

99279 v2



WORLD BANK



DIRECTION DES ROUTES



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

Guide simplifié

30/06/2015



## Sommaire

1.	Présentation du guide.....	4
2.	Volet 1 : Méthode de définition de la vulnérabilité des tronçons routiers aux risques hydrauliques et géotechniques .....	5
2.1.	Présentation de la méthode .....	5
2.1.1.	Les objectifs.....	5
2.1.2.	Champ d'application de la méthode .....	5
2.1.3.	Les principes généraux de la méthode .....	5
2.2.	Les fiches d'application par thématique .....	6
2.2.1.	Préambule.....	6
2.2.2.	L'hydraulique fluviale .....	6
2.2.3.	L'assainissement routier .....	11
2.2.4.	La géotechnique.....	17
2.3.	La synthèse de l'analyse de la vulnérabilité .....	21
2.3.1.	La présentation des résultats .....	21
2.3.2.	Exemples d'application par thématique.....	21
3.	Volet 2 : Méthode de hiérarchisation des travaux de réparation et/ou de confortement vis-à-vis des phénomènes hydrauliques et géotechniques .....	27
3.1.	Objectif.....	27
3.2.	Les principes généraux de la méthode .....	27
3.3.	Les indices de priorité technique (IT) .....	28
3.3.1.	Objectif.....	28
3.3.2.	Echelle de temps et indices .....	28
3.3.3.	Critères d'évaluation de l'indice de priorité technique.....	29
3.3.4.	Calcul de l'indice de priorité technique (IT) .....	29
3.4.	Les indices de priorité socio-économique (ISE).....	34
3.4.1.	Objectif.....	34
3.4.2.	Critères d'évaluation de l'indice de priorité socio-économique.....	34
3.5.	Les indices de priorité globaux (IG).....	38
3.6.	Exemple d'application par thématique.....	38
4.	Volet 3 : Les « bonnes pratiques » pour la conception des ouvrages.....	43
4.1.	Cadre général .....	43
4.2.	Les fiches par thématique .....	43
4.2.1.	Hydrologie.....	43
4.2.2.	Hydraulique fluviale .....	45
4.2.3.	Assainissement routier.....	58
4.2.4.	Géotechnique.....	65
4.2.5.	Les chaussées.....	71
4.2.6.	Génie végétal .....	74
4.2.7.	Choix des matériaux.....	75

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Les classes de vulnérabilité .....	5
Tableau 2 : Classification des actions en fonction des considérations techniques sur la thématique hydraulique fluviale .....	28
Tableau 3 : Classification des actions en fonction des considérations techniques sur la thématique hydraulique fluviale .....	30
Tableau 4 : Classification des actions en fonction des considérations techniques sur la thématique assainissement routier .....	31
Tableau 5 : Classification des actions en fonction des considérations techniques sur la thématique géotechnique.....	32
Tableau 6 : Classification des actions en fonction des considérations techniques sur la thématique géotechnique et chaussées .....	33
Tableau 7 : Caractère stratégique - critères et classes d'enjeux .....	35
Tableau 8 : Tableau de croisement de l'IT avec l'ISE pour l'obtention de l'indice de priorité global .....	38

## Abréviations

**DR:** Direction des Routes

**HCP:** Haut Commissariat au Plan

**MAPM:** Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime

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

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

**RGPH :** Recensement Général de la Population et de l'Habitat

## 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).

**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.

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

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

**Ensemble multi-modèles :** Utilisation d'un ensemble de plusieurs modèles.

**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.

**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).

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



# 1. PRESENTATION DU GUIDE

La réalisation de l'étude d'adaptation des routes au risque et au Changement Climatique au Maroc a été confiée par la Banque Mondiale à la Société d'ingénierie INGÉROP. Cette étude est réalisée en collaboration avec la société NOVEC, société marocaine spécialiste dans le domaine des infrastructures, et la société ACTERRA, société d'expertise dans les études de changement climatique.

Le contrat entre la Banque Mondiale et INGÉROP Conseil et Ingénierie a été signé le 24/09/2014 : date officielle du démarrage de l'étude.

Cette assistance 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), à travers l'analyse de quelques tronçons routiers importants et vulnérables au Maroc et des recommandations techniques visant à améliorer la résistance de ces tronçons au changement climatique.

L'étude a été complétée par le présent guide technique simplifié qui est basé sur les rapports des activités 1 et 2 de l'étude, ainsi que sur les commentaires qui ont été versés lors de l'atelier qui a eu lieu le 21 avril 2015. En effet, lors de cet atelier organisé par la Direction des Routes, en présence de la Banque Mondiale, une présentation de l'étude a été effectuée et les commentaires des participants ont été recueillis et analysés afin de compléter l'étude, ainsi que le guide simplifié qui l'accompagne.

Ce guide n'a pas pour objectif de se substituer aux études réalisées dans le cadre des activités 1 et 2, mais il a pour objet de compléter l'étude à partir de quelques démarches pratiques qui pourront être appliqués 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.

## 2. VOLET 1 : METHODE DE DEFINITION DE LA VULNERABILITE DES TRONÇONS ROUTIERS AUX RISQUES HYDRAULIQUES ET GEOTECHNIQUES

### 2.1. PRESENTATION DE LA METHODE

#### 2.1.1. Les 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.

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 géologiques.

#### 2.1.2. 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.

#### 2.1.3. 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 1 : 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.

## 2.2. LES FICHES D'APPLICATION PAR THEMATIQUE

### 2.2.1. Préambule

Les fiches d'application figurant ci-après ne sont pas exhaustives. En effet, ces fiches couvrent uniquement les problématiques rencontrées dans le cadre de l'état des lieux des 4 tronçons routiers étudiés. Ainsi, dans le cadre d'études ultérieures sur d'autres tronçons routiers, de nouvelles fiches peuvent venir compléter les fiches actuelles. Enfin, ces fiches peuvent être adaptées en fonction des problématiques rencontrées et des retours d'expérience suite à leur mise en application.

### 2.2.2. L'hydraulique fluviale

Le tableau ci-dessous présente la liste des fiches d'application pour la thématique hydraulique fluviale, laquelle englobe d'une part, les risques d'érosion fluviale dans les cas où la plate-forme routière longe un oued et d'autre part, les risques d'érosion fluviale au droit des ouvrages de franchissement des oueds.

Thématique	Titre de la fiche	N° fiche
Hydraulique fluviale	Les risques d'érosion fluviale pour les routes en bordure des oueds	HYD-001
	Les risques d'érosion fluviale au droit des ponts non submersibles	HYD-002
	Les risques d'érosion fluviale au droit des ponts submersibles	HYD-003
	Les risques d'érosion fluviale au droit des radiers submersibles	HYD-004

En pages suivantes, figurent les 4 fiches d'application de la méthode de définition de la vulnérabilité.

# Définition de la vulnérabilité des tronçons routiers

Thématique : **hydraulique fluviale**

N° fiche

HYD-001

## Les risques d'érosion fluviale pour les routes en bordure des oueds

### 1 - Objectif :

Prévenir les risques d'érosion des pieds de remblai par attaque du courant et variation des niveaux d'eau (crue/décru)

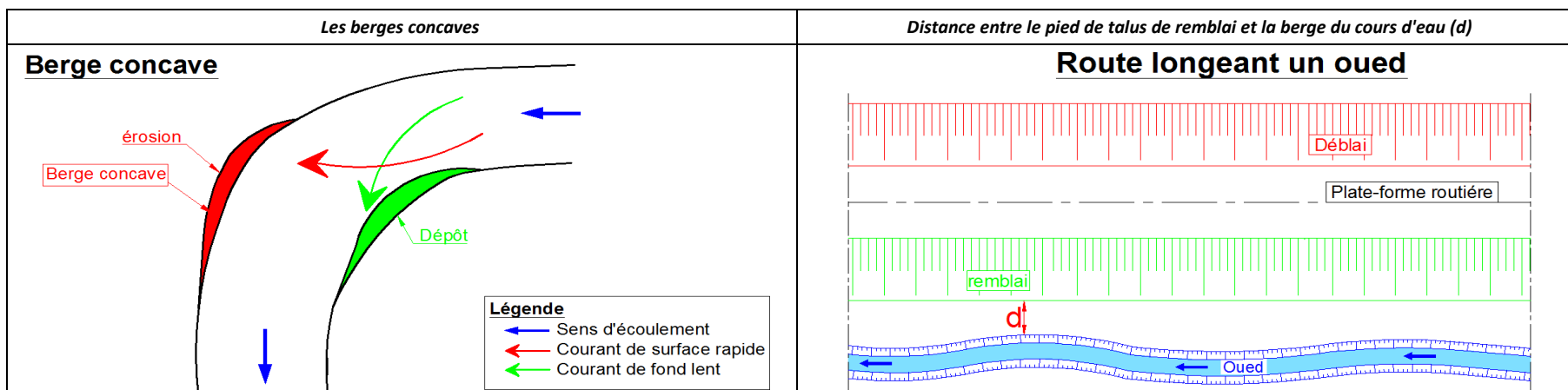
### 2 - Grille de définition des classes de vulnérabilité

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 et la berge du cours d'eau (d)				Distance entre le pied de talus et la berge du cours d'eau (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

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

Nota : Les valeurs seuils afférentes aux distances entre le pied de talus et la berge du cours d'eau peuvent être modulées en fonction de la mobilité des lits

### 3 - Définition des indicateurs de la vulnérabilité



# Définition de la vulnérabilité des tronçons routiers

Thématique : **hydraulique fluviale**

N° fiche

HYD-002

## Les risques d'érosion fluviale au droit des ponts non submersibles

### 1 - Objectif :

Prévenir les dégradations au droit des ouvrages d'art vis-à-vis des phénomènes d'érosion et d'affouillements, et des embâcles (passage des encombres flottants)

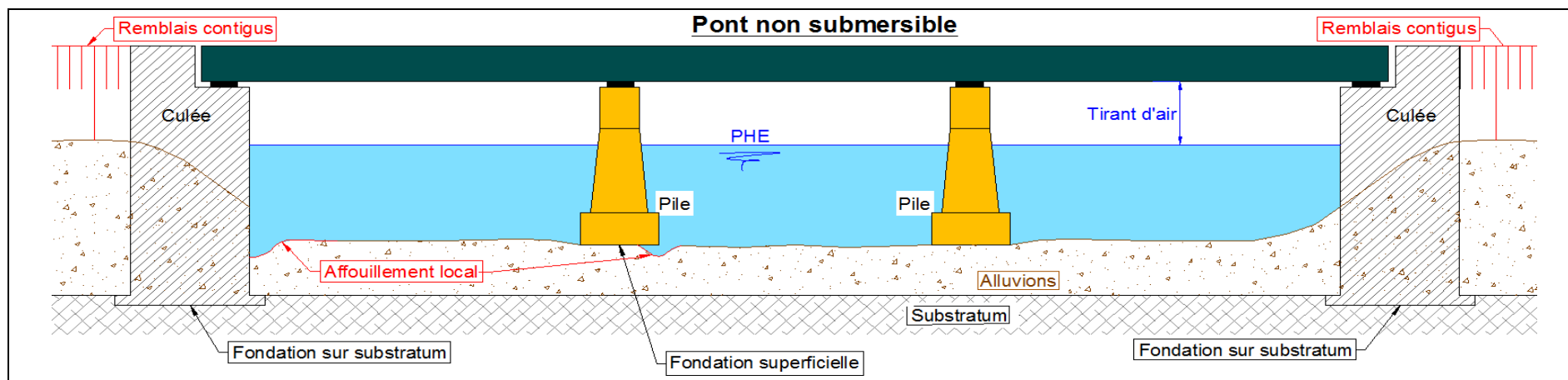
### 2 - Grille de définition des classes de vulnérabilité

