcentage, ces variations sont comme suit :

Tableau 173 – Intervalles de variation en % des quantiles de pluies annuelles – Tronçon Outabouabane -Sakka

Poste	N°	n	Ecart type $\sigma$	Intervalle de confiance à 90 % (%)					
				2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Boured Unifié	2338-38bis	26	241.43	[-17, 23]	[-15, 27]	[-16, 30]	[-16, 32]	[-17, 34]	[-17, 35]
Bab Marzouka	1564	9	142.85	[-18, 30]	[-16, 47]	[-17, 57]	[-19, 65]	[-21, 73]	[-22, 78]
Bab Ouender	1568	56	292.18	[-8, 10]	[-9, 13]	[-10, 15]	[-11, 17]	[-12, 19]	[-13, 20]
Tissa	8440	50	188.18	[-8, 10]	[-9, 14]	[-10, 16]	[-11, 18]	[-12, 20]	[-13, 21]
Sakka	6514	35	99.56	[-9, 11]	[-10, 16]	[-11, 19]	[-12, 21]	[-13, 24]	[-14, 25]
Pont de Sakka	6268	36	47.96	[-9, 12]	[-10, 16]	[-11, 19]	[-12, 22]	[-14, 24]	[-14, 26]

On retiendra que ces variations se situent en moyenne, sans prise en compte du poste Bab Marzouka, comme suit :

Tableau 174 – Intervalle de variation moyenne en % des quantiles de pluies annuelles – Tronçon Outabouabane -Sakka

Variation moyenne dans l'intervalle de confiance à 90 % (%)					
2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
[-10, 13]	[-10, 17]	[-12, 20]	[-13, 22]	[-14, 24]	[-14, 25]

#### QUANTILES DES INTENSITES PLUVIOMETRIQUES

L'Ingénierie a estimé les intensités de pluie au droit des postes de pluie, de ce fait les intervalles de confiance vis-à-vis de l'intensité pluviométrique se déduit de ceux proposés pour la pluie journalière maximale annuelle. Le tableau suivant rappelle les intensités de pluie estimées pour les postes de référence.

Il est toutefois à souligner que ces estimations sont données à titre indicatif, et qu'une meilleure appréhension de ce paramètre nécessiterait la disponibilité d'enregistrements pluviographiques au niveau de ces postes de pluies, et au niveau du pluviographe de Taza.

Tableau 175 – Rappel des intensités pluviométriques décennales et centennales – Tronçon Outabouabane - Sakka

Poste	N°	Z (mNGM)	Occurrence (ans)	I(T) (mm/hr)					
				5 min	10 min	15 min	30 min	60 min	120 min
Boured Unifié	2338-38bis	965	10	135	89	70	46	30	20
Bab Marzouka	1564	365	10	104	69	54	36	24	16
Bab Ouender	1568	630	10	147	97	76	50	33	22
Tissa	8440	275	10	95	63	49	32	21	14
Sakka	6514	747	10	110	72	57	37	25	16
Pont de Sakka	6268	340	10	57	37	29	19	13	8
Boured Unifié	2338-38bis	965	100	222	146	115	76	50	33
Bab Marzouka	1564	365	100	151	99	78	51	34	22
Bab Ouender	1568	630	100	215	142	111	73	48	32
Tissa	8440	275	100	137	90	71	47	31	20
Sakka	6514	747	100	169	112	88	58	38	25
Pont de Sakka	6268	340	100	91	60	47	31	21	14

L'estimation des intervalles de confiance pour ces postes permet d'aboutir au tableau suivant :

Tableau 176 – Intervalles de confiance des intensités de pluie – Tronçon Outabouabane -Sakka

Poste	N°	Z (mNGM)	Occurrence (ans)	Intervalle de confiance à 90 % (mm/hr)					
				5 min	10 min	15 min	30 min	60 min	120 min
Boured Unifié	2338-38bis	965	10	[114, 175]	[75, 116]	[59, 91]	[39, 60]	[26, 39]	[17, 26]
Bab Marzouka	1564	365	10	[92, 126]	[61, 83]	[48, 65]	[32, 43]	[21, 28]	[14, 19]
Bab Ouender	1568	630	10	[133, 168]	[88, 111]	[69, 87]	[45, 57]	[30, 38]	[20, 25]
Tissa	8440	275	10	[86, 110]	[57, 72]	[44, 57]	[29, 37]	[19, 25]	[13, 16]
Sakka	6514	747	10	[95, 136]	[62, 90]	[49, 70]	[32, 46]	[21, 31]	[14, 20]
Pont de Sakka	6268	340	10	[49, 70]	[32, 46]	[25, 36]	[17, 24]	[11, 16]	[7, 10]
Boured Unifié	2338-38bis	965	100	[183, 298]	[121, 196]	[95, 154]	[63, 102]	[41, 67]	[27, 44]
Bab Marzouka	1564	365	100	[129, 191]	[85, 126]	[67, 99]	[44, 65]	[29, 43]	[19, 28]
Bab Ouender	1568	630	100	[189, 256]	[124, 169]	[98, 132]	[64, 87]	[42, 58]	[28, 38]
Tissa	8440	275	100	[120, 164]	[79, 109]	[62, 85]	[41, 56]	[27, 37]	[18, 24]
Sakka	6514	747	100	[142, 220]	[93, 145]	[73, 114]	[48, 75]	[32, 49]	[21, 33]
Pont de Sakka	6268	340	100	[77, 116]	[51, 77]	[40, 60]	[26, 40]	[17, 26]	[11, 17]

Ce qui correspond à des écarts par rapport aux quantiles calculés comme suit :

Tableau 177 – Intervalles de variation en mm/hr des intensités de pluie – Tronçon Outabouabane -Sakka

Poste	N°	Z (mNGM)	Occurrence (ans)	Variation dans l'intervalle de confiance à 90 % (mm/hr)					
				5 min	10 min	15 min	30 min	60 min	120 min
Boured Unifié	2338-38bis	965	10	[-21, 40]	[-14, 26]	[-11, 21]	[-7, 14]	[-5, 9]	[-3, 6]
Bab Marzouka	1564	365	10	[-12, 21]	[-8, 14]	[-6, 11]	[-4, 7]	[-3, 5]	[-2, 3]
Bab Ouender	1568	630	10	[-14, 22]	[-9, 14]	[-7, 11]	[-5, 7]	[-3, 5]	[-2, 3]
Tissa	8440	275	10	[-9, 15]	[-6, 10]	[-5, 8]	[-3, 5]	[-2, 3]	[-1, 2]
Sakka	6514	747	10	[-15, 26]	[-10, 17]	[-8, 14]	[-5, 9]	[-3, 6]	[-2, 4]
Pont de Sakka	6268	340	10	[-8, 13]	[-5, 9]	[-4, 7]	[-3, 5]	[-2, 3]	[-1, 2]
Boured Unifié	2338-38bis	965	100	[-39, 76]	[-25, 50]	[-20, 39]	[-13, 26]	[-9, 17]	[-6, 11]
Bab Marzouka	1564	365	100	[-22, 41]	[-15, 27]	[-11, 21]	[-8, 14]	[-5, 9]	[-3, 6]
Bab Ouender	1568	630	100	[-26, 41]	[-17, 27]	[-13, 21]	[-9, 14]	[-6, 9]	[-4, 6]
Tissa	8440	275	100	[-17, 28]	[-11, 18]	[-9, 14]	[-6, 9]	[-4, 6]	[-3, 4]
Sakka	6514	747	100	[-28, 50]	[-18, 33]	[-14, 26]	[-10, 17]	[-6, 11]	[-4, 7]
Pont de Sakka	6268	340	100	[-14, 25]	[-9, 17]	[-7, 13]	[-5, 9]	[-3, 6]	[-2, 4]

En pourcentages, ces variations sont suit :

Tableau 178 – Intervalles de variation en % des intensités de pluie – Tronçon Outabouabane -Sakka

Poste	N°	Z (mNGM)	Occurrence (ans)	Variation dans l'intervalle de confiance à 90 % (%)					
				5 min	10 min	15 min	30 min	60 min	120 min
Boured Unifié	2338-38bis	965	10	[-16, 29]					
Bab Marzouka	1564	365	10	[-12, 20]					
Bab Ouender	1568	630	10	[-10, 15]					
Tissa	8440	275	10	[-10, 15]					
Sakka	6514	747	10	[-14, 24]					
Pont de Sakka	6268	340	10	[-14, 24]					
Boured Unifié	2338-38bis	965	100	[-17, 34]					
Bab Marzouka	1564	365	100	[-15, 27]					
Bab Ouender	1568	630	100	[-12, 19]					
Tissa	8440	275	100	[-12, 20]					
Sakka	6514	747	100	[-16, 30]					
Pont de Sakka	6268	340	100	[-16, 28]					

#### INCERTITUDES LIEES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Les résultats du changement climatique peuvent varier suivant les modèles de prévision utilisés.

Le tableau suivant rappelle les bornes de variation en % des variables analysées pour les pluies journalières maximales annuelles:

Tableau 179 – Intervalles de variation des résultats de changement climatique – Tronçon Outabouabane - Sakka

Pjmax moyenne	Pjmax maximale	Quantiles de pluies journalières maximales annuelles					
		2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
<b>Horizon 2025-2045</b>							
[-27, +3]	[-45, +1]	[-26, +3]	[-32, +2]	[-35, +1]	[-37, +1]	[-41, +1]	[-43, +1]
<b>Horizon 2040-2060</b>							
[-26, +17]	[-23, +2]	[-26, +16]	[-29, +21]	[-32, +24]	[-35, +26]	[-37, +28]	[-38, +29]

Ces valeurs montrent une variabilité assez importante pour le changement climatique affectant les maxima des pluies journalières annuelles (moyenne, maximum et quantiles) en particulier pour l'horizon 2040-2060.

#### INCERTITUDES LIEES A L'IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR L'ESTIMATION DES DEBITS DE PROJET

L'estimation de l'impact du changement climatique sur l'estimation des débits de projet, à partir de l'évolution prévisionnelle des pluies, comporte des incertitudes :

Pour les bassins de moins de 20 à 100 km<sup>2</sup> :

- l'évolution des maxima des pluies journalières annuelle ne renseigne pas sur celle des intensités de pluie, en particulier dans un contexte montagneux et des bassins versants de pentes importantes. En effet la répartition de la pluie journalière dans le temps ne suit pas systématiquement la même tendance que celle du cumul journalier, et des pics d'intensités plus prononcés peuvent être enregistrés pour des durées de pluies faibles à moyenne, même si le cumul journalier baisse ;
- outre l'intensité de pluie, l'évolution du couvert végétal reste une inconnue qui impacte l'aptitude au ruissellement et donc la variation du débit de pointe.

Pour les bassins de plus de 20 à 100 km<sup>2</sup> :

- l'étude de changement climatique ne renseigne pas sur l'évolution des débits instantanés ou journaliers au niveau des oueds jaugés par des stations hydrométriques. On notera que des pics de débits instantanés combinés à une variation moins prononcée des débits journaliers peuvent induire des augmentations des coefficients de pointe, et par conséquent des débits de projets même en cas de baisse des maxima de pluies journalières maximales annuelles.

Ces constats amènent à la prudence lors de l'analyse des impacts du changement climatique sur l'estimation des débits de projet, en particulier lorsque la tendance des pluies est à la baisse.

## CONCLUSION

L'analyse des incertitudes combinée aux résultats du changement climatique met en avant des incertitudes sur :

- l'estimation des quantiles des pluies journalières maximales annuelles (entre -15 et +26 %), et des pluies annuelles (entre -14 et +25 %) ;
- l'impact du changement climatique sur les pluies journalières maximales annuelles (entre -45 et +29 %), et des pluies annuelles (entre -25 et -2 %) ;
- l'impact du changement climatique sur les méthodes d'estimation des débits de projet ;
- l'évolution d'autres paramètres intervenant dans le calcul de ces débits en fonction du changement climatique (intensités de pluie, débits de pointe, couvert végétal...).

Il convient également de rappeler que l'estimation des débits de projet comporte elle-même des incertitudes variant de 10 à 100 %.

A la lumière de ces résultats, l'Ingénierie est d'avis que l'évolution des débits de projet pour les bassins interceptés par la RR508 reste difficile à appréhender : la baisse, en moyenne de -13.2 et -9.2 % suivant les horizons considérés, des maxima des pluies journalières maximales annuelles n'induirait pas systématiquement une baisse de ces débits, et ne permet pas de conclure une atténuation des risques potentiels liés aux crues. De plus, la moyenne de baisse n'est pas très significative par rapport aux incertitudes qui pèsent sur l'évolution des débits de crue à l'avenir.

Ce constat met en exergue un risque lié aux incertitudes afférentes au changement climatique, pour y remédier plusieurs pistes pourraient être éventuellement envisagées dont :

- La modélisation de l'évolution des débits de crues observés au niveau des stations hydrométriques gérées par les Agences de Bassins Hydrauliques du Sebou et de la Moulouya ;
- L'étude de l'évolution de l'aptitude au ruissellement en combinant les paramètres pluie et température pour mieux cerner les résultats sur le couvert végétal sur la base du suivi de bassins expérimentaux en zone montagneuse ;



- Le suivi de l'évolution des intensités de pluie à travers l'exploitation des enregistrements pluviographiques des postes pluviométriques : à cet égard l'Ingénierie indique que certaines stations hydrologiques existent avec un suivi en temps réel des pluies instantanées ;
- Des études de sensibilité pourraient également être élaborées afin de déterminer le paramètre le plus prépondérant dans l'évaluation des débits de projets ;
- Enfin une collaboration entre la Direction de la Météo Nationale (DMN) et les Agences de Bassins Hydrauliques (ABH) serait souhaitable afin de pouvoir disposer d'une base de données hydro-pluviométriques plus longues et plus riche et se baser dessus lors des modélisations de paramètres relevés ci-dessus (débits de crue, ruissellement, couvert végétal...).

#### 5.3.2.3. Evaluation qualitative des impacts du changement climatique

Comme indiqué dans l'approche proposée par l'Ingénierie, les phénomènes ou risques naturels encourus par la RR508 (inondations, érosion pluviale ou fluviale, affouillement, charriage et transport solide) sont très complexes et font intervenir plusieurs facteurs.

Leur évolution dans le temps, sur la base uniquement de celle des pluies extrêmes est difficile à appréhender, d'autant plus que de grandes incertitudes pèsent sur l'évaluation de la tendance de variation des intensités de pluie et du couvert végétal d'une part, et des débits de crue des oueds ou de projet d'autre part.

Ces incertitudes ne permettent pas de préciser qualitativement, de manière claire, l'évolution de ces phénomènes physiques et du potentiel de risques afférents qu'ils font subir à la plateforme routière. L'Ingénierie est donc d'avis que rien ne permet de déduire si ces risques vont baisser ou augmenter à l'avenir. Ils pourront toutefois, vraisemblablement, et comme l'a montré le diagnostic et les visites de terrain réalisés, persister à l'avenir si la situation actuelle de la RR 508 n'est pas revue et améliorée pour atténuer la vulnérabilité de cette route et résoudre les désordres constatés.

Pour ce faire la réalisation d'études techniques spécifiques est indispensable pour déceler l'origine exacte et vraisemblable de ces dégradations, et proposer les solutions les plus appropriées.

### 5.3.3. Risques géologiques

#### 5.3.3.1. Rappel des désordres rencontrés

Les principaux types de désordres affectant le tronçon routier et son environnement sont rappelés comme suit :

- Les glissements de terrain ;
- Les instabilités rocheuses (éboulements et chutes de blocs) ;
- La dégradation de la chaussée (fissuration, affaissement, etc.)

#### 5.3.3.2. Impact du changement climatique sur les désordres géologiques

L'effet du changement climatique est analysé pour chaque typologie de désordre comme suit :

### GLISSEMENTS DE TERRAIN :

Les désordres liés aux glissements de terrain sont plus fréquents dans ce tronçon.

Les terrains affectés par le glissement sont à dominance marneuse sensible à l'eau. En effet, la pluie est considérée comme un facteur déclenchant en conjonction avec d'autres paramètres (configuration défavorable de terrain).

Les résultats de l'étude de changement climatique pour les deux horizons étudiés (horizons 2035 et 2050), montrent une légère baisse des précipitations annuelles et journalières maxi-annuelles. Par conséquence, les glissements de terrain ayant une relation directe avec les précipitations, auront des fréquences qui tendraient à rester dans le même ordre de grandeur.

Par ailleurs, les autres paramètres climatiques, non disponibles lors de cette étude, auront éventuellement un effet direct sur l'augmentation du risque dans ce tronçon :

- Une augmentation des intensités de pluies (horaires ou infra-horaires) et des maxima de pluie en hiver, engendrerait une augmentation de risque de glissement de terrain à cause de l'infiltration de l'eau, la saturation des sols et perte de la cohésion : augmentation de la fréquence des instabilités d'ampleur faible à moyenne et un accroissement des déplacements de grande ampleur (versants instables) ;
- Les écarts thermiques pourraient augmenter la fatigue des niveaux de surface due aux sollicitations thermiques cycliques (dessiccation et fissuration de sol meuble).

Les glissements affectent la chaussée ou son environnement amont et aval. En amont, ils causent son recouvrement par les masses glissées et en aval ils donnent lieu à un affaissement, puis déplacement de la chaussée.

### INSTABILITES ROCHEUSES

Les chutes de blocs et les éboulements causent des dommages importants à la route et constituent des points de coupures. Les instabilités rocheuses sont très réduites dans ce tronçon, car la route se développe dans un environnement géologique caractérisé par des flyschs et marnes.

La tendance à la baisse de la pluviométrie annuelle ne permet pas de conclure à une régression de la fréquence d'apparition de ces instabilités.

Par ailleurs, c'est la variation des événements pluviométriques extrêmes et ponctuels de courte durée qui devrait primer ainsi que les actions déstabilisatrices liées aux sollicitations cycliques (température) générant la fatigue du matériau et favorisant sa baisse de résistance (fracturation).

### EROSION DE SOL

L'érosion du sol étant directement lié à l'intensité des précipitations (désagrégation des particules de sol, ruissellement entraînant les particules de sols favorisé par la saturation des sols, pouvoir érosif de l'eau sur les zones à fortes pentes), l'effet de ce paramètre sur le risque d'érosion ne peut toutefois être apprécié en absence de données spécifiques traitant de l'évolution de cet aspect climatique.

Par ailleurs, une augmentation de ce phénomène toucherait de façon préférentielle les terrains en partie dénudés et vallonnés. De plus, la diminution de la couverture végétale, qui serait induite par les augmentations de température combinée à la baisse des pluies, diminuerait la protection des sols face aux phénomènes érosifs.

### DEGRADATIONS DE LA CHAUSSEE

Ces désordres sont plus impactés par les variations thermiques (jour et nuit) et par les cycles de gel/dégel.

Une augmentation de ces amplitudes entraînerait une augmentation de ces dégradations, en particulier si le drainage des eaux n'est pas assuré.

#### 5.3.3.1. Conclusion

La synthèse de l'évolution climatique prévue met en évidence, une légère baisse des précipitations annuelles et des pluies journalières maxi- annuelles (pour les valeurs moyennes). De plus, aucune tendance significative à la baisse ou à la hausse n'a pu être mise en évidence pour les phénomènes pluvieux ponctuels extrêmes (orages). Enfin, l'impact du changement climatique sur les autres paramètres climatiques, que sont la température et les cycles de gel/dégel ne sont pas traités.

Dans cette configuration, **rien ne permet de conclure si les risques liés aux phénomènes géologiques constatés baisseront ou augmenteront à l'avenir**. Le diagnostic issu des visites de terrain, associé à l'expérience de l'Ingénierie, montrent toutefois que le risque persisterait vraisemblablement tant que les sections de la RR 508 concernées par ces désordres ne seront pas traitées dans le cadre d'études techniques spécifiques.

#### 5.3.4. Risques liés aux chutes de neige

Les visites de terrain ont montré que la RR 508 n'est pas affectée par cette problématique, de ce fait cet aspect de l'analyse n'est pas concerné pour ce tronçon.

## 5.4. TRONÇON RR706 ENTRE RICH ET IMILCHIL

### 5.4.1. Rappel des résultats du changement climatique

L'analyse des changements climatiques a été réalisée par l'Ingénierie sur la base de l'analyse des projections climatiques disponibles, ce qui a permis d'aboutir aux variations suivantes.

#### 5.4.1.1. Pluie annuelle

Le tableau suivant synthétise les variations prévues pour la période 2046-2065 (horizon 2055) pour deux scénarii : A1B (intermédiaire) et A2 (pessimiste):

Tableau 180 – Rappel des résultats de changement climatique pour les pluies annuelles – Tronçon Rich - Imilchil

TR (%)	2046-2065		
	10ème p	med	90ème p
A1B (intermédiaire)	-38,67	-29,74	-20,34
A2 (pessimiste)	-48,30	-24,51	-5,96

On note une prévision à la baisse des pluies annuelles entre -48.3 et -5.96 %, avec une médiane autour de -24.5 % pour le scénario A2 et -29.75 % pour le scénario A1B.

Pour la période 2021-2050 (horizon 2035) l'étude de la DMN évoque une variation de -5 à +5 % pour le scénario intermédiaire A1B.

#### 5.4.1.2. Pluie journalière maximale annuelle

Pour ce paramètre, nous avons :

- d'une part, analysé les variations des valeurs moyennes et des valeurs extrêmes à partir de la médiane et de la dispersion de la distribution des 11 modèles afin de définir les tendances aux horizons étudiés. Le tableau ci-après synthétise les tendances et variations retenues.

Tableau 181 – RR706 - Pluies journalières maxi-annuelles : variations et tendances

Précipitations journalières maxi-annuelles		Valeurs moyennes		Valeurs maximales (Extrêmes de précipitations)	
		Tendance	variations moyennes (médiane)	Tendance	variations moyennes (médiane)
RR706 - Poste d'ERRACHIDIA	Horizon 2035 (2025-2045)	Aucune tendance ne se dégage	0%	Aucune tendance ne se dégage	0%
	Horizon 2050 (2040-2060)				

- d'autre part, effectué une analyse fréquentielle des chroniques historiques et futures d'une façon identique à l'analyse statistique réalisée dans l'étape de diagnostic. Les variations sont synthétisées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 182 – RR706 - Rappel des résultats de changement climatique pour les pluies journalières maxi-annuelles

**RR706 - Poste d'ERRACHIDIA****Variations des précipitations journalières maxi-annuelles par rapport à la période de référence 1979-1999**

Précipitations journalières maxi-annuelles		Horizon 2035 (2025-2045)			Horizon 2050 (2040-2060)		
		Mini	Moyenne	Maxi	Mini	Moyenne	Maxi
Valeurs moyennes		-22.9%	-4.9%	26.7%	-16.2%	-1.7%	35.7%
Valeurs maximales (Extrêmes de précipitations)		-51.4%	-3.1%	99.5%	-51.4%	-13.8%	46.3%
Quantiles des hauteurs de précipitations journalières maxi-annuelles	T = 2 ans	-22.5%	-4.4%	25.8%	-17.2%	-0.7%	34.7%
	T = 5 ans	-25.4%	-5.8%	31.8%	-22.0%	-4.5%	38.5%
	T = 10 ans	-29.5%	-6.0%	40.0%	-26.3%	-5.8%	39.9%
	T = 20 ans	-33.1%	-6.0%	45.9%	-29.1%	-6.7%	40.8%
	T = 50 ans	-36.5%	-6.0%	51.8%	-31.7%	-7.5%	41.7%
	T = 100 ans	-38.4%	-5.9%	55.2%	-33.1%	-8.0%	42.2%

La lecture de ce tableau montre :

- une tendance à la baisse de -4.9% et -1.7 % pour la moyenne des hauteurs journalières maximales annuelles sur les 2 périodes de prévision 2025-2045 et 2040-2060 ;
- une tendance à la baisse pour le maximum des hauteurs journalières maximales annuelles, elle est de -3.1 % à l'horizon 2035 et de -13.8 % à l'horizon 2050 ;
- Pour les quantiles des pluies journalières maximales annuelles, la tendance est à la baisse entre -4.4 et -6 % à l'horizon 2035, et entre -0.7 et -8 % à l'horizon 2050. Ce qui correspond à des variations moyennes de -5.7 % environ à l'horizon 2035 et -5.5 % environ à l'horizon 2050.

*5.4.1.3. Intensité des pluies*

Cet aspect n'a pas été traité dans l'analyse climatique.

L'extrapolation depuis la variation des pluies journalières maximales reste délicate, en particulier pour des durées de pluies faibles à moyennes (entre 5 et 60 minutes).

*5.4.1.4. Neige*

En absence de données collectées sur la neige, ce paramètre n'a pas pu être examiné par l'ingénierie.

## 5.4.2. Risques hydrologiques

### 5.4.2.1. Quantification sommaire des impacts hydrologiques

Les résultats de changements climatiques ont mis en évidence une diminution des quantiles de pluies journalières maximales annuelles : en moyenne elle serait autour de -6 % pour les périodes 2025-2045 et 2040-2060.

On pourrait s'attendre, a priori, à des baisses de débits de projet sur ces deux périodes, avec des variations comparables à celles résumées ci-avant. Toutefois, au regard de l'absence d'analyse de l'évolution des intensités de pluie d'une part, et de l'aptitude au ruissellement d'autres part, la tendance de variation des débits reste difficile à prévoir.

Il est en effet nécessaire de souligner les incertitudes qui pèsent sur le calcul des débits de projet.

La RR706 intercepte des bassins de moins de 20 km<sup>2</sup>, entre 20 et 100 km<sup>2</sup>, et dépassant les 100 km<sup>2</sup>.

Pour les bassins de moins de 20 km<sup>2</sup>, et vu les pentes rencontrées sur ce tronçon de montagne, les temps de concentrations sont généralement moyens à faibles comme le montre le calcul effectuée pour les bassins des points de visite :

Tableau 183 – Temps de concentration des petits bassins versants – Tronçon Rich - Imilchil

Rapport de visites		Surface de bassin versant drainé	Pente	temps de concentration tc
n° point	PK	Km <sup>2</sup>	%	min
1	10+000	4.87	11.17%	28.85
3	37+400	4.28	21.95%	24.65
7	49+500	0.55	20.76%	9.67
8	50+300	3.72	10.02%	23.00
9	53+800	0.29	26.63%	6.49
10	60+000	0.24	53.08%	5.00
13	70+000	3.58	6.32%	35.22
18	100+100	14.52	7.18%	61.71
19	108+200	13.60	13.39%	39.40

Le tableau montre que les temps de concentration varient entre 5 et 62 minutes. Or pour ces gammes la variation des intensités de pluie est difficile à prédire : en termes de cumul journalier on peut observer des baisses mais en termes de répartition dans la journée de cette même pluie on peut observer des hausses d'intensité.

Pour les bassins de plus de 20 km<sup>2</sup> franchis ou dont les oueds longeant la RR706, l'évolution des maxima de débits de crue des oueds jaugés ne suit pas systématiquement la même tendance de baisse que celle des maxima de pluie journalière annuelle. De ce fait il est difficile d'appréhender l'évolution des débits de projet de ces bassins.



## 5.4.2.2. Analyse des incertitudes hydrologiques

## QUANTILES DE PLUIES JOURNALIERES MAXIMALES ANNUELLES

Le tableau suivant rappelle les quantiles des pluies maximales journalières annuelles obtenus par ajustement statistique à la loi de Gumbel :

Tableau 184 – Rappel des quantiles des pluies journalières maximales annuelles – Tronçon Rich - Imilchil

Poste	N°	Z (mNGM)	Pjmax (T) (mm)					
			2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Foum Tillicht	3887	1400	26	39	47	55	65	73
Foum Zaabel	3888	1230	28	43	53	62	74	84
Mzizel	5180	1441	23	34	41	48	57	63
Zaouia Sidi Hamza	8980	1650	31	42	50	57	66	73
Boutferda	2376	1550	42	56	66	76	88	97
Tizi N Isly	8500	1330	39	49	55	62	70	76

L'estimation des intervalles de confiance pour ces postes permet d'aboutir au tableau suivant :

Tableau 185 – Intervalles de confiance des quantiles des pluies journalières maximales annuelles – Tronçon Rich - Imilchil

Poste	N°	n	Ecart type $\sigma$	Intervalle de confiance à 90 % (mm)					
				2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Foum Tillicht	3887	36	14.03	[23-30]	[34-47]	[40-58]	[47-69]	[55-83]	[61-94]
Foum Zaabel	3888	40	16.87	[24-33]	[37-52]	[45-65]	[53-78]	[63-95]	[70-107]
Mzizel	5180	29	10.58	[20-27]	[30-41]	[36-51]	[41-60]	[48-73]	[54-82]
Zaouia Sidi Hamza	8980	43	12.47	[29-35]	[38-49]	[44-59]	[50-68]	[57-80]	[63-89]
Boutferda	2376	41	16.75	[38-46]	[51-65]	[59-78]	[66-91]	[76-108]	[83-120]
Tizi N Isly	8500	38	11.37	[36-42]	[45-55]	[50-64]	[55-73]	[62-84]	[67-93]

Ce qui correspond à des écarts par rapport aux quantiles calculés comme suit :

Tableau 186 – Intervalles de variation en mm des quantiles de pluies journalières maximales annuelles –  
Tronçon Rich - Imilchil

Poste	N°	n	Ecart type $\sigma$	Variation dans l'intervalle de confiance à 90 % (mm)					
				2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Foum Tillicht	3887	36	14.03	[-3, +4]	[-5, +8]	[-6, +11]	[-8, +14]	[-10, +18]	[-12, +21]
Foum Zaabel	3888	40	16.87	[-4, +5]	[-6, +9]	[-7, +12]	[-9, +16]	[-12, +20]	[-14, +24]
Mzizel	5180	29	10.58	[-3, +4]	[-4, +7]	[-5, +10]	[-7, +12]	[-8, +16]	[-10, +19]
Zaouia Sidi Hamza	8980	43	12.47	[-3, +3]	[-4, +6]	[-5, +9]	[-7, +11]	[-8, +14]	[-10, +17]
Boutferda	2376	41	16.75	[-4, +5]	[-6, +9]	[-7, +12]	[-9, +15]	[-12, +20]	[-13, +23]
Tizi N Isly	8500	38	11.37	[-3, +3]	[-4, +6]	[-5, +9]	[-6, +11]	[-8, +14]	[-9, +17]

En pourcentages, ces variations sont comme suit :

Tableau 187 – Intervalles de variation en % des quantiles de pluies journalières maximales annuelles –  
Tronçon Rich - Imilchil

Poste	N°	n	Ecart type $\sigma$	Variation dans l'intervalle de confiance à 90 % (%)					
				2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Foum Tillicht	3887	36	14.03	[-13, 17]	[-13, 21]	[-14, 24]	[-15, 26]	[-16, 28]	[-16, 29]
Foum Zaabel	3888	40	16.87	[-14, 17]	[-13, 21]	[-14, 24]	[-15, 25]	[-16, 27]	[-16, 28]
Mzizel	5180	29	10.58	[-12, 16]	[-12, 21]	[-13, 24]	[-14, 26]	[-15, 28]	[-15, 29]
Zaouia Sidi Hamza	8980	43	12.47	[-9, 11]	[-10, 15]	[-11, 18]	[-12, 20]	[-13, 22]	[-14, 23]
Boutferda	2376	41	16.75	[-9, 11]	[-10, 16]	[-11, 18]	[-12, 20]	[-13, 23]	[-14, 24]
Tizi N Isly	8500	38	11.37	[-7, 9]	[-8, 13]	[-9, 16]	[-10, 18]	[-12, 20]	[-12, 22]

On retiendra qu'en moyenne ces variations se situent en moyenne comme suit :

Tableau 188 – Intervalle de variation moyenne en % des quantiles de pluies journalières maximales annuelles –  
Tronçon Rich - Imilchil

Variation moyenne dans l'intervalle de confiance à 90 % (%)					
2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
[-11, 14]	[-11, 18]	[-12, 20]	[-13, 23]	[-14, 25]	[-15, 26]

### QUANTILES DE PLUIES ANNUELLES

Le tableau suivant rappelle les quantiles des pluies annuelles obtenus par ajustement statistique à la loi de Gumbel :

Tableau 189 – Rappel des quantiles des pluies annuelles – Tronçon Rich - Imilchil

Poste	N°	Z (mNGM)	Pan (T) (mm)					
			2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Foum Tillicht	3887	1400	168	246	298	348	413	461
Foum Zaabel	3888	1230	156	228	275	321	380	424
Mzizel	5180	1441	155	223	268	311	366	408
Zaouia Sidi Hamza	8980	1650	231	307	358	406	469	516
Tizi N Isly	8500	1330	394	528	616	701	811	894

L'estimation des intervalles de confiance pour ces postes permet d'aboutir au tableau suivant :

Tableau 190 – Intervalles de confiance des quantiles des pluies annuelles – Tronçon Rich - Imilchil

Poste	N°	n	Ecart type $\sigma$	Intervalle de confiance à 90 % (mm)					
				2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Foum Tillicht	3887	36	88.76	[146-195]	[215-298]	[257-369]	[297-438]	[348-528]	[386-595]
Foum Zaabel	3888	40	81.10	[138-180]	[201-271]	[240-335]	[276-397]	[323-477]	[358-538]
Mzizel	5180	29	76.42	[135-183]	[194-274]	[229-338]	[263-401]	[306-482]	[337-543]
Zaouia Sidi Hamza	8980	43	86.37	[212-255]	[279-351]	[321-418]	[360-483]	[410-568]	[448-632]
Tizi N Isly	8500	38	151.36	[358-439]	[476-612]	[548-732]	[616-849]	[703-1000]	[768-1114]

Ce qui correspond à des écarts par rapport aux quantiles calculés comme suit :

Tableau 191 – Intervalles de variation en mm des quantiles de pluies annuelles – Tronçon Rich - Imilchil

Poste	N°	n	Ecart type $\sigma$	Intervalle de confiance à 90 % (mm)					
				2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Foum Tillicht	3887	36	88.76	[-22, +27]	[-31, +51]	[-41, +70]	[-51, +90]	[-65, +115]	[-75, +134]
Foum Zaabel	3888	40	81.10	[-19, +23]	[-27, +44]	[-36, +60]	[-45, +76]	[-57, +98]	[-66, +114]
Mzizel	5180	29	76.42	[-21, +27]	[-29, +51]	[-38, +71]	[-48, +90]	[-61, +116]	[-70, +135]
Zaouia Sidi Hamza	8980	43	86.37	[-19, +24]	[-28, +44]	[-37, +61]	[-46, +77]	[-59, +99]	[-68, +116]
Tizi N Isly	8500	38	151.36	[-36, +45]	[-52, +84]	[-68, +116]	[-85, +147]	[-108, +189]	[-125, +220]

En pourcentages, ces variations sont comme suit :

Tableau 192 – Intervalles de variation en % des quantiles de pluies annuelles – Tronçon Rich - Imilchil

Poste	N°	n	Ecart type $\sigma$	Intervalle de confiance à 90 % (%)					
				2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Foum Tillicht	3887	36	88.76	[-13, 16]	[-13, 21]	[-14, 24]	[-15, 26]	[-16, 28]	[-16, 29]
Foum Zaabel	3888	40	81.10	[-12, 15]	[-12, 19]	[-13, 22]	[-14, 24]	[-15, 26]	[-16, 27]
Mzizel	5180	29	76.42	[-13, 17]	[-13, 23]	[-14, 26]	[-15, 29]	[-17, 32]	[-17, 33]
Zaouia Sidi Hamza	8980	43	86.37	[-8, 10]	[-9, 14]	[-10, 17]	[-11, 19]	[-12, 21]	[-13, 22]
Tizi N Isly	8500	38	151.36	[-9, 11]	[-10, 16]	[-11, 19]	[-12, 21]	[-13, 23]	[-14, 25]

On retiendra que ces variations se situent en moyenne comme suit :

Tableau 193 – Intervalle de variation moyenne en % des quantiles de pluies annuelles – Tronçon Rich - Imilchil

Variation moyenne dans l'intervalle de confiance à 90 % (%)					
2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
[-11, 14]	[-11, 19]	[-12, 21]	[-14, 24]	[-15, 26]	[-15, 27]

#### QUANTILES DES INTENSITES PLUVIOMETRIQUES

L'Ingénierie a estimé les intensités de pluie au droit des postes de pluie, de ce fait les intervalles de confiance vis-à-vis de l'intensité pluviométrique se déduit de ceux proposés pour la pluie journalière annuelle. Le tableau suivant rappelle les intensités estimées pour les postes de pluie.

Il est toutefois à souligner que ces estimations sont données à titre indicatif, et qu'une meilleure appréhension de ce paramètre nécessiterait la disponibilité d'enregistrements pluviographiques au niveau de ces postes de pluies, ou au niveau du pluviographe d'Errachidia.

Tableau 194 – Rappel des intensités de pluie décennales et centennales – Tronçon Rich - Imilchil

Poste	N°	Z (mNGM)	Occurrence (ans)	I(T) (mm/hr)					
				5 min	10 min	15 min	30 min	60 min	120 min
Foum Tillicht	3887	1400	10	67	44	35	23	15	10
Foum Zaabel	3888	1230	10	75	50	39	26	17	11
Mzizel	5180	1441	10	59	39	30	20	13	9
Zaouia Sidi Hamza	8980	1650	10	71	47	37	24	16	11
Boutferda	2376	1550	10	95	62	49	32	21	14
Tizi N Isly	8500	1330	10	79	52	41	27	18	12
Foum Tillicht	3887	1400	100	104	69	54	35	23	15
Foum Zaabel	3888	1230	100	120	79	62	41	27	18
Mzizel	5180	1441	100	91	60	47	31	20	13
Zaouia Sidi Hamza	8980	1650	100	104	69	54	36	23	15
Boutferda	2376	1550	100	139	91	72	47	31	21
Tizi N Isly	8500	1330	100	109	72	56	37	25	16

L'estimation des intervalles de confiance pour ces postes permet d'aboutir au tableau suivant :

Tableau 195 – Intervalles de confiance des intensités de pluie – Tronçon Rich - Imilchil

Poste	N°	Z (mNGM)	Occurrence (ans)	Intervalle de confiance à 90 % (mm/hr)					
				5 min	10 min	15 min	30 min	60 min	120 min
Foum Tillicht	3887	1400	10	[58, 83]	[38, 55]	[30, 43]	[20, 28]	[13, 19]	[9, 12]
Foum Zaabel	3888	1230	10	[65, 93]	[43, 61]	[33, 48]	[22, 32]	[15, 21]	[10, 14]
Mzizel	5180	1441	10	[51, 73]	[34, 48]	[26, 38]	[17, 25]	[12, 16]	[8, 11]
Zaouia Sidi Hamza	8980	1650	10	[64, 84]	[42, 55]	[33, 43]	[22, 29]	[14, 19]	[9, 12]
Boutferda	2376	1550	10	[84, 112]	[56, 74]	[44, 58]	[29, 38]	[19, 25]	[13, 17]
Tizi N Isly	8500	1330	10	[72, 92]	[47, 60]	[37, 47]	[24, 31]	[16, 21]	[11, 14]
Foum Tillicht	3887	1400	100	[87, 134]	[57, 89]	[45, 69]	[30, 46]	[20, 30]	[13, 20]
Foum Zaabel	3888	1230	100	[100, 154]	[66, 101]	[52, 79]	[34, 52]	[23, 35]	[15, 23]
Mzizel	5180	1441	100	[77, 118]	[51, 78]	[40, 61]	[26, 40]	[17, 26]	[11, 17]
Zaouia Sidi Hamza	8980	1650	100	[90, 128]	[59, 84]	[47, 66]	[31, 44]	[20, 29]	[13, 19]
Boutferda	2376	1550	100	[119, 172]	[79, 113]	[62, 89]	[41, 59]	[27, 39]	[18, 26]
Tizi N Isly	8500	1330	100	[95, 133]	[63, 88]	[49, 69]	[33, 45]	[21, 30]	[14, 20]

Ce qui correspond à des écarts par rapport aux quantiles calculés comme suit :

Tableau 196 – Intervalles de variation en mm/hr des intensités de pluie – Tronçon Rich - Imilchil

Poste	N°	Z (mNGM)	Occurrence (ans)	Variation dans l'intervalle de confiance à 90 % (mm/hr)					
				5 min	10 min	15 min	30 min	60 min	120 min
Foum Tillicht	3887	1400	10	[-9, 16]	[-6, 11]	[-5, 8]	[-3, 5]	[-2, 4]	[-1, 2]
Foum Zaabel	3888	1230	10	[-11, 18]	[-7, 12]	[-6, 9]	[-4, 6]	[-2, 4]	[-2, 3]
Mzizel	5180	1441	10	[-8, 14]	[-5, 9]	[-4, 7]	[-3, 5]	[-2, 3]	[-1, 2]
Zaouia Sidi Hamza	8980	1650	10	[-8, 13]	[-5, 8]	[-4, 6]	[-3, 4]	[-2, 3]	[-1, 2]
Boutferda	2376	1550	10	[-10, 17]	[-7, 11]	[-5, 9]	[-4, 6]	[-2, 4]	[-2, 3]
Tizi N Isly	8500	1330	10	[-7, 12]	[-5, 8]	[-4, 6]	[-3, 4]	[-2, 3]	[-1, 2]
Foum Tillicht	3887	1400	100	[-17, 30]	[-11, 20]	[-9, 16]	[-6, 10]	[-4, 7]	[-3, 5]
Foum Zaabel	3888	1230	100	[-20, 34]	[-13, 22]	[-10, 18]	[-7, 12]	[-4, 8]	[-3, 5]
Mzizel	5180	1441	100	[-14, 27]	[-9, 18]	[-7, 14]	[-5, 9]	[-3, 6]	[-2, 4]
Zaouia Sidi Hamza	8980	1650	100	[-14, 24]	[-9, 16]	[-7, 12]	[-5, 8]	[-3, 5]	[-2, 4]
Boutferda	2376	1550	100	[-19, 33]	[-13, 22]	[-10, 17]	[-7, 11]	[-4, 7]	[-3, 5]
Tizi N Isly	8500	1330	100	[-13, 24]	[-9, 16]	[-7, 12]	[-5, 8]	[-3, 5]	[-2, 4]

En pourcentages, ces variations sont comme suit :

Tableau 197 – Intervalles de variation en % des intensités de pluie – Tronçon Rich - Imilchil

Poste	N°	Z (mNGM)	Occurrence (ans)	Variation dans l'intervalle de confiance à 90 % (%)					
				5 min	10 min	15 min	30 min	60 min	120 min
Foum Tillicht	3887	1400	10	[-14, 24]					
Foum Zaabel	3888	1230	10	[-14, 24]					
Mzizel	5180	1441	10	[-13, 24]					
Zaouia Sidi Hamza	8980	1650	10	[-11, 18]					
Boutferda	2376	1550	10	[-11, 18]					
Tizi N Isly	8500	1330	10	[-9, 16]					
Foum Tillicht	3887	1400	100	[-16, 29]					
Foum Zaabel	3888	1230	100	[-16, 28]					
Mzizel	5180	1441	100	[-15, 29]					
Zaouia Sidi Hamza	8980	1650	100	[-14, 23]					
Boutferda	2376	1550	100	[-14, 24]					
Tizi N Isly	8500	1330	100	[-12, 22]					

#### INCERTITUDES LIEES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Les résultats du changement climatique peuvent varier suivant les modèles de prévision utilisés.

Le tableau suivant rappelle les bornes de variation en % des variables analysées pour les pluies journalières maximales annuelles:

Tableau 198 – Intervalle de variation des résultats de changement climatique – Tronçon Rich - Imilchil

Pjmax moyenne	Pjmax maximale	Quantiles de pluies journalières maximales annuelles					
		2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
<b>Horizon 2025-2045</b>							
[-23, +27]	[-51, +100]	[-23, +26]	[-25, +32]	[-29, +40]	[-33, +46]	[-36, +52]	[-38, +55]
<b>Horizon 2040-2060</b>							
[-16, +36]	[-51, +46]	[-17, +35]	[-22, +39]	[-26, +40]	[-29, +41]	[-32, +42]	[-33, +42]

Ces valeurs montrent une variabilité assez importante pour le changement climatique affectant les maxima de pluies journalières annuelles (moyenne, maximum et quantiles), ce qui incite à la prudence lors de l'exploitation de ces résultats.

#### INCERTITUDES LIEES A L'IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR L'ESTIMATION DES DEBITS DE PROJET

L'estimation de l'impact du changement climatique sur l'estimation des débits de projet, à partir de l'évolution prévisionnelle des pluies, comporte des incertitudes :



Pour les bassins de moins de 20 à 100 km<sup>2</sup> :

- l'évolution des maxima des pluies journalières annuelle ne renseigne pas sur celle des intensités de pluie, en particulier dans un contexte montagneux et des bassins versants de pentes importantes. En effet la répartition de la pluie journalière dans le temps ne suit pas systématiquement la même tendance que celle du cumul journalier, et des pics d'intensités plus prononcés peuvent être enregistrés pour des durées de pluies faibles à moyenne, même si le cumul journalier baisse ;
- outre l'intensité de pluie, l'évolution du couvert végétal reste une inconnue qui impacte l'aptitude au ruissellement et donc la variation du débit de pointe.

Pour les bassins de plus de 20 à 100 km<sup>2</sup> :

- l'étude de changement climatique ne renseigne pas sur l'évolution des débits instantanés ou journaliers au niveau des oueds jaugés par des stations hydrométriques. On notera que des pics de débits instantanés combinés à une variation moins prononcée des débits journaliers peuvent induire des augmentations des coefficients de pointe, et par conséquent des débits de projets même en cas de baisse des maxima de pluies journalières maximales annuelles.

Ces constats amènent à la prudence lors de l'analyse des impacts du changement climatique sur l'estimation des débits de projet, en particulier lorsque la tendance des pluies est à la baisse.

## CONCLUSION

L'analyse des incertitudes combinée aux résultats du changement climatique met en avant des incertitudes sur :

- l'estimation des quantiles des pluies journalières maximales annuelles (entre -15 et +26 %), et des pluies annuelles (-15 et +27 %) ;
- l'impact du changement climatique sur les pluies journalières maximales annuelles (entre -51 et +100 %), et des pluies annuelles (entre -48 et +5 %) ;
- l'impact du changement climatique sur les méthodes d'estimation des débits de projet ;
- l'évolution d'autres paramètres intervenant dans le calcul de ces débits en fonction du changement climatique (intensités de pluie, débits de pointe, couvert végétal...).

Il convient également de rappeler que l'estimation des débits de projet comporte elle-même des incertitudes variant de 10 à 100 %.

A la lumière de ces résultats, l'Ingénierie est d'avis que l'évolution des débits de projet pour les bassins interceptés par la RR706 reste difficile à appréhender : la baisse, en moyenne de -5.7 et -5.5 % suivant les horizons considérés, des maxima des pluies journalières maximales annuelles n'induirait pas systématiquement une baisse de ces débits, et ne permet pas de conclure à une atténuation des risques potentiels liés aux crues. De plus, la moyenne de baisse n'est pas très significative par rapport aux incertitudes qui pèsent sur l'évolution des débits de crue à l'avenir.

### 5.4.2.3. Evaluation qualitative des impacts du changement climatique

Comme indiqué dans l'approche proposée par l'Ingénierie, les phénomènes ou risques naturels encourus par la RR706 (inondations, érosion pluviale ou fluviale, affouillement, charriage et transport solide) sont très complexes et font intervenir plusieurs facteurs.

Leur évolution dans le temps, sur la base uniquement de celle des pluies extrêmes est difficile à appréhender, d'autant plus que de grandes incertitudes pèsent sur l'évaluation de la tendance de

variation des intensités de pluie et du couvert végétal d'une part, et des débits de crue des oueds ou de projet d'autre part.

Ces incertitudes ne permettent pas de préciser qualitativement, de manière claire, l'évolution de ces phénomènes physiques et du potentiel de risques afférents qu'ils font subir à la plateforme routière. L'Ingénierie est donc d'avis que rien ne permet de déduire si ces risques vont baisser ou augmenter à l'avenir. Ils pourront toutefois, vraisemblablement, et comme l'a montré le diagnostic et les visites de terrain réalisés, persister à l'avenir si la situation actuelle de la RR706 n'est pas revue et améliorée pour atténuer la vulnérabilité de cette route et résoudre les désordres constatés.

Pour ce faire la réalisation d'études techniques spécifiques est indispensable pour déceler l'origine exacte et vraisemblable de ces dégradations, et proposer les solutions les plus appropriées.

### 5.4.3. Risques géologiques

#### 5.4.3.1. Rappel des désordres rencontrés

Les principaux types de désordres affectant le tronçon routier et son environnement sont rappelés comme suit :

- Les glissements de terrain ;
- Les instabilités rocheuses (éboulements et chutes de blocs) ;
- La dégradation de la chaussée (fissuration, affaissement, etc.).

#### 5.4.3.2. Impact du changement climatique sur l'évolution des désordres

L'effet du changement climatique est examiné pour chaque typologie de désordre comme suit :

##### **GLISSEMENTS DE TERRAIN :**

Dans ce tronçon les glissements de terrain ont principalement une relation avec l'hydraulique puisqu'ils se développent dans les sections longeant l'oued.

##### **INSTABILITES ROCHEUSES**

Les désordres liés aux instabilités rocheuses dans ce tronçon pourraient garder la même fréquence malgré la baisse de la pluviométrie annuelle, et ce d'autant plus, qu'aucune tendance significative à la baisse ou à la hausse n'a été mise en évidence pour l'évolution des pluies journalières maxi-annuelles.

Notons que l'augmentation des précipitations intenses à caractère ponctuel pourrait engendrer la déstabilisation des parois rocheuses pouvant entraîner le basculement de blocs rocheux.

La fréquence des instabilités rocheuses ne peut pas être liée exclusivement à la pluviométrie. En effet, d'autres facteurs pourront influencer la déstabilisation des massifs rocheux. En effet les actions déstabilisatrices liées aux sollicitations cycliques (température) génèrent la fatigue du matériau et favorisent sa baisse de résistance (fracturation).

### **EROSION DE SOL**

L'érosion du sol est directement liée à l'intensité des précipitations. Vu la non disponibilité des données sur l'intensité de pluie (horaire ou infra-horaire), l'effet de ce paramètre sur le risque d'érosion ne peut être apprécié.

On notera qu'une augmentation de ce paramètre toucherait de façon préférentielle les terrains en partie dénudés et vallonnés. Le phénomène d'érosion des sols, pourrait être accentué avec la sécheresse accrue. Une dessiccation des sols pouvant provoquer des éboulis accentués en pied de versant.

### **DEGRADATIONS DE LA CHAUSSEE**

Ces désordres sont plus impactés par les variations thermiques (jour et nuit) et par les cycles de gel/dégel.

Une augmentation de ces amplitudes entraînerait une augmentation de ces dégradations, en particulier si le drainage des eaux n'est pas assuré.

#### **5.4.3.1. Conclusion**

La synthèse des évolutions climatiques attendues a mis en évidence, une baisse des précipitations annuelles pour les deux scénarii étudiés. Par contre, aucune tendance significative à la baisse ou à la hausse n'a été mise en évidence pour les pluies journalières maxi-annuelles. De plus, d'autres paramètres climatiques, présentant un intérêt pour l'analyse, n'ont pas pu être traités : il s'agit principalement des intensités de pluie (horaires ou infra-horaires), de la température et des cycles gel/dégel.

Dans cette configuration, **rien ne permet de conclure si les risques liés aux phénomènes géologiques constatés baisseront ou augmenteront à l'avenir**. Le diagnostic issu des visites de terrain, associé à l'expérience de l'Ingénierie, montrent toutefois que le risque persisterait vraisemblablement tant que les sections de la RR 706 concernées par ces désordres ne seront pas traitées dans le cadre d'études techniques spécifiques.

## **5.4.4. Risques liés aux chutes de neige**

### **5.4.4.1. Rappel des désordres rencontrés**

Les désordres rencontrés concernent des coupures du trafic induites par les chutes de neige et le phénomène de verglas.

Ces coupures se produisent principalement entre le PK 0 et PK 60, elles nécessitent une mobilisation de moyens humains et techniques en vue de rétablir la circulation et d'éviter l'enclavement des localités.

Ces interruptions de trafic peuvent se produire entre la période de novembre et mai de chaque année.

#### 5.4.4.2. Impact du changement climatique sur l'évolution des désordres liés à la neige

En absence de données collectées sur la neige, l'impact du changement climatique sur ce paramètre n'a pas pu être examiné par l'ingénierie. De ce fait il n'est pas possible d'analyser l'évolution des désordres relatifs au phénomène de neige pour la RR706.

## 5.5. TRONÇON RR106 ENTRE IGHREM ET ASSAKI

### 5.5.1. Rappel des résultats du changement climatique

L'analyse des changements climatiques a été réalisée par l'Ingénierie sur la base de l'analyse des projections climatiques disponibles, ce qui a permis d'aboutir aux variations suivantes.

#### 5.5.1.1. Pluie annuelle

Le tableau suivant synthétise les variations prévues pour la période 2046-2065 (horizon 2055) pour deux scénarii : A1B (intermédiaire) et A2 (pessimiste):

Tableau 199 – Rappel des résultats de changement climatique pour les pluies annuelles – Tronçon Ighrem-Assaki

TR (%)	2046-2065		
	10ème p	med	90ème p
A1B (intermédiaire)	-41,02	-31,56	-15,58
A2 (pessimiste)	-47,66	-22,24	1,78

On note une prévision de variation des pluies annuelles entre -48 et +1.8 %, avec une médiane autour de -22.2 % pour le scénario A2 et -31.6 % pour le scénario A1B.

Pour la période 2021-2050 (horizon 2035) l'étude de la DMN évoque une variation de :

- -5 à -25 % pour le scénario optimiste RCP 4.5 ;
- 0 à -30 % pour le scénario pessimiste RCP 8.5.

#### 5.5.1.2. Pluie journalière maximale annuelle

Pour ce paramètre, nous avons :

- d'une part, analysé les variations des valeurs moyennes et des valeurs extrêmes à partir de la médiane et de la dispersion de la distribution des 11 modèles afin de définir les tendances aux horizons étudiés. Le tableau ci-après synthétise les tendances et variations retenues.

Tableau 200 – RR106 - Pluies journalières maxi-annuelles : variations et tendances

Précipitations journalières maxi-annuelles		Valeurs moyennes		Valeurs maximales (Extrêmes de précipitations)	
		Tendance	variations moyennes (médiane)	Tendance	variations moyennes (médiane)
RR106 - Poste d'AGADIR	Horizon 2035 (2025-2045)	diminution significative	-22%	très légère diminution	-10%
	Horizon 2050 (2040-2060)		-16%		-1%

- d'autre part, effectué une analyse fréquentielle des chroniques historiques et futures d'une façon identique à l'analyse statistique réalisée dans l'étape de diagnostic. Les variations sont synthétisées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 201 – RR106 - Rappel des résultats de changement climatique des pluies journalières maxi-annuelles

<b>RR106 - Poste d'AGADIR</b>							
<b>Variations des précipitations journalières maxi-annuelles par rapport à la période de référence 1979-1999</b>							
Précipitations journalières maxi-annuelles	Horizon 2035 (2025-2045)			Horizon 2050 (2040-2060)			
	Mini	Moyenne	Maxi	Mini	Moyenne	Maxi	
Valeurs moyennes	-33.8%	-17.2%	18.5%	-31.9%	-16.3%	8.1%	
Valeurs maximales (Extrêmes de précipitations)	-39.0%	-7.3%	27.2%	-22.9%	-5.5%	11.5%	
Quantiles des hauteurs de précipitations journalières maxi-annuelles	T = 2 ans	-34.3%	-17.6%	18.2%	-32.4%	-16.9%	5.9%
	T = 5 ans	-32.3%	-16.0%	19.4%	-30.4%	-14.1%	14.6%
	T = 10 ans	-31.6%	-15.3%	19.8%	-29.6%	-13.0%	17.9%
	T = 20 ans	-33.1%	-14.8%	20.1%	-29.1%	-12.2%	20.2%
	T = 50 ans	-34.5%	-14.3%	20.3%	-28.6%	-11.4%	22.3%
	T = 100 ans	-35.2%	-14.0%	20.5%	-28.4%	-11.0%	23.6%

La lecture de ce tableau montre :

- une tendance à la baisse de -17.2 et -16.3 % pour la moyenne des hauteurs journalières maximales annuelles sur les 2 périodes de prévision 2025-2045 et 2040-2060 ;
- une tendance à la baisse pour le maximum des hauteurs journalières maximales annuelles, elle est de -7.3 % à l'horizon 2035 et de -5.5 % à l'horizon 2050 ;
- Pour les quantiles des pluies journalières maximales annuelles, la tendance est à la baisse entre -14 et -17.6% à l'horizon 2035, et entre -11 % et -16.9 % à l'horizon 2050. Ce qui correspond à des variations moyennes de -15.3 % environ à l'horizon 2035 et -13.1 % environ à l'horizon 2050.

#### 5.5.1.3. Intensité des pluies

Cet aspect n'a pas été traité dans l'analyse climatique.

L'extrapolation depuis la variation des pluies journalières maximales reste délicate, en particulier pour des durées de pluies faibles à moyennes (entre 5 et 60 minutes).

#### 5.5.1.4. Neige

En absence de données collectées sur la neige, ce paramètre n'a pas pu être examiné par l'Ingénierie.



## 5.5.2. Risques hydrologiques

### 5.5.2.1. Quantification sommaire des impacts hydrologiques

Les résultats de changements climatiques ont mis en évidence une diminution des quantiles des pluies journalières maximales annuelles : en moyenne elle serait autour de -15.5 % pour la période 2025-2045, et de -13 % pour la période 2040-2060.

On pourrait s'attendre, a priori, à des baisses de débits de projet sur ces deux périodes, avec des variations comparables à celles résumées ci-avant. Toutefois, et en absence d'analyse de l'évolution des intensités de pluie d'une part, et de l'aptitude au ruissellement d'autres part, la tendance de variation des débits reste difficile à prévoir.

Il est en effet nécessaire de souligner les incertitudes qui pèsent sur le calcul des débits de projet.

La RR106 intercepte des bassins de moins de 20 km<sup>2</sup>, entre 20 et 100 km<sup>2</sup>, et dépassant les 100 km<sup>2</sup>.

Pour les bassins de moins de 20 km<sup>2</sup>, et vu les pentes rencontrées sur ce tronçon de montagne, les temps de concentrations sont généralement moyens à faibles comme le montre le calcul effectuée pour les bassins des points de visite :

Tableau 202 – Temps de concentration des petits bassins versants – Tronçon Ighrem-Assaki

Rapport de visites		Surface de bassin versant drainé	Pente	temps de concentration tc
n° point	PK	Km <sup>2</sup>	%	min
1	93+270	0.13	11.46%	5.56
3	95+970	0.70	23.74%	8.91
4	96+970	0.10	33.08%	5.00

Le tableau montre que les temps de concentration varient entre 5 et 10 minutes. Or pour ces gammes la variation des intensités de pluie est difficile à prédire : en termes de cumul journalier on peut observer des baisses, mais en termes de répartition dans la journée de cette même pluie on peut observer des hausses d'intensité.

Pour les bassins de plus de 20 km<sup>2</sup> franchis ou dont les oueds longeant la RR106, l'évolution des maxima de débits de crue des oueds jaugés ne suit pas systématiquement la même tendance de baisse que celle des maxima de pluie journalière annuelle. De ce fait il est difficile d'appréhender l'évolution des débits de projet de ces bassins.

## 5.5.2.2. Analyse des incertitudes hydrologiques

## QUANTILES DE PLUIES JOURNALIÈRES MAXIMALES ANNUELLES

Le tableau suivant rappelle les quantiles des pluies maximales journalières annuelles obtenus par ajustement statistique à la loi de Gumbel :

Tableau 203 – Rappel des quantiles de pluies journalières maximales annuelles – Tronçon Ighrem-Assaki

Poste	N°	Z (mNGM)	Pjmax (T) (mm)					
			2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Immerguen DRE	4453	870	33	45	52	59	68	75
Taliouine	7648	1020	28	40	47	54	63	70
Ighrem	4512	1750	27	36	42	48	56	62
Taroudant Unifié	7976-77-78-84-85-88	255	39	52	60	69	79	87

L'estimation des intervalles de confiance pour ces postes permet d'aboutir au tableau suivant :

Tableau 204 – Intervalles de confiance des quantiles de pluies journalières maximales annuelles – Tronçon Ighrem-Assaki

Poste	N°	n	Ecart type $\sigma$	Intervalle de confiance à 90 % (mm)					
				2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Immerguen DRE	4453	39	12.55	[31-37]	[40-51]	[46-61]	[52-71]	[59-83]	[65-93]
Taliouine	7648	54	11.62	[26-31]	[36-45]	[42-54]	[49-63]	[56-75]	[62-84]
Ighrem	4512	25	10.71	[23-31]	[32-44]	[37-53]	[41-62]	[47-74]	[51-83]
Taroudant Unifié	7976-77-78-84-85-88	92	14.79	[36-41]	[48-56]	[56-67]	[63-77]	[72-90]	[79-100]

Ce qui correspond à des écarts par rapport aux quantiles calculés comme suit :

Tableau 205 – Intervalles de variation en mm des quantiles de pluies journalières maximales annuelles – Tronçon Ighrem-Assaki

Poste	N°	n	Ecart type $\sigma$	Variation dans l'intervalle de confiance à 90 % (mm)					
				2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Immerguen DRE	4453	39	12.55	[-3, +4]	[-4, +7]	[-6, +9]	[-7, +12]	[-9, +15]	[-10, +18]
Taliouine	7648	54	11.62	[-2, +3]	[-3, +5]	[-5, +7]	[-6, +9]	[-7, +11]	[-8, +13]
Ighrem	4512	25	10.71	[-3, +4]	[-4, +8]	[-6, +11]	[-7, +14]	[-9, +18]	[-10, +21]
Taroudant Unifié	7976-77-78-84-85-88	92	14.79	[-2, +3]	[-3, +5]	[-5, +6]	[-6, +8]	[-7, +10]	[-9, +12]

En pourcentages, ces variations sont comme suit :

Tableau 206 – Intervalles de variation en % des quantiles de pluies journalières maximales annuelles – Tronçon Ighrem-Assaki

Poste	N°	n	Ecart type $\sigma$	Variation dans l'intervalle de confiance à 90 % (%)					
				2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Immerguen DRE	4453	39	12.55	[-9, 11]	[-10, 15]	[-11, 18]	[-12, 20]	[-13, 23]	[-14, 24]
Taliouine	7648	54	11.62	[-8, 10]	[-9, 13]	[-10, 15]	[-10, 16]	[-11, 18]	[-12, 19]
Ighrem	4512	25	10.71	[-12, 16]	[-12, 22]	[-14, 26]	[-15, 29]	[-16, 32]	[-17, 34]
Taroudant Unifié	7976-77-78-84-85-88	92	14.79	[-6, 7]	[-7, 9]	[-8, 11]	[-8, 12]	[-9, 13]	[-10, 14]

En privilégiant les postes d'altitudes, on retiendra que ces variations se situent en moyenne comme suit :

Tableau 207 – Intervalle de variation moyenne en % des quantiles de pluies journalières maximales annuelles – Tronçon Ighrem-Assaki

Variation moyenne dans l'intervalle de confiance à 90 % (%)					
2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
[-10, 12]	[-10, 17]	[-11, 20]	[-12, 22]	[-13, 24]	[-14, 26]

#### QUANTILES DE PLUIES ANNUELLES

Le tableau suivant rappelle les quantiles des pluies annuelles obtenus par ajustement statistique à la loi de Gumbel :

Tableau 208 – Rappel des quantiles de pluies annuelles – Tronçon Ighrem-Assaki

Poste	N°	Z (mNGM)	Pan (T) (mm)					
			2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Immerguen DRE	4453	870	250	363	438	510	603	673
Taliouine	7648	1020	209	288	340	390	455	504
Ighrem	4512	1750	184	233	265	296	336	366
Taroudant Unifié	7976-77-78-84-85-88	255	196	292	356	417	496	556

L'estimation des intervalles de confiance pour ces postes permet d'aboutir au tableau suivant :

Tableau 209 – Intervalles de confiance des quantiles de pluies annuelles – Tronçon Ighrem-Assaki

Poste	N°	n	Ecart type $\sigma$	Intervalle de confiance à 90 % (mm)					
				2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Immerguen DRE	4453	39	128.07	[220-288]	[320-433]	[381-535]	[439-633]	[513-760]	[568-856]
Taliouine	7648	44	89.37	[189-233]	[259-333]	[302-402]	[343-469]	[395-556]	[434-622]
Ighrem	4512	19	55.14	[165-211]	[208-284]	[232-336]	[256-386]	[285-452]	[307-502]
Taroudant Unifié	7976-77-78-84-85-88	92	108.90	[180-215]	[267-327]	[322-403]	[375-477]	[443-573]	[493-645]

Ce qui correspond à des écarts par rapport aux quantiles calculés comme suit :

Tableau 210 – Intervalles de variation en mm des quantiles de pluies annuelles – Tronçon Ighrem-Assaki

Poste	N°	n	Ecart type $\sigma$	Variation dans l'intervalle de confiance à 90 % (mm)					
				2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Immerguen DRE	4453	39	128.07	[-30, +37]	[-43, +70]	[-57, +96]	[-71, +122]	[-90, +157]	[-105, +183]
Taliouine	7648	44	89.37	[-20, +24]	[-29, +45]	[-38, +62]	[-47, +79]	[-60, +101]	[-70, +118]
Ighrem	4512	19	55.14	[-19, +26]	[-25, +51]	[-33, +71]	[-41, +90]	[-51, +116]	[-60, +135]
Taroudant Unifié	7976-77-78-84-85-88	92	108.90	[-16, +19]	[-25, +35]	[-34, +47]	[-42, +60]	[-54, +77]	[-63, +90]

En pourcentages, ces variations sont comme suit :

Tableau 211 – Intervalles de variation en % des quantiles de pluies annuelles – Tronçon Ighrem-Assaki

Poste	N°	n	Ecart type $\sigma$	Variation dans l'intervalle de confiance à 90 % (%)					
				2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Immerguen DRE	4453	39	128.07	[-12, 15]	[-12, 19]	[-13, 22]	[-14, 24]	[-15, 26]	[-16, 27]
Taliouine	7648	44	89.37	[-9, 12]	[-10, 16]	[-11, 18]	[-12, 20]	[-13, 22]	[-14, 23]
Ighrem	4512	19	55.14	[-10, 14]	[-11, 22]	[-12, 27]	[-14, 30]	[-15, 34]	[-16, 37]
Taroudant Unifié	7976-77-78-84-85-88	92	108.90	[-8, 10]	[-9, 12]	[-9, 13]	[-10, 14]	[-11, 15]	[-11, 16]

En privilégiant les postes d'altitudes, ces variations se situent en moyenne comme suit :

Tableau 212 – Intervalle de variation moyenne en % des quantiles de pluies annuelles – Tronçon Ighrem-Assaki

Variation moyenne dans l'intervalle de confiance à 90 % (%)					
2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
[-11, 14]	[-11, 19]	[-12, 22]	[-13, 25]	[-14, 28]	[-15, 29]

#### QUANTILES DES INTENSITES PLUVIOMETRIQUES

L'Ingénierie a estimé les intensités de pluie au droit des postes de pluie, de ce fait les intervalles de confiance vis-à-vis de l'intensité pluviométrique se déduit de ceux proposés pour la pluie journalière annuelle. Le tableau suivant rappelle les intensités de pluie estimées à partir des postes de pluie.

Il est toutefois à souligner que ces estimations sont données à titre indicatif, et qu'une meilleure appréhension de ce paramètre nécessiterait la disponibilité d'enregistrements pluviographiques au niveau de ces postes de pluies, ou au niveau du pluviographe d'Agadir.

Tableau 213 – Rappel des intensités de pluie décennales et centennales – Tronçon Ighrem-Assaki

Poste	N°	Z (mNGM)	Occurrence (ans)	I(T) (mm/hr)					
				5 min	10 min	15 min	30 min	60 min	120 min
Immerguen DRE	4453	870	10	74	49	38	25	17	11
Taliouine	7648	1020	10	67	44	35	23	15	10
Ighrem	4512	1750	10	61	40	31	21	14	9
Taroudant Unifié	7976-77-78-84-85-88	255	10	86	57	45	30	19	13
Immerguen DRE	4453	870	100	107	71	56	37	24	16
Taliouine	7648	1020	100	101	67	52	34	23	15
Ighrem	4512	1750	100	89	58	46	30	20	13
Taroudant Unifié	7976-77-78-84-85-88	255	100	125	83	65	43	28	19

L'estimation des intervalles de confiance pour ces postes permet d'aboutir au tableau suivant :

Tableau 214 – Intervalles de confiances des intensités de pluie – Tronçon Ighrem-Assaki

Poste	N°	Z (mNGM)	Occurrence (ans)	Intervalle de confiance à 90 % (mm/hr)					
				5 min	10 min	15 min	30 min	60 min	120 min
Immerguen DRE	4453	870	10	[66, 88]	[44, 58]	[34, 45]	[23, 30]	[15, 20]	[10, 13]
Taliouine	7648	1020	10	[61, 77]	[40, 51]	[31, 40]	[21, 26]	[14, 17]	[9, 12]
Ighrem	4512	1750	10	[52, 76]	[35, 50]	[27, 40]	[18, 26]	[12, 17]	[8, 11]
Taroudant Unifié	7976-77-78-84-85-88	255	10	[80, 96]	[53, 63]	[41, 49]	[27, 33]	[18, 22]	[12, 14]
Immerguen DRE	4453	870	100	[93, 133]	[61, 88]	[48, 69]	[32, 45]	[21, 30]	[14, 20]
Taliouine	7648	1020	100	[89, 120]	[59, 79]	[46, 62]	[30, 41]	[20, 27]	[13, 18]
Ighrem	4512	1750	100	[74, 119]	[49, 78]	[38, 62]	[25, 41]	[17, 27]	[11, 18]
Taroudant Unifié	7976-77-78-84-85-88	255	100	[113, 143]	[75, 94]	[59, 74]	[39, 49]	[25, 32]	[17, 21]

Ce qui correspond à des écarts par rapport aux quantiles calculés comme suit :

Tableau 215 – Intervalles de variation en mm des intensités de pluie – Tronçon Ighrem-Assaki

Poste	N°	Z (mNGM)	Occurrence (ans)	Variation dans l'intervalle de confiance à 90 % (mm/hr)					
				5 min	10 min	15 min	30 min	60 min	120 min
Immerguen DRE	4453	870	10	[-8, 13]	[-5, 9]	[-4, 7]	[-3, 5]	[-2, 3]	[-1, 2]
Taliouine	7648	1020	10	[-6, 10]	[-4, 7]	[-3, 5]	[-2, 3]	[-1, 2]	[-1, 1]
Ighrem	4512	1750	10	[-8, 16]	[-5, 10]	[-4, 8]	[-3, 5]	[-2, 4]	[-1, 2]
Taroudant Unifié	7976-77-78-84-85-88	255	10	[-7, 9]	[-4, 6]	[-3, 5]	[-2, 3]	[-1, 2]	[-1, 1]
Immerguen DRE	4453	870	100	[-15, 26]	[-10, 17]	[-8, 13]	[-5, 9]	[-3, 6]	[-2, 4]
Taliouine	7648	1020	100	[-12, 19]	[-8, 13]	[-6, 10]	[-4, 7]	[-3, 4]	[-2, 3]
Ighrem	4512	1750	100	[-15, 30]	[-10, 20]	[-8, 16]	[-5, 10]	[-3, 7]	[-2, 4]
Taroudant Unifié	7976-77-78-84-85-88	255	100	[-12, 17]	[-8, 11]	[-6, 9]	[-4, 6]	[-3, 4]	[-2, 3]

En pourcentages, ces variations sont comme suit :

Tableau 216 – Intervalles de variation en % des intensités de pluie – Tronçon Ighrem-Assaki

Poste	N°	Z (mNGM)	Occurrence (ans)	Variation dans l'intervalle de confiance à 90 % (%)					
				5 min	10 min	15 min	30 min	60 min	120 min
Immerguen DRE	4453	870	10	[-11, 18]					
Taliouine	7648	1020	10	[-10, 15]					
Ighrem	4512	1750	10	[-14, 26]					
Taroudant Unifié	7976-77-78-84-85-88	255	10	[-8, 11]					
Immerguen DRE	4453	870	100	[-14, 24]					
Taliouine	7648	1020	100	[-12, 19]					
Ighrem	4512	1750	100	[-17, 34]					
Taroudant Unifié	7976-77-78-84-85-88	255	100	[-10, 14]					

#### INCERTITUDES LIEES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Les résultats du changement climatique peuvent varier suivant les modèles de prévision utilisés.

Le tableau suivant rappelle les bornes de variation en % des variables analysées pour les pluies journalières maximales annuelles:

Tableau 217 – Intervalles de variation des résultats de changement climatique – Tronçon Ighrem-Assaki

Pjmax moyenne	Pjmax maximale	Quantiles de pluies journalières maximales annuelles					
		2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
<b>Horizon 2025-2045</b>							
[-34, +18]	[-39, +27]	[-34, +18]	[-32, +19]	[-32, +20]	[-33, +20]	[-34, +20]	[-35, +20]
<b>Horizon 2040-2060</b>							
[-32, +8]	[-23, +11]	[-32, +6]	[-30, +15]	[-30, +18]	[-29, +20]	[-29, +22]	[-28, +24]

Ces valeurs montrent une variabilité assez importante pour le changement climatique affectant les maxima de pluies journalières annuelles (moyenne, maximum et quantiles), ce qui incite à la prudence lors de l'exploitation de ces résultats.

#### INCERTITUDES LIEES A L'IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR L'ESTIMATION DES DEBITS DE PROJET

L'estimation de l'impact du changement climatique sur l'estimation des débits de projet, à partir de l'évolution prévisionnelle des pluies, comporte des incertitudes :

Pour les bassins de moins de 20 à 100 km<sup>2</sup> :

- l'évolution des maxima des pluies journalières annuelle ne renseigne pas sur celle des intensités de pluie, en particulier dans un contexte montagneux et des bassins versants de pentes importantes. En effet la répartition de la pluie journalière dans le temps ne suit pas systématiquement la même tendance que celle du cumul journalier, et des pics d'intensités



plus prononcés peuvent être enregistrés pour des durées de pluies faibles à moyenne, même si le cumul journalier baisse ;

- outre l'intensité de pluie, l'évolution du couvert végétal reste une inconnue qui impacte l'aptitude au ruissellement et donc la variation du débit de pointe.

Pour les bassins de plus de 20 à 100 km<sup>2</sup> :

- l'étude de changement climatique ne renseigne pas sur l'évolution des débits instantanés ou journaliers au niveau des oueds jaugés par des stations hydrométriques. On notera que des pics de débits instantanés combinés à une variation moins prononcée des débits journaliers peuvent induire des augmentations des coefficients de pointe, et par conséquent des débits de projets même en cas de baisse des maximas de pluies journalières maximales annuelles.

Ces constats amènent à la prudence lors de l'analyse des impacts du changement climatique sur l'estimation des débits de projet.

### CONCLUSION

L'analyse des incertitudes combinée aux résultats du changement climatique met en avant des incertitudes sur :

- l'estimation des quantiles de pluies journalières maximales annuelles (entre -14 et +26 %), et des pluies annuelles (entre -15 et +29 %) ;
- l'impact du changement climatique sur les pluies journalières maximales annuelles (entre -39 et +27 %), et des pluies annuelles (entre -48 et +2 %) ;
- l'impact du changement climatique sur les méthodes d'estimation des débits de projet ;
- l'évolution d'autres paramètres intervenant dans le calcul de ces débits en fonction du changement climatique (intensités de pluie, débits de pointe, couvert végétal...).

Il convient également de rappeler que l'estimation des débits de projet comporte elle-même des incertitudes variant de 10 à 100 %.

A la lumière de ces résultats, l'Ingénierie est d'avis que l'évolution des débits de projet pour les bassins interceptés par la RR106 reste difficile à appréhender : la baisse, en moyenne de -15.3 et -13.1 % suivant les horizons considérés, des maximas des pluies journalières maximales annuelles n'induirait pas systématiquement une baisse de ces débits, et ne permet pas de conclure une atténuation des risques potentiels liés aux crues. De plus, la moyenne de baisse n'est pas très significative par rapport aux incertitudes qui pèsent sur l'évolution des débits de crue à l'avenir.

#### 5.5.2.3. Evaluation qualitative des impacts du changement climatique

Comme indiqué dans l'approche proposée par l'Ingénierie, les phénomènes ou risques naturels encourus par la RR106 (inondations, érosion pluviale ou fluviale, affouillement, charriage et transport solide) sont très complexes et font intervenir plusieurs facteurs.

Leur évolution dans le temps, sur la base uniquement de celle des pluies extrêmes est difficile à appréhender, d'autant plus que de grandes incertitudes pèsent sur l'évaluation de la tendance de variation des intensités de pluie et du couvert végétal d'une part, et des débits de crue des oueds ou de projet d'autre part.

Ces incertitudes ne permettent pas de préciser qualitativement, de manière claire, l'évolution de ces phénomènes physiques et du potentiel de risques afférents qu'ils font subir à la plateforme routière. L'Ingénierie est donc d'avis que rien ne permet de déduire si ces risques vont baisser ou augmenter à l'avenir. Ils pourront toutefois, vraisemblablement, et comme l'a montré le diagnostic et les visites de

terrain réalisés, persister à l'avenir si la situation actuelle de la RR106 n'est pas revue et améliorée pour atténuer la vulnérabilité de cette route et résoudre les désordres constatés.

Pour ce faire la réalisation d'études techniques spécifiques est indispensable pour déceler l'origine exacte et vraisemblable de ces dégradations, et proposer les solutions les plus appropriées.

### 5.5.3. Risques géologiques

#### 5.5.3.1. Rappel des désordres rencontrés

Les différents types de désordres affectant le tronçon routier et son environnement sont principalement liés à l'hydraulique tandis que les désordres géotechniques sont réduits (quatre points ont été constatés lors de la visite) et se résument à des instabilités rocheuses.

#### 5.5.3.2. Conséquences du changement climatique

Le principal désordre concernant les instabilités rocheuses est lié à la tectonique, à la configuration des talus et au climat (température).

Les désordres liés aux instabilités rocheuses dans ce tronçon pourraient garder la même fréquence avec la diminution de la pluviométrie annuelle et de la pluie journalière maxi-annuelle.

Par ailleurs, l'augmentation des précipitations intenses à caractère ponctuel, qui se traduisent par les intensités de pluie (horaires ou infra-horaires), engendrerait la déstabilisation des parois rocheuses pouvant entraîner le détachement de blocs rocheux.

Les actions déstabilisatrices liées aux sollicitations cycliques (température) génèrent la fatigue du matériau et favorisent sa baisse de résistance (fracturation).

#### 5.5.3.1. Conclusion

La synthèse des évolutions climatiques attendues a mis en évidence, une baisse des précipitations annuelles pour les deux scénarii étudiés et des pluies journalières maxi-annuelles (horizons 2035 et 2050). Cependant, l'impact du changement climatique sur les autres paramètres climatiques, présentant un intérêt pour l'analyse, n'ont pas pu être traités : il s'agit principalement des intensités de pluie (horaires ou infra-horaires), de la température et des cycles gel/dégel.

Dans cette configuration, **rien ne permet de conclure si les risques liés aux phénomènes géologiques constatés baisseront ou augmenteront à l'avenir**. Le diagnostic issu des visites de terrain, associé à l'expérience de l'Ingénierie, montrent toutefois que le risque persisterait vraisemblablement tant que les sections de la RR106 concernées par ces désordres ne seront pas traitées dans le cadre d'études techniques spécifiques.

### 5.5.4. Risques liés aux chutes de neige

Les visites de terrain ont montré que la RR106 n'est pas affecté par la chute de neige, de ce fait cet aspect n'est pas à traiter pour ce tronçon.

## 5.6. CONCLUSION

L'analyse de risque a été menée par l'Ingénierie pour les volets hydrologie/hydraulique, géotechnique/chaussée et neige.

Ces risques sont associés aux typologies des désordres constatés par l'Ingénierie lors des visites de terrain effectuées, et leur synthèse réalisée en phase de diagnostic.

L'analyse a été menée en se basant également sur les résultats des évolutions probables de l'aléa du changement climatique pour la pluviométrie, via l'étude des précipitations annuelles et des pluies journalières maxi-annuelles

### VOLET HYDROLOGIE-HYDRAULIQUE

Pour le volet hydrologie-hydraulique, les désordres constatés et les dégâts occasionnés par les crues et/ou les orages localisés sont directement dépendant des extrêmes de précipitations, comme l'ont montré les derniers événements récents de novembre 2014 ; ceux-ci pouvant être caractérisés par les pluies journalières maxi-annuelles et les intensités pluviométriques horaires ou infra-horaires.

Il en ressort que les évolutions de l'aléa du changement climatique mises en évidence, essentiellement pour la pluie annuelle (baisse plus ou moins marquée), ne sont pas suffisantes pour conclure à une diminution des risques hydrologiques et hydrauliques dans le futur. En effet, l'analyse menée montre clairement que les incertitudes hydrologiques actuelles sont largement supérieures aux variations pluviométriques mises en évidence dans l'étude de l'aléa du changement climatique, et ce d'autant plus que celles-ci sont aussi soumises à des incertitudes.

Nous pensons donc qu'il est souhaitable que la priorité soit donnée :

- d'une part, à caractériser la vulnérabilité des tronçons routiers : voir au chapitre suivant la proposition d'une méthode pragmatique de définition de la vulnérabilité ;
- d'autre part, à fiabiliser la définition des paramètres hydro-pluviométriques et des méthodes d'évaluation des débits de pointe, des conditions d'écoulement (vitesses d'écoulement) et des phénomènes d'érosion et d'affouillement : voir nos recommandations dans l'activité 2.

### VOLET GEOTECHNIQUE-CHAUSSEE

Pour le volet géotechnique-chaussée, la même réflexion a été menée. Au préalable l'Ingénierie a présenté les typologies des désordres géologiques dont souffrent les 4 tronçons routiers, de même que leurs causes probables et leurs manifestations.

Au regard des évolutions du changement climatique mises en évidence d'une part, pour la pluviométrie annuelle (tendance à la baisse) et d'autre part, pour les pluies journalières maxi-annuelles (aucune tendance significative, exceptée pour le tronçon de la RR106 où une légère diminution a été mise en évidence), **rien ne permet de conclure à une diminution ou une augmentation des risques géotechniques dans l'avenir**. En effet, les désordres constatés dépendent aussi d'autres facteurs dont nous ne connaissons pas les évolutions futures : en particulier, les intensités pluviométriques horaires ou infra-horaires caractérisant les orages, les températures et les cycles gel/dégel.

### VOLET NEIGE

Pour l'aspect lié à la neige, l'absence de données (actuelles et futures) n'a pas permis de définir l'impact du changement climatique sur cette grandeur physique qui concerne principalement la RN2 et la RR706. De ce fait l'analyse de l'impact du changement climatique sur le risque de neige n'a pas pu être menée.

## 6. DEFINITION DE LA VULNERABILITE DES TRONÇONS ROUTIERS

### 6.1. OBJECTIFS

La méthodologie proposée a pour objectif de hiérarchiser la vulnérabilité des tronçons routiers vis-à-vis des risques hydrauliques et géotechniques afin d'avoir une vision globale de la vulnérabilité d'un tronçon routier vis-à-vis des événements exceptionnels liés au changement climatique, tels que les inondations, le ruissellement pluvial et les glissements de terrain.

Ainsi, nous avons retenu une méthode qui présente l'avantage d'être simple à mettre en œuvre à partir d'une approche qualitative. Cette méthode est donc un outil simplifié d'aide à la décision pour les gestionnaires des routes pour identifier les zones potentiellement vulnérables vis-à-vis des risques hydrauliques et géotechniques.

### 6.2. PRESENTATION DE LA METHODE

#### 6.2.1. Champ d'application de la méthode

La présente méthode de définition de la vulnérabilité des tronçons routiers vis-à-vis des risques hydrauliques et géotechniques s'applique :

- ❑ d'une part, **aux infrastructures existantes** afin de définir dans un premier temps, un programme d'interventions en fonction d'une hiérarchisation des enjeux recensés et dans un second temps, de définir des priorités d'actions en vue de protéger la plate-forme routière ;
- ❑ d'autre part, **aux nouveaux projets** afin de localiser les zones à forts enjeux vis-à-vis de la future plate-forme routière, et de privilégier, autant que faire se peut, une stratégie d'évitement des zones les plus sensibles.

#### 6.2.2. Les principes généraux de la méthode

Quatre classes de vulnérabilité ont été retenues comme le présente le tableau ci-dessous.

<b>Très forte</b>	<b>Très forte vulnérabilité</b>
<b>Forte</b>	<b>Forte vulnérabilité</b>
<b>Moyenne</b>	<b>Moyenne vulnérabilité</b>
<b>Faible à nulle</b>	<b>Faible vulnérabilité ou absence de vulnérabilité</b>

Tableau 218 : Les classes de vulnérabilité

Les classes de vulnérabilité sont déterminées à partir d'un ensemble d'indicateurs caractéristiques des typologies des désordres recensés et des risques encourus.

Comme indiqué précédemment, afin que la mise en œuvre de la méthode soit simple, nous avons d'une part, limité le nombre d'indicateurs et d'autre part, retenus que les indicateurs principaux.

### 6.3. LES INDICATEURS DE VULNERABILITE POUR LES RISQUES HYDRAULIQUES

#### 6.3.1. Typologies des désordres et risques encourus

Les visites de terrain effectuées par l'Ingénierie ont mis l'accent sur un ensemble de désordres hydrauliques affectant les 4 tronçons étudiés. Le tableau en page suivante synthétise la typologie des désordres hydrauliques rencontrés.

Ces désordres correspondent à des risques naturels encourus par les plateformes routières.

En termes de thématiques, ces risques potentiels d'un point de vue hydraulique se rapportent à :

- **L'hydraulique fluviale, laquelle** elle englobe les risques d'érosion fluviale dans les cas où la plate-forme routière longe un oued ou en cas de franchissement d'un oued (affouillements, absence de protections, tirants d'air insuffisant, dispositifs connexes absents...);
- **L'assainissement routier, qui** regroupe des problématiques liées à l'assainissement (absence ou défaillance du réseau de collecte longitudinal), à l'entretien (colmatage du réseau), aux ouvrages de franchissement de Chaâbas (absence de protections de remblai routier ou du radier, transport solide et colmatage partiel ou total), ainsi que des cas d'érosion pluviale liée au débordement des écoulements sur les routes ou à l'érosion au niveau du bassin versant dominant la plate-forme routière.

Ces visites ont permis de constater l'ampleur des dégâts des ruissellements et des crues au niveau des points inspectés, lesquels constituent un échantillon représentatif des problématiques rencontrées sur ces tronçons.

Partant de ces constats, et afin de valoriser l'information recueillie sur ces tronçons qui ont été parcourus en totalité par les équipes de terrain, l'Ingénierie propose quelques indicateurs permettant aux collaborateurs des DRETL et DPETL, ainsi qu'aux services de la DR, de mieux apprécier la vulnérabilité en fonction des problématiques rencontrées.

On notera que de par le choix des 4 tronçons, une large palette de problématique a été examinée, pour un contexte montagneux dans l'ensemble, et des climats différents avec un gradient pluviométrique Nord-Sud et Ouest-Est.