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			
	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

### 3 - Définition des indicateurs de la vulnérabilité





# Définition de la vulnérabilité des tronçons routiers

Thématique : **hydraulique fluviale**

N° fiche

HYD-003

## Les risques d'érosion fluviale au droit des ponts submersibles

### 1 - Objectif :

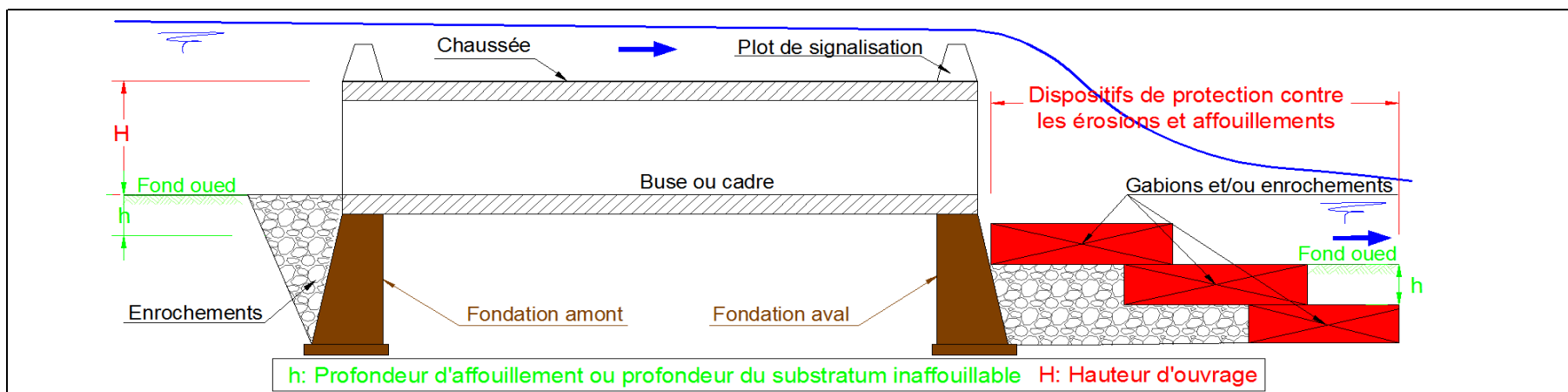
Prévenir les dégradations au droit des ponts submersibles vis-à-vis des phénomènes d'érosion et d'affouillements

### 2 - Grille de définition des classes de vulnérabilité

Indicateurs de vulnérabilité	Affouillements au fond du lit			Dispositifs de protection contre les érosions et affouillements		Niveau de la chaussée en site affouillable (calage)	
	Lit affouillable		Lit non affouillable	Absence	Présence	Pont de grande hauteur	Pont de faible hauteur
Paramètres pris en compte	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*

### 3 - Définition des indicateurs de la vulnérabilité



# Définition de la vulnérabilité des tronçons routiers

Thématique : **hydraulique fluviale**

N° fiche

HYD-004

## Les risques d'érosion fluviale au droit des radiers submersibles

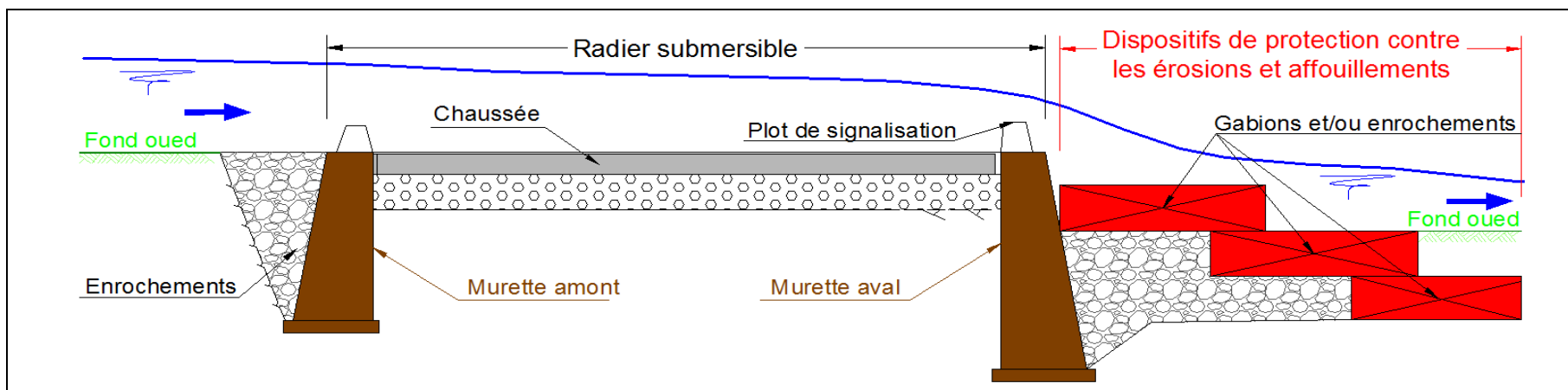
### 1 - Objectif :

Prévenir les dégradations au droit des radiers submersibles vis-à-vis des phénomènes d'érosion et d'affouillements

### 2 - Grille de définition des classes de vulnérabilité

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)	
	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

### 3 - Définition des indicateurs de la vulnérabilité



### 2.2.3. L'assainissement routier

Le tableau ci-dessous présente la liste des fiches d'application pour la thématique assainissement routier, laquelle regroupe des problématiques liées :

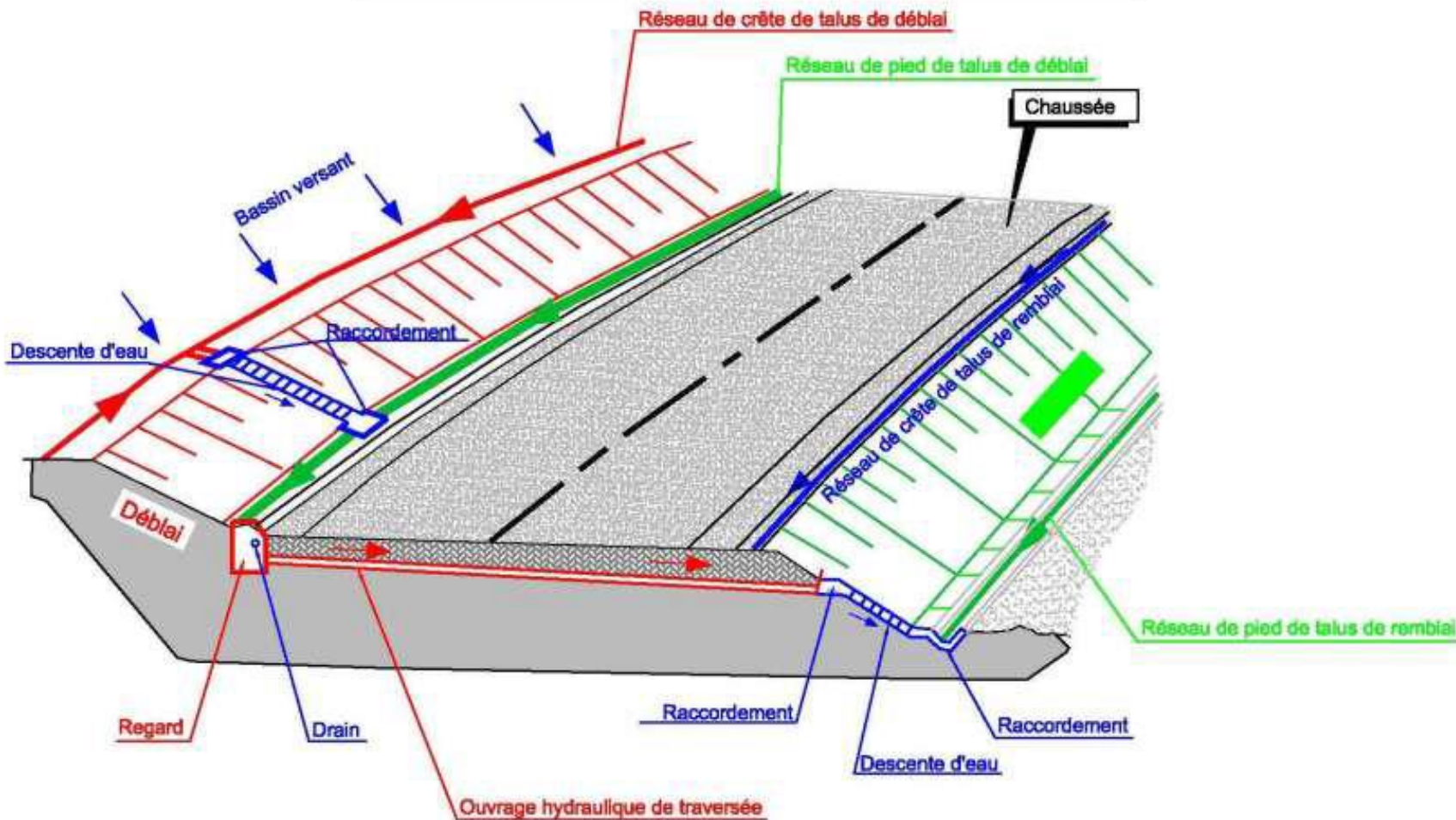
- ❑ à l'assainissement (absence ou défaillance du réseau de collecte longitudinal),
- ❑ à l'entretien (colmatage du réseau),
- ❑ aux ouvrages de franchissement de Chaâbas (absence de protections de remblai routier ou du radier, transport solide et colmatage partiel ou total),
- ❑ ainsi que les cas d'érosion pluviale liée au débordement des écoulements sur les routes ou à l'érosion au niveau des talus de la plateforme routière.

Thématique	Titre de la fiche	N° fiche
Assainissement routier	Les ouvrages de franchissement des Chaâbas 1/2	ASS-001
	Les ouvrages de franchissement des Chaâbas 2/2	ASS-002
	L'érosion pluviale	ASS-003
	Assainissement et entretien	ASS-004

En pages suivantes, figurent les 4 fiches d'application de la méthode de définition de la vulnérabilité.

En préambule, le synoptique en page suivante rappelle la typologie des réseaux de collecte et d'évacuation des eaux pluviales au droit des plates-formes routières.

**Synoptique d'implantation des réseaux de collecte et d'évacuation des eaux pluviales**  
**Cas d'un profil mixte déblai / remblai**



## Définition de la vulnérabilité des tronçons routiers

Thématique : **assainissement routier**

N° fiche

ASS-001

### Les ouvrages de franchissement des chaâbas (1/2)

#### 1 - Objectif :

Prévenir les dégradations au droit des ouvrages hydrauliques par érosion et affouillements au droit du radier de l'ouvrage, du lit de la Chaâba ou du remblai contigu

#### 2 - Grille de définition des classes de vulnérabilité

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)		
	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
Vulnérabilité du tronçon routier	Très forte	Forte	Faible à nulle	Forte	Faible à nulle	Forte	Forte	Faible à nulle

#### 3 - Définition des indicateurs de la vulnérabilité

Dégradation du talus de remblai au débouché aval de l'ouvrage	Affouillement au débouché aval de l'ouvrage hydraulique	Dégradation de l'ouvrage hydraulique (extrémités, radier...)
		



## Définition de la vulnérabilité des tronçons routiers

Thématique : **assainissement routier**

N° fiche

ASS-002

### Les ouvrages de franchissement des chaâbas (2/2)

#### 1 - Objectif :

Maitriser le fonctionnement des ouvrages hydrauliques transversaux à travers le captage amont des écoulements et leur restitution en aval vers le milieu naturel

#### 2 - Grille de définition des classes de vulnérabilité

Indicateurs de vulnérabilité	Blocage hydraulique aval ou transport solide		Dispositif de captage en déblai et raccord au réseau longitudinal		Entretien de l'ouvrage	
	Présence	Absence	Absence	Présence	Absence	Présence
Vulnérabilité du tronçon routier	Forte	Faible à nulle	Forte	Faible à nulle	Forte	Faible à nulle

#### 3 - Définition des indicateurs de la vulnérabilité

Blocage hydraulique ou transport solide	Captage des écoulements et raccord au réseau longitudinal	Entretien de l'ouvrage
		

# Définition de la vulnérabilité des tronçons routiers

Thématique : **assainissement routier**

N° fiche

ASS-003

## Erosion pluviale

### 1 - Objectif :

Assurer la pérennité de l'environnement immédiat des ouvrages hydrauliques et dispositifs d'assainissement vis-à-vis de l'érosion pluviale

### 2 - Grille de définition des classes de vulnérabilité

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

### 3 - Définition des indicateurs de la vulnérabilité

Erosion des talus de déblais et des fossés latéraux	Erosion des talus de remblais	Erosion du bassin versant amont
		



# Définition de la vulnérabilité des tronçons routiers

Thématique : **assainissement routier**

N° fiche

ASS-004

## Assainissement et entretien

### 1 - Objectif :

Assurer la collecte et l'évacuation des eaux superficielles dans l'emprise de la route

### 2 - Grille de définition des classes de vulnérabilité

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
Paramètres pris en compte	Absence	Présence	Absence	Présence	Absence	Présence	Absence	Présence	Absence	Présence
<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>

### 3 - Définition des indicateurs de la vulnérabilité

Pour la typologie des réseaux, voir le synoptique d'implantation des réseaux de collecte et d'évacuation des eaux pluviales.

Réseau de collecte et d'évacuation des eaux pluviales en pied de talus de déblai	Protection aux points de rejets	Entretien
		

#### 2.2.4. La géotechnique

Le tableau ci-dessous présente la liste des fiches d'application pour la thématique géotechnique et chaussées, lesquelles regroupent des problématiques liées :

- ❑ aux glissements de terrain ;
- ❑ aux instabilités rocheuses ;
- ❑ aux dégradations de la structure de chaussée : fissuration/affaissement/nids de poule/flache.

Thématique	Titre de la fiche	N° fiche
Géotechnique	Les glissements	GEOTECH-001
	Les instabilités rocheuses	GEOTECH-002
Chaussées	Les dégradations de la structure de chaussée	CHAU-001

# Définition de la vulnérabilité des tronçons routiers

Thématique : **géotechnique**

N° fiche

GEOTECH-001

## Les glissements

### 1 - Objectif :

Prévenir l'apparition de désordres liés aux glissements de terrain et repérer les zones pouvant potentiellement être le siège de ces dégradations

### 2 - Grille de définition des classes de vulnérabilité

Nature du désordre	Glissement														
	Lithologie		Couche "sapon"		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

\* Les valeurs seuils proposées sont susceptibles d'être réajustées après retour d'expérience

### 3 - Définition des indicateurs de la vulnérabilité

**Lithologie** : nature de roche formant une montagne, un talus ou un sol, et définissant sa structure.

**Sols meubles** : sols qui ont peu de cohésion, et dont les éléments ne sont pas liés entre eux par un ciment (exemple : sols fins argileux).

**Sols rocheux** : sols qui, après désagrégation préalable, comptent plus de 20 % d'éléments rocheux homogènes supérieurs à 20 cm.

**Couche "sapon"** : couche d'altération qui favorise le glissement de terrain (exemples : couches de gypse, argiles du Trias...).

**Altitude/pente** : paramètres topographiques caractérisant une zone et définissant son relief : montagneux, plateaux, collines ou de plaine.

**Couvert végétal** : formations végétales couvrant un terrain, sol ou talus.

**Pluie moyenne annuelle** : moyenne des pluies annuelles sur une période d'observation donnée, caractérisant le type de climat (humide, normal ou sec).

**Saturation du sol** : état caractérisant l'état hydrique du sol et traduisant son engorgement en eau.

**Sensibilité vis-à-vis de l'eau** : caractéristique des formations traduisant leur altération en présence d'eau (exemples : phénomène de retrait-gonflement des argiles).



# Définition de la vulnérabilité des tronçons routiers

Thématique : **géotechnique**

N° fiche

GEOTECH-002

## Les instabilités rocheuses

### 1 - Objectif :

Prévenir l'apparition de désordres liés aux instabilités rocheuses et repérer les zones pouvant potentiellement abriter ces dégradations

### 2 - Grille de définition des classes de vulnérabilité

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		
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	Forte	Faible à nulle	Forte	Faible à nulle	Forte	Moyenne	Faible à nulle	Forte	Faible	Forte	Moyenne	Faible	Forte	Moyenne	Faible à nulle

\* Les valeurs seuils proposées sont susceptibles d'être réajustées après retour d'expérience

### 3 - Définition des indicateurs de la vulnérabilité

**Type de roche** : description de l'aptitude de la roche à s'altérer ou à se fracturer.

**Cycles gel/dégel** : cycles thermiques se produisant lorsque la température fluctue autour de 0°C.

**Altitude/pente** : paramètres topographiques caractérisant une zone et définissant son relief : montagneux, plateaux, collines ou de plaine.

**Variation de température (jour/nuit)** : amplitudes thermiques observées entre les températures de jour et celles de nuit.

**Pluies extrêmes** : intensités de pluies relatives à des averses extrêmes ou orages, exprimées en mm/hr

**Matrice englobant les blocs** : Ensemble de particules fines englobant des particules plus grossières.

# Définition de la vulnérabilité des tronçons routiers

Thématique : **chaussées**

N° fiche

CHAU-001

## Les dégradations de la structure de chaussée : Fissuration / Affaissement / Nids de poule / Flache

### 1 - Objectif :

Prévenir l'apparition de désordres liés à la chaussée et repérer les zones pouvant potentiellement connaître ces déformations

### 2 - Grille de définition des classes de vulnérabilité

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

\* Les valeurs seuils proposées sont susceptibles d'être réajustées après retour d'expérience

\*\* Indice de plasticité

\*\*\* Trafic moyen journalier annuel

### 3 - Définition des indicateurs de la vulnérabilité

**Cycles gel/dégel** : cycles thermiques se produisant lorsque la température fluctue autour de 0°C.

**Drainage** : opération consistant à évacuer l'eau d'un sol pour diminuer les pressions interstitielles.

**Altitude/pente** : paramètres topographiques caractérisant une zone et définissant son relief : montagneux, plateaux, collines ou de plaine.

**Variation de température (jour/nuit)** : amplitudes thermiques observées entre les températures de jour et celles de nuit.

**Saturation du sol** : état caractérisant l'état hydrique du sol et traduisant son engorgement en eau.

**Trafic** : circulation routière de véhicules automobiles sur un tronçon routier, défini par le trafic moyen journalier annuel (TMJA).

## 2.3. LA SYNTHÈSE DE L'ANALYSE DE LA VULNÉRABILITÉ

### 2.3.1. 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.

### 2.3.2. 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.

#### *2.3.2.1. 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.

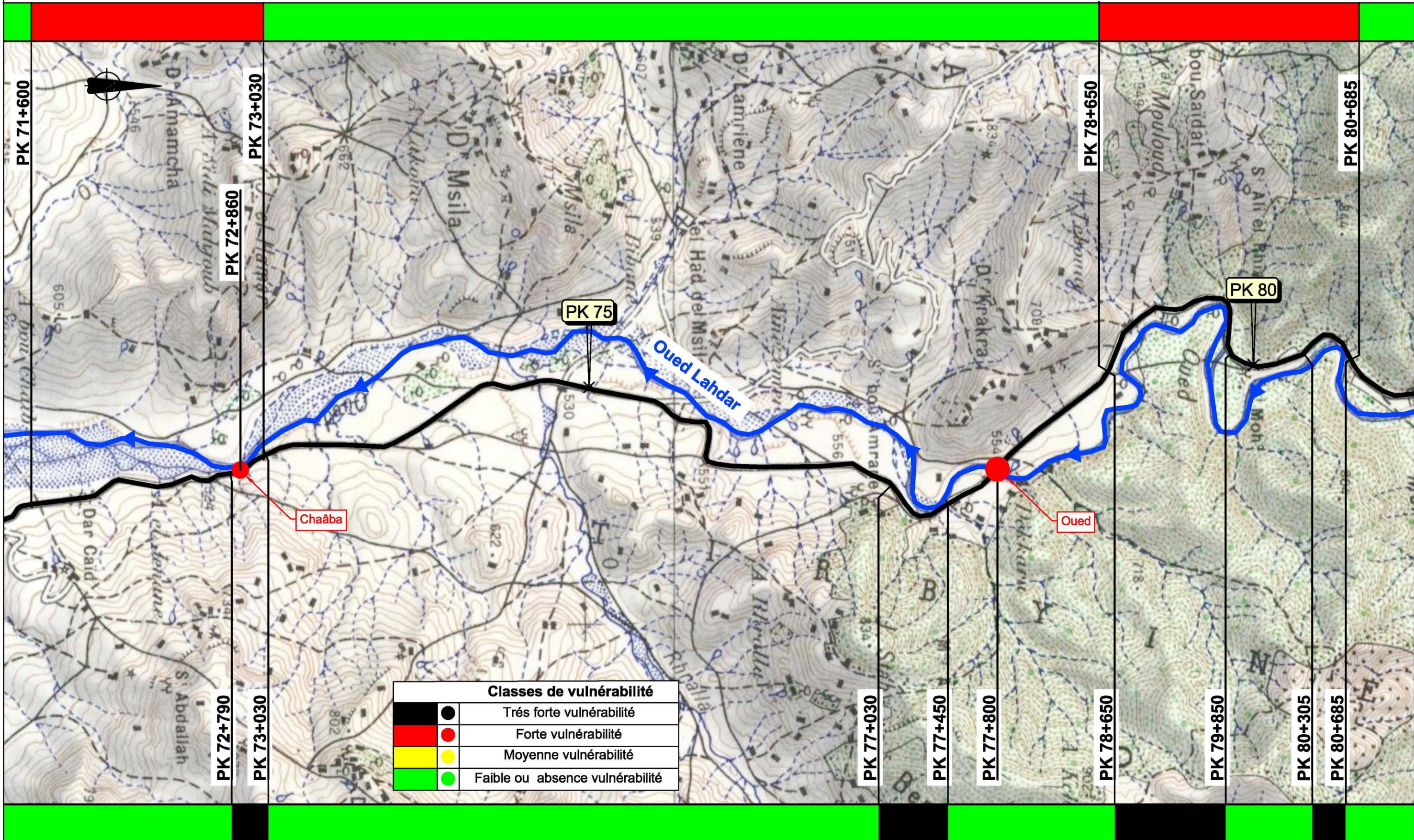
**Présentation des résultats de la méthode de vulnérabilité vis-à-vis des risques hydrauliques  
Application à la section de la RR508 entre les PK 71 et 81**