Tableau 219 – Synthèse des typologies des désordres hydrauliques rencontrés sur les 4 tronçons routiers étudiés

Thématiques	Typologie des problématiques recensées	
	Principale	secondaire
Hydraulique fluviale	Ouvrage de franchissement d'un oued	Dégradations au droit d'un pont submersible
		Affouillement en aval d'un radier submersible
		Dégradations au droit d'un pont
		Affouillement au droit d'un ancien radier submersible
		Absence d'aménagements connexes (dispositifs de protection des remblais)
	Route en bordure d'un oued : érosion fluviale	Erosion de berge/pied de remblai par attaque du courant et variations des niveaux d'eau (crue et décrue)
Assainissement routier	Assainissement	Absence de réseau de collecte et d'évacuation des eaux pluviales
		Absence de dispositifs de protection au débouché des ouvrages de traversée
	Entretien du réseau	Absence d'entretien du fossé
	Ouvrage de franchissement d'un Chaâba	Dégradations du talus de remblai et au débouché de l'ouvrage
		Absence d'entretien de l'ouvrage et d'aménagement amont
	Erosion pluviale	Erosion des talus de déblais et des fossés latéraux
		Erosion des talus de remblais
		Erosion du bassin versant amont
		Erosion des talus de déblais



### 6.3.2. Les indicateurs pour l'hydraulique fluviale

Cette thématique regroupe plusieurs sous-thèmes, tous afférents à la gestion du risque lié à la présence des oueds.

Les tableaux suivants synthétisent les indicateurs de vulnérabilité proposés.

#### 6.3.2.1. Erosion fluviale

Le tableau ci-dessous concerne l'érosion fluviale dans le cas d'un oued longeant le tracé routier.

Tableau 220 – Grille de définition des classes de vulnérabilité – Erosion fluviale

Indicateurs de la vulnérabilité	Présence d'une berge concave (méandre ou coude)				absence de berge concave (écoulement parallèle à la route)			
	Distance entre le pied de talus routier et la berge de l'oued (d)				Distance entre le pied de talus routier et la berge de l'oued (d)			
Paramètres pris en compte	d ≤ 1 m *	1 < d ≤ 5 m	5 < d ≤ 10 m	d > 10 m	d ≤ 1 m *	1 < d ≤ 5 m	5 < d ≤ 10 m	d > 10 m
Vulnérabilité du tronçon routier	Très forte	Forte	Moyenne	Faible à nulle	Forte	Moyenne	Faible à nulle	Faible à nulle

\* pied de remblai routier au fond de l'oued

L'indicateur proposé est la distance entre le pied de talus du remblai routier et la crête de la berge du lit de l'oued, en introduisant 2 cas de figures se distinguant par la présence ou non d'une berge concave (berge attaquée par le courant où les phénomènes d'érosion et d'affouillements sont au maximum). En effet, la concavité des berges qui illustre la sinuosité du lit et de son tracé en plan dans les zones limitrophes aux remblais de la route.

Ainsi plus le pied de talus du remblai routier est proche des berges de l'oued, plus la vulnérabilité et le risque encouru par la route seront grands.

Il peut être noté que les valeurs seuils afférentes aux distances entre le pied de talus et la berge de l'oued peuvent être modulées en fonction de la mobilité effective du lit.

Les deux schémas ci-dessous permettent de visualiser les deux indicateurs que sont :

- la berge concave d'un oued ;

#### Berge concave

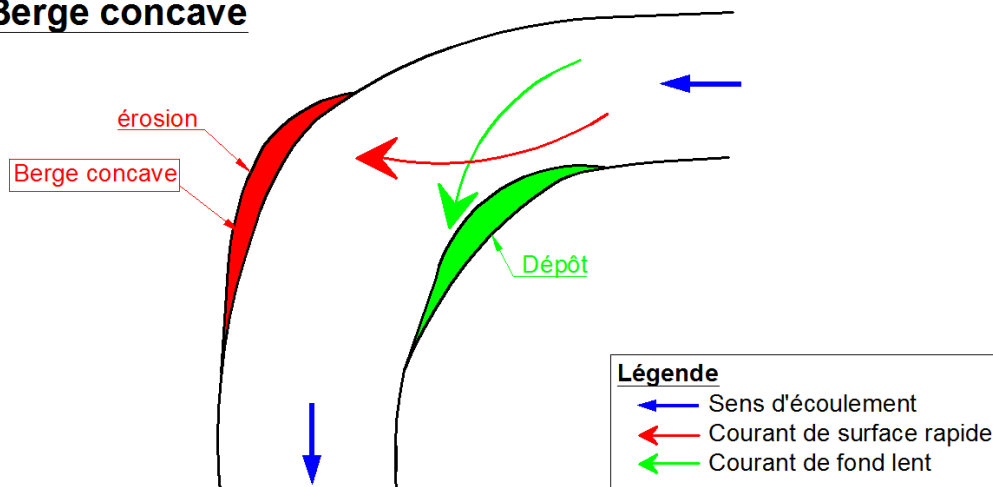


Figure 112 : Evolution des berges au droit des coudes

- la distance entre le pied de talus routier et la crête de la berge de l’oued.

### Route longeant un oued

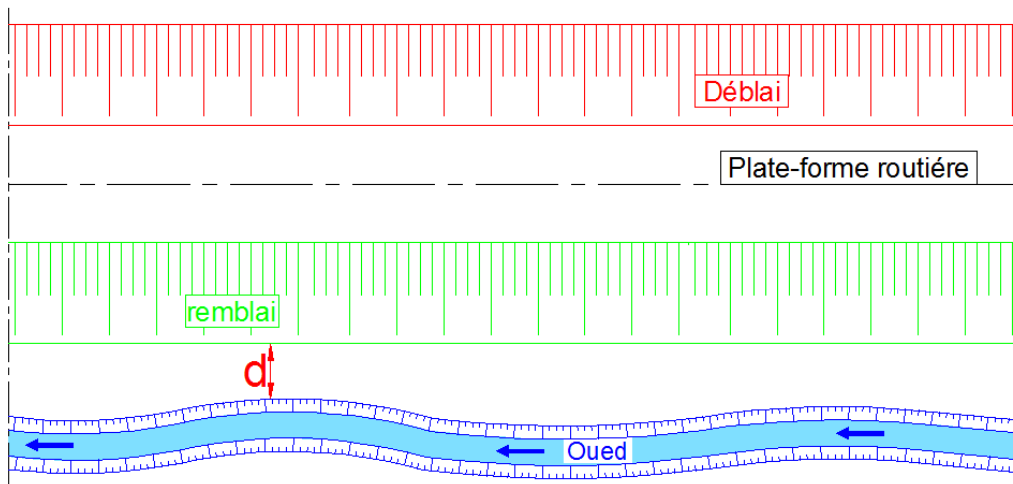


Figure 113 : distance entre le pied de talus routier et la crête de la berge de l’oued

On notera que l’exploitation de cette grille met en avant, à titre d’exemple, la vulnérabilité très forte des sections de la RR 706 qui longeant l’oued Ziz entre les PK 43+000 et 48+500 par exemple où le remblai routier se situe au fond de l’oued.

Il en est de même pour la section de la RR 106 entre les PK 102+000 et PK 118+000 environ où le remblai routier se trouve au fond de l’oued Tiwaldine, et dont les crues ont emporté presque toute la partie droite de la route.

#### 6.3.2.2. Ouvrages de franchissement d’un oued

Les tableaux ci-après présentent les grilles de vulnérabilité pour le cas des ouvrages de franchissement d’un oued, et ce pour 3 cas de figures : pont non submersible, pont submersible et radier submersible.

Tableau 221 – Grilles de définition des classes de vulnérabilité – Franchissement d’un oued

Nature de l'ouvrage	Pont non submersible									
Indicateurs de vulnérabilité	Affouillement au droit des piles et/ou culées			Tirants d'air pour la crue de projet (TA) *			Dispositifs de protection contre les érosions et affouillements			
Paramètres pris en compte	Lit affouillable		Lit non affouillable	revanche entre les PHE** et la cote de sous-poutre			Piles et culées		Remblais contigus	
	Fondation superficielle	Fondation enterré et/ou sur substratum		TA < 0,5 m	0,5 < TA < 1 m	TA > 1 m	Absence	Présence	Absence	Présence
Vulnérabilité du tronçon routier	Très forte	Forte	Faible à nulle	Forte	Moyenne	Faible à nulle	Forte	Faible à nulle	Forte	Faible à nulle

\* valeurs seuils des tirants d'air à doubler en présence de tronc d'arbres

\*\* Plus Hautes Eaux pour la crue de référence

Nature de l'ouvrage	Pont submersible						
Indicateurs de vulnérabilité	Affouillements au fond du lit			Dispositifs de protection contre les érosions et affouillements		Niveau de la chaussée en site affouillable (calage)	
Paramètres pris en compte	Lit affouillable		Lit non affouillable	Absence	Présence	Pont de grande hauteur	Pont de faible hauteur
	Affouillements importants h > 2,5 à 3 m	Affouillements peu importants h < 2,5 à 3 m					
Vulnérabilité du tronçon routier	Très forte	Forte	Faible à nulle	Forte	Faible à nulle	Très forte	Faible à nulle

*h : profondeur d'affouillement ou profondeur du substratum inaffouillable*

Nature de l'ouvrage	Radier submersible					
Indicateurs de vulnérabilité	Murettes amont et aval		Dispositifs de protection contre les érosions et affouillements côté aval		Niveau de la chaussée en site affouillable (calage)	
Paramètres pris en compte	Absence	Présence	Absence	Présence	Radier calé au dessus du fond du lit	Radier calé au fond du lit
Vulnérabilité du tronçon routier	Forte	Faible à nulle	Forte	Faible à nulle	Forte	Faible à nulle

Les indicateurs proposés concernent un ensemble de problématiques dont :

- La présence ou non d'un lit affouillable ;
- L'absence ou la présence de dispositifs de protection de l'ouvrage en amont et en aval ;
- La mise en charge éventuelle des ponts non submersibles ;
- Le risque d'embâcle suite à l'accumulation de débris flottants contre un pont qui se traduit par le tirant d'air sous les ouvrages ;
- Le calage de la route en site affouillable.

Quelques exemples d'application de ces critères sont présentés ci-dessous :

- PK 158+150 de la RR 508 : ce point de franchissement de l'oued Boulswab peut être qualifié, doublement, de fortement vulnérable : en effet le radier submersible a été détruit lors des crues il y a 7 ans, et ce à cause d'un calage trop haut du radier d'une part et de l'absence de dispositifs de protection contre l'affouillement en amont et aval ;
- PK 143+500 de la RN 2 : le franchissement de l'oued Ametras par un pont non submersible présente des signes d'affouillement au droit de la culée de rive gauche, c'est un point à forte vulnérabilité vu l'absence de protection au droit de cet élément du pont, voire à très forte vulnérabilité puisque les fondations sont superficielles ;
- PK 85+000 de la RR 706 : le franchissement de l'oued Alloutif par un pont submersible peut être qualifié de fortement vulnérable vu l'absence de protection contre l'affouillement ainsi que les dégradations constatées sur la rive droite.

### 6.3.3. Les indicateurs pour l'assainissement routier

Cette thématique regroupe plusieurs sous-thèmes, tous afférents au réseau d'assainissement et de drainage, ainsi qu'au franchissement de Chaâbas par des ouvrages hydrauliques. Elle regroupe également les aspects liés à l'entretien et à l'érosion pluviale. Les tableaux suivants synthétisent les indicateurs de vulnérabilité proposés.

#### 6.3.3.1. Assainissement et Entretien

Les tableaux suivants présentent les indicateurs proposés pour ce sous-thème :

Tableau 222 – Grille de définition des classes de vulnérabilité – Assainissement et entretien

Indicateurs de vulnérabilité	Réseau de collecte et d'évacuation en pied de talus de déblai		Présence d'un bassin versant extérieur significatif dont le ruissellement est orienté vers le talus de déblai		Présence d'un bassin versant extérieur significatif dont le ruissellement est orienté vers le talus de remblai		Dispositifs de protection aux points de rejet		Entretien des réseaux d'assainissement	
	Absence	Présence	Réseau de collecte et d'évacuation en crête de talus de déblai		Réseau de collecte et d'évacuation en pied de talus de remblai		Absence	Présence	Absence	Présence
			Absence	Présence	Absence	Présence				
Paramètres pris en compte										
<b>Vulnérabilité du tronçon routier</b>	<b>Forte</b>	<b>Faible à nulle</b>	<b>Forte</b>	<b>Faible à nulle</b>	<b>Forte</b>	<b>Faible à nulle</b>	<b>Forte</b>	<b>Faible à nulle</b>	<b>Forte</b>	<b>Faible à nulle</b>

Les indicateurs proposés concernent :

- ❑ la présence ou non d'un réseau de collecte et d'évacuation en pied de déblai. En effet, sur les tronçons étudiés, la plate-forme présente souvent un profil mixte en déblai côté versant et en remblai côté fond de vallée avec de nombreuses problématiques d'érosion de talus de remblai causées par l'absence de réseau de collecte et d'évacuation côté versant ;
- ❑ la présence de bassin versant extérieur significatif (de plusieurs hectares) dont le ruissellement orienté vers la plateforme routière (en déblai ou en remblai) provoquent des phénomènes d'érosion et d'affouillement en l'absence de réseau de collecte et d'évacuation ;
- ❑ la présence ou non de dispositifs de protection au droit des points de rejet où en raison de la concentration des eaux, il y a des risques d'érosion et d'affouillement ;
- ❑ l'entretien des réseaux de collecte et d'évacuation. En l'absence d'entretien, les réseaux se colmatent en raison des ravinements amont (talus et/ou bassin versant), ce qui engendrent les mêmes désordres qu'en l'absence de réseaux.

Quelques exemples d'application de ces critères sont présentés ci-dessous :

- La majorité des déblais inspectés sur les 4 tronçons peut être qualifiée de fortement vulnérable en ce qui concerne le réseau de collecte des eaux pluviales et/ou le système de drainage interne. L'un des points les plus alarmant se situe au PK 117+882 de la RR 508 où l'écoulement d'une Chaâba se fait entre le talus de déblai et la chaussée. L'absence d'ailleurs de fossé latéral de déblai a entraîné l'érosion d'une partie de la chaussée ;
- Le PK 124+000 de la RN 2 peut être qualifié de fortement vulnérable en ce qui concerne les protections aux points de rejet du réseau d'assainissement puisque le fossé bétonné de pied de déblai rejette les écoulements captés directement dans le milieu naturel, sans dispositif de protection, ce qui pose un risque d'érosion régressive et de dégradation à l'avenir ;
- La problématique d'entretien existe aussi : la section de la RN 2 entre les PK 144+900 et 145+300 peut être qualifiée de fortement vulnérable de ce point de vue, en effet certaines sections du fossé latéral de déblai sont complètement ensevelies.

## 6.3.3.2. Ouvrage de franchissement d'une Chaâba

Les tableaux suivants présentent les indicateurs proposés pour ce sous-thème :

Tableau 223 – Grille de définition des classes de vulnérabilité – Franchissement d'une Chaâba

Indicateurs de vulnérabilité	Dégradation du talus de remblai aux extrémités de l'ouvrage			Dispositifs de protection contre les érosions et affouillements		Dégradation de l'ouvrage hydraulique (extrémités amont/aval et/ou radier)			Blocage hydraulique aval ou transport solide		Dispositif de captage en déblai et raccord au réseau longitudinal		Entretien de l'ouvrage	
	Paramètres pris en compte	Départ du remblai contigu - création de chute - fosse d'affouillement	Début d'apparition	Absence	Absence	Présence	Départ de la tête aval ou amont	Début d'apparition	Absence	Présence	Absence	Absence	Présence	Absence
Vulnérabilité du tronçon routier	Très forte	Forte	Faible à nulle	Forte	Faible à nulle	Forte	Forte	Faible à nulle	Forte	Faible à nulle	Forte	Faible à nulle	Forte	Faible à nulle

Quelques exemples d'application de ces critères sont présentés ci-dessous :

- ❑ L'absence des dispositifs de captage de Chaâba amont a été constatée sur un ensemble de points dont :
  - RR 508 : PK 21+557, PK 50+600, PK 55+400 ;
  - RN 2 : PK 128+800, PK 145+000, PK 148+700 ;
  - RR 106 : PK 93+270 ;
  - RR 706 : PK 49+500.

Ces points peuvent être qualifiés de fortement vulnérables.
- ❑ Les dégradations du talus de remblai, au débouché des ouvrages ou au niveau des extrémités des ouvrages hydrauliques constatées sur les 4 tronçons correspondent à des niveaux variables de vulnérabilité :
  - Vulnérabilité très forte : elle peut être constatée au niveau de :
    - la RR 508 : PK 50+600 et PK 96+600 où la tête aval de l'ouvrage a été emportée par les crues suite aux débordements des eaux des Chaâbas sur la route et le talus de remblai ;
    - la RR 106 : PK 96+970 au niveau duquel le remblai routier en aval a été emportée par les crues ;
  - Vulnérabilité forte : elle peut être constatée au niveau de :
    - la RR 706 : PK 100+100 au niveau duquel on observe la dégradation du radier de l'ouvrage ;
    - la RR 106 : PK 95+970 où on constate l'érosion du remblai autour de la tête amont de l'ouvrage hydraulique ;
    - RN 2 : PK 145+000 environ où des fissurations sont visibles au niveau des parois du puisard à l'entrée de l'ouvrage hydraulique ;
- ❑ La problématique de l'entretien est également présente avec une forte vulnérabilité pour certains ouvrages hydrauliques dont on citera par exemple :
  - RR 508 : PK 39+800 ;
  - RN 2 : PK 148+700 ;
  - RR 106 : PK 102+200.

### 6.3.3.3. Erosion pluviale

Le tableau suivant présente les indicateurs proposés pour ce sous-thème :

Tableau 224 – Grille de définition des classes de vulnérabilité – Erosion pluviale

Indicateurs de vulnérabilité	Erosion des talus de déblais et des fossés latéraux		Erosion des talus de remblais		Erosion du bassin versant amont		Erosion des talus de déblais	
	Présence	Absence	Présence	Absence	Présence	Absence	Présence	Absence
Vulnérabilité du tronçon routier	Forte	Faible à nulle	Forte	Faible à nulle	Forte	Faible à nulle	Forte	Faible à nulle

Quelques exemples d'application de ces critères sont présentés ci-dessous :

- Erosion des talus de déblais :
  - RR 706 : PK 75+500 ;
  - RR 508 : PK 117+882 ;
- Erosion des talus de remblai :
  - RR 706 : PK 49+500 ;
  - RR 106 : PK 95+970 ;
  - RR 508 : PK 55+400.

Tous ces points peuvent être qualifiés de fortement vulnérables de point de vue érosion pluviale.



## 6.4. LES INDICATEURS DE VULNERABILITE POUR LES RISQUES « GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE »

### 6.4.1. Typologies des désordres et risques encourus

Les visites de terrain entamées par l'Ingénierie ont mis l'accent sur un ensemble de désordres géotechniques et structurels vis-à-vis des chaussées affectant les 4 tronçons étudiés. Ces désordres correspondent à des risques naturels encourus par les plateformes routières, ils sont rappelés ci-après.

Tableau 225 – Synthèse des typologies de désordres géotechniques et de chaussée rencontrées sur les 4 tronçons routiers étudiés

Thématiques	Typologie des problématiques recensées	
	Principale	secondaire
Géotechnique	Glissement de terrain	Dégradations et déformations de la chaussée
		Dispositifs de protection et de confortement insuffisants ou absents
		Absence de drainage de remblai et déblai
		Glissement de remblai
		Topographie défavorable
		Prédominance de terrains marneux altérés en surface et saturée
		Déformation des systèmes de confortement (mur en gabion ou béton)
		Fissuration des structures en béton (fossé et accotement en béton)
		Talus de déblai ou remblai à pente défavorable
		Versant instable à topographie défavorable et absence de drainage
		Instabilité rocheuse
	Eboulement et chute de blocs de versants rocheux à pente défavorable	
	Dégradations de la chaussée	
	Talus verticaux	
	Dégradation de la chaussée par les blocs chutés	
	Absence de moyens de protection appropriés	
	Déblai de rocher fracturé à forte pente	
	Structure de chaussée	Dégradation de la Structure de chaussée
Accotement érodé ou détruit		
Déformation et ondulation de la chaussée		
Affaissement de la chaussée		
Fissuration longitudinale		
Revêtement érodé		
chaussée masquée par matériaux de charriage		
Accotement comblé par éboulis		
Evolution de nid de poule		
Accotement coté déblai comblé par éboulis		

Ces visites ont permis de constater l'ampleur des dégâts liés aux risques géologiques au niveau des points inspectés, et qui constituent un échantillon représentatif des problématiques rencontrées sur ces tronçons.

Partant de ces constats, et afin de valoriser l'information recueillie sur ces tronçons qui ont été parcourus en totalité par les équipes de terrain, l'Ingénierie propose quelques indicateurs permettant aux collaborateurs des DRETL et DPETL, ainsi qu'aux services de la DR, de mieux apprécier la vulnérabilité en fonction des problématiques rencontrées.

On notera que de par le choix des 4 tronçons, une large palette de problématique a été examinée, pour un contexte montagneux dans l'ensemble, et des climats différents avec un gradient pluviométrique Nord-Sud et Ouest-Est.

## 6.4.2. Les indicateurs pour la géotechnique

### 6.4.2.1. Glissements de terrain

Le tableau ci-dessous présente les indicateurs proposés pour apprécier la vulnérabilité routière vis-à-vis du risque de glissement.

Tableau 226 – Grille de définition des classes de vulnérabilité – Glissement

Nature du désordre	Glissement														
	Lithologie		Couche "savon"		Altitude/Pente			Couvert végétal		Pluie moyenne annuelle *			Saturation du sol / Sensibilité vis-à-vis de l'eau		
	Paramètres pris en compte	Sol meuble	Sol rocheux	Présence	Absence	Haute (en montagne)	Moyenne (plateaux ou collines)	Basse (en plaine)	Absence	Présence	Forte (> 600 mm)	Moyenne (entre 300 et 600 mm)	Faible (< 300 mm)	Forte (sols fins)	Moyenne (sols hétérogènes)
Vulnérabilité du tronçon routier	Forte	Faible à nulle	Forte	Faible à nulle	Forte	Moyenne	Faible à nulle	Forte	Moyenne	Forte	Moyenne	Faible	Forte	Moyenne	Faible à nulle

Quelques exemples d'application de ces critères sont présentés ci-dessous :

- PK 55+400 de la RR 508 : il s'agit d'un sol meuble sensible à l'eau, sans couverture végétale prépondérante, dans une zone à forte pluviométrie, et de pente assez significative. De ce fait le confortement superficiel réalisé, de type gabions, n'a pas assuré la stabilité du versant. De ce fait la vulnérabilité de ce point demeure forte ;
- PK 128+800 de la RN 2 : ce point correspond à une zone de glissement important, traitée de manière superficielle, qui n'empêche pas la persistance des déformations. Il s'agit d'une zone de fortes altitudes, très arrosée, avec un couvert végétal moyen, et un sol sensible à l'eau. Ce qui se traduit par une forte vulnérabilité vis-à-vis du glissement.

### 6.4.2.2. Instabilités rocheuses

Le tableau ci-dessous présente les indicateurs proposés pour apprécier la vulnérabilité routière vis-à-vis du risque d'instabilité rocheuse.

Tableau 227 – Grille de définition des classes de vulnérabilité – Instabilité rocheuse

Nature du désordre	Instabilité rocheuse														
Indicateurs de vulnérabilité	Type de roche		Cycles gel / degel *		Altitude/Pente			Variation de température (jour et nuit) *		Pluies extrêmes *			Altération et érosion de la matrice englobant les blocs		
Paramètres pris en compte	Fracturable/altérable	Non fracturable / non altérable	Elevés (> 3 mois/an)	Faibles à nuls (< 3 mois/an)	Haute (en montagne)	Moyenne (plateaux ou collines)	Basse (en plaine)	Haute (> 25° C)	Faible (< 25° C)	Fortes (> 60 mm/hr)	Moyennes (de 40 et 60 mm/hr)	Faibles (< 40 mm/hr)	Forte (> 60 %)	Moyenne (30 à 60 %)	Faible à nulle (< 30 %)
Vulnérabilité du tronçon routier	Fort	Faible à nulle	Fort	Faible à nulle	Fort	Moyenne	Faible à nulle	Fort	Faible	Fort	Moyenne	Faible	Fort	Moyenne	Faible à nulle

Quelques exemples d'application de ces critères sont présentés ci-dessous :

- PK 104+800 de la RR 508 : il s'agit d'une section avec chutes de blocs par départ de la matrice (érosion), avec de fortes pluies, une pente raide du versant, des roches fracturables ;
- PK 142+200 à 143+900 : il s'agit d'une zone à risque de chute de blocs de taille métrique provenant de la dislocation de la dorsale calcaire formant le relief. La combinaison de facteur climatique (fortes pluies) et fracturation engendre l'éclatement de roche donnant des blocs de dimension métrique.

Ces deux points présentent donc une vulnérabilité forte vis-à-vis aux instabilités rocheuses.

### 6.4.3. Les indicateurs pour les structures de chaussée

Le tableau ci-dessous présente les indicateurs proposés pour apprécier la vulnérabilité de la structure de chaussée.

Tableau 228 – Grille de définition des classes de vulnérabilité – Structure de chaussée

Nature du désordre	Structure de chaussée : Fissuration / Affaissement / Nids de poule / Flache														
Indicateurs de vulnérabilité	Cycles gel / degel *		Drainage		Altitude/Pente			Variation de température (jour et nuit) *		Saturation du sol support (argileux et marneux) *			Trafic *		
Paramètres pris en compte	Elevés (> 3 mois/an)	Faibles à nuls (< 3 mois/an)	Absence	Présence	Haute (en montagne)	Moyenne (plateaux ou collines)	Basse (en plaine)	Haute (> 25° C)	Faible (< 25° C)	Fortes (sols plastiques I <sub>p</sub> >40) **	Moyenne (I <sub>p</sub> entre 30 et 40)	Faible à nulle (sols peu plastiques I <sub>p</sub> <30)	Intense (TMJA > 4500) ***	Moyen (TMJA entre 2000 et 4500)	Faible (TMJA < 2000)
Vulnérabilité du tronçon routier	Fort	Faible à nulle	Fort	Faible à nulle	Fort	Moyenne	Faible à nulle	Fort	Faible	Fort	Moyenne	Faible à nulle	Fort	Moyenne	Faible à nulle

A titre d'exemple, on citera le PK 52+500 de la RR 508 : ce point présente des affaissements de chaussée avec des fissurations longitudinales. Ce phénomène a pour cause la saturation du sol support due au manque de drainage dans une zone d'altitude et présentant un sol support sensible à l'eau. Sur la base des critères proposés, ce point présente une vulnérabilité forte.

## 6.5. LA SYNTHÈSE DE L'ANALYSE DE LA VULNÉRABILITÉ

### 6.5.1. La présentation des résultats

À l'issue de l'analyse des fiches d'application figurant ci-avant, une synthèse des résultats doit être réalisée. Nous proposons les deux supports suivants pour la présentation des résultats :

- ❑ Une présentation sous forme **de planches cartographiques** sur lesquelles la hiérarchisation de la vulnérabilité des tronçons routiers est retranscrite :
  - soit par un ruban de couleur (vert, jaune, rouge et noir) correspondant aux différentes classes de vulnérabilité ;
  - soit par un point de couleur (vert, jaune, rouge et noir) correspondant aux différentes classes de vulnérabilité dans le cas d'ouvrages singuliers tels que, par exemple, les ouvrages de franchissement des oueds et chaâbas.
- ❑ Une présentation sous forme **de tableaux** permettant de justifier le choix de la classe de vulnérabilité retenue.

La présentation des résultats s'effectue pour les thématiques suivantes :

- ❑ **Hydraulique et assainissement routier.** Ces deux thématiques sont présentées sur les mêmes planches en distinguant l'hydraulique fluviale afférente à la présence des oueds et à l'assainissement routier. Ainsi, deux rubans de couleurs sont ajoutés en haut et en bas des planches cartographiques afin de schématiser la vulnérabilité du tronçon routier pour ces deux thématiques du volet « Eau ». Il peut être noté que dans le cas de la présence de plusieurs indicateurs, il est retenu la classe de vulnérabilité afférente à l'indicateur le plus contraignant (soit la classe de vulnérabilité la plus forte) ;
- ❑ **Géotechnique, y compris les chaussées.** Comme précédemment, ces deux thématiques sont présentées sur les mêmes planches en distinguant la géotechnique et les chaussées. Ainsi, deux rubans de couleurs sont ajoutés en haut et en bas des planches cartographiques afin de schématiser la vulnérabilité du tronçon routier pour ces deux thématiques.

### 6.5.2. Exemples d'application par thématique

L'application qui suit a été réalisée pour une section du tronçon routier de la RR508.

Il peut être noté que cette application n'est pas exhaustive. En effet, elle est uniquement basée sur les visites de site effectuées dans le cadre de l'activité 1 ; celles-ci étant ponctuelles.

#### 6.5.2.1. Hydraulique fluviale et assainissement

Le tableau et la carte en pages suivantes présentent respectivement la justification du choix de la classe de vulnérabilité et représentation cartographique de l'analyse de la vulnérabilité.

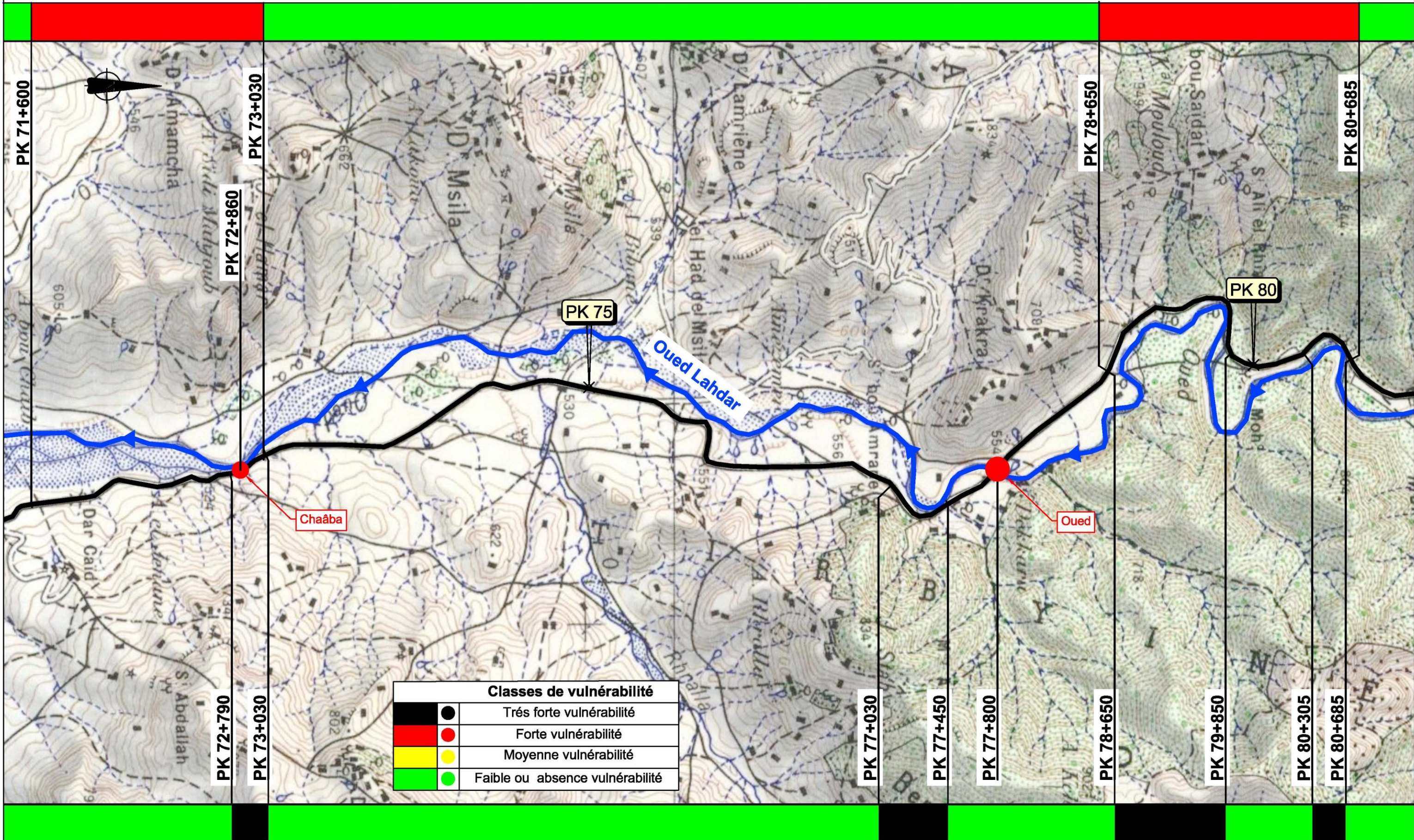
**Présentation des résultats de la méthode de vulnérabilité vis-à-vis des risques hydrauliques  
Application à la section de la RR508 entre les PK 71 et 81**

Hydraulique fluviale					
Localisation	Classes de vulnérabilité	Les risques d'érosion fluviale pour les routes en bordure des oueds	Les risques d'érosion fluviale au droit des franchissements des oueds		
		Fiche n° HYD-001	Les ponts non submersibles Fiche n° HYD-002	Les ponts submersibles Fiche n° HYD-003	Les radiers submersibles Fiche n° HYD-004
PK 71.000 à 72.790	Faible à nulle	-	-	-	-
PK 72.790 à 73.030	Très forte	présence d'une berge concave avec le pied du remblai routier au fond de l'oued Lahdar	-	-	-
PK 73.030 à 77.030	Faible à nulle	-	-	-	-
PK 77.030 à 77.450	Très forte	présence d'une berge concave avec le pied du remblai routier au fond de l'oued Lahdar	-	-	-
PK 77.450 à 77.800	Faible à nulle	-	-	-	-
PK 77.800	Forte	-	Absence de dispositifs de protection des remblais contigus à l'ouvrage d'art : constat d'érosion du talus de remblai	-	-
PK 77.800 à 78.650	Faible à nulle	-	-	-	-
PK 78.650 à 79.850	Très forte	présence d'une berge concave avec le pied du remblai routier au fond de l'oued Lahdar	-	-	-
PK 79.850 à 80.305	Faible à nulle	-	-	-	-
PK 80.305 à 80.685	Très forte	présence d'une berge concave avec le pied du remblai routier au fond de l'oued Lahdar	-	-	-
PK 80.685 à 81.000	Faible à nulle	-	-	-	-

Assainissement routier				
Localisation	Classes de vulnérabilité	Le franchissement des Chaâbas	L'érosion pluviale	Assainissement et entretien
		Fiches n° ASS-001 et ASS-002	Fiche n° ASS-003	Fiche n° ASS-004
PK 71.000 à 71.600	Faible à nulle	-	-	-
PK 71.600 à 72.860	Forte	-	-	Absence du réseau de collecte et d'évacuation en pied de talus de déblai
PK 72.860		Absence de dispositifs de protection au débouché de l'ouvrage hydraulique rétablissant un chaâba	-	-
PK 72.860 à 73.030		-	-	Absence du réseau de collecte et d'évacuation en pied de talus de déblai
PK 73.030 à 78.650	Faible à nulle	-	-	-
PK 78.650 à 80.685	Forte	-	-	Absence du réseau de collecte et d'évacuation en pied de talus de déblai
PK 80.685 à 81.000	Faible à nulle	-	-	-



**Assainissement routier**



Classes de vulnérabilité	
●	Très forte vulnérabilité
●	Forte vulnérabilité
●	Moyenne vulnérabilité
●	Faible ou absence vulnérabilité

**Hydraulique fluviale**



#### 6.5.2.1. Géotechnique et chaussées

Le tableau et la carte en pages suivantes présentent respectivement la justification du choix de la classe de vulnérabilité et représentation cartographique de l'analyse de la vulnérabilité.

**Présentation des résultats de la méthode de vulnérabilité vis-à-vis des phénomènes géotechniques et de chaussée**  
**Application à la section de la RR508 entre les PK 71 et 81**

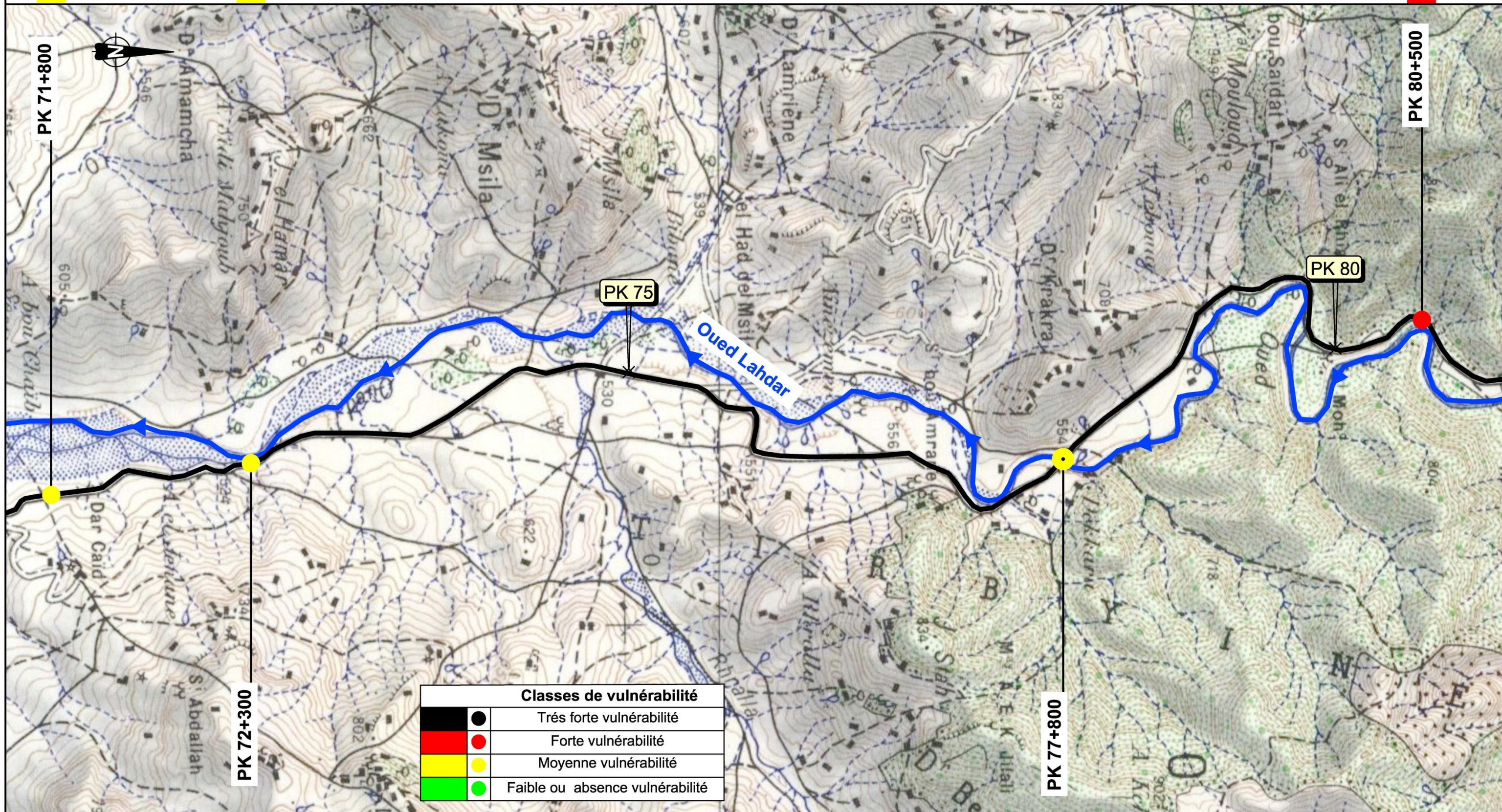
<b>GEOTECHNIQUE</b>			
Localisation	Classes de vulnérabilité	Les glissements	Les instabilités rocheuses
		Fiche n° GEOTECH-001	Fiche n° GEOTECH-002
71+800 (*)	Moyenne	Absence de moyens de soutènement	-
72+300 (*)	Moyenne	Déformation des systèmes de confortement (mur en gabion ou béton)	-
80+500 (*)	Forte	Déformation des systèmes de confortement (mur en gabion ou béton)	-

(\*) La réalisation d'études approfondies est nécessaire pour cerner l'étendue de la zone de glissement.

<b>CHAUSSEE</b>			
Localisation	Classes de vulnérabilité	Les dégradations de la structure de chaussée : Fissuration / Affaissement / Nids et poule / Flache	
		Fiche n° CHAU-001	
71+800	Moyenne	Fissuration et affaissement de la chaussée	
72+300	Moyenne	Fissuration et affaissement de la chaussée	
77+800	Moyenne	Evolution des nids de poule - Destruction de la chaussée	
80+500	Moyenne	Fissuration et affaissement de la chaussée - Destruction de la chaussée	



## Géotechnique



## Chaussée



## 7. RECOMMANDATIONS VIS-A-VIS DE L'ÉVALUATION ET LA PRISE EN COMPTE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

### 7.1. CONSTATS

L'analyse des données de projections climatiques auxquelles l'Ingénierie a pu accéder n'a apporté qu'une réponse partielle aux questions posées par l'étude. Si une tendance nette à la diminution de la pluviométrie annuelle se dégage des projections analysées, celle-ci est moins marquée s'agissant des événements pluviométriques extrêmes. Quant à l'évolution future du paramètre neige, aucune information n'a pu être collectée ni exploitée.

Un des enjeux est de pouvoir produire et mettre à la disposition des concepteurs et gestionnaires des routes des données qui permettent d'éclairer la manière dont le changement climatique va venir perturber les infrastructures et leur environnement (écoulements superficiels, stabilité des terrains, ...). Le dimensionnement de ces dernières et des mesures d'atténuation des risques se fait actuellement sur la base d'aléas de référence dont l'intensité et la fréquence sont calculées à partir de chroniques météorologiques passées. Or, comme les experts du GIEC l'ont montré, l'hypothèse de stationnarité du climat n'est plus valable, et la connaissance du climat passé s'avère insuffisante pour appréhender le climat de demain.

Une des principales carences observées par l'étude réside dans la faiblesse des connaissances relatives à l'évolution des phénomènes extrêmes, au premier rang desquels figurent les prévisions d'augmentation de fréquence et d'intensité des précipitations orageuses et des crues torrentielles qui sont à l'origine de la plupart des désordres et dommages causés aux infrastructures.

Aux yeux des incertitudes et imprécisions entourant les données de changement climatique disponibles pour l'étude, l'Ingénierie préconise, au moins à court terme, de conserver le niveau de risque actuel comme base de la décision, ce qui revient à adopter une position relativement conservatoire et conforme au principe de précaution.

Néanmoins, il importe dans les 3 à 5 ans à venir de mettre en place des études voire des recherches plus complètes sur l'évolution des extrêmes hydro-climatiques (pluie, neige et gel notamment) susceptibles de perturber le plus sévèrement et le plus durablement l'intégrité et la fonctionnalité du réseau routier au droit des tronçons sélectionnés. Il s'agira notamment d'améliorer la couverture et la fiabilité des paramètres climatiques étudiés et de confirmer ou infirmer les tendances à la diminution de certains événements pluviométriques extrêmes comme semblent l'indiquer les données de projections issues de la plateforme CIP.

En particulier, ces recherches devraient préciser les ajustements éventuels à apporter aux méthodes de calcul des événements de fréquence décennale ou centennale qui conditionnent le dimensionnement des principaux ouvrages d'art. Il s'agira notamment d'évaluer s'il y a lieu de diminuer, de conserver ou d'augmenter les marges de sécurité actuellement appliquées dans le dimensionnement des infrastructures au regard des changements climatiques futurs.

## 7.2. RECOMMANDATIONS GÉNÉRALES

### 7.2.1. Elaboration de projections climatiques régionalisées à haute définition spatiales

Il paraît incontournable de mettre sur pied un partenariat scientifique entre la DMN et la DR afin de produire des scénarios d'évolutions des extrêmes à partir, dans la mesure du possible, de techniques de descente d'échelle dynamique pour les raisons évoquées à l'Activité 1. L'utilisation des sorties de modèles régionaux du programme CORDEX basés sur les MCG du CMIP5 sont à privilégier afin d'obtenir des ensembles multi-modèles et de rendre compte de l'incertitude inter-modèle.

La DMN dispose des capacités techniques et humaines permettant de traiter ces données et de procéder aux calculs d'un large éventail d'indices climatiques à même de caractériser les phénomènes extrêmes d'intérêt majeur pour les tronçons étudiés. Un groupe de travail réunissant la DMN, la DR et la DGH pourrait être mis en place afin de produire ces évaluations et de fournir des données d'entrées précises pour l'analyse des impacts.

La démarche d'élaboration de ces évaluations pourrait s'articuler autour des principes suivants :

- ❑ A l'échelle des tronçons considérés, et à partir de l'analyse de vulnérabilité conduite dans l'Activité 1, identifier les différents éléments conditionnant la sensibilité de l'infrastructure à un événement météorologique donné (nature et dimensions des ouvrages d'art, nature des écoulements, stabilité des terrains, etc.) ;
- ❑ Définir les valeurs seuils de ces éléments en veillant à identifier les valeurs de fonctionnement "normales", les seuils critiques et les seuils de rupture de manière à pouvoir apprécier le comportement de ces éléments par rapport aux phénomènes météorologiques retenus ;
- ❑ Identifier avec la DMN les indices climatiques les plus pertinents permettant de caractériser ces aléas ainsi que leurs différentes valeurs seuils. Pour les pluies, il peut s'agir d'indices tels que :
  - le nombre d'événements supérieurs à une valeur fixe de pluie (90ème centile ou autres valeurs critiques observées par exemple) ;
  - la valeur future d'une pluie de retour 2, 5, 10, 50 et 100 ans.

L'Organisation Météorologique Mondiale propose dans le cadre du programme CLIMDEX ([www.climdex.org](http://www.climdex.org)) une liste unifiée d'indices climatiques pour l'étude des extrêmes qui peut servir de base de travail.

- ❑ Effectuer un downscaling des données du CMIP5 à une échelle de quelques kilomètres. Cette descente d'échelle devrait s'efforcer d'employer des méthodes dynamiques, ce qui impliquerait de recourir aux dernières générations de modèles à aire limitée, comme par exemple Aladin-Climat ou WRF (<http://www.wrf-model.org/>), qui permettent d'atteindre une résolution fine (de l'ordre de 5 km voire en dessous pour WRF). Mais le coût de ces méthodes et les temps de calcul pourraient s'avérer élevés. A l'inverse des méthodes statistiques disponibles au Maroc comme le modèle SDSM, forcé par les sorties de modèles globaux du CMIP5 ou les données de projections régionales CORDEX, pourraient être appliquées. L'utilisation de générateur stochastique de temps (de type WEGE par exemple) permettrait d'améliorer la résolution spatio-temporelle de l'une ou l'autre des méthodes, en particulier s'agissant des sorties journalières nécessaires à la caractérisation des extrêmes. Le recours à un générateur de temps implique cependant que des données d'observation en quantité et qualité suffisantes soient disponibles afin de corriger le modèle. Il existe de nombreuses autres méthodes de descente d'échelle statistique, certaines meilleures que d'autres pour la modélisation des extrêmes. C'est le cas par exemple le modèle CDF-t (Cumulative Density Function – transform) qui a donné des résultats satisfaisants dans plusieurs études conduites au niveau international visant à quantifier les impacts hydrologiques du changement climatique à des échelles très fines. Quelle que soit la méthode privilégiée, il est recommandé de considérer les 2

RCP 4.5 et 8.5. ainsi qu'une projection dite de référence (correspondant à la médiane de l'ensemble inter-modèle ou au modèle représentant le mieux la climatologie observée), encadrée par des projections dites d'encadrement (correspondant aux fourchettes haute et basse de l'ensemble, tels que les 80ème et 20ème percentiles par exemple).

- ❑ Choisir une méthode d'ajustement statistique pour l'analyse des fréquences et des intensités des extrêmes. Les travaux antérieurs conduits par la DMN sur le Grand Casablanca et Rabat semblent indiquer que la loi GEV (Generalized Extreme Value) donne de meilleurs résultats que d'autres lois (Gumbel notamment) s'agissant de la modélisation des extrêmes quotidiens.

Pour un nombre restreint d'aléas climatiques (cinq aléas, comprenant les pluies extrêmes, la neige, le gel, etc.), le coût d'une telle initiative pour l'ensemble des tronçons étudiés serait de l'ordre de 75 000 à 100 000 €.

### 7.2.2. Outils d'aide à la décision en matière d'analyse et d'anticipation des risques climatiques

En parallèle de l'évaluation des aléas, l'Ingénierie recommande d'investir le champ des outils d'aide à l'anticipation et à la prise de décision vis-à-vis des risques liés au changement climatique. Ces outils permettraient d'éclairer les phases de planification mais également de préparation de la réaction en situation de crise. Les recommandations sont de deux ordres :

- ❑ Développer des outils de type SIG à même de rendre compte de la vulnérabilité des différentes composantes des infrastructures sensibles aux phénomènes météorologiques exceptionnels. Ces outils pourraient être développés dans les tronçons, ou sous-tronçons à fort enjeux. Ils permettraient d'intégrer sous format numérique et facilement visualisable par les gestionnaires les informations acquises sur les points critiques du réseau ainsi que ses principales sources de vulnérabilité. En se basant sur les valeurs critiques évoquées précédemment, ils pourraient permettre de renseigner sur la réponse de l'infrastructure routière à un événement d'intensité donnée et de prévoir les stratégies de parade correspondantes.
- ❑ Appliquer des méthodes d'analyse de risques éprouvées dans le domaine des infrastructures routières. Il existe au niveau international plusieurs référentiels méthodologiques permettant de conduire des analyses probabilistes de risque et de classer les différentes sections d'un tronçon routier en fonction de leur degré de vulnérabilité à certains types d'aléa. Ces méthodes définissent généralement le risque associé à un phénomène climatique extrême par sa probabilité d'occurrence et par la sévérité des dommages causés, approchés le plus souvent en termes de pertes humaines et/ou économiques. Un exemple de ce type d'outil est la méthode RIMAROCC, élaboré en 2010 par un consortium technique européen (Road ERAnet). RIMAROCC permet d'objectiver l'analyse des risques sur les infrastructures routières à partir d'une analyse multicritères basée sur trois dimensions principales :
  - L'exposition de l'infrastructure aux menaces d'ordre climatique (aléas)
  - La sensibilité, qui est fonction des caractéristiques intrinsèques de l'infrastructure et de son environnement
  - Les conséquences du risque, en termes de pertes humaines et économiques



Risk scenario	Probability for risk scenario (year-1)	Exposure			Sensitivity				Consequences				
		Duration E1	Area E2	People/Object E3	Speed S1	Information S2	Knowledge S3	Standard S4	Persons C1	Property C2	Environ. C3	Financial C4	Intangible C5
R1: Extreme rain + flooding	0,08	2	2	2	4	2	1	1	2	3	1	1	1
R2: Extreme rain + collapse	0,02	2	2	2	4	2	1	1	3	3	1	2	1
R3: Spring flood + flooding	0,08	2	2	2	2	2	1	1	2	3	1	1	1
R4: Spring flood + collapse	0,02	2	2	2	2	2	1	1	3	3	1	2	1

Figure 114 : Exemple d'analyse probabiliste des risques par la méthode RIMAROCC

Ce type de méthode rend possible la quantification de différents scénarios de risque et la hiérarchisation de ces derniers au moyen d'une matrice de risque. Ce genre d'analyse, combinée à une visualisation par SIG, peut s'avérer particulièrement utile pour évaluer les conséquences techniques et économiques de plusieurs scénarios ou modèles climatiques et ainsi orienter la prise de décision dans une perspective de planification robuste.

Le coût de cette recommandation est de l'ordre, comprenant l'acquisition des données et le développement du support SIG, est de l'ordre de 100 000 € par tronçon.

### 7.2.3. Adopter un prisme climatique et adapter les infrastructures aux incertitudes

S'il est possible, et souhaitable, d'améliorer la précision des projections climatiques et, in fine, l'évaluation des impacts du changement climatique en recourant notamment aux méthodes et outils décrits ci-dessus, il serait illusoire de croire que ceux-ci permettront d'éliminer totalement les incertitudes inhérentes à la modélisation du climat et de ses impacts. Il n'existe pas d'information sur le climat absolument parfaite et certaine. Il importe donc de développer chez les gestionnaires une "culture de l'incertitude" et de les aider à intégrer cette nouvelle donnée dans leurs processus décisionnels. En effet, l'incertitude ne saurait être une excuse à l'inaction. Il est possible de se préparer en adoptant notamment certains principes d'actions :

- ❑ Adopter une gestion adaptative des infrastructures en veillant à ne pas décider prématurément de mesures irréversibles. Le changement climatique est un processus dynamique, continu et toute action d'adaptation s'inscrit dans un contexte climatique non stabilisé et particulièrement incertain. L'adaptation n'est donc pas une action ponctuelle visant à passer d'une situation stable à une autre situation stable. On veillera donc à privilégier dans la conception et l'adaptation des infrastructures des stratégies flexibles et réversibles, par opposition à des solutions impliquant des investissements importants, dont on ne peut assurer l'efficacité en cas d'évolutions plus marquées que prévu (exemple : il peut paraître imprudent de construire des ouvrages de protection calibrés sur le futur climatique le plus défavorable, qu'il serait par la suite difficile de faire évoluer en cas d'évolution des phénomènes orageux différente ce qui était initialement envisagé)
- ❑ Privilégier les actions dites "sans-regrets", c'est-à-dire qui s'avéreront bénéfiques indépendamment de l'évolution du climat et de l'ampleur de son changement. Ces actions n'impliquent finalement pas de coûts qui s'avèreraient inutiles si les projections sur le climat s'avéraient partiellement erronées (sous-estimation ou surestimation). Le traitement des désordres et carences techniques dans la conception actuelle des infrastructures relève typiquement de cette catégorie.
- ❑ Tenir compte des échéances temporelles des impacts et des actions à mettre en œuvre. Face aux questions « faut-il agir dès maintenant ? », ou « peut-on attendre que les prévisions s'améliorent

ou que les changements commencent à se manifester ? » que se posent les gestionnaires, les réponses sont complexes. De manière générale, on doit commencer dès maintenant à se préparer au changement climatique, mais cela doit se faire progressivement, de manière graduée et en se fixant des priorités. La gestion adaptative est un impératif. C'est un mode d'adaptation évolutif reposant sur la mise en œuvre de mesures flexibles, régulièrement évaluées et corrigées à mesure que les connaissances scientifiques se développent et que les conditions climatiques futures se dévoilent. Dans le domaine des infrastructures routières, cela suppose de définir au préalable plusieurs trajectoires d'adaptation qui tiennent compte de scénarios climatiques contrastés et dont les coûts et les bénéfices ont été préalablement évalués. Cela demande également de construire des indicateurs permettant de décider du déploiement graduel des mesures d'adaptation identifiées lorsque dans le futur certains seuils de vulnérabilité sont dépassés de manière systématique voire irréversible. Toutefois, lorsque les incertitudes sur les changements futurs sont trop grandes, ou les connaissances sur les risques trop faibles, il est parfois préférable de différer l'adaptation, en attendant de disposer d'une information plus fiable, et de se concentrer sur le traitement des insuffisances et mauvaises pratiques observées indépendamment du changement climatique. C'est ce qui est notamment préconisé dans la présente étude.

## 8. RECOMMANDATIONS TECHNIQUES VIS-A-VIS DES RISQUES HYDROLOGIQUES ET HYDRAULIQUES

### 8.1. LES PRINCIPES ET LES METHODES DE CALCULS

Afin de proposer des recommandations pertinentes relatives aux méthodes de calculs mises en œuvre pour d'une part, estimer les débits de crue de référence et d'autre part, dimensionner les aménagements hydrauliques, ainsi que si nécessaire vérifier le fonctionnement hydraulique des ouvrages existants, nous avons dans un premier temps analysé les éléments mis à notre disposition par les DPETL pour les 4 tronçons routiers.

#### 8.1.1. Les paramètres pluviométriques

##### *8.1.1.1. Analyse critique des études mises à notre disposition*

###### 8.1.1.1.1. Tronçon RN2 entre Chefchaouen et Issaguen

La DPETL de Chefchaouen nous a fourni l' « Etude de traitement des zones de glissement au niveau des sections discontinues entre PK 101+150 et PK 196+300 de la RN2 relevant de la DPETL de Chefchaouen » - Phase 1 Etude préliminaire – Rapport de présentation en date de mars 2014, réalisée par le bureau d'études Team Maroc.

##### **LES PRECIPITATIONS JOURNALIERES MAXI-ANNUELLES (PJMAX)**

Le rapport ne présente aucune analyse des précipitations journalières maxi-annuelles disponibles au droit ou à proximité de la zone d'étude ! Pourtant, comme nous l'avons montré dans le cadre de l'activité 1, des données sont disponibles aux postes de Chefchaouen, Bab Taza et Targuist sur des périodes relativement longues (46 à 61 années d'observation).

Le rapport mentionne uniquement la pluie du 29/11/2010 enregistrée à Chefchaouen, 175 mm en 24h, et indique que « cette événement est exceptionnelle dans la région et on peut le considérer comme un événement d'occurrence centennal ». Les chroniques que nous avons analysées dans le cadre de l'activité 1 (issues de l'Agence du Bassin Hydraulique du Loukkos) montrent que d'autres événements similaires ont été observés au droit de la zone d'étude :

- Chefchaouen : 166 mm au cours de l'année hydrologique 1982-1983 ;
- Bab Taza : 184,5 mm au cours de l'année hydrologique 1942-1943, 172,4 mm au cours de l'année hydrologique 1995-1996 et 166,3 mm au cours de l'année hydrologique 1997-1998.

De même, le document du Ministère de l'Equipement et des Transports « Impact des conditions climatiques sur les infrastructures de transport Années 2008-2009-2010 » indiquent une valeur maxi observée à Chefchaouen de 185 mm le 21/01/1996.

Au regard des ajustements statistiques que nous avons réalisés dans le cadre de l'activité 1 (estimation de la pluie journalière centennale à 196 mm au poste de Bab Taza), il en ressort que la pluie journalière centennale retenue dans le cadre de l'étude est sous-estimée de 12%.

### LES INTENSITES INFRA-JOURNALIERES

Les données climatiques énoncées dans cette étude se limitent aux paramètres de Montana pour le pluviographe de Tétouan sans indiquer la période d'observation. Le rapport fait référence à l'étude d'exécution de l'autoroute Tétouan-Fnideq de 2004, on en déduit que la période d'observation s'arrête avant 2004. De plus, le rapport évoque des données IDF du pluviographe de Fès, sans fournir les paramètres ou préciser à quel niveau elles ont été utilisées : s'agit-il d'une erreur de frappe dans le rapport ?

Des paramètres de Montana retenus, on peut en déduire une pluie centennale en 24 heures de 167 mm, soit une pluie journalière centennale de 146,1 mm (déduite de la correction de Weiss :  $P(24h, T) = 1,143 \times P_{jmax}(T)$ ). Il en ressort donc une sous-estimation de la pluie centennale en 24h de 34% !

#### 8.1.1.1.2. Tronçon RR508 entre Outabouabane et Sakka

La DPETL de Taza nous a fourni l' « Etude d'élargissement et de renforcement de la RR508 du PK 44+200 au PK 64+200 » - Etude de définition – Rapport de présentation en date de 2012, réalisée par le bureau d'études FREE PROJECT.

### LES PRECIPITATIONS JOURNALIERES MAXI-ANNUELLES (PJMAX)

Le rapport présente l'ajustement statistique de la chronique du poste de Taza sur la période 1967-1983 (soit 17 années d'observation) et en déduit les valeurs suivantes de référence :

- Période de retour décennale :  $P_{10} = 65,4$  mm ;
- Période de retour centennale :  $P_{100} = 107,4$  mm.

Le tableau ci-dessous synthétise l'analyse comparative des chroniques et des résultats des ajustements statistiques au regard des analyses pluviométriques que nous avons réalisées dans le cadre de l'activité 1.

Tronçon RR508 entre Outabouabane et Sakka		"Etude d'élargissement et de renforcement de la RR508 du PK 44+200 au PK 64+200" - FREE PROJECT - 2012	Analyse pluviométrique Activité 1 (source DMN)	Comparatif Etude DPET 2012/ Analyse Activité 1
Nombre d'années d'observations		17 (1967-1983)	54 (1960-2013)	37
Valeurs moyennes (mm)		54.4	52.7	3.1%
Valeurs maximales observées (mm)		120	145.0	-20.8%
Quantiles des hauteurs de précipitations journalières (mm)	T = 10 ans	65.4	80	-22.3%
	T = 100 ans	107.4	118	-9.9%

Tableau 229 : Comparatif des chroniques et ajustements des pluies journalières maxi-annuelles au poste de TAZA

Il en ressort les constatations suivantes :

- la chronique prise en compte par l'étude de FREE PROJECT est ancienne (1967-1983) ; elle ne prend pas en compte les observations récentes : absence d'actualisation ;
- une sous-estimation des quantiles des hauteurs de précipitations journalières variable entre 10 et 22% ;

D'autre part, quelle est la source de la chronique prise en compte ? En effet, comme le montre le tableau en page suivante, la chronique retenue par FREE PROJECT est totalement différente de celle fournie par la DMN !

Enfin, quelle est la justification des valeurs retenues pour les quantiles des hauteurs de précipitations journalières ? En effet, l'ajustement statistique de la chronique retenue par FREE PROJECT par la loi de GUMBEL avec la méthode des moments donne les valeurs suivantes :

- Période de retour décennale : P10 = 81,8 mm ;
- Période de retour centennale : P100 = 120,2 mm.

#### LES INTENSITES INFRA-JOURNALIERES

Le tableau ci-dessous synthétise le comparatif des intensités pluviométriques issues de l'étude FREE PROJECT et des données fournies par la DMN dans le cadre de l'activité 1.

Période de retour T = 100 ans		Etude FREE PROJECT 2012	Données DMN 2014 (1973-2011)	Comparatif Etude DPET 2014/ Analyse Activité 1
Durées de l'épisode pluvieux	5 mn	13.0 mm	12.8 mm	2.1%
	15 mn	20.2 mm	19.7 mm	2.4%
	30 mn	26.6 mm	25.9 mm	2.6%
	1 h	35.0 mm	34.0 mm	2.8%
	2 h	46.0 mm	44.6 mm	3.0%
	3 h	54.1 mm	52.4 mm	3.1%
	6 h	71.2 mm	68.8 mm	3.3%
	12 h	93.8 mm	90.4 mm	3.5%
	24 h	123.5 mm	118.8 mm	3.7%

Tableau 230 : Comparatif intensités infra-journalières

Les valeurs prises en compte par l'étude FREE PROJECT sont cohérentes avec les valeurs fournies par la DMN.

DATE	Chronique DMN 2014 poste n° 60127001	Chronique étude FREE PROJECT 2012
1960	145.0	
1961	50.2	
1962	74.9	
1963	87.3	
1964	61.8	
1965	39.3	
1966	53.7	
1967	33.7	51.0
1968	60.8	120.0
1969	58.5	59.0
1970	42.9	67.0
1971	59.9	39.0
1972	35.7	65.5
1973	61.9	69.0
1974	42.2	50.0
1975	46.3	43.3
1976	44.0	54.6
1977	51.9	47.0
1978	44.4	47.3
1979	55.9	68.6
1980	52.7	41.0
1981	34.2	27.0
1982	40.5	42.0
1983	33.7	34.0
1984	36.1	
1985	50.3	
1986	41.0	
1987	78.9	
1988	36.0	
1989	68.9	
1990	47.9	
1991	26.6	
1992	46.5	
1993	29.8	
1994	38.7	
1995	28.8	
1996	55.0	
1997	48.5	
1998	41.8	
1999	26.3	
2000	82.9	
2001	32.7	
2002	65.2	
2003	53.3	
2004	32.1	
2005	47.1	
2006	30.3	
2007	44.7	
2008	79.4	
2009	88.0	
2010	86.9	
2011	63.4	
2012	58.3	
2013	69.7	
	valeur maximale	

Tableau 231 : Pluies journalières maxi-annuelles au poste de TAZA



#### 8.1.1.1.3. Conclusion

De l'analyse de ces deux études, il ressort que la définition des paramètres pluviométriques est très sommaire et ne constituent pas une priorité pour les bureaux d'études. En effet, ceux-ci se contentent uniquement de récupérer des données issues d'anciennes études ; aucune actualisation des chroniques anciennes, ni aucune investigation pour recenser des informations pertinentes sur les pluies extrêmes n'est effectuée.

#### 8.1.1.2. Les recommandations pour la définition des paramètres pluviométriques

Au regard de l'analyse ci-avant, et sachant que les paramètres pluviométriques sont des données d'entrée importantes pour l'estimation des débits de référence, nous préconisons trois types de recommandations pour la définition des paramètres pluviométriques :

□ Une approche locale.

Cette approche est à privilégier pour les études ponctuelles en présence à minima d'un poste de mesure présentant un nombre d'années d'observation conséquent au regard de la période de retour de référence retenue. Sachant qu'en statistique, les extrapolations sont peu fiables au-delà de 4 fois la longueur de la série, le ou les postes de mesure de référence doivent présenter une série d'au moins 25% de la période de retour de référence retenue : par exemple, pour une période de retour de 100 ans, il est souhaitable de disposer d'une série d'au moins 25 années de mesure.

Pour cette approche, les recommandations sont les suivantes :

- vérification et analyse critique de l'origine des données pluviométriques (contrôle de la qualité des données sources) ;
- longueur minimale de la chronique = 25% de la période de retour de référence ;
- actualisation systématique des chroniques afin de prendre en compte les observations récentes et d'allonger la période d'observation ce qui permet de réduire les incertitudes (réduction de l'intervalle de confiance) ;
- pour les ajustements statistiques, sur la base des conclusions du projet de recherche ExtraFlo de l'Agence Nationale de la Recherche (février 2009-janvier 2013 en France) sur la prédétermination des valeurs extrêmes de pluies et crues :
  - estimation des quantiles de période de retour  $\leq 10$  ans : les différentes lois d'ajustement donnent des résultats comparables si l'on dispose d'une chronique d'au moins 10 années de mesure ;
  - estimation des quantiles extrêmes de période de retour  $\geq 100$  ans : les lois de Gumbel et exponentielle sont à proscrire, en particulier lorsque une ou plusieurs valeurs exceptionnelles se détachent des autres observations, car elles sous-estiment les quantiles. Il est préférable d'utiliser les lois GEV (loi généralisée des extrêmes, Generalized Extreme Value distribution) ou la loi GP (loi de Pareto généralisée, Generalized Pareto distribution). Cette dernière loi est meilleure que la loi GEV ; malgré tout, seules les lois et approches régionales donnent des résultats plus satisfaisants.

Le graphique ci-dessous présente un exemple d'ajustement par la loi GP où on peut voir que la loi statistique prend bien en compte les 3 valeurs exceptionnelles ( $> 200$  mm), ce qui n'aurait pas été le cas avec la loi de Gumbel.

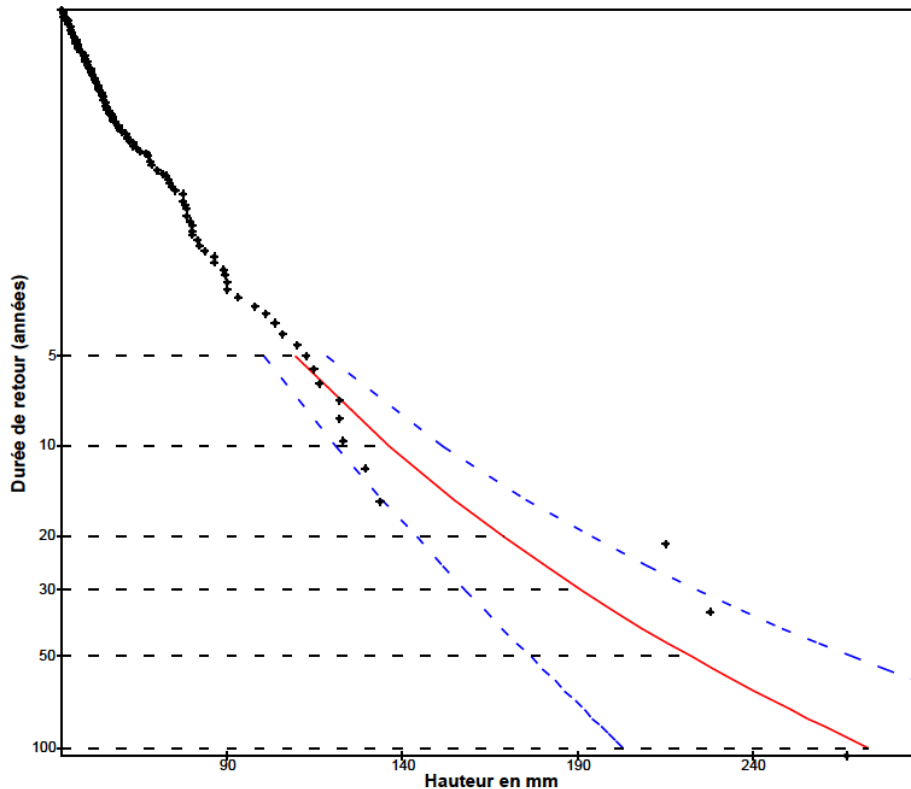


Figure 115 : Exemple d'ajustement par la loi GP prenant en compte les valeurs exceptionnelles



□ Une approche régionale.

Cette approche est à privilégier pour les études relatives à des tronçons routiers importants (plusieurs dizaines de km) et pour les études régionales (par exemple de définition de paramètres hydrologiques).

Elle consiste à s'appuyer sur un nombre plus importants de postes pluviométriques, ce qui consiste à augmenter la taille de l'échantillon d'analyse en élargissant le domaine spatial d'observation et à analyser simultanément les observations de différents postes de mesure sur une zone pluviométrique homogène.

Cette approche donne des résultats plus satisfaisants que l'approche locale selon les conclusions du projet de recherche ExtraFlo de l'Agence Nationale de la Recherche (février 2009-janvier 2013 en France) sur la prédétermination des valeurs extrêmes de pluies et crues. Cependant, elle nécessite des compétences en hydrologie et des investigations plus importantes.

□ Un partenariat avec la DMN (Direction de la Météorologie Nationale) et/ou autres organismes (universitaires, laboratoires de recherche,.....) afin de développer la connaissance des événements pluviométriques extrêmes :

- recensement des événements pluviométriques remarquables observés au Maroc ;
- densification du réseau des postes de mesure. En effet, ces événements étant rares, il est nécessaire de disposer d'une couverture très fine du territoire, ce qui n'est pas le cas aujourd'hui au Maroc. En effet, on recense seulement moins de 40 postes suivis par la DMN

alors que METEO France assure le suivi de 3536 postes pluviométriques dont plus de 140 postes automatisés ;

- études des événements historiques afin de quantifier les périodes de retour de ces événements rares.

Enfin, suite à notre retour d'expérience relative à la collecte de données auprès de la DMN, il nous paraît nécessaire d'améliorer la transparence sur la qualité des données fournies (sources) et les ajustements réalisés par la DMN afin d'améliorer la connaissance vis-à-vis des incertitudes relatives aux données pluviométriques.

Ainsi, pour les courbes Intensité-Durée-Fréquence (IDF), la DMN fournit les paramètres de Montana mais on ne dispose pas d'une part, des ajustements des quantiles réalisées (et donc des intervalles de confiance associés), et d'autre part, de la qualité de la courbe IDF par rapport aux quantiles estimés (nécessité ou non de prendre en compte des cassures dans la courbe IDF). Ainsi, nous avons constaté pour le poste d'Errachidia, des incohérences entre les hauteurs de pluie journalières et les hauteurs de pluies issues des courbes IDF pour la durée de 12 heures ; ces dernières étant supérieures aux pluies journalières !

## 8.1.2. Les méthodes d'estimation des débits de crue

### 8.1.2.1. Les méthodes actuellement utilisées au Maroc

Le tableau ci-dessous présente les méthodes actuellement utilisées au Maroc dans le domaine routier et leur domaine d'application.

Méthode ou formule appliquées	Surface du bassin versant : S		
	< 1 km <sup>2</sup>	1 < S < 10 km <sup>2</sup>	S > 10 km <sup>2</sup>
Mac-math	Oui	-	-
Burkli-ziegler	Oui	Oui	-
Rationnelle	Oui	Oui	-
Mallet-Gauthier	-	-	Oui
Fuller II	--	-	Oui
Régionale	-	-	Oui

Tableau 232 : Méthodes d'estimation des débits de crue au Maroc (source : DR)

### 8.1.2.2. La mise en œuvre des méthodes de calcul actuelles

A partir des études suivantes mises à notre disposition par les DPETL, nous avons examiné leur mise en application :

- RN2 - DPETL de Chefchaouen : « Etude de traitement des zones de glissement au niveau des sections discontinues entre PK 101+150 et PK 196+300 de la RN2 relevant de la DPETL de Chefchaouen » - Phase 1 Etude préliminaire – Rapport de présentation en date de mars 2014 ;
- RR508 - DPETL de Taza : « Etude d'élargissement et de renforcement de la RR508 du PK 44+200 au PK 64+200 » - Etude de définition – Rapport de présentation en date de 2012, réalisée par le bureau d'études FREE PROJECT.

Les points qui ressortent de cette analyse sont les suivants :

- ❑ Sachant que plusieurs méthodes sont applicables suivant la superficie du bassin versant, il s'avère que les bureaux d'études retiennent soit la valeur maximale issue des différentes méthodes ou soit la valeur moyenne sans justifier le principe retenu !
- ❑ Pour ce qui concerne l'application de la formule de Mac Math, comme le montre le tableau ci-dessous, deux applications différentes sont à noter vis-à-vis des unités prises en compte pour les différents paramètres !

Paramètres	K	Pluie maximale en 24h : P(24h,T)	Superficie du bassin versant : A	Pente : i	Débit : Q
Activité 1 *	sans unité	mm	km <sup>2</sup>	m/m	m <sup>3</sup> /s
Etudes DPET	sans unité	mm	ha	mm/m	l/s

\* référence : plusieurs références dont "Assainissement routier - Données hydrologiques et hydrauliques pour dimensionnement des ouvrages d'art" - DRCR

Il va de soi que les résultats sont différents selon les unités prises en compte comme le montre le tableau ci-dessous. Ainsi, selon les unités prises en compte, on a un rapport de 3,8 sur les débits de pointe !!

Unités prises en compte	Débit de pointe (m <sup>3</sup> /s)	
	K=0,11 P(24h,T) = 175 mm A = 66 ha i = 19,42 %	K=0,32 P(24h,T) = 122 mm A = 64 ha i = 2,66 %
Activité 1	7.6	6.56
Etudes DPET	2.0	1.73
Comparatif Activité 1 / Etudes DPET	73.7%	73.6%

- ❑ Pour ce qui concerne l'application de la formule de Burkli-Ziegler, on note une erreur d'application pour la prise en compte de la pluie de durée 1h pour l'étude Team Maroc de 2014. En effet, la hauteur de précipitation centennale de durée 1 h prise en compte aurait dû être de 40,85 mm (et non 46,68 mm).

- ❑ Pour ce qui concerne l'application de la formule rationnelle, il peut être noté :
  - d'une part, que le coefficient de ruissellement a une valeur fixe quelle que soit la période de retour alors que celui-ci est variable avec l'intensité de la pluie ;
  - et d'autre part, l'absence de justification sur le choix du coefficient de ruissellement : en particulier, absence d'analyse du contexte pédologique et géologique.
- ❑ Pour ce qui concerne les formules de Maillet Gauthier et Fuller II, aucune justification sur le choix des paramètres ne figure dans les rapports ! A noter que la littérature indique que la formule de Maillet et Gauthier a été déterminée par des études sur les bassins algériens et que son utilisation pose des problèmes d'incertitudes à cause de la méconnaissance précise des coefficients a et K.

### 8.1.2.3. Les recommandations

- ❑ Tout d'abord, nous ne pensons pas que multiplier l'utilisation des formules empiriques soit pertinent. En effet, cela multiplie d'une part, les erreurs d'application et d'autre part, faut-il prendre les valeurs moyennes ou maximales ? Il nous paraît préférable de mettre en œuvre une seule méthode pour laquelle le choix des paramètres sera analysé finement et justifié. Ainsi, pour les petits bassins versants de superficie < 20 km<sup>2</sup>, nous préconisons l'application de la formule rationnelle, tandis que pour les bassins versants > 20 km<sup>2</sup>, nous préconisons l'utilisation de formules régionales calées sur les observations aux stations hydrométriques.
- ❑ Pour toutes les formules empiriques, **le choix des paramètres hydrologiques est déterminant dans le calcul du débit**. Ainsi, le choix des paramètres à utiliser dans les formules doit faire l'objet d'un calage avec un ou plusieurs bassins jaugés similaires. En effet, la plupart de ces formules ont été définies dans des régions différentes du Maroc avec des paramètres qui aujourd'hui peuvent être obsolètes. Il pourrait être pertinent de définir, pour chacune des régions pluviométriques homogènes (à définir si celles-ci non pas été définies) les paramètres hydrologiques de référence des formules de calculs usuelles (formule rationnelle par exemple) et de cartographier les résultats. Cette cartographie serait alors actualisée tous les 10 ans.
- ❑ Pour l'application de la formule rationnelle, nous préconisons la prise en compte d'un coefficient de ruissellement variable en fonction de la période de retour. En effet, la valeur du coefficient de ruissellement varie avec l'intensité de la pluie, mais cette variation diffère selon le degré de perméabilité et de rétention des sols constituant le bassin versant. La variabilité du coefficient de ruissellement est fonction de la rétention initiale P<sub>0</sub> du bassin versant :
  - pour T= 10 ans, le coefficient C<sub>10</sub> est défini en fonction de la nature géologique des sols, de la morphologie et de la couverture végétale ;
  - pour T > 10 ans, le coefficient C<sub>T</sub> est défini à partir de la formule suivante :

$$C_T = 0.8 \cdot \left(1 - \frac{P_0}{P_T}\right)$$

avec P<sub>T</sub> : pluie journalière de période de retour T (mm) et P<sub>0</sub> : rétention initiale (mm) déduite de C<sub>10</sub> (coefficient de ruissellement décennal) :

- si C<sub>10</sub> < 0,8, P<sub>0</sub> = (1-C<sub>10</sub>/0,8)·P<sub>10</sub> avec P<sub>10</sub> : pluie journalière décennale,
- si C<sub>10</sub> ≥ 0,8, on admettra P<sub>0</sub> = 0 et C<sub>T</sub> = C<sub>10</sub>.

- Comme pour les événements pluviométriques extrêmes, nous proposons de développer la connaissance des crues historiques, via un recensement des événements remarquables (crues de 2008, 2009, 2010, 2014, .....) accompagné d'une reconstitution des débits de crue historiques au droit des zones vulnérables recensées.

### 8.1.3. La vérification du fonctionnement hydraulique des ouvrages et aménagements existants

De l'examen des deux études mises à notre disposition par les DPETL de Chefchaouen et de Taza, il ressort que les principes retenus consistent systématiquement à remplacer les ouvrages existants par des ouvrages neufs. Aucune analyse n'est effectuée sur le fonctionnement des ouvrages existants afin de diagnostiquer les causes des désordres et les solutions techniques les plus adaptées d'un point de vue technique et économique :

- remplacement de l'ouvrage existant ;
- confortement des extrémités amont/aval ;
- mise en place d'un nouvel ouvrage en parallèle de l'ouvrage existant.



## 8.2. L'HYDRAULIQUE FLUVIALE

### 8.2.1. Cas de franchissement des oueds

#### 8.2.1.1. Exposé de la problématique

Les franchissements des oueds, rencontrés sur les 4 tronçons routiers, sont assurés soit par des ponts dits « insubmersibles », soit par des ouvrages dits « submersibles » types ponts ou radiers.

Lors des crues, certains franchissements sont souvent sujets à des actions violentes des eaux lesquelles engendrent des dégradations importantes des ouvrages :

- destruction partielle ou totale des remblais d'accès non protégés ;



Figure 116 : Exemple d'un remblai d'accès au pont submersible emporté par les crues et reconstruit après la crue

- destruction partielle ou totale des ponts ou radiers busés submersibles, en raison d'affouillements importants pouvant conduire à la ruine des ouvrages.



Figure 117 : Exemple de destruction d'un radier busé après une crue



Figure 118 : Exemple de destruction d'un pont submersible après une crue

Ces dégradations engendrent des coupures plus ou moins longues des routes. Elles sont essentiellement dues à la non prise en compte des phénomènes suivants :

- l'affouillement généralisé et/ou localisé généré par l'action de l'eau ;
- la mobilité des oueds en profil en long et en plan ;
- le transport solide : charriage des matériaux qui viennent obstruer partiellement ou totalement les ouvertures hydrauliques.

#### 8.2.1.2. Définitions

Les radiers et ponts submersibles sont des ouvrages permettant de franchir les rivières en basses eaux et ils sont submergés en cas de débit important.

- ❑ Les radiers : il s'agit d'ouvrages établis sur le fond des rivières. L'eau passe exclusivement par-dessus. Ils sont donc mis en place sur les oueds qui restent à sec pendant une partie importante de l'année.



Figure 119 : Exemple de radier sur la RR508

- ❑ Les ponts submersibles laissent sous leur tablier un passage suffisant pour permettre l'écoulement d'un certain débit. Lorsque celui-ci est dépassé, le tablier est recouvert par les eaux. Ces ouvrages



sont donc surtout employés lorsqu'il existe un faible débit mais non nul pendant une grande partie de l'année, et un débit très élevé ou de fortes crues pendant une courte période.



Figure 120 : Exemple de pont submersible sur la RR508

- ❑ Les radiers busés : il s'agit des ouvrages constitués par un remblai bétonné posé sur le fond (ce qui les apparente aux radiers) mais sous lequel sont placés des buses (ce qui les apparente aux ponts submersibles).



Figure 121 : Exemple de radier busé sur la RR508

#### 8.2.1.3. Les incidences des ouvrages de franchissement

Les éléments qui suivent sont extraits du guide technique « Cours d'eau et ponts » du SETRA (Service d'études techniques des routes et autoroutes en France) en date de juillet 2007.

Par l'emprise des piles, des culées et des remblais dans le lit mineur et/ou les lits majeurs, l'ouvrage de franchissement (plateforme routière et ouvrage d'art) réduit la surface disponible pour l'écoulement. Ce débouché hydraulique réduit par rapport à la capacité hydraulique de l'oued induit une gêne à l'écoulement en amont et une accélération des vitesses au droit de l'ouvrage. Ces effets peuvent devenir très sensibles en période de crue si les remblais d'accès au pont barrent les écoulements

débordants du lit majeur. Ceux-ci sont alors contraints de passer dans le débouché hydraulique du pont qui concentre les écoulements qui, en son absence, seraient passés ailleurs.

L'accélération des vitesses dans l'ouvrage et l'agitation des eaux dans la zone de tranquillisation en aval immédiat de l'ouvrage accroissent localement la capacité érosive des écoulements et déséquilibrent ponctuellement le transport solide. Cela peut se traduire par des risques d'affouillement au pied de l'ouvrage (avec à terme déchaussement des fondations) et un décapage des sédiments sur une certaine longueur.

Plus globalement, la traversée d'une vallée alluviale par une infrastructure routière franchissant un oued peut perturber la morphodynamique générale de la vallée. Ainsi, même si le débouché hydraulique du pont est conçu pour minimiser les incidences sur les écoulements liquides, la perturbation des répartitions de débits peut conduire à la concentration de la contribution sédimentaire dans des zones fragilisées provoquant érosions régressives et éventuellement coupures de méandres, etc.

Par exemple, un radier accentue l'affouillement qui se généralise à l'aval. La présence des piles et l'effet de passes contribuent également à modifier la morphologie « naturelle » en amplifiant des formes d'érosion, liées à la présence d'un obstacle dans le lit mineur.

De même que la présence d'un pont peut avoir sur l'oued qu'il enjambe de graves conséquences, l'oued peut créer des dommages à l'ouvrage. A titre d'exemple, un mauvais aménagement peut créer un état de déséquilibre du cours d'eau qui, pour un débit donné, n'atteint plus un régime uniforme, ce qui entraîne une instabilité des berges et du lit et peut provoquer des affouillements de fondations. Mais ce n'est pas tout, en cas de crues, les éléments solides charriés par l'oued peuvent engendrer des chocs sur les appuis, voire le tablier et dans certains cas emporté l'ouvrage suite à une crue.

#### *8.2.1.4. Les risques hydrauliques encourus par les ouvrages*

Les éléments qui suivent sont extraits du guide technique « Cours d'eau et ponts » du SETRA (Service d'études techniques des routes et autoroutes en France) en date de juillet 2007.

##### *8.2.1.4.1. Les embâcles (encombres flottants)*

---

Le concepteur d'un ouvrage de franchissement d'un oued doit prêter une attention toute particulière au risque d'accumulation d'encombres flottants, usuellement appelés embâcles ou débris flottants.



Figure 122 : Exemple d'embâcle au droit d'un pont

Les « flottants » sont généralement des débris végétaux dérivant au fil de l'eau après avoir été mis en flottaison par la submersion des berges sur lesquelles ils reposaient avant la crue. Quoiqu'ils dépendent évidemment des caractéristiques de l'occupation végétale du bassin versant et des rives de l'oued considéré, il est difficile de prédire réellement les circonstances qui provoqueront un afflux de débris flottants.

Les conséquences de l'accumulation de débris flottants contre un pont sont de quatre ordres :

- ❑ ils réduisent significativement la section mouillée et la capacité d'évacuation à un endroit où la vitesse d'écoulement rend la perte de charge singulière particulièrement sensible à ces phénomènes. On peut même craindre que le pont finisse par se mettre en charge voire subisse une submersion ;
- ❑ une conséquence de cette réduction de section est l'accentuation significative de la vitesse d'écoulement locale autour des appuis (piles et culées), avec le risque de voir des affouillements importants se former rapidement et ruiner les fondations de l'ouvrage pendant la crue ;
- ❑ ils conduisent l'infrastructure à supporter une force de poussée horizontale contre laquelle l'ouvrage doit résister ;
- ❑ ils génèrent un risque de vague si le barrage d'embâcles finit par céder ; cette vague, rapide et d'une certaine ampleur, peut constituer une aggravation inacceptable du risque pour les sinistrés en aval de l'infrastructure.

#### 8.2.1.4.2. Passage en charge et submersion

Que ce soit parce que la conception de l'ouvrage a sous-estimé les crues de projet ou parce que des embâcles se sont accumulés contre l'ouvrage, il faut craindre la mise en charge de l'ouvrage. Cela signifie que l'écoulement monte au-dessus de la veine inférieure de l'intrados du pont. Le périmètre mouillé augmente d'autant, sans que la section mouillée ne s'accroisse, si bien que le rayon hydraulique, et donc, la capacité d'évacuation des eaux, décroît rapidement.

Lorsque tout le périmètre de l'ouverture est mouillé, les eaux qui passent sous le pont ne sont plus en contact avec la pression atmosphérique, et acquièrent une pression propre. Si le tablier est très mince, ou si le débit continue d'augmenter, le risque est grand de voir les eaux passer par-dessus le tablier.