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**



#### 2.3.2.2. 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**

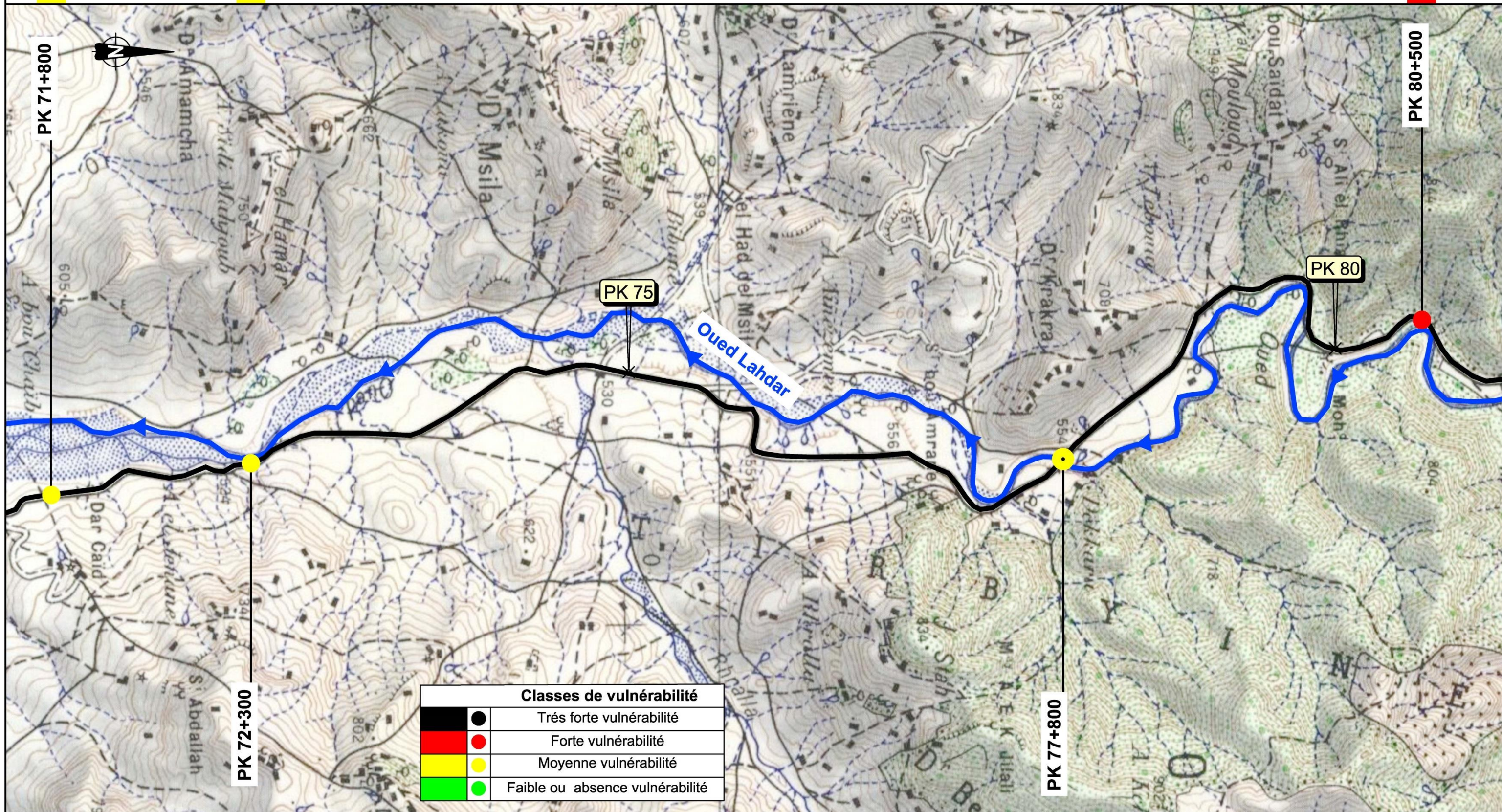
<b>GEOTECHNIQUE</b>			
Localisation	Classes de vulnérabilité	Les glissements	Les instabilités rocheuses
		Fiche n° GEOTECH-001	Fiche n° GEOTECH-002
71+800 (*)	Moyenne	Absence de moyens de soutènement	-
72+300 (*)	Moyenne	Déformation des systèmes de confortement (mur en gabion ou béton)	-
80+500 (*)	Forte	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



### 3. VOLET 2 : METHODE DE HIERARCHISATION DES TRAVAUX DE REPARATION ET/OU DE CONFORTEMENT VIS-A-VIS DES PHENOMENES HYDRAULIQUES ET GEOTECHNIQUES

#### 3.1. OBJECTIF

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.

#### 3.2. LES PRINCIPES GENERAUX DE LA METHODE

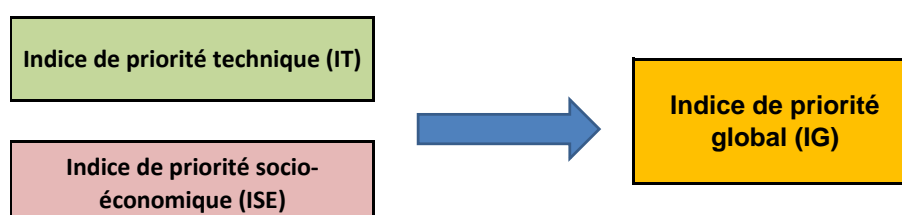
Gérer les désordres occasionnés par les événements climatiques, c'est notamment établir un programme d'interventions tenant compte des priorités techniques, socio-économiques et budgétaires.

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.



### 3.3. LES INDICES DE PRIORITE TECHNIQUE (IT)

#### 3.3.1. Objectif

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.

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.

#### 3.3.2. Echelle de temps et 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 2 : 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.

### 3.3.3. 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.

### 3.3.4. Calcul de l'indice de priorité technique (IT)

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	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)	Oui (destruction partielle ou totale de l'ouvrage)	Moyen terme (3 à 4 ans)		
				Oui (absence de dispositif de protection du remblai)	Oui (destruction partielle ou totale de l'ouvrage)	Long terme ≥ 5 ans		

Tableau 3 : 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 4 : 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 5 : 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 6 : Classification des actions en fonction des considérations techniques sur la thématique géotechnique et chaussées

### 3.4. LES INDICES DE PRIORITE SOCIO-ECONOMIQUE (ISE)

#### 3.4.1. Objectif

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.

#### 3.4.2. Critères d'évaluation de l'indice de priorité socio-économique

□ **Les critères d'évaluation de l'indice** de priorité socio-économiques retenus sont les suivants :

- C1 - Population desservie par le tronçon ;
- C2 - Activités économiques desservies par le tronçon ;
- C3 - Trafics sur le tronçon ;
- C4 - 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).

##### *C1- Population desservie par le tronçon*

Les données de nombre d'habitants sont issues du document « Recensement Général de la population et de l'habitat 2004 (RGPH2004)» publié par le Haut-Commissariat au Plan (HCP) et disponible sur son site web. Il est à noter qu'un nouveau recensement de la population a été réalisé en 2014 et vient d'être publié.

[http://www.hcp.ma/downloads/RGPH-2014\\_t17441.html](http://www.hcp.ma/downloads/RGPH-2014_t17441.html)

##### *C2 - Activités économiques desservies par le tronçon*

Nous avons retenu comme donnée permettant de mesurer l'activité économique **le nombre d'établissements industriels** en 2012 par province et par commune publiées dans le site web de l'observatoire marocain de l'Industrie.

Les autres données qui peuvent être utilisées sont les suivantes :

- **Effectifs de main d'œuvre embauchée dans les établissements industriels** en 2012 par province (source : site web de l'observatoire marocain de l'Industrie);
- **Chiffres d'affaire des établissements industriels** en 2012 par province (source : site web de l'observatoire marocain de l'Industrie);

- **Taux d'activité**<sup>1</sup> en 2012 par province (source : Haut-commissariat au Plan).

Si la **part de l'agriculture dans l'activité économique** des zones desservies veut être considérée, 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>

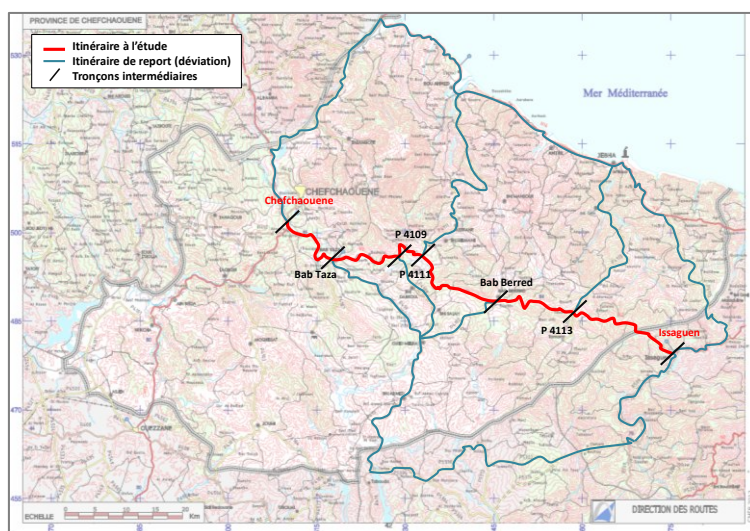
### C3 - Trafics sur le tronçon

Les données de trafics moyens journaliers sur les sections sont issues du document « Recueil de Trafic Routier » qui est publié chaque année par la Direction des Routes du Ministère de l'Équipement.

<http://www.mtpnet.gov.ma/routier/Infrastructures-Routieres/Reseau-Routier-du-Royaume/Pages/Trafic-Routier.aspx>

### C4 - Fonctionnalité du tronçon :

- Division du tronçon en sections élémentaires et localisation des itinéraires alternatifs possibles (catégorie minimale de route provinciale).
- Calcul des distances et des temps de parcours en situation normale et en situation dégradée.



- ❑ **Etablissement de classes pour chaque critère :**

	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 7 : Caractère stratégique - critères et classes d'enjeux

<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.

Les seuils d'enjeux sont donnés également à titre indicatif et correspondent à des seuils pertinents pour comparer et hiérarchiser les tronçons étudiés dans le cadre de l'étude pilote. Ces seuils peuvent être réadaptés (à la hausse ou à la baisse) en fonction des spécificités des futurs tronçons à étudier.

❑ **Etablissement d'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.

❑ **Etablissement du poids de chaque critère** :

- Affecter des poids pour chaque critère. Cette affectation peut prendre plusieurs formes :
  - considérer que tous les critères ont le même poids (soit 25% chacun) ;
  - considérer que les établissements industriels ont un poids moins important que le reste, mais que les autres ont un poids similaire ;
  - considérer comme critères que la population et le trafic.

Toute autre possibilité de combinaison est envisageable en fonction de l'importance relative que la DR accorde à chaque critère.

- Réaliser des tests de sensibilité :

	C1 - Nombre d'habitants	C2 - Etablissements industriels	C3 - TMJA	C4 - Fonctionnalité	Test de sensibilité
Exemples de pondération possibles	25	25	25	25	Base
	30	10	30	30	TS1
	50	0	50	0	TS2

❑ **Calcul de l'Indice de priorité Socio-Economique**

- Calculer la moyenne pondérée de chaque tronçon en fonction du critère de pondération choisi 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

Il faut prendre en compte le fait que des critères différents peuvent entrer en ligne de compte. De la même façon, certains des critères ci-dessous peuvent s'avérer sans intérêt pour la DR. La méthode de détermination de l'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.

### 3.5. LES INDICES DE PRIORITE GLOBAUX (IG)

Nous avons traité dans les chapitres précédents comment établir les deux indices de priorités à prendre en compte dans la programmation des actions de réparation et/ou de confortement :

- **Les indices de priorité technique** qui permettent d'établir un ordre d'intervention selon des critères exclusivement techniques ;
- **Les indices de priorité socio-économique** 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 8 : Tableau de croisement de l'IT avec l'ISE pour l'obtention de l'indice de priorité global

### 3.6. EXEMPLE D'APPLICATION PAR THEMATIQUE

L'application qui suit a été réalisée pour une section du tronçon routier de la RR508 (PK71-PK 81).

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.

## 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)	Tronçon Outabouababane Saka	
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)		
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)		

(\*) 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)		

## 4. VOLET 3 : LES « BONNES PRATIQUES » POUR LA CONCEPTION DES OUVRAGES

### 4.1. CADRE GENERAL

Sur la base du diagnostic de la situation actuelle des 4 tronçons routiers et de l'évaluation de la vulnérabilité, nous présentons ci-après diverses recommandations techniques pour la rénovation, l'amélioration et l'entretien des tronçons sélectionnés ; c'est-à-dire, augmenter leur résistance aux évènements exceptionnels associés au changement climatique.

Les fiches d'application figurant ci-après ne sont pas exhaustives. En effet, ces fiches couvrent uniquement les problématiques rencontrées dans le cadre de l'état des lieux des 4 tronçons routiers étudiés. Ainsi, dans le cadre d'études ultérieures sur d'autres tronçons routiers, de nouvelles fiches peuvent venir compléter les fiches actuelles. Enfin, ces fiches peuvent être adaptées en fonction des problématiques rencontrées et des retours d'expérience suite à leur mise en application.

### 4.2. LES FICHES PAR THEMATIQUE

#### 4.2.1. Hydrologie

En page suivante figure la fiche de recommandations pour l'hydrologie, et en particulier pour :

- la définition des paramètres pluviométriques : ces paramètres constituent les données d'entrée d'une part, pour l'estimation des débits de crue et d'autre part, pour le dimensionnement des réseaux d'assainissement ;
- les méthodes d'estimation des débits de crue.

## 1 - Les paramètres pluviométriques

- ❑ vérification et analyse critique de l'origine des données pluviométriques ;
- ❑ actualisation systématique des chroniques afin de prendre en compte les observations récentes et d'allonger la période d'observation ;
- ❑ pour les ajustements statistiques des pluies extrêmes pour un échantillon d'au moins 25 années, il est préférable d'utiliser la loi Généralisée des Valeurs Extrêmes (GEV), soit une loi à 3 paramètres ;
- ❑ Mise en œuvre d'une approche régionale s'appuyant sur un nombre plus importants de postes pluviométriques lorsque les études concernent un tronçon routier important (de plusieurs dizaines de km) ;
- ❑ Partenariat avec la DMN pour :
  - le recensement des événements pluviométriques remarquables,
  - la densification du réseau des postes de mesure,
  - l'amélioration de l'établissement des courbes IDF : transparence des ajustements et prise en compte de cassures.

## 2 - Les méthodes d'estimation des débits de crue

- ❑ L'utilisation d'une seule méthode ou formule empirique ;
- ❑ Pour toutes les formules empiriques, le choix des paramètres hydrologiques est déterminant dans le calcul du débit : il doit être justifié et les paramètres doivent faire l'objet d'un calage sur un ou plusieurs bassins versants jaugés par région hydrologique homogène ;
- ❑ 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 ;
- ❑ Reconstitution des débits des crues historiques.

#### 4.2.2. Hydraulique fluviale

Le tableau ci-dessous présente la liste des fiches de recommandations pour la thématique hydraulique fluviale, laquelle englobe d'une part, les risques d'érosion fluviale dans les cas où la plate-forme routière longe un oued et d'autre part, les risques d'érosion fluviale au droit des ouvrages de franchissement des oueds.

Thématique	Titre de la fiche		N° fiche
Hydraulique fluviale	Franchissement des oueds	Les risques hydrauliques à prendre en compte 1/2	HYDFLU-001
		Les risques hydrauliques à prendre en compte 2/2	
		Les études techniques préalables	HYDFLU-002
		Les radiers submersibles	HYDFLU-003
		Les ponts submersibles	HYDFLU-004
		Les mesures pour la sécurité des usagers de la route au droit des radiers et ponts submersibles	HYDFLU-005
		Les ponts insubmersibles	HYDFLU-006
	L'entretien des ouvrages de franchissement	HYDFLU-007	
	Cas où la plate-forme routière longe un oued	Les études techniques préalables	HYDFLU-008
		Les solutions techniques pour consolider les berges des oueds 1/2	HYDFLU-009
Les solutions techniques pour consolider les berges des oueds 2/2			
Les protection des berges et des remblais par enrochements		HYDFLU-010	



**Franchissement des oueds : les risques hydrauliques à prendre en compte 1/2****1 - 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.

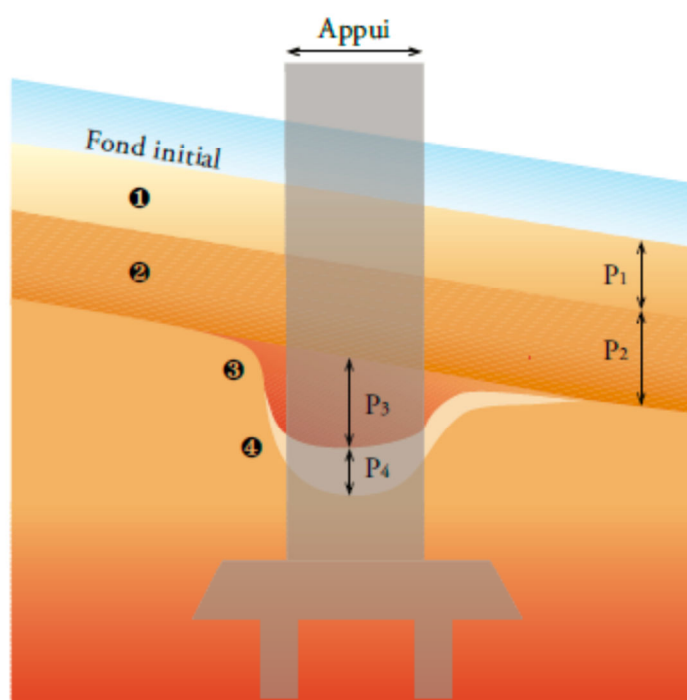


*Exemple d'embâcle au droit d'un pont*

## Franchissement des oueds : les risques hydrauliques à prendre en compte 2/2


2 - Les phénomènes d'évolution de la morphologie des oueds

- La **mobilité verticale** des lits (évolution des fonds mobiles) : 4 types d'évolution à prendre en compte
  - P1 : évolution naturelle du fond du lit et/ou évolution liée à des aménagements anthropiques en amont ou en aval (érosion régressive du fond du lit, .....)
  - P2 : affouillement généralisé (à partir d'un certain seuil de débit les alluvions mobiles se mettent en mouvement)
  - P3 : augmentation de l'affouillement généralisé suite à la diminution de la section d'écoulement
  - P4 : affouillement localisé au droit des appuis (culées et piles)



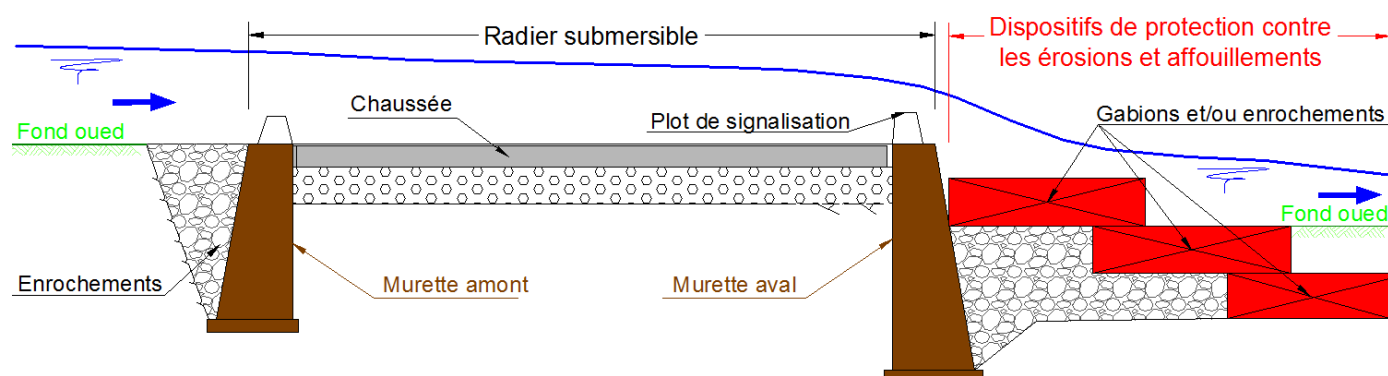
**Hauteur totale  
d'affouillement**  
 **$H = P1 + P2 + P3 + P4$**

- La **mobilité en plan** des lits
  - Définition de l'espace de mobilité du lit (espace de divagation)
  - 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