#### 8.2.1.4.3. Les phénomènes d'évolution de la morphologie des oueds

Les phénomènes d'évolution de la morphologie des oueds à prendre en compte au droit d'un ouvrage de franchissement d'un oued sont les suivants :

- la **mobilité verticale des lits**, c'est-à-dire l'évolution naturelle des fonds mobiles des lits. Ainsi, lors des crues les fonds des lits composés d'alluvions mobiles peuvent se déformer, dès l'atteinte d'un certain seuil de débit permettant la mise en mouvement des sédiments au fond. Ce phénomène peut être accentué par la présence de l'ouvrage de franchissement (diminution de la section d'écoulement). Au droit et en aval d'un ouvrage de franchissement de vallée, en sus de l'abaissement du plafond des fonds non perturbés généré par le rétrécissement de la largeur d'écoulement, des phénomènes de creusement supplémentaires peuvent intervenir pendant la crue autour des débords de culée en lit mineur et autour des piles. Ces phénomènes peuvent n'intervenir que pendant la crue et être masqués, ensuite, par une reconstitution du fond grâce aux dépôts intervenant à la décrue. Si aucun désordre du pont n'est intervenu pendant la crue, il pourrait toutefois en survenir alors ensuite, les nouveaux fonds en place pouvant présenter des qualités géotechniques bien moindres que celles du sol initialement en place. Les fosses creusées pendant la crue peuvent aussi ne se combler que très partiellement à la décrue et perdurer, voire s'aggraver au cours du temps. Des embâcles ou des corps flottants peuvent, également, venir se bloquer contre les appuis d'un pont pendant la crue. Outre le danger pour la tenue de l'ouvrage, l'importance de l'obstacle va croître, l'effet de blocage du courant augmenter et des creusements plus prononcés en résulter. Ainsi, **il est important de définir la profondeur d'affouillement** : hauteur sur laquelle ces phénomènes se produisent (hauteur des fonds perturbés). Sur cette épaisseur, en effet, les capacités géotechniques du sol s'amouindrissent, voire disparaissent. En résumé, les risques d'affouillement à prendre en considération au droit d'un projet de franchissement de vallée sont la somme des risques d'évolution naturelle des fonds de l'oued, sur le long terme ou en crue, de l'impact d'aménagements anthropiques situés en amont ou en aval et de l'aggravation des phénomènes de creusement provoqués par la présence des appuis du pont (culées et piles).



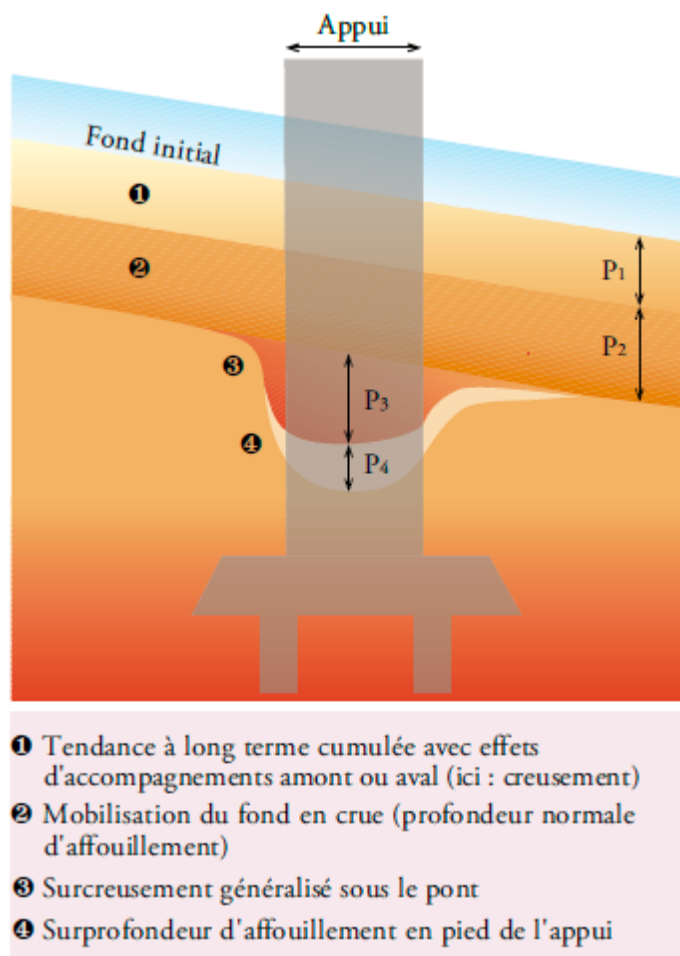


Figure 123 : Synthèse schématique des affouillements à prendre en compte au droit des appuis d'un pont

(Source : fonds du MTETM - Cete méditerranée - Cete Normandie-Centre - Lrpc de Blois)

- ❑ la **mobilité en plan des lits**. Dans le cas des oueds mobiles en plan, les phénomènes d'affouillement exposés ci-avant viennent s'ajouter au problème de mobilité du tracé en plan du lit. Les risques pour les ouvrages (point dur dans l'espace de divagation) peuvent être importants dans les cas suivants :
  - progression des méandres, pouvant générer naturellement des phénomènes de recouplement ;
  - creusement sur l'extrados des coudes et méandres ;
  - érosion des berges concaves soumises à l'attaque des courants ;
  - .....

#### 8.2.1.5. Les études préalables

Avant d'énumérer les recommandations techniques à mettre en œuvre pour la conception des ouvrages de franchissement des oueds, il est d'abord nécessaire de lister les études techniques qui doivent être mises en œuvre soit pour concevoir les nouveaux ouvrages de franchissement (ouvrages neufs), soit pour réparer les dégâts occasionnés par les crues (actions sur les ouvrages existants). Deux types d'études peuvent être distingués :

- ❑ **Les études nécessaires au choix du type d'ouvrage de franchissement** (pont insubmersible, pont submersible ou radier submersible). Ces études doivent être associées les 3 composantes que sont le trafic, la socio-économie et l'hydrologie ;
- ❑ **Les études techniques de conception et de dimensionnement des ouvrages de franchissement.** Ces études doivent être associées les 3 composantes que sont l'hydraulique, la géotechnique et le génie civil.

##### 8.2.1.5.1. Choix du type d'ouvrage

#### LA METHODOLOGIE

Lors de la construction, le franchissement d'un oued par un radier submersible est moins onéreux qu'un pont submersible, et un pont submersible est aussi moins onéreux qu'un pont insubmersible.

Cependant, le radier submersible et le pont submersible présentent un inconvénient majeur : le trafic est interrompu lors des épisodes pluvieux lorsque la hauteur d'eau sur la chaussée et les vitesses d'écoulement dépassent les valeurs seuils admissibles (voir chapitre 8.2.1.8 ci-après).

Il en ressort que le choix du type d'ouvrage de franchissement d'un oued doit faire l'objet des études suivantes :

- ❑ Une étude de trafic routier sur la section concernée afin d'évaluer les conséquences économiques d'une coupure de la route ;
- ❑ Une étude hydrologique de l'oued afin de caractériser le régime du cours d'eau, les débits et les hydrogrammes des crues de référence.

Ces études doivent permettre de définir les objectifs à atteindre pour le futur franchissement :

- ❑ si les conséquences économiques d'une coupure du trafic sont importantes, la coupure de la route ne sera pas acceptable et le choix du type d'ouvrage s'orientera vers un pont insubmersible ;

- ❑ si les conséquences économiques sont faibles ou nulles, le choix se portera soit sur un pont submersible ou soit sur un radier submersible en fonction des durées de coupures et du nombre de jours de coupure admissibles.

#### **APPLICATION AUX TRONÇONS ROUTIERS EXISTANTS**

La méthodologie décrite ci-avant doit être mise en œuvre pour définir la typologie pertinente du futur ouvrage de franchissement. Cependant, pour les ouvrages détruits et en ruines, tels que rencontrés sur certaines des sections routières étudiées, nous proposons aussi de mettre en œuvre cette démarche afin d'optimiser les montants des travaux de réparation.

Ainsi, pour les franchissements actuels des grands oueds au droit de la RR508 (ouvrages existants en ruine), la mise en place d'un radier submersible ou d'un pont submersible équipé de petits busages pourrait être envisagée en lieu et place des ponts submersibles équipés de cadres de section conséquentes. En effet, lors de notre visite, nous avons observé de très faibles débits au droit des oueds, ainsi qu'un trafic très faible. Il va de soi qu'à partir d'une visite ponctuelle nous ne pouvons justifier le choix du type d'ouvrage. Cependant, cette piste d'optimisation est à examiner.

#### 8.2.1.5.2. Les études de conception et de dimensionnement

#### **LES ETUDES HYDRAULIQUES**

Les études hydrauliques ont pour objectifs :

- d'établir un état des lieux du site de franchissement, et en particulier d'analyser la dynamique fluviale (étude morphologique) : analyse de la mobilité des lits en profil en long et en plan, définition des débits solides ;
- de caractériser les conditions d'écoulements en crue : hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement au droit de la zone à risque pour les périodes de retour de référence ;
- de définir les risques d'érosion et d'affouillements tant sur le plan général du lit que sur les actions locales (notamment au voisinage des appuis envisagés). L'étude morphodynamique doit permettre :
  - de caractériser les phénomènes d'érosion, en régime normal et en régime de crue exceptionnelle : calcul profondeurs d'affouillement afférentes aux périodes de retour de référence ;
  - de les quantifier selon les critères de mise en mouvement des sédiments (vitesse critique, tension de cisaillement, puissance spécifique) ;
  - de définir les éventuels dispositifs de protection ou d'atténuation à adopter ;
- de définir les dispositifs de protection adaptés à la problématique pour les ouvrages et les remblais contigus : mise en œuvre de techniques minérales, végétales ou mixte ;
- vérification du comportement de l'ouvrage pour une crue exceptionnelle (de période de retour >> à la crue de dimensionnement prise en compte).

## LES ETUDES GEOTECHNIQUES

Les études géotechniques ont pour objectifs :

- de caractériser les formations géologiques en présence au moyen si nécessaire d'une reconnaissance de sols : sondages et analyses en laboratoire (analyses granulométriques, .....);
- de définir le type et la nature des fondations sur la base des résultats de l'étude des sols et des prévisions d'affouillements. De ce choix, dépend en grande partie la stabilité de l'ouvrage dans le cas d'un lit affouillable ;
- de dimensionner les fondations.

### 8.2.1.6. Les radiers

#### 8.2.1.6.1. Les éléments constitutifs

---

Les radiers sont constitués par :

- une chaussée sur laquelle roule les véhicules,
- deux murettes qui butent la chaussée, l'une côté amont et l'autre côté aval. Le rôle des murettes est de protéger les bords de chaussée contre les phénomènes d'érosion et d'affouillements, et de servir de soutènement lorsque le lit est affouillé à proximité immédiate du radier.

#### 8.2.1.6.2. Recommandations pour la pérennité des radiers vis-à-vis des phénomènes d'érosion et d'affouillements.

---

Les affouillements se produisent essentiellement en aval. En effet, la partie amont a tendance à s'ensabler par les apports d'alluvions et le charriage des matériaux du fond du lit sous l'action du vent et des crues. Dès que les affouillements s'amorcent, la dénivellation qui se produit entre le niveau du radier et le fond de l'oued crée des tourbillons qui amplifient le phénomène.



Figure 124 : Exemple d'affouillement en aval d'un radier béton au fond d'un oued : nécessité de mettre en place un dispositif anti-affouillement au niveau de la chute aval

Diverses dispositions de protection peuvent être envisagées lorsque le fond du lit est affouillable (voir schémas de principe en annexe) :

- ❑ Fonder les murettes jusqu'au niveau du sol inaffouillable lorsque celui-ci est à faible profondeur. Dans ce cas les murettes peuvent être réalisées en béton ou en maçonnerie ; leurs dimensions doivent correspondre à un mur de soutènement de hauteur égale à la différence entre la chaussée et la profondeur limite d'affouillement. Cette solution technique est valable pour des profondeurs d'affouillement de l'ordre de 2,5 à 3 m ;
- ❑ Lorsque la couche inaffouillable (substratum) se trouve à grande profondeur, il est préférable d'éviter l'emploi de murettes rigides en béton ou maçonnerie. En effet, les murettes ne pourront s'adapter à des mouvements éventuels dus à des affouillements partiels. Dans ce cas, il faut réaliser les murettes avec des matériaux souples, type gabions, lesquels gardent une souplesse suffisante pour pouvoir s'enfoncer si le sol sur lequel ils reposent est emporté. Il est à noter que la bonne tenue des gabions n'est cependant assurée que si les affouillements restent localisés.
- ❑ Protéger les murettes par la mise en place d'un rideau de palplanches. Cette solution technique est valable pour des profondeurs d'affouillement de l'ordre de 5 m ;
- ❑ Placer à l'aval immédiat du radier un tapis de gabions ou d'enrochements, lequel repousse en aval la zone d'affouillement. Ce tapis grâce à sa souplesse s'affaisse si nécessaire au fur et à mesure du creusement du lit et empêche ainsi l'érosion de progresser jusque sous les murettes.

Concernant le calage de la chaussée, en site non affouillable, la chaussée peut être placée au niveau jugé le meilleur compte tenu du profil en long de la route et des conditions d'écoulement. Ainsi, il peut être réalisé des radiers pleins légèrement surélevés par rapport au fond du lit ou des radiers busés si on désire qu'une certaine quantité d'eau puisse s'écouler sans submersion.

En site affouillable, le radier doit être impérativement au niveau du fond du lit. S'il n'en est pas ainsi, les alluvions s'accumulent à l'amont et font remonter le lit jusqu'au niveau du radier tandis qu'à l'aval se forme une chute qui crée des affouillements.



#### 8.2.1.7. Les ponts submersibles

Les ponts submersibles ne présentent d'intérêt que si les conditions de fondation sont bonnes et les affouillements peu importants. Dans le cas contraire, il est difficile de donner aux appuis une stabilité transversale suffisante pour leur permettre de résister aux efforts qu'ils risquent de subir par suite de l'action du courant sur le tablier.

En site inaffouillable ou avec présence d'un substratum à faible profondeur (affouillements peu importants), les recommandations suivantes sont à prendre en compte :

- solidement ancrer les fondations jusqu'au niveau du substratum inaffouillable ;
- calage altimétrique de l'ouvrage : ne pas faire un pont trop haut car on augmente ainsi à la fois l'intensité des efforts de renversement, notamment en cas d'accumulation de débris végétaux, et la longueur du bras de levier de ces efforts ;
- ne pas mettre d'obstacles au-dessus du tablier (garde-corps ou autres) pour ne pas opposer une surface supplémentaire à l'action du courant et pour ne pas introduire une cause supplémentaire d'accumulation de débris végétaux.

#### 8.2.1.8. Recommandations pour la sécurité des usagers de la route au droit des radiers et ponts submersibles

La mise en place de balises latérales aux radiers permet aux conducteurs de repérer les limites de la chaussée, en particulier lorsque celle-ci est submergée. Ces balises constituées de bornes équidistantes sont placées le long de chaque bord de chaussée. La hauteur de ces bornes doit être égale à la hauteur d'eau la plus haute pour laquelle il est possible de traverser sans danger.

Enfin, il est recommandé d'implanter des panneaux de signalisation de part et d'autre du radier afin d'alerter les usagers de la route de la dangerosité du franchissement en période pluvieuse, ainsi que des indicateurs de profondeurs.



Figure 125 : RR508 PK 117+882 : exemple de radier submersible sans balises latérales et panneaux de signalisation



Concernant la définition de la hauteur des balises latérales, les critères d'appréciation du danger (risque potentiel) pour les usagers qui franchissent le radier lorsque celui-ci est submergé peuvent être définis par la hauteur d'eau de submersion du radier et l'intensité de submersion du radier, définie comme le produit de la hauteur de l'eau et de la vitesse d'écoulement sur le radier.

Pour les voies de communication, les valeurs seuils suivantes peuvent être appliquées :

- hauteur d'eau maxi ( $h$ )  $\leq 0,5$  m ;
- intensité de submersion ( $i = h \times v$ ) maximale =  $0,5$  m<sup>2</sup>/s.

Le graphique ci-dessous permet de visualiser les critères de danger proposés.

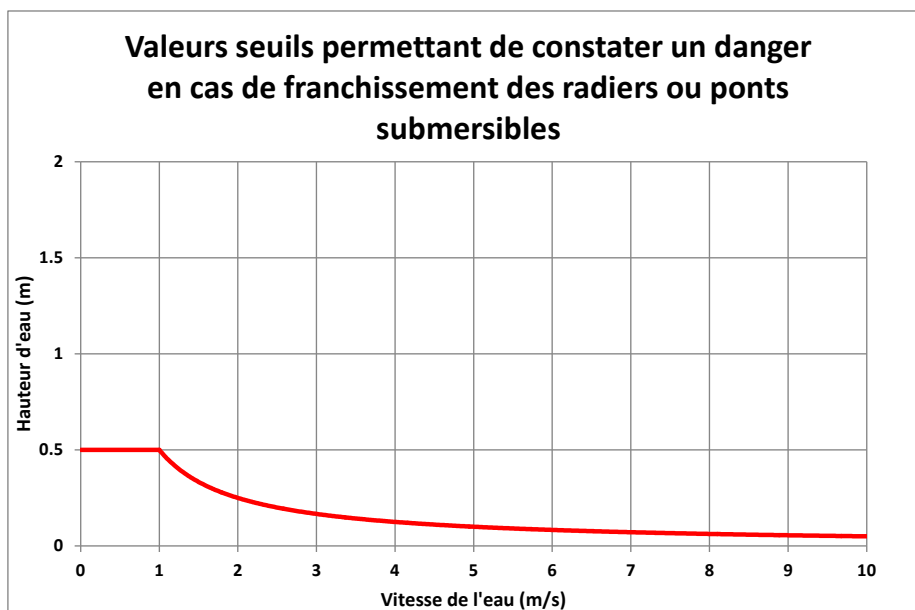


Figure 126 : Valeurs seuils permettant de constater un danger en cas de franchissement des radiers ou ponts submersibles

Il en ressort que plus la pente transversale du radier sera importante, plus la vitesse d'écoulement sur le radier sera forte et ainsi, la hauteur d'eau maximale admissible lors du franchissement du radier sera faible.



Figure 127 : Exemple de circulation sur un pont submersible submergé par une crue d'un oued lors des inondations de novembre 2014

### 8.2.1.9. Les ponts insubmersibles

Pour les ponts insubmersibles, les recommandations hydrauliques au niveau de la conception sont les suivantes :

- ❑ **Prévoir le dégagement d'un tirant d'air minimum entre le niveau d'eau estimé de la crue de projet et la veine inférieure de l'intrados de l'ouvrage d'art**, d'au moins 1 m, voire le double si l'analyse des débris végétaux susceptibles d'être mis en flottaison en amont montre que des arbres morts peuvent être entraînés dans le courant ;
- ❑ **Mettre en place des dispositifs de protection des appuis :**

Les tapis d'enrochements sont les dispositifs de protection contre les érosions locales (affouillements créés par les piles et les culées des ouvrages dans le cas des lits affouillables non cohésifs) les plus couramment employés, pour leur faible coût et leur facilité de mise en œuvre. Ils s'avèrent, à l'expérience, très efficaces. En outre, ils jouent le rôle de « sonnette d'alarme », moyennant des inspections régulières.

Pour éviter tout affouillement autour d'une pile, les dimensions du tapis à envisager sont, en plan, de l'ordre de trois fois la largeur de la pile (dimension définie dans le sens d'écoulement des eaux), ce qui correspond à l'emprise totale de la fosse d'affouillement. En épaisseur, il est suggéré de prendre la plus grande des deux valeurs suivantes : la dimension de la pile ou le triple du diamètre des enrochements. La constitution d'un bon filtre est nécessaire pour éviter que les blocs ne s'enfoncent dans le lit. Il est aussi essentiel que les enrochements ne constituent pas au pied de chaque pile un monticule qui crée une obstruction importante à l'écoulement.

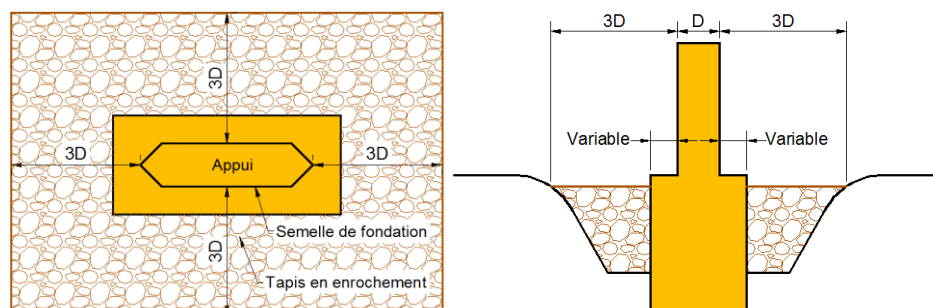


Figure 128 : Schémas types d'une protection d'une pile de pont



Figure 129 : Exemple de protection en enrochements au droit d'un pont insubmersible : protection de la pile et du bloc technique de la culée

❑ **Prévoir si nécessaire des protections des remblais d'accès en zone inondable :**

Les remblais en lit majeur peuvent être également soumis à des vitesses d'écoulement importantes en cas de crue débordant du lit mineur, en particulier au voisinage des culées des ouvrages de franchissement du lit mineur ou des ouvrages de décharge hydraulique ou de rétablissement divers situé dans le remblai en lit majeur. Des protections du remblai contre des risques d'érosions localisées peuvent donc s'avérer nécessaires.

Les recommandations afférentes à la protection des remblais figurent au chapitre 8.2.2.4 ci-après.

*8.2.1.10. L'entretien des ouvrages de franchissement*

Des visites régulières sont nécessaires afin de détecter en temps voulu les dégradations qui se sont produites et ainsi d'y remédier si possible avant qu'elles ne mettent en péril l'ensemble de l'ouvrage.

Deux types de visite peuvent être distingués :

- Les **visites périodiques** : ces visites doivent être effectuées au moins une fois chaque année d'une façon complète ;
- Les **visites occasionnelles après chaque crue importante**.

Ces visites ont pour objet de définir, le cas échéant, les travaux d'entretien et/ou les réparations à effectuer.

Les principaux points à examiner lors de ces visites sont les suivants :

- ❑ l'état d'obstruction de l'ouvrage et du lit, et en particulier l'état d'encombrement des ouvrages et du lit par des dépôts d'alluvions et/ou des embâcles (branchages, troncs d'arbres, produits végétaux, .....);
- ❑ l'état des ouvrages de génie civil (aspect des surfaces) afin de détecter les fissures et les débuts de corrosion des armatures insuffisamment enrobées ;
- ❑ la présence de phénomènes localisés d'érosion (en particulier au niveau des remblais d'accès) et/ou d'affouillement du fond du lit (amont et aval).

## 8.2.2. Cas où la plate-forme routière longe un oued : érosion fluviale

### 8.2.2.1. Exposé de la problématique

Lorsqu'une plate-forme routière longe un oued et se trouve implantée en zone inondable ou en limite de celle-ci, des risques existent en fonction d'une part de la stabilité des berges de l'oued et d'autre part, de la stabilité des remblais sous l'action de l'eau.

#### 8.2.2.1.1. Processus conduisant à la dégradation des berges

Les éléments ci-après sont extraits de la fiche technique « Diagnostic et solutions des problèmes d'érosion des berges de cours d'eau » réalisée par un partenariat entre l'AAC (Agriculture et Agroalimentaire Canada) et le MAPAQ (Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec) en date d'août 2008.

La dégradation des berges se produit généralement selon un processus qui combine à la fois le pouvoir érosif de l'eau et l'effet gravitaire.

#### **LE POUVOIR EROSIF DE L'EAU**

Lorsque la vitesse du courant et la turbulence arrivent à vaincre le poids des particules et leur force de cohésion, il y a érosion. De ce fait, les sols cohésifs (comme les sols argileux) résistent mieux à l'érosion que les sols pulvérulents (comme les sols sableux). Il est à noter que la force d'arrachement est plus forte lorsque la direction du courant forme un angle avec la surface du sol.

Tout ce qui modifie la direction de l'eau et augmente sa vitesse peut créer des foyers d'érosion. Ainsi, les obstacles dans le cours d'eau, le rétrécissement de la section du cours d'eau, les sorties de drain mal installées, la force centrifuge sur la rive extérieure d'une courbe et la pente forte du cours d'eau sont autant de facteurs qui peuvent contribuer à changer la direction de l'eau ou à augmenter sa vitesse. De plus, les surfaces de sol à nu résistent moins bien à l'action érosive de l'eau que les surfaces recouvertes de végétation.

L'érosion peut survenir au niveau des berges, mais également dans le lit du cours d'eau ; on parle alors de régression de fond. La régression du fond abaisse l'élévation du lit, accentue l'angle du talus et affaiblit sa base. En sol cohésif, elle engendre presque systématiquement un glissement de talus.



Figure 130 : Exemple du pouvoir érosif de l'eau sur la berge d'un cours d'eau

(Source : Luc Lemieux, MAPAQ)



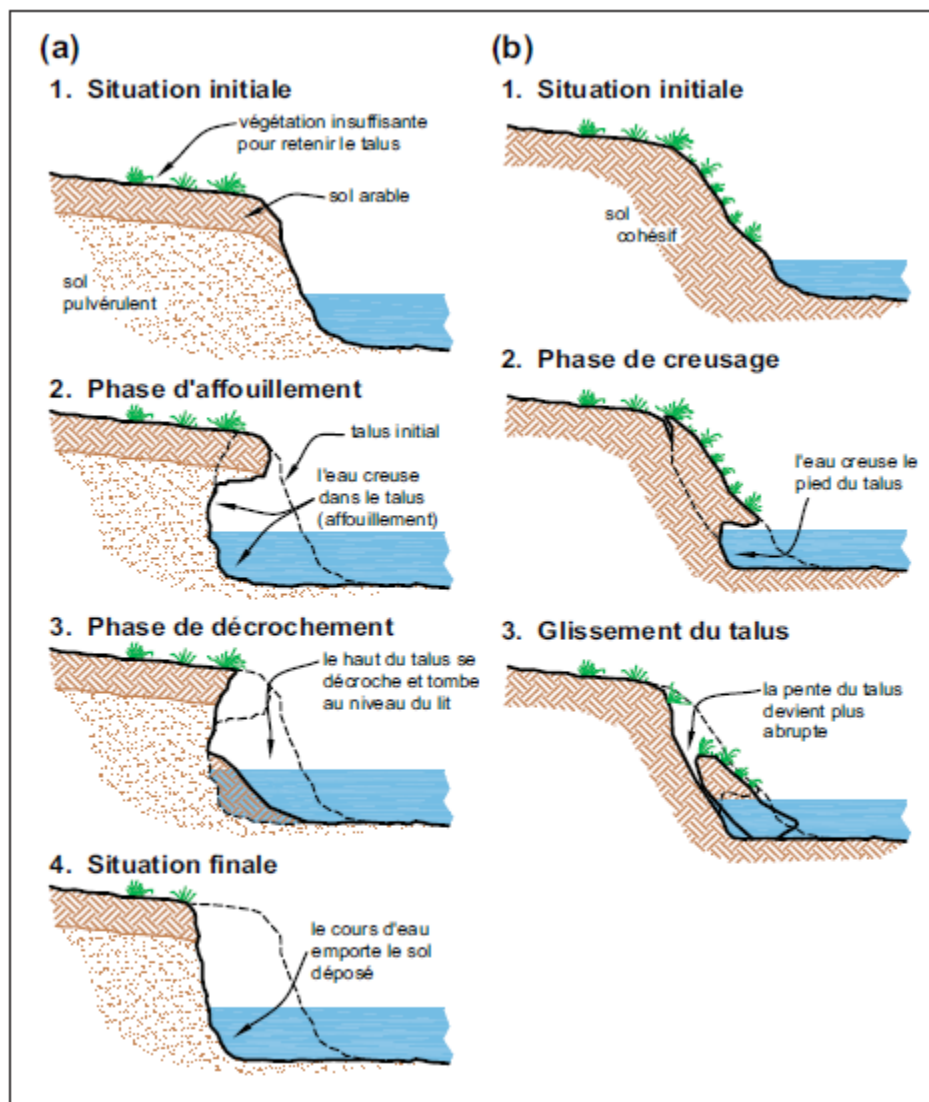


Figure 1 (a et b) : Processus d'érosion de berges rencontré (a) en sol peu cohésif et (b) en sol cohésif lorsque la vitesse de l'eau est importante  
 Source : Luo Lemieux, MAPAQ, adapté de Bentrup G. et Hoag J. C. (1998)

Figure 131 : Processus d'érosion de berges

#### L'EFFET GRAVITAIRE

Le glissement des talus survient lorsque les matériaux composant la berge ne peuvent plus résister aux forces gravitationnelles. Ce mécanisme survient plutôt dans des sols cohésifs qui sont capables de retenir de grandes quantités d'eau, ce qui ajoute du poids à la berge et réduit les forces de cohésion entre les particules (phénomène de lubrification). Résultat : le talus devient encore plus sensible au décrochement.

Lorsqu'on augmente la pente ou la hauteur d'un talus, le poids du sol excède éventuellement les forces de cohésion qui le retiennent, le sommet de la berge se fissure et le sol glisse en plaques. Dans les sols cohésifs, la surface de rupture présente une forme en arc de cercle caractéristique. Moins les sols sont cohésifs, plus la surface de rupture est droite.





Figure 132 : Exemple d’effet gravitaire sur la berge d’un cours d’eau  
 (Source : Robert Beaulieu, MAPAQ)

Les glissements ont généralement lieu après des pluies abondantes ou lors d’une décrue rapide alors que les berges sont saturées. Toutefois, d’autres circonstances favorisent aussi les glissements, comme les cycles de gel et de dégel ou de saturation et d’assèchement dans certains sols, les vibrations causées par le passage de machinerie trop près de la berge, l’ajout d’une charge sur la rive (remblais, arbres de forte taille), l’accumulation d’eau le long de la berge due à une raie de curage faite par un labour, etc.

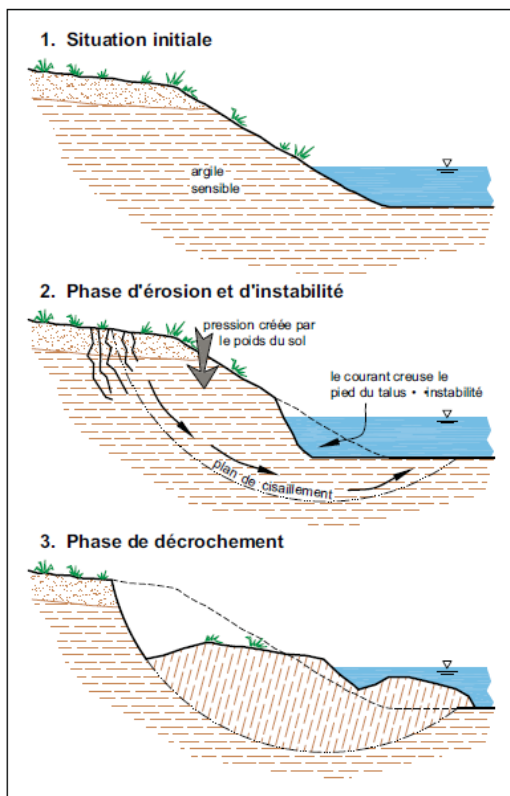


Figure 2 : Phénomène de rupture de berge en cercle  
 Source : Luc Lemieux, MAPAQ, adapté de USDA-NRCS Stream restoration design handbook, technical note 14A, 2005

Figure 133 : Phénomène de rupture de berge en cercle

#### 8.2.2.1.2. Les risques encourus par la route

Les phénomènes d'érosion des berges d'un oued sont susceptibles d'engendrer des désordres importants au niveau du remblai routier lorsque celui-ci se trouve en bordure de la berge ou lorsque le talus du remblai se trouve en prolongement de la crête de la berge (cas rencontré sur les 4 tronçons routiers étudiés). En effet, en raison de la progression en plan de la berge, cela engendrera soit la ruine du remblai routier, soit des glissements.

#### 8.2.2.2. Les études préalables

Avant d'énumérer les recommandations techniques à mettre en œuvre pour la protection des remblais routiers longeant les oueds, il est d'abord nécessaire de lister les études techniques qui doivent être mises en œuvre pour concevoir les solutions de confortement adaptés. **Ces études doivent associées les 3 composantes que sont le génie écologique, l'hydraulique et la géotechnique.**

#### 8.2.2.2.1. Les études de génie écologique

##### **DIAGNOSTIC DES CAUSES DE DEGRADATION DES BERGES**

Tout d'abord, il est nécessaire d'établir un diagnostic des éventuelles causes de dégradation des berges à partir d'un état des lieux basé sur un examen attentif de la berge. Ce diagnostic sur site a pour objet de recenser tous les indices relatifs aux processus de dégradation de la berge (liste non exhaustive) :

- Pertes de végétation, sol à nu sur la berge ;
- Absence de sol en pied de berge (le sol érodé est emporté par le cours d'eau) ;
- Écoulement turbulent ou atteignant une vitesse importante
- Érosion de la berge extérieure d'une courbe ;
- Trace de débordements (chenaux secondaires, ravinement et matériaux déposés hors du lit du cours d'eau) ;
- Présence d'horizons pulvérulents plus sensibles (sable) ;
- Présence d'obstacles (branches dans le lit, ...) ;
- S'enquérir du degré de recul progressif de la berge, année après année : analyse diachronique.

##### **STABILITE DU LIT ET DES BERGES**

L'enquête sur la stabilité du lit doit permettre d'établir un diagnostic sur les potentialités d'évolution du lit, en l'état et à terme, en fonction des caractéristiques connues de la route (en particulier de la distance du talus routier par rapport à la crête de la berge), et notamment l'ampleur de l'affouillement général.

Cette évolution du lit concerne tous les phénomènes, aussi bien d'érosion ou de dépôts observés par l'évolution du profil en long, que les méandres par les modifications du tracé en plan de la rivière.

Cette enquête devra déboucher sur les aménagements adéquats touchant l'ouvrage et sa zone d'influence.

La préservation des berges et des conditions d'écoulement du cours d'eau est également un enjeu important vis-à-vis de la végétation et de la faune, terrestre ou aquatique.

#### 8.2.2.2. Les études hydrauliques

Les études hydrauliques ont pour objectifs :

- d'établir un état des lieux du site, et en particulier d'analyser la dynamique fluviale (étude morphologique) : analyse de la mobilité des lits en profil en long et en plan, définition des débits solides ;
- de caractériser les conditions d'écoulements en crue : hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement au droit de la zone à risque pour les périodes de retour de référence ;
- de définir les risques d'érosion et d'affouillements tant sur le plan général du lit que sur les actions locales (notamment au voisinage des appuis envisagés). L'étude morphodynamique doit permettre :
  - de caractériser les phénomènes d'érosion, en régime normal et en régime de crue exceptionnelle : calcul profondeurs d'affouillement afférentes aux périodes de retour de référence ;
  - de les quantifier selon les critères de mise en mouvement des sédiments (vitesse critique, tension de cisaillement, puissance spécifique) ;
  - de définir les éventuels dispositifs de protection ou d'atténuation à adopter ;
- de définir les dispositifs de protection adaptés à la problématique pour les berges et les remblais : mise en œuvre de techniques minérales, végétales ou mixte ;

#### 8.2.2.3. Les études géotechniques

Les études géotechniques ont pour objectifs :

- de caractériser les formations géologiques en présence au moyen si nécessaire d'une reconnaissance de sols : sondages et analyses en laboratoire (analyses granulométriques, .....);
- de caractériser le contexte hydrogéologique : présence d'arrivées d'eau ou non au niveau du remblai routier ;
- de préciser les caractéristiques des éventuels murs de protection et de vérifier la stabilité du remblai.

#### 8.2.2.3. Les solutions techniques pour consolider les berges

##### 8.2.2.3.1. Les principes généraux d'aménagement

Lorsqu'une berge doit être consolidée le premier critère guidant le choix d'une technique est d'assurer la pérennité de l'aménagement. Avant toute protection contre l'érosion, la berge doit être talutée avec une pente lui permettant de résister au glissement. Pour protéger une berge de l'érosion, dans toute la mesure du possible, les techniques végétales sont en général à privilégier, car elles s'intègrent mieux dans le paysage et participent à l'équilibre biologique par restructuration des habitats rivulaires. L'efficacité de la protection augmente avec le développement des végétaux. Cependant, pour les protections de berges à proximité des ouvrages, les techniques de génie civil seront préférées.

- Adoucir la pente du talus, selon le type de sol ;
- Protéger la berge à l'aide de techniques de génie végétal ou d'empierrement ;
- Les techniques de génie végétal présentent l'avantage d'intégrer des arbustes et des plantes buissonnantes qui stabilisent la rive grâce à leur système racinaire et qui se régénèrent s'ils sont endommagés. Ces techniques sont souvent plus coûteuses que l'empierrement. Dans un grand

nombre de cas, une protection au pied du talus par un empierrement complétée par la végétalisation du haut de la rive permet de combiner les avantages des deux techniques.

- ❑ Dans tous les cas, végétaliser le haut de la berge (arbustes et/ou plantes pérennes) ;
- ❑ Ralentir la vitesse de l'eau par l'installation de seuils dissipateurs d'énergie ;
- ❑ Dans les courbes : Arrondir la courbe avant d'établir une protection.
- ❑ Aménager des épis en perré ou avec des pieux de saules (d'autres techniques existent aussi) pour faire dévier le courant vers le centre du cours d'eau

La nature de la protection (génie végétal, enrochements, gabions ....) sera définie en fonction des impératifs de sécurité et de pérennité de la route et des enjeux écologiques de l'écoulement concerné.

Ainsi, au droit des points singuliers (piles des viaducs, berges sous ouvrages, pied de remblais au niveau des ouvrages hydrauliques, coudes prononcés ..... ) et lorsque les vitesses d'écoulement pour la crue de projet seront fortes ( $> 2$  m/s), il sera en mis en place des protections mixte (végétal + minéral) ou minérales en enrochements (ou gabions). Dans les autres cas, la protection sera assurée par des techniques de génie végétal.

Au droit des berges des cours d'eau, la protection en enrochements sera implantée, soit sur la totalité de la hauteur de la berge, soit en pied de berge sur une hauteur supérieure au niveau d'eau moyen annuel (calculé pour le module). Dans ce dernier cas, il s'agira d'une protection mixte : enrochements + techniques végétales.

Les croquis ci-après présentent différents types de protection de berges au droit des cours d'eau. Concernant les techniques végétales, il existe de nombreuses techniques de végétalisation des berges ; les techniques présentées ci-après sont indicatives.

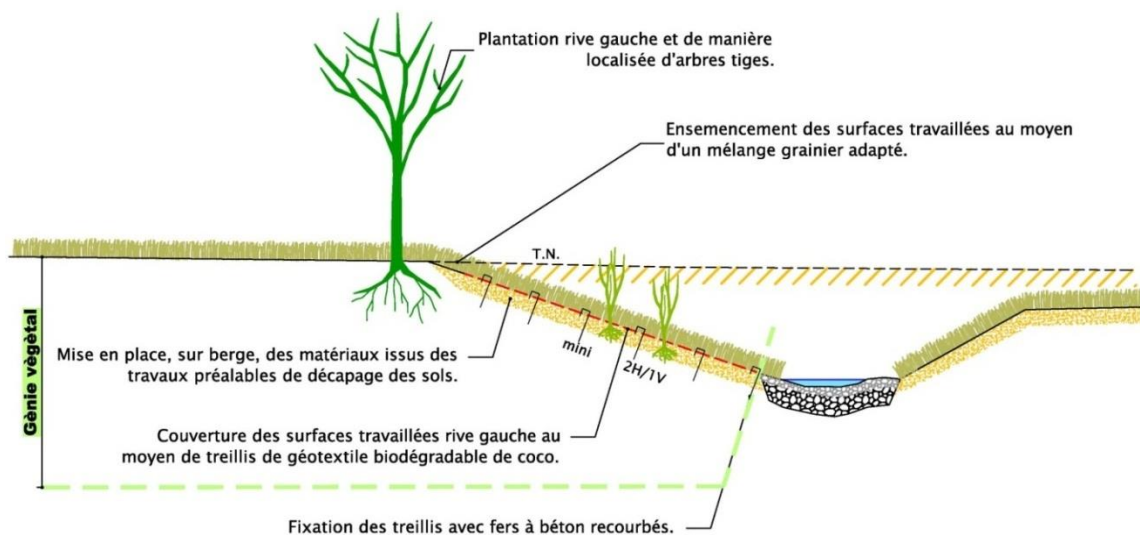


Figure 134 : Protection de berge par des techniques de génie végétal – Coupe type

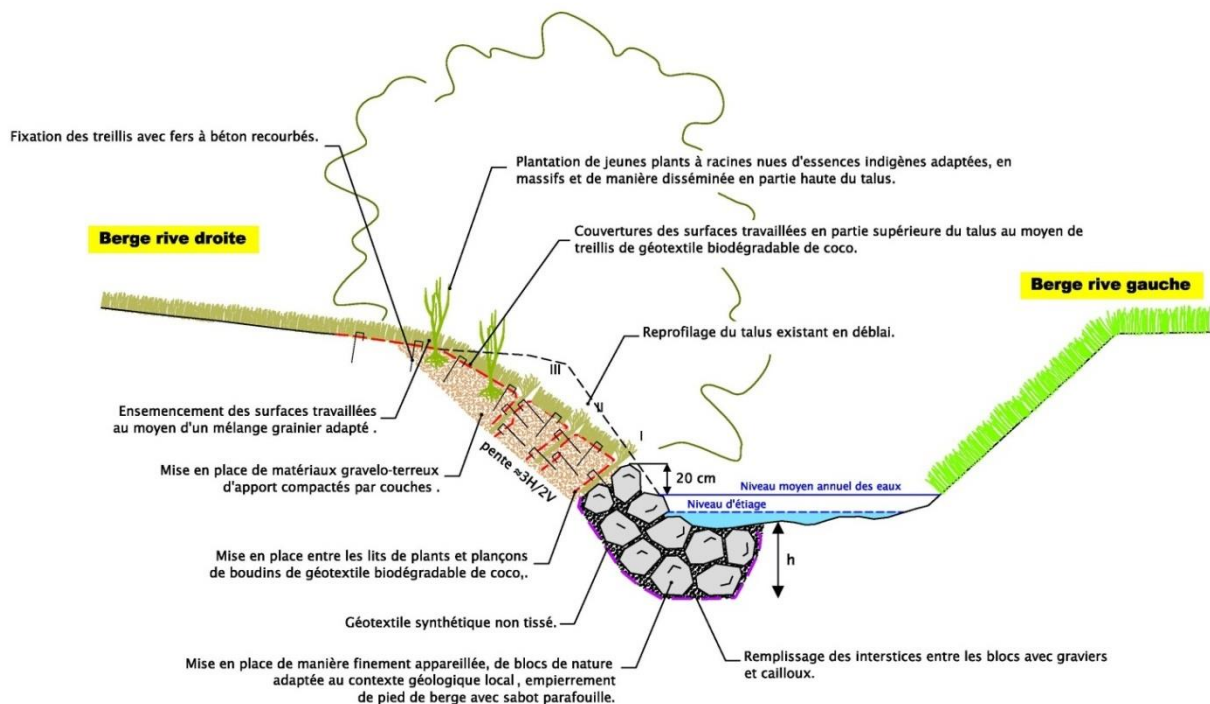


Figure 135 : Protection de berge par enrochements et génie végétal (protection mixte) – Coupe type

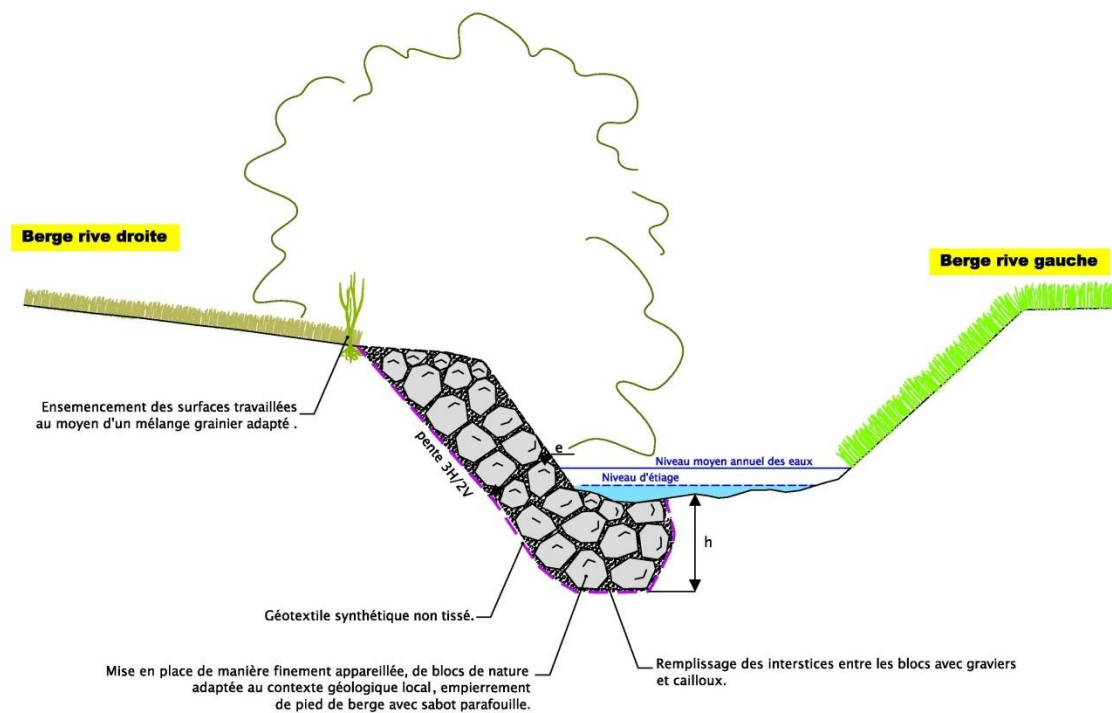


Figure 136 : Protection de berge par enrochements – Coupe type



### 8.2.2.3.2. Protection par techniques végétales

En pratique, ce type de protection, qui demande un entretien soigné, est plutôt réservé aux rivières à pente faible ou moyenne, inférieure à environ 1 %. Cette technique n'est pas utilisable pour protéger les coudes de rivières affouillables. L'abaque ci-dessous extrait du « Guide de protection des berges de cours d'eau en techniques végétales (Bernard Lachat) » permet de définir le domaine d'application des types de protections végétales sur les berges. Cet abaque indique les valeurs de résistance maximales (forces tractrices) de diverses techniques végétales en fonction de la pente du cours d'eau et de la hauteur d'eau (caractéristiques hydrauliques de l'écoulement).

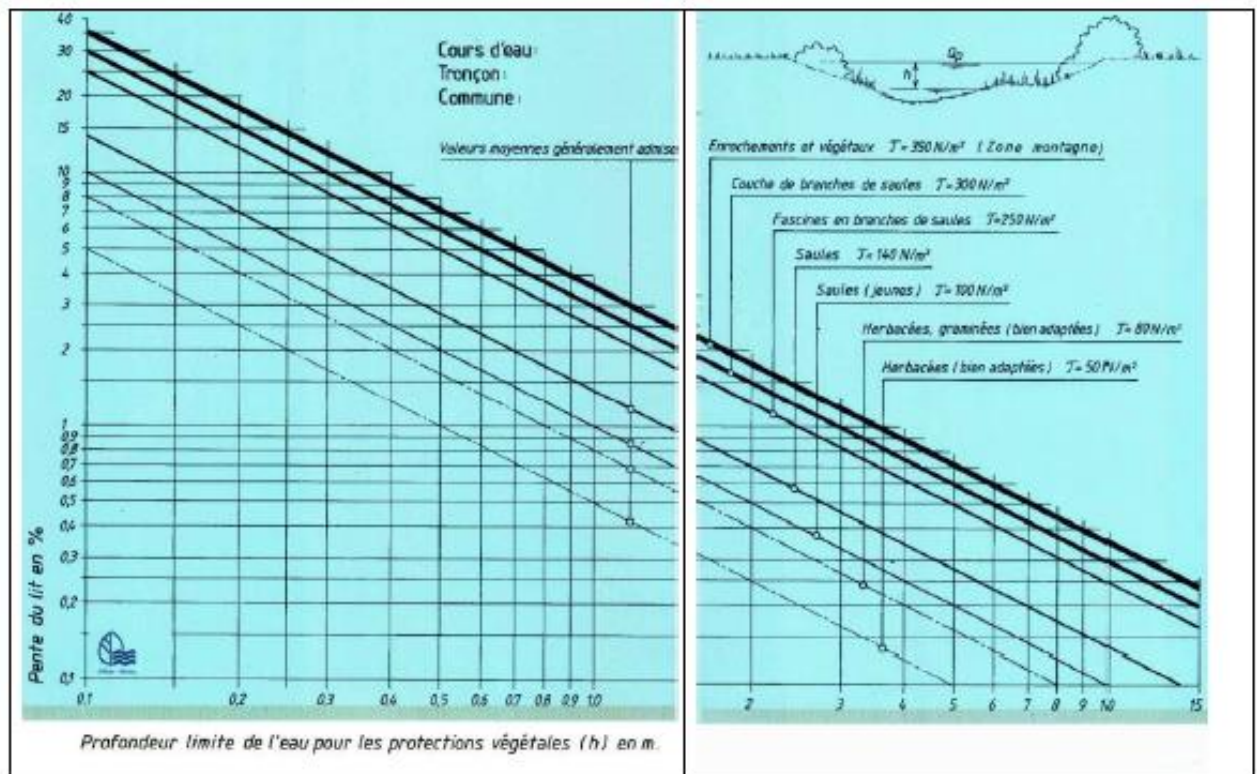


Tableau 233 : Domaine d'application des techniques végétales sur les berges

La protection des berges par techniques végétales doit faire appel à des bureaux d'études spécialisés.

### 8.2.2.3.3. Protection par techniques minérales

#### ENROCHEMENTS

La photo ci-dessous présente un exemple de protection d'une berge au droit d'un coude (rive concave) par une protection en enrochements libres.





Figure 137 : Exemple de protection en enrochements au droit d'un coude au pied d'un remblai routier

Un revêtement en enrochements est de nature à s'adapter aux déformations des berges et aux affouillements.

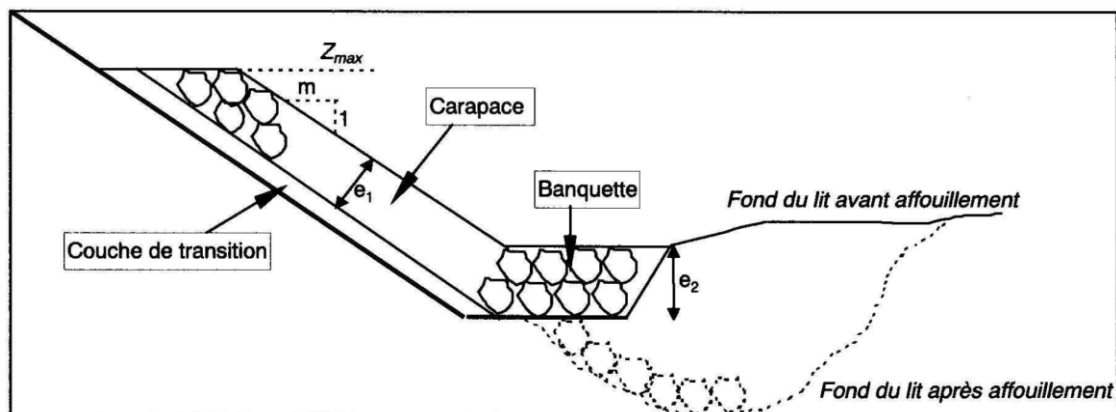


Figure 138 : Coupe type d'une protection en enrochements

Les recommandations pour la mise en œuvre des protections en enrochements sont les suivantes :

- ❑ Caractéristiques de la protection :
  - Epaisseur de la couche d'enrochements sur talus = 2 x diamètre moyen des enrochements,
  - Pente des enrochements sur talus < 3 de base pour 2 de haut (pente limite pour la sécurité au glissement). En cas de doute il convient d'effectuer un calcul de stabilité avec hypothèse d'une décrue rapide,
  - Blocométrie des enrochements : à définir en fonction de la vitesse du courant au voisinage de l'enrochement, des poids volumiques de l'eau et des enrochements, de l'inclinaison de la berge et de l'angle du talus d'équilibre des enrochements. Il est à noter que la vitesse du courant au droit de la protection doit être majorée au droit des coudes ;
- ❑ Le blocage en pied :

La mise en place des enrochements nécessite en général un bon blocage du pied. Ce blocage peut être réalisé par un tapis de pied formé d'enrochements de diamètre identique à ceux du talus (bêche). La largeur et le volume de ce tapis doivent être tels que les enrochements constitutifs pourront s'enfoncer et s'adapter à la fosse d'érosion éventuelle sans entraîner de glissement de toute la protection.

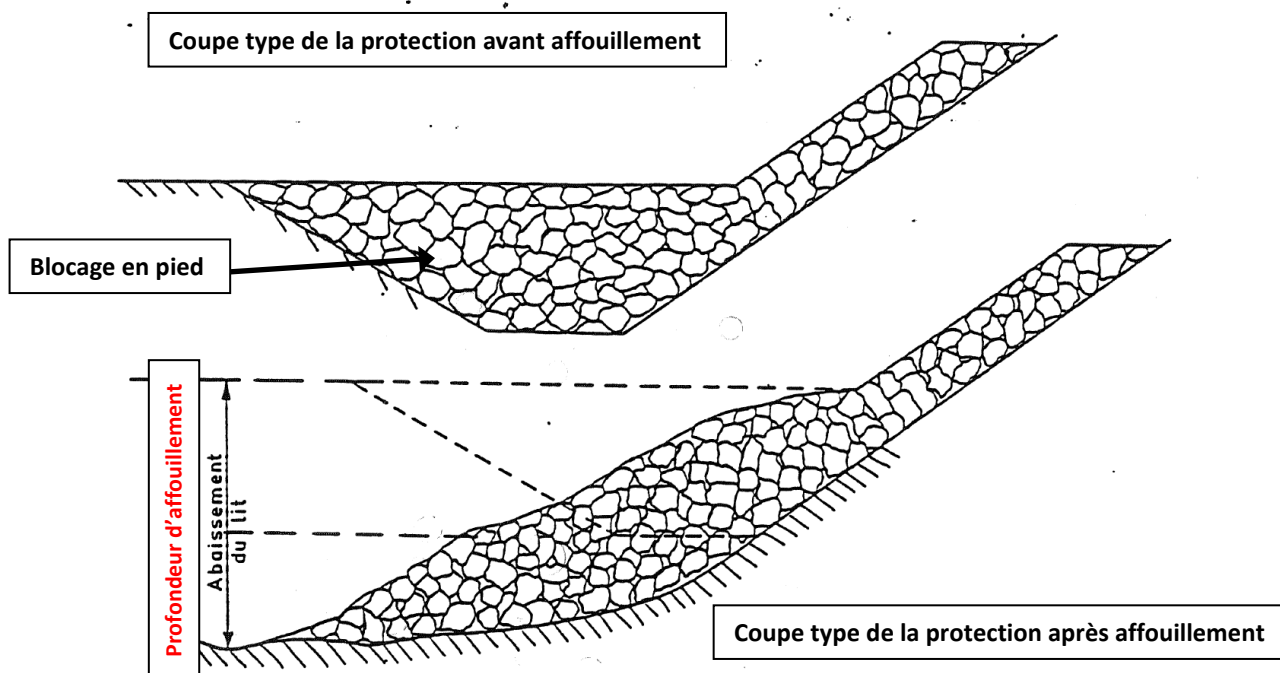


Figure 139 : Coupe type de la protection avant et après affouillement

#### □ Conditions de filtre :

Si le matériau sur lequel repose la couche d'enrochements est beaucoup plus petit, on peut craindre qu'il soit emporté à travers les vides ce qui à la longue pourrait entraîner la destruction de la protection. Dans ce cas il faut prévoir :

- soit un filtre granulaire constitué d'une ou plusieurs couches de transition respectant les conditions de non entrainement des fines (règles de Terzaghi: voir ci-après « Transition d'une protection en matériaux granulaires ») ;
- soit un filtre géotextile.

#### **MATELAS RENO ET GABIONS**

Les gabions sont des structures formées de cages grillagées parallépipédique emplies de cailloux ou de galets. Les matelas Reno sont en fait des gabions de grande dimension et de faible épaisseur, spécialement destinés au revêtement de berges de rivières et de canaux, voire de parement de barrages en remblai.

Dans un matelas Reno ou un gabion, la présence du grillage qui tend à s'opposer au début des déplacements, augmente la vitesse limite de 20 à 50 %, par rapport à des enrochements libres. Lorsque l'épaisseur du matelas est supérieure ou égale à environ 2 fois le diamètre moyen des cailloux, la

vitesse  $V$  (en m/s) du courant au voisinage des matelas Reno ou des gabions dépasse encore cette valeur limite.

#### TRANSITION D'UNE PROTECTION EN MATERIAUX GRANULAIRES

A la décrue, les matériaux fins de la berge peuvent être entraînés à travers les enrochements ou les cailloux du matelas Reno ou des gabions. Ce risque existe si :  $d_{85}(\text{berge}) < 0,2 \times d_{15}(\text{protection})$ .

Une transition entre la berge et la protection, réalisée en matériau naturel de granulométrie intermédiaire doit respecter les trois règles suivantes :

- $0,1 \text{ mm} < d_{15}(\text{transition}) < 5 \times d_{85}(\text{berge})$  ;
- $5 \times d_{50}(\text{transition}) < d_{50}(\text{protection}) < 10 \times d_{50}(\text{transition})$  ;
- $2 < d_{60}/d_{10}(\text{transition}) < 8$ .

$d_{10}$ ,  $d_{15}$ ,  $d_{50}$ ,  $d_{60}$  et  $d_{85}$  sont les diamètres des passants cumulés à 10, 15, 50, 60 et 85%.

La transition peut également être assurée par un géotextile, matériau devenu d'emploi courant en aménagement de cours d'eau. Le géotextile n'étant pas un simple substitut aux matériaux granulaires, le produit doit être choisi avec soin et la conception de la protection de berge doit impérativement être adaptée.

#### EPIS

La protection des berges par des épis dans le lit mineur d'un cours d'eau est bien adaptée pour combler de grosses anses d'érosion. Ce type de protection convient mieux à des rivières ayant tendance à se remblayer ou à des rivières larges à chenaux divagants. Les épis, ancrés dans la rive, en déviant le courant, permettent de protéger et stabiliser les berges soumises à l'érosion. Les épis en créant des zones de calme, favorisent en outre la sédimentation et l'engraissement du pied des berges. Les épis peuvent être entièrement constitués d'enrochements ou de gabions (voir photo ci-dessous).



Figure 140 : Exemple d'épis en gabion.

### *PALPLANCHES, MURS, SOUTÈNEMENTS OU AUTRES DISPOSITIONS SIMILAIRES*

La réalisation de rideaux de palplanches ou de murs en maçonnerie, en béton ou gabions permet également de protéger contre l'affouillement les appuis des ouvrages ou les berges des cours d'eau en milieu urbains ou des canaux de navigation. Un soin particulier doit être attaché aux dispositifs de guidage des profilés en cours de battage et à l'étalement des rideaux. Les profils doivent être ancrés au-delà des profondeurs affouillables.

Ces solutions techniques sont présentées au chapitre 9.2.1.2.1 dans la partie géotechnique.

#### *8.2.2.4. Les solutions techniques pour consolider les remblais en lit majeur*

Les remblais en lit majeur peuvent être également soumis à des vitesses d'écoulement importantes en cas de crue débordant du lit mineur, en particulier au voisinage des culées des ouvrages de franchissement du lit mineur ou des ouvrages de décharge hydraulique ou de rétablissement divers situés dans le remblai en lit majeur. Des protections du remblai contre des risques d'érosions localisées peuvent donc s'avérer nécessaires.

Les solutions de protection des talus préconisées diffèrent selon la nature du matériau mis en place en fonction des vitesses d'écoulement, de la pente du talus routier et de la nature des matériaux de remblais :

- ❑ Mise en place de tapis anti-érosifs avec ou sans végétalisation : géofilets (ou géotextiles naturels) ou structures tridimensionnelles intégrant des fibres ou alvéolaires ;
- ❑ Mise en place de matelas gabions (matelas Reno). Les structures minérales peuvent être végétalisées par remplissage des vides de la structure minérale avec de la terre végétale ;
- ❑ Mise en place d'enrochements.

Ces dispositifs de protection des remblais sont positionnés selon les caractéristiques suivantes :

- calage de la crête de la protection : Z crête protection = PHE (plus hautes eaux calculées) + 50 cm ;
- le dispositif sera ancré dans le sol en pied du talus routier.

### 8.2.3. La prévision et l'annonce des crues

#### *8.2.3.1. OBJECTIFS DE LA PREVISION ET DE L'ANNONCE DES CRUES*

Avant 1995, toutes les dispositions, y compris les textes de la loi de l'eau de 1995, étaient élaborées dans le sens de la définition et la préservation du Domaine Public Hydraulique (DPH), de l'économie de l'eau et de la gestion de sa rareté.

La catastrophe de l'Ourika et celles qui se sont déroulées depuis cet événement, ont rendu plus urgente que jamais la mise en place de structures d'annonce de crues fiables et efficaces en vue d'éviter les pertes en vies humaines et les dégâts matériels.

Au Maroc il existe plusieurs types de crues affectant le territoire : elles sont évidemment de nature très différente suivant la taille du bassin versant considéré, la pente des oueds, la nature du couvert végétal et la nature de la pluviométrie. La faisabilité et la qualité de système de prévision et d'annonce dépend de la typologie des crues considérées : les phénomènes très rapides caractérisant les têtes de bassins versants ou les petits bassins versant de piémont de relief sont difficiles à prévoir car ils répondent à des événements pluviométriques rapides et intenses que l'on ne sait pas encore anticiper. Par contre,



la propagation d'une crue sur un grand linéaire est généralement mieux connue et laisse plus de temps aux opérations de mise en sécurité.

Pendant longtemps, les actions de protection ont été privilégiées mais l'expérience a permis de constater qu'elles ne résolvaient pas toujours tous les problèmes : elles entraînent en général des impacts environnementaux forts, sont coûteuses, aussi bien en investissement qu'en entretien, contribuent à donner un faux sentiment de sécurité qui conduit à aggraver la vulnérabilité dans les zones protégées, et ne peuvent que limiter le risque sans l'annuler. Il est donc indispensable prévoir une gestion de ce risque résiduel et ce particulièrement par une bonne gestion de l'occupation du sol et à travers une prévision et une annonce des crues permettant la mise en sécurité des populations et des biens.

### 8.2.3.2. LES ROLES RESPECTIFS DES PRINCIPAUX INTERVENANTS

#### 8.2.3.2.1. Le Ministère de l'Équipement, du Transport et de la Logistique (METL)

Le Ministère de l'Équipement, du Transport et de la Logistique est un intervenant direct dans l'activité d'annonce des crues pour le réseau routier, et ce à travers la Direction des Routes (DR).

Pour assurer une souplesse de fonctionnement, les Directions centrales sont représentées au niveau régional et provincial comme l'illustre l'organigramme ci-après.

Les services directement impliqués dans l'annonce des crues sont les DRETL et/ou les DPETL, du fait de leur proximité du terrain et de la disponibilité des moyens matériels de mesure et d'intervention. Ils sont également responsables de la coordination avec les autorités locales et de la mobilisation des autres intervenants.

Ces services bénéficient généralement d'un appui :

- technique de la part des ABH et de la DGH, pour ce qui est de l'analyse et du traitement des données ;
- logistique de la part de la DR et des DRETL et/ou DPETL limitrophes, pour ce qui est des engins de travaux publics, des moyens de communication et autres.

Leurs principales sources d'information sont : les données hydro-pluviométriques mesurées sur le terrain, les données de l'ABH, de la DMN, de la DR et de la DGH, et éventuellement les informations issues des autorités locales ou d'autres organismes tels que ORMVA – ONEE.

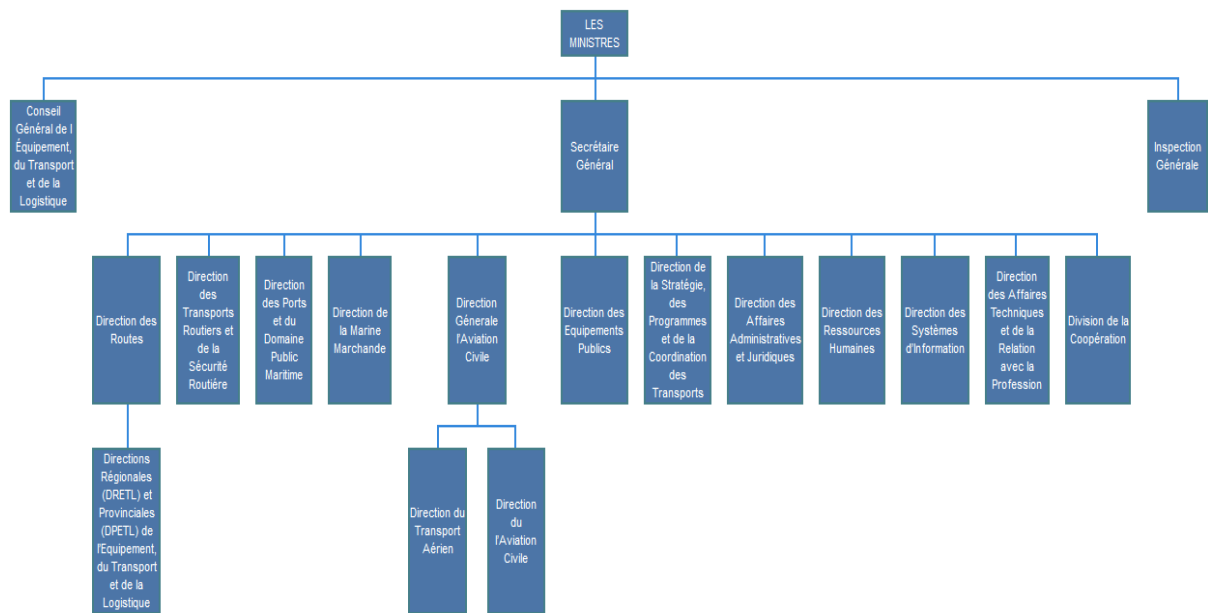


Figure 141 : Organigramme du METL

#### 8.2.3.2.2. Le Ministère de l'Énergie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement (MEMEE)

Pour mener à bien ses missions, ce ministère comprend plusieurs entités dont notamment :

- Trois Directions Centrales constituant la Direction Générale de l'Hydraulique :
  - La Direction des Affaires Administratives et Financières ;
  - La Direction des Aménagements Hydrauliques ;
  - La Direction de la Recherche et de la Planification de l'Eau.
- Une Direction ayant le statut d'un Service géré de manière autonome (SEGMA) : La Direction de la Météorologie Nationale avec quatre directions régionales déconcentrées représentant le secteur de la météorologie dans les zones :
  - Nord ;
  - Centre ;
  - Sud ;
  - Oriental.
- Des établissements publics territoriaux dotés de la personnalité morale et de l'autonomie financière : une agence au niveau de chaque bassin hydraulique (ABH) :
  - Sebou ;
  - Oum Er Rbia ;
  - Tensift ;
  - Loukkos ;
  - Souss Massa Draa ;
  - Moulouya ;
  - Bouregreg et de la Chaouia ;



- Guir-Ziz-Rhéris ;
  - Sakia El Hamra - Oued Eddahab.
- Des entités territoriales : services de l'Eau chargés, au niveau de chaque province, de représenter le Ministère en étroite collaboration avec les agences de bassins hydrauliques.

#### **AGENCES DE BASSINS HYDRAULIQUES – DIRECTION GENERALE DE L'HYDRAULIQUE :**

Ces 2 entités disposent d'un réseau d'annonce des crues composé de 175 postes radio émetteur – récepteur répartis comme suit :

- Un poste principal situé au siège de la Direction Générale de l'Hydraulique : ce poste est chargé de la collecte de l'information auprès des postes directeurs, de son traitement, de son interprétation et de la formulation des consignes de gestion des retenues des barrages et de l'évaluation des risques d'inondations à l'aval des postes d'annonce de crues ;
- 9 postes directeurs au niveau des Agences de bassins ;
- 165 postes primaires situés dans des stations hydrologiques, des barrages ou simplement des postes pluviométriques. Les données transmises sont le niveau d'eau dans l'oued, la pluie, la nébulosité, la pression atmosphérique et la situation des barrages.

Le fonctionnement du réseau d'annonce de crues est basé sur les prévisions météorologiques de la Direction de la Météorologie Nationale (DMN) et sur l'évolution de la situation hydro-pluviométrique régnant sur les bassins versants.

Des vacations radio sont fixées par la Direction Générale de l'Hydraulique et les ABH pour suivre ces situations.

Il est à noter que ce réseau a fait l'objet d'études en vue de permettre son extension de manière à couvrir les zones à forts risques d'inondations, avec une automatisation en partie de la mesure en vue de disposer des données à temps réel.

#### **LA DIRECTION DE LA METEOROLOGIE NATIONALE**

La DMN, via le Centre National des Prévisions (CNP), est responsable de la synthèse des données de base et de l'élaboration des prévisions générales ainsi que des bulletins et cartes météorologiques.

Les données de base sont issues de trois sources :

- Les images d'observations satellites (METEOSAT) ;
- Les images de radars ;
- Le réseau national de stations climatologiques.

La DMN dispose de cinq radars météorologiques installés près de Larache, Fès, Casablanca, Khouribga et Agadir, avec une portée de 200 km. Trois autres radars sont prévus près d'Oujda, Ouarzazate et Laâyoune, pour compléter la couverture.

La DMN dispose également d'un réseau d'une quarantaine de stations synoptiques couvrant le territoire national.

Les prévisions élaborées sont transmises à l'ensemble des représentations régionales de la DMN, ainsi qu'aux intervenants dans l'annonce des crues : METL (Cabinet du Ministre, DRETL/DPETL, DR), MEMEE (DGH, ABH), Protection civile, Gendarmerie Royale et Ministère de l'Agriculture (DPV).

Les prévisions du CNP sont établies pour trois échéances :

- Bulletins de prévision à moyenne échéance ;
- Bulletins de courte échéance ;
- Bulletins météorologiques spéciaux (BMS) établis pour annoncer certains phénomènes à caractère exceptionnel.

Trois situations de suivi sont alors possibles :

- Suivi renforcé de situation : Il se fait à une échéance de 2 à 3 jours, notamment pour ce qui est des précipitations frontales (hiver) ;
- Pré-alerte : Des messages de pré-alerte sont donnés lorsque les conditions sont favorables au développement et à l'approche de perturbations pouvant provoquer des précipitations de forte intensité. Ils sont transmis avant midi pour le cas de précipitations orageuses d'été, ou 12 à 24 heures avant le phénomène pour les fortes précipitations frontales ;
- Alerte : Ces messages indiquent que des précipitations de forte intensité sont imminentes. Ils sont transmis 20 minutes à 2 heures avant le phénomène pour le cas de précipitations orageuses d'été, ou 6 heures avant le phénomène pour les fortes précipitations frontales.

Des messages d'actualisation ou d'annulation de message sont également possibles, en fonction des situations.

Le schéma de diffusion des messages d'alerte et d'annulation d'alerte est donné dans la figure suivante :

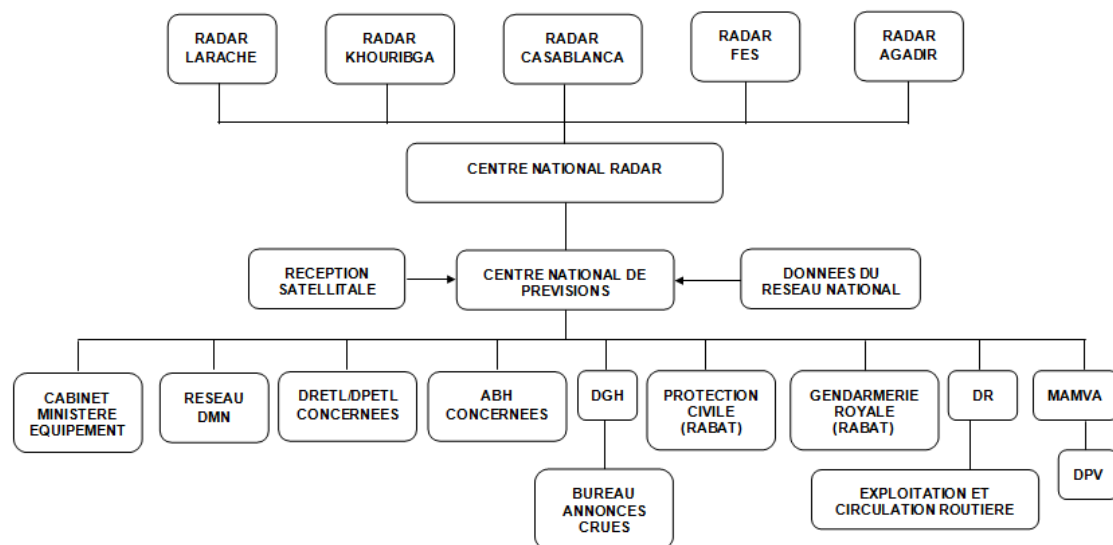


Figure 142 : Schéma de diffusion des messages d'alerte et d'annulation d'alerte

### LES AUTORITES PROVINCIALES

Le Gouverneur dispose d'une très large étendue d'autorité et de responsabilité dans sa province, dont la sécurité.

Il est particulièrement responsable, en cas d'inondation, d'alerter les administrations sous sa tutelle (Protection Civile, Gendarmerie Royale, autorités locales, collectivités locales, etc.) de l'imminence du danger, de veiller à l'évacuation de la population et des biens et de leur apporter les secours nécessaires.

L'intervention des autorités est cadrée par le Plan d'Organisation des Secours (ORSEC), dont les grandes lignes sont définies par la circulaire du 25 Janvier 1983 émanant du Ministère de l'Intérieur, qui a modifié et complété celle de 1966. La circulaire ne donne pas d'indications détaillées sur les mesures à prendre en cas d'urgence, mais définit les structures du système de gestion des catastrophes à l'échelle de la province.

Le plan ORSEC est établi au niveau de la province, sous la responsabilité du Gouverneur, il organise les activités de sauvetage et d'assistance dans une situation d'urgence causée par une catastrophe naturelle ou artificielle. Il prévoit l'usage effectif et efficace des moyens humains et matériels à la disposition des organisations gouvernementales et non gouvernementales, ainsi que des organismes privés.

Le plan dresse, entre autres, un inventaire des moyens humains (personnes responsables, tâches, adresses, ...) et matériels (de chantier, de transport, de communication, ...).

#### 8.2.3.3. ORGANISATION TECHNIQUE DU SYSTEME D'ANNONCE DES CRUES

Sur le plan technique, le système d'annonce des crues s'articule autour de quatre principales thématiques :

- Mesure des données hydro-pluviométriques ;
- Transmission des données hydro-pluviométriques ;
- Traitement et analyse des données ;
- Diffusion de l'information.

L'efficacité des systèmes d'annonce en place est tributaire de l'adéquation entre l'information recherchée, le choix et l'emplacement des équipements, ainsi que l'organisation du circuit de l'information.

##### 8.2.3.3.1. Données hydropluviométriques

Les mesures hydro-pluviométriques sont effectuées dans le but de détecter à l'avance les symptômes des crues.

Les mesures hydrologiques sont faites par 154 stations de jaugeage distribuées dans tout le Royaume.

##### MESURE DE LA PLUVIOMETRIE

Les précipitations sont mesurées dans la plupart des cas manuellement à l'aide de pluviomètres totalisateurs journaliers. Ce type d'équipement nécessite la présence continue d'un observateur sur place pour la lecture, la manipulation des cylindres et la transmission de l'information.

Certaines stations disposent d'un pluviomètre automatique qui peut stocker des valeurs mesurées continuellement sur des pluviogrammes. Les données instantanées des précipitations telles que les précipitations de 15 minutes extraites du pluviogramme, peuvent être utilisées pour l'analyse à posteriori des précipitations de courtes durées et également pour l'établissement de modèles d'écoulement notamment sur les petits bassins versants.

Il est à signaler que depuis 2007, les ABH ont entamé des travaux de modernisation et d'extension du réseau pluviométrique, avec notamment l'équipement des stations climatiques automatiques pour la mesure et la transmission des données en temps réel au siège des ABH.

### JAUGEAGE DES HAUTEURS D'EAU

En général, les stations hydrométriques sont classées en quatre types, en fonction des équipements de mesure en place :

- Station simplifiée équipée d'échelles limnimétriques ;
- Station simplifiée équipée d'un limnigraphe ;
- Station principale équipée d'une échelle limnimétrique et d'un téléphérique ou cyclo-potence ;
- Station principale équipée d'un limnigraphe, téléphérique ou cyclo-potence.

Deux principaux dispositifs sont utilisés pour le jaugeage de la hauteur d'eau dans les oueds ; il s'agit de la mesure via une batterie d'échelles limnimétriques et par un limnigraphe à flotteur. Le jaugeage des crues est réalisé sur certaines stations par un système de téléphérique.

Les éléments d'échelle sont disposés sur une section transversale du cours d'eau, depuis le fond jusqu'au sommet des berges. Il leur est rattaché une courbe de tarage réalisée à l'aide de jaugeages effectués à l'aide d'un téléphérique le plus souvent pour les débits de crue. Lorsque le lit est bien encaissé la précision peut être satisfaisante mais il faut être très critique vis-à-vis des résultats lorsque les crues débordent largement de la section de mesure.

Les stations équipées d'un limnigraphe à flotteur disposent d'une jauge installée dans un puits situé dans le lit de l'oued, en communication directe avec l'écoulement.

Il est à signaler que depuis 2007 les ABH ont commencé à équiper certaines stations de codeurs limnimétriques ou radars permettant la mesure instantanée des niveaux d'eau et leur transmission en temps réel au siège des ABH.

#### 8.2.3.3.2. Transmission des données

### EQUIPEMENT DE TRANSMISSION

L'équipement de télécommunication est un moyen important d'échange d'informations dans les situations d'urgence, comme c'est le cas pendant les crues. Certaines stations ne sont pas équipées de ce type d'équipement. Celles qui le sont, disposent d'un radiotéléphone VHF/FM et/ou d'un radiotéléphone HF/BLU.

Les moyens de communication sont parfois renforcés par le téléphone normal ou GSM pour la communication avec le siège de l'ABH ou de la DGH et par le talkie-walkie pour la communication entre opérateurs.

#### i) Réseau et équipements de communication HF/BLU

Pour la communication avec les ABH et les stations de mesure, la DGH dispose de quatre fréquences HF/BLU permettant de couvrir l'ensemble du Royaume. Les fréquences sont réparties entre les zones Nord et Sud et également entre les utilisations diurnes et nocturnes, de la manière suivante :

Canal	Fréquences (kHz)	Zone	Fonctionnement
F1	3625	Nord	Pendant le jour
F2	4504	Sud	Pendant le jour
F3	7342	Nord	Pendant la nuit
F4	5799	Sud	Pendant la nuit

Tableau 234 : Fréquences de transmission de données

La communication par radio HF/BLU est exposée aux interférences en raison de sa grande couverture.

#### ii) Réseau de communication VHF/FM

Les moyens de communication des ABH ont été renforcés depuis 2007, après les inondations des dernières années, par un réseau VHF/FM en interne. Celui-ci dispose d'une fonction d'appel sélectif qui permet le contact d'une seule station à la fois.

La couverture de l'équipement radio VHF/FM s'étend sur 40 km si aucun obstacle ne trouble la transmission. En présence de montagnes qui risquent de couper la transmission, des relais sont installés au niveau des points culminants.

Vu leur importance dans la chaîne de transmission de l'information, les relais doivent régulièrement faire l'objet de travaux appropriés de maintenance.

Notons que depuis 2007, plusieurs projets de mise en place de système d'annonce et de prévision des crues ont été lancés par les ABH afin d'équiper les stations de dispositifs de mesure automatiques et de transmission en temps réel des données vers les sièges des agences, via la procédé radio VHF qui s'est avéré être le plus pratique.

#### iii) Alimentation en électricité des équipements radio

L'alimentation en électricité des équipements radio se fait dans la plupart des cas par des panneaux solaires et des batteries. Dans certains cas, le recours à des groupes électrogènes est indispensable.

Les conditions naturelles particulièrement dures atténuent les performances des batteries et réduisent leur durée de vie. Des travaux d'entretiens fréquents sont requis pour assurer une alimentation stable.

#### iv) Maintenance de l'équipement

La maintenance préventive concerne les travaux périodiques de nettoyage des équipements et de recharge du papier d'enregistrement. Les observateurs ont reçu une formation leur permettant de réaliser les travaux de maintenance préventive eux-mêmes. La maintenance curative dépasse les compétences des observateurs, en particulier la réparation des équipements radio qui nécessite une connaissance technique plus avancée en électronique. En cas de panne d'un poste radio, il est remplacé par un autre de réserve déposé à l'ABH.

### LES OBSERVATEURS

Avant 2007, dans le système d'annonce de crues, l'observation et la transmission des données étaient principalement effectuées manuellement, ce qui rendait ce système largement dépendant des observateurs. Les observateurs dépendent techniquement de l'ABH qui leur donne les instructions à suivre pendant leur travail quotidien, alors que sur le plan administratif, ils dépendent de la DPETL.

Depuis 2007, les ABH ont entamé des études et des marchés cadres en vue de disposer d'équipements de mesure et de transmission en temps réel vers leur siège. Ces dispositifs mis en place viennent renforcer le système d'annonce des crues existant tout en permettant la mesure et la transmission plus rapides des données et leur prise en compte dans la prise de décision. Il permet également d'automatiser la mesure en soulageant la dépendance vis-à-vis de l'opérateur.

### OBSERVATION ET COMMUNICATION PENDANT LES CRUES

L'ABH est informée des symptômes de crues à partir de trois principales sources d'information : les messages de pré-alerte et d'alerte de la DMN, les rapports des stations de prévision des crues et les informations de la DPETL et de la DR.



Le système existant dépend pour une grande partie des stations, pour la détection précoce des crues, des données sur la pluviométrie et les hauteurs d'eau observées par les stations de prévisions des crues. Ces données sont transmises quatre fois par jour (à 7 H, 11 H, 15 H et 17 H) à l'ABH et à la DGH. Dès que les premiers signes de crue sont détectés, le processus de suivi est déclenché. L'observation et la transmission sont alors effectuées à des intervalles plus rapprochés (tous les  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$  ou 1 heure, en fonction de l'importance de la crue), et se poursuivent même pendant la nuit jusqu'au passage de la crue.

Notons que les équipements récents en dispositifs de mesure automatique et de transmission en temps réel ont pour objectif d'améliorer l'annonce et la prévision des crues via une réduction du temps de transmission des données de la télémétrie d'une part, et l'allègement de la dépendance vis-à-vis de l'opérateur des stations d'autre part.

#### 8.2.3.3.3. Traitement et analyse des données et prévision de crue

L'ABH est responsable de l'interprétation des données brutes sur les crues collectées des stations d'observation. Actuellement, l'intervention de l'ABH se limite à la conversion des hauteurs d'eau en débits, aux opérations de jaugeages et aux levés topographiques des profils en travers et en long.

La conversion des hauteurs d'eau en débit se fait par l'intermédiaire de tableaux préparés au préalable pour chaque batterie d'échelles en application de la formule de Manning, pour des profils en travers et profils en long donnés. Chaque fois que le profil au droit de la station change, un levé topographique est effectué et les tableaux sont actualisés.

Les débits ainsi calculés constituent la principale donnée extraite des mesures réalisées. L'établissement de l'hydrogramme n'est effectué qu'après le passage de la crue.

Quelques modèles de prévision des crues ont été développés, notamment au niveau du bassin de l'Ourika et du bassin de l'Ouergha. Ces tentatives se sont heurtées au manque de données hydro-pluviométriques réparties convenablement dans le temps et dans l'espace, ce qui n'a pas permis une application à des crues réelles.

Il est à signaler que les études lancées depuis 2007 par les ABH ont permis d'établir des seuils d'alerte pour certains bassins et ce en termes de hauteur d'eau, débit et/ou précipitations sur la base d'étude hydrauliques et hydrologiques spécifiques : à titre d'exemple des seuils ont été établis pour le cas des oueds causant des risques d'inondations pour la ville de Fès comme le montre le tableau suivant.

Niveau d'alerte	Indicateur	Seuil O. Boufekrane	Seuil O. El Mehrez	Seuil O. El Himer	Seuil O. Chkok
Veille	Pluie (mm/Tc)	<20	<10	<20	<20
	Débit (m <sup>3</sup> /s)	<8	<2	<8	<3
	Lame d'eau (m)	<0.5	<0.50	<0.45	<0.55
Pré-alerte	Pluie (mm/Tc)	20-40	10-20	20-30	20-30
	Débit (m <sup>3</sup> /s)	25-40	02-24	8-25	3-25
	Lame d'eau (m)	0.5-1.50	0.50-1.00	0.45-0.90	0.55-1.25
Alerte	Pluie (mm/Tc)	40-50	20-50	30-50	30-50
	Débit (m <sup>3</sup> /s)	40-62	24-155	25-65	25-115
	Lame d'eau (m)	1.50-2.50	1.00-2.00	0.90-1.25	1.25-2.25
Urgence	Pluie (mm/Tc)	>50	>50	>50	> 50
	Débit (m <sup>3</sup> /s)	>62	>155	>65	>115
	Lame d'eau (m)	>2.50	>2.00	> 1.25	>2.25

Tableau 235 : Seuils d'alerte pour les oueds affectant la ville de Fès

#### 8.2.3.3.4. Diffusion de l'information

La diffusion de l'information relative aux crues aux différentes administrations concernées par le système actuel d'annonce se fait par les voies de communication ordinaires, telles que le téléphone et le fax. Elle peut se faire également par voie radio et talkie-walkie pour les services de la DRETL et/ou DPETL.

Lorsque l'information d'alerte aux crues est diffusée, les différents services et administrations interviennent selon leurs propres attributions (alerte de la population, secours, organisation de la circulation, ... etc.).

De par son organisation particulièrement développée sur le terrain allant jusqu'à l'échelle du douar, le Ministère de l'Intérieur, via les autorités provinciales et locales, reste le plus impliqué et le plus efficace pour l'évacuation de la population et des biens.

#### 8.2.3.3.5. Conclusions et retour d'expérience sur le réseau d'annonce et de prévision de crue au Maroc

Le réseau d'annonce et de prévision de crue fait intervenir plusieurs acteurs dont le Ministère de l'Équipement, du Transport et de la Logistique, le Ministère de l'Énergie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, ainsi que le Ministère de l'Intérieur.

Depuis la catastrophe de l'Ourika en 1995 et celles qui se sont déroulées depuis cet événement, ces acteurs ont pris conscience de l'urgence de la mise en place de structures d'annonce de crues fiables et efficaces en vue d'éviter les pertes en vies humaines et les dégâts matériels.

En effet, pendant longtemps, les actions de protection ont été privilégiées mais l'expérience a permis de constater qu'elles ne résolvait pas toujours tous les problèmes. Elles entraînent en général des impacts environnementaux forts, sont coûteuses, aussi bien en investissement qu'en entretien, contribuent à donner un faux sentiment de sécurité qui conduit à aggraver la vulnérabilité dans les zones protégées, et ne peuvent que limiter le risque sans l'annuler : il est donc indispensable prévoir une gestion de ce risque résiduel et ce particulièrement par une bonne gestion de l'occupation du sol et à travers une prévision et une annonce des crues permettant la mise en sécurité des populations et des biens.

Un 1er réseau d'annonce de crue a été donc mis en place par la Direction Générale de l'Hydraulique, avant la création des agences de bassins hydrauliques, qui ont ensuite pris le relais, et ce afin de répondre à cette demande. Le réseau d'annonce et de prévision de crue demeure donc assez jeune, est reste tributaire de la nature et qualité du réseau de mesure existant. De ce fait, il souffre de quelques lacunes dont :

- l'état et l'accessibilité au réseau de mesure et des stations : échelles limnimétriques emportées par les crues, pénibilité d'accès de l'opérateur aux stations en temps de crue ;
- erreurs et difficulté de transmission des alertes : matériels et équipements à revoir, données transmises erronées ;
- problèmes de couvertures du réseau et nécessité de le moderniser ;
- manque de données pour la prévision des crues...

Il est à noter toutefois que les ABH ont pris conscience de ces lacunes et qu'un effort de modernisation et d'automatisation des stations de mesure est en cours de réalisation afin de corriger ces imperfections.