Recommandations techniques pour la conception des ouvrages	N° fiche
Thématique : <b>hydraulique fluviale</b>	HYDFLU-002
<b>Franchissement des oueds : les études préalables</b>	
<p><b><u>1 - Les études nécessaires au choix du type d'ouvrage de franchissement</u></b></p> <p>La définition de la typologie d'un ouvrage de franchissement doit faire l'objet d'une étude comportant les 3 composantes suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>❑ une <b><u>analyse de trafic routier</u></b> afin de quantifier les déplacements existants et futurs ;</li> <li>❑ une <b><u>analyse socio-économique</u></b> afin d'évaluer les conséquences économiques d'une coupure de la route ;</li> <li>❑ une <b><u>analyse hydrologique</u></b> de l'oued concerné afin de caractériser le régime du cours d'eau, les débits et les hydrogrammes des crues de référence.</li> </ul> <p><b><u>2 - Les études techniques de conception et de dimensionnement de l'ouvrage de franchissement</u></b></p> <p>La conception et le dimensionnement d'un ouvrage de franchissement doit faire l'objet d'une étude comportant les 3 composantes suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>❑ une <b><u>analyse hydraulique et morphologique</u></b> comprenant ; <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ une analyse de la dynamique fluviale : mobilité verticale et/ou en plan du lit,</li> <li>➢ la caractérisation des écoulements en crue : hauteurs d'eau et vitesses,</li> <li>➢ la caractérisation des phénomènes d'érosion et d'affouillements,</li> <li>➢ la définition des dispositions de protection : techniques minérales, végétales ou mixte,</li> <li>➢ la vérification du fonctionnement de l'ouvrage pour une crue exceptionnelle ;</li> </ul> </li> <li>❑ une <b><u>analyse géotechnique</u></b> afin de caractériser les formations en présence et de définir la nature et le type de fondations ;</li> <li>❑ une <b><u>analyse de génie civil</u></b> afin de définir la structure de l'ouvrage.</li> </ul>	
	

**Franchissement des oueds : les radiers submersibles**

- ❑ Mise en place à l'aval immédiat du radier d'un dispositif anti-érosif : tapis de gabions ou d'enrochements (ou dispositif équivalent) ;
- ❑ Calage de la chaussée : en site affouillable, caler le radier impérativement au fond du lit ;
- ❑ Fondations des ouvrages :
  - Fonder les murettes jusqu'au niveau du sol inaffouillable lorsque celui-ci est à faible profondeur (2,5 à 3 m) du lit,
  - 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,
  - Lorsque la couche inaffouillable (substratum) se trouve à grande profondeur : réalisation des murettes avec des matériaux souples type gabions.

*Schéma type d'un radier submersible*

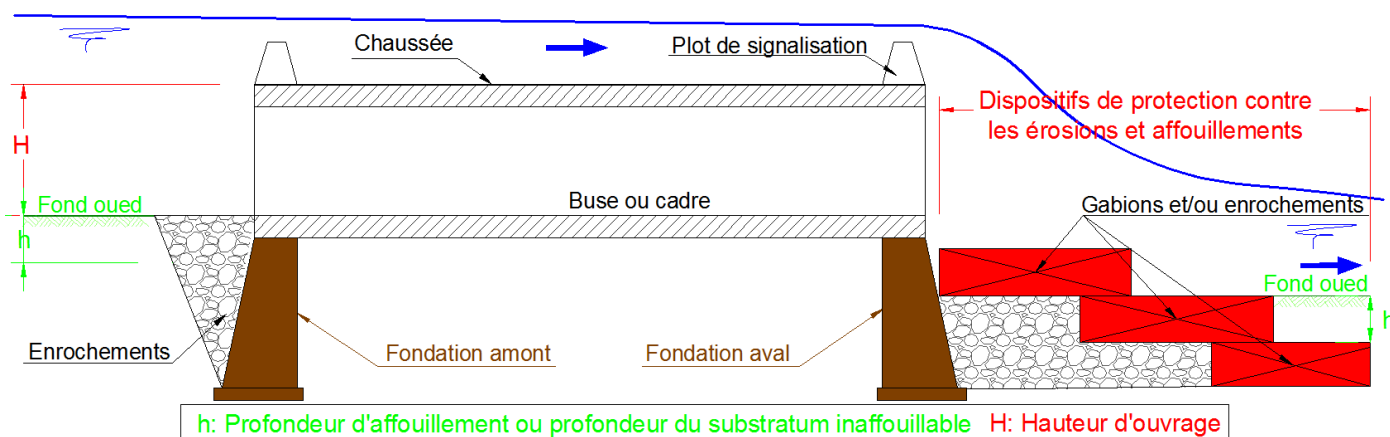


**Franchissement des oueds : les ponts submersibles****1 - Conception**

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.

**2 - Les recommandations (en site inaffouillable ou avec présence d'un substratum à faible profondeur)**

- 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 ;
- Mise en place à l'aval immédiat du radier d'un dispositif anti-érosif (tapis de gabions ou d'enrochements), renforcé au droit des passages d'eau sous le radier.

*Schéma type d'un pont submersible*

## Franchissement des oueds : les mesures pour la sécurité des usagers de la route au droit des radiers et ponts submersibles

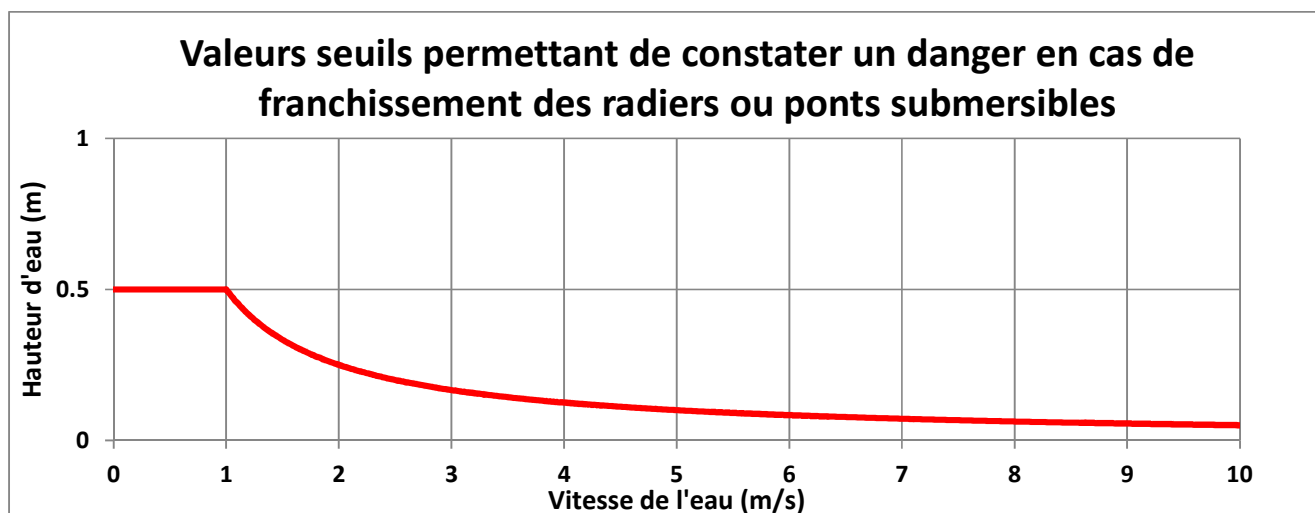
### 1 - Mise en place de balises latérales (plots équidistants le long de chaque bord de chaussée)

#### □ objectifs :

- permettre aux conducteurs de repérer les limites de la chaussée ;
- informer les conducteurs sur la possibilité ou non de franchir le radier lorsque celui-ci est légèrement submergée : franchissement possible lorsque la hauteur d'eau est < hauteur du plot.

#### □ Définition de la hauteur d'eau maximale pour le franchissement du radier :

- hauteur d'eau maxi (h) ≤ 0,5 m ;
- intensité de submersion maxi (hauteur de l'eau x vitesse de l'eau sur le radier) = 0,5 m<sup>2</sup>/s.



### 2 - Implantation de panneaux de signalisation de part et d'autre de l'ouvrage

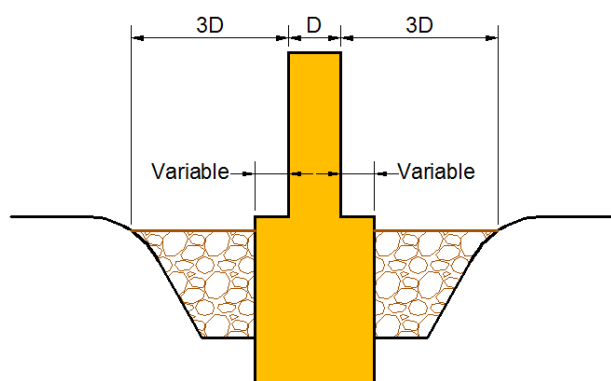
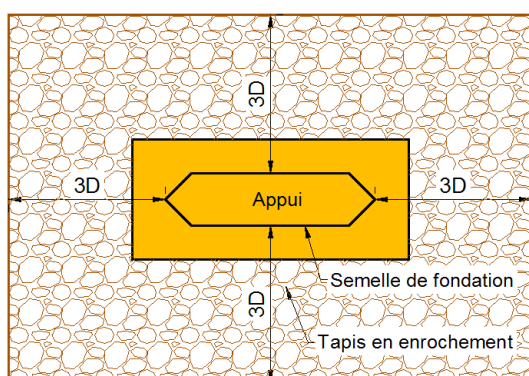
#### □ objectifs :

- alerter les usagers de la route de la dangerosité du franchissement en période pluvieuse,
- informer les usagers de la route sur la hauteur d'eau maximale sur le radier lors du franchissement.

## Franchissement des oueds : les ponts insubmersibles

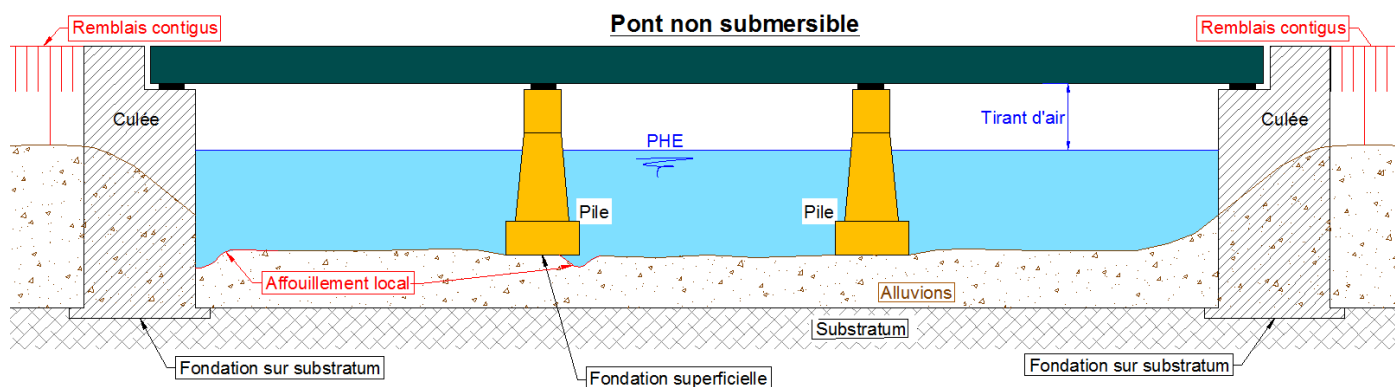
- ❑ Risque d'embâcles : prévoir le dégagement d'un tirant d'air minimum entre les PHE estimées de la crue de projet et la veine inférieure de l'intrados de l'ouvrage d'art, d'au moins 1 m, voire le double si l'analyse des débris végétaux susceptibles d'être mis en flottaison en amont montre que des arbres morts peuvent être entraînés dans le courant).
- ❑ Risque d'érosion et d'affouillements ;
  - au droit de l'ouvrage d'art : mise en place des dispositifs de protection des appuis (piles et culées), ainsi que des remblais techniques contigus ;

## Schémas types d'une protection d'une pile de pont



- au droit des remblais en lits majeurs : si nécessaire (vitesses > 1 m/s) prévoir des protections des remblais en zone inondable.