De même, outre l'aspect technique, des améliorations relatives aux aspects réglementaires et organisationnels sont en cours d'élaboration afin d'améliorer le système existant.

#### 8.2.3.4. EXPLOITATION POUR LES 4 TRONÇONS ROUTIERS ETUDIÉS

Les 4 tronçons routiers sélectionnés par le Direction des Routes pour la présente étude sont :

- DPETL de Chefchaouen : Route Nationale 2 entre Chefchaouen et Issaguen sur 95 km (PK 116 à 211) ;
- DPETL de Midelt : Route Régionale 706 entre Rich et Imilchil sur 120 km (PK 0 à 120) ;
- DPETL Taroudant : Route Régionale 106 entre Ighrem et Assaki sur 45 km (PK 75 à 120) ;
- DRETL Taza : Route Régionale 508 entre Saka et Outabouabane sur 157 km (PK 15 à 172).

De par son implication dans des études hydrologiques, l'Ingénierie a eu l'occasion d'analyser le système de télémesure dans les différentes unités hydrologiques du royaume du Maroc. Cette expertise a été notamment acquise dans le cadre l'étude d'élaboration d'un Schéma Directeur de mise en place d'un système de télémesure au niveau national, menée au profit de la Direction de la Recherche et de la Planification et l'Eau.

L'ingénierie présente ci-après l'état des réseaux de télémesure à proximité des tronçons étudiés et les opportunités de les exploiter par les DPETL et DRETL.

##### 8.2.3.4.1. TRONÇON DE LA RN 2 ENTRE CHEFCHAOUEN ET ISSAGUEN

#### **SPECIFICITES HYDROLOGIQUES**

La RN 2 relie les villes de Tanger à Al Hoceima, en passant par Tétouan, Chefchaouen, Bab Berred, Issaguen et Targuist.

Entre Chefchaouen et Issaguen elle traverse un relief accidenté à montagneux, avec des altitudes variant entre 650 et 1000 mNGM entre les PK 122 et 160, et entre 1000 et 1600 mNGM entre les PK 160 et 211.

Il s'agit d'un tronçon sis à la frontière entre deux unités hydrologiques :

- Bassin Côtier Méditerranéen au Nord : cette unité fait partie, avec les bassins Tangérois au Nord-Ouest, Loukkos au Sud Est et le Nekkour à l'Est, de la zone d'action du bassin hydraulique du Loukkos. La limite entre les 2 sous-bassins se situe aux alentours de Bab Berred ;
- Bassin du Sebou au Sud.

Les bassins versants interceptant la RN 2 correspondent généralement :

- à des bassins versants « localisés » (< 0.1 km<sup>2</sup>) pour les déblais : exemple du PK 197+500 ;
- à de très petits bassins (de 0.1 à 1 km<sup>2</sup>) : exemple du PK 164+360 ;
- à des petits bassins (de 1 à 20 km<sup>2</sup>) : exemple du PK 138+900.

Les pentes sont assez élevées, et varient entre 19 et 48 % pour les bassins de moins de 1 km<sup>2</sup>, et entre 11 et 24 % pour les bassins de 1 à 20 km<sup>2</sup>. Ce qui se traduit par des temps de concentration de moins d'une heure (entre 5 et 45 minutes) comme le montre le tableau suivant :

PK	S <sub>BV</sub> (km <sup>2</sup> )	Pente (%)	tc (min)
<b>RN 2</b>			
122+800	10.92	17.4%	28.7
124+000	1.00	11.6%	17.4
128+800	-	-	-
132+800	1.98	14.6%	15.6
133+600	-	-	-
133+800 – 134+500	-	-	-
136+900	-	-	-
138+900	7.00	23.3%	20.5
142+200 – 143+900	-	-	-
143+500	19.40	14.8%	44.9
144+900 – 145+300	0.93	27.5%	7.4
148+700	0.19	35.8%	5.0
152+000	-	-	-
156+200	-	-	-
161- 162	0.09	27.2%	5.0
164+360	0.23	47.8%	5.0
197+500	-	-	-
209+483	0.37	19.2%	9.5

Tableau 236 : Temps de concentration des bassins versants des points névralgiques de la RN2

**RESEAU EXISTANT**

La carte présentée ci-dessous illustre le réseau de télémessure existant.

Ainsi de par son emplacement géographique, on remarque qu'il n'y a qu'un poste pluviométrique à Bab Taza équipé d'une radio VHF. Ce poste fait partie du système du Loukkos pour permettre une gestion optimale du barrage Makhazine sur l'oued Loukkos.

Un autre système se trouve au niveau de la ville de Tétouan, et sert à la prévision des crues de l'oued Martil via des stations, postes, barrages et relais.

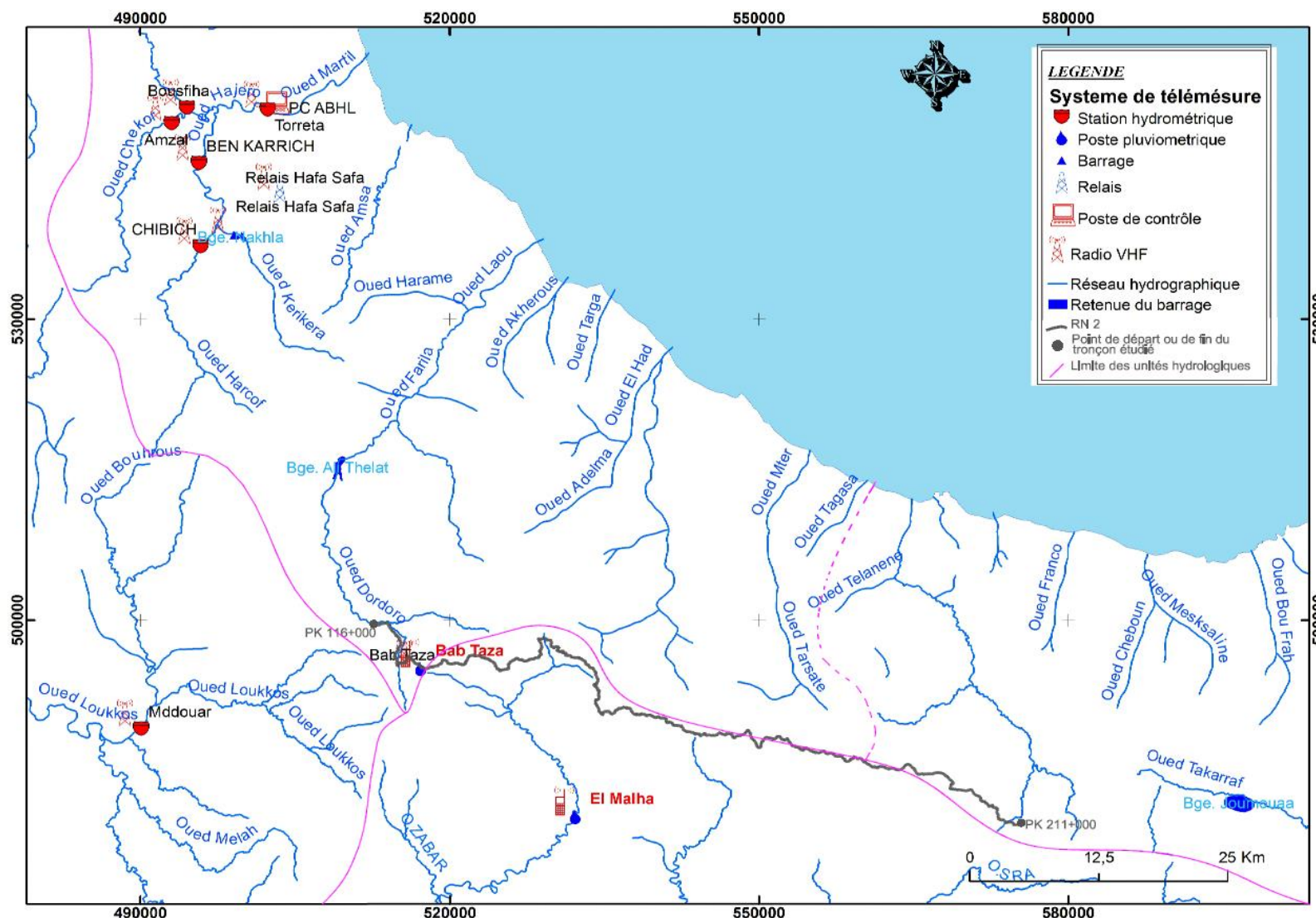


Figure 143 : Réseau de télémésure existant au droit de la RN2 entre Chefchaouen et Issaguen

#### OPPORTUNITES DE COLLABORATION AVEC LES ABH ET LA DMN

La nature des bassins interceptés par la RN 2 ne permet pas une bonne anticipation des phénomènes de crue, toutefois il serait intéressant d'élaborer des seuils d'alerte liés à la pluie du poste de Bab Taza, géré par l'Agence du Bassin Hydraulique du Loukkos.

La proximité de ce poste par rapport à la DPETL de Chefchaouen, est un atout supplémentaire pour que cette direction puisse profiter des données enregistrées au niveau de ce poste.

Pour ce faire, un rapprochement avec l'ABHL serait souhaitable pour mettre en place un partenariat ou une convention pour que la DPETL puisse profiter de ces données.

Une collaboration avec la DMN est également à envisager afin de définir des besoins particuliers et ciblés de la DPETL : en effet actuellement les bulletins de Météo Nationale couvrent des régions vastes alors que le besoin pour la RN 2 ne concerne qu'une zone géographique localisée. Il serait donc intéressant pour la DPETL de disposer de prévisions météorologiques entre Chefchaouen et Issaguen, afin de pouvoir mieux anticiper les événements de crue à venir et les coupures de la route qui en résulteraient.

#### 8.2.3.4.2. TRONÇON DE LA RR 508 ENTRE OUTABOUABANE ET SAKKA

##### SPECIFICITES HYDROLOGIQUES

La RR 508 a été construite en 1970, elle relie les régions de Taounate à celle de Guercif, en passant par celle de Taza.

Entre Outabouabane et Sakka elle traverse un relief accidenté à montagneux, avec des altitudes variant entre 420 et 800 mNGM. Ce tronçon chevauche 2 unités hydrologiques dont la frontière se trouve entre les Oueds Larbaa et Msoun :

- Le bassin du Sebou à l'Ouest ;
- Le bassin de la Moulouya vers l'Est appelé encore Maroc Oriental.

Les bassins interceptés par cette route correspondent généralement :

- à des bassins versants « localisés » (< 0.1 km<sup>2</sup>) pour les déblais : exemple du PK 37+800 ;
- à de très petits bassins (de 0.1 à 1 km<sup>2</sup>) : exemple du PK 50+600 ;
- à des petits bassins (de 1 à 20 km<sup>2</sup>) : exemple du PK 36+700 ;
- à des moyens bassins versants (de 20 à 100 km<sup>2</sup>) : exemple du PK 44+500 ;
- et à de grands bassins versants de plus de 100 km<sup>2</sup> : exemple de l'oued Lahdar au PK 77+800 (218 km<sup>2</sup>).

En termes de pentes, elles varient :

- Bassins de moins de 1 km<sup>2</sup> : entre 12 et 55 % ;
- Bassins entre 1 et 20 km<sup>2</sup> : autour de 14 % ;
- Bassins entre 20 et 100 km<sup>2</sup> : autour de 6 % ;
- Bassins de plus de 100 km<sup>2</sup> : inférieures à 5 %.

Ces pentes se traduisent par des temps de concentration faibles à très faibles pour les bassins dont la taille ne dépasse pas les 20 km<sup>2</sup> (< 60 minutes).



Pour les bassins de grandes tailles, notamment ceux relatifs aux franchissements des oueds Lahdar, Msoun et son affluent Boulswab, ou longés par la RR508, ce temps varie entre 150 et 420 minutes.

PK	S <sub>BV</sub> (km <sup>2</sup> )	Pente (%)	tc (min)
<b>RR 508</b>			
21+557	-	-	-
36+700	1.73	13.9%	20.0
37+800	0.06	51.0%	5.0
39+800	-	-	-
44+500	53.45	6.2%	75.8
50+600	0.17	41.1%	5.0
53+500	-	-	-
55+400	-	-	-
56+700	0.04	30.5%	5.0
71+800	-	-	-
Oued limitrophe	261.78	2.5%	290.4
72+100	0.12	24.8%	7.6
Oued limitrophe	259.78	2.5%	283.9
72+300	0.11	27.6%	5.7
Oued limitrophe	259.52	2.5%	282.8
77+273	-	-	-
Oued limitrophe	218.06	2.8%	244.3
77+800	215.94	2.9%	240.9
79+400	-	-	-
Oued limitrophe	212.49	3.0%	226.4
80+500	0.08	44.0%	5.0
Oued limitrophe	209.58	3.1%	213.2
84+000	-	-	-
Oued limitrophe	197.49	3.5%	186.4
88+000	144.19	4.1%	153.7
96+600	0.17	18.5%	5.0
104+800	-	-	-
117+882	0.63	23.9%	9.2
Oued limitrophe	283.83	1.6%	324.9
126+089	0.39	12.1%	9.3
131+362	492.80	1.5%	419.0
137+630	249.82	1.8%	287.5
158+150	125.15	2.5%	168.9

Tableau 237 : Temps de concentration des bassins versants de la RR508

#### RESEAU EXISTANT

La carte présentée ci-dessous illustre le réseau de télémétrie existant.

Ainsi de par son emplacement géographique, on remarque qu'il n'y a pas de réseau à proximité immédiate de la RR 508.

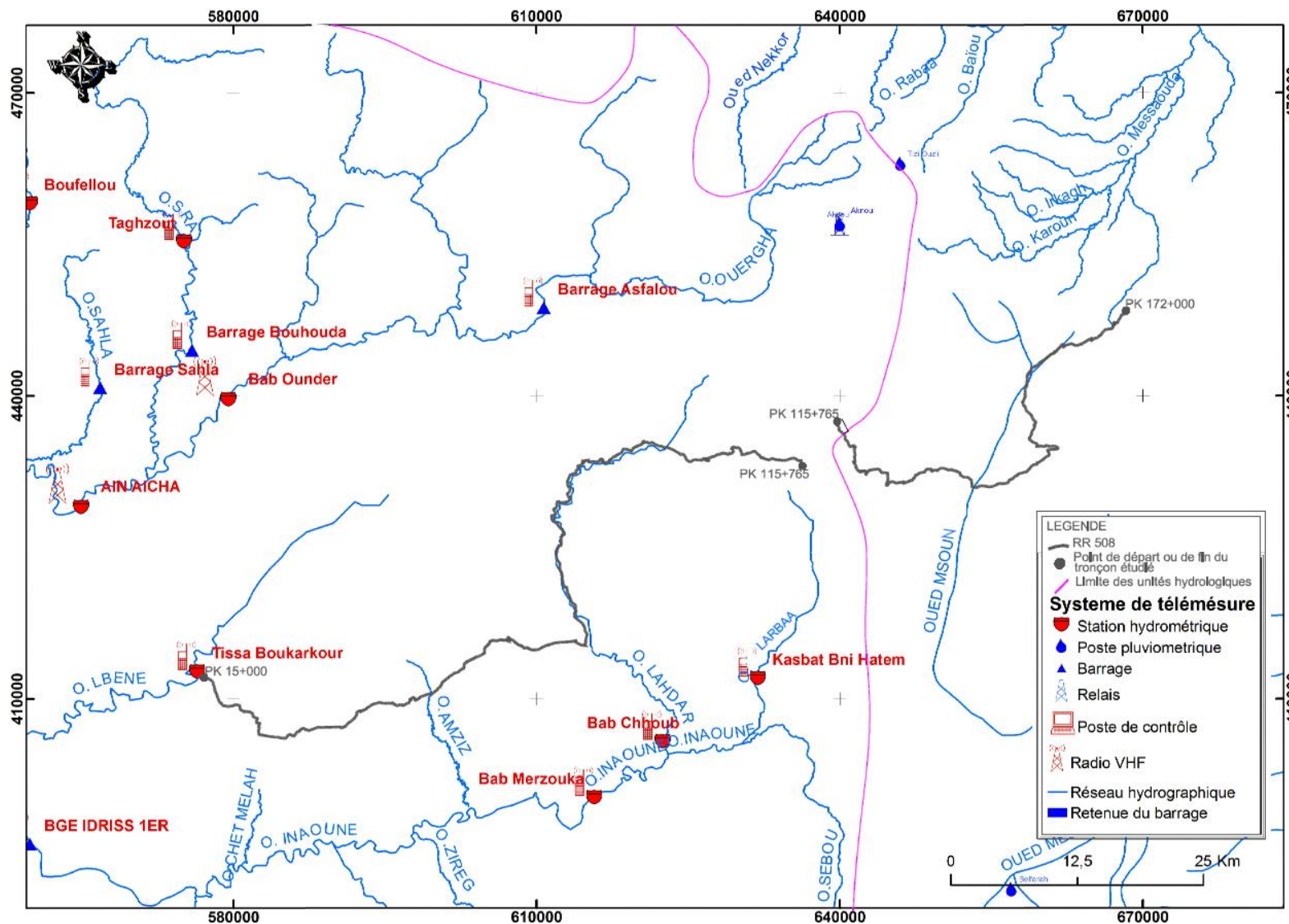


Figure 144 : Réseau de télémétrie existant aux alentours de la RR508 entre Outabouabane et Sakka

On distingue toutefois 2 systèmes :

- l'un au Nord, dit système de l'Ouergha, permettant de suivre les apports sur la rive droite du Sebou en amont du barrage Al Wahda ;

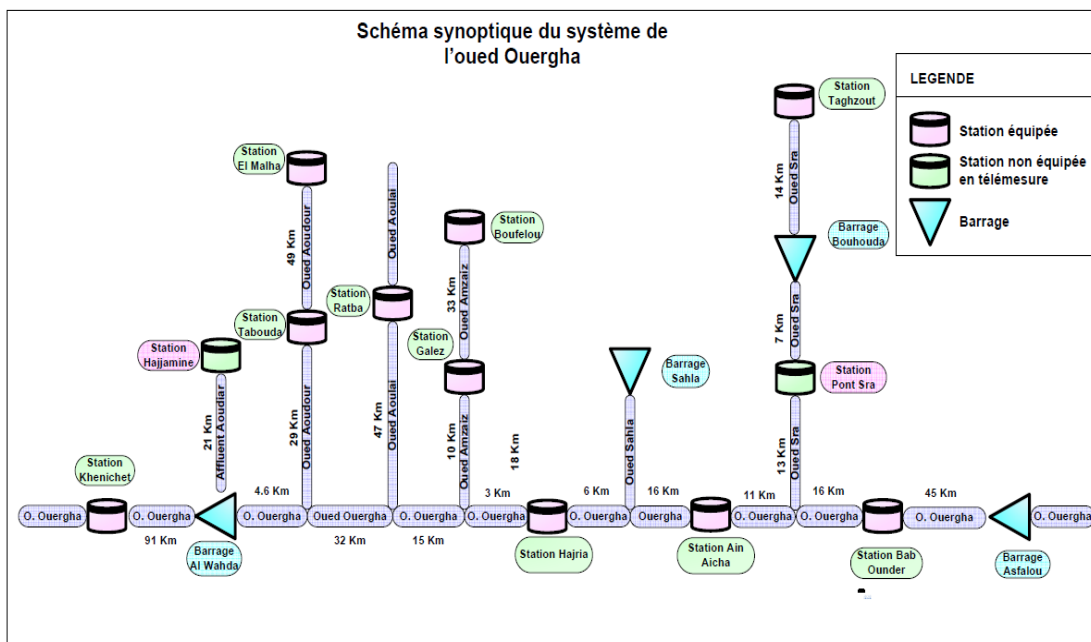


Figure 145 : Architecture du système de l'oued Ouergha

- l'un au Sud, dit système de l'Inaouène, en amont du barrage Idriss 1er :

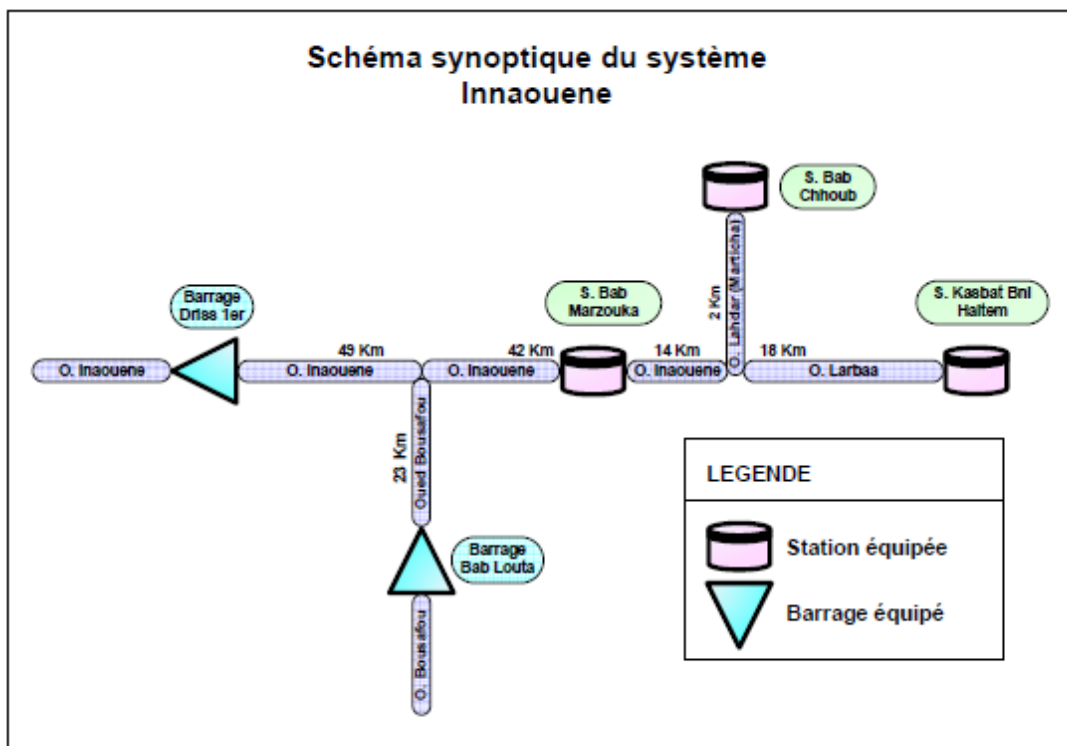


Figure 146 : Architecture du système Innaouène

L'objectif étant de permettre une gestion optimale de ces 2 barrages, notamment lors de crues vu les risques de débordement des eaux sur les rives de l'oued et d'inondation de la plaine du Gharb.

#### **OPPORTUNITES DE COLLABORATION AVEC LES ABH ET LA DMN**

Pour la RR 508, les données actuelles du réseau du bassin du Sebou restent difficilement exploitables :

- Les stations du réseau de l'Inaouène, notamment Tissa Boukarkour qui est proche du PK 15+000, ne sont munies que de GSM. De plus celles sur l'oued Lahdar et Larbaa sont situées en zone de moindre altitude que celle des bassins interceptant la route ;
- malgré la présence de la station Bab Ouender au Nord du tracé de la RR508, les données ne sont pas actuellement transmises vers le bassin de l'Inaouène mais vers un relais situé à quelques kilomètres au Nord du poste de contrôle au siège de l'Agence du Bassin Hydraulique du Sebou à Fès.

Il serait toutefois intéressant d'analyser la possibilité que les données de la station Bab Ouender et/ou du barrage Asfalou soient transmises vers la DRETL de Taza afin que cette direction puisse les exploiter pour anticiper notamment les crues sur l'oued Lahdar et ses affluents vu les temps de concentration rencontrés (supérieurs à 2.5 heures).

Ceci nécessiterait un rapprochement avec l'ABHS à Fès pour élaborer une convention ou un partenariat. Cette collaboration pourrait se traduire éventuellement par :

- le rajout de relais permettant de transmettre les données des stations d'intérêt du système de l'Ouergha vers Taza ;
- et/ou par le rajout à la charge de la DRETL de nouveaux postes d'altitudes ;
- ou prise en charge du suivi de certains postes d'altitudes tels que Kef El Ghar par exemple et son équipement en matériel de télémessure (modernisation du poste + radio de transmission).

Pour la partie de la RR 508 sise dans le bassin de la Moulouya (entre PK 118 environ et PK 172), on note l'absence de réseau de télémessure à l'heure actuelle.

Un rapprochement avec l'ABHM à Oujda serait envisageable, notamment pour exploiter les postes Sakka et Mezguiten et pouvoir anticiper, si possible, les crues des oueds Msoun et Boulswab vu les temps de concentration rencontrés (supérieurs à 2.5 heures) et que leur franchissement se fait actuellement par des radiers submersibles.

Une collaboration avec la DMN est également à envisager afin de définir des besoins particuliers et ciblés de la DRETL : en effet actuellement les bulletins de Météo Nationale couvrent des régions vastes alors que le besoin pour la RR 508 ne concerne qu'une zone géographique localisée. Il serait donc intéressant pour la DRETL de disposer de prévisions météorologiques entre Outabouabane et Sakka, afin de pouvoir mieux anticiper les événements de crue à venir et les coupures de la route qui en résulteraient.

#### 8.2.3.4.3. TRONÇON DE LA RR 706 ENTRE IMILCHIL ET RICH

##### **SPECIFICITES HYDROLOGIQUES**

La RR 706 relie les villes de Rich et Imilchil, entre ces 2 villes elle traverse un relief accidenté à montagneux, avec des altitudes variant entre 1300 et 2300 mNGM.

Le tracé routier de cette voie traverse 2 unités hydrologiques :

- Entre Imilchil et Bouzmou: il s'agit du bassin versant de l'oued Oum Er Rbia ;

- Entre Bouzmou et Rich : il s'agit de l'unité hydrologique de l'oued Ziz.

Les bassins franchis par cette route correspondent généralement :

- à de très petits bassins (de 0.1 à 1 km<sup>2</sup>) : exemple du PK 49+500 ;
- à des petits bassins (de 1 à 20 km<sup>2</sup>) : exemple du PK 50+300 ;
- et à de grands bassins versants de plus de 100 km<sup>2</sup> : exemple de l'oued Ziz au PK 93+000 (1230 km<sup>2</sup>) et 116+750 (3123.6 km<sup>2</sup>).

En termes de pentes, les pentes varient :

- Bassins de moins de 1 km<sup>2</sup> : entre 20 et 55 % ;
- Bassins entre 1 et 20 km<sup>2</sup> : entre 6 et 55 % ;
- Bassins de plus de 100 km<sup>2</sup> : inférieures à 6 %.

Ces pentes se traduisent par des temps de concentration faibles à très faibles pour les bassins dont la taille ne dépasse pas les 20 km<sup>2</sup> (< 65 minutes). Pour les bassins du Ziz et de ses affluents, ces temps varient entre 260 et 930 minutes.

PK	S <sub>BV</sub> (km <sup>2</sup> )	Pente (%)	tc (min)
<b>RR 706</b>			
10+000	4.87	11.2%	28.9
17+700	-	-	-
37+400	4.28	22.0%	24.6
43+100	359.47	2.2%	338.2
47+700	376.84	2.1%	369.3
48+300	-	-	-
Oued limitrophe	379.98	2.1%	373.7
49+500	0.55	20.8%	9.7
50+300	3.72	10.0%	23.0
Oued limitrophe	392.62	2.0%	388.2
53+800	0.29	26.6%	6.5
Oued limitrophe	398.79	2.0%	415.6
60+000	0.24	53.1%	5.0
62+500	-	-	-
Oued limitrophe	445.77	1.8%	469.5
65+500	469.91	1.8%	494.1
70+000	3.58	6.3%	35.2
75+500	-	-	-
85+000	107.08	5.7%	105.4
93+000	1229.43	1.4%	715.2
94+700	184.24	3.4%	268.9
100+100	14.52	7.2%	61.7
108+200	13.60	13.4%	39.4
116+750	3123.60	1.2%	921.7

Tableau 238 : Temps de concentration des bassins versants de la RR706

*RESEAU EXISTANT*

La carte présentée ci-dessous illustre le réseau de télémessure existant.



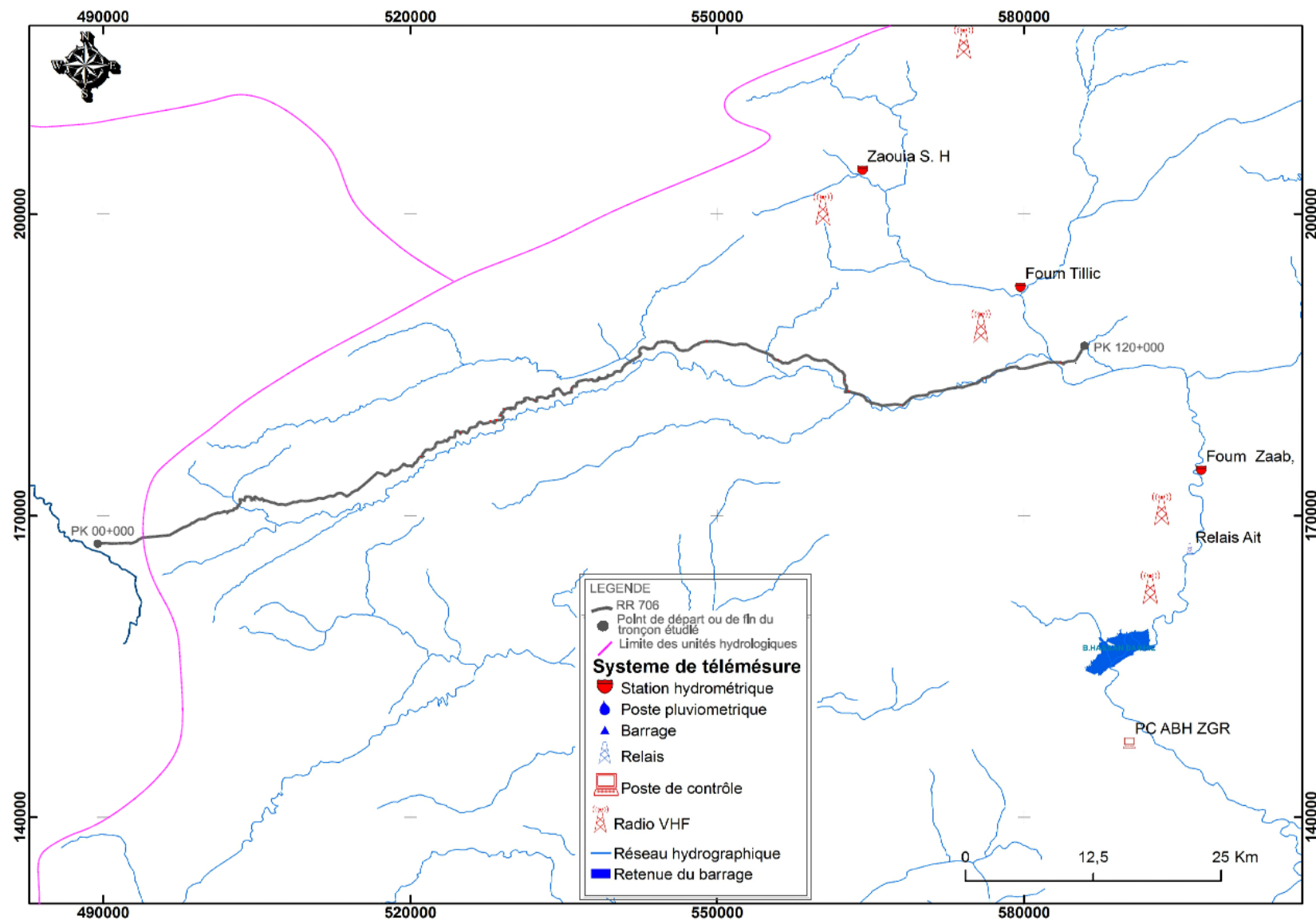


Figure 147 : Réseau de télémésure existant aux environs de la RR706 entre Rich et Imilchil

La carte met en évidence l'existence d'un système de télémétrie comprenant les stations Zaouia Sidi Hmida, Fom Zaabel et Fom Tillicht, toutes équipées de radio VHF, du barrage Hassan Eddakhil et d'un relais.

Ce système concerne le barrage Hassan Eddakhil et la vallée agricole et villes sises en aval de ce dernier, avec comme objectifs :

- L'amélioration de la gestion du barrage Hassan Addakhil qui a connu des événements exceptionnels ces dernières années. En effet, en octobre 2009, la retenue du barrage est arrivée à un niveau de remplissage de 100 % et a même déversé ;
- L'annonce des crues pour les zones en aval du barrage, à savoir des villes d'Errachidia, Rich et Rissani ainsi que de toute la vallée agricole.

#### **OPPORTUNITES DE COLLABORATION AVEC LES ABH ET LA DMN**

Le système actuel du bassin de Ziz permet d'anticiper les crues de l'oued Ziz pour le barrage Hassan Eddakhil, avec transmission des données vers le poste de contrôle situé à Errachidia.

Ainsi l'exploitation de ce tronçon est confrontée aux obstacles suivants :

- Actuellement c'est la DPETL de Midelt qui est chargé de la gestion du tronçon de la RR706 alors qu'auparavant c'était la DPETL d'Errachidia qui s'en chargeait ;
- Le réseau actuel permettrait d'anticiper les crues de l'oued Ziz au niveau du franchissement au PK 116+750 environ ;
- La section entre les PK 0 et PK 116+000 est dépourvue de système d'annonce ou de prévision de crue alors qu'il existe des enjeux d'inondation et/ou de dégradation de la RR 706 liés aux crues de l'affluent Ouest de l'oued Ziz, et de ses affluents : oueds Mzizel, Ait Yahya et Alloutif.

Malgré ces difficultés, il serait souhaitable que la DPETL de Midelt prenne contact avec l'ABH de Ziz, Rhéris et Guir afin d'examiner l'opportunité de :

- équiper les postes Amouguer et Mzizel, sis sur le bassin de l'affluent Ouest de l'oued Ziz, de dispositifs de télémétrie ;
- rajouter des relais pour transmettre les données depuis ces stations, et celles existantes dans le système actuel, vers Midelt ;
- dans le cas échéant la DPETL d'Errachidia pourrait disposer éventuellement des données de l'ABH et lancer l'alerte vers la DPETL par GSM.

Pour la partie de la RR 705 sise dans le bassin de l'Oum Er Rbia, entre le PK 0 et PK 4+500 environ, il n'y a pas actuellement de système de télémétrie. Il serait envisageable que la DPETL de Midelt prenne contact avec l'ABHOER à Béni Mellal pour examiner la possibilité de :

- équiper le poste Imilchil de dispositifs de télémétrie ;
- disposer des données de pluie à temps réel de ce poste ;
- prendre en charge la modernisation et/ou le suivi de ce poste par la DPETL...

Ces opportunités de collaboration devront faire l'objet de concertation entre les DPETL de Midelt, d'Errachidia, et des ABH situées à Errachidia ou Béni Mellal afin d'examiner la faisabilité de ces opérations, ainsi que leur cadre (convention).

Une collaboration avec la DMN est également à envisager afin de définir des besoins particuliers et ciblés de la DPETL : en effet actuellement les bulletins de Météo Nationale couvrent des régions vastes alors que le besoin pour la RR 706 ne concerne qu'une zone géographique localisée. Il serait donc

intéressant pour la DPETL de disposer de prévisions météorologiques entre Rich et Imilchil, afin de pouvoir mieux anticiper les évènements de crue à venir et les coupures de la route qui en résulteraient.

#### 8.2.3.4.4. TRONÇON DE LA RR 106 ENTRE IGHREM ET ASSAKI

##### SPECIFICITES HYDROLOGIQUES

La RR 106 relie les localités d'Ighrem et Assaki, entre ces 2 localités elle traverse un relief accidenté à montagneux avec des altitudes variant entre 1100 et 1700 mNGM.

Ce tronçon se situe à l'intérieur du bassin versant de l'oued Souss, il franchit des bassins versants correspondant généralement :

- A des petits bassins localisés (de moins de 0.1 km<sup>2</sup>) : exemple du PK 94+500 ;
- à de très petits bassins (de 0.1 à 1 km<sup>2</sup>) : exemple du PK 95+970 ;
- à des moyens bassins (de 20 à 100 km<sup>2</sup>) : exemple du PK 120+400 ;
- et à de grands bassins versants de plus de 100 km<sup>2</sup> : cas de l'oued Tiwaldine au PK 118+000 (145 km<sup>2</sup>).

En termes de pentes, les pentes varient :

- Bassins de moins de 1 km<sup>2</sup> : entre 11 et 57 % ;
- Bassins entre 20 et 100 km<sup>2</sup> : entre 3 et 6 % ;
- Bassins de plus de 100 km<sup>2</sup> : inférieures à 4 %.

Ces pentes se traduisent par des temps de concentration faibles à très faibles pour les bassins dont la taille ne dépasse pas les 20 km<sup>2</sup> (< 60 minutes), pour les bassins de l'oued Tiwaldine ces temps varient entre 65 et 200 minutes :

PK	S <sub>BV</sub> (km <sup>2</sup> )	Pente (%)	tc (min)
<b>RR 106</b>			
93+270	0.13	11.5%	5.6
94+500	0.06	56.5%	5.0
95+970	0.70	23.7%	8.9
96+970	0.10	33.1%	5.0
102+200	25.15	5.7%	65.1
106+400	0.15	54.1%	5.0
Oued limitrophe	59.94	4.3%	101.7
107+100	60.74	4.2%	106.5
109+600	64.88	3.8%	125.0
112+400	77.68	3.4%	148.5
114+000	83.75	3.3%	160.2
118+000	144.71	3.0%	190.3

Tableau 239 : Temps de concentration des bassins versants de la RR106

**RESEAU EXISTANT**

La carte présentée ci-dessous illustre le réseau de télémessure existant.

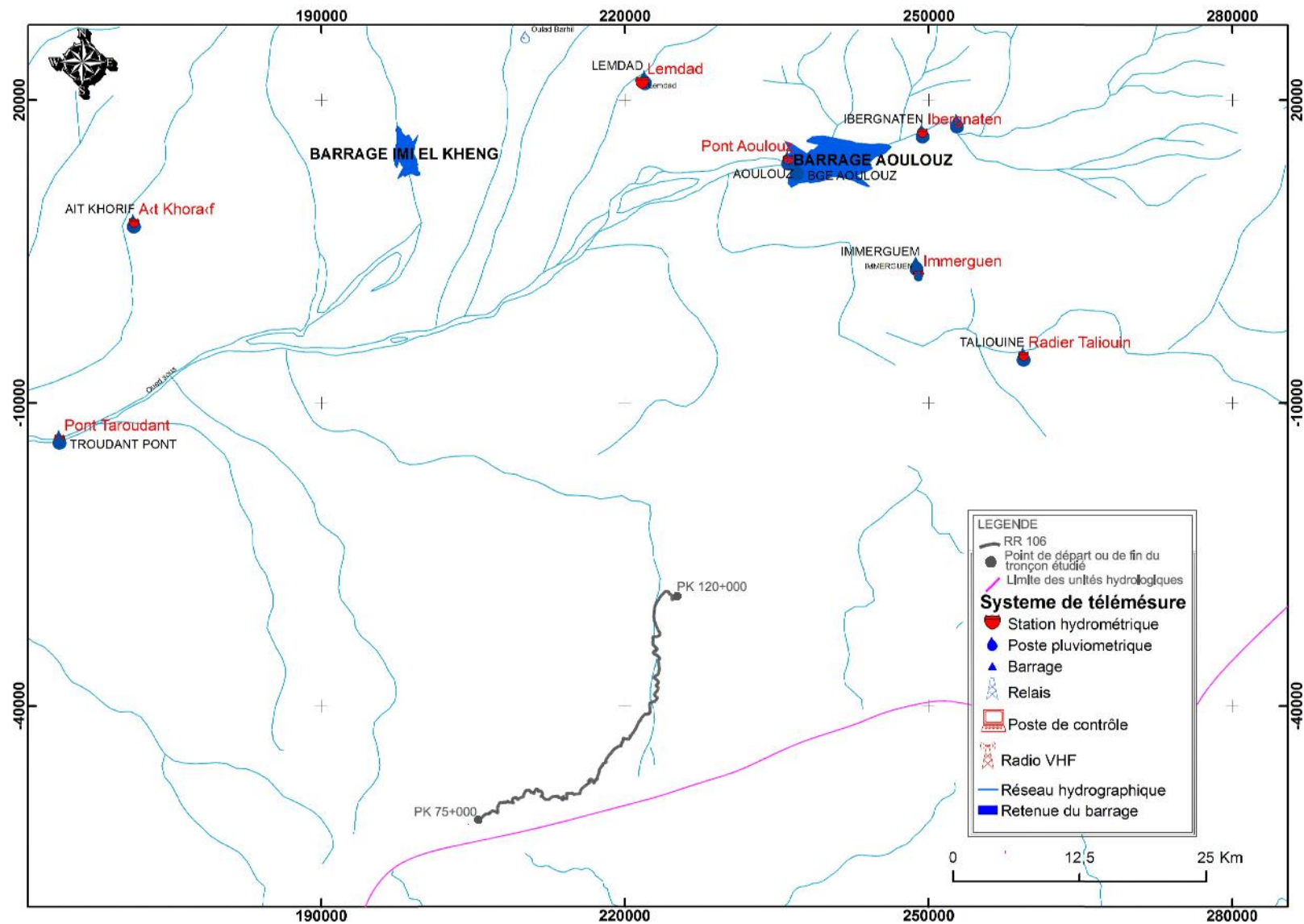


Figure 148 : Réseau de télémésure existant aux alentours de la RR106 entre Ighrem et Assaki

Ainsi de par son emplacement géographique, on remarque qu'il n'y a pas de réseau à proximité de la RR 106 : en effet les systèmes existants concernent l'oued Souss, et les affluents de la rive droite. Notons d'ailleurs que la rive gauche de l'oued Souss, dispose d'une très faible densité du réseau de mesure de pluie, et qu'aucun oued n'y est jaugé.

#### **OPPORTUNITES DE COLLABORATION AVEC LES ABH ET LA DMN**

L'absence de réseau de mesure, et d'enjeux dans cette partie du bassin de Souss, explique l'absence actuelle de système d'annonce ou de prévision des crues exploitable pour la RR 106.

Un rapprochement de la DPETL de Taroudant avec l'ABH de Souss Massa Draa, basée à Agadir, demeure souhaitable afin d'analyser l'opportunité de :

- prendre en charge le poste d'Ighrem existant par le DPETL ou en créer un nouveau à sa charge ;
- équiper ce poste de dispositif de télémesure (poste automatique + radio) ;
- implanter un relais pour la transmission des données vers Taroudant, puis vers le siège de l'ABH ;
- profiter du soutien et accompagnement technique de l'ABH pour la mise en place du système de télémesure projeté.

Ces opportunités de collaboration devront faire l'objet de concertation entre les DPETL de Taroudant et de l'ABH située à Agadir afin d'examiner la faisabilité de ces opérations, ainsi que leur cadre (convention).

Une collaboration avec la DMN est également à envisager afin de définir des besoins particuliers et ciblés de la DPETL : en effet actuellement les bulletins de Météo Nationale couvrent des régions vastes alors que le besoin pour la RR 106 ne concerne qu'une zone géographique localisée. Il serait donc intéressant pour la DPETL de disposer de prévisions météorologiques entre Rich et Ighrem et Assaki, afin de pouvoir mieux anticiper les événements de crue à venir et les coupures de la route qui en résulteraient.

#### **8.2.3.4.5. DISPOSITIF DE VIGILANCE POUR LES CRUES**

En complément à ces collaborations avec la DMN et les ABH, des dispositifs de vigilance pour les crues peuvent être envisagés pour les moyens et grands oueds qui sont rétablis par des ponts ou radiers submersibles (cas par exemple de l'oued Tiwaldine pour la RR106, les oueds Msoun et Boulswab pour la RR508, et les oueds Ziz et Mzizel pour la RR706).

L'information de vigilance pour les crues consiste, par analogie avec le dispositif de la vigilance météorologique, à qualifier le niveau de vigilance requis compte tenu des phénomènes de crue en cours et ce par une échelle de couleur à quatre niveaux : vert, jaune, orange et rouge, en allant du niveau de risque le plus faible au plus élevé.

Il s'agira de mettre en place, pour les franchissements à risque, des panneaux de signalisation avec 4 couleurs :

- Vert : Pas de crue constatée. Pas de vigilance particulière requise ;
- Jaune : Niveau des eaux ou de la crue n'entraînant pas de dommages significatifs, mais nécessitant une vigilance particulière dans le cadre d'activités saisonnières et/ou exposées ;
- Orange : Niveau de crue générateur de débordements importants sur la route susceptibles d'avoir un impact significatif sur la vie collective ou la sécurité des biens et des personnes ;



- Rouge : Niveau de crue exceptionnelle ou majeure, constituant une menace directe et généralisée de la sécurité des personnes et des biens.

Ces panneaux seront implantés à la fin des 2 zones d'about des radiers ou de part et d'autres des ponts, avec des indications en 3 langues : arabe, français et berbère.

Ainsi chaque couleur correspondra à un marquage sur les ouvrages de franchissement de manière à ce que les conducteurs puissent bien les distinguer et relever le niveau de crue observé afin de connaître le degré de risque encouru lors de leur passage. Ce marquage pourrait être également réalisé au niveau des plots de balisage des radiers submersibles, et précisé sur les panneaux de signalisation projetés de manière à relier le niveau de crue à la visibilité de ces plots.

Le niveau des crues sera défini en fonction de la nature des oueds franchis, des sections des oueds (larges ou encaissées) et des vitesses d'écoulements des oueds de manière à bien approcher le risque encouru.

## 8.3. L'ASSAINISSEMENT ROUTIER

### 8.3.1. Préambule

L'assainissement routier concerne les volets suivants :

- ❑ le rétablissement des écoulements superficiels extérieurs à la plate-forme routière ;
- ❑ la collecte et l'évacuation des eaux superficielles dans l'emprise de la route, dénommé par la suite « assainissement de la plate-forme routière » ;
- ❑ la collecte et l'évacuation des eaux internes, soit le drainage routier.

Ces 3 volets sont traités successivement dans la suite du chapitre au regard des problématiques rencontrés sur les 4 tronçons routiers.

Il est à noter que pour ce qui concerne le rétablissement des écoulements superficiels extérieurs à la route, le présent chapitre ne concerne que les ouvrages hydrauliques de traversée non considérés comme des ouvrages d'art, soit d'une ouverture < 3 m. Au-delà, les ouvrages de traversée sont considérés comme des ouvrages d'art et ils sont traités dans le chapitre 8.2.1 ci-avant (« Hydraulique fluviale – Cas de franchissement des oueds »).

### 8.3.2. Le rétablissement des écoulements superficiels extérieurs à la plate-forme routière

Ce chapitre concerne d'une part, les ouvrages existants de franchissement des Chaâba et d'autre part, les ouvrages hydrauliques de traversée assurant l'évacuation des eaux pluviales routières sous la route.

#### 8.3.2.1. Les problématiques rencontrées

Outre les problématiques d'entretien qui sont traités au chapitre 8.3.5 ci-après, les problématiques rencontrés sur les 4 tronçons routiers concernent la protection des remblais contigus ou non aux ouvrages hydrauliques de traversée : absence de dispositifs de protection contre les érosions et affouillements en entrée et sortie des ouvrages, ruines des ouvrages d'extrémité, absence de dispositifs de protection des talus de remblais en cas de surverse, .....

En effet, les visites de terrain ont montré que les fortes pluies ou inondations ont engendrées au droit des ouvrages hydrauliques de traversée les désordres suivants :

- ❑ des dégradations importantes des talus des remblais contigus ou non aux ouvrages hydrauliques de traversée ;
- ❑ la ruine de certaines extrémités d'ouvrages ;
- ❑ des phénomènes d'érosion et d'affouillements aux débouchés des ouvrages.

Les principales causes ayant déclenché ces phénomènes sont les fortes vitesses aux abords et dans les ouvrages, l'insuffisance des capacités hydrauliques des ouvrages (sous-dimensionnement) et les débordements sur la chaussée.



Figure 149 : Exemple d'un remblai partiellement emporté au droit d'un ouvrage hydraulique de traversée suite à la submersion de la route

### 8.3.2.2. Les préconisations pour la protection des remblais et des ouvrages hydrauliques

Les ouvrages hydrauliques existants n'ont pas toujours été conçus selon les règles de l'art : sous-dimensionnement et/ou absence de dispositifs de protection. Certains ouvrages existants présentent donc des risques lors d'événements pluvieux importants ou exceptionnels.

Il n'est pas question de remettre en cause tous les ouvrages existants, mais de vérifier dans un premier temps leur fonctionnement hydraulique et de définir dans un second temps les dispositions à prendre pour améliorer les conditions d'écoulement et/ou permettre le transit de débits supérieurs à ceux pris en compte lors de la conception des ouvrages.

#### 8.3.2.2.1. Vérification du fonctionnement hydraulique des ouvrages existants

La définition des dispositifs de protections des remblais et des ouvrages hydrauliques nécessitera des **études préalables** comprenant :

- ❑ Dans un premier temps, une définition des débits de crue ;
- ❑ Puis dans un second temps, un diagnostic portera sur les critères suivants :
  - capacité à pleine section de l'ouvrage existant ;
  - capacité en limite de submersion sur la chaussée ;
  - régime et vitesses d'écoulement en crue.

Ces éléments sont nécessaires pour la définition des travaux de réhabilitation quel que soit le scénario envisagé.

#### 8.3.2.2.2. Choix du scénario d'aménagement

---

Au vu des résultats de l'étape précédente, un choix sera effectué entre les scénarios suivants :

- ❑ Scénario n°1 : remplacement de l'ouvrage hydraulique de traversée existant par un ouvrage neuf ;
- ❑ Scénario n°2 : ouvrage existant conservé et aménagement au droit et aux abords de l'ouvrage existant ;
- ❑ Scénario n°3 : mise en place d'un nouvel ouvrage en parallèle de l'ouvrage existant ;
- ❑ Scénario n°4 : évacuation des eaux excédentaires latéralement à la route vers un ouvrage voisin présentant un fonctionnement hydraulique satisfaisant.

Le choix du scénario d'aménagement sera effectué au regard des risques encourus (période de retour d'insuffisance de l'ouvrage existant) et du montant des travaux.

#### 8.3.2.2.3. Recommandations pour la protection des remblais contigus à l'ouvrage (amont et aval)

---

Les recommandations qui suivent s'appliquent aux ouvrages neufs et aux ouvrages existants : voir schémas de principe en annexe.

L'aménagement consistera :

- ❑ à mettre en place un **dispositif de protection des remblais contigus à l'ouvrage** constitué soit par un ouvrage de tête, soit par un perré béton ou maçonné ou soit par une protection minérale en gabions ou enrochements. Les caractéristiques de la protection seront les suivantes :
  - largeur minimale de la protection = 2 x largeur de l'ouvrage de part et d'autre de celui-ci,
  - calage de la crête de la protection :
    - cas avec surverse sur la route lors de fortes crues (ouvrage sous-dimensionné sous un faible remblai) : Z crête protection = crête du remblai,
    - cas sans surverse sur la route lors de fortes crues (ouvrage sous haut remblai) : Z crête protection = PHE (plus hautes eaux calculées) + 50 cm.

Le dispositif sera équipé d'un parafeuilles à l'amont comme à l'aval constitué par l'ancrage dans le sol de l'ouvrage de tête, éventuellement complété par un radier protégeant le fond du lit. La profondeur du parafeuilles dépend de la vitesse de l'eau et de la sensibilité à l'affouillement du fond du lit ou du terrain naturel.

- ❑ à mettre en place, si nécessaire, un **ouvrage d'entonnement** ou à améliorer l'entonnement existant soit par la mise en place d'éléments béton préfabriqués, soit par la mise en œuvre de gabions.





Figure 150 : Exemple d'une protection en sortie d'ouvrage constitué d'enrochements liés au béton au débouché de la buse et d'un tapis d'enrochements libres.







Figure 151 : Exemples d'aménagement d'ouvrages de tête en gabions

En présence de fortes dénivelés entre l'extrémité de l'ouvrage et l'exutoire (fond du lit ou terrain naturel), il pourra être aménagé une **descente d'eau type cascade en béton ou en gabions** (ou matelas gabions). Ce type d'ouvrage a pour objet d'accompagner les écoulements entre l'extrémité aval de l'ouvrage et le l'exutoire en ralentissant les vitesses d'écoulement et en empêchant les phénomènes érosifs par dissipation d'énergie. Ce sont des ouvrages à forte pente ou en escalier, en forme de cunettes ou équipés de bajoyers. Ces ouvrages à parement minéral peuvent avoir de très grandes longueurs et des sections très variables en fonction des débits à faire transiter. Les gradins peuvent être protégés en partie supérieure en cas de forts transports solides.



Figure 152 : Exemples d'aménagement de descente d'eau type cascade en gabions au débouché d'ouvrages hydrauliques de traversée



Le tableau ci-dessous présente les critères de choix du type de descentes d'eau.

Nature de la descente d'eau	Type de descente d'eau	Critères de choix *	Matériaux
Descentes d'eau	"petit débit"	$Q < 30 \text{ l/s}$	- préfabriquées en béton comportant des éléments emboîtables "à écaille" - maçonnées avec béton et/ou enrochements liés avec du béton
	"grand débit"	$Q < 100 \text{ l/s}$	
Descentes d'eau lisses	"Toboggan"	Hauteur du talus $\leq 3 \text{ m}$ et $Q < 1 \text{ m}^3/\text{s}$	- éléments préfabriqués béton - béton armé coulé en place
Descentes d'eau en escaliers et créneaux	"Cascade"	Hauteur du talus $> 3 \text{ m}$ ou $Q > 1 \text{ m}^3/\text{s}$	- éléments préfabriqués béton - béton armé coulé en place

\* Q : débit de dimensionnement

Tableau 240 : Critères de choix des descentes d'eau

#### 8.3.2.2.4. Recommandations pour la protection du talus routier pour les cas de surverse sur la route

Au droit des zones de surverse sur la plate-forme routière (identifiées à la suite des études préalables et de l'examen du profil en long de la route), des dispositifs de protection du talus routier devront être mis en place au droit des zones de surverse au niveau des talus implantés côté aval.

Les solutions de protection des talus préconisées consistent à accompagner les écoulements des eaux surversées pendant les crues sur le talus routier et à dissiper l'énergie en pied de talus ; elles diffèrent selon la nature du matériau mis en place en fonction des vitesses d'écoulement, de la pente du talus routier et de la nature des matériaux de remblais :

- Mise en place de tapis anti-érosifs avec ou sans végétalisation : géofilets (ou géotextiles naturels) ou structures tridimensionnelles intégrant des fibres ou alvéolaires ;
- Mise en place de matelas gabions (matelas Reno). Les structures minérales peuvent être végétalisées par remplissage des vides de la structure minérale avec de la terre végétale.

Ces ouvrages de protection sont positionnés sur toute la hauteur du talus de remblai ; ils sont équipés d'un ancrage en crête de talus et d'une fosse de dissipation d'énergie en pied de talus.

### 8.3.3. Assainissement de la plate-forme routière

#### 8.3.3.1. Nature et rôle des réseaux d'assainissement routier

L'assainissement de la plate-forme routière vise deux objectifs :

- la sécurité des usagers en évacuant l'eau des chaussées et des talus ;
- la pérennité de l'infrastructure, en collectant les eaux et en les évacuant de la route.

Un réseau d'assainissement routier est constitué d'un assemblage d'ouvrages élémentaires, linéaires ou ponctuels, superficiels ou enterrés. Son rôle est de collecter les eaux superficielles ou internes (drainage) et de les canaliser vers un exutoire, point de rejet hors de l'emprise routière. Il peut également contribuer au rétablissement d'un écoulement extérieur de faible importance coupé par la route.

L'absence de réseau ou un réseau mal conçu induira :

- des désordres de surface : débordements des ouvrages, inondations de la route, ..... ;
- des désordres structurels importants de la chaussée sur le moyen terme.

#### 8.3.3.2. Typologie et fonction des réseaux de collecte longitudinaux

Pour les 4 tronçons routiers concernés, 4 types de réseau peuvent être distingués (voir synoptique d'implantation des réseaux en page suivante) :

- Les réseaux de crête de talus de déblai :

Son rôle est d'éviter l'érosion du talus de déblai. Ce réseau ne se justifie que si le terrain naturel constitue, par sa pente et son étendue, un bassin versant dont l'apport d'eau risque de provoquer l'érosion du talus. **Leur réalisation n'est donc pas systématique.**

- Les réseaux de pied de talus de déblai :

Son rôle est de collecter et d'évacuer les eaux issues de la chaussée (superficielles et internes), de l'accotement et du talus de déblai. **Leur réalisation est systématique.**

- Les réseaux de crête de talus de remblai :

Son rôle est d'éviter l'érosion du talus lorsque la chaussée est déversée vers l'extérieur de la plate-forme. Ce réseau a pour fonction de canaliser l'eau issue du ruissellement de la chaussée pour éviter son déversement en rive sur le talus de remblai. En effet, le risque d'érosion du talus de remblai augmente avec la hauteur et la pente du talus de remblai, mais il dépend aussi de la pluviosité et de la cohésion du sol, ainsi que de la présence ou non de végétation sur le talus. **Leur réalisation n'est donc pas systématique.**

- Les réseaux de pied de talus de remblai :

Ce type de réseau a deux fonctions :

- collecter et évacuer les ruissellements issus du bassin versant extérieur à la route, lorsque celui-ci est penté vers la plate-forme routière ;
- évacuer les eaux pluviales de la plate-forme routière jusqu'à un exutoire lorsque les débits sont trop importants pour être évacués de façon diffuse sans porter préjudice aux propriétaires riveraines situées en aval et/ou lorsque le réseau de pied de remblai récupère un réseau de crête de remblai ou une traversée d'assainissement.

**Leur réalisation n'est donc pas systématique.**

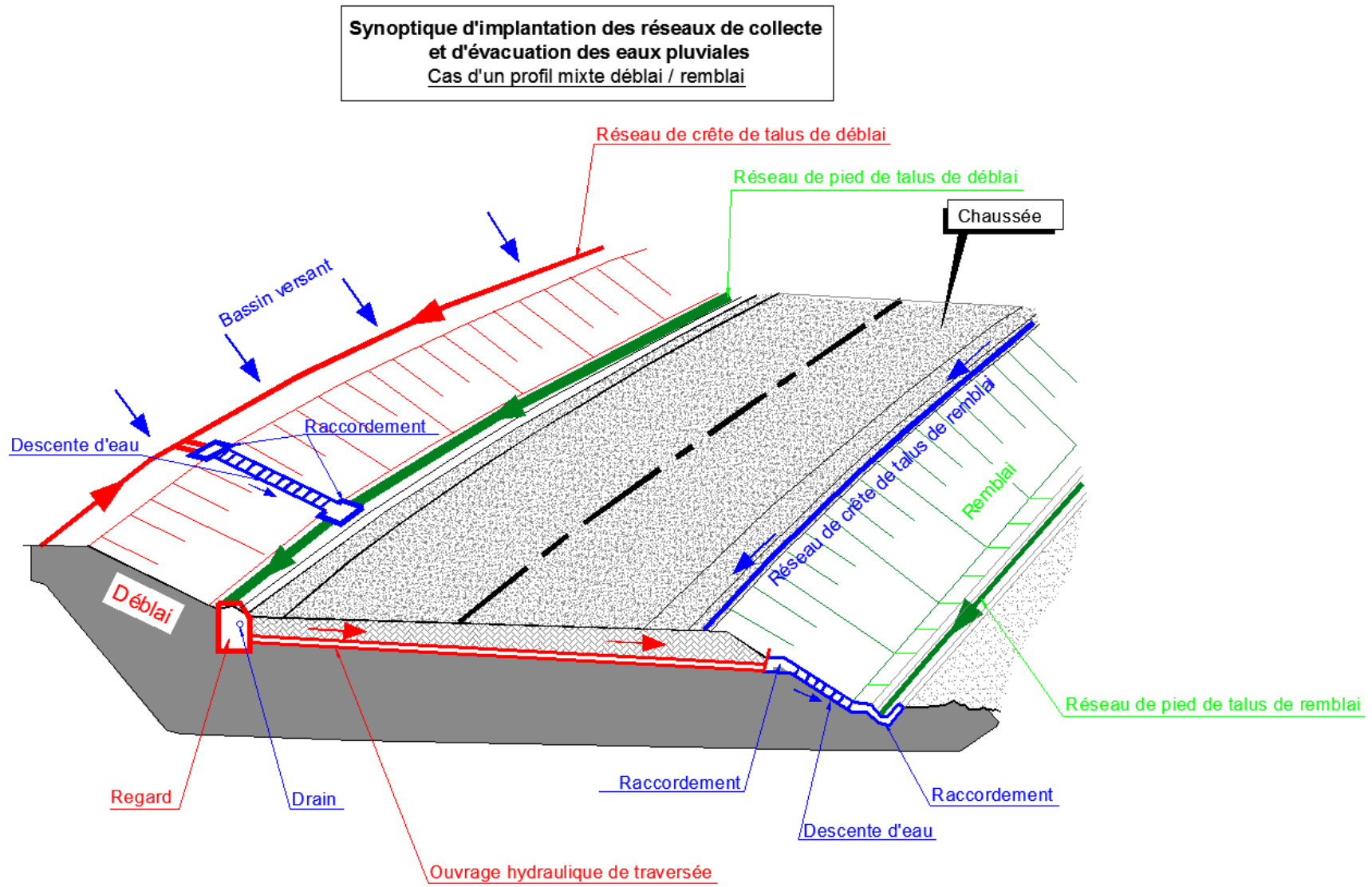


Figure 153 : Synoptique d'implantation des réseaux de collecte et d'évacuation des eaux pluviales – Cas d'un profil mixte déblai/remblai

### 8.3.3.3. Les recommandations

Les visites de terrain ont mis en évidence l'absence ou l'insuffisance des réseaux de collecte longitudinaux sur les 4 tronçons routiers. Dans cette partie, nous énumérons donc les règles à appliquer afin de supprimer les désordres constatés :

❑ **Mise en place de réseaux de crête de talus de déblai dans les cas suivants :**

- **s'il existe un bassin versant extérieur significatif dont le ruissellement est orienté vers le déblai,**
- **et s'il est nécessaire de protéger le talus de déblai du ruissellement :** à appréhender en fonction de la nature géologique des terrains et de l'aptitude de celui-ci à l'érosion.

Dans ce cas, le réseau de crête de déblai est constitué généralement d'un fossé implanté en retrait par rapport à la crête du talus (1 à 2 m). Ce fossé est revêtu partiellement ou totalement afin d'éviter les infiltrations dans le talus de déblai. Il doit être accessible pour l'entretien et être dimensionné en capacité suffisante.

❑ **Mise en place systématique de réseaux de pied de talus de déblai :**

Ce réseau est constitué généralement d'un fossé :

- enherbé ou revêtu (béton) en fonction des contraintes de pente, de capacité d'évacuation et des contraintes érosives du sol support,
- profond ou peu profond. Dans le cas où il est peu profond, il ne peut assurer le drainage de la plate-forme ; dans ce cas, il doit être doublé par un réseau de drainage (drain).

❑ **Mise en place de réseaux de crête de talus de remblai uniquement pour évacuer les eaux de la plate-forme en un point privilégié au droit de zones spécifiques sensibles aux arrivées d'eau :** murs de protection et/ou de confortement des talus de remblai, zones de remblai sensibles aux glissements, .....

Ce réseau est généralement constitué d'un bourrelet (en enrobé ou béton) implanté en limite de la zone imperméabilisée. Il est raccordé soit à des descentes d'eau posées sur le talus de remblai, soit à un exutoire. Ses dimensions doivent être définies de telle sorte que la saturation hydraulique de l'ouvrage ne provoque pas de submersion de la chaussée.

❑ **Mise en place de réseaux de pied de remblai dans les cas suivants :**

- **en présence d'un bassin versant extérieur significatif dont le ruissellement est orienté vers le talus de remblai,**
- **aux débouchés des réseaux de crête de talus de remblai,**
- **aux débouchés des ouvrages hydrauliques de traversée en l'absence d'exutoire,**
- **lorsque les ruissellements diffus sont susceptibles de porter préjudice aux fonds inférieurs (situés en aval) :** par exemple présence de lieux habités.

Ce réseau est constitué généralement d'un fossé enherbé ou revêtu (béton) en fonction des contraintes de pente, de capacité d'évacuation et des contraintes érosives du sol support.

### 8.3.4. Drainage routier

#### 8.3.4.1. Objectifs

Le drainage routier consiste à évacuer les eaux internes situées à l'intérieur de la structure de chaussée et de la plate-forme, ainsi que dans son environnement immédiat (voir figure ci-dessous).

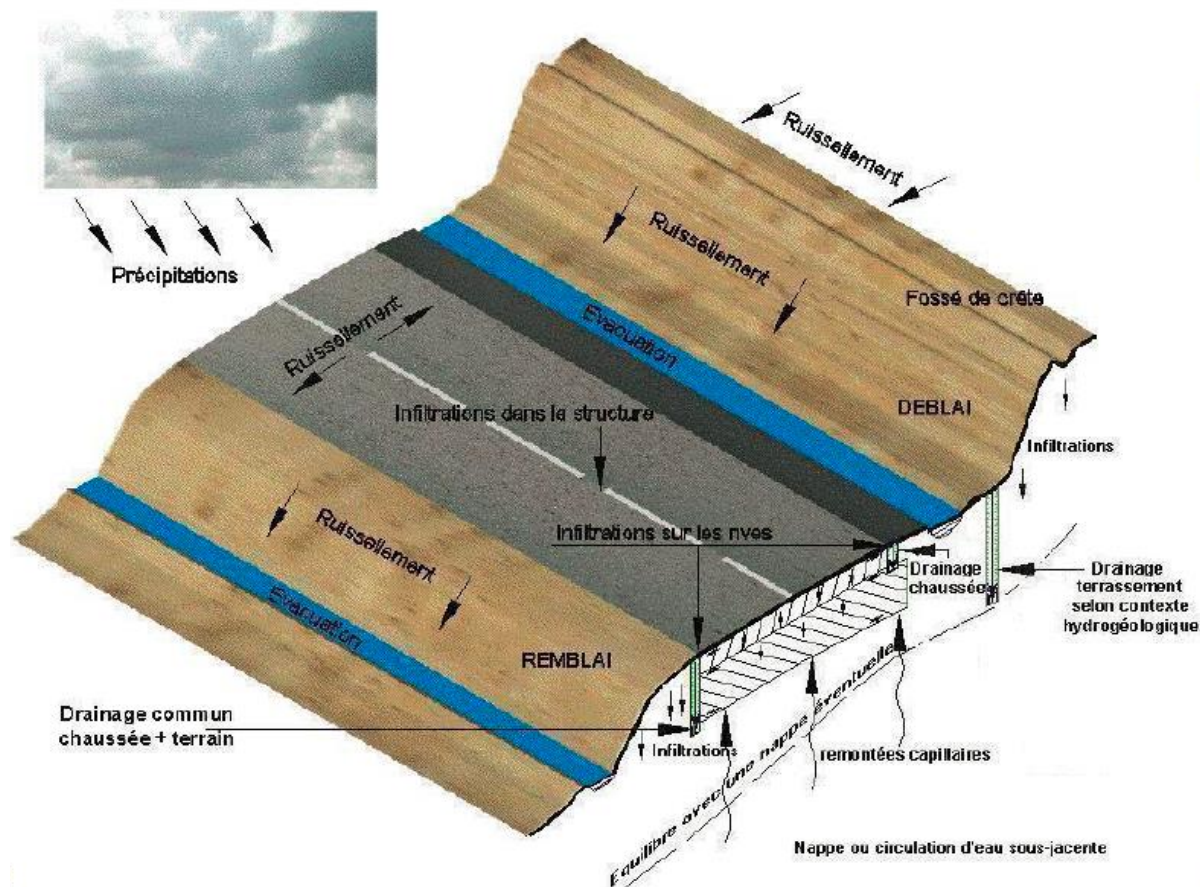


Figure 154 : Schéma de drainage routier

L'eau est un des facteurs majeurs de dégradation des structures de chaussée. Elle provoque usure et fatigue anormale des matériaux de la plate-forme routière : chute de portance des sols et dégradation des caractéristiques mécaniques des matériaux.

L'action d'évacuer l'eau libre par drainage ou de maintenir les états hydriques des matériaux contribue donc à la pérennité de la plate-forme routière :

- amélioration du comportement mécanique du sol support et de la chaussée ;
- augmentation de la durée de vie de la structure de chaussée ;

Enfin, le drainage routier améliore les états hydriques des déblais « humides » : drainage des nappes superficielles ou des résurgences (voir croquis ci-dessous).



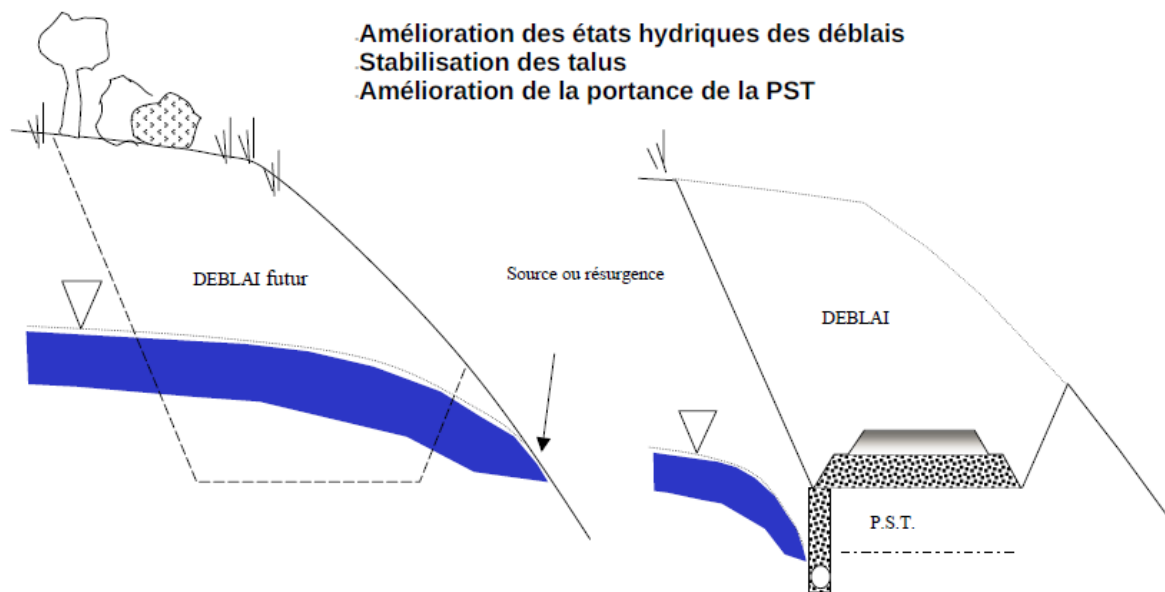


Figure 155 : Amélioration des états hydriques des déblais

8.3.4.2. Typologie des dispositifs de drainage

Le réseau de drainage est généralement constitué d'un fossé profond ou d'une tranchée drainante.

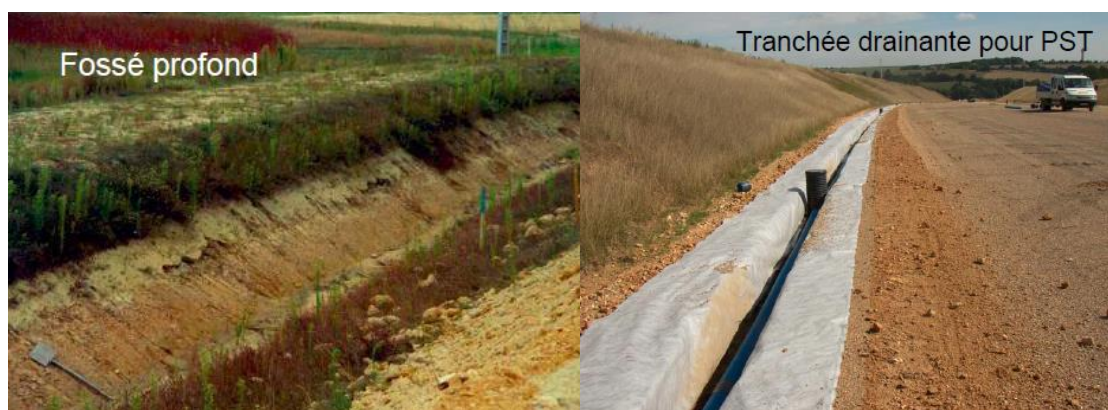


Figure 156 : typologie des dispositifs de drainage

8.3.4.3. Recommandations

Il n'est pas systématiquement nécessaire de mettre en place un système de drainage, en particulier dans les cas suivants : chaussée à faible trafic avec absence de poids lourds, contexte hydrogéologique et hydrologique favorable (absence de nappes et de zones humides), .....

La nécessité de drainage doit faire l'objet d'une analyse rigoureuse et relève de la compétence des géotechniciens. Ainsi, le lecteur pourra se référer aux chapitres suivants :

- 9.2.1 qui aborde les solutions de drainage appliquées aux glissements de terrain ;
- 9.3 qui aborde les solutions de drainage des chaussées.



### 8.3.5. L'entretien des réseaux d'assainissement routier

#### 8.3.5.1. Objectifs et enjeux

L'entretien du réseau d'assainissement routier permet :

- de maintenir en bon état de fonctionnement les ouvrages constituant le réseau (les réseaux de collecte et d'évacuation des eaux pluviales, les ouvrages hydrauliques de traversée, ..... ) ;
- de créer et/ou de modifier certains ouvrages pour les adapter aux nouvelles contraintes du site (problèmes de stagnation d'eau .....).

L'entretien est le garant du respect des enjeux suivants :

- assurer la **sécurité des usagers de la route**, laquelle peut être compromise par des stagnations d'eau sur la chaussée et/ou un écoulement d'eau sur la chaussée ;
- **maintien des conditions de viabilité** ;
- assurer la **pérennité de l'infrastructure routière** : maintien en bon état de la chaussée et de ses abords.

L'entretien pérennise l'investissement consenti lors de la conception et engage la responsabilité du gestionnaire.

Les visites effectuées au niveau des 4 tronçons routiers ont montré l'importance de l'entretien des ouvrages d'assainissement routier comme le montre les quelques exemples ci-dessous.

#### 8.3.5.2. Les types d'opération d'entretien

Deux types d'opération d'entretien peuvent être distingués :

- ❑ L'entretien programmé :

Un réseau d'assainissement est constitué de différents ouvrages jouant, chacun, un rôle actif dans l'efficacité d'ensemble. Le niveau de fonctionnement de chaque ouvrage doit donc être identique. Ainsi à titre d'exemple, il serait vain de curer un fossé sans se préoccuper de l'ouvrage hydraulique de traversée situé en aval immédiat.

L'entretien périodique d'un réseau d'assainissement doit donc être examiné globalement, exutoire par exutoire, et programmé à l'avance.

- ❑ L'entretien curatif :

Il arrive cependant que le fonctionnement d'un ouvrage soit brutalement compromis par une défaillance accidentelle (engorgement par des apports de matériaux, .....). Il faut alors intervenir sans attendre afin d'éviter la rétention d'eau en amont et au pire le débordement sur la chaussée. Ces interventions que l'on ne peut prévoir constituent l'entretien curatif.

Des visites régulières sont nécessaires afin de détecter en temps voulu les dégradations qui se sont produites et ainsi d'y remédier si possible avant qu'elles ne mettent en péril l'ensemble de l'ouvrage.

### 8.3.5.3. Les visites d'entretien

Deux types de visite peuvent être distingués :

- Les **visites périodiques** : ces visites doivent être effectuées au moins une fois chaque année d'une façon complète ;
- Les **visites occasionnelles après chaque crue importante**.

Ces visites ont pour objet de définir, le cas échéant, les travaux d'entretien et/ou les réparations à effectuer.

### 8.3.5.4. Présentation des opérations d'entretien

#### 8.3.5.4.1. Généralités

---

L'entretien du réseau d'assainissement comprend :

- le maintien des ouvrages en bon état ;
- l'amélioration éventuelle du fonctionnement du réseau ;
- l'amélioration des opérations d'entretien ;
- la suppression des ouvrages agressifs et dangereux vis-à-vis des usagers de la route.

Pour entretenir convenablement un réseau d'assainissement il faut :

- organiser et programmer les tâches d'entretien ;
- observer le fonctionnement du réseau autant que possible en période pluvieuse ;
- intervenir en cas d'urgence ;
- concevoir des aménagements accessibles.

#### 8.3.5.4.2. Les fossés

---

Les fossés ont pour objectifs :

- de recueillir et d'évacuer les eaux de ruissellement de la chaussée pour qu'elles ne nuisent pas à la chaussée, aux usagers de la route et autres ouvrages (remblais, talus de déblais, .....) ;
- d'intercepter les eaux extérieures à la route (issues des bassins versants dominants) ;
- d'assainir le corps de chaussée, voire pour partie le sol support (intercepter les arrivées d'eaux souterraines).

Pour assurer les fonctions qui lui dévolues, les fossés doivent être correctement dimensionnés et entretenus régulièrement en respectant ces dimensions originelles.

Les opérations d'entretien courantes des fossés comprennent :

- le fauchage de la végétation lorsque celle-ci s'est développée de façon importante dans les fossés ;
- le curage. Celui-ci a pour objectifs de maintenir :
  - les capacités d'écoulement. En effet, le fossé doit pouvoir évacuer la totalité des eaux d'un orage en un temps réduit en évitant tout débordement sur la route ;
  - un écoulement gravitaire présentant une pente régulière : maintien du fil d'eau proche du profil initial.

Le curage des fossés consiste donc à enlever les terres et la végétation qui depuis le dernier nettoyage sont venues colmater et/ou diminuer la section du fossé.

Lorsque le colmatage du fossé provient d'une cause très ponctuelle (glissement localisé d'un talus, obstruction par des branches ou autres matériaux, .....), le curage à réaliser doit être exécuté très rapidement pour éviter des dégradations plus importantes.



Figure 157 : Exemple d'un fossé colmaté (flèche rouge) générant des débordements sur la route (flèches bleues) lesquels sont la cause d'érosion du talus de remblai.

#### 8.3.5.4.3. Les ouvrages hydrauliques de traversée

Ces ouvrages permettent d'assurer le transit des eaux pluviales routières et des eaux extérieures à la route (issues des bassins versants dominants) sous la chaussée.

L'entretien courant a pour objet de remédier à toute anomalie d'écoulement de l'eau au droit de la traversée : obstruction de l'ouvrage, détérioration de la buse, .....

Le bon fonctionnement d'un ouvrage de traversée doit s'observer en période pluvieuse. Cela permet de relever les difficultés d'accès de l'eau à la traversée, la présence de turbulence à l'amont, d'érosion anormale des entonnements amont et aval, .....

Les principaux points à examiner lors des visites d'entretien sont les suivants :

- ❑ l'état d'obstruction de l'ouvrage et du lit, et en particulier l'état d'encombrement des ouvrages et du lit par des dépôts d'alluvions et/ou des embâcles (branchages, troncs d'arbres, produits végétaux, .....);
- ❑ l'état des ouvrages de génie civil (aspect des surfaces), ainsi que l'intérieur de la traversée lorsque cela est possible, afin de détecter les fissures et les débuts de corrosion des armatures insuffisamment enrobées. Dans les cas difficiles d'accès, il faut envisager le passage d'une caméra dans la canalisation afin de repérer les éventuels défauts du fil d'eau, les cassures de la canalisation et l'état des joints ;
- ❑ la présence de phénomènes localisés d'érosion (en particulier au niveau des remblais d'accès) et/ou d'affouillement du fond du lit (amont et aval) ;
- ❑ Il faut aussi observer régulièrement l'état de la chaussée au droit de chaque traversée en notant son évolution éventuelle.

Les opérations d'entretien courantes comprennent :

- ❑ le dégagement des extrémités de l'ouvrage via l'enlèvement des matériaux d'obstruction pour assurer le bon écoulement des eaux ;
- ❑ le curage et le nettoyage de la traversée si nécessaire.

En fonction des anomalies constatées, des opérations d'entretien spécifiques peuvent être nécessaires :

- ❑ réfection de l'étanchéité de l'ouvrage via un chemisage de la canalisation ou la projection de matériaux étanches à l'intérieur de la buse ;
- ❑ l'agrandissement et/ou la réfection des ouvrages d'entonnement amont et aval.



Figure 158 : Exemple d'une entrée d'un ouvrage de traversée sous chaussée colmaté (flèche rouge)

#### 8.3.5.5. Proposition d'élaboration d'un guide technique

En raison des enjeux de l'entretien des réseaux d'assainissement de la route, nous proposons l'établissement d'un **guide technique** relatif à la surveillance, l'entretien et l'exploitation de l'assainissement routier.

Ce guide pourrait être composé des chapitres suivants :

- chapitre 1 : connaissance et diagnostic de l'état du réseau ;
- chapitre 2 : organisation des opérations d'entretien (actions destinées à assurer la conservation, la qualité d'usage ou le renouvellement du réseau), d'exploitation (actions destinées à assurer le bon fonctionnement des ouvrages) et de gestion des ouvrages (organisation des interventions pour l'entretien et l'exploitation) ;
- chapitre 3 : gestion des déchets issus de l'entretien du réseau.

Ce guide serait accompagné de fiches techniques présentant pour chacun des types de désordres constatés les actions à envisager, les types d'intervention et la périodicité des opérations d'entretien.

Ce guide s'adresserait aux gestionnaires des réseaux routiers, mais aussi aux concepteurs.



## 9. RECOMMANDATIONS TECHNIQUES VIS-A-VIS DES RISQUES GEOTECHNIQUES

### 9.1. RECOMMANDATIONS GENERALES

#### CONSTATS

Le diagnostic réalisé par l'Ingénierie a mis en évidence un ensemble de désordres géologiques, ou de chaussée, dont les causes peuvent varier d'un site à l'autre.

Lors des visites de terrain, l'Ingénierie a constaté également que certains désordres continuent de persister alors qu'ils ont fait l'objet de plusieurs interventions, sans pour autant résoudre complètement le problème. Cette réalité nous amène à suspecter des défaillances qui auraient entaché ces réalisations, plusieurs scénarii sont éventuellement à envisager :

- Travaux réalisés dans l'urgence afin de rétablir la circulabilité des routes et non pas dans l'objectif de résoudre définitivement les désordres ;
- Budget alloué pour la gestion du réseau assez modeste comparé au linéaire à gérer par les DPE ;
- Complexité des désordres rencontrés et nécessité de réaliser des études techniques approfondies pour mieux maîtriser l'étendue, l'origine et la solution la plus appropriée aussi bien de point de vue technique que financier ;
- Montant moyen à faible alloué aux études techniques ;
- Termes de références des études n'englobant pas des études géotechniques détaillées ;
- Défaut de conception de la solution, induit par le mauvais diagnostic voire même l'absence de diagnostic pour identifier la source du désordre ;
- Absence de dispositifs annexe à la solution (exemple de non réalisation de système de drainage convenable pour des désordres liés aux venues d'eau) ;
- Défaillance éventuelle lors de l'exécution en cas d'absence de suivi et/ou d'audit technique ;
- ...

Notons également que ces désordres se situent dans des contextes souvent défavorables : chaînes de montagnes, versants instables, formations géologiques sensibles à l'eau.

#### RECOMMANDATIONS

A ce stade de l'étude, il n'est pas possible de proposer la solution appropriée pour chaque site, en vue de résoudre les désordres observés d'une part et d'estimer le coût de sa mise en œuvre d'autre part, et ce en se basant uniquement sur les visites de terrain effectuées.

En effet les désordres en géotechnique présentent des complexités plus profondes que celles qu'on rencontre généralement en hydraulique : les désordres sont en effet liés au contexte topographie et géologique d'une part, mais surtout aux caractéristiques intrinsèques du sol d'autre part.



Ces dernières ne peuvent être appréhendées uniquement sur la base d'inspections visuelles, mais nécessitent des sondages et des essais de laboratoire pour :

- décrire correctement le comportement du sol et des formations rencontrées ;
- proposer les variantes de solutions les plus adéquates pour résorber le désordre étudié ;
- mettre au point un système de suivi de la solution retenue pour s'assurer de son efficacité.

Ainsi, outre la panoplie des solutions de confortement proposée dans les chapitres suivants, l'Ingénierie insiste sur les points suivants :

- l'importance des études approfondies à lancer par les DPETL, afin de disposer des données d'entrées précises concernant :
  - Les études topographiques : nécessaires pour apprécier le degré des déplacements sur la base de la confrontation de relevés topographiques réalisés à des intervalles de temps ;
  - Les études géotechniques : pour procéder à une implantation de sondages carottés et les faire faire par un laboratoire expérimenté afin de disposer des coupes géotechniques des sols traversés ;
  - Essais de laboratoire et in-situ : afin de définir les paramètres mécaniques et intrinsèques des sols étudiés sur la base des sondages carottés réalisés.
- Le déroulement de ces études particulières et approfondies devra suivre plusieurs étapes :
  - Disposer d'un historique et de données géotechniques détaillés depuis la réalisation des routes étudiées ;
  - Délimiter approximativement la zone de dégradation ;
  - Procéder à de premiers relevés topographiques comparatifs afin d'estimer le degré du désordre à une échelle appropriée ;
  - Planter des sondages préliminaires et les réaliser par un laboratoire agréé ;
  - Procéder à l'interprétation des résultats des sondages notamment des essais mécaniques sur les échantillons carottés afin d'apprécier les caractéristiques mécaniques intrinsèques aux sols rencontrés ;
  - Rechercher la source des désordres sur la base de ces éléments topographiques, géotechniques et procéder éventuellement à des prospections de terrain complémentaires ;
  - Réaliser des études au stade d'avant-projet sommaire permettant d'identifier les solutions éventuelles des désordres rencontrés ;
  - Réaliser une analyse technico-financière afin de comparer les solutions potentielles (faisabilité + estimation sommaire) ;
  - Une fois arrêtés les variantes de solutions avec le MOA, procéder éventuellement à des compléments géotechniques ;
  - Sur la base de ces éléments complémentaires, définir la solution de base retenue en concertation avec le MOA ;
  - Réaliser des études au stade d'avant-projet détaillé de la solution avec des plans et estimations détaillés ;
  - Procéder au lancement des dossiers de consultation des entreprises afin de réaliser les travaux par une société expérimentée.
- Les termes de références des études ou travaux doivent inclure le volet géotechnique ;

- Le BET en charge des études devra disposer de références techniques sérieuses lui permettant de bien appréhender la problématique et identifier la solution la plus adéquate ;
- En cas de réalisation par l'étude directement par des entreprises, le MOA doit exiger la réalisation d'études techniques par l'entreprise. Pour éviter des erreurs de conception ou de réalisation, il est conseillé de recourir à un contrôle externe par un bureau de contrôle agréé, et un audit technique par des experts lors de la réalisation des travaux afin d'éviter que la solution mise en œuvre ne soit mal exécutée ou inadaptée au désordre à traiter ;
- La réalisation des études approfondies nécessite des durées convenables qui varient suivant le degré de la problématique et afin de prendre en compte les étapes suivantes :
  - Collecte des données ;
  - Réalisation des travaux topographiques ;
  - Réalisation des sondages géotechniques et essais de laboratoire et in-situ.

A titre indicatif, pour une étude de stabilité d'un versant sujet au glissement, avec la disponibilité des données géotechniques et résultats des essais du laboratoire, ces délais étaient comme suit :

- Les études d'APS et d'APD ont duré 3 mois ;
- La durée d'exécution des travaux est de 7 mois.

Il s'agit là de délais moyens qui peuvent varier de manière notable suivant la complexité du désordre et son étendue

- Il est à noter que pour le cas d'une section routière, ces études auront une durée plus importante puisqu'ils vont concerner tout le tracé afin de :
  - permettre dans un premier temps le recensement des zones potentielles des différents désordres ; Pour le cas des 4 tronçons étudiés, il s'agira de compléter le diagnostic effectué lors de l'activité 1 afin de mieux délimiter l'étendue des zones de désordres. En effet les visites réalisées ont eu pour objectif de dresser l'inventaire des typologies de désordres rencontrés, et non pas de recenser la totalité des points névralgiques de chaque tronçon routier;
  - définir la vulnérabilité de chaque site, et définir les sites prioritaires à traiter dans un premier temps ;
  - planifier le traitement des autres points sensibles ;
  - une fois les sites prioritaires identifiés, les études particulières et approfondies pourront alors être entamées comme ci-avant.

En conclusion, on retiendra que la résolution des problèmes passera par la réalisation d'études approfondies, dans les règles de l'Art, par des bureaux d'études expérimentés, et la mise en place des solutions retenues par des entreprises qualifiées. Les délais impartis aux études devront être choisis de manière à permettre de :

- bien diagnostiquer le désordre (degré, zone impactée et source) ;
- identifier la solution la plus appropriée de point de vue technique et financier ;
- réaliser les travaux suivant les règles de l'Art (travaux, suivi et contrôle).

A titre indicatif on notera que pour un désordre donné, il faudrait compter en moyenne un délai de 3 mois pour des études aux stades d'APS et APD, et de 7 mois pour l'exécution et suivi géotechnique de la mise en place de la solution retenue. Ce délai ne prend pas en compte la durée de réalisation des travaux topographiques, géotechniques et des essais de laboratoire, qui sont difficiles à préciser et restent tributaires des conditions météorologiques, d'accès aux sites et de la disponibilité du laboratoire d'essai.

## 9.2. DESORDRES GEOTECHNIQUES

Une fois les sites prioritaires identifiés, les études particulières et approfondies pourront alors être entamées comme ci-avant.

Tenant compte de ces éléments, pour la suite de l'étude, l'Ingénierie propose une panoplie de solutions suivant la typologie des désordres rencontrés lors des visites de terrain. Ces solutions constitueront pour les DPETL un catalogue des solutions de base, qui pourront par la suite être choisies une fois les études approfondies lancées.

Le diagnostic des 4 tronçons étudiés a été réalisé pendant les visites de terrain dont les conclusions ont été rappelées dans le rapport de l'activité 1 et détaillées dans les fiches d'enquête.

Ces conclusions sont rappelées ci-après pour les désordres géologiques constatés.

### Tronçon de la RR 508 entre Sakka et Outabouabane

- Dans les tronçons en profil mixte les principaux désordres et affaissement de la chaussée apparaissent du côté remblai ;
- Le confortement se fait principalement par des murs en gabion qui ne sont pas bien adaptés à la problématique dans la majorité des cas (mal positionnés ou mal dimensionnés) ;
- L'érosion des talus de déblai constitué de flysch délitable, produit des éboulis qui colmatent les fossés bétonnés suite à l'absence d'espace de stockage en pied de versant ;
- Dégradation de la chaussée à cause du mauvais drainage ;
- Dans certaines sections longeant l'oued, le sapement de pied conduit au déclenchement de glissements importants qui affectent toute la plate-forme ;
- Des tronçons de la route sont situés dans des versants instables et qui ont connu des glissements historiques.

### Tronçon de la RN 2 entre Chefchaouen et Issaguen

- Certaines sections de la route sont situées dans l'emprise de grands glissements sur des versants instables. Malgré les traitements ponctuels mis en place, ces glissements engendrent des déplacements, des affaissements et des déformations répétitifs de la chaussée ;
- Les talus de déblais rocheux à pente raide, présentent le risque de chute de gros blocs suite à la combinaison de facteurs climatiques et tectoniques ;
- Dans les tronçons en profil mixte les tassements de la chaussée sont observés du côté remblai. Ces tassements sont compensés par des rechargements périodiques de la chaussée qui font augmenter la charge sur le remblai et pouvant déclencher des glissements de ce dernier ;
- Les moyens de confortement réalisés sont à court terme et ne traitent pas la problématique dans son ensemble ;
- Des zones de glissement s'activent à cause de l'absence de drainage.

### Tronçon de la RR106 entre Ighrem et Assaki

- Les zones d'éboulements correspondent à des talus de déblai rocheux conglomératique à forte pente. Les blocs sont détachés suivant les fractures décomposant le rocher et causant des dégradations de la chaussée ;
- Dans la section longeant l'oued, la chaussée, le remblai ainsi que le mur de soutènement en gabion, sont affectés par le glissement qui s'active par sapement du pied ;
- Le confortement des talus est fait généralement par les murs en gabion.

**Tronçon de la RR706 entre Rich et Imilchil**

- Risque de chute de blocs et de pierres dans les zones de déblais rocheux de très forte pente. Le rocher est très fracturé. La présence des familles de fractures parallèles à la route ayant un pendage défavorable par endroits, favorise le découpage du rocher en dièdres instables ;
- Sapement du pied de talus de remblai activant des glissements qui affectent le remblai ainsi que la chaussée ;
- Les confortements de talus réalisés sont principalement des murs de soutènement en gabion ou en maçonnerie ;
- Les zones de charriage correspondent aux chaâbas et thalwegs. Ces zones sont occupées par des matériaux constitués des débris de schistes altérés caractérisant l'environnement géologique de la route. Ces matériaux entravent la circulation et entraînent des dégradations de la chaussée et ses accotements ;
- Les talus de déblais constitués de schistes altérés sont sensibles à l'érosion. Les éboulis de schistes qui en résultent sont déposés en pied de talus et couvrent l'accotement et une partie de la chaussée côté déblai.

Le choix de la solution appropriée sera établi, comme indiqué auparavant, à l'issue de l'étude technique approfondie, en concertation avec le MOA, et se basera sur une analyse technico-financière précisant pour chaque variante :

- les avantages et inconvénients avec une analyse coût bénéfice (ACB) qui prenne également en compte les coûts indirects calculés pour chaque section routière ;
- le coût de réalisation ;
- la durée de mise en œuvre sur site.

### 9.2.1. Les glissements de terrain

Cette problématique a été diagnostiquée lors des visites de terrain à plusieurs endroits, dont on citera :

- RR 508 : exemple du PK 21+557 où un glissement déclenché dans cette section a causé un renversement de la partie centrale du mur en gabion. Il s'agit de la zone où la déformation est maximale ;



Figure 159 : Glissement de terrain au PK 21+557 de la RR508, avec mur de soutènement renversé

- RN 2 : exemple de la section entre les PK 133+800 et 134+500 qui a connu glissement ayant entraîné le départ de la route sur 400 m pendant la saison hivernale 1983-1984 ;



Figure 160 : Glissement de terrain de la section 133+800 – 134+500 de la RN 2

- RR 706 : exemple du glissement du talus de remblai au PK47+700 activé par le sapement du pied de talus par l'oued longeant la route. Cette zone a fait l'objet de plusieurs interventions, suite à des glissements qui ont emporté la chaussée, le tracé ayant été décalé vers le côté déblai sur une longueur de 200m environ.



Figure 161 : Glissement de terrain au PK 47+700 de la RR 706

#### 9.2.1.1. LES DIFFERENTS TYPES ET CAUSES DE GLISSEMENTS DE TERRAIN

Les glissements de terrain font partie des risques naturels auxquels nous nous trouvons confronté. L'étude type consiste à identifier les différents types de glissement et les causes qui sont derrière ce phénomène.

Ce sont des déplacements d'une masse de sol suivant un cercle ou un plan. Ils sont issus d'un cisaillement entre la masse en mouvement et celle qui est stable, et peuvent atteindre des grandes surfaces. On peut énumérer différents origines et impacts.

#### LES DIFFERENTS TYPES DE MOUVEMENT DE TERRAIN :

De nombreuses classifications ont été proposées pour les mouvements de versants:

- Les coulées et les chutes de blocs ;
- Les glissements de terrain ;
- Les écroulements et éboulements ;
- Solifluxion et fluage.



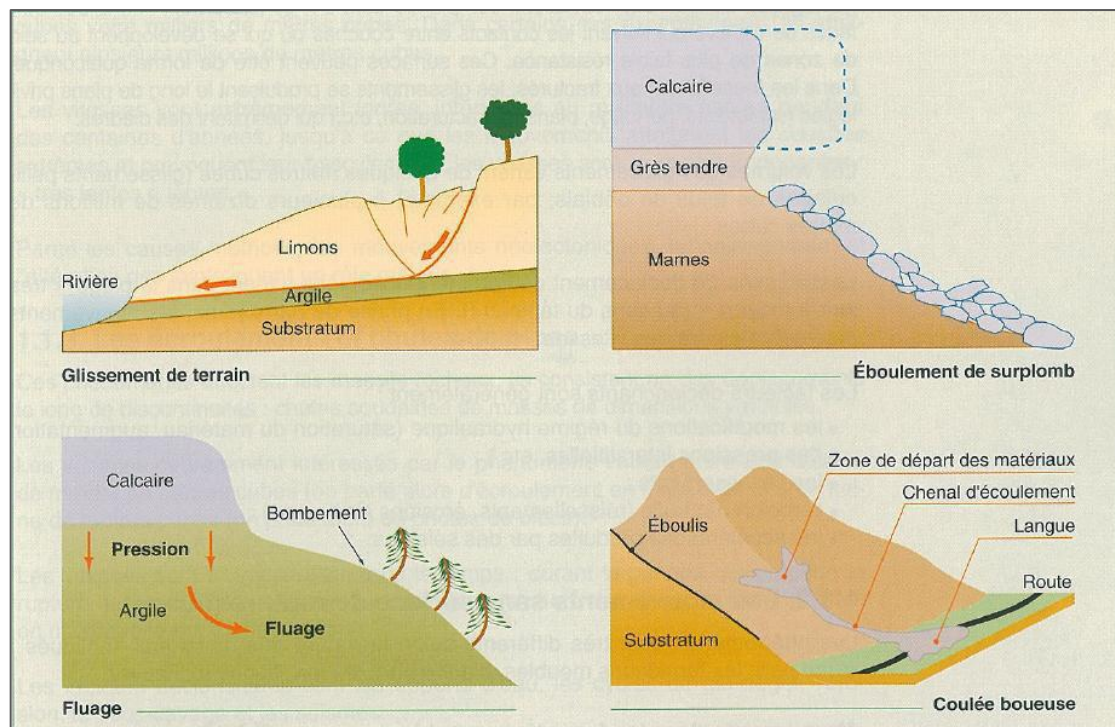


Figure 162 : Les quatre grands types de mouvements de terrains

(Source : Guide technique - Stabilisation des glissements de terrain, LCPC, 1998)

#### PRINCIPALES CAUSES DES GLISSEMENTS :

Les facteurs déclenchant sont généralement :

- Altération et érosion des matériaux de la pente qui résulte de l'action de l'eau de la rivière ;
- Ajout d'une surcharge supplémentaire en amont ;
- Saturation du sol par les précipitations ;
- La sensibilité du sol vis-à-vis de l'eau.

#### 9.2.1.2. LES SOLUTIONS DE CONFORTEMENT

Pour nos 4 tronçons étudiés, en absence de relevés topographiques, permettant de disposer d'une cinématique des mouvements, et en absence également de sondages géotechniques et de paramètres mécaniques et intrinsèques des sols, nous proposons des principes de solutions confortatives potentielles.

Pour les zones concernées par des mouvements importants qui ont eu lieu, la résistance au cisaillement de la zone du glissement est probablement réduite aux valeurs résiduelles. Aussi, les conditions de stabilité y sont devenues critiques et des risques de réactivation du glissement à l'occurrence de fortes précipitations sont bien réels. Ces zones constitueront une priorité en termes de confortement.

Après avoir réglé le problème d'apport d'eau par des tranchées drainantes et un système d'assainissement efficace, tenant compte des variations d'apport d'eau liées au changement climatique, dans certains cas des solutions consistent à épauler les remblais de la voie par des remblais

drainants portant la pente du talus stable, après élimination des sols fortement décomprimés en surface. Pour les glissements de terrain à surface de rupture circulaire la solution de confortement est à chercher dans la classification qui suit.

#### 9.2.1.2.1. CLASSIFICATION DES SOLUTIONS DE CONFORTEMENT

Les méthodes de confortement sont classées en quatre principales catégories :

- A - Eléments résistants en pied de talus ;
- B – Modification topographique et géométrique ;
- C - Drainage et gestion des eaux ;
- D - La végétation.

Ces 4 catégories se distinguent par le type de causes de glissements qu'elles traitent ; la première concerne les mauvaises caractéristiques géomécaniques du sol, la seconde à la topographie du talus et enfin les deux dernières sont relatives aux problèmes liés aux eaux.

#### A - ELEMENTS RESISTANTS EN PIED DE TALUS

Les variantes de cette classe ont pour but de réduire les déplacements ou les éliminer. On distingue :

##### **A1 - Les ouvrages de soutènement :**

Ce sont des structures préfabriquées ou coulées sur place :

- Les murs en béton ou en maçonnerie ;
- Les murs en gabions ;
- Les éléments préfabriqués ;
- 
- Le renforcement des nappes de géotextile ;
- Les armatures métalliques comme illustré ci-dessous :

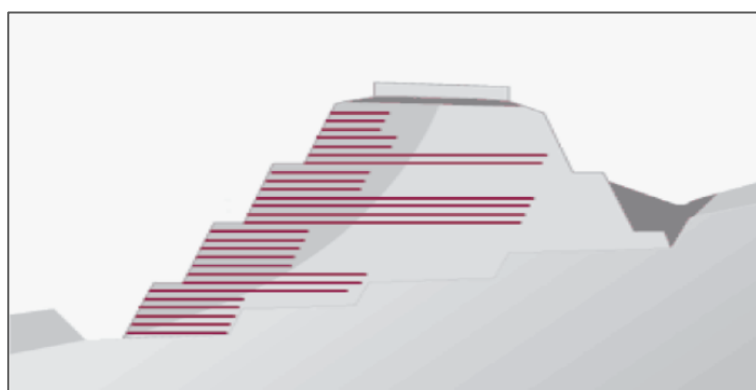


Figure 163: Armature métallique ou synthétique

*(Source : Méthodes de Confortement des Pentes Instable Application au déblai PK34, Projet de Fin d'Etude de MM. Kamal BELHADJ et Youness CHARIH, EHTP, Casablanca, 2011)*

Ces murs de soutènement peuvent constituer également une solution contre le sapement des berges dans les zones où le remblai routier longe un oued limitrophe.

#### Les murs en maçonnerie (moellons taillés liaisonnés au mortier) :

Cette variante de mur poids de soutènement, et celle en béton, sont préférées lorsqu'il n'est pas possible de dégager un espace suffisant pour mettre en œuvre les autres techniques de protection.

Compte tenu de sa rigidité, il ne peut s'adapter aux déformations du sol de fondation sans dégradation. Il faut prévoir donc un joint de construction tous les 5 mètres.

Des barbacanes doivent être disposées régulièrement, afin d'éviter le blocage des eaux à l'arrière du mur.

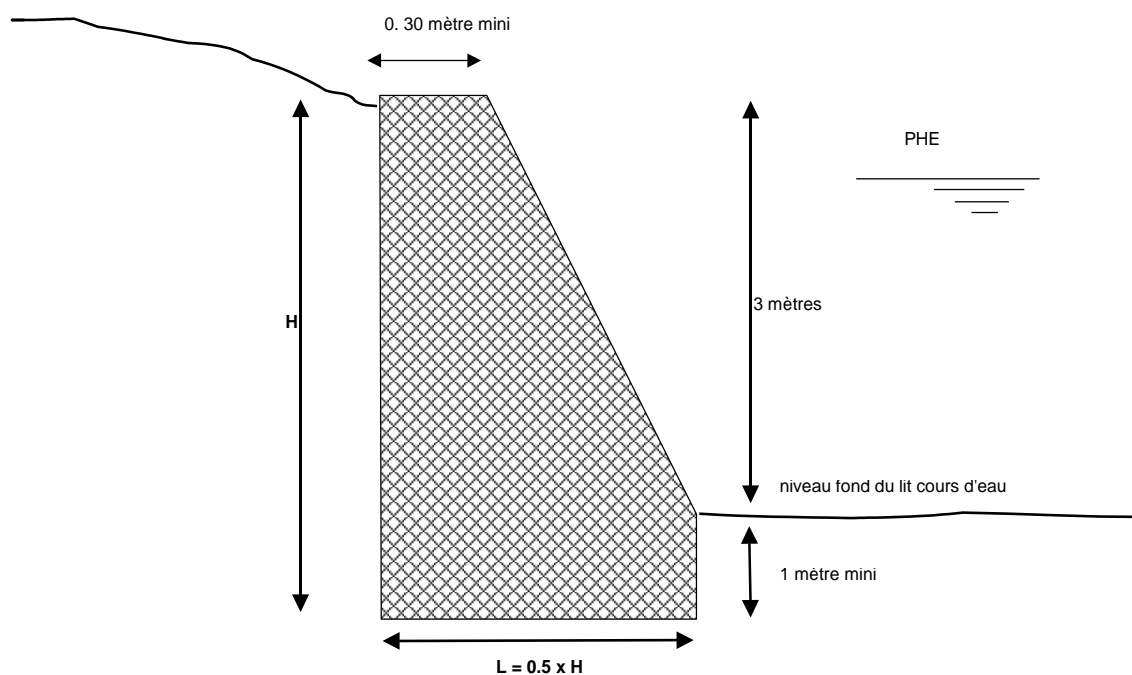


Figure 164: Schéma d'un mur de soutènement en maçonnerie au droit d'un cours d'eau

La figure ci-dessous illustre le traitement des berges en maçonnerie



Figure 12: Exemple de traitement des berges en maçonnerie - Berges de l’Oued Aggay (Sefrou)

**Les murs en gabions:**

Les gabions sont utilisés comme ouvrages poids de soutènement constitués de structures grillagées de forme parallélépipédique de 3 m x 1 m et d’épaisseur 1 mètre.

Les gabions reposent directement sur le terrain à protéger, ils offrent une sécurité importante vis-à-vis de la stabilité puisqu’ils sont en mesure de s’adapter aux mouvements du sol. Ces structures ont l’avantage de s’intégrer rapidement à l’environnement.

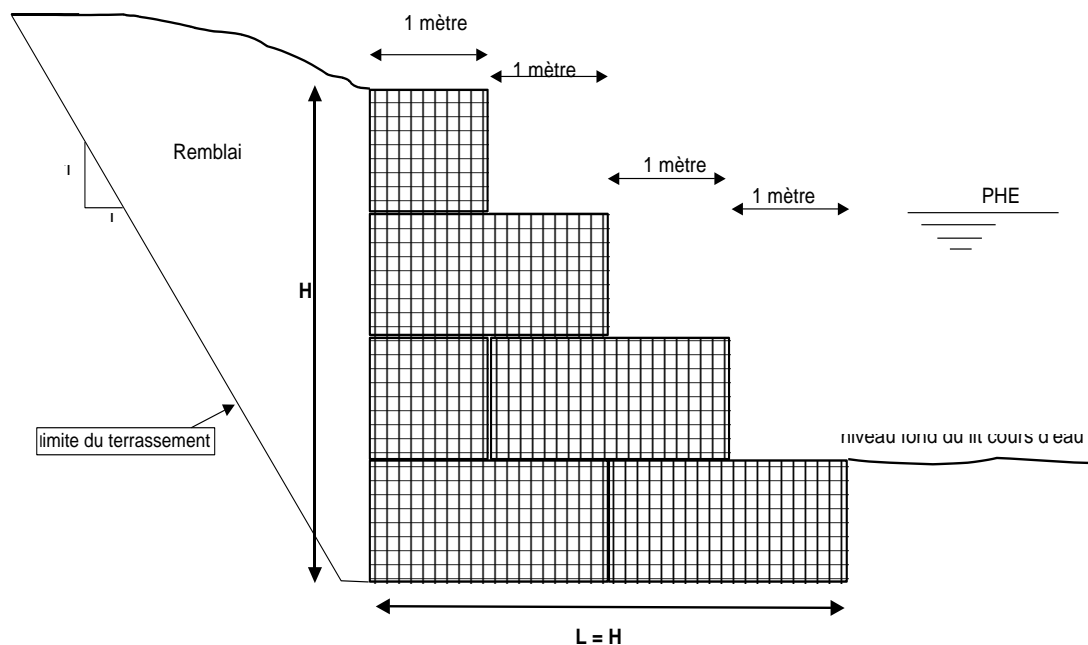


Figure 13: Schéma d’un mur de soutènement en gabions au droit d’un cours d’eau

### A2 - Tirants d'ancrage:

Les tirants d'ancrage sont des dispositifs visant à stabiliser les ouvrages. Ils consistent à transmettre au terrain support des efforts dans le but d'améliorer le coefficient de sécurité en s'encrant dans des horizons plus stables.

Cette méthode sert à stabiliser la pente. Généralement, elle est utilisée en cas des glissements limités.

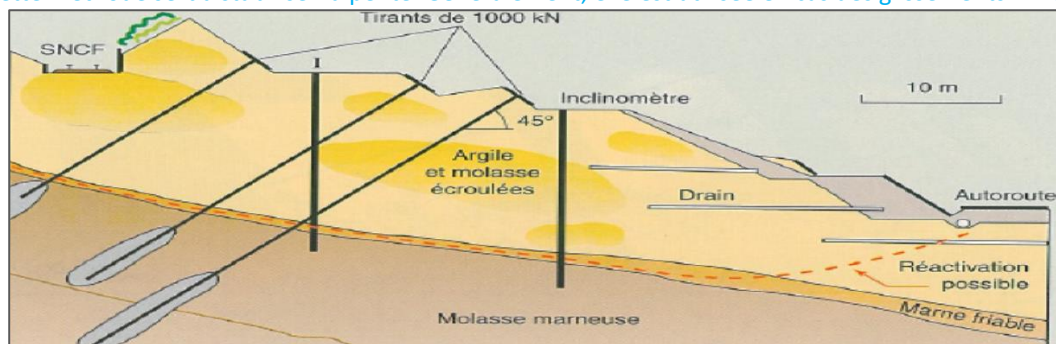


Figure 165: Tirants d'ancrage

(Source : Guide technique - Stabilisation des glissements de terrain, LCPC, 1998)

### A3 - Clouage:

Le clouage est une technique de confortement des sols destinée à transmettre les charges appliquant sur la partie instable vers celle qui est stable.

Cette technique exige la détermination des forces stabilisatrices et la bonne distribution des clous.

### A4 - Pieux et barrettes:

Cette technique est particulièrement efficace pour la stabilité vis-à-vis les glissements de terrain. Les pieux et les barrettes caractérisent par une inertie importante, c'est pour cela, ils travaillent en flexion et cisaillement.

Principalement, le tiers central de la pente instable contient deux ou trois rangées de pieux, soit les tubes métalliques, soit les pieux en béton armé.

Pour le confortement par barrettes ou par pieux, les risques de rupture se localisent :

- Au niveau de pieux par flexion ou cisaillement ;
- Au contact pieu et sol sous l'effet de la sollicitation latérale du sol par le fût du pieu ;
- Au niveau du sol par le déficit des charges appliquées par les pieux ;
- Au niveau du sol dans le cas d'un glissement en profondeur sous l'ouvrage.

Les glissements de sol provoquent une mobilisation latérale des pieux opposant des réactions au sol. La stabilité vis-à-vis les glissements s'obtient, en introduisant les charges apportées par les pieux, à l'aide des méthodes de calcul de stabilité de pente.



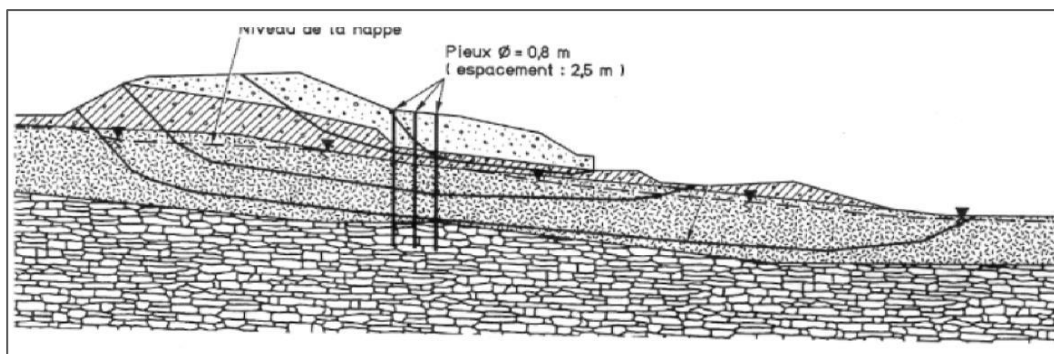


Figure 166: Confortation d'un remblai par pieux de la pente et du talus

(Source : Méthodes de Confortement des Pentes Instable Application au déblai PK34, Projet de Fin d'Etude de MM. Kamal BELHADJ et Youness CHARIH, EHTP, Casablanca, 2011)

## **B - MODIFICATION GEOMETRIQUE**

Les caractéristiques médiocres du sol d'un talus et la pente de celui-ci sont derrière les glissements qui se produisent.

A cet égard, il est indispensable de faire une modification géométrique et morphologique en se basant sur un diagnostic du problème, on note :

### ***B1 - Allègement en tête de glissement :***

Il s'agit d'alléger la partie amont du versant, on diminue le poids du matériau et en conséquence la masse motrice diminue également.

La modification des paramètres géométriques en tête du talus permet de calculer sa stabilité au niveau de la partie sollicitée à la rupture. Le terrassement réalisé en tête peut réduire les dégâts qui peuvent résulter du phénomène de glissement.

Le chargement en pied (ouvrage de butée, également appelé banquette dans certaines configurations) agit de deux manières : d'une part il équilibre les forces motrices et, d'autre part, il permet de contenir les déplacements de la masse instable.

Dans l'ensemble, pour arriver à la sécurité souhaitée, il est nécessaire d'excaver de grands volumes ce qui est très coûteux. Ainsi, d'autres techniques doivent être mises en place afin d'obtenir la sécurité recherchée et limiter les désordres engendrés par ces glissements.

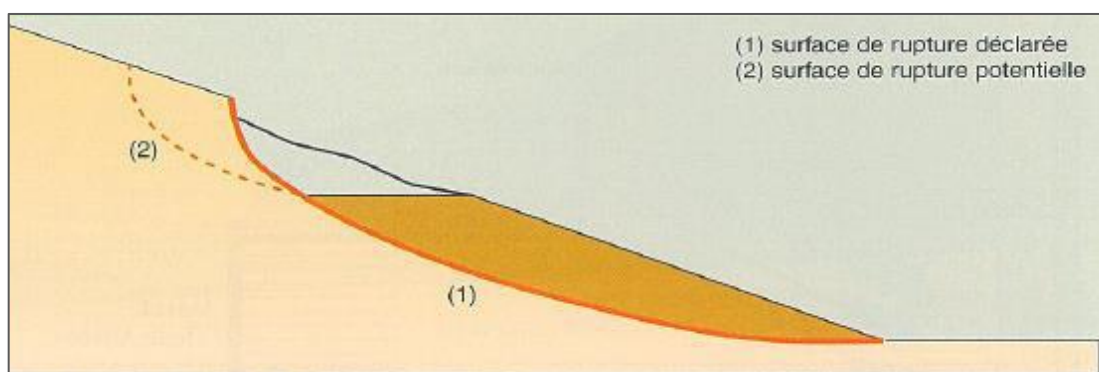


Figure 167: Dimensionnement d'un allègement en tête

(Source : Guide technique - Stabilisation des glissements de terrain, LCPC, 1998)

### B2 - Reprofilage ou retalutage :

Pour les talus en déblais, il est toujours nécessaire de diminuer la pente afin de maintenir la stabilité du talus. La sécurité d'un talus peut être augmentée aussi par retalutage du terrain naturel. Dans ce sens, le procédé s'apparente à l'allègement en tête : il consiste en un adoucissement de la pente moyenne.

L'amélioration de la stabilité et la réalisation des chemins d'accès pour l'entretien nécessitent l'exécution de risbermes. Pour des talus connus par l'instabilité, le procédé de diminution de la pente n'est pas une solution envisageable, vu les grandes quantités du sol qu'il faut excaver.

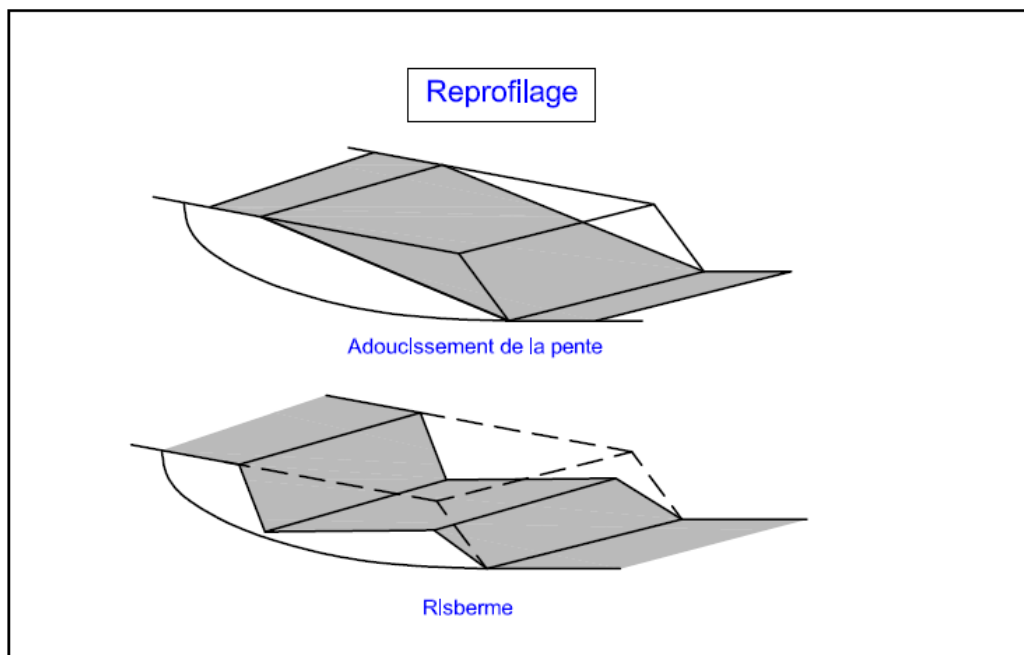


Figure 168: Reprofilage

(Source : *Méthodes de Confortement des Pentes Instable Application au déblai PK34, Projet de Fin d'Etude de MM. Kamal BELHADJ et Youness CHARIH, EHTP, Casablanca, 2011*)

Afin d'assurer la stabilité des talus en modifiant l'aspect géométrique, il est nécessaire de préserver l'équilibre entre les masses en haut du talus et en pied de celui-ci pour avoir une égalité des charges.

Il est rare que la diminution de la pente, avec excavation d'une partie ou de la totalité des masses en tête, constitue une solution pertinente aux problèmes de glissement. Alors, le choix d'une telle solution doit être bien étudié pour ne pas causer d'autres désordres.

### B3 - Purge :

L'élimination des matériaux glissés est une action nécessaire pour chaque technique de terrassement, et si seulement il s'agit d'une faible quantité de glissement. Dans le cas des glissements rocheux, la purge de la totalité du matériau se fait si la surface mise à nu est considérée stable.

### B4 - Substitution totale ou partielle :

En purgeant une partie ou la totalité du matériau et reconstituer à nouveau le talus en utilisant un matériau qui présente des bons caractéristiques est considérée la solution la plus simple pour confronter un glissement.

La substitution se divise en deux modes :

❑ Substitution totale

Elle consiste à l'enlèvement d'une partie ou de la totalité du matériau glissé et la reconstruction du talus avec des matériaux conformes.

Afin de s'assurer de l'effet de traitement, un calcul de stabilité doit être fait, en prenant en considération le matériau déjà existant et le matériau de substitution. Il est indispensable de trouver un coefficient de sécurité supérieur raisonnable tout en identifiant la partie qui est sollicitée à la rupture.

Plusieurs prévoyances sont à prendre en considération lors de la substitution des matériaux :

- Assurer un drainage adéquat pour annuler les effets négatifs de l'eau ;
- Purger à un niveau qui dépasse le niveau de la rupture ;
- Vérifier le bon accrochage entre le matériau substitué et le sol support ;
- Estimer au priori la quantité des matériaux qu'il faut substituer.

❑ Substitution partielle

La substitution partielle est recommandée si plusieurs contraintes ne permettent pas de réaliser une purge des matériaux glissés, vu les conditions existantes. Plusieurs méthodes de confortement peuvent maintenir la stabilité, notamment : bèches, contreforts, masques et des éperons.

La bêche est une fouille exécutée en bas du glissement en utilisant des matériaux qui ont des propriétés drainantes. Elle a pour rôle de transmettre la charge au substratum qui est rigide avec un ancrage de 1 m ou plus. Cette méthode est adoptée, s'il s'agit de déposer un remblai sur un terrain qui est instable. Lors du dimensionnement de la bêche, toute la surface de rupture est prise en considération, la longueur à substituer et le matériau de substitution.

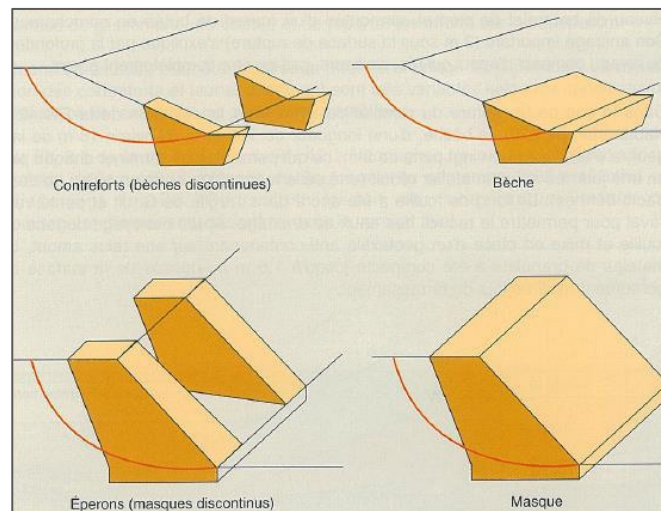


Figure 169 : Substitutions partielles

(Source : Guide technique - Stabilisation des glissements de terrain, LCPC, 1998)

**B5 - Butée de pied :**

Souvent utilisé, la mise en place d'un poids en pied d'un glissement est une technique généralement efficace. L'ouvrage, également appelé banquette, berme ou butée, agit par contre balancement des forces en mouvement. Pour qu'il soit fiable, il faut réaliser un bon accrochage dans la masse stable.

La butée doit faire face à la redondance des problèmes de glissement en amont, et à l'aval l'ouvrage ne doit pas induire d'autres glissements. De surcroît, elle permet d'assurer un bon drainage en utilisant un tapis drainant avec un collecteur.

La masse de la butée en enrochement, placée en pied du talus, devra avoir une masse telle qu'elle puisse permettre le soutènement et pousser les terres qui sont en tête en mouvement. Cette masse de matériau mise en place pour jouer le rôle de la butée provoque des tassements énormes et des désordres.

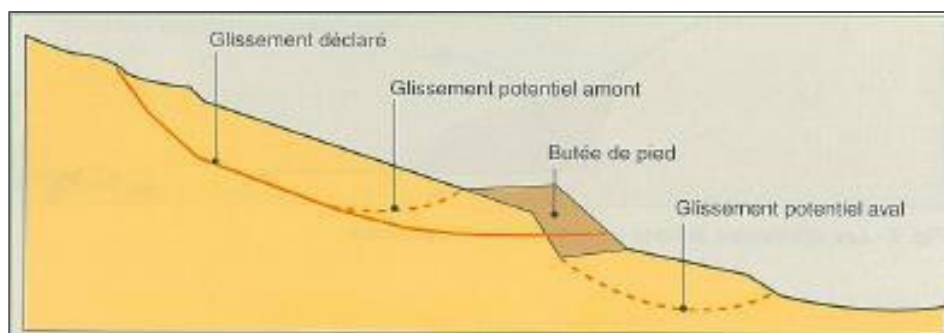


Figure 170 : Butée de pied

(Source : Guide technique - Stabilisation des glissements de terrain, LCPC, 1998)

**C - DRAINAGE**

Le drainage a pour objectif de récolter les eaux et de les évacuer. Le drainage consiste à diminuer la pression interstitielle dans le sol et par conséquent à éviter la diminution de sa portance mécanique. On distingue plusieurs techniques de drainage:

**C1 - Collecte et canalisation des eaux de surface :**

Les infiltrations et la saturation des sols par l'eau peuvent générer des problèmes d'instabilité. La construction des réseaux de canalisation permet de réduire le taux d'infiltration des eaux de surface.

**C2 - Tranchées drainantes :**

Les tranchées sont des ouvrages longitudinaux de faible profondeur qui visent à rabattre le niveau d'eau. Pour une bonne efficacité, la tranchée est généralement placée de manière perpendiculaire à l'axe d'écoulement des eaux d'écoulement.

La figure ci-dessous explique le fonctionnement des tranchées drainantes :



Figure 171: Ouvrage sur pente à stabilité précaire en nappe haute : stabilisation par tranchées drainantes.

(Source : Méthodes de Confortement des Pentes Instable Application au déblai PK34, Projet de Fin d'Etude de MM. Kamal BELHADJ et Youness CHARIH, EHTP, Casablanca, 2011)

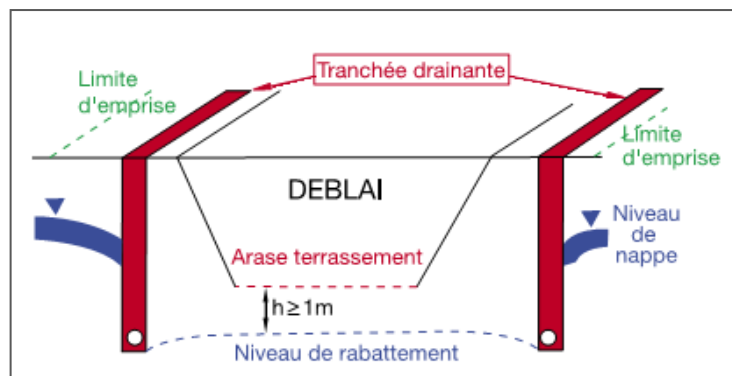
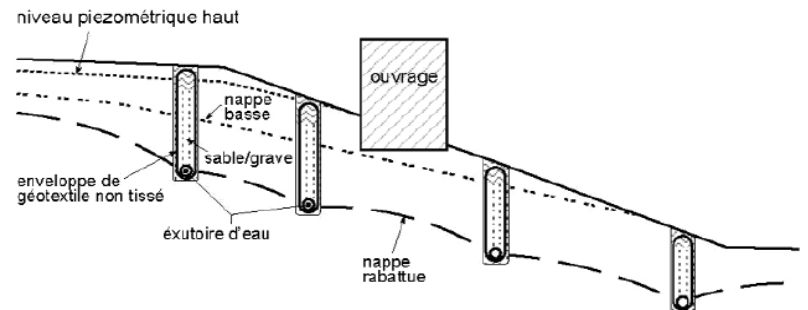


Figure 172: Exemple de tranchée drainante

(Source : Guide technique - Drainage routier, SETRA, Mars 2006)



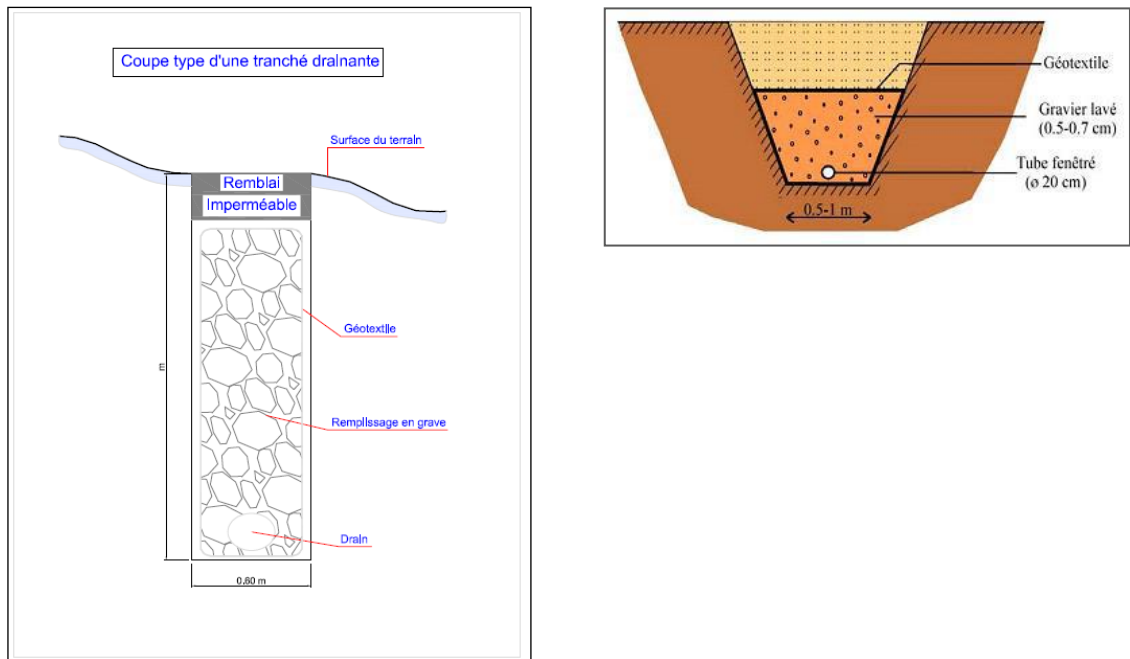


Figure 173: Coupes types d'une tranchée drainante

(Source : Méthodes de Confortement des Pentes Instable Application au déblai PK34, Projet de Fin d'Etude de MM. Kamal BELHADJ et Youness CHARIH, EHTP, Casablanca, 2011)

### C3 - Masques drainants :

Ils sont constitués de masque en matériaux perméables servant à évacuer les venues d'eau et permettant d'augmenter la stabilité de l'ouvrage.

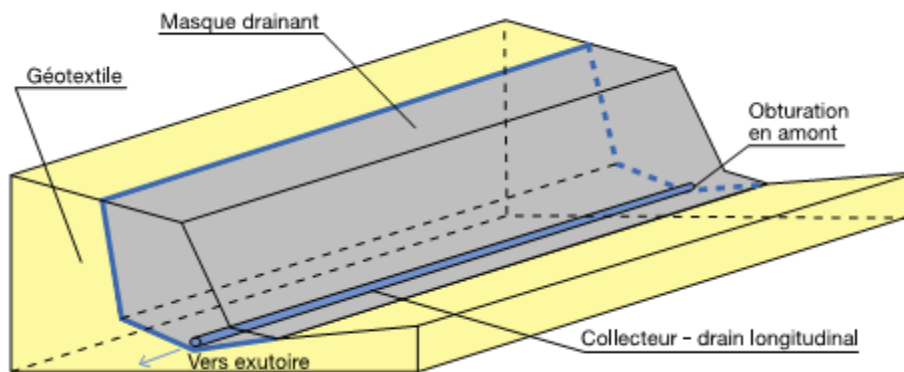


Figure 174 : Masques drainants

(Source : Guide technique - Drainage routier, SETRA, Mars 2006)

### C4 - Eperons drainants :

Ce sont des systèmes serrés constitués par trois composantes avec un ancrage le long de la pente de talus. Ces trois principales composantes de la structure porteuse d'un éperon drainant sont : Des couches en pierre des gabions formant un écran et un voile en béton pour séparer les parties latérales en matériel drainant.

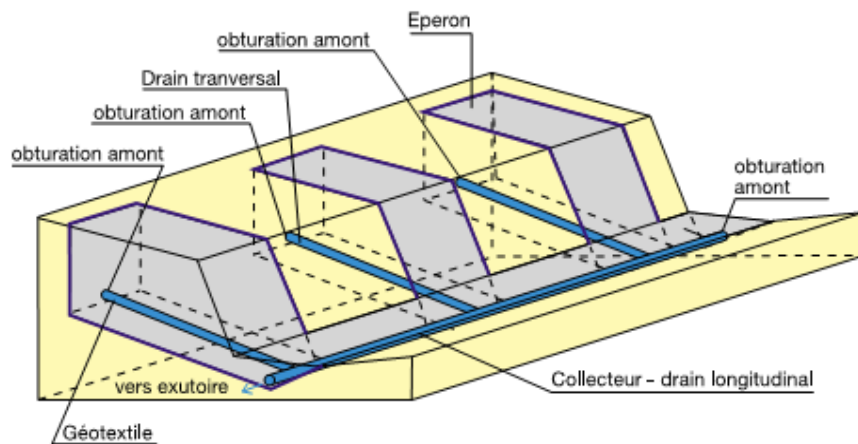


Figure 175 : Eperons drainants

(Source : Guide technique - Drainage routier, SETRA, Mars 2006)

#### C5 - Drains verticaux, puis et galeries drainantes :

Ces sont des techniques de confortement sont rarement adoptés vu leur difficulté d'évacuer les eaux. Il s'agit de réaliser des forages drainants verticaux qui peuvent améliorer le risque de glissement jusqu'à 30%.

Pour que le drainage soit efficace, on procède à forer un réseau de drains subhorizontaux à partir de la galerie qui peuvent par la suite être vides ou remplies par un matériel drainant.

#### C6 - Saignées drainantes :

Le principe de base est indiqué dans le schéma ci-après :

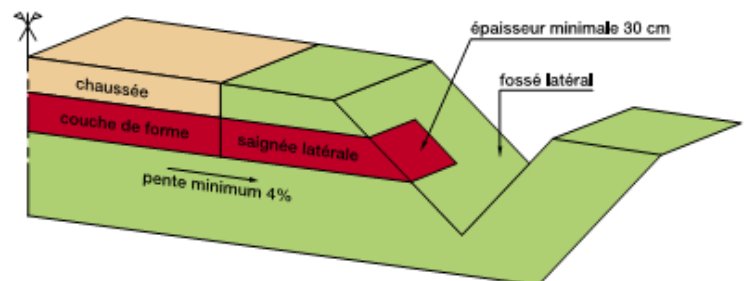


Figure 176 : Saignées drainantes

(Source : Guide technique - Drainage routier, SETRA, Mars 2006)

#### C7 - Epi drainant :

L'épi drainant permet de collecter les eaux selon le principe suivant :

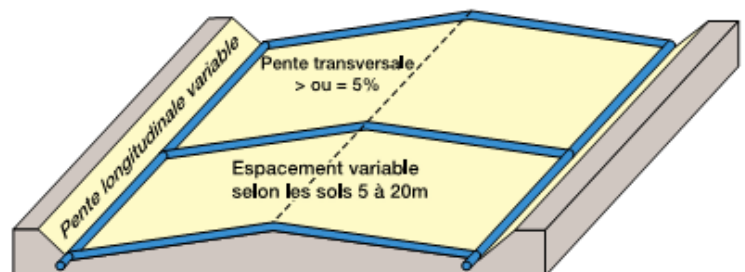


Figure 177 : Epi drainant

(Source : Guide technique - Drainage routier, SETRA, Mars 2006)

**C8 - Massifs drainants :**

Il s'agit d'un dispositif d'évacuation des eaux drainées par des filtres évitant le colmatage en utilisant des matériaux perméables.

**C9 - Couches drainantes :**

Généralement c'est une couche qu'il faut mettre en place dans le cas où le sol support est sensible à l'eau. C'est une couche de forme qui permet aussi de drainer les eaux interceptant la chaussée et elle est constituée par des matériaux perméables.

**C10 - Drains subhorizontaux :**

L'emploi de drains subhorizontaux permet d'améliorer fortement la stabilité des masses de terres peu perméables en captant les eaux. Ce sont des forages remontant équipés de tubes spéciaux (généralement PVC ou des tubes en acier en cas de grands glissements).

Afin que le drain subhorizontal fonctionne correctement, il faut éviter les risques de colmatage (Cf. le schéma suivant).

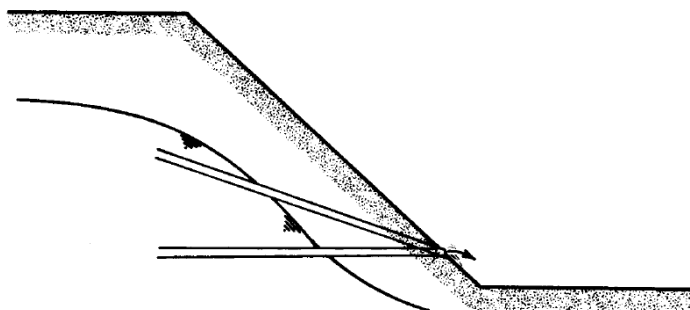


Figure 178: Drains subhorizontaux

(Source : *Méthodes de Confortement des Pentes Instable Application au déblai PK34, Projet de Fin d'Etude de MM. Kamal BELHADJ et Youness CHARIH, EHTP, Casablanca, 2011*)

**D - LA VEGETATION**

La végétation a des rôles positifs dans l'amélioration de la stabilité superficielle des pentes. Elle protège le sol contre l'érosion de la surface à cause de l'écoulement de l'eau de ruissellement. Elle réduit également le ruissellement et le taux d'infiltration des pluies en raison de l'interception et renforce le sol par des racines. Aussi la végétation a pour effet de réduire la teneur en eau du sol et d'augmenter la résistance au cisaillement du sol.

**CONCLUSION**

L'Ingénierie présente ci-dessous une synthèse des différentes méthodes énoncées ci-avant, extraite du Guide technique - Stabilisation des glissements de terrain du LCPC avec notamment un aperçu sur les méthodes de dimensionnement, facteurs de sécurité finaux ainsi que les contraintes d'utilisation.

En complément à ce tableau, il est à noter que le choix d'une solution de confortement doit concilier entre trois principaux paramètres indissociables l'un à l'autre :

- Coût minimal ;
- Faisabilité dans l'état actuel du projet ;
- Exécution dans les plus brefs délais.

Technique	Principe de stabilisation	Moyens techniques	Méthode de dimensionnement	F initial	Contraintes d'utilisation
Soutènements	Apporter un effort stabilisateur horizontal	Ouvrages fixes	Murs fixes : calcul de la longueur de massif mis en butée.	1.50	- ancrer l'ouvrage sous la niveau de rupture
		Ouvrages souples	Murs souples : calcul de stabilité tenant compte de la résistance du mur	1.20	- gérer les circulations d'eau derrière l'ouvrage
Tirants d'ancrage	Apporter un effort stabilisateur horizontal	Torons, barres	Calcul de stabilité en introduisant les efforts stabilisateurs, calcul à la rupture des tirants ( $F = 1.5$ )	1.20	- problème des déplacements de sol (phases de chantier et en service) - associer un bon drainage
Clous	Apporter un effort stabilisateur perpendiculaire à la surface de rupture	Barres, tubes, micropieux	Calcul de stabilité en introduisant les efforts stabilisateurs, calcul à la rupture des clous ( $F = 1.5$ )	1.20 à 1.30	- technicité importante - estimation correcte des interactions sol/inclusions - associer un bon drainage
Pieux	Apporter un effort stabilisateur horizontal	Pieux bétons, profilés H, palplanches	Calcul de stabilité en introduisant les efforts stabilisateurs, calcul à la rupture des pieux ( $F = 1.5$ )	1.10 à 1.20	- technicité importante - estimation correcte des interactions sol/inclusions - associer un bon drainage
Allègement en tête	Rééquilibrage des masses	Déblai	Calcul de stabilité avec la géométrie modifiée	1.20	- accès et emprises nécessaires - assurer la stabilité en amont
Reprofilage	Adoucissement de la pente	Déblai	Calcul de stabilité avec la géométrie modifiée	1.20	- accès et emprises nécessaires - terrassements importants
Purge totale	Le massif est stable après la purge	Déblai	Calcul de stabilité avec la géométrie modifiée	1.50	- s'applique à de petits volumes - protection de la surface mise à nu - assurer la stabilité en amont
Substitution totale	Apport de matériau de meilleure résistance	Déblai, remblai	Calcul de stabilité avec les caractéristiques du matériau de substitution	1.50	- terrassements importants - ancrer sous la surface de rupture - travail par plots
Substitution partielle : bêche, contrefort, éperon, masque	Apport de matériau de meilleure résistance	Déblai, remblai	Calcul de stabilité avec les caractéristiques du matériau initial et de celui de substitution	1.20	- ancrer sous la surface de rupture - travail par plots - gérer le drainage
Butée de pied	Rééquilibrage des masses	Remblai	Calcul de stabilité avec la géométrie modifiée	1.20 à 1.30	- accès et emprises nécessaires - présence d'un horizon résistant à faible profondeur - assurer la stabilité en aval
Collecte et canalisation des eaux de surface	Limiter les pressions interstitielles	Cunettes, drains agricoles	Calcul de stabilité avec le champ de pressions interstitielles estimé après drainage	1.30	- implique une surface supérieure à celle du glissement - entretien indispensable
Tranchées drainantes	Diminuer les pressions interstitielles	Trancheuse, haveuse, pelle	Calcul de stabilité avec le champ de pressions interstitielles estimé après drainage	1.30	- connaissance préliminaire du réseau d'écoulement - entretien indispensable
Drains profonds	Diminuer les pressions interstitielles	Drains verticaux, puits, galeries	Calcul de stabilité avec le champ de pressions interstitielles estimé après drainage	1.30	- connaissance préliminaire du réseau d'écoulement - entretien indispensable
Drains subhorizontaux	Diminuer les pressions interstitielles	Drains plastiques, moyens de forage	Calcul de stabilité avec le champ de pressions interstitielles estimé après drainage	1.30	- connaissance préliminaire du réseau d'écoulement - vérification du rabattement - entretien indispensable

Tableau 241 : Synthèse des différentes techniques de stabilisation des glissements de terrain

(Source : Guide technique - Stabilisation des glissements de terrain, LCPC, 1998)

### 9.2.2. Les Instabilités Rocheuses

Cette problématique a été également constatée sur les tronçons routiers visités, notamment aux points suivants :

- RR 508 : cette instabilité est relevée au PK 104+800 avec des blocs détachés de grande dimension (voire décamétrique) causent la coupure de trafic ;



Figure 179 : Instabilité rocheuse au PK 104+800 de la RR 508

- RN 2 : la zone la plus marquée par cette problématique est sise entre les PK 142+200 et 143+900. Il s'agit d'une zone à risque de chute de blocs de taille métrique provenant de la dislocation de la dorsale calcaire formant le relief ;



Figure 180 : Chute de blocs de pierre entre les PK 142+200 et 143+900 de la RN 2



- RR 106 : le PK 94+500 correspond à une zone d'éboulement où la chaussée a été dégradée suite à la chute de blocs fracturés et détachés en dièdre, dont la taille est d'ordre métrique ;



Figure 181 : Zone d'éboulement au PK 94+500 de la RR 106

- RR 706 : la chute de pierre est constatée au PK 43+100 où on observe un écroulement de blocs métriques avec colmatage de l'accotement déblai par des éboulis à blocs, et ce sur environ 200 m ;



Figure 182 : Chute de pierre au PK 43+100 de la RR 706

#### 9.2.2.1. LES DIFFERENTS TYPES ET CAUSES D'INSTABILITES ROCHEUSES

Contrairement aux sols, les paramètres géo-mécaniques régissant le comportement des masses rocheuses ne peuvent pas être mesurés uniquement par des essais en laboratoire et/ou des essais in situ.

Le comportement d'une masse rocheuse est régi essentiellement par :

- La résistance de la roche intacte ;
- Le degré de fracturation (espacement des joints),
- L'état des joints (joints non altérés rugueux ou joints de roche altérée avec remplissage argileux ;

- L'orientation des joints ;
- L'état de contrainte, comportement non linéaire de la résistance, les paramètres de résistance  $\phi$  et  $c$  de la masse rocheuse dépendant de l'état de contrainte du massif;
- La présence ou non d'une nappe qui a pour effet de diminuer les contraintes effectives de contact dans les joints.

Lorsque l'analyse de stabilité d'une masse rocheuse est entreprise, il y a lieu de faire un relevé géologique détaillé sur place pour déterminer la direction, le pendage des couches, les familles de joints, leur direction, leur orientation, leur état et d'effectuer des forages de reconnaissance au carottier double afin d'avoir à des endroits appropriés, un relevé continu de la masse rocheuse qui sera excavée.

Le relevé détaillé des forages va permettre :

- de connaître les formations traversées d'après leur nature ;
- de prélever des échantillons de roche dans chaque formation pour déterminer en laboratoire la résistance de la roche intacte ;
- de faire un relevé détaillé du RQD (Rock Quality Designation) du profil et de le corrélérer au degré de fracturation de la roche ;
- d'inspecter l'état des joints, leur degré d'altération, la nature du remplissage éventuel.

Des échantillons au droit des joints pourront être prélevés pour effectuer en laboratoire des essais de cisaillement sur joint afin de connaître les paramètres de résistance ( $\phi$  et  $c$ ) au droit des joints.

#### 9.2.2.2. LES SOLUTIONS DE CONFORTEMENT

L'étude de ces instabilités au Maroc est récente, de ce fait les solutions généralement utilisées ne sont pas aussi nombreuses que celles préconisées pour le confortement des glissements de terrain. Ainsi l'Ingénierie a recensé principalement 2 techniques qui peuvent quelquefois être combinées.

##### **Clouage :**

Après dégagement des masses instables, on réalise un clouage perpendiculaire au pendage (longueur de clous 4m) + grillage:

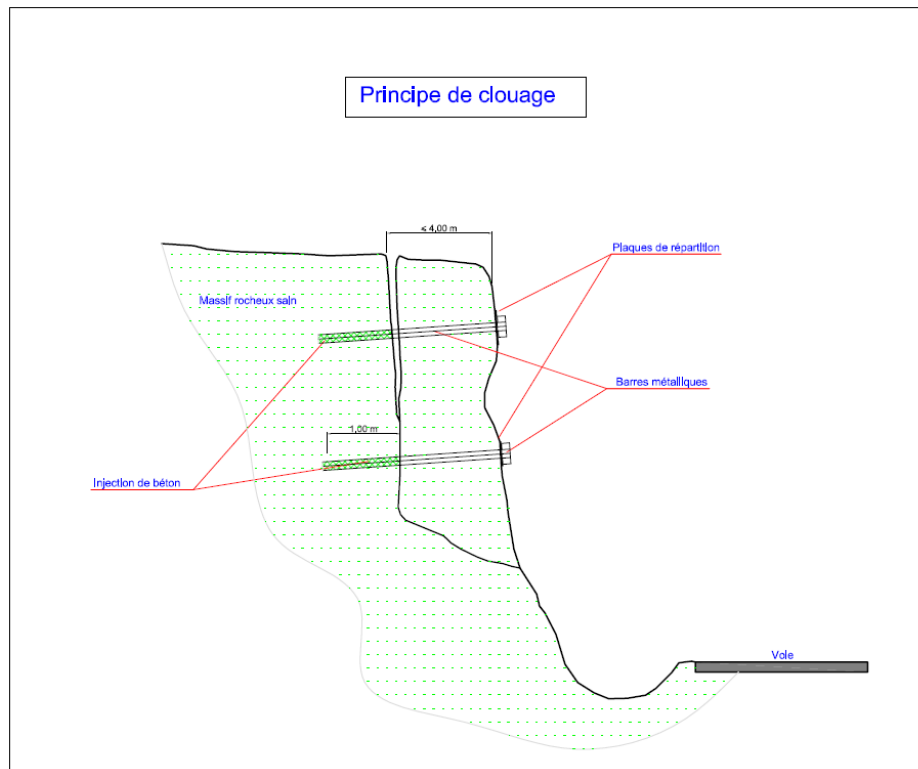


Figure 183 : Type de talus traité au sud du Maroc avec des filets et grillage

(Source : *Méthodes de Confortement des Pentcs Instable Application au déblai PK34, Projet de Fin d'Etude de MM. Kamal BELHADJ et Youness CHARIH, EHTP, Casablanca, 2011*)

**Grillage :**

La technique de clouage est une intervention localisée, mais lorsque les zones instables sont plus étendues l'utilisation d'un grillage comportant des câbles verticaux, horizontaux et/ou diagonaux peut être une solution intéressante pour retenir les blocs de pierre instables.



Figure 184 : Grillage de stabilisation de blocs de pierre instables

(Photo : Tecco maille pente renfort filet éboulement des systèmes de Protection)

La figure suivante illustre le détail de mise en place de cette solution en combinant les clous, le filet et les différents câbles.

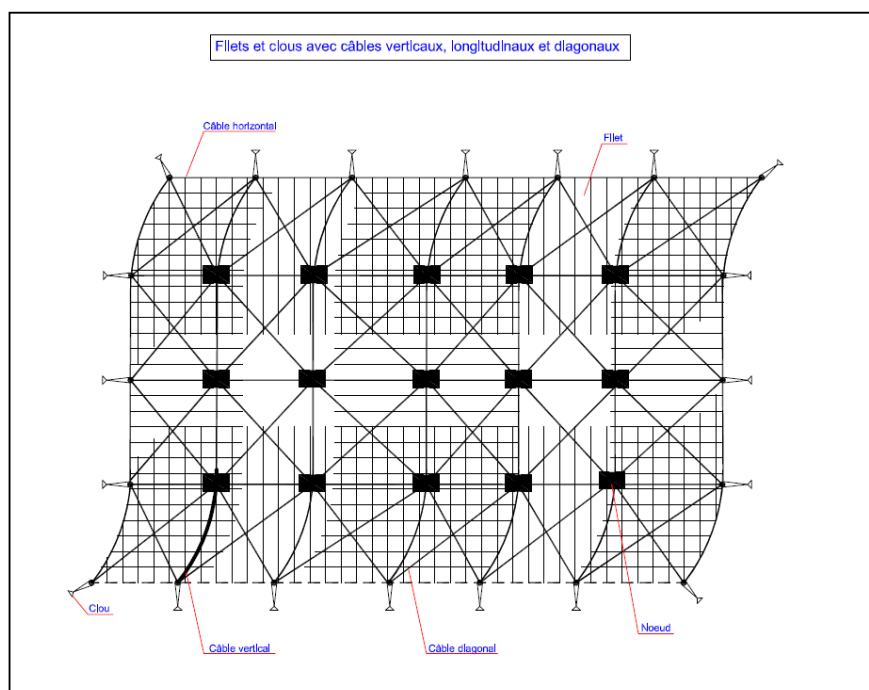


Figure 185: Filets et clous avec câbles verticaux, longitudinaux et diagonaux

(Source : Méthodes de Confortement des Pentes Instable Application au déblai PK34, Projet de Fin d'Etude de MM. Kamal BELHADJ et Youness CHARIH, EHTP, Casablanca, 2011)

### 9.2.3. La prévision et l'alerte

Il existe des méthodes pour la mesure des instabilités rocheuses ainsi que des déplacements via une instrumentation adaptée, et des capteurs appropriés.

Ainsi pour les glissements de terrain, des inclinomètres 3D peuvent être prévus sur les points sensibles avec des systèmes de mesure et de transmission par message SMS ou Radio VHF, utilisant des relais existants ou à installer et permettant d'envoyer des messages d'alerte suivant des seuils de dégradation.

Ainsi pour les instabilités rocheuses, des fissuromètres, clinomètres ou extensomètres peuvent être prévus également de façon à permettre d'envoyer des messages d'alerte pour des seuils de déformation.

Ces seuils pourront être établis de manière à correspondre à des niveaux de vigilance (vert, jaune, orange et rouge), à l'image de ce qui se pratique pour les crues.

L'utilisation des relais existants du réseau de télémesure des ABH peut être envisagée, et nécessiterait a priori une collaboration à l'image de ce qui peut être entamé pour l'annonce et prévision des crues.

On notera toutefois que ces techniques ne sont pas très utilisées au Maroc, car elles sont souvent coûteuses et adaptées uniquement au cas de sites très sensibles et/ou dont le coût d'investissement est élevé (à titre d'exemple le coût d'acquisition et d'installation d'un inclinomètre est autour de 25 000 DHS). Il est en effet plus pratique et moins cher de programmer des opérations de suivi ou d'auscultations, à l'image de ce qui se fait pour les barrages, pour suivre de manière régulière et périodique l'évolution des désordres dans le temps, avant, pendant et après mise en place des aménagements de confortement.

Ce suivi peut même servir à identifier les blocs qui ont la plus grande probabilité de chuter sur la route, et de les traiter en priorité.

La périodicité de ces suivis varie suivant la sensibilité de l'ouvrage à proximité : à titre d'exemple pour un remblai de la voie ferrée en service, des mesures hebdomadaires sont préconisées

Dans le cas des instabilités rocheuses, celle-ci varie en fonction du degré d'instabilité, et la présence ou non de sur largeur d'accotement suffisante pour constituer un piège à cailloux pour les éboulis. Les mesures peuvent donc être hebdomadaires à mensuelles. En termes de coût, il faut compter environ 5000 DHS par intervention d'un technicien du laboratoire (mesure + rapport).

### 9.2.4. L'érosion des couches superficielles

L'érosion constatée est principalement due aux circulations d'eau et au défaut de cimentation naturelle des horizons en contact avec la surface.

Ces désordres sont constatés sur la RR 508 au PK 84+000 par exemple où les schistes érodées colmatent le fossé de pied de déblai. Ils sont notamment relevés au PK 50+300 de la RR 706.





Figure 186 : Erosion du talus de déblai au PK 84+000 de la RR 508



Figure 187 : Erosion du talus de déblai au PK 50+300 de la RR 706

Afin de protéger ces horizons et limiter le mécanisme d'érosion, une mise en œuvre d'un béton projeté armé de treillis soudé associés éventuellement à des courts ancrages ou scellements des armatures dans la roche saine pourrait être une solution. Afin de drainer toute venue d'eau éventuelle, une mise en place de barbacanes pourrait être envisageable.

Les confortements pourraient se réaliser en plusieurs phases et comporter les opérations suivantes après nettoyage:

- Application d'une première couche de béton projeté par voie humide de 3 à 5 cm d'épaisseur ;
- Exécution d'ancrages ou trous de scellement et mise en place de treillis soudé (ainsi que des barres de scellements) ;
- Application d'une deuxième couche de béton par voie humide également (éventuellement de plusieurs couches et un autre treillis soudé en fonction de la présence ou non des cavités) ;

L'ancrage, s'il a lieu, doit être fixé au droit des zones de treillis renforcées avec mise en place d'une plaque de répartition de contrainte et doit être réalisé selon les recommandations du Clouter 95.

Le coulis ainsi que le type de béton doit tenir compte de l'agressivité éventuelle du terrain.

## 9.2.5. Les Ravinements

### 9.2.5.1. LES DIFFERENTS TYPES ET CAUSES DE RAVINEMENTS

Lors des journées de visite, il a été constaté des signes de circulation d'eau qui ont conduit à des ravinelements entraînant le sol en place vers la cunette de circulation d'eau (si elles sont présentes).

On observe ces désordres par exemple au PK 50+600 de la RR 508 où le talus de déblai présente une marne très érodable qui comble l'accotement comme le montre la figure suivante :



Figure 188 : Ravinelements du talus de déblai au PK 50+600 de la RR 508

Cette accumulation de sol crée des obstacles au niveau de ces cunettes et des débordements sur les chaussées routières.

En effet, lorsque l'eau qui ruisselle prend de la vitesse et se concentre dans certains canaux d'écoulement, elle peut éroder des quantités de sol importantes dans ces canaux, créant ainsi des rigoles ou des ravines.

Un examen de la surface du sol permettra de repérer les zones affectées, particulièrement après des périodes de fortes pluies.

La sélection de solutions appropriées passe par l'identification des causes du ravinement.

### 9.2.5.2. LES SOLUTIONS CONTRE LE RAVINEMENT

Le ravinement constaté est principalement dû aux circulations des eaux de ruissellement.

Les solutions visent à :

- réduire le volume et les débits d'eau ruisselée ;
- modifier la pente du terrain, intercepter et diriger le ruissellement de surface de façon à réduire sa vitesse ;
- améliorer la structure du sol et protéger sa surface (par implantation de la végétation ou reboisement par exemple) pour augmenter sa résistance à l'érosion.

Dans les zones de concentration du ruissellement où l'eau s'écoule rapidement, le ravinement pourra être évité par l'installation d'une voie d'eau sous forme de cunettes (en pente suivant le talus). Ces cunettes seront installées au niveau des zones naturellement creusées et seront reliées à une fente retenant les eaux de ruissèlement surfacique au niveau de la crête du remblai.

L'utilisation du génie végétal est également une possibilité permettant de réduire les phénomènes de ravinement et de traitements paysagers. Cette technique est présentée en détails ci-après.

#### 9.2.5.2.1. LE GENIE VEGETAL

La naissance de futurs équilibres entre l'infrastructure et son environnement nécessite des études pluridisciplinaires sur les paysages nouvellement créés. Ces opérations permettraient, en plus de la stabilité technique de l'ouvrage, son intégration dans le paysage et une meilleure fonctionnalité améliorée.

C'est dans ce sens qu'ADM a mené en collaboration avec l'INRA, l'IAV Hassan II et les Eaux et Forêts, des travaux de recherche sur les trois thèmes suivants :

- La palette végétale adaptée aux milieux pédoclimatiques pour chaque tronçon d'autoroute ;
- Les séquences paysagères pour l'aménagement des axes autoroutiers ;
- Les termes de références d'élaboration des CPS (Cahier de Prescriptions Spéciales) de plantation des dépendances vertes de l'autoroute.

L'ingénierie propose ci-dessous, de rappeler l'expérience d'ADM recueilli dans le document « Comment concilier paysage et lutte contre l'érosion: le choix des palettes végétales adaptées ? N. Tlemçani, A. Mouissat, C. Alfaiz, A. Derraji, J. Bliidi, Martin Tampe » dans le domaine du génie végétal, et les opportunités d'exploiter ce retour d'expérience dans la présente étude.

#### **METHODOLOGIE**

- LA PALETTE VEGETALE ADAPTEE AUX MILIEUX PEDOCLIMATIQUES DE CHAQUE TRONÇON D'AUTOROUTE.

Pour assurer l'adaptation et permettre le choix des espèces végétales pour la plantation des TPC et des abords autoroutiers créés par le terrassement, des essais d'aménagement végétal ont été réalisés dans le cadre d'un programme de recherche multi-institutionnel ADM-INRA-IAV Hassan II- Eaux et Forêts.

Ces expérimentations avaient comme but faire apparaître les espèces végétales adaptées aux divers milieux traversés par les axes autoroutiers. Il a été tenu compte des servitudes liées à l'ouvrage et des conditions éco-physiologiques déterminant la série végétale à impliquer dans la plantation des abords de l'autoroute. L'objectif de ces plantations est d'assurer, en plus de la stabilisation des sols, une variation paysagère du parcours avec un entretien minimisé. Les résultats de ces études devraient constituer des éléments de base pour la mise en place des plans d'aménagements paysagers du parcours autoroutier. Le choix des sites expérimentaux représentatifs a été fait suivant le faciès écologique et la série de végétation correspondante ainsi que les consignes de sécurité routière.

Le niveau des difficultés de plantation a entraîné le choix des situations de grandes difficultés pour la mise en place d'un couvert végétal : il s'agit des talus en déblais ou en remblais à pente forte et grande dénivelée.

Lors du choix du site, il a été également pris en considération la présence d'un TPC, la proximité d'un cours d'eau pour un arrosage éventuel pour passer le cap du premier été après installation, et après le site sera autonome ne recevant que les apports des pluies annuelles. L'éloignement des agglomérations a également été considéré pour éviter un effet anthropique sur les expérimentations.

Ainsi 6 sites ont été choisis : 3 sis sur l'axe autoroutier Rabat-Fès et 3 sur celui de Rabat-Tanger, avec variantes plantations ou semis ou les deux à la fois. Les sites sont de forme de transects d'une centaine de mètres de long, comprenant les talus des deux côtés de l'autoroute et le TPC.

Trois autres essais ont été également réalisés.

- Un essai de végétalisation par hydroseeding effectué sur les talus de déblais du site de Khémisset au PK 74.
- Un essai de mulching réalisé sur les talus de remblais entre Casablanca et Had Soualem. Un essai de semences sur paillage et sur roseaux des talus de déblais près d'Asilah a également été expérimenté.

➤ CARACTERISTIQUES DES SITES RETENUS POUR RECEVOIR LES ESSAIS DE PLANTATION.

Site	TD	VD	M O	N	P	K	Ca CO3	pH	SE
Rabat-Fès PK 25 Site de Tifelt	Sab	<i>Agrostis salmantica</i>	---	-	-	++ +	--	neutre	++
Rabat-Fès PK 91 Site Oued El Kell	Cal	<i>Centora diluta</i>	---	+	+	++ +	++	élevé	+
Rabat-Fès PK 138 Site Oued Ouislane	Cal	<i>Hirchfeldia incana</i>	+	-	-	++	++	élevé	-
Rabat- Tanger PK 39 Site de Kénitra	Sab	<i>Chamaerops humilis</i>	---	-	--	++	--	neutre	++
Rabat- Tanger PK 78 Site de Mnasra	Sab	<i>Koeleria pubescens</i>	---	-	+	++	++	élevé	+++
Rabat- Tanger PK 128 Site Oued Soueir	Sab	<i>Cynodon dactylon</i>	---	-	+	++	-	élevé	+++
Rabat- Tanger PK 167 Site de Khhmiss Sahel	Sab	<i>Tolpis barbata</i>	---	-	--	+	-	acide	+++

SE: Sensibilité à l'érosion VD: Végétation dominante TD: Texture dominante

- : moyennement faible + : moyennement riche Sab : Sablonneux

-- : faible ++ : riche Cal : Calcaire

---: très faible +++: très riche

Tableau 242 : Synthèse des caractéristiques des sites

(Source : Comment concilier paysage et lutte contre l'érosion: le choix des palettes végétales adaptées?, N. Tlemçani, A. Mouissat, C. Alfaiz, A. Derraji, J. Blidi, Martin Tampe)

## RESULTATS ET INTERPRETATIONS.

12 ans après l'installation des essais, sans apport ni intervention sur les plantations à part l'arrosage de mise en terre et durant l'été de la première année, les appréciations suivantes ont pu être émises.

## ➤ LISTE DES ESPECES PLANTEES OU SEMEES INITIALEMENT ET AYANT PERSISTE

Végétation	Espèces	Etat de survie	Observation
Arbres	<i>Acacia cyclops</i>	+++	Espèce vieillissante, à renouveler
	<i>Pin d'Alep</i>	++	
	<i>Parkinsonia</i>	++	
	<i>Chêne vert</i>	-	
	<i>Pistachia lentiscus</i>	+++	
Arbustes	<i>Cistus salvifolius</i>	+	Toutes ces espèces arbustives sont bien adaptées mais initialement plantées en petit nombre. Leur semis est possible avec une densité plus élevée. Elles pourront ainsi densément couvrir le talus
	<i>Cytisus arboreus</i>	+	
	<i>Telinde linuifolia</i>	++	
	<i>Anagyris foetida</i>	-	
	<i>Retama monosperma</i>	++	
	<i>Lavandula stoechas</i>	+	
Couvres sol	<i>Oryzopsis milicea</i>	++	Revoir la densité de semis à la hausse.
	<i>Cenchrus ciliaris</i>	-	
	<i>Sanguisorba minor</i>	-	
	<i>Cynodon dactylon</i>	++	

Tableau 243 : Diagnostic des espèces végétales utilisées – Site Tiflet

(Source : Comment concilier paysage et lutte contre l'érosion: le choix des palettes végétales adaptées?, N. Tlemçani, A. Mouissat, C. Alfaiz, A. Derraji, J. Blidi, Martin Tampe)

Végétation	Espèces	Etat de survie	Observation
Arbres	<i>Arganisa spinosa</i>	+	1 pied planté et persistant
	<i>Pinus halepensis</i>	+++	
	<i>Pistacia lentiscus</i>	+++	
	<i>Quercus ilex</i>	+	
	<i>Tetraclinis articulata</i>	++	
Arbustes	<i>Acacia cyclops</i>	++	Moins adapté
	<i>Atriplex halimus</i>	++	
	<i>Atriplex nummularia</i>	+++	
	<i>Cytisus arboreus</i>	++	
	<i>Olea oleaster</i>	++	
	<i>Retama monosperma</i>	+	
	<i>Spartium junceum</i>	+	
	<i>Anagyris foetida</i>	++	
Couvres sol	<i>Oryzopsis milicea</i>	++	
	<i>Cenchrus ciliaris</i>	-	
	<i>Sanguisorba minor</i>	+	
	<i>Cymbopogon choenanthus</i>	-	

Tableau 244 : Diagnostic des espèces végétales utilisées – Site Tiflet

(Source : Comment concilier paysage et lutte contre l'érosion: le choix des palettes végétales adaptées?, N. Tlemçani, A. Mouissat, C. Alfaiz, A. Derraji, J. Blidi, Martin Tampe)





*Etat des talus et TPC du site de l'oued El Kell 12 ans après*

*Etat des talus du site de l'oued Ouislane 12 ans après plantation*

Figure 189 : Evolution des talus plantés – Oueds El Kell et Ouislane

(Source : Comment concilier paysage et lutte contre l'érosion: le choix des palettes végétales adaptées?, N. Tlemçani, A. Mouissat, C. Alfaiz, A. Derraji, J. Blidi, Martin Tampe)

Végétation	Espèces	Etat de survie	Observation
<b>Arbres</b>	<i>Pin d'Alep</i>	++	Croissance lente mais intéressante. A suivre de près.
	<i>Parkinsonia aculeata</i>	++	
	<i>Quercus suber</i>	++	
	<i>Pistachia lentiscus</i>	+	
	<i>Olea oleaster</i>	+++	
<b>Arbustes</b>	<i>Acacia cyclops</i>	+++	Belle floraison n'est pas dans son habitat naturel  A semer plus densément
	<i>Anagyris faetida</i>	++	
	<i>Cistus salvifolius</i>	+	
	<i>Cytisus trifolius</i>	-	
	<i>Teline linifolia</i>	+	
	<i>Retama monosperma</i>	+++	
	<i>Atriplex nummularia</i>	++	
	<i>Spartium junceum</i>	-	
<i>Lavandula stoekas</i>	-		
<b>Couvres sol</b>	<i>Orysopsis milicea</i>	++	A semer plus densément
	<i>Cenchrus ciliaris</i>	-	
	<i>Sanguisorba minor</i>	++	
	<i>Cymbopogon choenanthus</i>	-	

Tableau 245 : Diagnostic des espèces végétales utilisées – Site Oued Ouislane

(Source : Comment concilier paysage et lutte contre l'érosion: le choix des palettes végétales adaptées?, N. Tlemçani, A. Mouissat, C. Alfaiz, A. Derraji, J. Blidi, Martin Tampe)

végétation	Espèces	Etat de survie
Arbres	<i>Tetraclinis articulata</i>	-
	<i>Gleditsia triacanthos</i>	-
Arbustes	<i>Coronaria glauca</i>	+++
	<i>Rosa canina</i>	-
	<i>Spartium junceum</i>	++
	<i>Atriplex halimus</i>	+++
	<i>Atriplex nummularia</i>	+++
	<i>Atriplex semi baccata</i>	-
	<i>Medicago arborea</i>	++
	<i>Retama monosperma</i>	+++
Couvres sol	<i>Brachypodium phoenicoides</i>	-
	<i>Bromus erectus</i>	+
	<i>Cynodon dactylon</i>	-
	<i>Dactylis glomerata</i>	-
	<i>Festuca ovina</i>	-
	<i>Festuca rubra</i>	-
	<i>Festuca arundinacea</i>	-
	<i>Lolium perenne</i>	?
	<i>Lolium italicum</i>	?
	<i>Lotus corniculatus</i>	?
	<i>Medicago polymorpha</i>	-
	<i>Onobrychis vicifolia</i>	?
	<i>Achillea mellifolium</i>	?
	<i>Cichorium inthybus</i>	-
	<i>Lavatera trimestris</i>	-
	<i>Plantago coronopus</i>	-
	<i>Plantago sempervirens</i>	++
	<i>Plantago lanceolata</i>	++
	<i>Sanguisorba minor</i>	+
	<i>Saponaria ocymoides</i>	-
<i>Salvia officinalis</i>	-	

Tableau 246 : Diagnostic des espèces végétales utilisées – Site Khémissat PK74-PK82 (végétalisée par hydroseeding)

(Source : Comment concilier paysage et lutte contre l'érosion: le choix des palettes végétales adaptées?, N. Tlemçani, A. Mouissat, C. Alfaiz, A. Derraji, J. Bliidi, Martin Tampe)



Végétalisation par hydroseeding

1 an après hydroseeding



12 ans après hydroseeding

Figure 190 : Evolution des talus traités – Site Khémissat

(Source : Comment concilier paysage et lutte contre l'érosion: le choix des palettes végétales adaptées?, N. Tlemçani, A. Mouissat, C. Alfaiz, A. Derraji, J. Blidi, Martin Tampe)

Végétation	Espèces	Etat de survie	Observation
Arbres	<i>Eucalyptus gonfocephala</i>	+++	A éloigner de la chaussée
Arbustes	<i>Acacia cyclops</i>	+++	Inadaptée
	<i>Tamarix</i>	++	
	<i>Acacia spinosa</i>	-	
	<i>Retama monosperma</i>	+++	
	<i>Atriplex nummularia</i>	+++	Disparu à cause du gel
<i>Myoporum lateum</i>	-		

Tableau 247 : Diagnostic des espèces végétales utilisées – Site Mnasra

(Source : Comment concilier paysage et lutte contre l'érosion: le choix des palettes végétales adaptées?, N. Tlemçani, A. Mouissat, C. Alfaiz, A. Derraji, J. Blidi, Martin Tampe)

Végétation	Espèces	Etat de survie
Arbres	<i>Eucalyptus gonfocephala</i>	+++
	<i>Pinus pinaster</i>	++
	<i>Casuarina excelsa</i>	++
	<i>Quercus suber</i>	++
Arbustes	<i>Atriplex halimus</i>	-
	<i>Acacia Cyclops</i>	++
	<i>Acacia horida</i>	+++
	<i>Halimium halimifolium</i>	++
	<i>Cistus salvifolius</i>	++
	<i>Teline linifolia</i>	+
	<i>Retama monosperma</i>	-
	<i>Spartium junceum</i>	-

Tableau 248 : Diagnostic des espèces végétales utilisées – Site Khemis Sahel

(Source : *Comment concilier paysage et lutte contre l'érosion: le choix des palettes végétales adaptées?*, N. Tlemçani, A. Mouissat, C. Alfaiz, A. Derraji, J. Blidi, Martin Tampe)

➤ ESSAI DE CORRECTION PAR GEOTEXTILE SUR LE SITE DE KENITRA AU PK 39

Dans certain talus, en dépit de la végétation, l'érosion a creusé des ravineurs de grande profondeur qui ont compromis toute installation de végétaux. Ces dégradations de talus offrent un spectacle désolant pour les usagers de l'autoroute et perturbent quelquefois le fonctionnement des ouvrages hydrauliques.

Dans le but de corriger cette érosion, ADM a tenté des expériences de consolidation momentanée par toile géotextile, paillage par mulching, paille ou panneaux de roseaux.



*Installation Terre végétale, semis, engrais et géotextile*



*Plantation sur géotextile*



Figure 191 : Evolution des talus traités – Site Kénitra

(Source : *Comment concilier paysage et lutte contre l'érosion: le choix des palettes végétales adaptées?*, N. Tlemçani, A. Mouissat, C. Alfaiz, A. Derraji, J. Blidi, Martin Tampe)

Ce dispositif a été mis en place sur un talus en sable argileux rouge de l'autoroute Rabat-Tanger. La hauteur du talus est de 17 m et la longueur est de 30 m.

Les ravinements ont été traités et comblés par des pierres puis par de la terre de la forêt de la Maâmora située à proximité. La surface du talus a été nivelée par la terre végétal avec un apport de la fumure organique et minéral sous forme de l'ammonitrate puis semés sur une largeur de 20 m.

Les 10 m restants non semés, ont fait office de témoin. La toile de jute a été posée le long du talus et sa stabilité assurée par des crochets au sol puis plantée par des arbustes.

➤ ESSAI DE MULCHING SUR LE SITE EN REMBLAIS ENTRE CASABLANCA-HAD SOUALEM

Le paillage consiste à appliquer une couche protectrice de paille ou autre matériel de même type pour couvrir la surface du sol. Il peut être utilisé en combinaison avec des semences pour l'établissement de la végétation temporaire ou permanente.

Le paillage est communément utilisé en tant que mesure temporaire pour protéger une surface de sol non semé nu ou perturbé.

La paille est un excellent matériel à cause de sa longueur et sa texture lorsqu'elle est disposée en vrac. Elle est très efficace pour réduire l'impact des gouttes de pluie et pour modérer le microclimat de la surface du sol. Les techniques d'installation sont :

- Rendre rugueux la surface de la pente avec un passage du bulldozer à chenille ;
- Épandre des semences et engrais (1 quintal par hectare de l'engrais composé 14-28-14) ;
- Épandre de la paille sur la surface pour constituer une couche uniforme d'environ 7 à 8 cm d'épaisseur. (Environ 10 Tonnes par hectare soit environ 400 à 500 balles de paille par hectare) ;
- Enfoncer la paille dans le sol par un mouvement de va et vient du bulldozer à chenille sur toute la hauteur du talus et dans le sens de la pente.





Figure 192 : Evolution des talus traités – Site Had Soualem

(Source : Comment concilier paysage et lutte contre l'érosion: le choix des palettes végétales adaptées?, N. Tlemçani, A. Mouissat, C. Alfaiz, A. Derraji, J. Blidi, Martin Tampe)

➤ ESSAI DE PAILLAGE ET DE ROSEAU SUR LES TALUS EN DELAIS DU SITE D'ASILAH

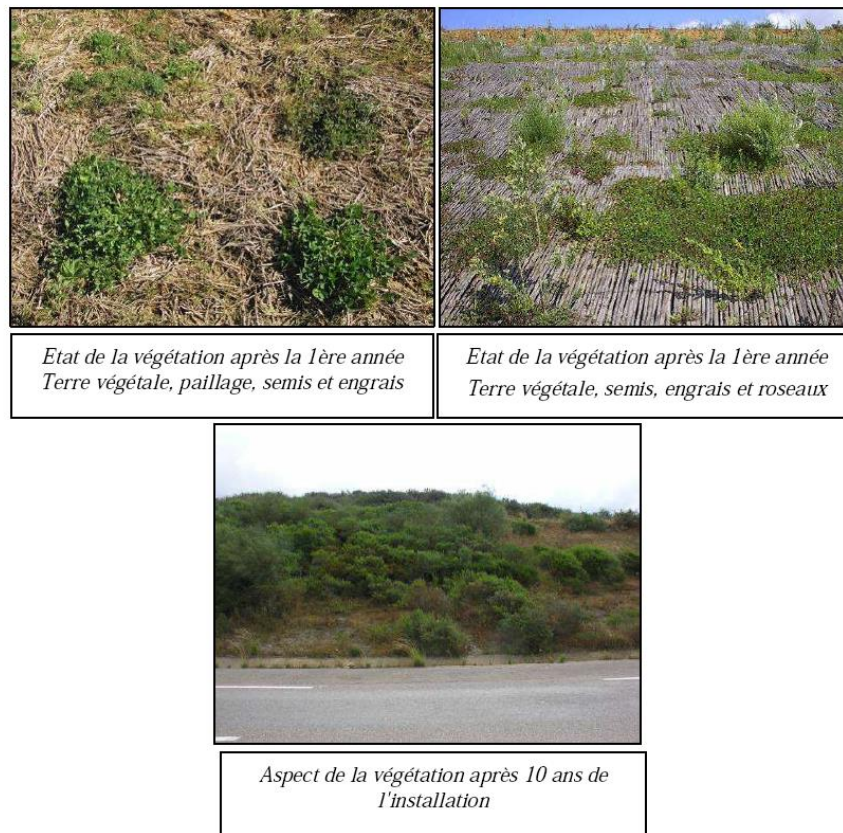


Figure 193 : Evolution des talus traités – Site Asilah

*(Source : Comment concilier paysage et lutte contre l'érosion: le choix des palettes végétales adaptées?, N. Tlemçani, A. Mouissat, C. Alfaiz, A. Derraji, J. Blidi, Martin Tampe)*

Le paillage a pour but de stabiliser des sols temporairement nus ou dérangés. Il constitue une protection de la surface du sol des impacts des gouttes de pluie, augmente l'infiltration, l'humidité et empêche le compactage ou l'encroûtement.