## Schéma type d'un pont insubmersible



Recommandations techniques pour la conception des ouvrages	N° fiche
Thématique : <b>hydraulique fluviale</b>	<b>HYDFLU-007</b>


## **Franchissement des oueds : l'entretien des ouvrages de franchissement**

### 1 – Les visites de surveillance

- **Objectifs :**
  - détecter en temps voulu les dégradations qui se sont produites ;
  - définition, le cas échéant, les travaux d'entretien et/ou les réparations à effectuer.
- **Typologie des visites :**
  - 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.

### 2 – Les principaux points à examiner lors des visites

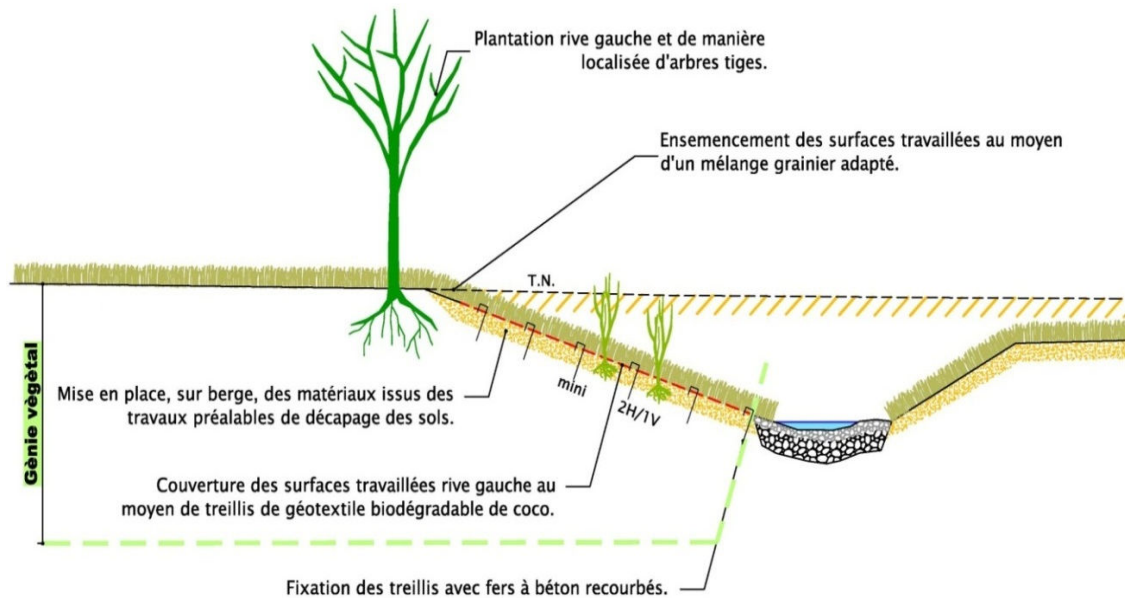
- L'état d'obstruction de l'ouvrage et du lit, et en particulier l'état d'encombrement des ouvrages et du lit par des dépôts d'alluvions et/ou des embâcles (branchages, troncs d'arbres, produits végétaux, .....) ;
- L'état des ouvrages de génie civil (aspect des surfaces) afin de détecter les fissures 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).

Recommandations techniques pour la conception des ouvrages	N° fiche
Thématique : <b>hydraulique fluviale</b>	<b>HYDFLU-008</b>
<b>Cas où la route longe un oued : les études préalables</b>	
<p>Les études préalables qui doivent être mises en œuvre pour concevoir les solutions de confortement adaptées doivent comporter les 3 composantes suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>□ une <u>étude de génie écologique</u> comprenant : <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ un diagnostic des causes de dégradation des berges du lit de l'oued ;</li> <li>➤ une analyse de la stabilité du lit et des berges afin d'établir un diagnostic sur l'évolution potentielle du lit à court et moyen terme.</li> </ul> </li>   <li>□ une <u>étude hydraulique et morphologique</u> comprenant : <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ une analyse de la dynamique fluviale : mobilité verticale et/ou en plan du lit,</li> <li>➤ la caractérisation des écoulements en crue : hauteurs d'eau et vitesses,</li> <li>➤ la caractérisation des phénomènes d'érosion et d'affouillements,</li> <li>➤ la définition des dispositions de protection : techniques minérales, végétales ou mixte.</li> </ul> </li>   <li>□ une <u>étude géotechnique</u> comprenant : <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ la caractérisation des formations géologiques au moyen si nécessaire d'une reconnaissance de sols (sondages) ;</li> <li>➤ la caractérisation du contexte hydrogéologique : présence d'arrivées d'eau ou non au niveau du remblai routier ;</li> <li>➤ la définition des caractéristiques des éventuels murs de protection et une vérification de la stabilité du remblai routier.</li> </ul> </li> </ul>	
	



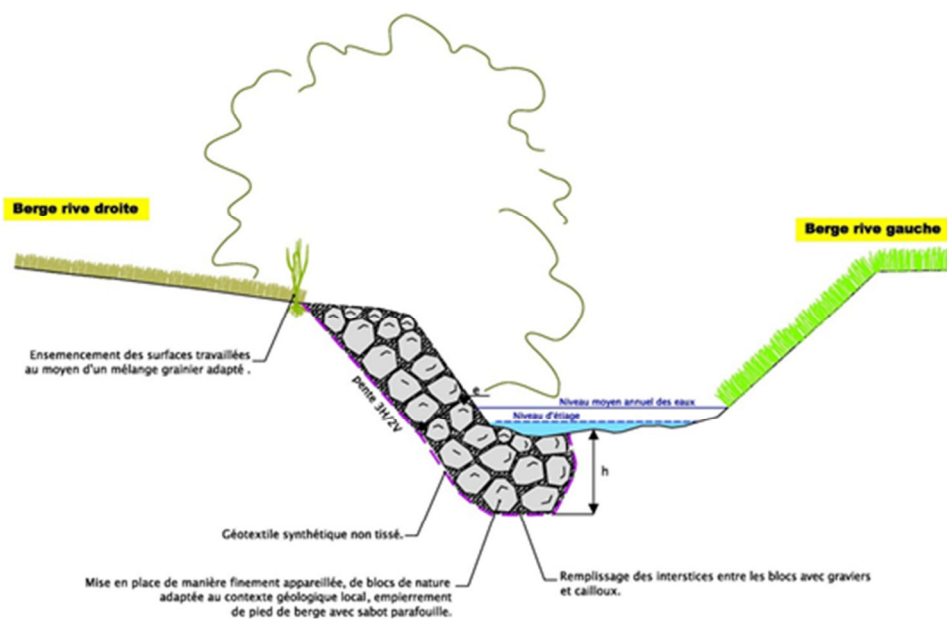
## Cas où la route longe un oued : les solutions techniques pour consolider les berges des oueds 1/2

### □ Protection par techniques végétales



*Protection de berge par des techniques de génie végétal – Coupe type*

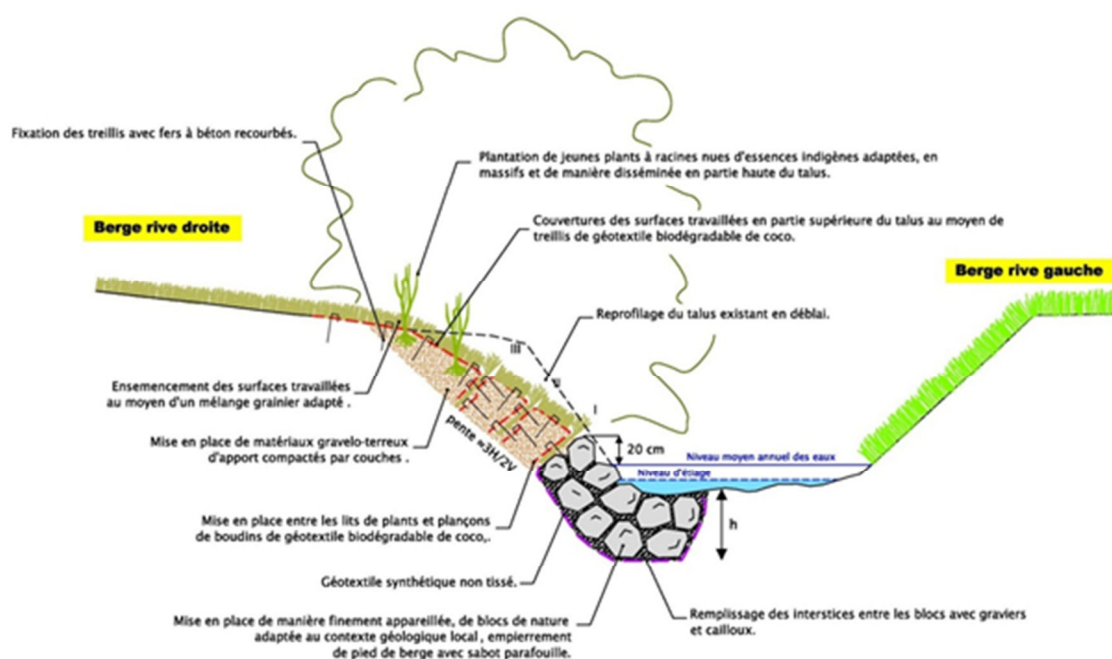
### □ Protection par techniques minérales : enrochements, gabions, palplanches, murs et soutènements divers



*Protection de berge par des techniques minérales (enrochements) – Coupe type*

## Cas où la route longe un oued : les solutions techniques pour consolider les berges des oueds 2/2

### □ Protection mixte : techniques végétales + techniques minérales



*Protection de berge par enrochements et génie végétal (protection mixte) – Coupe type*

**Le choix de la nature de la protection (génie végétal, enrochements, gabions, .....)** doit être défini en fonction des impératifs de sécurité et de pérennité de la route et des enjeux écologiques.