Le fait de pailler permet aussi de stimuler la croissance de la végétation en protégeant les graines des prédateurs, en réduisant l'évaporation, et améliorant la fertilité du sol.

Les régions paillées nécessitent d'une inspection après les grandes tempêtes de pluie ou de vent violent pour s'assurer qu'une couverture convenable est encore en place. Les régions nues ayant subi une érosion peuvent avoir besoin d'être repaillées le temps d'installation du couvert végétal.

Les résultats obtenus montrent qu'après les premières pluies, il a été constaté la levée en premier lieu des graminées à travers les supports du paillage. La toile de jute, la paille, les panneaux de roseaux et le mulching ont bien protégé le sol.

### CONCLUSIONS ET PISTES D'EXPLOITATION POUR LES 4 TRONÇONS ROUTIERS ETUDIÉS

Le retour d'expérience d'ADM a mis en exergue que les techniques expérimentées par ADM ont toutes prouvé leur efficacité au fil des années et ont permis de conclure que :

- **L'Hydroseeding** à adopter dans les talus à pente raide ou à forte proportion de roche. Les conditions pluviométriques doivent impérativement être favorables et le choix d'espèces très judicieux ;
- **L'ancrage de la paille avec un engin à chenille**, à généraliser sur pente douce avec semis d'espèces semées adaptées. A procéder de préférence au moment du chantier ;
- **Le jute ou le roseau** à adopter pour réhabiliter des talus dégradés dans des conditions d'agressivité du milieu maximales (pluie excessives, substrat très friable). Le roseau reste toutefois moins coûteux à acquérir et plus facile à installer ;
- **La plantation** à adopter seule ou en combinaison avec les méthodes énoncées : C'est une méthode coûteuse mais elle reste efficace, surtout pour les talus à risque et quand aucune des méthodes précédentes ne se prête au milieu considéré. C'est également une méthode d'urgence, qui nécessite un choix harmonieux des espèces, de leur emplacement sur le talus (haut, milieu ou bas du talus) et la densité idéale.

En outre il est à souligner que le choix des méthodes à privilégier dépend de :

- L'état initial de dégradation du talus reflétant l'urgence de l'intervention ;
- L'exposition et la nature physique du talus ;
- Les conditions pédoclimatiques et climatiques du site ;
- Le contexte paysager où se situe le talus ;
- Les coûts à engager.

La liste des plantations à préconiser peut être définie après un inventaire de la végétation de la région de l'écosystème traversé et après réalisation des essais sur un échantillon sélectionné.

Pour le cas des régions étudiées, en l'absence d'essais réalisés spécifiquement dans nos 4 tronçons étudiés, on peut s'inspirer des études réalisées dans ce sens et chercher les conditions et les paramètres similaires rentrant dans ce choix afin d'adopter les implantations adéquates permettant de limiter l'érosion pluviale d'une façon surfacique.

Ainsi, sur la base du retour d'expérience recueillie dans le guide d'ADM, les recommandations suivantes peuvent être une base de départ (à confirmer par des essais) :

- Pour un reboisement rapide et urgent favoriser les espèces de type *Accacia cyanophylla*, *Eucalyptus gonfocephala* (talus de remblai) ;
- Pour des situations où le souci essentiel est de stabiliser un talus en lui donnant un aspect paysager positif, le Pin maritime et le Genêt d'Espagne constitueraient des éléments dominants de la couverture du talus. Une densité de plantation excessive permettrait a priori une couverture maximale du sol et une croissance en hauteur moins élevée des arbres et arbustes ;
- Pour les zones plus arides et à sols pauvres ou marginaux : *Atriplex halimus* + *Retama monosperma*+ *Acacia cyclops* et l'*Olea oleaster* constituent une combinaison parfaite ;
- Plus on plante tôt à l'automne, plus le pourcentage de réussite est élevé ;
- Ajouter quelques espèces (herbacées ou ligneuses) pour augmenter la diversité dans le paysage et renforcer davantage la couverture végétale (exp: *Lavendula*, *Telline*, *Lentisque*, *Medicago arborea*, *Cyste*, *Cytisus*, *Schinus*, *Pimprenelle*, *Luzernes*, le *Sainfoin* et les graminées pérennes (*Oryzopsis*, *Cenchrus*, *Fétuque*, *Cynodon* et *Lolium*)) ;
- Irriguer la première année quand c'est nécessaire.

### 9.2.5.3. LA PREVISION ET L'ALERTE

Pour ce type de déformation, il n'y a pas de système d'annonce approprié. Le suivi des dégradations, et éventuellement de l'efficacité de la solution retenue, passe par des inspections visuelles périodiques dont la fréquence est à déterminer suivant le degré de dégradation, et les risques encourus par la route s'ils se produisent.

## 9.3. DESORDRES STRUCTURELS DES CHAUSSEES

### 9.3.1. Les différents types et causes de désordres structurels

Bien que les dégradations soient nombreuses et complexes suivant les types de chaussée, on peut distinguer principalement pour les 4 tronçons étudiés (Source : *Mémoire pour l'Obtention du Diplôme de Master en Génie Civil - Option Infrastructure de Base et Géotechnique, « Caractérisation et résilience des risques géotechniques dans un projet routier », Fellah Wassim, Septembre 2012*) :

- **Nid de poule** : cavité de forme arrondie, à bords francs, créée à la surface de la chaussée par enlèvement des matériaux ;
- **Fissure** : cassure du revêtement suivant une ligne avec ou sans rupture du corps de chaussée ;
- **Flache** : dépression de formes arrondie.

#### 9.3.1.1. CLASSEMENTS DES DEGRADATIONS

On peut distinguer 4 groupes principaux de désordres pour le cas d' une chaussée souple :

- **La déformation** : Elle se produit généralement dans le corps de la chaussée. On distingue suivant la forme ou la localisation :
  - Les affaissements ;
  - Les flaches.
- **Les fissurations** : Elles peuvent n'intéresser que la couche de roulement ou tout ou partie du corps de chaussée (fissuration avec rupture) ;
- **Les arrachements** : Ces déformations n'affectent que la couche de roulement. Pour les 4 tronçons étudiés il s'agit principalement des nids de poule.

#### 9.3.1.2. LES PRINCIPALES CAUSES DE DEGRADATIONS DES CHAUSSEES SOUPLES

- Le trafic ;
- La nature du sol de fondation ;
- Le dimensionnement du corps de chaussée ;
- La qualité des matériaux et leur mise en œuvre ;
- Les conditions climatiques.

#### 9.3.1.3. LES CAUSES PROBABLES DE CHAQUE TYPE DE DEGRADATION

Si on considère chaque type de dégradation indépendamment des autres, on peut dresser une liste des causes probables pouvant entraîner un tel désordre, cette liste n'est pas limitative :

- **Affaissement** :
  - Sous dimensionnement du corps de chaussée ;
  - Tassement du sol de fondation, surtout pour les couches inférieures ;
  - Présence d'eau dans le corps de chaussée (drainage insuffisant...) ;
  - Pollution du corps de chaussée ;
  - Chaussée non calée sur les rives.



- **Fissure :**
  - Joint de deux bandes d'épandage ;
  - Rupture ou tassement des couches inférieures ;
  - Retrait du matériau constituant la couche de base, la couche de fondation ou le sol de fondation ;
  - Mauvaise accrochage de la couche de roulement sur la couche de base ;
  - Chaussée non calée sur les rives : accotement non chargés ;
  - Gélivité le corps de chaussée ;
  - Elargissement sous dimensionnée ou mal exécuté
  - Instabilité d'une chaussée établie sur mauvais remblai.
- **Flache :**
  - Compacité insuffisante de la couche de roulement ou de base en un point donné;
  - Pollution du corps de chaussée ;
  - Drainage inexistant ;
  - Tassement du matériau.
- **Nid de poule :**
  - Evolution finale des déformations des fissurations ;
  - Décollement de la couche de roulement) localisée du revêtement sous effet mécanique ;
  - Dégel ou, plus souvent, forte proportion d'eau dans la chaussée.

### 9.3.2. Les solutions de confortement

Les visites de terrain, et le diagnostic des points névralgiques des 4 tronçons routiers étudiés ont mis en évidence que les dégradations des chaussées étaient intimement liées aux désordres géologiques et géotechniques dont souffrent ces voies routières, ainsi que des dysfonctionnements liés à l'hydraulique et au drainage.

Ainsi ces dégradations sont la conséquence de ces typologies de désordres géologiques et hydrauliques, et non pas des dégradations indépendantes dans un contexte hydraulique et/ou géologique favorable.

De ce fait, la résolution des origines des dégradations passe par la mise en place des solutions techniques qui permettraient de remédier à :

- désordres géologiques : chutes de blocs, glissement de terrain, sapement des berges...
- désordres hydrauliques : liés à l'hydraulique fluviale, l'érosion pluviale et à l'existence ou non du réseau de drainage et son état de fonctionnement.

Une fois ces sources de dégradations résorbées, il faudra procéder à :

- Destruction de l'ancienne chaussée ;
- Redimensionnement d'une nouvelle chaussée plus adaptée en prenant en compte :
  - L'évolution du trafic ;

- La qualité d'assise en procédant à des campagnes géotechniques ;
  - Analyse hydrogéologique afin de voir le niveau de nappes si existantes ;
  - Rechercher des matériaux adaptés au contexte des zones traversées, en analysant les cycles gel/dégel et les amplitudes de températures, en particulier dans les zones à climat (semi)aride (cas des RR 508, 106 et 706) ;
- Mise en place d'un réseau d'assainissement et de drainage approprié afin de :
- Assurer le captage des écoulements en amont via des fossés de crête et de pied de déblai, et de pied de remblai ;
  - Eviter la stagnation des eaux en particulier en zone de déblai, en évitant des points bas non assaini ;
  - Assurer le drainage des eaux internes en déblai, en mettant en place des tranchées drainantes ou des drains sous fossés latéraux, avec notamment des regards d'entretien ;
- Assurer un suivi et entretien régulier du réseau mis en place pour éviter son colmatage, et la dégradation par conséquent de la portance de la chaussée et de son état par la suite.

### 9.3.3. Les dispositifs de prévision et d'alerte

Il existe des méthodes pour la mesure de la dégradation des chaussées via une instrumentation adaptée tels que les fissuromètres, avec des possibilités d'envoyer des SMS d'alerte pour des seuils de déformation. Toutefois l'inspection visuelle semble plus pratique et moins cher pour suivre de manière régulière et périodique l'évolution des désordres dans le temps, avant, pendant et après construction de nouvelles chaussées.

## 9.4. CHOIX DES MATERIAUX

### 9.4.1. Constats

Le diagnostic effectué par l'Ingénierie lors de l'activité 1 a mis en exergue une sensibilité des matériaux constituant certains talus de remblai ou déblais vis-à-vis de l'eau (érosion pluviale) et aux cycles de gel/dégel (altération de schistes).

Cette sensibilité varie selon les contextes climatiques rencontrés :

- La zone du Nord (RN 2) est une zone humide caractérisée par une pluviométrie importante dont une partie importante sous forme de neige ;
- Pour la RR 508 elle traverse une zone d'un potentiel pluviométrique important dans le bassin du Sebou, ce potentiel diminue dans le bassin de la Moulouya mais s'accompagne de gradients thermiques importants ;
- La RR 706 traverse les bassins de Ziz et d'Errachidia, connus pour une pluviométrie moins importante que celle de la partie Nord, mais également par le phénomène de neige et par des amplitudes thermiques conséquentes ;
- Enfin la RR 106 est la zone dont le potentiel de pluie est le moins important, mais avec des gradients thermiques et des cycles de gel/dégel importants.

Les zones traversées se trouvent toutes dans un contexte montagneux avec des pentes fortes à élevées, et peuvent connaître des crues torrentielles brèves et violentes. Les paramètres climatiques peuvent donc jouer un rôle important dans la dégradation des matériaux, variable suivant leur sensibilité à ces phénomènes.

### 9.4.2. Effets climatiques sur les sols et les matériaux les constituant

De façon plus générale l'action des phénomènes climatiques sur les sols, et les matériaux les constituant, peut se traduire par une modification de leurs caractéristiques ou de leurs états :

- la pluie, le soleil et le vent impactent directement sur la teneur en eau, mais c'est la neige fondante qui a la faculté de pénétration la plus importante ;
- l'altération des matériaux évolutifs est accélérée par le gel qui peut provoquer des concentrations d'eau dans les sols gélifs ;
- le vent et la pluie ont un pouvoir érosif sur de nombreux sols.

Généralement, comme le montre le tableau ci-après, extrait de « Météorologie et terrassements – Recommandations, LCPC-SETRA, Juin 1986 », ce sont les matériaux issus de sols sensibles à l'eau (sols de classes A, B, C et certains sols E du guide technique LCPC-SETRA) qui posent des problèmes en fonction les variations climatiques.

Il est à rappeler que, d'après le guide technique LCPC-SETRA « Réalisation des remblais et des couches de forme – Guide Technique, LCPC-SETRA, Septembre 1992 », ces classes correspondent à :

- Classe A : sols fins (limons peu plastiques, sables fins argileux, argiles et argiles marneuses...);
- Classe B : sols sableux à graveleux avec fines (sables silteux, sables argileux, graves silteuses...);
- Classe C : sols comportant des fines et des gros éléments (argiles à silex, alluvions...);
- Classe D : sols insensibles à l'eau (sables alluvionnaires, sables de dunes...);
- Classe E ou R : roches sédimentaires carbonatées (craie, calcaires grossiers, argilites, pélites...).

Les impacts des variations climatiques sur les sols sensibles à l'eau peuvent affecter leurs caractéristiques, et celles des matériaux les constituant, en outre leur portance, la glissance, et leur possibilité de réutilisation pour assurer la stabilité générale. De plus l'érosion pluviale est un aspect important de l'impact des conditions climatiques sur les matériaux selon les conclusions présentées à la guide « Météorologie et terrassements – Recommandations, LCPC-SETRA, Juin 1986 »,

#### **Portance :**

Celle-ci traduit l'aptitude du sol, et donc des matériaux le constituant, à supporter les charges statiques ou dynamiques. Une portance insuffisante serait néfaste pour la circulation des usagers, mais peut aussi induire des risques d'instabilité des remblais routiers.

La compacité varie assez peu, la cohésion en revanche dépend de la teneur en eau de la fraction argileuse qui peut modifier la consistance en liquide ou molle à dure ou raide. Les conditions climatiques ont donc un rôle important dans la portance du sol puisqu'ils peuvent faire varier plus ou moins rapidement la consistance de cette fraction.

Un sol à très forte proportion argileuse dans un gisement à une teneur en eau faible ou moyenne, a besoin d'une grande quantité d'eau que les conditions météorologiques ne suffisent pas généralement à apporter, pour modifier sa consistance et donc sa portance.

Inversement, pour un sol d'une faible fraction argileuse noyée dans une fraction granulaire bien graduée exemple des graves argileuses exposé pendant quelques heures voire quelques minutes à une pluie même légère on peut observer que la consistance de la fraction argileuse évolue très rapidement, et transmet son comportement à l'ensemble du matériau.

Classes de sols suivant la R.T.R.		Rapidité relative du changement d'état provoqué par une précipitation (ou une évaporation donnée)	Sensibilité aux phénomènes de retrait - gonflement	Sensibilité à l'érosion pluviale	Sensibilité à l'érosion éolienne	Sensibilité au gel (gonflement)
Classe <b>A</b>	A <sub>1</sub>	très grande à grande	très faible à faible	très grande à grande	grande à moyenne	très grande à grande
	A <sub>2</sub>	grande à moyenne	faible à moyenne	grande à moyenne	moyenne à faible	grande à moyenne
	A <sub>3</sub>	moyenne à faible	moyenne à grande	moyenne à faible	faible à très faible	moyenne à faible
	A <sub>4</sub>	faible à très faible	grande à très grande	faible à très faible	très faible à nulle	faible à très faible
Classe <b>B</b>	B <sub>1</sub>	faible à très faible	nulle	très grande à grande	très grande	très faible à moyenne
	B <sub>2</sub>	très grande à grande	très faible	très grande	moyenne à faible	moyenne à grande
	B <sub>3</sub>	très faible à faible	nulle	moyenne à faible	faible à très faible	très faible à faible
	B <sub>4</sub>	très grande à grande	très faible à nulle	moyenne	faible à très faible	moyenne à très grande
	B <sub>5</sub>	très grande à grande	très faible à faible	grande à moyenne	faible à très faible	moyenne à très grande
	B <sub>6</sub>	très grande à grande	faible à moyenne	moyenne à faible	très faible	moyenne à très grande
Classe <b>C</b>	C <sub>1</sub>	très grande à faible (1)	très faible à moyenne (1)	moyenne à faible	nulle à très faible	faible à très grande (1)
	C <sub>2</sub>	très grande à moyenne	très faible à nulle	très faible à nulle	nulle	très faible à moyenne
	C <sub>3</sub>	très grande à moyenne	très faible à nulle	nulle	nulle	très faible à moyenne
Classe <b>D</b>	D <sub>1</sub>	faible à très faible	nulle	grande à très grande	grande	très faible à faible
	D <sub>2</sub>	nulle à très faible	nulle	nulle à faible	nulle	nulle à faible
	D <sub>3</sub>	nulle	nulle	nulle	nulle	nulle
	D <sub>4</sub>	nulle	nulle	nulle	nulle	nulle
Classe <b>E<sub>1</sub></b> (craies)	CR <sub>1</sub> (2)	nulle à très faible	nulle	nulle	nulle	très faible à moyenne (3)
	CR <sub>2</sub> (2)	moyenne à grande	nulle	très faible à faible	nulle	faible à grande (3)
	CR <sub>3</sub> (2)	grande à très grande	nulle	très faible à faible	nulle	moyenne à très grande (3)
Autres roches évolutives	La sensibilité aux agents météorologiques dépend de la nature et de la proportion d'éléments fins qui sont produits au cours de la mise en œuvre.					
<p>(1) Suivant la nature et la proportion de fines contenues dans le matériau.</p> <p>(2) Suivant la nouvelle classification des craies parue dans le Bulletin de Liaison des LPC n° 123 Janv.-Févr. 1983 Réf. 2770</p> <p>(3) Suivant le degré de saturation des blocs de craie.</p>						

Tableau 249 : Comportements des différentes classes des sols face aux effets des agents climatiques

(Source : Météorologie et terrassements – Recommandations, LCPC-SETRA, Juin 1986)

C'est ce comportement que traduit le graphique ci-dessous, à savoir l'allure générale de la sensibilité à l'eau des différentes classes de sol en fonction de la proportion des fines (éléments < 80 µm).

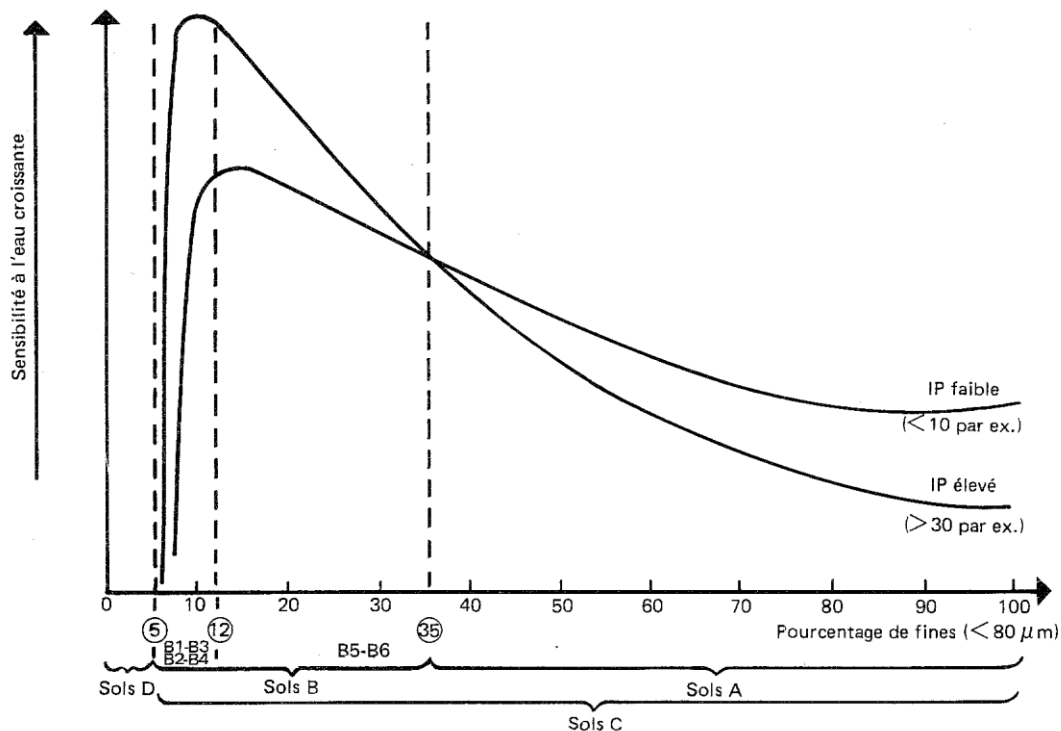


Figure 194 : Allure générale de la sensibilité de l'eau des sols en fonction du pourcentage de fines et de l'indice de plasticité de ces fines

(Source : *Météorologie et terrassements – Recommandations, LCPC-SETRA, Juin 1986*)

Ce graphique permet d'apprécier le comportement des matériaux vis à vis de la sensibilité à l'eau, à titre d'exemple :

- Jusqu'à 5% d'éléments inférieures à 80 µm : le matériau le constituant, est presque toujours insensible à l'eau ;
- Entre 5 et 35% de fines : la sensibilité à l'eau augmente très brusquement, avec un maximum autour de 10 à 15 %, avant de baisser progressivement. Pour cette gamme de sols, plus l'indice de plasticité est élevé, plus cette sensibilité l'est à son tour. Ce sont donc les matériaux sablo-argileux et gravo-argileux qui sont les plus sensibles (B2 et B4) ;
- Pour plus de 35 % de fines : la sensibilité à l'eau continue à baisser d'autant plus que l'indice de plasticité augmente. Excepté les matériaux propres, ce sont les argiles plastiques classées A3-A4 qui sont les moins sensibles.

#### Glissance :

Certains sols, notamment les plus argileux (A3 – A4), certaines marnes et les craies peuvent induire une interruption de la circulation des véhicules dès l'apparition d'une pluie par formation d'une pellicule superficielle de boue très glissante sans pour autant que la portance soit affectée.

Ce phénomène, appelé glissance, peut se produire pour des talus de déblais, et affecter la surface de roulement en particulier en absence de fossé ou cunette de déblai.



**Possibilité de réutilisation pour assurer la stabilité globale :**

L'eau agit sur la résistance au cisaillement des sols sensibles, en modifiant leur cohésion, leur angle de frottement et générant éventuellement des pressions interstitielles lors de leur mise en œuvre.

Ces variations de résistance au cisaillement affectent de manière notable les conditions d'utilisation du matériau en modifiant la hauteur possible du remblai ou la pente admissible des talus de remblai.

**Erosion pluviale :**

L'érosion pluviale est un aspect important de l'influence climatique sur les matériaux constituant les remblais ou déblais des infrastructures routières. Elle affecte principalement les talus routiers, mais également dans certains cas les plateformes, notamment lorsque leur pente est suffisante.

Ce phénomène est le résultat de la combinaison de 2 facteurs :

- L'érosivité de la pluie ou pouvoir érosif de la pluie lui permettant de provoquer le départ de la 1ère particule du matériau, ce qui amorce le phénomène d'érosion ;
- L'érodabilité du matériau, ou sa susceptibilité à s'éroder sous l'effet de la pluie. Elle dépend de la nature du matériau, et de sa compacité.

Plus la compacité du sol est importante, moins il est érodable, d'où l'importance de bien compacter, en particulier, les talus de remblai, et de prévoir aussi une végétalisation rapide.

Le tableau précédent montre que les matériaux issus de sols de type A3, A4, B3, B6 (sables et graves, argileux à très argileux), C, D et E1 (craies) affichent une sensibilité moyenne à faible, voire très faible, vis-à-vis de l'érosion pluviale.

**9.4.3. Conclusions**

Le choix des matériaux pour l'infrastructure routière doit être examiné en analysant leur sensibilité aux phénomènes climatiques. La sensibilité du projet routier dépendra donc de :

- la proportion de surface de plateforme constituée de matériaux issus de sensibles à l'eau, susceptibles de faire apparaître des insuffisances de portance et des problèmes de glissance ;
- la proportion en volumes de ces matériaux sensibles devant être réutilisée pour les remblais ou la couche de forme.

A proportion égale, il existe différents degrés de sensibilité suivant le type de matériau : des remblais comportant des limons de classe A1 sont beaucoup plus sensibles que des remblais comportant des argiles classées A3.

D'après le guide « *Météorologie et terrassements – Recommandations, LCPC-SETRA, Juin 1986* » il est à noter que la sensibilité des matériaux est fonction également de leur aptitude à changer d'état vu que la teneur en eau dépend de la saison et de l'antécédent hydrique (6 derniers mois). La variation de cette teneur au pas de temps saisonnier affecte les 2 à 3 premiers mètres alors que celle journalière ne dépasse pas les 20 à 30 cm de profondeur, parfois davantage sur certains types de matériaux (sols sableux par exemple en cas de forte pluie).

Les éléments indiqués par l'Ingénierie ci-avant donnent les principales orientations pour le choix des matériaux, il est toutefois indispensable pour appréhender ce choix de procéder à une étude géotechnique sur la base de sondages à examiner en tenant compte de la période de leur exécution.

Cette étude spécifique permettra de mieux connaître la proportion des sols sensibles et insensibles intéressant les 4 tronçons routiers étudiés, et si possible en étudier la variation saisonnière de teneur en eau, afin d'apprécier la possibilité d'extraction et d'utilisation de ces 2 catégories de matériaux.

Cette étude géotechnique se déroulerait suivant les étapes suivantes :

- Visites de terrain : Ces inspections constituent une opportunité d'apprécier le contexte général des tronçons étudiés.
- Réalisation de sondages géotechniques : Ces sondages permettent de disposer d'échantillons des sols qui feront l'objet d'essais de laboratoire ;
- Réalisation d'essais de laboratoires pour identifier la classe du sol :

Les différentes classifications des sols reposent en général sur la classification américaine USCS (Unified Soils Classification System) dont les bases sont :

- le pourcentage d'éléments gros et fins ( $< 80 \mu\text{m}$ ) ;
- la forme de la courbe granulométrique ;
- les limites de liquidité  $w_l$  et de plasticité  $w_p$  ainsi que l'indice  $I_p$ , avec :  $I_p = w_l - w_p$ .

Ces indices permettent de définir l'indice de consistance  $I_c$  par :  $I_c = (w - w_l) / I_p$ .

On commence d'abord par déterminer les pourcentages :

- sol grenus : plus de 50 % des éléments sont  $> 80 \mu\text{m}$  ;
- sols fins : plus de 50 % des éléments sont  $< 80 \mu\text{m}$ .

En laboratoire, la classification commence par une appréciation visuelle des sols de manière à distinguer d'une part, les sols très organiques, d'autre part les sols grenus ou fins. Dans les cas limites, on devra déterminer le pourcentage d'éléments inférieurs à  $80 \mu\text{m}$ . Les sols organiques se reconnaissent par leur texture fibreuse due à une décomposition de matière végétale, leur couleur tirant sur l'ocre, le rouge, ou le brun. Mais celle-ci n'est pas déterminante surtout en Afrique où les sols latéritiques présentent les mêmes couleurs. Par contre l'odeur caractéristique de pourriture ou de gaz issus de la décomposition reste un atout déterminant.

Pour les sols fins, on distingue 3 états de consistance selon la teneur en eau. Ils sont définis par l'essai en laboratoire des limites d'Atterberg (NF 94-051) :

- Etat liquide ( $I_c < 0$ ) : le sol n'a que très peu de cohésion, il a donc tendance à s'étaler si on le pose sur une surface horizontale. Il a un comportement de fluide.
- Etat plastique ( $0 < I_c < 1$ ) : Le sol est stable naturellement mais dès qu'un effort lui est appliqué, il perd sa consistance ;
- Etat solide ( $I_c > 1$ ) : les grains sont très resserrés et les liaisons deviennent plus intenses.

Le diagramme de Casagrande suivant permet d'estimer la plasticité du sol et donc sa sensibilité en se basant sur la limite de liquidité et l'indice de plasticité :

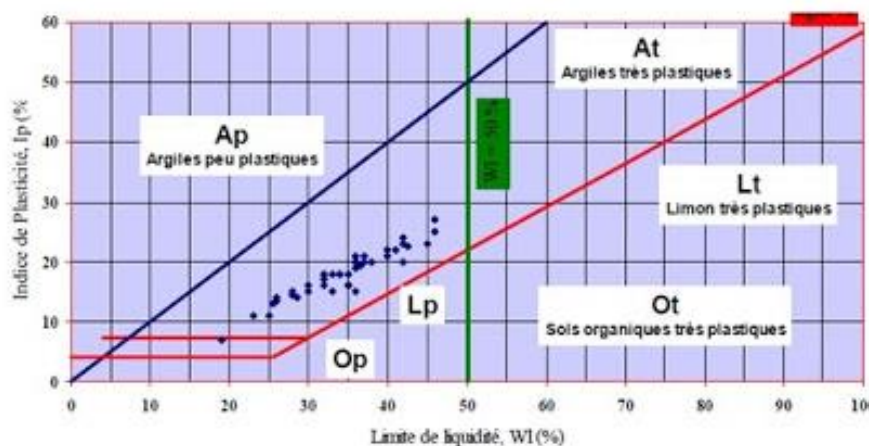


Figure 195 : Diagramme de Casagrande

- Appréciation de la sensibilité aux facteurs climatiques : Sur la base du tableau présenté auparavant, et de la classe du sol déduite des essais de laboratoire, la sensibilité des sols peut être appréciée, en particulier pour les zones en déblai. De même en cas de réutilisation des matériaux pour les talus de remblai cette sensibilité peut être approchée.
- Utilisation des matériaux en remblai ou en couche de forme : L'utilisation des matériaux est régie par les guides techniques en la matière, en particulier celui relatif à la « Réalisation des remblais et des couches de forme » qui donne suivant la classe de matériaux les conditions d'utilisation suivant le type de sol, l'état hydrique et la situation météorologique au moment où le matériau est mis en remblai ou comme couche de forme.

#### **CHOIX DES MATERIAUX LES PLUS ADAPTES :**

Le tableau ci-avant a mis en exergue la sensibilité de certains types de matériaux de remblai ou de couche de forme vis à vis des facteurs climatiques : pluies, gel/dégel, érosion pluviale ou éolienne et gel :

- les matériaux issus de sols de type A3, A4, B3, B6 (sables et graves, argileux à très argileux), C, D et E1 (craies) affichent une sensibilité moyenne à faible, voire très faible, vis-à-vis de l'érosion pluviale ;
- les argiles plastiques classées A3-A4 qui sont les moins sensibles au changement d'état provoqué par la pluie ;
- une grande partie des matériaux est faiblement sensible au gel/dégel hormis les matériaux issus de sols fins de classe A2, A3 et A4 ;
- les classes les plus sensibles au gel sont les sols fins A1 et A2, les sols sableux ou graveleux avec fines B2, B4, B5 et B6 et les craies de classe CR 3.

Outre ces indications, le groupement s'est intéressé au choix des enrobés bitumineux lors de la conception des structures de chaussées suivant les conditions climatiques rencontrées.

Il s'est malheureusement avéré qu'il existait peu d'éléments en la matière car il s'agit là d'une thématique nouvelle, voire même d'un sujet de recherches et développement. De plus le facteur climatique analysé est généralement la température, facteur qui n'est traité dans la présente étude.

En effet l'ouvrage le plus intéressant traitant de la problématique, est une thèse soutenue le 15 février 2013 par Patrick RYCHEN à l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, avec comme intitulée "Impact du changement climatique sur les infrastructures routières – Analyse de risque et mesures d'adaptation".

Cette référence s'est principalement intéressée au facteur thermique, elle indique toutefois que les enrobés drainants sont très sensibles aux conditions hivernales, en particulier aux phénomènes de gel/dégel (certains normes suisses en interdisant l'utilisation en zones d'altitudes).

Cette thèse indique également que le changement climatique se manifesterait en Suisse par l'augmentation de la température et la réduction du nombre de cycles gel/dégel. Dans cette optique, et sous hypothèse de diminution des précipitations annuelles (pluies et neiges) - tendance très probable- c'est la température qui serait le facteur le plus prépondérant pour le choix des matériaux pouvant le mieux s'adapter aux fortes températures et à leur évolution future.

## 10. AUTRES RECOMMANDATIONS TECHNIQUES

Dans les termes de référence, une liste non exhaustive d'améliorations a été proposée, certaines de ces améliorations ont déjà été abordées dans les chapitres précédents, englobés sous trois grandes thématiques :

- Recommandations sur la thématique du changement climatique ;
- Recommandations sur la thématique hydraulique ;
- Recommandations sur la thématique géotechnique.

Les recommandations de techniques à faible coût, utilisant des capteurs et autres appareils d'enregistrement de données permettant le suivi et l'alerte en temps réel, ont été traitées dans les chapitres ci-dessus, selon s'il s'agissait du suivi des désordres liés plutôt aux phénomènes à caractère hydraulique ou des phénomènes liés aux désordres géotechniques.

Les techniques de végétation, comme technique de stabilisation des talus, ont été traitées dans le chapitre lié à la thématique géotechnique.

Le reste des techniques sont traitées dans ce chapitre.

### 10.1. MODIFICATION DES CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES

La modification des caractéristiques géométriques de la route peut être réalisée en jouant sur deux paramètres différents :

- Soit la modification de la vue en plan ;
- Soit la modification du profil en long.

Il est à signaler que nous disposons uniquement des cartes à échelle 1 : 50000<sup>ème</sup> et qu'une analyse plus détaillée, des problématiques de chaque tronçon, nécessiterait de descendre à une échelle de niveau projet. Les profils en long des routes, quant à eux, ne nous ont pas été transmis.

Faire des recommandations sur les modifications des caractéristiques géométriques des routes, sans aucune donnée d'entrée, s'avère une tâche difficile à réaliser. Nous nous sommes par conséquent limiter à des recommandations assez générales, sur des problématiques que nous avons pu constater lors de nos visites du terrain.

#### **VUE EN PLAN :**

Les modifications de la vue en plan peuvent être classifiées en modifications de caractère ponctuelle et celles qui impliquent un déplacement de la route.

Ces modifications de tracé ont un coût tellement élevé, qu'elles ne doivent être envisagées que pour les cas où les désordres sont les plus graves, tels que : glissements de terrain, franchissements des oueds ou les routes longeant des oueds.

Pour le cas, des **glissements de terrain**, une modification de tracé visant à s'éloigner de la zone problématique ne serait pas une option économiquement avantageuse par rapport à un traitement du problème de glissement. Cette problématique doit être évitée dès la phase de conception car des modifications postérieures du tracé sont très coûteuses.

Pour le cas de **franchissement des oueds**, fautes de données d'entrée plus détaillées, nous avons constaté que certains franchissements d'oueds sont assez vastes et traversent des oueds dans des zones où son lit est très instable. Il pourrait être envisagé dans certains cas (à étudier avec détails) de modifier le tracé afin de trouver un point de franchissement convenable qui soit suffisamment proche pour limiter l'impact économique.

Pour le cas des **routes longeant des oueds**, si celles-ci sont situées du côté où l'eau attaque le pied du talus, une modification de tracé pourrait être envisagée afin de se placer du côté opposé de l'oued. Cette modification impliquerait la construction de deux ouvrages de franchissement supplémentaires. Cette solution engendrerait un coût plus élevé que des solutions alternatives telles que le traitement du pied de talus ou des interventions sur le fleuve lui-même. Cette problématique a été traitée dans le chapitre 8.

Ces typologies de problèmes doivent également être évitées dès la phase des études de définition quand les couloirs de tracé sont étudiés. Normalement ces études sont faites au Maroc à une telle échelle que ce type de problématique n'est pas détecté suffisamment en amont.

Une grande partie des routes régionales ou provinciales sont le résultat des aménagements de tracé des anciennes pistes rurales. Dans le cas des tronçons étudiés, ils sont situés dans des zones montagneuses, à profil mixte. De ce fait, la modification de tracé devient en règle générale très coûteuse. Le déplacement de la route n'est à envisager que si le maintien du tracé actuel devient pratiquement impossible.

#### **PROFIL EN LONG :**

Suite aux visites de terrain réalisées et fautes de données d'entrées plus précises, nous ne considérons pas que la modification des profils en long puisse améliorer les problématiques des désordres que nous avons rencontrés. Des modifications de tracées ne sont à prévoir que pour le cas des franchissements des oueds car le niveau de la route par rapport à l'oued est fondamental pour le fonctionnement de l'ouvrage. Cette problématique a été traitée dans le chapitre 8.

## **10.2. SOLUTIONS ALTERNATIVES POUR DESSERVIR LES POPULATIONS LOCALES**

Les tronçons d'étude ont été subdivisés en sections élémentaires, les extrémités de chaque section correspondant à des intersections avec d'autres voiries du réseau routier.

Cette décomposition permet d'identifier pour chaque section les itinéraires alternatifs possibles et d'appréhender la perte d'accessibilité (augmentation de la distance et des temps de parcours) consécutive à l'impraticabilité de la section suite à un évènement climatique.

L'analyse s'est volontairement limitée aux routes nationales, régionales et provinciales. Les pistes, en particulier, ne sont pas prises en compte, car elles ne permettent pas un niveau de service équivalent aux tronçons d'étude (profil en travers contraint, voirie non bitumée etc.).

Il est fait l'hypothèse que les tronçons alternatifs aux tronçons d'étude restent circulables en cas d'impraticabilité de ce dernier.

On notera enfin que le recours à des modes alternatifs (i.e. autre que la voiture particulière et les poids-lourds), en situation dégradée est très limité :

- **les secteurs d'études ne sont pas traversés par des voies ferrées** qui auraient pu constituer un itinéraire de report en s'appuyant sur des services ferroviaires ;
- le recours aux deux-roues pourrait éventuellement localement constituer une alternative à la voiture dans la mesure où ils peuvent bien plus facilement contourner les obstacles. **Toutefois,**



**cet avantage comparatif du deux-roues reste mince voire inexistant dans un contexte marqué par des précipitations intenses, des inondations, des glissements de terrain ou des épisodes neigeux.**

### 10.2.1. Tronçon Chefchaouen-Issaguen (RN2)

La RN2 relie Chefchaouen à Issaguen en traversant plusieurs localités. Les niveaux de trafics sont variables selon les sections.

Le trafic moyen journalier annuel en 2012 est compris entre 2 100 et 5 000 véhicules, ce qui correspond à des niveaux de trafic peu élevés.

Origine	Destination	TMJA	dont VL	dont PL1	dont PL2
Chefchaouene	Bab Taza	<b>4 100</b>	3 239	205	656
Bab Taza	P 4109	<b>2 100</b>	1 659	105	336
P 4109	P 4111	<b>2 100</b>	1 659	105	336
P 4111	Bab Berred	<b>2 100</b>	1 659	105	336
Bab Berred	P 4113	<b>2 100</b>	1 659	105	336
P 4113	Issaguen	<b>5 000</b>	3 950	250	800

Tableau 250 : TMJA 2012 par section sur le tronçon Chefchaouen-Issaguen (RN2)

#### FONCTIONNALITE DU TRONÇON

Sur ce tronçon reliant Chefchaouen à Issaguen, 6 sections ont été définies :

- Chefchaouen - Bab Taza ;
- Bab Taza – RP 4109 ;
- RP 4109 - RP 4111 ;
- RP 4111 – Bab Berred ;
- Bab Berred – RP 4113 ;
- RP 4113 – Issaguen.

Les itinéraires alternatifs pour chaque section apparaissent en bleu dans la carte ci-dessous.

Les alternatives pour relier Chefchaouen et Issaguen sont peu nombreuses et se réduisent à l'itinéraire constitué par la **RP4105** et la **RN16** au Nord, le long de la côte méditerranéenne, et au Sud à l'itinéraire constitué par la **RR419**, la **RP5302** et la **RR509**.

Quelques routes provinciales permettent de relier les localités de Bab Taza et de Bab Berred depuis ces deux itinéraires.

L'ensemble de ces voiries est en mesure de supporter les trafics se reportant depuis la RN2.

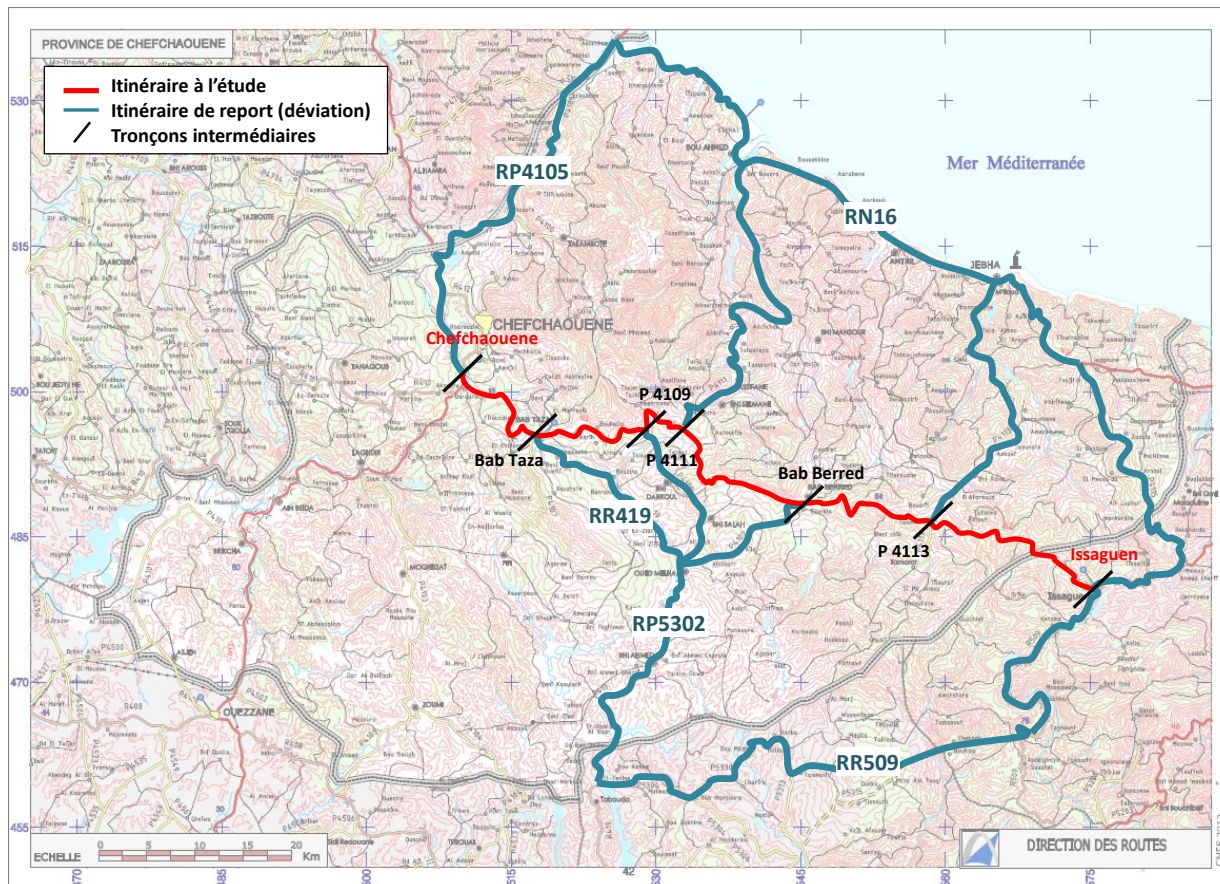


Figure 196 : Sections et itinéraires alternatifs définis sur le tronçon Chefchaouen-Issaguen

**ESTIMATION DE L'ALLONGEMENT DES TEMPS DE PARCOURS**

Les distances et temps de parcours en situation normale et en situation dégradée (lorsqu’au moins une section du tronçon est impraticable) ont été estimés via GoogleMaps.

Origine	Destination	Distance en situation normale (km)	Temps de parcours en situation normale (min)	Distance en situation dégradée (km)	Temps de parcours en situation dégradée (min)
Chefchaouene	Bab Taza	14	10	154	157
Bab Taza	P 4109	13	10	50	82
P 4109	P 4111	10	8	32	69
P 4111	Bab Berred	22	17	153	163
Bab Berred	P 4113	15	13	159	165
P 4113	Issaguen	25	19	85	95

Tableau 251 : Distance et temps de parcours entre Chefchaouen et Issaguen

Le temps de parcours supplémentaire moyen en situation dégradée sur ce tronçon est de 109 minutes, témoignant de la faible redondance du réseau routier.

### 10.2.2. Tronçon Outabouabane-Saka (RR508)

La RR508 relie Outabouabane à Saka. Le trafic moyen journalier annuel en 2012 est de 1 600 véhicules, ce qui correspond à un niveau de trafic faible.

Origine	Destination	TMJA	dont VL	dont PL1	dont PL2
Outabouabane	Oulad Zbair	1 600	1 264	80	256
Oulad Zbair	P 5413	1 600	1 264	80	256
P 5413	Had Msila	1 600	1 264	80	256
Had Msila	El Gouzate	1 600	1 264	80	256
El Gouzate	Bni Ftah	1 600	1 264	80	256
Bni Ftah	R 505	1 600	1 264	80	256
R 505	Jbarna	1 600	1 264	80	256
Jbarna	R 511	1 600	1 264	80	256
R 511	Mazguitam	1 600	1 264	80	256
Mazguitam	Ain Zohra	1 600	1 264	80	256
Ain Zohra	Saka	1 600	1 264	80	256

Tableau 252 : TMJA 2012 par section sur le tronçon Outabouabane-Saka (RR508)

#### FONCTIONNALITE DU TRONÇON

Sur ce tronçon reliant Outabouabane à Saka, 11 sections ont été définies :

- Outabouabane – Oulad Zbair ;
- Oulad Zbair – RP 5413 ;
- RP 5413 – Had Msila ;
- Had Msila – El Goujate ;
- El Goujate – Bni Ftah ;
- Bni Ftah – RR 505 ;
- RR 505 - Jbarna ;
- Jbarna – RR 511 ;
- RR 511 – Mazguitam ;
- Mazguitam – Ain Zohra ;
- Ain Zohra – Saka.

Les itinéraires alternatifs pour chaque section apparaissent en bleu dans la carte ci-dessous.

Le réseau routier est assez dense. Les itinéraires alternatifs les plus capacitaires pour relier Outabouabane à Saka consistent essentiellement en la **RN6** au Sud, et (moyennant péage) l'**autoroute A2**.

La capillarité du réseau étant assez développée, les différentes localités desservies par la RR508 sont accessibles depuis le corridor RN6/A2.



L'ensemble des voiries est en mesure de supporter les trafics se reportant depuis la RR508.

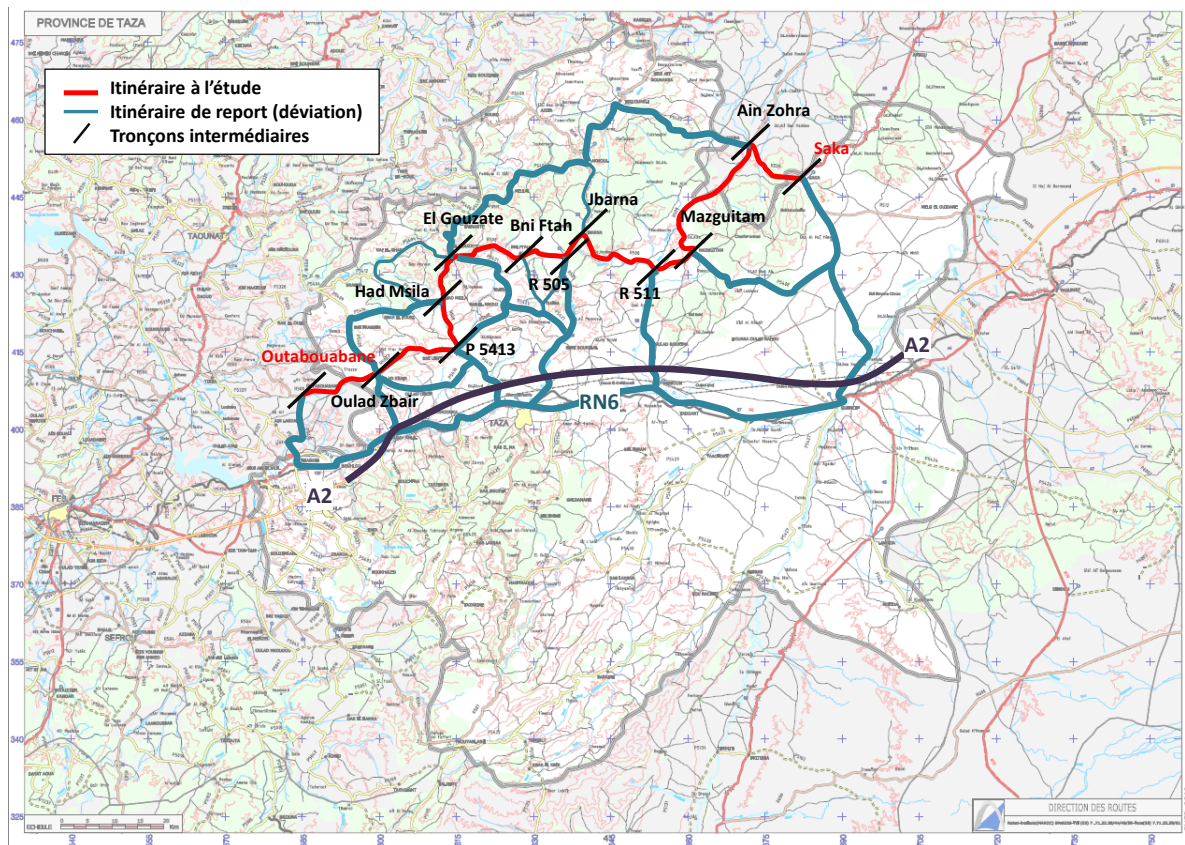


Figure 197 : Sections et itinéraires alternatifs définis sur le tronçon Outabouabane-Saka (RR508)

**ESTIMATION DE L'ALLONGEMENT DES TEMPS DE PARCOURS**

Les distances et temps de parcours en situation normale et en situation dégradée (lorsqu'au moins une section du tronçon est impraticable) ont été estimés via GoogleMaps.

Origine	Destination	Distance en situation normale (km)	Temps de parcours en situation normale (min)	Distance en situation dégradée (km)	Temps de parcours en situation dégradée (min)
Outabouabane	Oulad Zbair	10	11	56	50
Oulad Zbair	P 5413	22	25	29	37
P 5413	Had Msila	12	9	50	60
Had Msila	El Gouzate	12	9	50	71
El Gouzate	Bni Ftah	13	10	30	36
Bni Ftah	R 505	15	12	37	44
R 505	Jbarna	7	6	150	141
Jbarna	R 511	23	20	84	59
R 511	Mazguitam	9	8	108	79
Mazguitam	Ain Zohra	32	27	73	61
Ain Zohra	Saka	14	11	92	76

Tableau 253 : Distance et temps de parcours entre Outabouabane et Saka

Le temps de parcours supplémentaire moyen en situation dégradée sur ce tronçon est de 51 minutes, témoignant d'une plus forte redondance du réseau routier.

### 10.2.3. Tronçon Imilchil-Er Rich (RR706)

La RR706 relie les communes de Imilchil et de Er Rich en desservant les localités de Amouguer et M'Zizel.

Le trafic moyen journalier annuel en 2012 est de 1 500 véhicules, ce qui correspond à un niveau de trafic faible.

Origine	Destination	TMJA	dont VL	dont PL1	dont PL2
Imilchil	R 703	1 500	1 185	75	240
R 703	Amouguer	1 500	1 185	75	240
Amouguer	M Zizel	1 500	1 185	75	240
M Zizel	Er Rich	1 500	1 185	75	240

Tableau 254 : TMJA 2012 par section sur le tronçon Imilchil-Er Rich (RR706)

#### FONCTIONNALITE DU TRONÇON

Cinq sections ont été définies entre Imilchil et Er Rich :

- Imilchil – RP 7319 ;
- RP 7319 – RR 703 ;
- RR 703 – Amouguer ;
- Amouguer – M Zizel ;
- M Zizel – Er Rich

Les itinéraires alternatifs pour chaque section apparaissent en bleu dans la carte ci-dessous.



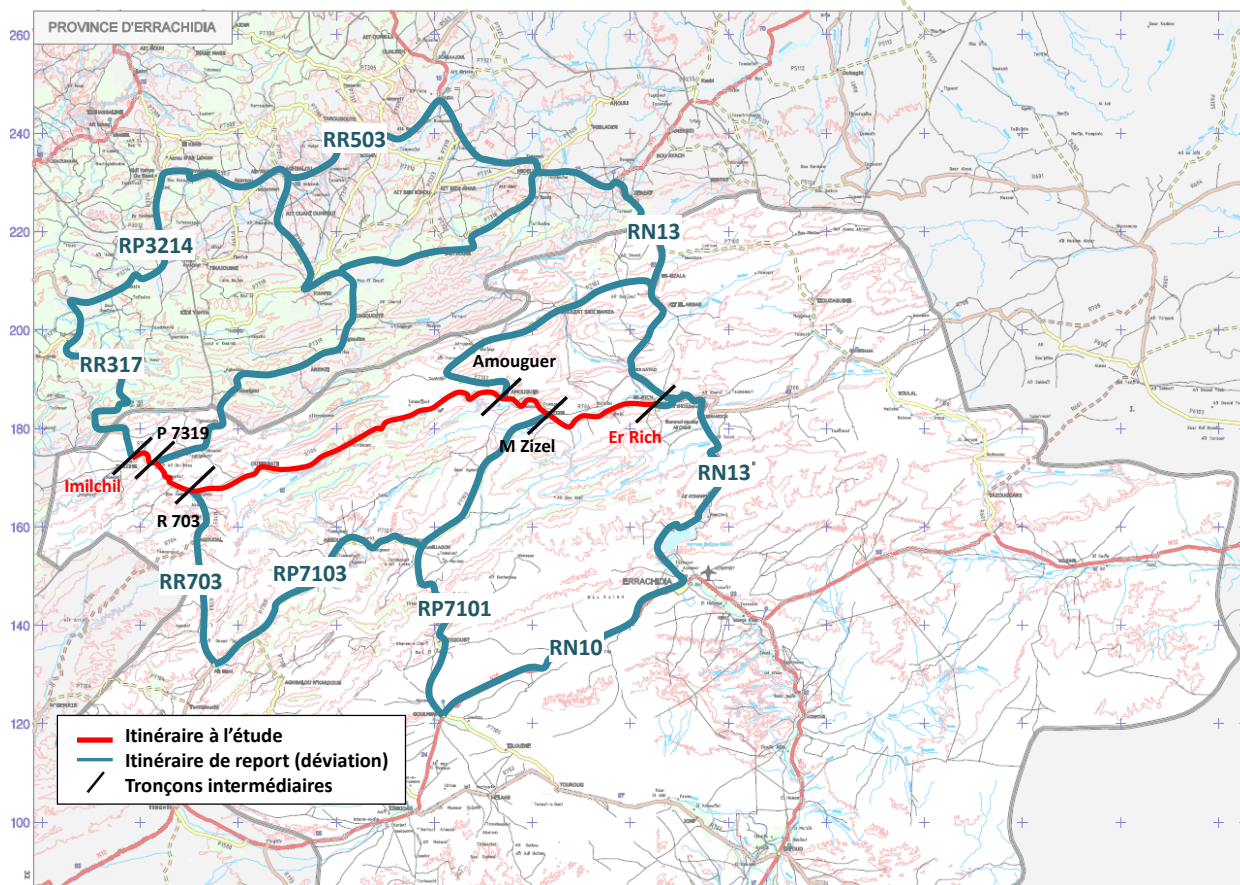


Figure 198 : Sections et itinéraires alternatifs définis sur le tronçon Imilchil – Er Rich (RR706)

L'impraticabilité du tronçon d'étude oblige les usagers à se reporter :

- Soit sur l'itinéraire **RR703, RN10, RN13**, au Sud, en passant par Errachidia ;
- Soit sur l'itinéraire **RR317, RR503, RN13**, au Nord.

Ces voiries sont en mesure de supporter les trafics se reportant depuis la R706. La traversée d'Errachidia ne devrait pas être problématique car la RN10 et la RN13 contournent la ville.

**ESTIMATION DE L'ALLONGEMENT DES TEMPS DE PARCOURS**

Les distances et temps de parcours en situation normale et en situation dégradée (lorsqu'au moins une section du tronçon est impraticable) ont été estimés via GoogleMaps.

Origine	Destination	Distance en situation normale (km)	Temps de parcours en situation normale (min)	Distance en situation dégradée (km)	Temps de parcours en situation dégradée (min)
Imilchil	R 703	12	9	367	334
R 703	Amouguer	82	62	168	156
Amouguer	M Zizel	12	9	238	209
M Zizel	Er Rich	26	22	252	231

Tableau 255 : Distance et temps de parcours entre Imilchil et Er Rich

Le temps de parcours supplémentaire moyen en situation dégradée sur ce tronçon est de 207 minutes, témoignant d'une faible redondance du réseau routier.

### 10.2.4. Tronçon Ighrem-Assaki (RR106)

Sur le tronçon Ighrem-Assaki, les données de trafic n'étant pas disponibles, nous avons pris comme hypothèse que le TMJA était du même ordre de grandeur que celui constaté sur le tronçon Imilchil-Er Rich (RR706). Ces deux routes ont en effet des caractéristiques identiques (2x1 voies) et desservent des territoires similaires (faible densité de population).

Le trafic moyen journalier annuel estimé en 2012 est de l'ordre 1 500 véhicules, ce qui correspond à un niveau de trafic faible.

Ce tronçon de la RR106 relie uniquement Ighrem à Assaki.

Origine	Destination	TMJA	dont VL	dont PL1	dont PL2
Irgherm	Assaki	1 500	1 185	75	240

Tableau 256 : TMJA 2012 par section sur le tronçon Ighrem-Assaki (RR106)

#### FONCTIONNALITE DU TRONÇON

Ce tronçon est marqué par la faiblesse d'un réseau routier redondant. Aucune section n'a pu être définie à l'intérieur du tronçon. Le seul itinéraire concurrent est l'itinéraire **RR109-RP1706**.

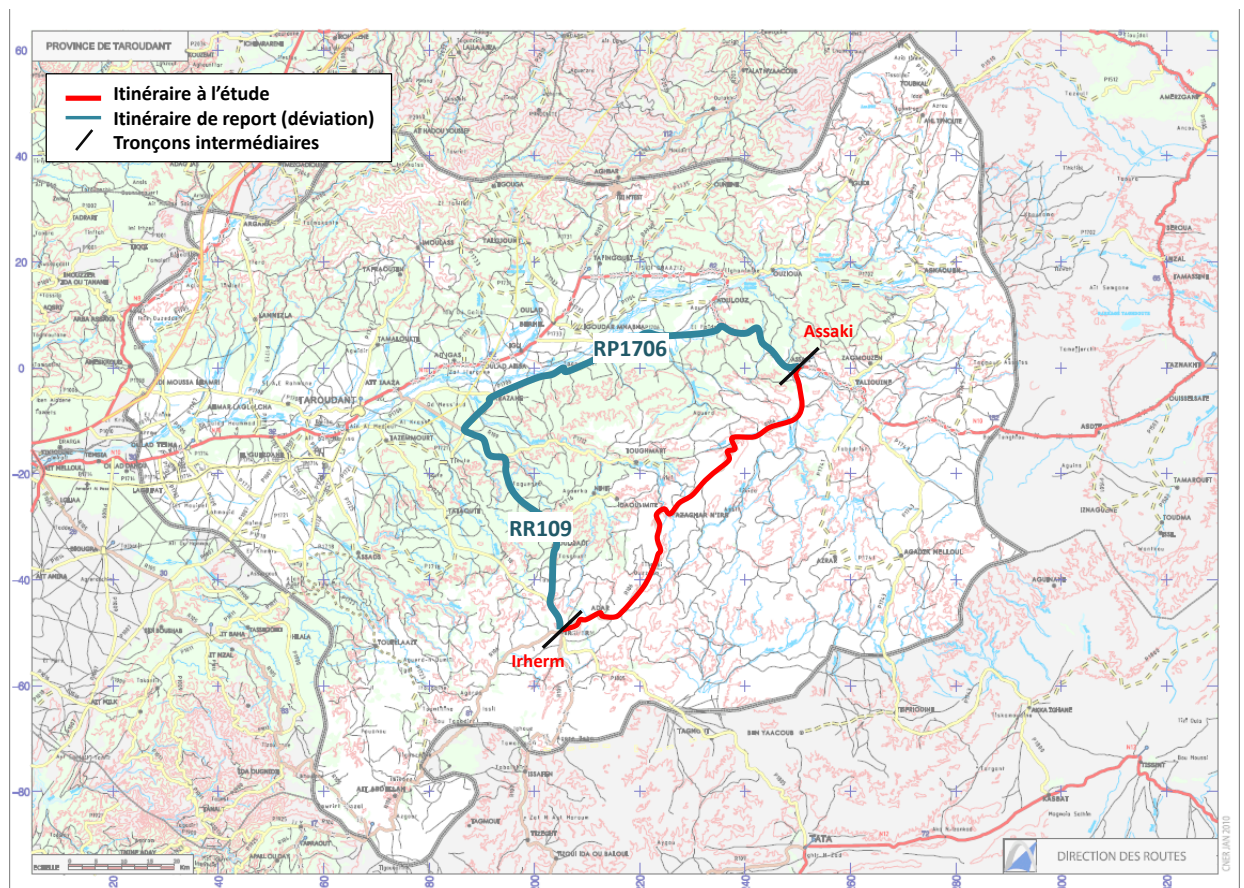


Figure 199 : Sections et itinéraires alternatifs définis sur le tronçon Ighrem-Assaki (RR106)

**ESTIMATION DE L'ALLONGEMENT DES TEMPS DE PARCOURS**

Les distances et temps de parcours en situation normale et en situation dégradée (lorsqu'au moins une section du tronçon est impraticable) ont été estimés via GoogleMaps.

Origine	Destination	Distance en situation normale (km)	Temps de parcours en situation normale (min)	Distance en situation dégradée (km)	Temps de parcours en situation dégradée (min)
Igherm	Assaki	89	75	137	128

Tableau 257 : Distance et temps de parcours entre Ighrem et Assaki

Le temps de parcours supplémentaire moyen en situation dégradée sur ce tronçon est de 53 minutes.

# 11. HIERARCHISATION DES MESURES DES TRAVAUX DE REPARATION ET/OU DE CONFORTEMENT

## 11.1. PREAMBULE

Dans les chapitres 8 et 9 ci-avant, nous avons listés les recommandations techniques à mettre en œuvre en hydrologie, hydraulique et géotechnique (y compris pour les chaussées) pour toutes les typologies des désordres observés sur les 4 tronçons routiers étudiés.

Le présent chapitre présente une méthode de hiérarchisation des travaux de réparation et/ou de confortement en expliquant les critères retenus pour évaluer leur efficacité.

L'objectif est de fournir à la DR et aux services d'exploitation et d'entretien une méthode de hiérarchisation globale et fiable afin de leur permettre de définir une politique de gestion des désordres observés.

La présente méthodologie s'applique à toutes les opérations de réparation et/ou de confortement afférentes aux désordres hydrologique/hydraulique et géotechnique, **à l'exception des opérations d'entretien courantes** telles que :

- le curage des ouvrages et des réseaux d'assainissement ;
- l'enlèvement des embâcles au droit des ouvrages de franchissement des oueds et chaâbas.

En effet, ces opérations doivent être réalisées de façon systématique à une fréquence annuelle.

## 11.2. METHODOLOGIE

### 11.2.1. Le schéma fonctionnel de la méthode

Gérer les désordres occasionnés par les événements climatiques, c'est notamment établir un programme d'interventions tenant compte des priorités techniques, socio-économiques et budgétaires.

Étape préalable à cette programmation, l'évaluation technique des ouvrages d'art permet d'effectuer un classement de ceux-ci en fonction des résultats de leur surveillance. On peut ainsi mettre en évidence le risque qu'un ouvrage présente vis-à-vis des usagers, ou qu'il pourrait présenter dans l'avenir.

La méthodologie présentée ci-après s'inspire de la « méthode départementale » relative à la gestion des ouvrages d'art en France.

Deux types de priorités sont à prendre en compte dans la programmation des actions de réparation et/ou de confortement :

- **Les indices de priorités techniques** qui permettent d'établir un ordre d'intervention selon des critères exclusivement techniques ;
- **Les indices de priorité socio-économiques** qui permettent de traduire l'urgence relative des différentes interventions en fonction de paramètres d'ordre économique et social.



### 11.2.2. Les indices de priorité technique

L'objectif est de déterminer l'ordre de priorité de réparation des ouvrages d'art selon des critères techniques. Cette étape s'avère nécessaire pour la phase ultérieure de programmation des interventions. On obtient un classement des ouvrages devant être réparés à court ou moyen terme, suivant l'indice de priorité technique (IT) attribué à chacun.

Les indices de priorité technique permettent de définir dans quel ordre il serait souhaitable d'engager des réparations sur les tronçons ou ouvrages concernés, sans prendre en considération leur importance socioéconomique.

#### 11.2.2.1. Ouvrages concernés et études préalables

L'attribution d'un indice de priorité technique concerne les ouvrages pour lesquels des travaux de réparation doivent être prévus à plus ou moins long terme. **Ces ouvrages ont déjà fait l'objet d'un diagnostic, puis d'une étude préliminaire permettant de disposer d'un montant estimatif des travaux.**

Ainsi, Après avoir relevé les désordres et les défauts rencontrés, et établi un procès-verbal, une évaluation technique des désordres constatés est effectué afin de définir d'une part, si une intervention est nécessaire et d'autre part, l'état de l'ouvrage concerné.

Les indices de priorité technique ne concernent pas les ouvrages pour lesquels il n'est pas envisagé, à court, moyen ou long terme, de travaux autres que l'entretien courant.

#### 11.2.2.2. Echelle de temps des indices

Nous proposons une échelle de temps des indices de priorité technique comportant quatre niveaux :

Echelle de temps	Délai de réparation des désordres
Travaux d'urgence (TU)	< 1 an
Court terme (CT)	1 à 2 ans
Moyen terme (MT)	3 à 4 ans
Long terme (LT)	≥ 5 ans

Tableau 258 : Classification des actions en fonction des considérations techniques sur la thématique hydraulique fluviale

Suivant les pratiques de programmation, le nombre de niveau et l'échelle des temps associés peuvent être adaptés.



### 11.2.2.3. Critères d'évaluation de l'indice de priorité technique

Les critères d'évaluation de l'indice de priorité technique retenus sont les suivants :

- la nature des désordres et le niveau de fragilité de l'ouvrage ;
- le contexte et l'environnement de l'ouvrage. Ainsi, par exemple, pour un affouillement constaté au droit d'un pont ou radier de franchissement d'un oued, les particularités suivantes du site constituent des indices pour prioriser la mise en œuvre de travaux de réparations et/ou de confortement de l'ouvrage : site affouillable, présence d'un méandre, .....;
- l'évolution potentielle du désordre constaté : s'agit-il d'un désordre stabilisé ou évolutif ? ;
- l'évolution potentielle du coût de la réparation, dans l'hypothèse où celle-ci est différée. Ainsi, si la réparation est différée à moyen ou long terme, on augmente le risque de destruction partielle ou totale de l'ouvrage à la suite d'une crue.

## 11.2.3. Les indices de priorité socio-économique

### 11.2.3.1. Objectifs

Ces indices sont conçus pour refléter le niveau d'intérêt d'effectuer ou non les réparations et/ou le confortement nécessaire au regard des intérêts économiques et sociaux.

Un indice de priorité socio-économique (ISE) peut être attribué à tout désordre constaté ou potentiel au niveau de la plate-forme routière.

Cet indice doit être le reflet des orientations souhaitées par le maître d'ouvrage.

### 11.2.3.2. Définition des critères de détermination de l'indice ISE

Les critères nécessaires à la définition de l'importance socio-économique des réparations et/ou confortement des désordres peuvent être les suivants :

- La population desservie ;
- L'activité économique ;
- Le trafic routier ;
- La fonctionnalité du tronçon correspond à son poids dans le réseau routier local. Elle se définit par la possibilité du tronçon d'être ou non remplacé (longueur de déviation).

	Enjeu faible	Enjeu moyen	Enjeu fort	Enjeu très fort
<b>C1 - Nombre d'habitants</b>	< 25 000	25 000 - 50 000	50 000 - 100 000	> 100 000
<b>C2 - Etablissements industriels</b>	0	0 - 5	5 - 10	> 10
<b>C3 - TMJA</b>	< 2 000	2 000 - 5 000	5 000 - 10 000	> 10 000
<b>C4 - Fonctionnalité</b>	< 30 min	30 min-1h	1h-2h	> 2h

Tableau 259 : Caractère stratégique - critères et classes d'enjeux

### 11.3. DEFINITION DES INDICES DE PRIORITE TECHNIQUE POUR LES 4 TRONÇONS ROUTIERS

#### 11.3.1. Hiérarchisation des actions relatives aux désordres

Les tableaux en pages suivantes présentent une classification des actions vis-à-vis des considérations techniques pour les thématiques hydraulique fluviale, assainissement routier et géotechnique.

Typologie des problématiques recensées		Critères de hiérarchisation pris en compte				Indices de priorité technique			
Principale	secondaire	Nature des désordres constatés ou potentiels	Contexte et environnement de l'ouvrage	Evolution potentielle du désordre lors d'une prochaine crue ?	Evolution potentielle du coût de la réparation dans l'hypothèse où celle-ci est différée ?				
Ouvrage de franchissement d'un oued	Dégradations et/ou affouillement au droit d'un ouvrage de franchissement (ponts submersibles ou insubmersibles et radiers submersibles)	Désordres constatés	présence de contraintes spécifiques : site affouillable, présence d'un méandre (attaque du courant), autres	Oui (substratum non affouillable non atteint)	Oui (destruction partielle ou totale de l'ouvrage)	Urgence (< 1 an)			
				Non (présence du substratum non affouillable)		Court terme (1 à 2 ans)			
		Désordres potentiels (suite à présence d'indices de fragilité)	présence de contraintes spécifiques : site affouillable, présence d'un méandre (attaque du courant), autres	pas de contraintes particulières	Oui (site affouillable)	Oui (destruction partielle ou totale de l'ouvrage)	Moyen terme (3 à 4 ans)		
					Long terme ≥ 5 ans				
	Absence de dispositifs de protection des remblais contre les crues	présence d'indices ou constats d'érosion	pas de contraintes particulières	Oui (substratum non affouillable non atteint)	Oui (destruction partielle ou totale de l'ouvrage)	Court terme (1 à 2 ans)			
				Non (présence du substratum non affouillable)		Moyen terme (3 à 4 ans)			
		pas de présence d'indices ou constats d'érosion	présence de contraintes spécifiques : site affouillable, présence d'un méandre (attaque du courant), autres	pas de contraintes particulières	Oui (site affouillable)	Oui	Moyen terme (3 à 4 ans)		
					Non (présence du substratum non affouillable)		Long terme ≥ 5 ans		
		Route en bordure d'un oued : érosion fluviale	Erosion de berge/pied de remblai par attaque du courant et variations des niveaux d'eau (crue et décrue)	Erosion du remblai routier	Constat important d'érosion du remblai routier	présence de contraintes spécifiques : lit mobile, site affouillable, présence d'un méandre (attaque du courant), autres	Oui (substratum non affouillable non atteint, .....)	Oui (destruction partielle ou totale de l'ouvrage)	Urgence (< 1 an)
					Constat d'érosion du remblai routier	présence de contraintes spécifiques : lit mobile, site affouillable, présence d'un méandre (attaque du courant), autres	Oui (substratum non affouillable non atteint, .....)	Oui (destruction partielle ou totale de l'ouvrage)	Court terme (1 à 2 ans)
Erosion potentielle du remblai routier suite à présence	présence de contraintes spécifiques : lit mobile, site affouillable, présence d'un méandre (attaque du courant), autres				Oui (substratum non affouillable non atteint, .....)	Oui (destruction partielle ou totale de l'ouvrage)	Moyen terme (3 à 4 ans)		
Erosion de la berge de l'oued	Distance entre le pied de talus et la berge du cours d'eau : d < 5 m		Distance entre le pied de talus et la berge du cours d'eau : 5 < d < 10 m	Distance entre le pied de talus et la berge du cours d'eau : d > 10 m	Oui (absence de dispositif de protection du remblai)	Oui (destruction partielle ou totale de l'ouvrage)	Court terme (1 à 2 ans)		
					Oui (absence de dispositif de protection du remblai)		Moyen terme (3 à 4 ans)		
					Oui (absence de dispositif de protection du remblai)		Long terme ≥ 5 ans		

Tableau 260 : Classification des actions en fonction des considérations techniques sur la thématique hydraulique fluviale

Typologie des problématiques recensées		Critères de hiérarchisation pris en compte				Indices de priorité technique
Principale	secondaire	Nature des désordres constatés ou potentiels	Contexte et environnement de l'ouvrage	Evolution potentielle du désordre lors des prochains épisodes pluvieux ?	Evolution potentielle du coût de la réparation dans l'hypothèse où celle-ci est différée ?	
Assainissement	Absence de réseau de collecte et d'évacuation des eaux pluviales	présence d'indices ou constats de désordres	-	Oui	Oui	Court terme (1 à 2 ans)
		pas de présence d'indices ou constats de désordres	-	Oui	Oui	Moyen terme (3 à 4 ans)
Ouvrage de franchissement d'un Chaâba	Insuffisance des dispositifs de protection existants ou absence de dispositifs de protection des remblais contigus aux ouvrages hydrauliques de traversée	Erosion et/ou affouillement constaté au niveau du remblai	-	Oui	Oui (destruction partielle du remblai routier)	Court terme (1 à 2 ans)
		Absence d'érosion	présence de contraintes spécifiques : coude (attaque du courant), chute amont ..	Oui	Oui (destruction partielle du remblai routier)	Moyen terme (3 à 4 ans)
	Dégradation de l'ouvrage hydraulique de traversée	Désordre structurel conséquent	-	Oui	Oui (ruine de l'ouvrage)	Urgence (< 1 an)
		Désordre structurel faible	-	Oui	Oui (ruine de l'ouvrage)	Moyen terme (3 à 4 ans)
Ouvrage hydraulique de franchissement d'un Chaâba et traversées d'assainissement	Insuffisance des dispositifs de protection existants ou absence de dispositifs de protection aux extrémités amont/aval des ouvrages de traversée	Affouillement constaté au débouché de l'ouvrage	-	Oui (substratum non affouillable non atteint)	Oui (destruction partielle du remblai routier)	Court terme (1 à 2 ans)
			-	Non (présence du substratum non affouillable)	Non	Moyen terme (3 à 4 ans)
		Absence d'affouillement	-	Oui (substratum non affouillable non atteint)	Oui (destruction partielle du remblai routier)	Long terme ≥ 5 ans
Erosion pluviale	Erosion des fossés latéraux	Erosion et/ou affouillement constaté au niveau de la plate-forme routière	-	Oui	Oui (destruction partielle du remblai routier)	Court terme (1 à 2 ans)
	Erosion des talus de remblais	Erosion et/ou affouillement constaté au niveau du remblai	-	Oui	Oui (destruction partielle du remblai routier)	Court terme (1 à 2 ans)
	Erosion des talus de déblais	Erosion et/ou affouillement constaté au niveau du remblai	-	Non	Non	Moyen terme (3 à 4 ans)

Tableau 261 : Classification des actions en fonction des considérations techniques sur la thématique assainissement routier

Thématiques	Typologie des problématiques recensées		Critères de hiérarchisation pris en compte				Indices de priorité technique
	Principale	secondaire	Nature des désordres constatés ou potentiels	Contexte et environnement de l'ouvrage	Evolution potentielle du désordre lors d'une prochaine crue?	Evolution potentielle du coût de la réparation dans l'hypothèse où celle-ci est différée?	
Géotechnique	Glissement de terrain	Déformation des systèmes de confortement (mur en gabion ou béton)	Désordre structurel conséquent	-	Oui	Oui (destruction partielle ou totale de la route)	Urgence (< 1 an)
			Désordre structurel faible	-	Oui	Oui (destruction partielle de la route)	Moyen terme (3 à 4 ans)
		Fissuration des structures en béton (fossé et accotement en béton)	Désordre structurel conséquent	-	Oui	Oui	Court terme (1 à 2 ans)
			Désordre structurel faible	-	Oui	Oui	Long terme ≥ 5 ans
		Absence de moyens de soutènement	Désordres constatés	-	Oui	Oui	Urgence (< 1 an)
			Désordre potentiels	-	Oui	Oui	Court terme (1 à 2 ans)
		Talus de déblai ou remblai à pente défavorable	Présence d'indices ou constats de glissement	Glissement en cours	Oui	Oui	Urgence (< 1 an)
				Glissement stabilisé	Oui	Oui	Court terme (1 à 2 ans)
			Pas de présence d'indices ou constats de désordres	-	Oui	Oui	Long terme ≥ 5 ans
		Prédominance de la marne altérée et saturée	Présence d'indices ou constats de glissement	Glissement en cours	Oui	Oui	Urgence (< 1 an)
				Glissement stabilisé	Oui	Oui	Court terme (1 à 2 ans)
			Pas de présence d'indices ou constats de désordres	-	Oui	Oui	Long terme ≥ 5 ans
		Versant instable à topographie défavorable et absence de drainage	Présence d'indices ou constats de glissement	Glissement en cours	Oui	Oui	Urgence (< 1 an)
				Glissement stabilisé	Oui	Oui	Court terme (1 à 2 ans)
			Pas de présence d'indices ou constats de désordres	-	Oui	Oui	Long terme ≥ 5 ans

Tableau 262 : Classification des actions en fonction des considérations techniques sur la thématique géotechnique



Thématiques	Typologie des problématiques recensées		Critères de hiérarchisation pris en compte				Indices de priorité technique		
	Principale	secondaire	Nature des désordres constatés ou potentiels	Contexte et environnement de l'ouvrage	Evolution potentielle du désordre lors d'une prochaine crue?	Evolution potentielle du coût de la réparation dans l'hypothèse où celle-ci est différée?			
Géotechnique	Instabilité rocheuse (chute de blocs, éboulement)	Dégradation de la chaussée par les blocs chutés	Présence d'indices ou constats de désordres	-	Oui	Oui	Urgence (< 1 an)		
			Pas de présence d'indices ou constats de désordres	Déblai de hauteur ≥ 10 m	Oui	Oui	Moyen terme (3 à 4 ans)		
				Déblai de hauteur < 10 m	Oui	Oui	Long terme ≥ 5 ans		
		Absence de moyens de protection appropriés	Désordres constatés	-	Oui	Oui	Court terme (1 à 2 ans)		
			Désordre potentiels	-	Oui	Oui	Moyen terme (3 à 4 ans)		
		Déblai de rocher fracturé à forte pente	Présence d'indices ou constats de désordres	-	Oui	Oui	Court terme (1 à 2 ans)		
			Pas de présence d'indices ou constats de désordres	Déblai de hauteur ≥ 10 m	Oui	Oui	Moyen terme (3 à 4 ans)		
				Déblai de hauteur < 10 m	Oui	Oui	Long terme ≥ 5 ans		
		Structure de chaussée	Dégradation de la Structure de chaussée	Déformation et ondulation de la chaussée	Dégradation de la chaussée (y compris des accotements)	Dégradation sur plus de la moitié de la route	Oui (en absence de traitement des désordres géologiques)	Oui (dégradation de toute la route)	Court terme (1 à 2 ans)
				Affaissement de la chaussée		Dégradation sur la moitié de la plateforme routière	Oui (en absence de traitement des désordres géologiques)	Oui (dégradation d'une grande partie de la chaussée)	Moyen terme (3 à 4 ans)
Fissuration longitudinale	Dégradation localisée au niveau des accotements			Oui (en absence de traitement des désordres géologiques)		Oui (dégradation d'une partie de la chaussée)	Long terme ≥ 5 ans		
Destruction de la chaussée	Destruction et départ de la chaussée (y compris des accotements)			Départ de plus de la moitié de la chaussée	Oui (en absence de traitement des désordres géologiques)	Oui (départ de toute la route)	Urgence (< 1 an)		
Accotement bétonné fracturé ou détruit, ou comblé par éboulis coté déblai				Départ de la moitié de la plateforme routière	Oui (en absence de traitement des désordres géologiques)	Oui (départ d'une grande partie de la chaussée)	Court terme (1 à 2 ans)		
Evolution de nids de poule				Départ localisé des accotements	Oui (en absence de traitement des désordres géologiques)	Oui (départ d'une partie de la chaussée)	Moyen terme (3 à 4 ans)		

Tableau 263 : Classification des actions en fonction des considérations techniques sur la thématique géotechnique et chaussées

## 11.4. DEFINITION DES INDICES DE PRIORITE SOCIO-ECONOMIQUE POUR LES 4 TRONÇONS ROUTIERS

### 11.4.1. Critères et classe d'enjeu

Chaque enjeu est décomposé en 4 classes permettant de prioriser les tronçons entre eux.

Les enjeux et les classes retenues sont les suivants :

- Le nombre d'habitants desservis
- Le nombre d'établissements industriels desservis. Nous choisissons de ne retenir que cet indicateur car c'est le seul qui soit décliné à la commune, les autres indicateurs étant déclinés à l'échelle, beaucoup plus large, de la province.
- Le niveau de trafic sur le tronçon (TMJA) ;
- La fonctionnalité du tronçon en fonction du temps de parcours supplémentaire moyen à parcourir en situation dégradée.

	Enjeu faible	Enjeu moyen	Enjeu fort	Enjeu très fort
<b>Nombre d'habitants</b>	< 25 000	25 000 - 50 000	50 000 - 100 000	> 100 000
<b>Etablissements industriels</b>	0	0 - 5	5 - 10	> 10
<b>TMJA</b>	< 2 000	2 000 - 5 000	5 000 - 10 000	> 10 000
<b>Fonctionnalité</b>	< 30 min	30 min-1h	1h-2h	> 2h

Tableau 264 : Exemple de grille pour les critères socio-économiques

Au regard des classes d'enjeux décrites ci-avant, les enjeux par tronçons peuvent être caractérisés de la façon suivante :

- L'enjeu nombre d'habitants est le plus fort sur les tronçons Chefchaouen-Issaguen et Outabouabane-Saka. Il est par contre plus faible sur le tronçon Irgirem-Assaki ;
- L'enjeu établissements industriels desservis est le plus fort sur le tronçon Chefchaouen-Issaguen. Il est en revanche plus faible sur le tronçon Irgirem-Assaki ;
- L'enjeu TMJA est le plus fort sur le tronçon Chefchaouen-Issaguen ;
- L'enjeu fonctionnalité est le plus fort sur le tronçon Imilchil – Er Rich.

	Nombre d'habitants	Etablissements industriels	TMJA	Fonctionnalité
<i>Chefchaouen - Issaguen</i>	> 100 000	> 10	2 000 - 5 000	1h-2h
<i>Outabouabane - Saka</i>	> 100 000	0 - 5	< 2 000	30 min-1h
<i>Imilchil - Er Rich</i>	25 000 - 50 000	0 - 5	< 2 000	> 2h
<i>Ighrem - Assaki</i>	< 25 000	0	< 2 000	30 min-1h

Tableau 265 : Classification des tronçons en fonction des critères socio-économiques

Pour attribuer un indice ISE à chaque tronçon la méthode proposée est la suivante :

- Etablir une correspondance numérique pour chaque couleur : ainsi le vert équivaut à 1, le jaune à 2, le rouge à 3 et le noir à 4.

	Nombre d'habitants	Etablissements industriels	TMJA	Fonctionnalité
<i>Chefchaouen - Issaguen</i>	4	4	2	3
<i>Outabouabane - Saka</i>	4	2	1	2
<i>Imilchil - Er Rich</i>	2	2	1	4
<i>Ighrem - Assaki</i>	1	1	1	2

Tableau 266 : Transformation numérique de la matrix socio-économique

- Etablir des poids de pondération de chaque critère : Plusieurs méthodes peuvent être appliquées,
  - la plus simple est de considérer que tous les critères ont le même poids (soit 25% chacun) ;
  - un autre critère serait de considérer que les établissements industriels ont un poids moins important que le reste, mais que les autres ont un poids similaire ;
  - une autre possibilité serait de ne considérer comme critères que la population et le trafic.
- Calculer la moyenne pondérée de chaque tronçon et la classer selon le tableau suivant:

ISE très fort	3,25 - 4
ISE fort	2,5 - 3,25
ISE moyen	1,75 - 2,50
ISE faible	1 - 1,75

Tableau 267 : Proposition de fourchette à appliquer pour l'ISE

Si on applique cette méthode aux 4 tronçons, pour les trois critères de pondération différents, les résultats sont assez similaires :

	Nombre d'habitants	Etablissements industriels	TMJA	Fonctionnalité	ISE
	25	25	25	25	
<i>Chefchaouen - Issaguen</i>	4	4	2	3	3,25
<i>Outabouabane - Saka</i>	4	2	1	2	2,25
<i>Imilchil - Er Rich</i>	2	2	1	4	2,25
<i>Ighrem - Assaki</i>	1	1	1	2	1,25

	Nombre d'habitants	Etablissements industriels	TMJA	Fonctionnalité	ISE
	30	10	30	30	
<i>Chefchaouen - Issaguen</i>	4	4	2	3	3,1
<i>Outabouabane - Saka</i>	4	2	1	2	2,3
<i>Imilchil - Er Rich</i>	2	2	1	4	2,3
<i>Ighrem - Assaki</i>	1	1	1	2	1,3

	Nombre d'habitants	Etablissements industriels	TMJA	Fonctionnalité	ISE
	50	0	50	0	
<i>Chefchaouen - Issaguen</i>	4	4	2	3	3
<i>Outabouabane - Saka</i>	4	2	1	2	2,5
<i>Imilchil - Er Rich</i>	2	2	1	4	1,5
<i>Ighrem - Assaki</i>	1	1	1	2	1

Tableau 268 : Calcul de l'ISE du tronçon selon différents coefficients de pondération des critères

L'indice de priorité socio-économique englobe le caractère stratégique de la route et doit pourtant être unique. Il faut prendre en compte le fait que des critères différents de ceux que nous avons choisis peuvent entrer en ligne de compte. De la même façon, certains des critères que nous avons retenus peuvent s'avérer sans intérêt par la DR. Nous avons proposé des critères qui nous semblent pertinents et faciles à exploiter, mais la méthode de détermination d'ISE reste valable quels que soient les critères finalement retenus par la DR.

Il y a certaines précautions à prendre au moment d'établir les critères qui seront à la base du calcul de l'ISE. En effet, il faut veiller à ce que les critères soient représentatifs et sans doublons, car ceux-ci pourraient diminuer l'influence des autres paramètres. Une étude de sensibilité des critères et des coefficients pondérateurs choisis serait préférable avant la détermination des indices ISE de l'ensemble du réseau routier.

## 11.5. PROGRAMMATION DES ACTIONS

Nous avons traité dans les chapitres précédents comment établir les deux types de priorités à prendre en compte dans la programmation des actions de réparation et/ou de confortement :

- **Les indices de priorités techniques** qui permettent d'établir un ordre d'intervention selon des critères exclusivement techniques ;
- **Les indices de priorité socio-économiques** qui permettent de traduire l'urgence relative des différentes interventions en fonction de paramètres d'ordre économique et social.

Pour prendre en compte à la fois les deux indices, nous proposons un tableau croisé permettant d'établir la priorité de traitement des désordres en fonction du caractère stratégique du tronçon où ils ont eu lieu.

IS IT	ISE très fort	ISE fort	ISE moyen	ISE faible
Urgence ( < 1 an)				
Court terme (1 à 2 ans)				
Moyen terme (3 à 4 ans)				
Long terme ≥ 5 ans				

Tableau 269 : Tableau de croisement de l'IT avec l'ISE pour l'obtention de l'indice de priorité global

## 11.6. APPLICATION AUX 4 TRONÇONS

Nous avons croisé les deux indices pour la typologie de désordres en fonction du tronçon pour le cas où tous les critères socio-économiques ont le même poids.

Les tableaux suivants montrent le type des désordres ou les actions deviennent prioritaires si nous comparons des problématiques dans des tronçons différents.

Après, nous avons continué l'exemple d'application pour une section du tronçon routier de la RR508 (PK71 au PK81). Il peut être noté que cette application n'est pas exhaustive. En effet, elle est uniquement basée sur les visites de site effectuées dans le cadre de l'activité 1 ; celles-ci étant ponctuelles.



Typologie des problématiques recensées		Critères de hiérarchisation pris en compte				Indices de priorité technique	Indices de priorité				
Principale	secondaire	Nature des désordres constatés ou potentiels	Contexte et environnement de l'ouvrage	Evolution potentielle du désordre lors d'une prochaine crue ?	Evolution potentielle du coût de la réparation dans l'hypothèse où celle-ci est différée ?		ISE Chefchaouen Issaguen	ISE Outabouababane Saka	ISE Imilchil Er Rich	ISE Irgherm Assaki	
Ouvrage de franchissement d'un oued	Dégradations et/ou affouillement au droit d'un ouvrage de franchissement (ponts submersibles ou insubmersibles et radiers submersibles)	Désordres constatés	présence de contraintes spécifiques : site affouillable, présence d'un méandre (attaque du courant), autres	Oui (substratum non affouillable non atteint)	Oui (destruction partielle ou totale de l'ouvrage)	Urgence (< 1 an)					
				Non (présence du substratum non affouillable)		Court terme (1 à 2 ans)					
		Désordres potentiels (suite à présence d'indices de fragilité)	présence de contraintes spécifiques : site affouillable, présence d'un méandre (attaque du courant), autres pas de contraintes particulières	Oui (site affouillable)	Oui (destruction partielle ou totale de l'ouvrage)	Moyen terme (3 à 4 ans)					
						Long terme ≥ 5 ans					
	Absence de dispositifs de protection des remblais contre les crues	présence d'indices ou constats d'érosion	présence de contraintes spécifiques : site affouillable, présence d'un méandre (attaque du courant), autres pas de contraintes particulières	Oui (substratum non affouillable non atteint)	Oui (destruction partielle ou totale de l'ouvrage)	Court terme (1 à 2 ans)					
				Non (présence du substratum non affouillable)	Non	Moyen terme (3 à 4 ans)					
		pas de présence d'indices ou constats d'érosion	présence de contraintes spécifiques : site affouillable, présence d'un méandre (attaque du courant), autres pas de contraintes particulières	Oui (site affouillable)	Oui	Moyen terme (3 à 4 ans)					
				Non (présence du substratum non affouillable)	Non	Long terme ≥ 5 ans					
	Route en bordure d'un oued : érosion fluviale	Erosion de berge/pied de remblai par attaque du courant et variations des niveaux d'eau (crue et décrue)	Erosion du remblai routier	Constat important d'érosion du remblai routier Constat d'érosion du remblai routier Erosion potentielle du remblai routier suite à présence d'indices de fragilité	présence de contraintes spécifiques : lit mobile, site affouillable, présence d'un méandre (attaque du courant), autres	Oui (substratum non affouillable non atteint, .....)	Oui (destruction partielle ou totale de l'ouvrage)	Urgence (< 1 an)			
					présence de contraintes spécifiques : lit mobile, site affouillable, présence d'un méandre (attaque du courant), autres	Oui (substratum non affouillable non atteint, .....)	Oui (destruction partielle ou totale de l'ouvrage)	Court terme (1 à 2 ans)			
présence de contraintes spécifiques : lit mobile, site affouillable, présence d'un méandre (attaque du courant), autres					Oui (substratum non affouillable non atteint, .....)	Oui (destruction partielle ou totale de l'ouvrage)	Moyen terme (3 à 4 ans)				
Erosion de la berge de l'oued			Distance entre le pied de talus et la berge du cours d'eau : d < 5 m Distance entre le pied de talus et la berge du cours d'eau : 5 < d < 10 m Distance entre le pied de talus et la berge du cours d'eau : d > 10 m	présence de contraintes spécifiques : lit mobile, site affouillable, présence d'un méandre (attaque du courant), autres	Oui (absence de dispositif de protection du remblai routier)	Oui (destruction partielle ou totale de l'ouvrage)	Court terme (1 à 2 ans)				
					Oui (absence de dispositif de protection du remblai routier)	Oui (destruction partielle ou totale de l'ouvrage)	Moyen terme (3 à 4 ans)				
					Oui (absence de dispositif de protection du remblai routier)	Oui (destruction partielle ou totale de l'ouvrage)	Long terme ≥ 5 ans				
					Oui (absence de dispositif de protection du remblai routier)	Oui (destruction partielle ou totale de l'ouvrage)					

Tableau 270 : Indice de priorité par désordre et par tronçon (thématique hydraulique fluviale)

Thématiques	Typologie des problématiques recensées		Critères de hiérarchisation pris en compte				Indices de priorité technique	Indices de priorité			
	Principale	secondaire	Nature des désordres constatés ou potentiels	Contexte et environnement de l'ouvrage	Evolution potentielle du désordre lors des prochains épisodes pluvieux ?	Evolution potentielle du coût de la réparation dans l'hypothèse où celle-ci est différée ?		ISE Chefchaouen Issaguen	ISE Outabouababane Saka	ISE Imilchil Er Rich	ISE Irgherm Assaki
Assainissement routier	Assainissement	Absence de réseau de collecte et d'évacuation des eaux pluviales	présence d'indices ou constats de désordres	-	Oui	Oui	Court terme (1 à 2 ans)				
			pas de présence d'indices ou constats de désordres	-	Oui	Oui	Moyen terme (3 à 4 ans)				
	Ouvrage de franchissement d'un Chaâba	Insuffisance des dispositifs de protection existants ou absence de dispositifs de protection des remblais contigus aux ouvrages hydrauliques de traversée	Erosion et/ou affouillement constaté au niveau du remblai	-	Oui	Oui (destruction partielle du remblai routier)	Court terme (1 à 2 ans)				
			Absence d'érosion	présence de contraintes spécifiques : coude (attaque du courant), chute amont, .....	Oui	Oui (destruction partielle du remblai routier)	Moyen terme (3 à 4 ans)				
			Désordre structurel conséquent	-	Oui	Oui (ruine de l'ouvrage)	Urgence (< 1 an)				
	Ouvrage hydraulique de franchissement d'un Chaâba et traversées d'assainissement	Insuffisance des dispositifs de protection existants ou absence de dispositifs de protection aux extrémités amont/aval des ouvrages de traversée	Affouillement constaté au débouché de l'ouvrage	-	Oui (substratum non affouillable non atteint)	Oui (destruction partielle du remblai routier)	Court terme (1 à 2 ans)				
			Absence d'affouillement	-	Oui (substratum non affouillable non atteint)	Oui (destruction partielle du remblai routier)	Long terme ≥ 5 ans				
	Erosion pluviale	Erosion des fossés latéraux	Erosion et/ou affouillement constaté au niveau de la plate-forme routière	-	Oui	Oui (destruction partielle du remblai routier)	Court terme (1 à 2 ans)				
			Erosion des talus de remblais	Erosion et/ou affouillement constaté au niveau du remblai	-	Oui	Oui (destruction partielle du remblai routier)	Court terme (1 à 2 ans)			
			Erosion des talus de déblais	Erosion et/ou affouillement constaté au niveau du remblai	-	Non	Non	Moyen terme (3 à 4 ans)			

Tableau 271 : Indice de priorité par désordre et par tronçon (thématique assainissement routier)

Thématiques	Typologie des problématiques recensées		Critères de hiérarchisation pris en compte				Indices de priorité technique	Indices de priorité			
	Principale	secondaire	Nature des désordres constatés ou potentiels	Contexte et environnement de l'ouvrage	Evolution potentielle du désordre lors des prochains épisodes pluvieux ?	Evolution potentielle du coût de la réparation dans l'hypothèse où celle-ci est différée?		ISE Chefchaouen Issaguen	ISE Outabouababane Saka	ISE Imilchil Er Rich	ISE Irgherm Assaki
Géotechnique	Glissement de terrain	Déformation des systèmes de confortement (mur en gabion ou béton)	Désordre structurel conséquent	-	Oui	Oui (destruction partielle ou totale de la route)	Urgence (< 1 an)				
			Désordre structurel faible	-	Oui	Oui (destruction partielle de la route)	Moyen terme (3 à 4 ans)				
		Fissuration des structures en béton (fossé et accotement en béton)	Désordre structurel conséquent	-	Oui	Oui	Court terme (1 à 2 ans)				
			Désordre structurel faible	-	Oui	Oui	Long terme ≥ 5 ans				
		Absence de moyens de soutènement	Désordres constatés	-	Oui	Oui	Urgence (< 1 an)				
			Désordre potentiels	-	Oui	Oui	Court terme (1 à 2 ans)				
		Talus de déblai ou remblai à pente défavorable	Présence d'indices ou constats de glissement	Glissement en cours	Oui	Oui	Urgence (< 1 an)				
				Glissement stabilisé	Oui	Oui	Court terme (1 à 2 ans)				
			Pas de présence d'indices ou constats de désordres	-	Oui	Oui	Long terme ≥ 5 ans				
		Prédominance de la marne altérée et saturée	Présence d'indices ou constats de glissement	Glissement en cours	Oui	Oui	Urgence (< 1 an)				
				Glissement stabilisé	Oui	Oui	Court terme (1 à 2 ans)				
			Pas de présence d'indices ou constats de désordres	-	Oui	Oui	Long terme ≥ 5 ans				
		Versant instable à topographie défavorable et absence de drainage	Présence d'indices ou constats de glissement	Glissement en cours	Oui	Oui	Urgence (< 1 an)				
				Glissement stabilisé	Oui	Oui	Court terme (1 à 2 ans)				
			Pas de présence d'indices ou constats de désordres	-	Oui	Oui	Long terme ≥ 5 ans				

Tableau 272 : Indice de priorité par désordre et par tronçon (thématique géotechnique)

Thématiques	Typologie des problématiques recensées		Critères de hiérarchisation pris en compte				Indices de priorité technique	Indices de priorité			
	Principale	secondaire	Nature des désordres constatés ou potentiels	Contexte et environnement de l'ouvrage	Evolution potentielle du désordre lors des prochains épisodes pluvieux ?	Evolution potentielle du coût de la réparation dans l'hypothèse où celle-ci est différée?		ISE Chefchaouen Issaguen	ISE Outabouababane Saka	ISE Imilchil Er Rich	ISE Irgherm Assaki
Géotechnique	Instabilité rocheuse (chute de blocs, éboulement)	Dégradation de la chaussée par les blocs chutés	Présence d'indices ou constats de désordres	-	Oui	Oui	Urgence (< 1 an)				
			Pas de présence d'indices ou constats de désordres	Déblai de hauteur ≥ 10 m	Oui	Oui	Moyen terme (3 à 4 ans)				
				Déblai de hauteur < 10 m	Oui	Oui	Long terme ≥ 5 ans				
		Absence de moyens de protection appropriés	Désordres constatés	-	Oui	Oui	Court terme (1 à 2 ans)				
			Désordre potentiels	-	Oui	Oui	Moyen terme (3 à 4 ans)				
		Déblai de rocher fracturé à forte pente	Présence d'indices ou constats de désordres	-	Oui	Oui	Court terme (1 à 2 ans)				
			Pas de présence d'indices ou constats de désordres	Déblai de hauteur ≥ 10 m	Oui	Oui	Moyen terme (3 à 4 ans)				
				Déblai de hauteur < 10 m	Oui	Oui	Long terme ≥ 5 ans				
		Structure de chaussée	Dégradation de la Structure de chaussée	Déformation et ondulation de la chaussée	Dégradation de la chaussée (y compris des accotements)	Dégradation sur plus de la moitié de la route	Oui (en absence de traitement des désordres géologiques)	Oui (dégradation de toute la route)	Court terme (1 à 2 ans)		
Affaissement de la chaussée	Dégradation sur la moitié de la plateforme routière			Oui (en absence de traitement des désordres géologiques)		Oui (dégradation d'une grande partie de la chaussée)	Moyen terme (3 à 4 ans)				
Fissuration longitudinale	Dégradation localisée au niveau des accotements			Oui (en absence de traitement des désordres géologiques)		Oui (dégradation d'une partie de la chaussée)	Long terme ≥ 5 ans				
Destruction de la chaussée	Destruction et départ de la chaussée (y compris des accotements)			Départ de plus de la moitié de la chaussée	Oui (en absence de traitement des désordres géologiques)	Oui (départ de toute la route)	Urgence (< 1 an)				
Accotement bétonné fracturé ou détruit, ou comblé par éboulis coté déblai				Départ de la moitié de la plateforme routière	Oui (en absence de traitement des désordres géologiques)	Oui (départ d'une grande partie de la chaussée)	Court terme (1 à 2 ans)				
Evolution de nids de poule				Départ localisé des accotements	Oui (en absence de traitement des désordres géologiques)	Oui (départ d'une partie de la chaussée)	Moyen terme (3 à 4 ans)				

Tableau 273 : Indice de priorité par désordre et par tronçon (thématique géotechnique et chaussées)

## Hiérarchisation des travaux de réparation et/ou de confortement vis-à-vis des phénomènes hydrauliques

### Application à la section de la RR508 entre les PK 71 et 81

#### HYDRAULIQUE FLUVIALE

Localisation	Classes de vulnérabilité	Typologie des problématiques recensées		Critères de hiérarchisation pris en compte				Indices de priorité technique	Indices de priorité socio-économique	Indices de priorité globale
		Principale	secondaire	Nature des désordres constatés ou potentiels	Contexte et environnement de l'ouvrage	Evolution potentielle du désordre lors d'une prochaine crue ?	Evolution potentielle du coût de la réparation dans l'hypothèse où celle-ci est différée ?			
PK 71.000 à 72.790	Faible à nulle	-	-	-	-	-	-	-	Tronçon Outabouababane Saka	-
PK 72.790 à 73.030	Très forte	Erosion fluviale : bordure oued	Erosion de berge/pied de remblai par attaque du courant et variations des niveaux d'eau (crue et décrue)	Erosion potentielle du remblai routier suite à présence d'indices de fragilité	présence de contraintes spécifiques : présence d'un méandre (attaque du courant) et site affouillable ?	Oui (site à priori affouillable)	Oui (destruction partielle ou totale de l'ouvrage)	Moyen terme (3 à 4 ans)		
PK 73.030 à 77.030	Faible à nulle	-	-	-	-	-	-	-		-
PK 77.030 à 77.450	Très forte	Erosion fluviale : bordure oued	Erosion de berge/pied de remblai par attaque du courant et variations des niveaux d'eau (crue et décrue)	Erosion potentielle du remblai routier suite à présence d'indices de fragilité	présence de contraintes spécifiques : présence d'un méandre (attaque du courant) et site affouillable	Oui (site affouillable : indices d'affouillements)	Oui (destruction partielle ou totale de l'ouvrage)	Moyen terme (3 à 4 ans)		
PK 77.450 à 77.800	Faible à nulle	-	-	-	-	-	-	-		-
PK 77.800	Forte	Ouvrage de franchissement d'un oued	Absence de dispositifs de protection des remblais contigus à l'ouvrage d'art contre les crues	constat ponctuel d'érosion du talus de remblai	pas de contraintes particulières	Oui	Oui (destruction partielle de l'ouvrage)	Moyen terme (3 à 4 ans)		
PK 77.800 à 78.650	Faible à nulle	-	-	-	-	-	-	-		-
PK 78.650 à 79.850	Très forte	Erosion fluviale : bordure oued	Erosion de berge/pied de remblai par attaque du courant et variations des niveaux d'eau (crue et décrue)	Erosion du remblai routier	présence de contraintes spécifiques : présence d'un méandre (attaque du courant) et site affouillable	Oui (site affouillable : indices d'affouillements)	Oui (destruction partielle ou totale de l'ouvrage)	Court terme (1 à 2 ans)		
PK 79.850 à 80.305	Faible à nulle	-	-	-	-	-	-	-		-
PK 80.305 à 80.685	Très forte	Erosion fluviale : bordure oued	Erosion de berge/pied de remblai par attaque du courant et variations des niveaux d'eau (crue et décrue)	Affouillement et ruine partielle en pied d'un mur de protection	présence de contraintes spécifiques : lit mobile, site affouillable, présence d'un méandre (attaque du courant), autres	Oui (substratum non affouillable non atteint)	Oui (destruction partielle ou totale de l'ouvrage)	Urgence (< 1 an)		
PK 80.685 à 81.000	Faible à nulle	-	-	-	-	-	-	-	-	

ASSAINISSEMENT ROUTIER										
Localisation	Classes de vulnérabilité	Typologie des problématiques recensées		Critères de hiérarchisation pris en compte				Indices de priorité technique	Indices de priorité socio-économique	Indices de priorité globale
		Principale	secondaire	Nature des désordres constatés ou potentiels	Contexte et environnement de l'ouvrage	Evolution potentielle du désordre lors des prochains épisodes pluvieux ?	Evolution potentielle du coût de la réparation dans l'hypothèse où celle-ci est différée ?			
PK 71.000 à 71.600	Faible à nulle								Tronçon Outabouababane Saka	
PK 71.600 à 72.860	Forte	Assainissement	Absence de réseau de collecte et d'évacuation des eaux pluviales en pied de déblai	pas de présence d'indices ou constats de désordres	-	Oui	Oui	Moyen terme (3 à 4 ans)		
PK 72.860	Forte	Ouvrage de franchissement d'un Chaâba	Insuffisance des dispositifs de protection existants ou absence de dispositifs de protection des remblais contigus aux ouvrages hydrauliques de traversée	Absence d'érosion	présence de contraintes spécifiques : zone de glissement potentielle et remblai en bordure d'un oued	Oui	Oui (destruction partielle du remblai routier)	Moyen terme (3 à 4 ans)		
PK 72.860 à 73.030	Forte	Assainissement	Absence de réseau de collecte et d'évacuation des eaux pluviales en pied de déblai	pas de présence d'indices ou constats de désordres	-	Oui	Oui	Moyen terme (3 à 4 ans)		
PK 73.030 à 78.650	Faible à nulle									
PK 78.650 à 80.685	Forte	Assainissement	Absence de réseau de collecte et d'évacuation des eaux pluviales en pied de déblai	pas de présence d'indices ou constats de désordres	-	Oui	Oui	Moyen terme (3 à 4 ans)		
PK 80.685 à 81.000	Faible à nulle									



**Hiérarchisation des travaux de réparation et/ou de confortement vis-à-vis des phénomènes géotechniques et de chaussée  
Application à la section de la RR508 entre les PK 71 et 81**

**GEOTECHNIQUE**

Localisation	Classes de vulnérabilité	Typologie des problématiques recensées		Critères de hiérarchisation pris en compte				Indices de priorité technique	Indices de priorité socio-économique	Indices de priorité globale
		Principale	secondaire	Nature des désordres constatés ou potentiels	Contexte et environnement de l'ouvrage	Evolution potentielle du désordre lors d'une prochaine crue ?	Evolution potentielle du coût de la réparation dans l'hypothèse où celle-ci est différée ?			
71+800 (*)	Moyenne	Glissement	Absence de moyens de soutènement	Désordres constatés avec un glissement bien visible sur le talus en déblai et la suppression de butée suite au sapement de pied par l'oued coté remblai	-	Oui	Oui	Urgence (< 1 an)	<i>Tronçon Outabouababane Saka</i>	Urgence
72+300 (*)	Moyenne	Glissement	Déformation des systèmes de confortement (mur en gabion ou béton)	Désordre structurel conséquent avec dégradation du mur de soutènement sur une section longée par l'oued	-	Oui	Oui (destruction partielle ou totale de la route)	Urgence (< 1 an)		Urgence
80+500 (*)	Forte	Glissement	Déformation des systèmes de confortement (mur en gabion ou béton)	Désordre structurel conséquent avec mur en gabion dégradé et détruit, dans une section longée par l'oued en pied de remblai	-	Oui	Oui (destruction partielle ou totale de la route)	Urgence (< 1 an)		Urgence

(\*) La réalisation d'études approfondies est nécessaire pour cerner l'étendue de la zone de glissement.

CHAUSSEE										
Localisation	Classes de vulnérabilité	Typologie des problématiques recensées		Critères de hiérarchisation pris en compte				Indices de priorité technique	Indices de priorité socio-économique	Indices de priorité globale
		Principale	secondaire	Nature des désordres constatés ou potentiels	Contexte et environnement de l'ouvrage	Evolution potentielle du désordre lors des prochains épisodes pluvieux ?	Evolution potentielle du coût de la réparation dans l'hypothèse où celle-ci est différée ?			
71+800	Moyenne	Dégradation de la chaussée	Fissuration et affaissement de la chaussée	Dégradation de la chaussée (y compris des accotements)	Dégradation sur plus de la moitié de la route	Oui (en absence de traitement des désordres géologiques)	Oui (dégradation de toute la route)	Court terme (1 à 2 ans)	Tronçon Outabouababane Saka	
72+300	Moyenne	Dégradation de la chaussée	Fissuration et affaissement de la chaussée	Dégradation de la chaussée (y compris des accotements)	Dégradation sur la moitié de la plateforme routière	Oui (en absence de traitement des désordres géologiques)	Oui (dégradation d'une grande partie de la chaussée)	Moyen terme (3 à 4 ans)		
77+800	Moyenne	Dégradation de la chaussée	Evolution des nids de poule / Destruction de la chaussée	Dégradation de la chaussée (y compris des accotements) / destruction partielle des accotements au droit de l'ouvrage d'art	Dégradation sur la moitié de la plateforme routière / Départ localisé des accotements	Oui (en absence de traitement des désordres géologiques)	Oui (dégradation d'une grande partie de la chaussée / départ d'une partie de la chaussée)	Moyen terme (3 à 4 ans)		
80+500	Moyenne	Dégradation de la chaussée	Fissuration et affaissement de la chaussée / Destruction de la chaussée	Dégradation de la chaussée (y compris des accotements) / destruction partielle des accotements du coté remblai	Dégradation sur la moitié de la plateforme routière / Départ localisé des accotements	Oui (en absence de traitement des désordres géologiques)	Oui (dégradation d'une grande partie de la chaussée / départ d'une partie de la chaussée)	Moyen terme (3 à 4 ans)		

## 12. EVALUATION DE L'EFFICACITE DES MESURES

### 12.1. CRITERES POUR L'EVALUATION DE L'EFFICACITE DES MESURES

Dans les chapitres 8, 9 et 10 l'Ingénierie a proposé une panoplie de solutions potentielles aux typologies de dégradations relevées sur les 4 tronçons objet de l'étude.

Ces dégradations sont d'origine hydraulique ou géotechnique, pour la chaussée les dégradations relevées restent une conséquence des désordres liés aux sols.

La proposition de ces mesures repose en grande partie sur l'expertise acquise par l'Ingénierie le long des projets sur lesquels elle a eu l'opportunité de travailler. Afin de juger de la pertinence de ces mesures il est important d'en évaluer l'efficacité via des critères bien définis.

L'Ingénierie présente ci-après l'approche préconisées pour les thématiques étudiées, à savoir hydraulique – assainissement et géotechnique.

#### 12.1.1. Hydraulique et assainissement

##### 12.1.1.1. Systèmes de prévisions et d'annonce de crue

L'efficacité de ces systèmes peut être qualifiée suivant les paramètres suivants :

- la gamme de bassins franchissant les 4 routes étudiées :
  - Le comportement des bassins de petite tailles en zone montagneuse est difficile à prévoir: ce sont des torrents de montagne avec des faibles temps de propagations, caractérisé par leur violence et leur courte durée ;
  - Les bassins moyens à grands, de surface de plus de 20 voire 100 km<sup>2</sup>, ont des temps de propagation plus importants dépassant les 2 à 3 heures. Ce sont des oueds pour lesquels l'annonce et/ou la prévision est la plus intéressante ;
- la couverture géographique et qualité du réseau de télémesure :
  - L'existence de stations dans les parties supérieures des bassins et sur des points intermédiaires entre ces stations et les points de franchissement permettent un suivi en temps réel de l'évolution des quantités de pluie et des niveaux d'eau dans les oueds ;
  - La présence d'antennes relais pour transmettre les données vers les sièges des DPETL est importante pour disposer d'un système efficace ;
  - La mise en place d'un réseau moderne et opérationnel est un garant de son bon fonctionnement.
- et la réactivité des collaborateurs : les collaborateurs des DPETL et DRETL devront être sensibilisés et formés pour être familiarisés à ces systèmes une fois mis en place.

### 12.1.2. Géotechnique

En géotechnique l'appréciation de la pertinence et l'efficacité des solutions nécessite des calculs de stabilité permettant de :

- modéliser l'état initial afin de délimiter de manière préliminaire l'étendue des déformations ;
- modéliser l'état de projet avec les solutions retenues afin d'en vérifier l'efficacité.

Ainsi des logiciels de calculs de stabilité peuvent être utilisés en amont et donnent des résultats généralement satisfaisants sous réserve de validité des hypothèses et paramètres d'entrées qui sont principalement :

- La topographie ;
- Les niveaux d'eau avec ces variations ;
- Les paramètres intrinsèques du sol issu des sondages in-situ (natures poids volumiques....) ;
- Les paramètres mécaniques des sols comme (l'angle de frottement et la cohésion) issues des essais en laboratoires.

On présente ci-dessous un exemple de sorties de ces logiciels :

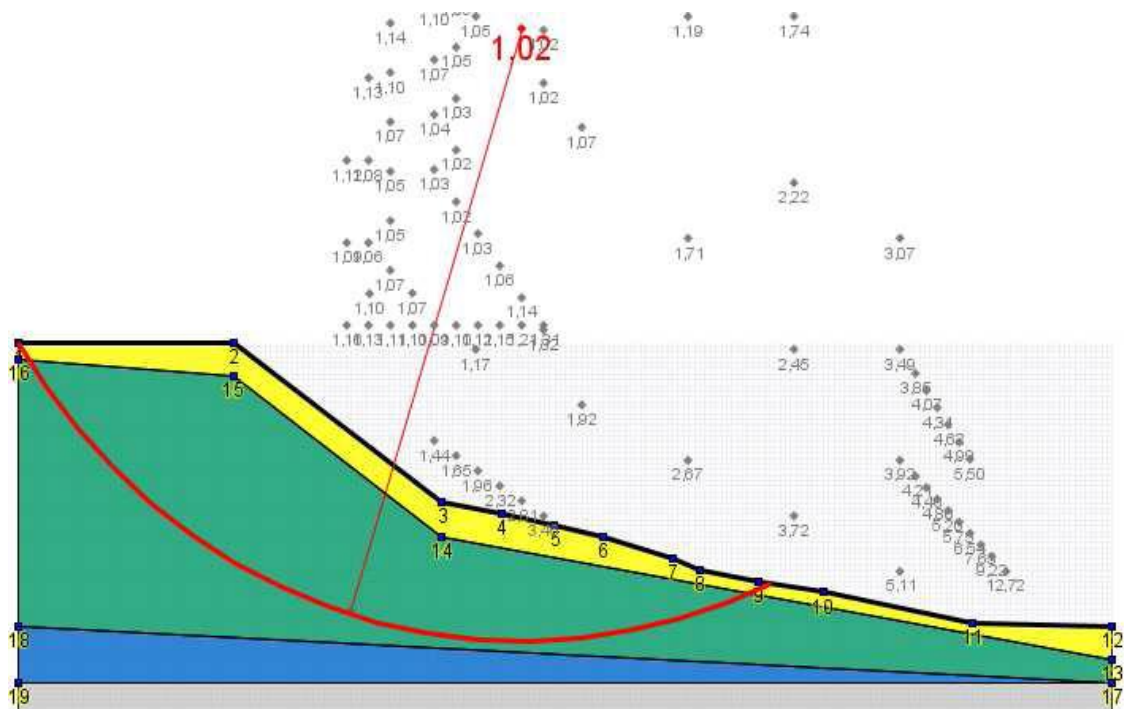


Figure 200 : Exemples de sorties de ces logiciels – Modélisation de stabilité de pente

Ces calculs donnent une approche modélisatrice qui permet de traiter l'ensemble du problème aussi bien de point de vue de la stabilité que du point de vue déplacements.

Un suivi par instrumentation est cependant recommandé pour vérifier ces résultats issus des lois de comportement mathématiques et assurer la pérennité du phasage et des ouvrages, à savoir :

- Des relevés topographiques renseignant sur les mouvements verticaux horizontaux précurseurs d'éventuelles ruptures ;

- Des suivis inclinométriques ;
- Des tassomètres.

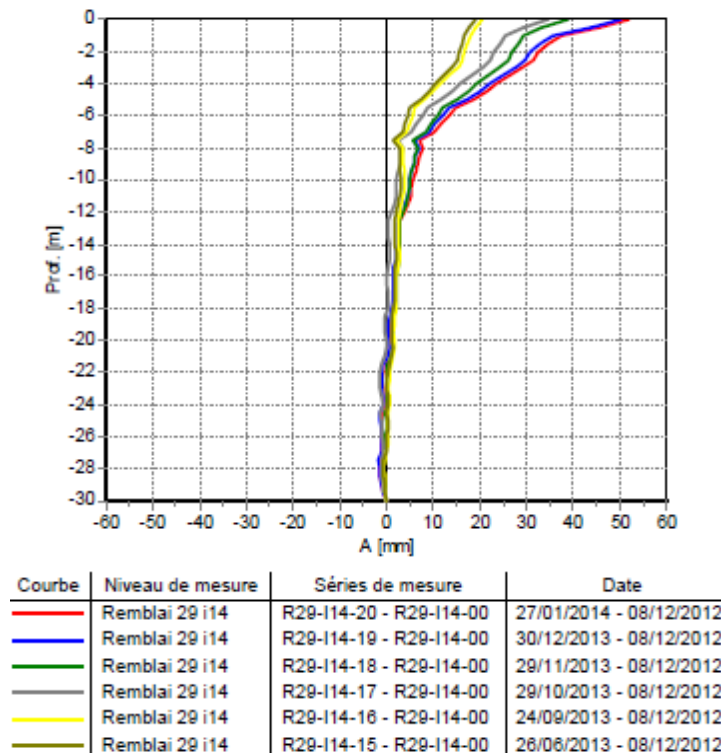


Figure 201 : Exemple d'une lecture d'un inclinomètre après le confortement

## 12.2. EVALUATION DE L'EFFICACITE DES MESURES PROPOSEES

### 12.2.1. Mesures en hydraulique et assainissement

#### 12.2.1.1. Systèmes de prévisions et d'annonce de crue

L'examen des systèmes de télémessure hydrologique disponibles dans les bassins hydrologiques traversés par les 4 tronçons et des caractéristiques physiques de bassins versants franchis par les tracés routiers a mis en avant que :

- Une grande partie des bassins cumule des surfaces de moins que 10 à 20 km<sup>2</sup>, et se situe dans une zone montagneuse avec des pentes importantes. De ce fait les temps de concentration sont faibles (entre 5 et 60 minutes en moyenne). Pour ce type de bassin l'annonce et prévision de crue reste très difficile pour pouvoir intervenir étant donné que ce sont généralement des orages localisés dans le temps et l'espace ;

- Certains oueds contrôlent des bassins de plus de 20 voire même 100 km<sup>2</sup>. Cette gamme de bassins est plus propice à une annonce de crue puisque les temps de concentration dépassent les 2 à 3 heures en général.

L'efficacité des systèmes de prévisions est d'annonce peut être qualifiée de bonne pour cette dernière gamme de bassins puisque les temps de propagation dépassent les 3 à 4 heures. En effet ces temps offrent une marge de manœuvre pour les collaborateurs des DPETL afin d'intervenir sur les points névralgiques dont les points de franchissements des oueds (exemple de l'oued Ziz et de ses affluents qui franchissent la RR 706).

Il est toutefois à souligner que cette efficacité dépend en grande partie de 2 éléments :

- Résultats de la collaboration entre les DPETL et les ABH et d'aboutissement des concertations pour élaborer des conventions cadres de collaborations de ces entités (partage de données, accompagnement pour la mise en place de système de télémesure par les DPETL...);
- Suite donnée par la DMN pour répondre aux besoins spécifiques des DPETL quant aux zones où le besoin en prévisions climatologiques existe.

Cette efficacité affecte également la qualité de couverture et qualité du réseau, puisque la Direction des Routes pourrait éventuellement profiter, via ces conventions de collaboration, du retour d'expérience des ABH en matière de couverture de réseau, et également pour la mise en place d'un réseau de qualité avec les équipements les plus appropriés.

## 12.2.2. Mesures en géotechnique

### 12.2.2.1. Solutions de confortement

A ce stade du projet et sur la base des données disponibles, l'Ingénierie ne peut déterminer l'origine des désordres constatés sur les 4 tronçons.

L'Ingénierie a toutefois présenté un éventail de solutions couramment utilisées et ayant prouvé leur efficacité de manière globale.

Pour mieux maîtriser cette efficacité, des études approfondies sont nécessaires avec des modélisations pour effectuer un calcul de stabilité et vérifier que les facteurs de sécurité recommandés par la bibliographie sont respectés.

Une fois les calculs effectués, et la solution retenue mise en œuvre, un suivi de mesure reste nécessaire pour valider la pertinence de la solution. Cette durée de mesure varie suivant la sensibilité de l'ouvrage, et l'importance du désordre.

### 12.2.2.2. Génie végétal

Pour le génie végétal, c'est une technique utilisée généralement pour des traitements superficiels et glissement de peaux. C'est d'ailleurs l'usage qu'en fait la société des Autoroutes du Maroc, à savoir le traitement paysager des talus et lutte contre les ravinements.

Les principales conclusions de l'expérience d'ADM, tel que synthétisées par l'Ingénierie, donnent un aperçu sur l'efficacité de cette technique, en particulier les bonnes pratiques à suivre.

En effet les orientations finales et recommandations préconisées par ADM, et rappelées par l'Ingénierie, proviennent de la compilation des différentes expérimentations conduites sur des projets autoroutiers, elles mettent donc en avant les techniques les plus efficaces.



Un approfondissement de cette expérience reste souhaitable, notamment par la Direction des Routes afin d'enrichir le retour d'expérience sur cette technique.

Pour rappel l'efficacité de cette technique telle que relatée par ADM souligne :

- Les espèces à favoriser pour un reboisement rapide en talus de remblai ;
- Les espèces à privilégier pour des situations où le souci essentiel est de stabiliser un talus en lui donnant un aspect paysager positif ;
- Les espèces les plus efficaces en zones plus arides et à sols pauvres ou marginaux ;
- La période de plantation la plus propice pour avoir une efficacité élevée ;
- Les espèces à rajouter pour augmenter la diversité dans le paysage et renforcer davantage la couverture ;
- Le rôle de l'irrigation.

#### *12.2.2.3. Systèmes de prévisions*

L'expérience internationale atteste de l'efficacité de ces mesures, elles offrent en effet des mesures à temps réels permettant de suivre l'évolution des déformations surtout dans des zones lointaines et/ou difficile d'accès par moments. Leur efficacité est tributaire de la couverture du réseau, dont celle des antennes, et des autres composants du système (radios et poste récepteur).

Ces techniques restent toutefois très onéreuses par rapport à un suivi conventionnel, réalisés par des techniciens de laboratoire qui interviennent de manière périodes pour effectuer des opérations d'auscultation des points névralgiques avant, pendant et après la mise en place des solutions de confortement.

Ces opérations d'auscultations et de suivi sont intéressantes et ont prouvé leur efficacité, c'est d'ailleurs ce type de techniques qui est pratiqué actuellement pour les barrages en service au Maroc.

## 13. ESTIMATION DES COÛTS ASSOCIES

### 13.1. COÛTS ASSOCIES AUX RECOMMANDATIONS TECHNIQUES LIES AUX DESORDRES HYDRAULIQUES

#### 13.1.1. Coûts des études préalables

Le coût des études varie en fonction de la complexité du site : présence de méandres, zones de forte mobilité du lit, de l'importance de l'oued.

Le tableau ci-dessous donne une fourchette d'estimation des études dans un cas classique.

Thématique	Type d'études	Unité	Estimation sommaire du montant des études
Franchissements des oueds	hydraulique + géotechnique + génie civil	1 franchissement d'oued	110 000 à 200 000 DH
Cas où la plate-forme routière longe un oued	hydraulique + géotechnique + génie écologique	1 désordre (linéaire maxi de 500 m)	160 000 à 250 000 DH

Tableau 274 : Estimation sommaire du coût des études préalables

#### 13.1.2. Matrice des prix unitaires pour les travaux de réparation des désordres hydrauliques et d'assainissement

Le tableau ci-dessous fournit la matrice des prix unitaires par type de travaux à réaliser.

Il peut être noté qu'il s'agit d'estimations moyennes. En effet, les prix unitaires peuvent varier dans un rapport de 1 à 3 lors des appels d'offre de travaux.

Libellé		Unité	Prix unitaire Dirham (H.T.)
<b>Réseaux de collecte et d'évacuation longitudinaux</b>	Fossé terre largeur au fond = 50 cm et profondeur = 50 cm	ml	85
	Fossé béton largeur au fond = 50 cm et profondeur = 50 cm	ml	400
	Caniveau béton largeur = 50 cm et hauteur = 50 cm	ml	850
	Bourrelet en enrobé ou en béton	ml	120
<b>Descentes d'eau</b>	Petit débit	ml	125
	Grand débit	ml	250
<b>Dispositifs de protection</b>	Enrochements	m <sup>3</sup>	500
	Géotextile (filtre pour enrochements)	m <sup>2</sup>	35
	Matelas gabions épaisseur 30 cm (matelas RENO)	m <sup>2</sup>	200
	Gabions	m <sup>3</sup>	600
<b>Drainage</b>	Tranchée drainante	ml	1000
<b>Ouvrages de franchissement</b>	Balises latérales (plots béton)	U	150
	Panneaux de signalisation	U	1100
<b>Divers</b>	Déblais	m <sup>3</sup>	de 30 à 50
	Remblais	m <sup>3</sup>	de 30 à 50
	Béton	m <sup>3</sup>	de 1200 à 1500
	Coffrages	m <sup>2</sup>	150
	Ferraillages	Kg	13

Tableau 275 : Hydraulique et assainissement – Prix unitaires

### 13.1.3. Application aux radiers submersibles

Le tableau en page suivante montre une estimation comparative sommaire du coût des travaux au mètre linéaire pour la construction d'un radier submersible avec chaussée béton et avec chaussée souple dans une configuration classique avec affouillement à très faible profondeur (1 à 1,5 m). Il en ressort un rapport de 1 à 4 sur le montant total des travaux (hors coût d'installation de chantier).

**Estimations pour 1 mètre linéaire**

Radier submersible avec chaussée béton	Unité	Prix unitaire Dirham (H.T.)	Quantité	Montant total Dirham (H.T.)
Déblais	m3	50	10	500.00
Remblais	m3	50	8	400.00
Béton	m3	1500	4.8	7200.00
Coffrages	m <sup>2</sup>	150	6.1	915.00
Ferraillages	Kg	13	480	6240.00
Béton de propreté	m3	1100	4.8	5280.00
Revêtement bitumineux	m <sup>2</sup>	25	7.0	175.00
Gabions	m <sup>3</sup>	600	2.0	1200.00
Enrochements	m <sup>3</sup>	500	2.5	1250.00
Tout venant	m <sup>3</sup>	200	2.1	420.00
Balises latérales (plots béton)	U	150	0.25	37.50
<b>Total en Dirham hors taxes</b>				<b>23617.50</b>
<b>Total arrondi en Dirham hors taxes</b>				<b>24000.00</b>

Radier submersible avec chaussée souple	Unité	Prix unitaire Dirham (H.T.)	Quantité	Montant total Dirham (H.T.)
Déblais	m3	50	10	500.00
Remblais	m3	50	8	400.00
Béton	m3	1500		0.00
Coffrages	m <sup>2</sup>	150		0.00
Ferraillages	Kg	13		0.00
Béton de propreté	m3	1100		0.00
Revêtement bitumineux	m <sup>2</sup>	25	8.0	200.00
Gabions	m <sup>3</sup>	600	5.0	3000.00
Enrochements	m <sup>3</sup>	500	2.6	1275.00
Tout venant	m <sup>3</sup>	200	2.6	510.00
Balises latérales (plots béton)	U	150	0.25	37.50
<b>Total en Dirham hors taxes</b>				<b>5922.50</b>
<b>Total arrondi en Dirham hors taxes</b>				<b>6000.00</b>

Tableau 276 : Estimation prix du radier par mètre linéaire

### 13.1.4. Systèmes de prévisions et d'annonce des crues

#### 13.1.4.1. Matrice des prix unitaires

Pour ces systèmes l'Ingénierie présente la matrice des coûts unitaires pour la mise en place des stations de mesures, radios, antennes relais et poste de supervision au niveau du siège des DPETL :

Désignation	Unité	Prix unitaire (Dhs)
<b>Capteurs de mesure</b>		
Pluviomètre	U	15 000
Station hydrologique (y compris GC)	U	75 000
Abri pour station hydrologique	Ft	15 000
<b>Datalogger</b>		
Dataloggers - Coffrets	U	22 000
<b>Supervision</b>		
PC	U	25 000
Ecran	U	8 000
Logiciel de concentration	U	130 000
Logiciel de supervision	U	150 000
Equipement informatique	Ft	50 000
Onduleur	U	35 000
Configuration système	Ft	100 000
<b>Equipements de transmission</b>		
Radio pour site de télémessure	U	20 000
Radio pour relais et PC	U	20 000
Antennes et câbles	Ft	7 000
Protection contre la foudre	Ft	2 500
Abris pour relais - Coffrets avec protection	Ft	20 000
Alimentation solaire	Ft	30 000
Reprise de l'alimentation solaire existante	Ft	20 000
Pylônes de 12m (y/c GC)	Ft	17 000
Pylônes de 18m (y/c GC)	Ft	23 000
Pylônes de 50m haubanés (y/c GC)	Ft	100 000
Pylônes de 50m autostable (y/c GC)	Ft	500 000
<b>Sécurisation de la transmission</b>		
Radio pour relais et PC	U	20 000
Antennes et câbles	Ft	7 000
Protection contre la foudre	Ft	2 500
Alimentation solaire (y/c commutation)	Ft	30 000
Abris pour relais - Coffrets avec protection	Ft	20 000
Pylônes de 50 m haubanés (y/c GC)	Ft	100 000
Complément équipements GSM	U	7 000

Il est à noter que les coûts présentés concernent :

- La mise en place de capteurs de mesures au niveau de station hydrologique ;
- Le poste de supervision au niveau du siège ;
- Les équipements de transmission pour de nouvelles installations ;
- La sécurisation de la transmission, qui correspond au renforcement d'un réseau existant.

#### 13.1.4.2. Estimation des coûts

Le tableau ci-avant montre que :

- Pour la mise en place du poste de supervision au niveau du siège de la DPETL ou de la DRETL, ce coût serait de l'ordre de 500 000 DHS ;
- le coût de mise en place d'une station hydrologique avec radar, abri, radio et poste pluviométrique est de l'ordre de 130 000 DHS ;
- En supposant l'utilisation des antennes relais existants, après rapprochement avec les ABH, le coût peut être réduit à celui des équipements de transmission, soit un montant entre 80 000 et 100 000 DHS par station ;
- Au total le montant, hors coût des antennes relais, de la mise en place du poste de supervision au siège et l'installation d'une station de télémessure varie entre 750 000 DHS à 1 MDH.

Vu ces coûts, un rapprochement avec les ABH est important afin d'optimiser le coût de ces techniques notamment via l'exploitation de leur réseau existant.

### 13.2. COUTS ASSOCIES AUX RECOMMANDATIONS TECHNIQUES LIES AUX DESORDRES GEOTECHNIQUES

Les visites de terrain ont constitué pour l'Ingénierie une opportunité de déceler les typologies de désordres dont souffrent les 4 tronçons retenus par la Banque Mondiale.

Il s'agit donc d'un diagnostic préliminaire pour constater ces typologies et avoir un aperçu sur le contexte des zones visitées. Toutefois la recommandation de la solution technique reste délicate en absence de données géotechniques détaillées (sondages, profils en long et en travers géotechniques...).

En effet les données collectées par l'Ingénierie ne permettent pas de statuer sur l'origine effective des dégradations constatées sur les points névralgiques examinés sur site.

A la différence des désordres hydrauliques, qui peuvent être mieux appréhendés à travers des visites de terrain, les désordres géotechniques présentent une complexité plus profonde car ils sont intimement liés aux caractéristiques intrinsèques et caractéristiques mécaniques des sols.

Par ailleurs la source du désordre n'est pas le facteur le plus prépondérant pour le coût car une fois le désordre apparu le confortement doit être réalisé. Le confortement peut prendre en compte l'origine du désordre (exemple : tranchée drainante ou barbacanes pour les murs de soutènement en cas de venues d'eau) ou non. Le coût de ces dispositifs annexes reste toutefois relativement faible comparé à celui de la solution de confortement à réaliser.

Tenant compte de ces constats, l'Ingénierie ne peut estimer les coûts de la solution des désordres constatés lors des visites de terrain ou en évaluer l'efficacité, sans études approfondies de chaque site basées sur :

- les données d'entrées nécessaires (relevés topographiques, sondages géotechniques, essais de laboratoire et in-situ) ;
- les données géotechniques issues des études antérieures (étude de réalisation des routes, et sondages effectués lors des travaux réalisés).

Dans tous les cas, les solutions ne peuvent pas être établies uniquement sur la base d'une inspection visuelle.



On présentera à ce stade de l'étude des estimations sommaires sur la base de matrices de prix pour ces cas de solutions de confortement, avec également des exemples de mise en application issus de projets menés par l'Ingénierie et traitant des désordres comparables à ceux relevés sur les 4 tronçons.

Au préalable on présentera un ordre de grandeur du coût de réalisation des études approfondies.

### 13.2.1. Coût des études

Le coût des études varie généralement suivant la complexité et l'étendue des désordres à étudier.

L'expérience de l'Ingénierie dans les études géotechniques lui permet de situer ces études dans la fourchette 150 000 à 450 000 DHS par désordre.

Ce coût englobe celui des études (APS + APD + DCE), réalisées sur une durée de 3 mois avec des données topographies et géotechniques disponibles, ainsi que celui du suivi de la solution retenue pendant une durée de 7 mois en moyenne.

### 13.2.2. Matrices des prix unitaires

Les matrices suivantes donnent une estimation des prix unitaires par nature des travaux à réaliser.

**MATRICE DE PRIX POUR TRAVAUX DE CONFORTEMENT DE TALUS CONTRE LE SAPEMENT DES BERGES (MURS DE SOUTÈNEMENT EN BÉTON, MAÇONNERIE OU GABIONS) :**

Composant	Prix unitaire (TTC)
Gabions grillagé	450 DH/m <sup>3</sup>
Moellons taillés	700 DH/m <sup>3</sup>
Béton cyclopéen	1500 DH/m <sup>3</sup>
Remblai	30 DH/m <sup>3</sup>
Déblai	30 DH/m <sup>3</sup>

Tableau 277 : Matrice de prix pour murs de soutènement en béton, maçonnerie ou en gabions.

**MATRICE DE PRIX POUR TRAVAUX DE CONFORTEMENT D'UNE FALAISE (SOLUTION BETON PROJETE + PLAQUES D'ANCRAGES) :**

Désignation des prix	Unité	Prix unitaire Dh (Hors TVA)
<b>Installation de chantier</b>		
Installation et repliement de chantier	Ft	1 000 000
<b>Terrassement</b>		
Terrassement de la piste en crête	m <sup>3</sup>	70
Décapage des matériaux en pied de falaise	m <sup>3</sup>	70
Remblai provisoire en cordon	m <sup>3</sup>	80
Remblai stabilisateur	m <sup>3</sup>	80
Dépôt définitif	m <sup>3</sup>	60
<b>Assainissement</b>		
Caniveau en béton arme	ml	150
Cunette en béton arme	ml	150
<b>Purge</b>		
Purge des blocs instables	m <sup>2</sup>	20
<b>Béton projeté avec ancrages</b>		
Barre d'ancrage, plaque d'appui et écrou	kg	200
Treillis soudés pour béton projeté	kg	25
Béton projeté	kg	2 500
Drain en PVC perfore	kg	50
<b>Grillage plaque de stabilisation</b>		
Grillage de type TECCO ou similaire (fourniture & installation)	m <sup>2</sup>	760
Barres d'ancrage en acier type GEWI ou similaire	ml	940

Tableau 278 : Matrice de prix pour travaux de confortement d'une falaise par béton projeté et ancrages

**MATRICE DE PRIX POUR TRAVAUX DE CONFORTEMENT D'UNE FALAISE (SOLUTION PURGE + FILET OU GRILLAGE PLAQUE) :**

Désignation des prix	Unité	Prix unitaire Dh (Hors TVA)
Purge systématique de la falaise	m <sup>2</sup>	10
Ancrages HA25 y compris la perforation et le scellement	ml	940
Grillage type Tecco ou similaire (fourniture & installation)	m <sup>2</sup>	760

Tableau 279 : Matrice de prix pour travaux de confortement d'une falaise par purge et grillage

**MATRICE DE PRIX POUR TRAVAUX DE RECALIBRAGE D'UN OUED POUR LUTTER CONTRE LE SAPEMENT DES BERGES :**

Désignation des prix	Unité	Prix unitaire Dh (Hors TVA)
Installation du chantier et accès provisoires	Ft	2 500 000
Démolition	m <sup>3</sup>	1 000
Décapage y compris déboisement et débroussaillage	m <sup>2</sup>	50
Réalisation du système de batardage pour isoler les différentes zones de travaux	Ft	300 000
Fouilles et excavations	m <sup>3</sup>	30
Remblais de la digue	m <sup>3</sup>	40
Sondage de reconnaissances carottées avec essais pressiométriques	ml	500
Purge	m <sup>3</sup>	50
<b>Coffrages</b>		
Coffrages pour parties non vues	m <sup>2</sup>	200
Coffrages pour parements soignés simples	m <sup>2</sup>	300
Cintres et échafaudages	m <sup>2</sup>	400
<b>Béton</b>		
Béton classe B 30 spécial pour eaux de mer	m <sup>3</sup>	1 300
Béton classe B 25	m <sup>3</sup>	1 100
Béton de propreté	m <sup>3</sup>	900
Béton de remplissage	m <sup>3</sup>	900
<b>Armatures pour béton armé</b>		
Armatures ronds lisses	kg	14
Armatures haute adhérence	kg	14
<b>Géotextile y compris couche de protection en matériaux graveleux</b>	m <sup>2</sup>	250
<b>Badigeonnage des parements enterrés</b>	m <sup>2</sup>	50
<b>Enrochements</b>	m <sup>3</sup>	400
<b>Barbacanes en PVC</b>	kg	45
<b>Remplissage de joint en Mastic en goudron type Accoplast</b>	kg	20

Tableau 280 : Matrice de prix pour recalibrage d'oued

**MATRICE DE PRIX PAR UNITE DE MESURE DES SYSTEMES DE STABILISATION DE TYPE TECCO ET SPIDER POUR LES INSTABILITES ROCHEUSES :**

Solution type	Fourniture	Installation avec technique acrobatique
Système Tecco G65 de 3 mms (Il Inclut tous les composants aussi plaques de distribution)	32,70 €/m2	32,80 €/m2
Barre Gewi 25 (perforation, placement de barre, injection et tension) Se recommande pour la Tecco une longueur minimale de 4m	21,12 €/m	59,37 €/m
Système Spider G230 de 3x4 mm (Il Inclut tous les composants aussi plaques de distribution) Renforcé pour la contention de blocs instables	53,20 €/m2	38,22 €/m2
Barre GEWI 32 (perforation, placement de barre, injection et tension) Se recommande pour la Spider une longueur minimale de 6m	29,71 €/m	68,33 €/m
Purge des blocs instables par techniques de travaux acrobatiques (systématique dans tout le talus)	0	0,78 €/m2
Purge des blocs instables par techniques de travaux acrobatiques (ponctuel)	0	2,18 €/m2

Tableau 281 : Matrice de prix unitaire pour systèmes de stabilisation des instabilités rocheuses

**MATRICE DE PRIX POUR LA CONSTRUCTION DE NOUVELLES CHAUSSEES :**

Les chaussées des 4 tronçons étudiés sont composées comme suit :

- RN 2 : la couche de roulement est de 6 m, plus un accotement de 1 m par rive, soit une plateforme totale de 8 m. La structure est variable :
  - Entre les PK 116 et 184+400 : 20 GNF + 20 GNA + RS + MS
  - Entre les PK 184+400 et 198+800 : 20 GNF + 10 GE + RS + MS
- RR : on dispose des données de la RR106 qu'on supposera comparable à celles des RR 706 et 508. Il s'agit donc d'une plateforme totale de 8 m (6 m de chaussée + 1m /rive). La structure est de 20 GNB + 20 MSI + RS.

La matrice suivante donne les prix unitaires par nature des travaux de chaussée.

Désignation des prix	Unité	Prix unitaire Dh (Hors TVA)
<b>Terrassements</b>		
Démolition de chaussées	m <sup>2</sup>	50
Déblai grande masse	m <sup>3</sup>	16
Remblai	m <sup>3</sup>	10
<b>Drainage</b>		
Fossés Bétonnés type TR-1.0A	ml	440
<b>Structure</b>		
Revêtement superficiel bicouche RS	m <sup>2</sup>	25
Grave non traitée GNA/GNB (couche de base)	m <sup>3</sup>	220
Grave non traitée GNF (couche de fondation)	m <sup>3</sup>	200
Grave bitume pour couche de base GBB ou GE	m <sup>3</sup>	1 100
Matériaux sélectionnés pour accotements MS	m <sup>3</sup>	100
<b>Signalisation</b>		
Lignes continues	ml	12
Lignes discontinues	ml	12
Marquage provisoire en jaune	ml	9

Tableau 282 : Matrice des prix pour construction de nouvelles chaussées

Ainsi sur la base de ces estimations unitaires on peut estimer, de manière sommaire, le coût de la démolition et construction d'une nouvelle chaussée dont la structure est identique à celle existante à l'état actuel comme suit :

- RN 2 : le coût se situerait entre 1500 et 2000 DH / ml ;
- RR 106, 706 et 508 : le coût serait dans la fourchette de 1000 à 1500 DH / ml.

Il est à noter que :

- ces prix n'intègrent pas le prix du drainage en présence d'un fossé latéral de déblai, ou de dispositifs de protections tels que les glissières de sécurité en remblai de grande hauteur ;
- ces prix pourront être revus à la hausse après redimensionnement de la structure de chaussée.

### 13.2.3. Exemples pratiques

L'Ingénierie présente ci-après des exemples pratiques d'estimation de travaux réalisés sur la base des matrices de prix ci-dessus. Ces prix correspondent à des projets réels et concernent de manière générale les typologies de désordres inventoriés au niveau des 4 tronçons étudiés. Ils permettent donc de donner des estimations réalistes de l'ordre de grandeur des travaux de confortement éventuels.

On peut noter que ces coûts restent tributaires de l'étendue et la complexité du désordre, mais aussi son type : ainsi un glissement en plan aurait un coût largement inférieur à celui d'un glissement circulaire.

#### EXEMPLE DE CONFORTEMENT D'UN REMBLAI DE 100 M DE LONGUEUR ET 15 M DE DENIVELE :

Il s'agit d'une réactivation d'un glissement déclenché par des précipitations récentes dans la zone de Fès. Cette réactivation a causé l'affaissement vertical et la création d'une fissure en éventails avec un escarpement d'environ 4 m de profondeur en amont du remblai et 4 m de profondeur par rapport à la piste en pied de remblai.

Les travaux ont consisté donc à mettre en place des micro-pieux (un système de clouage) constitués par des forages 200 mm minimum à l'intérieur desquels sont scellés des profilés fournis par le maître d'ouvrage. Les micro-pieux font des longueurs de 12 et 18 m.

Une surcharge de pied a été rajoutée en amont pour apporter un complément de stabilité jugé nécessaire pour les glissements superficiels passant par le pied du talus.

Le tableau suivant récapitule le détail de la solution et les coûts correspondants aux prestations réalisées pour résoudre le problème de glissement de ce remblai :

Prestation	Unité	Quantité	Prix unitaires en dirhams (Hors T.V.A)	Total
Amenée et repli du personnel et du matériel.	Ft	1	100 000	100 000
Installation au droit de chaque forage	u	200	1 000	200 000
Forage diamètre Ø 200 jusqu'à 12m	ml	1 500	800	1 200 000
Forage diamètre Ø 200 jusqu'à 18m	ml	1 400	800	1 120 000
Mise en place d'un coulis à base de ciment E/C=0.5	m <sup>3</sup>	120	2 500	300 000
Mise en place des rails de type S 33 fournis par le MO	Ft	1	200 000	200 000
Colmatage gravitaire de la fissure par mortier	m <sup>3</sup>	40	3 000	120 000
Mise en place du remblai de banquettes compacté	m <sup>3</sup>	3 200	300	960 000
Mise en place du remblai de finition sur l'arête amont	m <sup>3</sup>	20	400	8 000
Géo-membrane (en option)	m <sup>2</sup>	100	150	15 000
<b>TOTAL EN DIRHAMS HORS TAXES</b>				<b>4 223 000</b>
<b>T.V.A (20 %)</b>				<b>844 600</b>
<b>TOTAL EN DIRHAMS TTC</b>				<b>5 067 600</b>

Tableau 283 : Exemple d'estimation financière d'une solution de confortement de remblai par micro-pieux (cas de glissement circulaire)

Le schéma suivant illustre la solution réalisée :

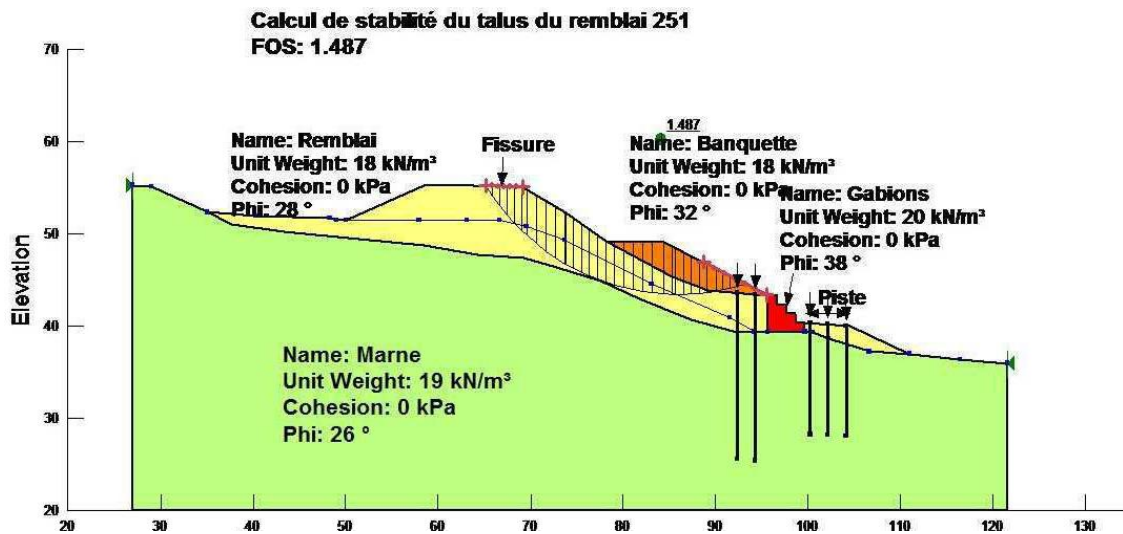


Figure 202 : Schéma et modélisation de la solution du cas n°1

**EXEMPLE DE CONFORTEMENT D'UN REMBLAI SUR 100 M APRES GLISSEMENT : SOLUTION DE TYPE PIEUX OU DES PROFILS EN H**

Le tableau suivant récapitule le détail de la solution et les coûts correspondants aux prestations réalisées pour résoudre le problème de glissement d'un remblai :

Prestation	Unité	Quantité	Prix unitaires en dirhams (Hors T.V.A)	Total
Déblai et évacuation des matériaux (Purge)	m <sup>3</sup>	1 490	50	74 500
Compactage	m <sup>3</sup>	3 100	80	248 000
Profilés métalliques en H	tonne	18.11	8 250	149 411
Matériau C1B5	m <sup>3</sup>	1622	110	178 420
Battage des pieux	ml	25	231	5 775
<b>TOTAL EN DIRHAMS HORS TAXES</b>				<b>656 106</b>
<b>T.V.A (20 %)</b>				<b>131 221</b>
<b>TOTAL EN DIRHAMS TTC</b>				<b>787 327</b>

Tableau 284 : Exemple d'estimation financière d'une solution de confortement de remblai par pieux (cas glissement en plan)

Le schéma suivant illustre la solution réalisée :



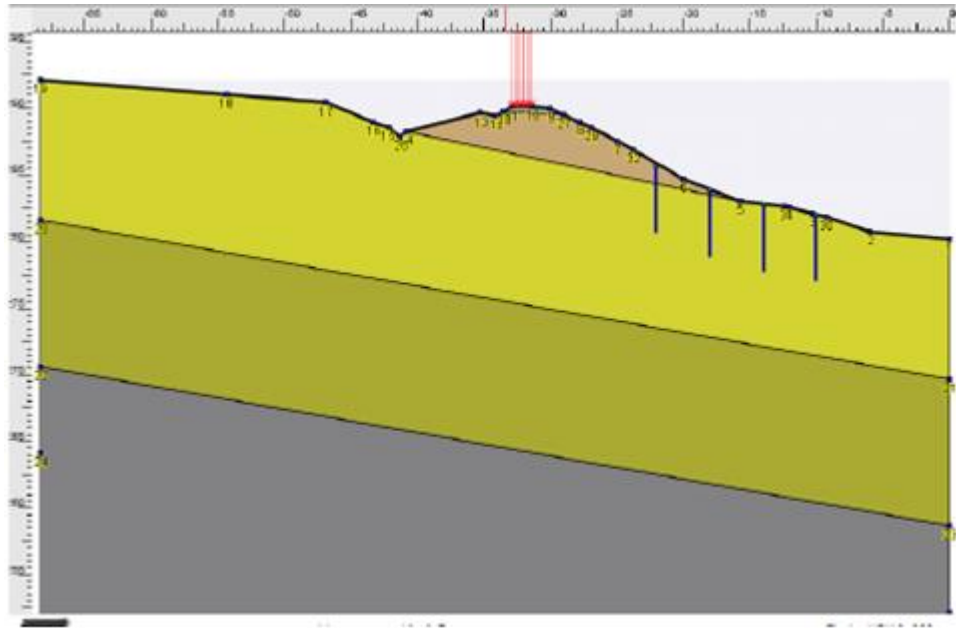


Figure 203 : Schéma et modélisation de la solution du cas n°2

Stabilisation d'un remblai à l'aide de gabions remplis de pierres de ballast.

Il s'agit d'une stabilisation d'un remblai par la solution gabions, remplis de pierres de ballast, avec purge de 1.5m au niveau du pied du talus et terrassé le remblai de telle manière à ce que les gabions épousent la topographie du talus.

Ce terrassement consiste à créer des redans au niveau du remblai de 1H/0.5V comme le permettrait la pente du remblai qui peut être estimée à 2H/1V.

Désignation des ouvrages	Unité (U)	Quantité	Prix Unitaire (PU) en DH	Montant en DH
Déblai et évacuation des matériaux (Purge)	m <sup>3</sup>	1 225	50	61 250
Gabions remplis en ballast	m <sup>3</sup>	4 850	1 000	4 850 000
Profilés métalliques en H	tonne	36.22	8 250	298 832
Battage des pieux	m	25	462	11 550
Installations	Ft	1	300000	300 000
<b>TOTAL EN DIRHAMS HORS TAXES</b>				<b>5 521 632</b>
<b>T.V.A (20 %)</b>				<b>1 104 327</b>
<b>TOTAL EN DIRHAMS TTC</b>				<b>6 625 959</b>

Tableau 285 : Exemple d'estimation financière d'une solution de confortement de remblai murs en gabions

La figure ci-dessous nous montre le terrassement et la mise en place des gabions.

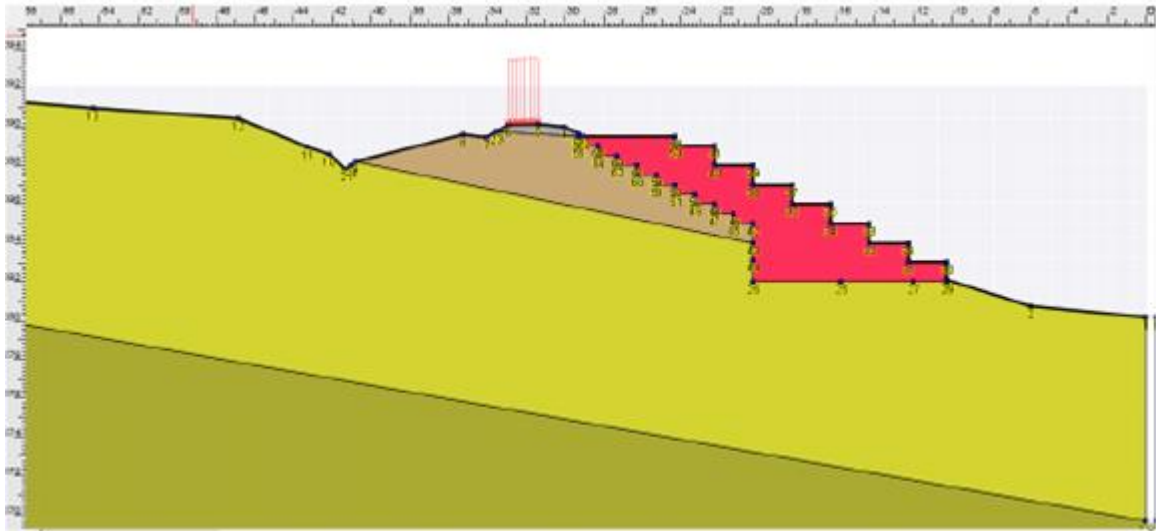


Figure 204 : Schéma et modélisation de la solution du cas n°3

#### EXEMPLE DE TRAITEMENT DE BERGES D'OUED CONTRE LE SAPEMENT :

Il s'agit d'un traitement de berges d'oueds dans la zone d'Ourika au Sud du Maroc. Il s'agit d'un cours d'eau connu pour la violence de ses crues qui ont d'ailleurs causé une catastrophe en 1997 avec des pertes humaines et matérielles.

Le traitement a consisté à aménager des murs de soutènement dans des zones où des voies routières et des zones touristiques longent le cours d'eau et ses affluents.

Le tableau suivant synthétise le coût de la solution pour 4 oueds affluents de l'Ourika, et ce pour les variantes béton, maçonnerie et gabions.

Tronçon	Hauteur moyenne (m)	Longueur (m)	Coût par type de protection (MDH TTC)		
			V1 : Mur poids béton	V2 : Mur poids maçonnerie	V3 : Mur en gabion
Oueds 1	6.80	435	8.1	7.1	4.7
Oued 2	3.9	257	6.3	5.5	3.6
Oued 3	2	1 442	13.6	12.0	10.8
Oued 4	3.90	1 329	24.7	21.7	14.1
<b>Coût total</b>	<b>3.50</b>	<b>3463</b>	<b>60.8</b>	<b>53.4</b>	<b>37.8</b>

Tableau 286 : Exemple d'estimation financière d'une solution de soutènement contre le sapement des berges

#### EXEMPLE DE CONFORTEMENT D'UN TALUS DE DEBLAI EN ZONE D'INSTABILITES ROCHEUSES:

Il s'agit du traitement d'un déblai situé sur l'autoroute Imentanout – Argana, au Sud du Maroc dans 2 zones, l'une constitué d'une alternance de grès et de siltstone, et l'autre d'éboulis d'épaisseur importante reposant sur les mêmes formations que la 1ère. Cette zone a connu des instabilités suffisamment importantes durant les travaux de terrassement, pour nécessiter une rectification du tracé afin de l'en éloigner au mieux.

Les traitements proposés comportent :

- Zone 1, hauteur de 110 m – surface de 36 600 m<sup>2</sup> sans bermes (47 500 m<sup>2</sup> avec bermes) :
  - L'application d'un béton projeté systématique sur toute la surface de la zone concernée. Il est mis en œuvre en deux couches, la première de 3 cm et la seconde de 5 cm, avec interposition d'un treillis soudé ente les deux ;
  - L'ancrage de l'ensemble dans le massif à l'aide de barres T25 de 6 m de longueur selon une maille de 3x2m (1 ancrage tous les 6 m<sup>2</sup>) ;
  - Le drainage du béton projeté par des barbacanes de 1m de profondeur, selon une maille de 3x2m.

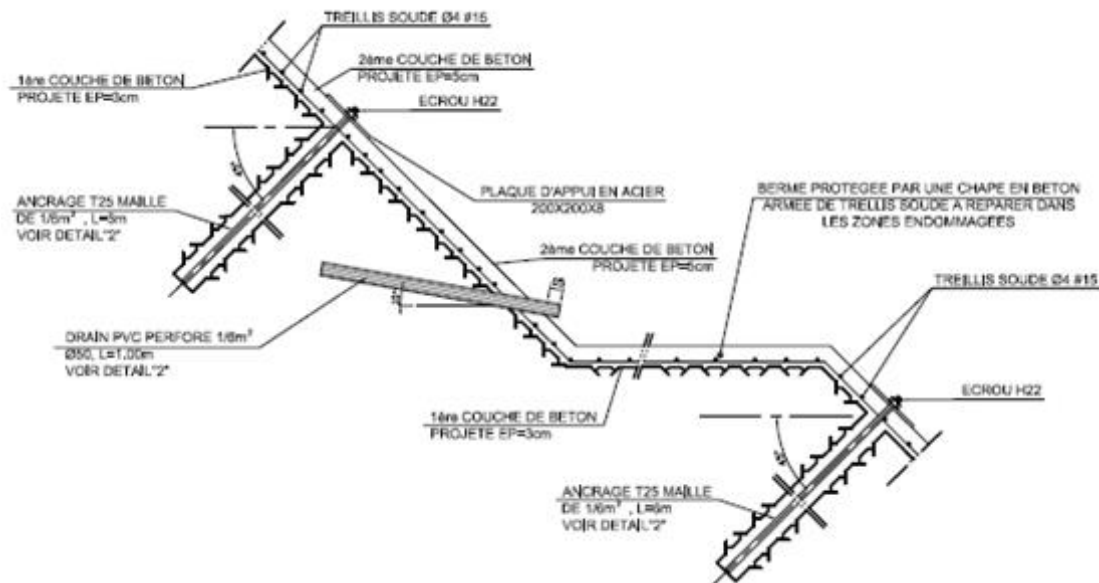


Figure 205 : Schéma de la solution de la zone 1

- Zone 2, hauteur entre 50 et 150 m – surface entre 40 000 et 50 000 m<sup>2</sup> y compris les bermes :  
En complément du mur de soutènement en gabions, érigés au pied pour stopper les éboulements :
  - Purge des terrains éboulés formant une épaisseur normale de plusieurs mètres pour bien dégager l'espace derrière les gabions.
  - Mise en place d'enrochements de carrière, extraits des grès durs du site, notamment les bancs formant la partie sommitale du déblai. Un suivi géologique est à prévoir pour éviter l'exploitation de bancs à composante argileuse.

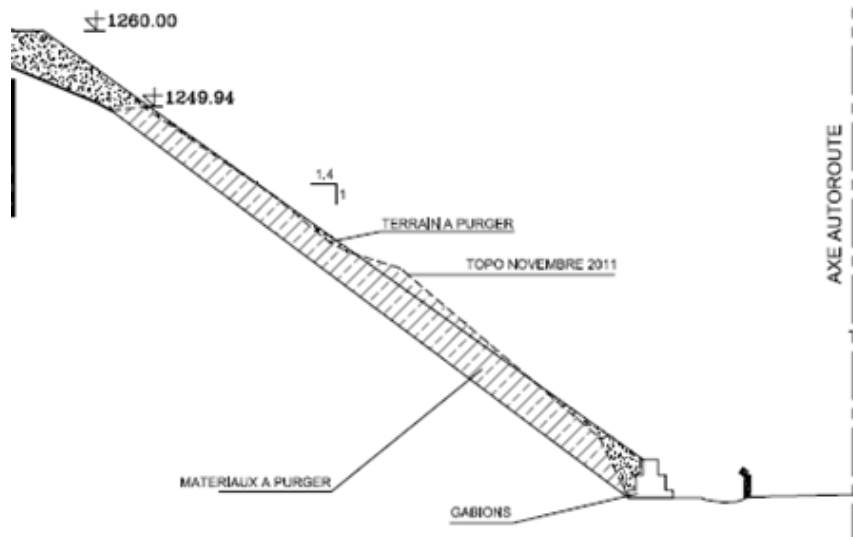


Figure 206 : Schéma de la solution de la zone 2

Le tableau suivant récapitule les coûts correspondants aux solutions recommandées pour résoudre le problème de l'instabilité rocheuse au droit de ce déblai instable (hors prix du mur en gabions) :

N° Prix	Désignation	Unité	Quantité	PU	Montant
1	Installations de chantier	F	1	1 000 000	<b>1 000 000</b>
2	Purges	m3	50 000	30	<b>1 500 000</b>
3	Enrochements	m3	350 000	80	<b>28 000 000</b>
4	Béton projeté	m3	4 400	2 000	<b>8 800 000</b>
5	Ancrages	kg	180 000	12	<b>2 160 000</b>
6	Treillis soudé	kg	70 000	12	<b>840 000</b>
TOTAL HORS TVA					<b>42 300 000</b>
TAUX TVA (20 %)					<b>8 460 000</b>
TOTAL TTC					<b>50 760 000</b>

Tableau 287 : Exemple d'estimation financière d'une solution de confortement d'un déblai instable

#### **COUT DE LA VEGETALISATION POUR PROTECTION DES TALUS CONTRE LE RAVINEMENT :**

La végétalisation constitue une protection intéressante des talus contre les ravinements et l'érosion pluviale, c'est un véritable pansement biologique pour éviter ou soigner les plaies ouvertes par l'érosion du sol.

Le coût de cette technique est très variable, et ce suivant les plantes ou semences ciblées : pour le Maroc, 100 ml de végétalisation coûte entre 3000 et 6000 DH pour un talus de moyenne ne dépassant pas les 10 m.

L'un des points sombres pour cette technique est la non disponibilité dans le marché marocain des semences et plantes des espèces locales et recommandées. Faute d'entreprises spécialisées au Maroc dans ce domaine, on pourrait suggérer de passer des contrats de multiplication de semences et de plantes avec un ou plusieurs établissements, afin d'assurer l'approvisionnement en matériel nécessaire aux entreprises qui seront choisies pour l'exécution des travaux de plantation ou de semis.

La végétalisation doit être également suivie par un programme d'entretien rigoureux. Il s'agit de procéder régulièrement à la fauche de l'ensemble de la strate herbacée afin d'éviter tout risque d'incendie durant la période de grande chaleur.

#### 13.2.4. Commentaire sur les coûts des solutions

Comme souligné auparavant, la maîtrise des coûts de la solution à adopter ne peut se faire qu'à travers des études approfondies pour diagnostiquer la source des désordres, identifier les caractéristiques géotechniques, et mécaniques intrinsèques au sol, et enfin étudier en détail plusieurs variantes techniques pour en retenir celle la plus adaptée de point de vue technique et financier.

Ainsi suivant la complexité des cas, les coûts associés à la solution de confortement peuvent varier dans un facteur de 1 à 10 comme le montrent les exemples présentés pour les 2 premiers cas de glissements (L = 100 m, H de 10 à 15 m) :

- le 1er cas concerne un glissement, dans un contexte topographique accidenté, des venues d'eau plus un sol sensible à l'eau. Le coût de la solution s'est élevé à environ 5 MDH vu qu'il y avait 2 cercles de glissement circulaires ;
- le 2ème cas concerne un glissement dans un contexte topographique relativement simple, des venues d'eau également mais se limite à un glissement en plan. La solution a coûté autour de 800 000 DH.

Suivant la précision des études on peut aussi avoir des coûts très différents : ainsi pour le cas de glissement n°1 une solution avait été mise en place, sans études au préalable, qui a consisté en la mise en place de séries de gabions en pied du remblai sur un linéaire de 100 m. Le coût de cette intervention était de 1 MDH, alors que la solution retenue par l'Ingénierie à la suite d'études approfondies, basées sur des données géotechniques et essais de laboratoire, a coûté 5 MDH (coût uniquement des travaux).

Ces éléments montrent encore une fois qu'il est difficile de maîtriser le coût de la solution, et même d'arrêter la solution appropriée en absence d'études approfondies.

#### 13.2.5. Conclusions

Les désordres géotechniques sont complexes et d'origines difficiles à déceler uniquement sur la base d'une inspection visuelle. Contrairement aux désordres liés à l'hydraulique et/ou au drainage, ce sont des phénomènes plus profonds car liés aux sols et dépendant de leurs caractéristiques mécaniques intrinsèques.

De ce fait il est difficile d'appréhender d'une part les solutions à préconiser pour les différentes typologies de désordres rencontrés sur les 4 tronçons étudiés, et d'en estimer le coût afférent.

Cette contrainte s'est également imposée à l'Ingénierie en raison de plusieurs facteurs :

- Contextes montagneux caractérisés par des zones d'instabilités importantes ;
- Absence des études géotechniques des 4 tronçons routiers étudiés ;
- Absences de données de sondages et de profils géotechniques ;
- Absence de suivi topographique des déformations subies par les 4 tronçons.

Pour pallier à cette situation l'approche privilégiée par l'Ingénierie a été de :

- proposer un éventail de solution technique sachant qu'on ne peut à ce stade arrêter la solution adaptée pour chaque désordre ;

- donner les matrices de prix unitaires ;
- donner des exemples pratiques de cas réels sur lesquels nous avons un retour d'expérience.

Cette approche a le mérite de donner des ordres de grandeurs réels car issus d'études ou d'expertises techniques menées dans les règles de l'art, elle a d'ailleurs permis de noter que :

- en termes d'études et travaux, le coût varie dans la fourchette 150 000 à 450 000 DH par désordre ;
- la durée des études est en moyenne de 3 mois (APS, APD et DCE), non compris le délai de réalisation des sondages géotechniques, travaux topographiques et des essais de laboratoire ;
- les travaux de confortement d'un désordre sur 100 ml pour une hauteur moyenne ne dépassant pas les 10 m est de l'ordre de 7 mois ;
- les solutions de confortement des glissements de terrain ont des coûts variables suivant la complexité du glissement, celle-ci ne peut être définie qu'à travers des études techniques approfondies. Ainsi pour un remblai de 100 ml :
  - en cas de glissement en plan : ce coût a été de l'ordre de 800 000 DH à 1 MDH ;
  - en cas de glissement circulaire : ce coût est plus important et peut avoisiner les 5 MDH ;
- des interventions dans l'urgence, sans études techniques approfondies au préalable, peuvent s'avérer onéreuses sans pour autant résoudre le problème de glissement de manière définitive : ainsi pour le même remblai de 100 ml, souffrant de glissement circulaire, cette intervention a coûté 1 MDH mais le désordre a continué de persister ;
- les instabilités rocheuses sont des phénomènes complexes et dont les confortements au Maroc sont assez récents. Le coût de ces techniques varie suivant la complexité des cas :
  - Pour des instabilités localisées, des interventions ponctuelles peuvent être envisagées via la technique de clouage dont le coût serait dans la gamme 700 à 1000 DH /ml par clou (prix incluant la fourniture et la mise en place, prix de la purge non inclus (30 à 40 DH / m<sup>2</sup> environ)) ;
  - Pour des instabilités rocheuses plus complexes et sur des étendues plus importantes, des solutions plus coûteuses sont nécessaires : pour un déblai de 100 m en moyenne de hauteur et couvrant une zone d'environ 100 000 m<sup>2</sup>, le coût de la solution a été de l'ordre de 50 MDH TTC (hors coût d'installation sur chantier, égal à 1 MDH). Cette solution ayant compris la purge des matériaux instables, les enrochements, ancrages, béton projeté et treillis soudés entre deux couches de béton ;
- pour le génie végétal, il est utilisé au Maroc principalement comme solution de traitement paysager des talus de déblais. Il s'agit d'un vrai pansement de surface pour lutter contre les ravinements. Le coût de cette technique se situe entre 3000 et 6000 DH pour 100 ml de talus de hauteur ne dépassant pas les 10 m ;
- les dégradations de chaussée constatés sur les 4 tronçons routiers étudiés ne sont pas liées directement aux chaussées mais induites par les désordres collatéraux (glissement de terrain, sapement des berges par un oued en pied de talus de remblai, chutes de blocs depuis une falaise instable...);
- la réparation de ces dégradations de chaussée ne peut donc se faire qu'une fois ces désordres collatéraux traités. Une fois cette opération réalisée, la mise en place d'une nouvelle chaussée est à entamer, elle coûterait entre 1500 et 2000 DH/ml pour la RN 2, et entre 1000 à 1500 DH/ml pour les routes régionales 508, 706 et 106 (coût minimal devant être évalué une fois l'étude de dimensionnement de chaussée entamée).



### 13.3. EVALUATION ECONOMIQUE DES IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE PAR JOUR DE COUPURE

#### 13.3.1. Notions de coûts directs et indirects

La dégradation des infrastructures par les conditions climatiques entraîne des coûts directs et indirects :

- Les **coûts directs** concernent les coûts matériels liés à la reconstruction de l'infrastructure. Ils sont modulés par l'intensité des dégâts et les caractéristiques de l'infrastructure et prennent en compte, entre autres, les coûts de déblaiement, de réparation de l'infrastructure, des mesures de protection et de surveillance. Ces coûts sont principalement supportés par les gestionnaires d'infrastructure.
- Les **coûts indirects** liés à l'endommagement de l'infrastructure concernent une extrême variété de préjudices parmi lesquels on peut citer les coûts d'évacuation de personnes éventuellement isolées ou les coûts liés aux pertes d'exploitation des sites subissant la défaillance du réseau routier. Cependant, les coûts indirects les plus élevés sont imputables aux **allongements de trajets suite à des déviations**, en particulier dans des zones où le réseau routier est peu développé. Ces coûts sont principalement supportés par la société civile et les services de secours.

L'évaluation de ces coûts indirects nous permet d'établir de façon quantitative le caractère plus ou moins stratégique de chaque tronçon.

#### 13.3.2. Méthodologie pour l'analyse des coûts indirects

La quantification des coûts indirects est problématique, voire impossible pour la plupart des préjudices.

Nous choisissons donc de focaliser l'analyse des coûts indirects sur la notion de **perte d'accessibilité**, ce type de préjudice étant d'une part estimable à partir des données d'entrée à notre disposition et d'autre part se révélant largement prépondérant dans les tronçons à l'étude marqués par une faible redondance du réseau routier. **Pour ces tronçons, le surcoût que peut entraîner une déviation de plusieurs (dizaines) de kilomètres pendant plusieurs jours sur des centaines voire des milliers d'utilisateurs peut se révéler substantiel.**

Notre méthodologie d'estimation des coûts liés à la perte d'accessibilité s'appuie sur une évaluation économique du coût lié à la hausse du temps de trajet et de la distance parcourue en situation dégradée (itinéraire alternatif le plus rapide).

La monétarisation de l'allongement des temps de parcours et de l'augmentation des distances parcourues est possible grâce à la connaissance :

- des **niveaux de trafic** sur les sections impactées ;
- des **distances et temps de parcours supplémentaires** à parcourir par les usagers en **situation dégradée** ;
- de la **valeur du temps** pour les usagers routiers au Maroc ;
- du **coût d'usage moyen** kilométrique pour les usagers routiers au Maroc.

### LA VALEUR DU TEMPS

Les valeurs du temps utilisées sont issues des analyses effectuées en 1998 dans le cadre de l'étude générale des trafics autoroutiers (Autoroute du Maroc).

Le tableau suivant présente les valeurs du temps pour chaque catégorie de véhicule :

Tableau 288 – Valeur du temps en DH2014

Catégorie de véhicule	Valeur du temps en 1998 (DH1998)	Valeur du temps en 2014 (DH1998)	Valeur du temps en 2014 (DH2014)
Véhicule léger (VL hors taxis) - Distances inférieures à 50 km	28,0	43,9	57,4
Véhicule léger (VL hors taxis) - Distances supérieures à 50 km	32,0	50,1	65,6
Camion < 8T (PL1)	35,8	56,2	73,5
Camion > 8T (PL2)	73,6	115,3	151,0

### LE COÛT D'USAGE

Le coût d'usage comprend principalement le coût du carburant. Il est estimé que l'utilisateur ne prend pas en compte l'amortissement du véhicule et ne considère que dans une faible proportion les dépenses d'entretien. Ces dernières sont estimées à 10% de la consommation kilométrique du carburant).

Sur la base des tarifs des carburants relevés en Août 2014 (13,04 DH<sub>2014</sub> pour l'essence et 9,69 DH<sub>2014</sub> pour le gasoil), le tableau ci-dessous présente les valeurs du coût perçu d'usage retenues. Il est considéré que 60% des véhicules marocains roulent au diesel et 40% à l'essence.

Tableau 289 – Estimation du coût perçu d'usage de chaque catégorie de véhicule en DH2014

Catégorie de véhicule	Consommation moyenne pour 100 km (L)	Coût kilométrique du carburant (DH2014)	Coût perçu d'usage (DH2014)
Véhicule léger (VL)	9	0,99	1,09
Camion < 8T (PL1)	25	2,76	3,03
Camion > 8T (PL2)	35	3,86	4,25

### 13.3.3. Evaluation des 4 tronçons routiers

L'évaluation économique de l'allongement du temps de parcours et de la distance de trajet a été estimée par jour de coupure.

Elle est basée sur le calcul de la distance et du temps de parcours en situation dégradée calculée pour chaque tronçon dans le chapitre qui traite de la fonctionnalité du tronçon.

#### TRONÇON CHEFCHAOUEN-ISSAGUEN (RN2)

Tableau 290 – Evaluation économique de la fermeture de chaque section sur le tronçon Chefchaouen-Issaguen (RN2)

Origine	Destination	TMJA	Impact économique par jour (dh2014)
Chefchaouene	Bab Taza	<b>4 100</b>	1 707 325
Bab Taza	P 4109	<b>2 100</b>	316 022
P 4109	P 4111	<b>2 100</b>	234 493
P 4111	Bab Berred	<b>2 100</b>	839 910
Bab Berred	P 4113	<b>2 100</b>	901 518
P 4113	Issaguen	<b>5 000</b>	971 610

L'impact économique lié à la fermeture de la section Chefchaouen-Bab Taza est le plus fort sur tout le tronçon Chefchaouen-Issaguen. Il est estimé à 1,7 millions de dh2014 par jour.

#### TRONÇON OUTABOUABANE-SAKKA (R508)

Sur le tronçon Outabouabane-SakKa, c'est sur la section RR 505 – Jbarna que l'impact économique est le plus fort. Les coûts indirects journaliers liés à la fermeture de cette section sont estimés à plus de 650 000 dh2014.

Tableau 291 – Evaluation économique de la fermeture de chaque section sur le tronçon Outabouabane-Saka (RR508)

Origine	Destination	TMJA	Impact économique par jour (dh2014)
Outabouabane	Oulad Zbair	<b>1 600</b>	200 769
Oulad Zbair	P 5413	<b>1 600</b>	42 388
P 5413	Had Msila	<b>1 600</b>	202 507
Had Msila	El Gouzate	<b>1 600</b>	223 974
El Gouzate	Bni Ftah	<b>1 600</b>	96 809
Bni Ftah	R 505	<b>1 600</b>	122 068
R 505	Jbarna	<b>1 600</b>	650 985
Jbarna	R 511	<b>1 600</b>	241 420
R 511	Mazguitam	<b>1 600</b>	406 849
Mazguitam	Ain Zohra	<b>1 600</b>	177 462
Ain Zohra	Saka	<b>1 600</b>	338 229

**TRONÇON IMILCHIL-ER RICH (RR706)**

Tableau 292 – Evaluation économique de la fermeture de chaque section sur le tronçon Imilchil-Er Rich (RR706)

Origine	Destination	TMJA	Impact économique par jour (dh2014)
Imilchil	R 703	<b>1 500</b>	1 496 526
R 703	Amouguer	<b>1 500</b>	390 471
Amouguer	M Zizel	<b>1 500</b>	940 092
M Zizel	Er Rich	<b>1 500</b>	956 558

L'impact économique lié à la fermeture de la section Imilchil-RR 703 est le plus fort sur tout le tronçon Imilchil-Er Rich. Il est estimé à 1,5 millions de dh2014 par jour.

**TRONÇON IGHREM-ASSAKI (RR106)**

Tableau 293 - Evaluation économique de la fermeture de chaque section sur le tronçon Ighrem-Assaki (RR106)

Origine	Destination	TMJA	Impact économique par jour (dh2014)
Irgherm	Assaki	<b>1 500</b>	218 916

L'impact économique lié à la fermeture de ce tronçon est estimé à 200 000 dh2014 par jour.

## 13.4. ANALYSES ECONOMIQUES COMPARATIFS

### 13.4.1. Analyse comparative des stratégies d'adaptation au changement climatique

Pendant la phase préparatoire de notre étude, nous avons envisagé de faire une analyse « coût-bénéfice » des différentes recommandations en fonction des impacts dus au changement climatique.

Cette analyse avait comme objectif la comparaison de trois situations possibles:

- Situation 1 : situation avec projet et avec changement climatique ;
- Situation 2 : situation sans projet et avec changement climatique (no adapt regret) ;
- Situation 3 : situation avec projet et sans changement climatique (adapt regret).

Les résultats de l'activité 1 sur le changement climatique aux tronçons d'études ne nous permettent pas de réaliser une analyse de ce type. Nous pouvons néanmoins rappeler les conclusions de l'étude « Climate change and infrastructure impacts : comparing the impact on roads in ten countries through 2100 » qui a réalisé cette analyse comparative sur dix pays ayant différents degrés de développement.

Pour ces dix pays, les études ont montré qu'une politique proactive, c'est-à-dire, qui s'adapte au changement climatique est toujours moins coûteuse qu'une politique réactive. Par exemple, un pays comme le Cameroun risque d'avoir des coûts de 1400 MUSD s'il n'adapte pas ses infrastructures routières et que le changement climatique a lieu alors que les coûts seraient de 200 MUSD s'il adapte ses infrastructures, mais que le changement climatique n'a pas lieu finalement.

Table 2: Summary of selected results for ten countries analyzed in study

Country	Decade	Avg. Annual Cost (Adapt)		Avg. Annual Cost (No Adapt)		Opportunity Cost (Adapt)		Opportunity Cost (No Adapt)		Adapt Regret		No Adapt Regret	
		USD\$million		USD\$million		%		%		USD\$million		USD\$million	
		Median	Maximum	Median	Maximum	Median	Maximum	Median	Maximum	Median	Maximum	Median	Maximum
Bolivia	2050	\$ 6.6	\$ 8.4	\$ 16.1	\$ 56.4	38%	96%	45%	165%	\$ 115.7	\$ 449.0	\$ 298.4	\$ 1,083.5
	2100	\$ 10.4	\$ 13.0	\$ 44.1	\$ 62.9	110%	196%	281%	604%	\$ 400.9	\$ 882.6	\$ 1,846.1	\$ 3,964.9
Cameroon	2050	\$ 3.0	\$ 5.7	\$ 5.6	\$ 15.7	21%	31%	23%	51%	\$ 50.6	\$ 116.2	\$ 168.8	\$ 378.8
	2100	\$ 3.5	\$ 4.5	\$ 13.3	\$ 23.9	46%	66%	88%	187%	\$ 81.8	\$ 208.0	\$ 660.8	\$ 1,402.4
Croatia	2050	\$ 2.3	\$ 12.2	\$ 2.2	\$ 27.3	2%	12%	1%	12%	\$ 12.7	\$ 78.2	\$ 48.1	\$ 450.2
	2100	\$ 12.9	\$ 16.1	\$ 63.0	\$ 143.5	18%	32%	40%	124%	\$ 16.3	\$ 81.6	\$ 1,543.6	\$ 4,800.4
Ethiopia	2050	\$ 5.0	\$ 6.6	\$ 16.3	\$ 50.9	27%	40%	39%	117%	\$ 85.9	\$ 222.7	\$ 409.2	\$ 1,220.3
	2100	\$ 5.4	\$ 6.6	\$ 26.5	\$ 101.8	51%	70%	145%	475%	\$ 103.8	\$ 282.8	\$ 1,507.4	\$ 4,944.9
Italy	2050	\$ 106.1	\$ 153.4	\$ 175.4	\$ 534.2	8%	11%	9%	16%	\$ 1,016.6	\$ 1,524.6	\$ 5,100.0	\$ 9,648.1
	2100	\$ 129.5	\$ 157.9	\$ 451.9	\$ 1,348.4	18%	25%	34%	98%	\$ 1,087.6	\$ 1,592.5	\$ 20,032.2	\$ 58,226.8
Japan	2050	\$ 122.5	\$ 435.6	\$ 276.4	\$ 1,062.6	4%	12%	5%	15%	\$ 1,168.4	\$ 3,530.9	\$ 6,418.5	\$ 21,020.4
	2100	\$ 221.2	\$ 453.1	\$ 821.4	\$ 1,711.8	11%	26%	24%	62%	\$ 1,471.1	\$ 3,886.8	\$ 34,300.1	\$ 88,245.1
New Zealand	2050	\$ 5.8	\$ 10.1	\$ 8.9	\$ 17.2	3%	4%	3%	4%	\$ 105.2	\$ 193.1	\$ 268.9	\$ 400.9
	2100	\$ 5.9	\$ 12.8	\$ 8.6	\$ 17.3	6%	9%	7%	15%	\$ 180.8	\$ 446.7	\$ 662.1	\$ 1,335.6
Philippines	2050	\$ 29.1	\$ 32.1	\$ 33.9	\$ 128.5	44%	48%	56%	88%	\$ 340.0	\$ 390.8	\$ 1,715.9	\$ 2,718.1
	2100	\$ 31.3	\$ 32.5	\$ 88.9	\$ 166.8	85%	91%	171%	340%	\$ 422.5	\$ 424.8	\$ 5,269.3	\$ 10,448.7
Sweden	2050	\$ 31.3	\$ 103.8	\$ 34.5	\$ 121.1	6%	13%	6%	14%	\$ 1,170.6	\$ 2,603.6	\$ 1,299.7	\$ 2,897.0
	2100	\$ 47.5	\$ 106.9	\$ 58.7	\$ 155.3	15%	38%	17%	47%	\$ 2,952.9	\$ 7,529.3	\$ 3,582.1	\$ 9,583.3
Venezuela	2050	\$ 17.0	\$ 20.3	\$ 59.4	\$ 78.2	16%	19%	25%	33%	\$ 192.6	\$ 255.9	\$ 1,219.6	\$ 1,633.8
	2100	\$ 17.5	\$ 18.3	\$ 143.5	\$ 148.9	31%	37%	132%	152%	\$ 195.8	\$ 259.4	\$ 6,481.9	\$ 7,469.8

Tableau 294 : Résultats pour les dix pays analysés dans l'étude

### 13.4.2. Analyse coût-bénéfice du projet

L'autre analyse possible est celle de faire une analyse « coût-bénéfice » (ACB) classique avec deux situations :

- Situation 1 : situation avec projet ;
- Situation 2 : situation sans projet ;

### LIMITE DE L'ETUDE

Cette analyse se trouve limitée par les données d'entrée disponibles. En effet, il aurait été intéressant afin de pouvoir faire une analyse « coût bénéfice » de disposer d'informations plus détaillées sur certains sujets, comme par exemple pour un ouvrage donné :

- Coût de construction (donnée inconnue) ;
- Coût d'entretien annuel pour l'OA (donnée inconnue) ;
- Réparations subies depuis sa construction : caractéristiques, coût, année (données inconnues) ;
- Jours de fermeture de la route à cause de cette OA au cours des dix dernières années (au moins) (donnée inconnue).

Les informations fournies ne nous permettent pas d'extraire les données nécessaires pour faire une analyse historique de l'ouvrage, ni de réaliser une analyse « coût bénéfice » exhaustive.

En effet, pour la réalisation de cette analyse, la réduction des jours de fermeture par rapport à la situation d'origine une fois le projet réalisé, aurait été un critère permettant d'évaluer l'efficacité de cette mesure, mais aussi une donnée fondamentale pour la réalisation de l'ACB. La réduction des jours de fermeture une fois les mesures réalisées ou son augmentation si aucune mesure n'est prise en compte, n'est pas facile à faire. Toutefois, il s'avère indispensable de connaître la valeur d'origine afin de pouvoir estimer un pourcentage.

Nous avons envisagé obtenir cette information de l'analyse des BVR, mais les données mises à notre disposition ne nous ont pas permis d'arriver aussi loin.

Une fois de plus, nous avons dû nous limiter à des considérations assez généralistes et recommandons qu'une vraie analyse soit réalisée point par point une fois que les données nécessaires auront été collectées.

### CAS DE FIGURE

Un cas de figure assez courant est la substitution d'un radier submersible par un pont non-submersible. Ces travaux sont à envisager au cas par cas, afin de les mettre en place quand il est technico-économiquement avantageux de le faire.

Les étapes pour la réalisation de l'analyse sont :

#### COÛTS :

- Coût de l'ouvrage : en ce cas pont non-submersible (études + travaux).
- Coût d'entretien annuel pour le nouveau pont pendant sa vie utile.

#### BENEFICES :

- Réduction des jours de fermeture : il faudra d'abord connaître les jours de fermeture du radier, estimer la réduction des jours de fermeture et multiplier par le coût/jour de fermeture tel qu'il a été calculé lors de l'activité 1. Il faut évaluer ce coût pendant la vie utile du pont.
- Réduction des coûts de réparation et d'entretien : il faut estimer les coûts qui auraient été dépensés en maintenance et réparation pendant la même durée de temps si le radier existant avait été maintenu.



Si les jours de fermeture par an ainsi que le coût de fermeture par jour ne sont pas très élevés, la meilleure solution sera de maintenir le radier submersible même si celui-ci est submergé quelques jours par an. Il ne faut pas pour autant négliger les tâches d'entretien qui aident à la conservation de l'ouvrage pendant sa vie utile. Il faudra également adopter des politiques de signalisation convenables afin de garantir la sécurité des usagers.

## 14. EXAMEN D'ÉTUDES SIMILAIRES RÉALISÉES DANS D'AUTRES PAYS

Ce chapitre passe en revue quelques études similaires réalisées dans d'autres pays. Ces études sont les suivantes :

- Etats-Unis - Transportation Research Board, Strategic Issues Facing Transportation, Volume 2: Climate Change, Extreme Weather Events, and the Highway System: Practioner's Guide and Research Report, 2014 ;
- Royaume-Uni - UK Highways Agency, Climate Change Adaptation Strategy and Framework, 2009 ;
- Danemark - Danish Road Directorate, Strategy for Adapting to Climate Change, 2013 ;
- Ghana - World Bank, Making Transport Climate Resilient, 2010 ;
- Europe - Conference of European Directors of Roads, Adaptation to Climate Change, 2012 ;
- International - US Department of Transportation, International Practices on Climate Adaptation in Transportation, 2015.

### 14.1. ETATS-UNIS - TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, STRATEGIC ISSUES FACING TRANSPORTATION, VOLUME 2: CLIMATE CHANGE, EXTREME WEATHER EVENTS, AND THE HIGHWAY SYSTEM: PRACTIONER'S GUIDE AND RESEARCH REPORT, 2014

#### 14.1.1. Les principaux points en rapport avec la présente étude

Cette étude traite de l'adaptation au changement climatique des infrastructures routières, en incluant les impacts potentiels à venir dans les prochaines années et les différentes stratégies de conception, construction et entretien qui doivent être considérées. Le rapport examine la planification de l'adaptation aux États-Unis et dans d'autres pays, avec une attention particulière pour les approches adoptées dans l'élaboration de stratégies d'adaptation. Une méthodologie d'évaluation de l'adaptation est présentée ; elle est composée de huit étapes:

- Identifier les objectifs clés et les mesures pour la planification de l'adaptation ;
- Définir les politiques sur les infrastructures et les endroits qui doivent être considérées ;
- Identifier les changements et ses effets sur les conditions environnementales locales ;
- Identifier les vulnérabilités des infrastructures face aux changements des conditions environnementales ;
- Conduire l'évaluation des risques des infrastructures ; Ils s'inspirent des critères employés par l'agence autoroutière anglaise ;
- Identifier les options d'adaptation pour les infrastructures à haut risque et évaluer leur faisabilité, leur rentabilité, et la solidité des options ;
- Coordonner les fonctions de l'agence pour la mise en œuvre du programme d'adaptation ;
- Réaliser des visites de terrain où modifier les normes de conception, les stratégies d'exploitation et d'entretien, et les pratiques de construction.

Concernant l'évaluation du changement climatique, en particulier pour les événements extrêmes, l'étude indique que les projections climatiques existantes ne fournissent pas de données alors que les variations des valeurs extrêmes affectent de façon plus importantes les infrastructures que les variations des valeurs moyennes (Meyer et al.2012a ;2012b). Ces sont ces valeurs qui déterminent souvent la conception des infrastructures.

Dans l'annexe B, une méthodologie pour la réalisation des analyses coût/bénéfice prenant en compte des stratégies d'adaptation au changement climatique est détaillée.

#### 14.1.2. Mise en perspective avec la présente étude

Concernant les événements extrêmes, cette étude indique d'une part, l'absence de données pour évaluer les impacts du changement climatique et d'autre part, que la conception des infrastructures est déterminé par les valeurs extrêmes (et non moyennes). Elle confirme donc les difficultés que nous avons rencontrées pour quantifier l'impact du changement climatique sur les pluies extrêmes à l'origine des catastrophes de ces dernières années.

### 14.2. ROYAUME-UNI - UK HIGHWAYS AGENCY, CLIMATE CHANGE ADAPTATION STRATEGY AND FRAMEWORK, 2009

#### 14.2.1. Les principaux points en rapport avec la présente étude

La Highways Agency a la responsabilité d'un réseau routier qui compte 7500 km de routes. Elle a réalisé ce document dont les aspects les plus importants (extraits du document) du point de vue de notre étude sont les suivants :

- Une petite variation des précipitations annuelles (pluie, grêle, neige) est mise en évidence, avec probablement une augmentation des précipitations en hiver, avec des étés plus chauds, pour une grande partie du Royaume-Uni ;
- Les décisions doivent être prises malgré les incertitudes. Elles existent dans les prédictions du changement climatique, par exemple comme résultat de l'incertitude dans les modèles climatiques, ainsi qu'en des émissions des gaz de serre ;
- L'agence a développé un modèle qui est composé de sept étapes pour identifier les activités qui seront affectées par le changement climatique :
  - Etape 1 - Définition des objectifs et des critères de décision ;
  - Etape 2 - Identification des tendances climatiques qui affecte l'agence ;
  - Etape 3 - Identification des vulnérabilités à travers un tableau de vulnérabilité en forme de matrice ;
  - Etape 4 - Evaluation du risque à travers une analyse multicritères qui permet de « noter » les risques induits par le changement climatique de sorte que les vulnérabilités peuvent être classées, ce qui permet à l'agence de déterminer où il faut focaliser ses efforts pour s'adapter au changement climatique, ainsi que les bases pour la planification et la priorisation des mesures. Dans l'analyse multicritères, les coûts de réparation ne sont pas considérés parce que les risques et les mesures d'adaptation sont évalués séparément. Les critères utilisés sont : l'incertitude, le taux du changement climatique, l'extension de la perturbation au réseau générée et la sévérité de cette perturbation ;

- Etape 5 – Analyse des options pour traiter des vulnérabilités. Une fois identifiées, chaque solution potentielle subit une évaluation comparative avec le « do-minimum » scénario et l'analyse coût/bénéfice est expliqué ;
- Etape 6 – Élaboration et mise en œuvre d'un plan des mesures d'adaptation ;
- Etape 7 – Révision du programme d'adaptation.

#### 14.2.2. Mise en perspective avec la présente étude

Cette étude a quantifié l'impact du changement climatique sur les pluies annuelles (faible variation), mais aucune variation n'a été quantifiée sur les pluies journalières ou infra-journalières. Comme l'étude précédente, cette étude confirme les difficultés que nous avons rencontrées pour quantifier l'impact du changement climatique sur les pluies extrêmes à l'origine des catastrophes de ces dernières années.

D'autre part, cette étude précise que les prédictions du changement climatique sont soumises à des incertitudes liées aux modèles climatiques. Ce point a aussi été mis en évidence par la présente étude.

### 14.3. DANEMARK - DANISH ROAD DIRECTORATE, STRATEGY FOR ADAPTING TO CLIMATE CHANGE, 2013

#### 14.3.1. Les principaux points en rapport avec la présente étude

La Direction des Routes danoise a la responsabilité du réseau national routier qui compte 3800 km de routes. Elle a réalisé ce document dont les aspects les plus importants (extraits du document) du point de vue de notre étude sont les suivants :

- Le changement climatique au Danemark se traduira par une augmentation des précipitations au niveau des routes. Elle affirme que beaucoup de prédictions différentes ont été faites sur le changement climatique. Mais que le point clé de la plupart de ces prédictions est l'augmentation des niveaux du CO<sub>2</sub> dans le pays, conjointement avec une augmentation des températures et de la pluie (en valeurs moyennes), mais également pour les précipitations plus intenses. En outre, les orages sont susceptibles de devenir plus fréquents et plus violents.  
Ainsi, la pluie annuelle augmentera et le nombre de jours où la hauteur de précipitation dépassera 20mm passera de 2 jours actuellement à 5 jours en 2050 et 7 jours en 2100 ;
- La Direction de Routes danoise conçoit ses équipements pour un débit de 140 l/s per h pour 10 min ( ?). Elle considère que cette dimension suffira pour la pluie future malgré les incertitudes concernant la valeur moyenne sur laquelle elle est basée ;
- Les trois piliers de la Direction des Routes danoise concernant l'augmentation des précipitations au niveau des routes sont le management, l'amélioration et la prévention.
  - Pour le management, elle propose, entre autres, l'établissement d'un réseau stratégique routier qui permet de se focaliser d'abord dans les routes à plus haute importance économique ; Pour l'amélioration, quatre propositions sont établies : analyser l'évènement une fois qu'il s'est produit (un guide est en train d'être réalisé), créer une base de données des évènements qui permettra d'actualiser la stratégie d'adaptation au changement climatique, réaliser des améliorations (uniquement lors que la solution trouvée est économiquement viable) et coopérer avec d'autres organismes ;
  - Pour la prévention, six démarches sont proposées : la localisation des sections les plus vulnérables où des études plus poussées détermineront après si l'investissement à réaliser

est économiquement viable, l'adaptation de la législation, le principe de prudence pendant la conception, c'est-à-dire avoir en tête que c'est toujours moins cher construire un peu plus large que devoir adapter les éléments après. Cela signifie également, la mise à jour de la législation, ainsi que la possibilité d'un changement climatique plus large que prévu. Les trois dernières propositions consistent à considérer le changement climatique dans l'élargissement des routes, l'augmentation de la recherche sur le changement climatique, ainsi que la coopération internationale et le partage des connaissances.

- Une conclusion du document est que cette stratégie doit être dynamique et le document doit être révisé et actualisé annuellement.

### 14.3.2. Mise en perspective avec la présente étude

On peut tout d'abord noter que l'augmentation des précipitations a été traduite par une augmentation du nombre de jours de pluie supérieur à un seuil, ce qui signifie que cette étude disposait de données plus précises que celles que nous avons utilisées dans la présente étude (pluies annuelle et journalière).

Concernant la gestion des impacts du changement climatique, cette étude propose de se focaliser sur les routes à plus haute importance économique. Cela correspond bien à notre proposition de hiérarchiser les routes à travers son ISE (indice socio-économique).

Enfin, les quatre propositions afférentes à l'amélioration et consistant en particulier, à analyser les événements historiques, à créer une base de données des événements historiques et à coopérer avec d'autres organismes sont totalement concordantes avec les recommandations de la présente étude. Elle attire également l'importance sur le fait d'avoir une base des données historiques actualisées, ainsi que de réaliser des analyses coûts-bénéfices justifiant les investissements avant d'entamer les travaux.

## 14.4. GHANA - WORLD BANK, MAKING TRANSPORT CLIMATE RESILIENT, 2010

### 14.4.1. Les principaux points en rapport avec la présente étude

Le Ghana a un réseau routier de 66.000 km, dont 13.000 km sont bitumés.

Le rapport financé par la Banque Mondiale est basé sur quatre scénarios de changement climatique dont un intitulé « Ghana humide » correspondant à une augmentation des pluies intenses telle qu'un orage de période de retour de 10 ans en 2050 aura une pluviométrie 35% supérieure à la pluviométrie actuelle.

Dans ce rapport, on trouve certains aspects qui méritent d'être soulignés :

- Un des problèmes majeurs du réseau routier au Ghana est l'absence de maintenance et d'entretien. Une route résistante au climat dans le futur sera très similaire à une route résistante au climat aujourd'hui. Le rapport affirme que le Ghana a les connaissances et les matériaux pour concevoir et maintenir son réseau à un bon niveau. Le point clé pour assurer l'adaptation au changement climatique d'une route après sa construction est d'avoir une maintenance suffisante. Sans entretien il n'y a pas de possibilités de pérenniser les routes avec le climat actuel, et encore moins avec le climat futur. La prédiction du changement climatique ne suggère pas que les problèmes à venir dans le futur ne peuvent pas être résolus avec les techniques actuelles d'ingénierie.

- Au Ghana, les manuels de conception des routes et des ouvrages sont systématiquement mis à jour. Néanmoins, une actualisation des données de précipitation, ainsi que des paramètres hydrologiques est fortement conseillée.
- Les mesures d'adaptation proposées sont résumées en trois catégories : conception, entretien et recherche. Les coûts d'adaptation au changement climatique pour la période 2010-2050 ont été estimés à 1,1 milliard d'USD (valeur 2009), avec un coût d'entretien beaucoup plus important que celui correspondant à des dimensionnements modifiés. Les coûts pour les usagers de la route dus aux incidents liés au climat peuvent être considérables même avec le climat actuel et devraient continuer à augmenter jusqu'à 30% en 2050 si des mesures ne sont pas prises. Pour les infrastructures actuelles, la stratégie d'adaptation devrait être préférable et elle doit se faire progressivement à commencer dès aujourd'hui.
- La stratégie proposée à court terme est résumé en quatre points :
  - Recherche de réduction des incertitudes dans les paramètres de conception pour la sédimentation et le ruissellement ;
  - Sur la base de cette recherche, les paramètres pour les calculs hydrologiques et hydrauliques doivent être mises à jour ;
  - Les manuels et guides de conception doivent être révisés afin de présenter clairement les problématiques et les solutions liées au climat ;
  - Comme l'entretien augmentera de la même manière que les pluies seront plus fréquentes, il est recommandé de vérifier s'il est possible de changer et / ou d'agrandir le système de drainage dans les zones spécifiques sujettes à l'érosion et aux inondations afin de réduire le risque de ruine et ses conséquences, et de diminuer les besoins croissants d'entretien liés au changement climatique.
- Le rapport présente également un chapitre très développé sur les coûts pour l'adaptation climatique :
  - L'impact plus important sur les coûts est celui de la pluie. La température ou le vent ayant des coûts mineurs, ils ne sont pas inclus dans l'analyse ;
  - L'analyse coût/bénéfice proposé est similaire à celle énoncée au chapitre « 13.4.2 Analyse coût bénéfice du projet » (voir ci-avant).

#### 14.4.2. Mise en perspective avec la présente étude

Les points suivants sont cohérents avec les recommandations que nous avons proposées :

- l'importance de l'entretien lequel permet de pérenniser les routes ;
- actualisation des données pluviométriques, ainsi que des paramètres hydrologiques ;
- réduction des incertitudes afférentes à la définition des paramètres hydrologiques et hydrauliques ;
- révision des guides de conception.

D'autre part, cette étude indique que le paramètre le plus important vis-à-vis des coûts induits par le changement climatique est la pluie ; la température et le vent ayant des coûts mineurs.



## 14.5. EUROPE - CONFERENCE OF EUROPEAN DIRECTORS OF ROADS, ADAPTATION TO CLIMATE CHANGE, 2012

### 14.5.1. Les principaux points en rapport avec la présente étude

Cette étude a pour but de décrire les principales conséquences du changement climatique pour les infrastructures routières, ainsi que de proposer des actions pour l'adaptation du réseau routier au changement climatique.

Cette étude comprend trois annexes :

- ❑ la première est une étude sur les risques liés au changement climatique ;
- ❑ la deuxième est une étude sur les travaux en cours sur l'adaptation au changement climatique ;
- ❑ et la troisième comprend des exemples de travaux d'adaptation et de bonnes pratiques pertinents pour s'adapter au changement climatique.

Le premier chapitre de l'étude récapitule les principaux effets du changement climatique sur le réseau routier parmi lesquels figurent les inondations, les glissements de terrain et avalanches, ainsi que les chutes de neige.

Le deuxième chapitre propose des mesures pour les différentes étapes de la gestion routière : planification, conception, construction, entretien et exploitation. Le rapport attire l'attention sur le fait que l'entretien et l'exploitation sont les deux domaines qui requièrent le plus de travail d'adaptation. Ceci inclut d'évaluer les risques en identifiant les actifs vulnérables et les risques potentiels, ainsi que gérer les risques liés au temps, y compris par des mesures préventives et des plans d'urgence. Il souligne également l'importance de rattraper les retards dans l'entretien afin de s'adapter au changement climatique.

Par ailleurs, il accentue l'importance de continuer à développer la base de connaissances sur l'adaptation.

Le troisième chapitre décrit les principes applicables aux décisions à prendre quant aux mesures alternatives d'adaptation et à la priorisation de ces mesures. Pour les structures existantes, il indique que, dans certains cas, accepter des dégâts et les coûts de réparation s'avèrera peut être la meilleure solution, mais que la base de la prise de décision recommandée est l'analyse des risques et le rapport coût/bénéfice afférent à des possibles mesures d'adaptation.

Concernant notre étude, les aspects les plus importants sont les suivants :

- Concernant le changement climatique le rapport signale que même dans les régions où les précipitations moyennes projetées seront en baisse, une augmentation de l'intensité des précipitations quotidiennes est probable. Le rapport souligne le manque de données de bonne qualité sur l'intensité de la pluie, et indique que la projection des chiffres d'inondation basés sur des scénarios de changements climatiques mondiaux ou régionaux constitue toutefois une tâche difficile vu l'incertitude générale déjà présente dans les méthodes de calcul des volumes ruisselants ;
- Pour les risques potentiels (augmentation des intensités de pluie, de l'érosion et du transport de sédiments), il faut prévoir que la fréquence des défaillances des structures existantes augmentera si les procédures d'entretien demeurent inchangées. Des méthodes adéquates sont nécessaires pour identifier les actifs vulnérables, et le rapport indique que des analyses de risque ont déjà commencé dans quelques pays.

### 14.5.2. Mise en perspective avec la présente étude

Cette étude confirme comme la présente étude :

- ❑ d'une part, que les inondations, les glissements de terrain et les chutes de neige constituent les principaux impacts du changement climatique sur les routes ;
- ❑ et d'autre part, que l'entretien de la route est primordial.

Concernant les précipitations, cette étude indique que même si les précipitations moyennes projetées sont en baisse, une augmentation de l'intensité des précipitations quotidiennes est probable, et souligne le manque de données sur les intensités pluviométriques. Cela confirme, comme pour la présente étude, d'une part, que l'impact du changement climatique sur les intensités pluviométriques n'a pu être quantifié et d'autre part, qu'aucune conclusion fiable ne peut être donnée sur l'évolution des intensités pluviométriques.

Enfin, cette étude propose d'identifier les actifs vulnérables et d'effectuer des analyses de risque. Dans notre étude, nous avons ainsi proposé une méthodologie simple qui doit permettre à la Direction des Routes de commencer d'ores et déjà des études de définition de la vulnérabilité des tronçons routiers,

## 14.6. INTERNATIONAL - US DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, INTERNATIONAL PRACTICES ON CLIMATE ADAPTATION IN TRANSPORTATION, 2015

### 14.6.1. Les principaux points en rapport avec la présente étude

Cette étude a été réalisée par l'U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration (FHWA) en partenariat avec le Volpe National Transportation Systems Center.

L'étude indique que le changement climatique est un défi au niveau mondial et que ses effets ont des implications pour la conception, la construction, l'entretien et la maintenance des systèmes de transport. Cependant, même les agences les plus actives sont aux premières étapes du développement et d'implantation des mesures d'adaptation au changement climatique et souhaitent apprendre des autres pays. Ce rapport est donc un résumé des politiques d'adaptation qui se réalisent à travers le monde.

Bien qu'il y ait une considérable confiance dans les estimations des modèles climatiques, les dates et la magnitude des effets du changement climatique, ainsi que leurs impacts sur les infrastructures sont encore incertains. Ces incertitudes sont liées aux niveaux d'émissions futurs, aux limitations des modèles climatiques, et au manque d'information sur le degré d'efficacité des mesures d'adaptation.

Les principaux constats de ce rapport sont :

- Stratégies d'adaptation : quelques pays comme le Canada, le Danemark, les Pays Bas, la Nouvelle Zélande, la Norvège et le Royaume Uni ont développé des stratégies et politiques d'adaptation au niveau régional. Bien que les niveaux de détail dans ces documents varient, les éléments communs comprennent généralement une brève description des prévisions du changement climatique, une évaluation des risques et / ou des vulnérabilités, et l'identification d'un processus de la façon de traiter et de répondre aux risques et vulnérabilités.
- Evaluation du risque lié au changement climatique: plusieurs pays emploient des méthodes systématiques pour répondre à certaines des incertitudes et pour gérer le risque associé. Le but de l'évaluation des risques et / ou des vulnérabilités est de déterminer comment le

changement climatique peut influencer sur les infrastructures de transport et de prioriser les mesures. Certains pays comme le Danemark et un nombre de pays européens qui soutiennent le projet ROADAPT ont déjà développé une méthode d'évaluation préliminaire des risques qui permet d'identifier les endroits vulnérables dans le réseau de transport, de comprendre les probabilités et les conséquences que les événements sur le changement climatique pourraient avoir sur ces emplacements, et de fournir des options pour des mesures d'adaptation.

- Modifications adoptées en matière de planification et d'usages du terrain : des pays comme le Royaume Uni ou la Nouvelle Zélande exigent déjà l'incorporation du changement climatique pour ces deux domaines.
- Intégration du changement climatique dans les normes de conception : quelques pays ont déjà commencé à l'intégrer, comme le Danemark, la Corée ou la Norvège.
- Maintenance et exploitation : les impacts du changement climatique nécessiteront probablement des modifications de la façon dont les organismes de transport exploitent et gèrent leurs systèmes et installations. Quelques pays ont fait des changements mineurs pour certaines activités de maintenance et d'exploitation, mais la plupart ont indiqué qu'ils ne sont pas au point où les effets du changement climatique ont été directement traduits par des changements dans leurs pratiques d'entretien. Les exemples de changement concernent : l'augmentation des inspections des systèmes de drainage ; l'augmentation des renseignements aux voyageurs en matière de sécurité liée aux conditions météorologiques; l'installation de mesures de sécurité routière, et d'alerte et l'amélioration des plans d'urgence.
- Pratiques de gestion des infrastructures : les impacts du changement climatique sont susceptibles d'altérer les infrastructures et les cycles d'investissement. Plusieurs des organismes de transport ont intégré des considérations relatives au changement climatique dans leurs plans de gestion. Comme exemple, la nouvelle stratégie de gestion préventive des talus de la Korea Expressway Corporation, qui est conçue pour hiérarchiser les pentes pour réaliser une maintenance préventive et réduire ainsi le montant d'argent dépensé pour les réparations d'urgence.
- Recherche : La plupart des organismes de transport inclus dans la revue participent à des initiatives de collaboration de recherche qui répondent aux besoins d'information et de données critiques liées à l'adaptation au changement climatique. Ces efforts de collaboration de recherche comprennent deux programmes de recherche de l'Association européenne des routes qui mettent l'accent sur l'adaptation au changement climatique : l'ERANET Road et le CEDR Research Programme.

#### 14.6.2. Mise en perspective avec la présente étude

Cette étude confirme que les effets du changement climatique et leurs impacts sont encore incertains : incertitudes des modèles climatiques.

### 14.7. CONCLUSIONS

De cette analyse, il ressort les points suivants :

- ❑ Ces études ont globalement rencontrées les mêmes difficultés que la présente étude pour quantifier l'impact du changement climatique sur les pluies extrêmes : absence de données ; celles-ci étant déterminantes pour la conception des aménagements ;
- ❑ Certaines de ces études confirment les recommandations que nous avons proposées relatives aux principes et méthodes de calculs en hydrologie :

- actualisation des données pluviométriques et des paramètres hydrologiques afin de réduire les incertitudes afférentes à ces paramètres,
  - création d'une base de données des événements historiques,
  - révision des guides de conception,
  - coopération avec d'autres organismes (DMN ou autre) ;
- ❑ L'étude réalisée au Danemark propose :
- de se focaliser sur les routes à haute importance économique ce qui conforte notre proposition de hiérarchisation des mesures des travaux de réparation et/ou de confortement dont la méthodologie est basée sur les indices de priorité socio-économiques (ISE) ,
  - de réaliser des analyses coûts-bénéfices afin de justifier les investissements : recommandation concordante avec les propositions de la présente étude ;
- ❑ L'importance et la nécessité de l'entretien lequel permet de pérenniser les routes ;

L'étude européenne de 2012 (Conference of European Directors of Roads) propose d'identifier les actifs vulnérables. Cette recommandation conforte la nécessité de définir la vulnérabilité des routes et donc de mettre en œuvre une méthodologie spécifique. La méthodologie que nous proposons dans la présente étude est un outil à mettre en œuvre, via son application à 2 ou 3 sections pilotes afin de valider la méthode et de l'enrichir avec le retour d'expérience qui en ressortira. Enfin, comme nous l'avons noté lors de l'atelier, il serait aussi pertinent de faire une application sur une ou plusieurs sections présentant des caractéristiques différentes des sections étudiées.

## 15. REFERENCES

Impacts des Conditions Climatiques sur les infrastructures de transport – Années 2008-2009-2010.  
Ministère de l'Équipement et des Transports du Royaume de Maroc.

Royaume du Maroc : Adaptation du secteur du transport au changement climatique.  
Juin 2010 – Bureau régional Moyen-Orient et Afrique du Nord – Groupe Energie et Transport.

Risk Management for Roads in a Changing Climate – A guidebook to the RIMAROCC Method.  
Road EraNet

Adaptation au changement climatique et aux désastres naturels des villes côtières d'Afrique du Nord  
Phase 1 : évaluation des risques en situation actuelle et à l'horizon 2030 pour la ville de Casablanca et  
la vallée de Bouregreg. Version 3. Juin 2010. Egis BCEOM International/IAU-IDF/BRGM.

Climate change and infrastructure impacts : comparing the impact on roads in ten countries through  
2100. Amy Schweikert et al. 2014.

Seconde Communication Nationale à la convention cadre des Nations Unies sur les Changements  
Climatiques. Avril 2010. Secrétariat d'Etat chargé de l'Eau et de l'Environnement. Royaume du Maroc.

Guidelines for Climate Proofing Investment in the transport Sector. Road Infrastructure Projects. Asian  
Development Bank. August 2011.

Prendre en compte les effets du changement climatique sur les chaussées routières. Association  
mondiale de la Route.

Impacts of Global Climate Change (GCC) on the Water Resources of Morocco. Phase I: Dynamical  
Downscaling GCM Outputs in Morocco. Center for Hydrometeorology and Remote-sensing, University  
of California at Irvine. April 2011.

Impacts of Climate Change on Water Ressource Management and Adaptation Mesures in the Oum er  
Rbia River Basin, Morocco. World Bank. June 2013.

Comment concilier paysage et lutte contre l'érosion: le choix des palettes végétales adaptées ?  
N. Tlemçani, A. Mouissat, C. Alfaiz, A. Derraji, J. Blidi, Martin Tampe

Etude du plan directeur de protection contre les inondations et impacts des ouvrages de protection sur  
l'environnement  
BRL Ingénierie-Aquater-ADI, 2000-2001

Guide technique - Stabilisation des glissements de terrain  
LCPC, 1998

Météorologie et terrassements – Recommandations  
LCPC-SETRA, Juin 1986

Réalisation des remblais et des couches de forme – Guide Technique  
LCPC-SETRA, Septembre 1992  
Guide technique - Drainage routier

SETRA, Mars 2006

Etude pour la réalisation d'une cartographie et d'un système d'information géographique sur les risques majeurs au Maroc. Mission 1 : identification des risques les glissements de terrain  
Etudes et mesures les 5 domaines. Version 1.0, Septembre-2008

Mémoire pour l'Obtention du Diplôme de Master en Génie Civil - Option Infrastructure de Base et Géotechnique « Caractérisation et résilience des risques géotechniques dans un projet routier »  
Fellah Wassim, Septembre 2012

Méthodes de Confortement des Pentes Instable Application au déblai PK34  
Projet de Fin d'Etude de MM. Kamal BELHADJ et Youness CHARIH, EHTP, Casablanca, 2011

Guide technique Cours d'eau et ponts  
SETRA, Juillet 2007

Fiche technique : Diagnostic et solutions des problèmes d'érosion des berges de cours d'eau.  
AAC (Agriculture et Alimentation Canada) et MAPAQ (Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec)



# 16. LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Emplacement des tronçons routiers étudiés .....	18
Figure 2 : Etapes pour l'établissement de la solution la plus avantageuse .....	35
Figure 3 : Zones d'action des Agences de Bassins Hydrauliques et emplacement des tronçons étudiés.....	53
Figure 4 : Graphique des scénarios SRES et RCP utilisés par le GIEC, respectivement dans l'AR4 et l'AR5 .....	61
Figure 5 : Anomalies des précipitations par rapport à la période 1961-1990 .....	67
Figure 6 : Variation projetée (en %) sous A1B pour a) la pluie moyenne annuelle, b) le nombre de jours de forte précipitation et c) l'amplitude des événements de forte précipitation .....	69
Figure 7 : Carte d'ajustement des précipitations annuelles pour le modèle CCma pour la période 2021-2050 .....	72
Figure 8 : Emplacement du tronçon de la RN 2 et unités hydrologiques traversées.....	114
Figure 9 : Indices de Thornthwaite dans la zone rifaine .....	115
Figure 10 : Emplacement des postes pluviométriques et pluviographes par rapport au tronçon Chefchaouen – Issaguen.....	117
Figure 11 : Contexte géographique du tronçon Chefchaouen – Issaguen .....	124
Figure 12 – RN2 – Synthèse du budget d'entretien .....	128
Figure 13 : Absence de drainage au PK 197+500 .....	131
Figure 14 : Absence de captage de Chaâba au PK 128+800.....	131
Figure 15 : Absence de protections du remblai au PK 161.....	131
Figure 16 : Dépôts solides à l'entrée de l'OH au PK 148+700 .....	132
Figure 17 : Absence de protections en pied de chute au PK 156+200 .....	132
Figure 18 : Absence de protections au rejet du fossé au PK 124 .....	132
Figure 19 : Colmatage du fossé au PK 145.....	133
Figure 20 : Affouillement au droit de la culée de l'oued Ametras .....	133
Figure 21 : Formations géologiques au droit du tronçon Chefchaouen – Issaguen .....	138
Figure 22 : Versant instable traversé par la route au PK 133+600 .....	139
Figure 23 : Chaussée dégradée située dans l'emprise du glissement (PK 144+900 – 145+300) .....	139
Figure 24 : Zone de chute de blocs (PK142+200 – 143+900) .....	140
Figure 25 : Eboulement du 07/02/2014 (PK197+500) .....	140
Figure 26 : Affaissement et fissuration de la chaussée (PK197+500).....	140
Figure 27 : Fissures longitudinales de la chaussée (PK133+800).....	140
Figure 28 : Mur en gabion déformé (PK 164 – 165).....	141
Figure 29 : Mur de soutènement incliné et affaissement de la chaussée (PK136+900).....	141
Figure 30 : Confortement du talus aval de la chaussée .....	141
Figure 31 : Travaux de réparation de la route en cours .....	141
Figure 32 : Reportage photographique au droit du désordre au PK130+900 et des solutions retenues .....	143
Figure 33 : Confortement du talus coté ravin par des murs en gabion.....	143
Figure 34 : Mise en place du mur de soutènement sur 100ml.....	144
Figure 35 : Protection du pied de talus ravin par les enrochements sur 65 ml.....	144
Figure 36 : Détails de la solution retenue au PK 130+300.....	145
Figure 37 : Reportage photographique au droit du désordre au PK130+900 et des solutions retenues .....	147
Figure 38 : Détails de la solution retenue au PK 130+900.....	148
Figure 39 : Sections définies sur le tronçon Chefchaouen-Issaguen .....	154
Figure 40 : Emplacement du tronçon de la RR 508 et unités hydrologiques traversées .....	156
Figure 41 : Emplacement des postes pluviométriques par rapport au tronçon Outabouabane et Sakka .....	159
Figure 42 : Contexte géographique du tronçon Outabouabane et Sakka .....	167
Figure 43 – RR508 – Synthèse du budget d'entretien.....	170
Figure 44 : Absence de fossé au PK 56+700.....	174
Figure 45 : Absence de captage au PK 117+882 .....	174
Figure 46 : Débordement des eaux sur la route au PK 55+400 .....	175
Figure 47 : OH colmaté au PK 50+600 .....	175
Figure 48 : Absence de protections du remblai au PK 96+600.....	175
Figure 49 : Fosse d'affouillement à la sortie de l'OH au PK 88+000.....	176
Figure 50 : Erosion du remblai au PK 80+500 .....	176
Figure 51 : Obturation de la section du fossé au PK 84+000.....	176
Figure 52 : OH détruit sur l'oued Msoun au PK 131+362.....	177
Figure 53 : OH détruit sur l'oued Boulswab au PK 137+630 .....	177
Figure 54 : OH détruit sur l'oued Boulswab au PK 158+150 .....	177
Figure 55 : Formations géologiques traversées par le tronçon Outabouabane - Sakka .....	182
Figure 56 : Glissement de versant (PK37+800) .....	183
Figure 57 : Glissement de talus de déblai (PK55+400).....	184
Figure 58 : Fissuration longitudinale et transversale et affaissement de la chaussée côté remblai-(PK53+500) .....	184
Figure 59 : Sapement de pied et effondrement de gabion (PK80+500).....	184
Figure 60 : Fossé remplis de matériaux d'érosion (PK84) .....	185
Figure 61 : Affouillement du remblai et départ de mur en gabion (PK50+600) .....	185
Figure 62 : Erosion de la fondation (PK117+882).....	185

Figure 63 : Erosion du talus de remblai (PK50+600) .....	186
Figure 64 : Chaussée dégradée (PK77+800).....	186
Figure 65 : Zone instable à risque d'écroulement (PK104+800) .....	186
Figure 66 : Mur perché suite au sapement de l'oued (PK80+500).....	187
Figure 67 : Sections définies sur le tronçon Outabouabane-Saka.....	192
Figure 68 : Emplacement du tronçon de la RR 706 et unités hydrologiques traversées .....	194
Figure 69 : Emplacement des postes pluviométriques par rapport au tronçon Rich – Imilchil.....	197
Figure 70 – Emplacement des postes pluviométriques et des pluviographes par rapport au tronçon Rich - Imilchil.....	197
Figure 71 : Contexte géographique du tronçon Rich - Imilchil .....	203
Figure 72 – RR706 – Synthèse du budget d'entretien.....	207
Figure 73 : Absence de fossés au PK 10 .....	210
Figure 74 : Absence de captage au PK 75+500 .....	211
Figure 75 : Débordement des eaux au PK 49+500 .....	211
Figure 76 : OH colmaté au PK 37+400 .....	211
Figure 77 : Absence de protection du remblai au PK 60 .....	212
Figure 78 : Ouvrage sous dimensionné sur l'oued Ziz au PK 93 .....	212
Figure 79 : Dégradation de la zone d'about du RS au PK 85 .....	212
Figure 80 : Absence de protection en aval de l'OH au PK 60 .....	213
Figure 81 : Sapement des berges au PK 50+300 .....	213
Figure 82 : Obturation de la section du fossé au PK 49+500.....	213
Figure 83 : Formations géologiques traversées par le tronçon Rich - Imilchil.....	219
Figure 84 : Zone de charriage (PK49+500).....	220
Figure 85 : Blocs écroulés (PK43+100).....	221
Figure 86 : Glissement de talus (PK47+700) .....	221
Figure 87 : Fissuration et affaissement de la chaussée côté oued (PK62+500).....	222
Figure 88 : Erosion de talus de remblai (PK65+500) .....	222
Figure 89 : Eboulis de pente (PK50+300).....	223
Figure 90 : Confortement par mur en maçonnerie (PK62+500).....	223
Figure 91 : Sections définies sur le tronçon Imilchil – Er Rich .....	227
Figure 92 Emplacement du tronçon Ighrem – Assaki et unités hydrologiques traversées.....	229
Figure 93 : Emplacement des postes pluviométriques par rapport au tronçon Ighrem - Assaki.....	232
Figure 94 : Contexte géographique du tronçon Ighrem - Assaki.....	238
Figure 95 - RR106 – Synthèse du budget d'entretien .....	241
Figure 96 : Sapement du remblai de la RR 106 au PK 102+200.....	244
Figure 97 : Absence de fossés au PK 94+500 .....	244
Figure 98 : Dégâts de crue au PK 96+970.....	244
Figure 99 : Absence de captage amont au PK 93+270 .....	245
Figure 100 : Colmatage de l'entrée de l'OH au PK 96+970 .....	245
Figure 101 : Absence de protections du remblai au PK 95+970.....	245
Figure 102 : Implantation problématique de la RR 106 et de l'OH au PK 106+400.....	246
Figure 103 : Absence de protections en aval de l'OH au PK 109+600.....	246
Figure 104 : Sapement des berges au PK 112+400 .....	246
Figure 105 : Absence de protections contre l'affouillement au PK 106+400 .....	247
Figure 106 : Formations géologiques traversées par le tronçon Ighrem - Imilchil .....	251
Figure 107 : Zone d'éboulement PK94+500.....	252
Figure 108 : Mur en gabion détruit - PK102+200.....	253
Figure 109 : Chaussée détruite à cause de colmatage de l'OH – PK97 .....	253
Figure 110 : Mur de soutènement en gabion démoli -PK 93+270 .....	254
Figure 111 : Sections définies sur le tronçon Ighrem-Assaki.....	258
Figure 112 : Evolution des berges au droit des coudes.....	333
Figure 113 : distance entre le pied de talus routier et la crête de la berge de l'oued.....	334
Figure 114 : Exemple d'analyse probabiliste des risques par la méthode RIMAROCC.....	351
Figure 115 : Exemple d'ajustement par la loi GP prenant en compte les valeurs exceptionnelles .....	358
Figure 116 : Exemple d'un remblai d'accès au pont submersible emporté par les crues et reconstruit après la crue .....	363
Figure 117 : Exemple de destruction d'un radier busé après une crue.....	363
Figure 118 : Exemple de destruction d'un pont submersible après une crue.....	364
Figure 119 : Exemple de radier sur la RR508 .....	364
Figure 120 : Exemple de pont submersible sur la RR508 .....	365
Figure 121 : Exemple de radier busé sur la RR508.....	365
Figure 122 : Exemple d'embâcle au droit d'un pont .....	367
Figure 123 : Synthèse schématique des affouillements à prendre en compte au droit des appuis d'un pont.....	369
Figure 124 : Exemple d'affouillement en aval d'un radier béton au fond d'un oued : nécessité de mettre en place un dispositif anti-affouillement au niveau de la chute aval .....	373
Figure 125 : RR508 PK 117+882 : exemple de radier submersible sans balises latérales et panneaux de signalisation .....	374
Figure 126 : Valeurs seuils permettant de constater un danger en cas de franchissement des rades ou ponts submersibles....	375
Figure 127 : Exemple de circulation sur un pont submersible submergé par une crue d'un oued lors des inondations de novembre 2014.....	375
Figure 128 : Schémas types d'une protection d'une pile de pont.....	376

Figure 129 : Exemple de protection en enrochements au droit d'un pont insubmersible : protection de la pile et du bloc technique de la culée .....	377
Figure 130 : Exemple du pouvoir érosif de l'eau sur la berge d'un cours d'eau.....	379
Figure 131 : Processus d'érosion de berges.....	380
Figure 132 : Exemple d'effet gravitaire sur la berge d'un cours d'eau.....	381
Figure 133 : Phénomène de rupture de berge en cercle .....	381
Figure 134 : Protection de berge par des techniques de génie végétal – Coupe type .....	384
Figure 135 : Protection de berge par enrochements et génie végétal (protection mixte) – Coupe type .....	385
Figure 136 : Protection de berge par enrochements – Coupe type .....	385
Figure 137 : Exemple de protection en enrochements au droit d'un coude au pied d'un remblai routier .....	387
Figure 138 : Coupe type d'une protection en enrochements .....	387
Figure 139 : Coupe type de la protection avant et après affouillement .....	388
Figure 140 : Exemple d'épis en gabion. ....	389
Figure 141 : Organigramme du METL .....	392
Figure 142 : Schéma de diffusion des messages d'alerte et d'annulation d'alerte .....	394
Figure 143 : Réseau de télémesure existant au droit de la RN2 entre Chefchaouen et Issaguen .....	402
Figure 144 : Réseau de télémesure existant aux alentours de la RR508 entre Outabouabane et Sakka .....	405
Figure 145 : Architecture du système de l'oued Ouergha .....	406
Figure 146 : Architecture du système Inaouène .....	406
Figure 147 : Réseau de télémesure existant aux environs de la RR706 entre Rich et Imilchil .....	410
Figure 148 : Réseau de télémesure existant aux alentours de la RR106 entre Ighrem et Assaki .....	414
Figure 149 : Exemple d'un remblai partiellement emporté au droit d'un ouvrage hydraulique de traversée suite à la submersion de la route .....	418
Figure 150 : Exemple d'une protection en sortie d'ouvrage constitué d'enrochements liés au béton au débouché de la buse et d'un tapis d'enrochements libres. ....	420
Figure 151 : Exemples d'aménagement d'ouvrages de tête en gabions.....	421
Figure 152 : Exemples d'aménagement de descente d'eau type cascade en gabions au débouché d'ouvrages hydrauliques de traversée .....	421
Figure 153 : Synoptique d'implantation des réseaux de collecte et d'évacuation des eaux pluviales – Cas d'un profil mixte déblai/remblai .....	424
Figure 154 : Schéma de drainage routier.....	426
Figure 155 : Amélioration des états hydriques des déblais.....	427
Figure 156 : typologie des dispositifs de drainage .....	427
Figure 157 : Exemple d'un fossé colmaté (flèche rouge) générant des débordements sur la route (flèches bleues) lesquels sont la cause d'érosion du talus de remblai. ....	430
Figure 158 : Exemple d'une entrée d'un ouvrage de traversée sous chaussée colmaté (flèche rouge) .....	432
Figure 159 : Glissement de terrain au PK 21+557 de la RR508, avec mur de soutènement renversé.....	438
Figure 160 : Glissement de terrain de la section 133+800 – 134+500 de la RN 2 .....	438
Figure 161 : Glissement de terrain au PK 47+700 de la RR 706 .....	439
Figure 162 : Les quatre grands types de mouvements de terrains .....	440
Figure 163 : Armature métallique ou synthétique.....	441
Figure 164 : Schéma d'un mur de soutènement en maçonnerie au droit d'un cours d'eau .....	442
Figure 165 : Tirants d'ancrage .....	444
Figure 166 : Confortation d'un remblai par pieux de la pente et du talus .....	445
Figure 167 : Dimensionnement d'un allègement en tête .....	445
Figure 168 : Reprofilage.....	446
Figure 169 : Substitutions partielles .....	447
Figure 170 : Butée de pied.....	448
Figure 171 : Ouvrage sur pente à stabilité précaire en nappe haute : stabilisation par tranchées drainantes. ....	449
Figure 172 : Exemple de tranchée drainante.....	449
Figure 173 : Coupes types d'une tranchée drainante .....	450
Figure 174 : Masques drainants.....	450
Figure 175 : Eperons drainants.....	451
Figure 176 : Saignées drainantes .....	451
Figure 177 : Epi drainant.....	451
Figure 178 : Drains subhorizontaux .....	452
Figure 179 : Instabilité rocheuse au PK 104+800 de la RR 508 .....	454
Figure 180 : Chute de blocs de pierre entre les PK 142+200 et 143+900 de la RN 2.....	454
Figure 181 : Zone d'éboulement au PK 94+500 de la RR 106 .....	455
Figure 182 : Chute de pierre au PK 43+100 de la RR 706.....	455
Figure 183 : Type de talus traité au sud du Maroc avec des filets et grillage.....	457
Figure 184 : Grillage de stabilisation de blocs de pierre instables .....	458
Figure 185 : Filets et clous avec câbles verticaux, longitudinaux et diagonaux .....	458
Figure 186 : Erosion du talus de déblai au PK 84+000 de la RR 508.....	460
Figure 187 : Erosion du talus de déblai au PK 50+300 de la RR 706.....	460
Figure 188 : Ravinements du talus de déblai au PK 50+600 de la RR 508 .....	461
Figure 189 : Evolution des talus plantés – Oueds El Kell et Ouislane .....	465
Figure 190 : Evolution des talus traités – Site Khémisat.....	467

Figure 191 : Evolution des talus traités – Site Kénitra.....	469
Figure 192 : Evolution des talus traités – Site Had Soualem .....	470
Figure 193 : Evolution des talus traités – Site Asilah.....	471
Figure 194 : Allure générale de la sensibilité de l'eau des sols en fonction du pourcentage de fines et de l'indice de plasticité de ces fines.....	479
Figure 195 : Diagramme de Casagrande .....	481
Figure 196 : Sections et itinéraires alternatifs définis sur le tronçon Chefchaouen-Issaguen .....	486
Figure 197 : Sections et itinéraires alternatifs définis sur le tronçon Outabouabane-Saka (RR508).....	488
Figure 198 : Sections et itinéraires alternatifs définis sur le tronçon Imilchil – Er Rich (RR706) .....	490
Figure 199 : Sections et itinéraires alternatifs définis sur le tronçon Ighrem-Assaki (RR106).....	491
Figure 200 : Exemples de sorties de ces logiciels – Modélisation de stabilité de pente .....	514
Figure 201 : Exemple d'une lecture d'un inclinomètre après le confortement.....	515
Figure 202 : Schéma et modélisation de la solution du cas n°1 .....	528
Figure 203 : Schéma et modélisation de la solution du cas n°2 .....	529
Figure 204 : Schéma et modélisation de la solution du cas n°3 .....	530
Figure 205 : Schéma de la solution de la zone 1 .....	531
Figure 206 : Schéma de la solution de la zone 2 .....	532

## 17. LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 – Grille de définition des classes de vulnérabilité – Erosion fluviale .....	30
Tableau 2 – Grilles de définition des classes de vulnérabilité – Franchissement d'un oued .....	30
Tableau 3 – Grille de définition des classes de vulnérabilité – Assainissement et entretien .....	31
Tableau 4 – Grille de définition des classes de vulnérabilité – Franchissement d'une Chaâba .....	31
Tableau 5 – Grille de définition des classes de vulnérabilité – Erosion pluviale .....	31
Tableau 6 – Grille de définition des classes de vulnérabilité – Glissement .....	32
Tableau 7 – Grille de définition des classes de vulnérabilité – Instabilité rocheuse .....	32
Tableau 8 – Grille de définition des classes de vulnérabilité – Structure de chaussée .....	32
Tableau 9 : Les recommandations techniques principales - Cas de franchissement des oueds .....	42
Tableau 10 : Etudes techniques et recommandations techniques principales - Cas longeant un oued .....	43
Tableau 11 : Préconisation pour la protection des remblais .....	45
Tableau 12 : Recommandations relatives à l'assainissement et le drainage routier .....	46
Tableau 13 : Entretien des ouvrages d'assainissement .....	47
Tableau 14 – Liste des données prioritaires .....	55
Tableau 15 - Estimation des moyennes annuelles de la pluviométrie à l'aide des changements obtenus aux différents horizons temporels et scénarios SRES (source : SNC) .....	64
Tableau 16 - Variations de la pluviométrie annuelle au niveau de chaque tronçon selon la SNC .....	64
Tableau 17 - Evolution de la température et des précipitations annuelles dans les sous-bassins du Souss-Massa (scénarios A1B et B2) .....	65
Tableau 18 - Evolution de la pluviométrie moyenne - Souss-Massa (Source : SNC) .....	66
Tableau 19 - Changements projetés de la pluviométrie annuelle par rapport à la période 1961-1990 selon les tronçons .....	67
Tableau 20 - Variation des précipitations annuelles selon l'étude MASEN (période 2021-2050) .....	72
Tableau 21 - Synthèse de l'analyse bibliographique .....	73
Tableau 22 – RN2 – CIP - Pan .....	78
Tableau 23 – RN2 – CIP - Pjmax .....	79
Tableau 24 – RN2 – CW - Pan .....	79
Tableau 25 – RN2 – CW - Pjmoy .....	80
Tableau 26 – RR706 – CIP - Pan .....	82
Tableau 27 – RR706 – CIP - Pjmax .....	83
Tableau 28 – RR706 – CW - Pan .....	83
Tableau 29 – RR706 – CW - Pjmoy .....	85
Tableau 30 – RR106 – CIP - Pan .....	86
Tableau 31 – RR106 – CIP - Pjmax .....	87
Tableau 32 – RR106 – CW - Pan .....	87
Tableau 33 – RR106 – CW - Pjmoy .....	88
Tableau 34 – RR508 – CIP - Pan .....	90
Tableau 35 – RR508 – CIP - Pjmax .....	91
Tableau 36 – RR508 – CW - Pan .....	91
Tableau 37 – RR508 – CW - Pjmoy .....	92
Tableau 38 – CIP – Pan – Synthèse des tronçons .....	94
Tableau 39 – CW – Pan – Synthèse des tronçons .....	94
Tableau 40 – CIP – Pjmax – Synthèse des tronçons .....	95
Tableau 41 – RN2 – Pan – Synthèse .....	96
Tableau 42 – RR706 – Pan – Synthèse .....	96
Tableau 43 – RR106 – Pan – Synthèse .....	97
Tableau 44 – RR508 – Pan – Synthèse à l'horizon 2035 .....	97
Tableau 45 – RR508 – Pan – Synthèse à l'horizon 2050 .....	97
Tableau 46 – CIP – Pjmax – Synthèse des tronçons .....	98
Tableau 47 – RR 508 - Données historiques observées .....	100
Tableau 48 – RR 706 - Données historiques observées .....	101
Tableau 49 – RR 106 - Données historiques observées .....	102
Tableau 50 – RR508 - Analyse comparatif des données historiques observées .....	103
Tableau 51 – RR706 - Analyse comparatif des données historiques observées .....	104
Tableau 52 – RN2 - Analyse du calage des modèles sur la période de référence observée .....	105
Tableau 53 – RR508 - Analyse du calage des modèles sur la période de référence observée .....	105
Tableau 54 – RR706 - Analyse du calage des modèles sur la période de référence observée .....	106
Tableau 55 – RR106 - Analyse du calage des modèles sur la période de référence observée .....	106
Tableau 56 - : Approches privilégiées face aux incertitudes liées aux modèles climatiques .....	107
Tableau 57 - : Changement, en pourcentage, des précipitations quotidiennes extrêmes entre le présent (1961-2000) et le futur (2021-2050) correspondant aux différents modèles-scénarios et à différentes périodes de retour (Etude EGIS/BM, 2010) .....	109

Tableau 58 – Données pluviométriques disponibles - Tronçon Chefchaouen - Issaguen .....	118
Tableau 59 – Caractéristiques statistiques des pluies journalières maximales annuelles – Tronçon Chefchaouen - Issaguen .....	119
Tableau 60 – Quantiles des pluies journalières maximales annuelles – Tronçon Chefchaouen - Issaguen .....	120
Tableau 61 – Caractéristiques statistiques des pluies annuelles – Tronçon Chefchaouen - Issaguen .....	121
Tableau 62 – Quantiles des pluies annuelles – Tronçon Chefchaouen - Issaguen .....	121
Tableau 63 – Données pluviographiques disponibles – Tronçon Chefchaouen - Issaguen .....	122
Tableau 64 – Paramètres de Montana du pluviographe Al Hoceima .....	122
Tableau 65 – Intensités de pluie décennales et centennales – Tronçon Chefchaouen - Issaguen .....	123
Tableau 66 – RN2 – Données des jours de coupure .....	126
Tableau 67 – RN2 – Synthèse du budget d’entretien .....	127
Tableau 68 – RN2 – Détail du budget d’entretien .....	128
Tableau 69 – Caractéristiques des bassins versants au droit des points névralgiques du tronçon Chefchaouen - Issaguen .....	129
Tableau 70 – Désordres hydrauliques constatés au niveau des points névralgiques du tronçon Chefchaouen - Issaguen .....	135
Tableau 71 – Synthèse des désordres hydrauliques constatés aux points névralgiques – Tronçon Chefchaouen - Issaguen .....	136
Tableau 72 – Désordres géotechniques et de chaussée constatés au niveau des points névralgiques du tronçon Chefchaouen - Issaguen .....	150
Tableau 73 – Synthèse des désordres géotechniques et de chaussée constatés aux points névralgiques – Tronçon Chefchaouen - Issaguen .....	151
Tableau 74 - Population desservie par le tronçon Chefchaouen-Issaguen (RN2) en 1994 et 2004 .....	152
Tableau 75 - Les indicateurs d’activité autour du tronçon Chefchaouen-Issaguen (2012) .....	152
Tableau 76 - TMJA 2012 par section sur le tronçon Chefchaouen-Issaguen (RN2) .....	153
Tableau 77 - Distance et temps de parcours entre Chefchaouen et Issaguen .....	154
Tableau 78 – Données pluviométriques disponibles – Tronçon Outabouabane - Sakka .....	160
Tableau 79 – Caractéristiques statistiques des pluies journalières maximales annuelles – Tronçon Outabouabane - Sakka .....	161
Tableau 80 – Quantiles des pluies journalières maximales annuelles – Tronçon Outabouabane - Sakka .....	162
Tableau 81 – Caractéristiques statistiques des pluies annuelles – Tronçon Outabouabane - Sakka .....	163
Tableau 82 – Quantiles des pluies annuelles – Tronçon Outabouabane - Sakka .....	163
Tableau 83 – Données pluviographiques disponibles – Tronçon Outabouabane - Sakka .....	164
Tableau 84 – Paramètres de Montana du pluviographe Taza .....	164
Tableau 85 – Intensités pluviométriques décennales et centennales – Tronçon Outabouabane - Sakka .....	165
Tableau 86 – RR508 – Données des jours de coupure .....	168
Tableau 87 – RR508 – Synthèse du budget d’entretien .....	169
Tableau 88 – RR508 – Détail du budget d’entretien .....	170
Tableau 89 – Caractéristiques des bassins versants au droit des points névralgiques du tronçon Outabouabane - Sakka .....	172
Tableau 90 – Désordres hydrauliques constatés au niveau des points névralgiques du tronçon Outabouabane - Sakka .....	179
Tableau 91 – Synthèse des désordres hydrauliques constatés aux points névralgiques – Tronçon Outabouabane - Sakka .....	180
Tableau 92 – Désordres géotechniques et de chaussée relevés au niveau des points névralgiques du tronçon Outabouabane – Sakka .....	188
Tableau 93 – Synthèse des désordres géotechniques et de chaussée constatés aux points névralgiques – Tronçon Outabouabane - Sakka .....	189
Tableau 94 - Population desservie par le tronçon Outabouabane -Saka (R508) en 1994 et 2004 .....	190
Tableau 95 - Indicateurs d’activité autour du tronçon Outabouabane -Saka (2012) .....	191
Tableau 96 - TMJA 2012 par section sur le tronçon Outabouabane-Saka (R508) .....	191
Tableau 97 - Distance et temps de parcours entre Outabouabane et Saka .....	192
Tableau 98 – Données pluviométriques disponibles – Tronçon Rich - Imilchil .....	198
Tableau 99 – Caractéristiques statistiques des pluies journalières maximales annuelles – Tronçon Rich - Imilchil .....	199
Tableau 100 – Quantiles des pluies journalières maximales annuelles – Tronçon Rich - Imilchil .....	200
Tableau 101 – Caractéristiques statistiques des pluies annuelles – Tronçon Rich - Imilchil .....	200
Tableau 102 – Quantiles des pluies annuelles – Tronçon Rich - Imilchil .....	201
Tableau 103 – Données pluviographiques disponibles – Tronçon Rich - Imilchil .....	201
Tableau 104 – Paramètres de Montana du pluviographe Errachidia .....	201
Tableau 105 – Intensités pluviométriques décennales et centennales – Tronçon Rich - Imilchil .....	202
Tableau 106 – RR706 – Données des jours de coupure .....	205
Tableau 107 – RR706 – Synthèse du budget d’entretien .....	206
Tableau 108 – RR706 – Détail du budget d’entretien .....	207
Tableau 109 – Caractéristiques des bassins versants au droit des points névralgiques du tronçon Rich - Imilchil .....	209
Tableau 110 – Désordres hydrauliques constatés au niveau des points névralgiques du tronçon Rich - Imilchil .....	215
Tableau 111 – Synthèse des désordres hydrauliques constatés aux points névralgiques – Tronçon Rich - Imilchil .....	217
Tableau 112 – Désordres géotechniques et de chaussée relevés au droit des points névralgiques du tronçon Rich - Imilchil .....	224
Tableau 113 – Synthèse des désordres géotechniques et de chaussée constatés aux points névralgiques – Tronçon Rich - Imilchil .....	225
Tableau 114 - Population desservie par le tronçon Imilchil-Er Rich (R706) en 1994 et 2004 .....	226
Tableau 115 - Indicateurs d’activité autour du tronçon Imilchil-Er Rich (2012) .....	226
Tableau 116 - TMJA 2012 par section sur le tronçon Imilchil-Er Rich (R706) .....	227
Tableau 117 - Distance et temps de parcours entre Imilchil et Er Rich .....	228
Tableau 118 – Données pluviométriques disponibles – Tronçon Ighrem - Assaki .....	233
Tableau 119 – Caractéristiques statistiques des pluies journalières maximales annuelles – Tronçon Ighrem - Assaki .....	234
Tableau 120 – Quantiles des pluies journalières maximales annuelles – Tronçon Ighrem - Assaki .....	235



Tableau 121 – Caractéristiques statistiques des pluies annuelles – Tronçon Ighrem - Assaki .....	235
Tableau 122 – Quantiles des pluies annuelles – Tronçon Ighrem – Assaki .....	236
Tableau 123 – Données pluviographiques disponibles – Tronçon Ighrem - Assaki.....	236
Tableau 124 – Paramètres de Montana du pluviographe Agadir .....	236
Tableau 125 – RR706 – Données des jours de coupure.....	239
Tableau 126 – RR106 – Synthèse du budget d’entretien .....	240
Tableau 127 – RN2 – Détail du budget d’entretien.....	241
Tableau 128 – Caractéristiques des bassins versants au droit des points névralgiques du tronçon Ighrem - Assaki.....	242
Tableau 129 – Désordres hydrauliques relevés au droit des points névralgiques du tronçon Ighrem - Assaki.....	248
Tableau 130 – Synthèse des désordres hydrauliques constatés aux points névralgiques – Tronçon Ighrem - Assaki .....	249
Tableau 131 – Désordres géotechniques et de chaussée relevés au droit des points névralgiques du tronçon Ighrem - Assaki ..	255
Tableau 132 – Synthèse des désordres géotechniques et de chaussée constatés aux points névralgiques – Tronçon Ighrem - Assaki.....	256
Tableau 133 - Population desservie par le tronçon Ighrem-Assaki (R106) en 1994 et 2004.....	257
Tableau 134 – Indicateurs d’activité autour du tronçon Ighrem-Assaki (2012).....	257
Tableau 135 – TMJA 2012 par section sur le tronçon Ighrem-Assaki (R106).....	258
Tableau 136 - Distance et temps de parcours entre Ighrem et Assaki.....	258
Tableau 137 – Tableau de synthèse des méthodes retenues pour la quantification des impacts hydrologiques.....	262
Tableau 138 – Table BCEOM du coefficient de ruissellement .....	265
Tableau 139 – Comparaison du temps de concentration issus de plusieurs formules.....	266
Tableau 140 : Les causes probables des affaissements/ effondrements .....	273
Tableau 141 : Les causes probables de chaque type de dégradation .....	277
Tableau 142 – Rappel des résultats de changement climatique des pluies annuelles – Tronçon Chefchaouen – Issaguen .....	280
Tableau 143 – RN2 - Pluies journalières maxi-annuelles : variations et tendances .....	280
Tableau 144 – RN2 - Rappel des résultats de changement climatique des pluies journalières maxi-annuelles.....	281
Tableau 145 – Temps de concentration des petits bassins versants – Tronçon Chefchaouen - Issaguen.....	282
Tableau 146 – Rappel des quantiles des pluies journalières maximales annuelles – Tronçon Chefchaouen - Issaguen .....	283
Tableau 147 – Intervalles de confiance des pluies journalières maximales annuelles en mm – Tronçon Chefchaouen - Issaguen	283
Tableau 148 – Intervalles de variation en mm des quantiles des pluies journalières maximales annuelles – Tronçon Chefchaouen - Issaguen.....	283
Tableau 149 – Intervalles de variation en % des quantiles des pluies journalières maximales annuelles – Tronçon Chefchaouen - Issaguen.....	284
Tableau 150 – Intervalle de variation moyenne en % des quantiles des pluies journalières maximales annuelles – Tronçon Chefchaouen - Issaguen.....	284
Tableau 151 – Rappel des quantiles des pluies annuelles – Tronçon Chefchaouen - Issaguen.....	284
Tableau 152 – Intervalles de confiance des pluies annuelles en mm – Tronçon Chefchaouen - Issaguen.....	285
Tableau 153 – Intervalle de variation en mm des quantiles des pluies annuelles – Tronçon Chefchaouen - Issaguen.....	285
Tableau 154 – Intervalle de variation en % des quantiles des pluies annuelles – Tronçon Chefchaouen - Issaguen .....	285
Tableau 155 – Intervalle de variation moyenne en % des quantiles des pluies annuelles – Tronçon Chefchaouen - Issaguen .....	285
Tableau 156 – Rappel des intensités pluviométriques décennales et centennales – Tronçon Chefchaouen - Issaguen.....	286
Tableau 157 – Intervalles de confiance des intensités de pluie – Tronçon Chefchaouen - Issaguen .....	286
Tableau 158 – Intervalles de variation en mm/hr des intensités de pluies – Tronçon Chefchaouen - Issaguen .....	286
Tableau 159 – Intervalles de variation en % des intensités de pluies – Tronçon Chefchaouen - Issaguen .....	287
Tableau 160 – Intervalles de variation des résultats de changement climatique – Tronçon Chefchaouen - Issaguen .....	287
Tableau 161 – Rappel des résultats de changement climatique pour les pluies annuelles – Tronçon Outabouabane –Sakka .....	292
Tableau 162 – RR508 - Pluies journalières maxi-annuelles : variations et tendances.....	293
Tableau 163 – RR508 - Rappel des résultats de changement climatique pour les pluies journalières maxi-annuelles.....	293
Tableau 164 – Temps de concentration des petits bassins versants – Tronçon Outabouabane -Sakka.....	295
Tableau 165 – Rappel des quantiles de pluies journalières maximales annuelles – Tronçon Outabouabane -Sakka .....	296
Tableau 166 – Intervalles de confiance des quantiles de pluies journalières maximales annuelles – Tronçon Outabouabane -Sakka .....	296
Tableau 167 – Intervalles de variation en mm des quantiles de pluies journalières maximales annuelles – Tronçon Outabouabane -Sakka .....	296
Tableau 168 – Intervalles de variation en % des quantiles de pluies journalières maximales annuelles – Tronçon Outabouabane -Sakka .....	297
Tableau 169 – Intervalle de variation moyenne en % des quantiles de pluies journalières maximales annuelles – Tronçon Outabouabane -Sakka .....	297
Tableau 170 – Rappel des quantiles de pluies annuelles – Tronçon Outabouabane -Sakka .....	297
Tableau 171 – Intervalles de confiance des quantiles de pluies annuelles – Tronçon Outabouabane -Sakka .....	298
Tableau 172 – Intervalles de variation en mm des quantiles de pluies annuelles – Tronçon Outabouabane -Sakka .....	298
Tableau 173 – Intervalles de variation en % des quantiles de pluies annuelles – Tronçon Outabouabane -Sakka .....	298
Tableau 174 – Intervalle de variation moyenne en % des quantiles de pluies annuelles – Tronçon Outabouabane -Sakka .....	299
Tableau 175 – Rappel des intensités pluviométriques décennales et centennales – Tronçon Outabouabane -Sakka .....	299
Tableau 176 – Intervalles de confiance des intensités de pluie – Tronçon Outabouabane -Sakka .....	300
Tableau 177 – Intervalles de variation en mm/hr des intensités de pluie – Tronçon Outabouabane -Sakka .....	300
Tableau 178 – Intervalles de variation en % des intensités de pluie – Tronçon Outabouabane -Sakka.....	301
Tableau 179 – Intervalles de variation des résultats de changement climatique – Tronçon Outabouabane -Sakka .....	301
Tableau 180 – Rappel des résultats de changement climatique pour les pluies annuelles – Tronçon Rich - Imilchil.....	306

Tableau 181 – RR706 - Pluies journalières maxi-annuelles : variations et tendances .....	306
Tableau 182 – RR706 - Rappel des résultats de changement climatique pour les pluies journalières maxi- annuelles .....	307
Tableau 183 – Temps de concentration des petits bassins versants – Tronçon Rich - Imilchil .....	308
Tableau 184 – Rappel des quantiles des pluies journalières maximales annuelles – Tronçon Rich - Imilchil.....	309
Tableau 185 – Intervalles de confiance des quantiles des pluies journalières maximales annuelles – Tronçon Rich - Imilchil.....	309
Tableau 186 – Intervalles de variation en mm des quantiles de pluies journalières maximales annuelles – Tronçon Rich - Imilchil .....	310
Tableau 187 – Intervalles de variation en % des quantiles de pluies journalières maximales annuelles – Tronçon Rich - Imilchil .....	310
Tableau 188 – Intervalle de variation moyenne en % des quantiles de pluies journalières maximales annuelles – Tronçon Rich - Imilchil .....	310
Tableau 189 – Rappel des quantiles des pluies annuelles – Tronçon Rich - Imilchil .....	311
Tableau 190 – Intervalles de confiance des quantiles des pluies annuelles – Tronçon Rich - Imilchil.....	311
Tableau 191 – Intervalles de variation en mm des quantiles de pluies annuelles – Tronçon Rich - Imilchil .....	311
Tableau 192 – Intervalles de variation en % des quantiles de pluies annuelles – Tronçon Rich - Imilchil.....	312
Tableau 193 – Intervalles de confiance des quantiles de pluies annuelles – Tronçon Rich - Imilchil .....	312
Tableau 194 – Rappel des intensités de pluie décennales et centennales – Tronçon Rich - Imilchil.....	312
Tableau 195 – Intervalles de confiance des intensités de pluie – Tronçon Rich - Imilchil.....	313
Tableau 196 – Intervalles de variation en mm/hr des intensités de pluie – Tronçon Rich - Imilchil .....	313
Tableau 197 – Intervalles de variation en % des intensités de pluie – Tronçon Rich - Imilchil.....	314
Tableau 198 – Intervalles de variation des résultats de changement climatique – Tronçon Rich - Imilchil.....	314
Tableau 199 – Rappel des résultats de changement climatique pour les pluies annuelles – Tronçon Ighrem-Assaki .....	319
Tableau 200 – RR106 - Pluies journalières maxi-annuelles : variations et tendances.....	319
Tableau 201 – RR106 - Rappel des résultats de changement climatique des pluies journalières maxi-annuelles.....	320
Tableau 202 – Temps de concentration des petits bassins versants – Tronçon Ighrem-Assaki .....	321
Tableau 203 – Rappel des quantiles de pluies journalières maximales annuelles – Tronçon Ighrem-Assaki.....	322
Tableau 204 – Intervalles de confiance des quantiles de pluies journalières maximales annuelles – Tronçon Ighrem-Assaki.....	322
Tableau 205 – Intervalles de variation en mm des quantiles de pluies journalières maximales annuelles – Tronçon Ighrem-Assaki .....	322
Tableau 206 – Intervalles de variation en % des quantiles de pluies journalières maximales annuelles – Tronçon Ighrem-Assaki.....	323
Tableau 207 – Intervalle de variation moyenne en % des quantiles de pluies journalières maximales annuelles – Tronçon Ighrem-Assaki.....	323
Tableau 208 – Rappel des quantiles de pluies annuelles – Tronçon Ighrem-Assaki.....	323
Tableau 209 – Intervalles de confiance des quantiles de pluies annuelles – Tronçon Ighrem-Assaki.....	323
Tableau 210 – Intervalles de variation en mm des quantiles de pluies annuelles – Tronçon Ighrem-Assaki .....	324
Tableau 211 – Intervalles de variation en % des quantiles de pluies annuelles – Tronçon Ighrem-Assaki .....	324
Tableau 212 – Intervalle de variation moyenne en % des quantiles de pluies annuelles – Tronçon Ighrem-Assaki .....	324
Tableau 213 – Rappel des intensités de pluie décennales et centennales – Tronçon Ighrem-Assaki .....	325
Tableau 214 – Intervalles de confiances des intensités de pluie – Tronçon Ighrem-Assaki .....	325
Tableau 215 – Intervalles de variation en mm des intensités de pluie – Tronçon Ighrem-Assaki.....	325
Tableau 216 – Intervalles de variation en % des intensités de pluie – Tronçon Ighrem-Assaki .....	326
Tableau 217 – Intervalles de variation des résultats de changement climatique – Tronçon Ighrem-Assaki.....	326
Tableau 218 : Les classes de vulnérabilité .....	330
Tableau 219 – Synthèse des typologies des désordres hydrauliques rencontrées sur les 4 tronçons routiers étudiés .....	332
Tableau 220 – Grille de définition des classes de vulnérabilité – Erosion fluviale .....	333
Tableau 221 – Grilles de définition des classes de vulnérabilité – Franchissement d'un oued .....	334
Tableau 222 – Grille de définition des classes de vulnérabilité – Assainissement et entretien .....	336
Tableau 223 – Grille de définition des classes de vulnérabilité – Franchissement d'une Chaâba.....	337
Tableau 224 – Grille de définition des classes de vulnérabilité – Erosion pluviale .....	338
Tableau 225 – Synthèse des typologies de désordres géotechniques et de chaussée rencontrées sur les 4 tronçons routiers étudiés.....	339
Tableau 226 – Grille de définition des classes de vulnérabilité – Glissement .....	340
Tableau 227 – Grille de définition des classes de vulnérabilité – Instabilité rocheuse .....	341
Tableau 228 – Grille de définition des classes de vulnérabilité – Structure de chaussée .....	341
Tableau 229 : Comparatif des chroniques et ajustements des pluies journalières maxi-annuelles au poste de TAZA .....	354
Tableau 230 : Comparatif intensités infra-journalières .....	355
Tableau 231 : Pluies journalières maxi-annuelles au poste de TAZA .....	356
Tableau 232 : Méthodes d'estimation des débits de crue au Maroc( <i>source : DR</i> ).....	359
Tableau 233 : Domaine d'application des techniques végétales sur les berges.....	386
Tableau 234 : Fréquences de transmission de données .....	396
Tableau 235 : Seuils d'alerte pour les oueds affectant la ville de Fès .....	398
Tableau 236 : Temps de concentration des bassins versants des points névralgiques de la RN2 .....	401
Tableau 237 : Temps de concentration des bassins versants de la RR508.....	404
Tableau 238 : Temps de concentration des bassins versants de la RR706.....	408
Tableau 239 : Temps de concentration des bassins versants de la RR106.....	412
Tableau 240 : Critères de choix des descentes d'eau .....	422
Tableau 241 : Synthèse des différentes techniques de stabilisation des glissements de terrain.....	453
Tableau 242 : Synthèse des caractéristiques des sites.....	463
Tableau 243 : Diagnostic des espèces végétales utilisées – Site Tiflet .....	464

Tableau 244 : Diagnostic des espèces végétales utilisées – Site Tiflet .....	464
Tableau 245 : Diagnostic des espèces végétales utilisées – Site Oued Ouislane.....	465
Tableau 246 : Diagnostic des espèces végétales utilisées – Site Khémisset PK74-PK82 (végétalise par hydroseeding).....	466
Tableau 247 : Diagnostic des espèces végétales utilisées – Site Mnasra .....	467
Tableau 248 : Diagnostic des espèces végétales utilisées – Site Khemis Sahel .....	468
Tableau 249 : Comportements des différentes classes des sols face aux effets des agents climatiques .....	478
Tableau 250 : TMJA 2012 par section sur le tronçon Chefchaouen-Issaguen (RN2) .....	485
Tableau 251 : Distance et temps de parcours entre Chefchaouen et Issaguen .....	486
Tableau 252 : TMJA 2012 par section sur le tronçon Outabouabane-Saka (RR508) .....	487
Tableau 253 : Distance et temps de parcours entre Outabouabane et Saka .....	488
Tableau 254 : TMJA 2012 par section sur le tronçon Imilchil-Er Rich (RR706) .....	489
Tableau 255 : Distance et temps de parcours entre Imilchil et Er Rich .....	490
Tableau 256 : TMJA 2012 par section sur le tronçon Ighrem-Assaki (RR106) .....	491
Tableau 257 : Distance et temps de parcours entre Ighrem et Assaki .....	492
Tableau 258 : Classification des actions en fonction des considérations techniques sur la thématique hydraulique fluviale .....	494
Tableau 259 : Caractère stratégique - critères et classes d'enjeux .....	495
Tableau 260 : Classification des actions en fonction des considérations techniques sur la thématique hydraulique fluviale .....	497
Tableau 261 : Classification des actions en fonction des considérations techniques sur la thématique assainissement routier ..	498
Tableau 262 : Classification des actions en fonction des considérations techniques sur la thématique géotechnique.....	499
Tableau 263 : Classification des actions en fonction des considérations techniques sur la thématique géotechnique et chaussées .....	500
Tableau 264 : Exemple de grille pour les critères socio-économiques .....	501
Tableau 265 : Classification des tronçons en fonction des critères socio-économiques.....	501
Tableau 266 : Transformation numérique de la matrix socio-économique .....	502
Tableau 267 : Proposition de fourchette à appliquer pour l'ISE .....	502
Tableau 268 : Calcul de l'ISE du tronçon selon différents coefficients de pondération des critères .....	503
Tableau 269 : Tableau de croisement de l'IT avec l'ISE pour l'obtention de l'indice de priorité global .....	504
Tableau 270 : Indice de priorité par désordre et par tronçon (thématique hydraulique fluviale) .....	505
Tableau 271 : Indice de priorité par désordre et par tronçon (thématique assainissement routier) .....	506
Tableau 272 : Indice de priorité par désordre et par tronçon (thématique géotechnique) .....	507
Tableau 273 : Indice de priorité par désordre et par tronçon (thématique géotechnique et chaussées).....	508
Tableau 274 : Estimation sommaire du coût des études préalables .....	518
Tableau 275 : Hydraulique et assainissement – Prix unitaires .....	519
Tableau 276 : Estimation prix du radier par mètre linéaire .....	520
Tableau 277 : Matrice de prix pour murs de soutènement en béton, maçonnerie ou en gabions. ....	523
Tableau 278 : Matrice de prix pour travaux de confortement d'une falaise par béton projeté et ancrages .....	524
Tableau 279 : Matrice de prix pour travaux de confortement d'une falaise par purge et grillage.....	524
Tableau 280 : Matrice de prix pour recalibrage d'oued.....	525
Tableau 281 : Matrice de prix unitaire pour systèmes de stabilisation des instabilités rocheuses .....	525
Tableau 282 : Matrice des prix pour construction de nouvelles chaussées .....	526
Tableau 283 : Exemple d'estimation financière d'une solution de confortement de remblai par micro-pieux (cas de glissement circulaire).....	527
Tableau 284 : Exemple d'estimation financière d'une solution de confortement de remblai par pieux (cas glissement en plan) ..	528
Tableau 285 : Exemple d'estimation financière d'une solution de confortement de remblai murs en gabions .....	529
Tableau 286 : Exemple d'estimation financière d'une solution de soutènement contre le sapement des berges .....	530
Tableau 287 : Exemple d'estimation financière d'une solution de confortement d'un déblai instable .....	532
Tableau 288 – Valeur du temps en DH2014 .....	536
Tableau 289 – Estimation du coût perçu d'usage de chaque catégorie de véhicule en DH2014 .....	536
Tableau 290 – Evaluation économique de la fermeture de chaque section sur le tronçon Chefchaouen-Issaguen (RN2) .....	537
Tableau 291 – Evaluation économique de la fermeture de chaque section sur le tronçon Outabouabane-Saka (RR508) .....	537
Tableau 292 – Evaluation économique de la fermeture de chaque section sur le tronçon Imilchil-Er Rich (RR706) .....	538
Tableau 293 - Evaluation économique de la fermeture de chaque section sur le tronçon Ighrem-Assaki (RR106) .....	538
Tableau 294 : Résultats pour les dix pays analysés dans l'étude .....	539

## 18. GROUPE DU TRAVAIL

Frédéric BURTON, Directeur de Projet, INGEROP

Cristina LAGOS FLORES, Chef de Projet et Coordinatrice du groupe du travail, INGEROP

Stéphane SIMONET, Expert changement climatique, ACTERRA

Gilles GATIMEL, Expert hydrologie et hydraulique, INGEROP

Soufiane CHAGRAOUI, Expert géologie et géotechnique, NOVEC

Adrien PEYRONNEL, , Expert trafic et socio-économie, INGEROP

Ainsi que d'autres ingénieurs, notamment Aurélien VAIRINHOS et Mohamed ABDANI, projeteurs et dessinateurs d'INGEROP, NOVEC et ACTERRA que le groupe remercie.

## ANNEXES