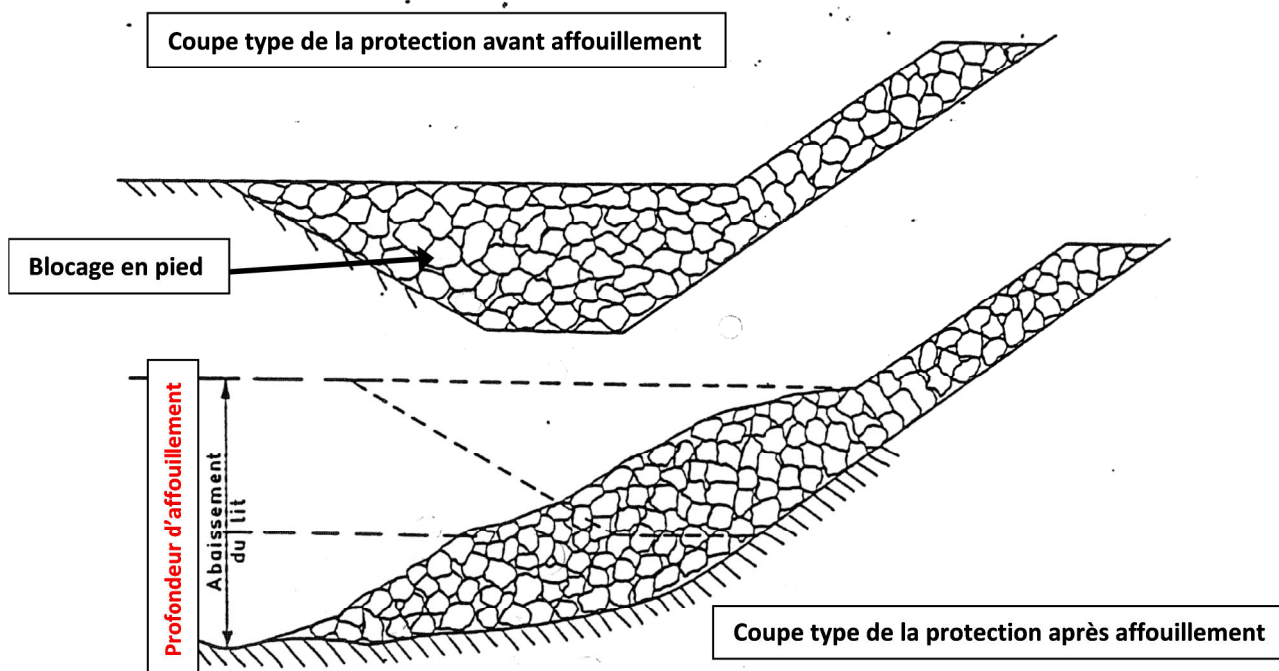
**Ainsi, au droit des points singuliers (piles, berges des lits à proximité des ouvrages hydrauliques et des pieds de remblai, coudes prononcés, .....)** et lorsque les vitesses maximales pour la crue de projet sont fortes ( $> 2$  m/s), il sera mis en place des protections minérales ou mixtes.

## Les protections des berges et des remblais par enrochements

### □ Les 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



#### 4.2.3. Assainissement routier

Le tableau ci-dessous présente la liste des fiches de recommandations pour la thématique assainissement routier, laquelle regroupe :

- ❑ le rétablissement des écoulements superficiels extérieurs à la plate-forme routière ;
- ❑ l'assainissement de la plate-forme routière ;
- ❑ l'entretien des réseaux d'assainissement.

Thématique	Titre de la fiche		N° fiche
Assainissement routier	Le rétablissement des écoulements superficiels extérieurs à la plate-forme routière	Conception des aménagements	ASS-001
		La protection des remblais	ASS-002
	L'assainissement de la plate-forme routière	La typologie des réseaux de collecte et d'évacuation : le synoptique d'implantation des réseaux	ASS-003
		La typologie des réseaux de collecte et d'évacuation : les recommandations	
	Les descentes d'eau : typologie et critères de choix		ASS-004
	L'entretien des réseaux d'assainissement		ASS-005

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 4.2.3 ci-avant (« Hydraulique fluviale – Cas de franchissement des oueds »).

Recommandations techniques pour la conception des ouvrages	N° fiche
Thématique : <b>assainissement routier</b>	<b>ASS-001</b>


## Le rétablissement des écoulements superficiels extérieurs à la plate-forme routière : conception des aménagements

- ❑ Constat : remplacement systématique des ouvrages existants insuffisants !
- ❑ Proposition d'une autre démarche

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

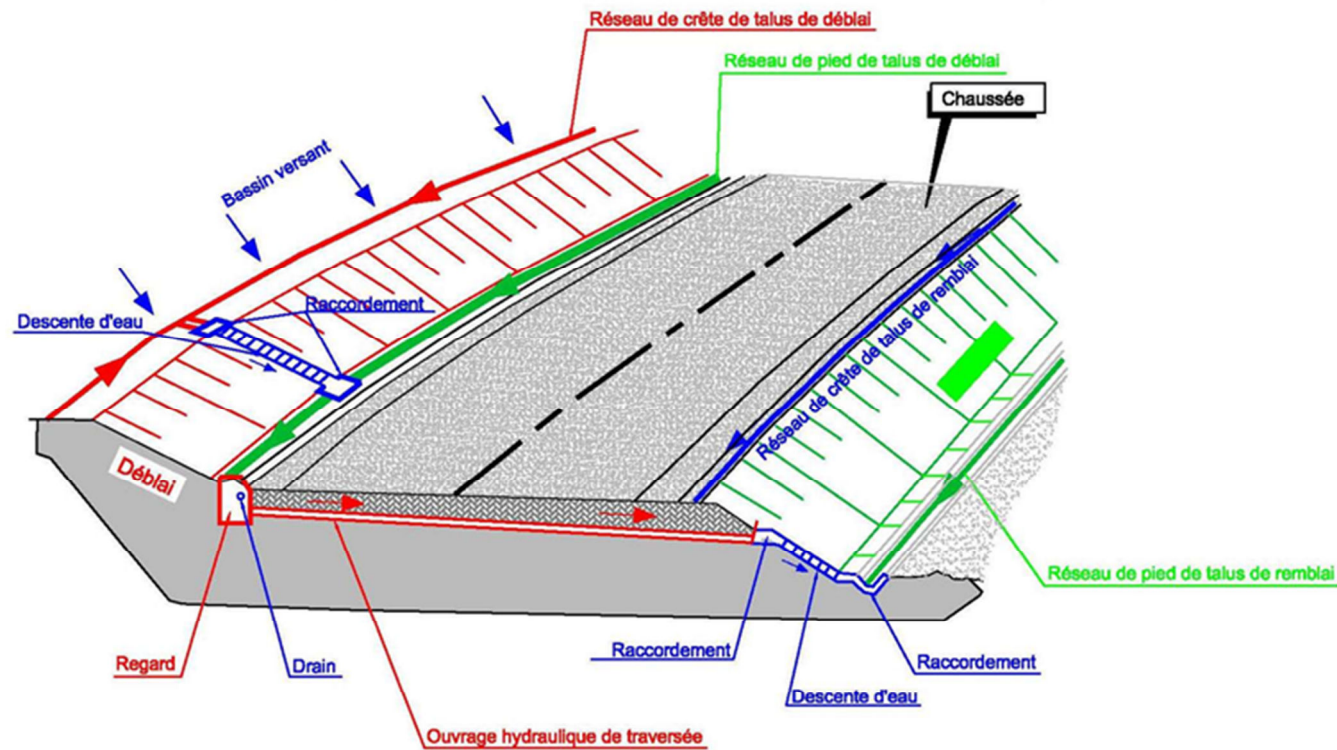
La démarche proposée	Actions proposées
Etape 1 : Vérification du fonctionnement hydraulique des ouvrages existants	Mise en œuvre d'études préalables : - définition des débits de crue - diagnostic du fonctionnement de l'ouvrage
Etape 2 : Choix du scénario d'aménagement	- Scénario n°1 : remplacement de 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  - 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
Etape 3 : Définition des dispositifs à mettre en œuvre	Etudes détaillées des aménagements



Recommandations techniques pour la conception des ouvrages	N° fiche
Thématique : <b>assainissement routier</b>	<b>ASS-002</b>
<b>Le rétablissement des écoulements superficiels extérieurs à la plate-forme routière : la protection des remblais</b>	
<u><b>1 – La protection des remblais contigus à l’ouvrage (amont et aval)</b></u>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>□ Mise en place d’un dispositif de protection des remblais contigus à l’ouvrage constitué : <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ soit par un ouvrage de tête ;</li> <li>➤ soit par un perré béton ou maçonné ;</li> <li>➤ soit par une protection minérale en gabions ou enrochements.</li> </ul> </li> <li>□ Mise en place côté amont, si nécessaire, d’un ouvrage d’entonnement ou amélioration de l’entonnement existant soit par la mise en place d’éléments béton préfabriqués, soit par la mise en œuvre de gabions.</li> <li>□ Côté aval, 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).</li> </ul>	
<u><b>2 – La protection du talus routier pour les cas de surverse sur la route</b></u>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>□ Mise en place de tapis anti-érosifs avec ou sans végétalisation : géofilets (ou géotextiles naturels) ou structures tridimensionnelles intégrant des fibres ou alvéolaires ;</li> <li>□ 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.</li> </ul>	
<p>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</p>	
	

La typologie des réseaux de collecte et d'évacuation : le synoptique d'implantation des réseaux 1/2

**Synoptique d'implantation des réseaux de collecte et d'évacuation des eaux pluviales**  
 Cas d'un profil mixte déblai / remblai



## La typologie des réseaux de collecte et d'évacuation : les recommandations 2/2

Volet	Typologie des réseaux de collecte et d'évacuation	Rôle des réseaux de collecte et d'évacuation	Les recommandations
Assainissement de la plate-forme routière	Réseaux de crête de talus de déblai	Eviter l'érosion du 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	Collecter et évacuer les eaux issues de la chaussée (superficielles et internes), de l'accotement et du talus de déblai	Mise en place systématique
	Réseaux de crête de talus de remblai	Eviter l'érosion du talus lorsque la chaussée est déversée vers l'extérieur de la plate-forme	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	- 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	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 *	Evacuer les eaux internes situées à l'intérieur de la structure de chaussée et de la plate-forme, ainsi que dans son environnement immédiat	Nécessité à définir en concertation avec les géotechniciens


\* principaux dispositifs de drainage

**Les descentes d'eau : typologie et critères de choix**□ **Tableau de critères de choix du type de descente 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*□ **Exemples de descentes d'eau :***Descente d'eau type cascade**Descente d'eau  
« grand débit »**Descente d'eau  
« petit débit »*



Recommandations techniques pour la conception des ouvrages	N° fiche
Thématique : <b>assainissement routier</b>	<b>ASS-005</b>
<b>L'entretien des réseaux d'assainissement</b>	
<p><b><u>1 – Les objectifs</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>❑ Maintenir en bon état de fonctionnement les ouvrages constituant le réseau ;</li> <li>❑ Créer et/ou modifier certains ouvrages pour les adapter aux nouvelles contraintes du site.</li> </ul> <p><b><u>2 – Les enjeux</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>❑ Assurer la sécurité des usagers de la route ;</li> <li>❑ Maintien des conditions de viabilité ;</li> <li>❑ Assurer la pérennité de l'infrastructure routière.</li> </ul> <p><b><u>3 – Typologie des opérations d'entretien</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>❑ L'entretien programmé ;</li> <li>❑ L'entretien curatif.</li> </ul> <p><b><u>4 – Typologie des visites d'entretien</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>❑ Les visites périodiques : ces visites doivent être effectuées au moins une fois chaque année d'une façon complète ;</li> <li>❑ Les visites occasionnelles après chaque crue importante.</li> </ul>	
<p><b>L'entretien est le garant du respect de ces enjeux. L'entretien pérennise l'investissement consenti lors de la conception.</b></p>	
	

## 4.2.4. Géotechnique

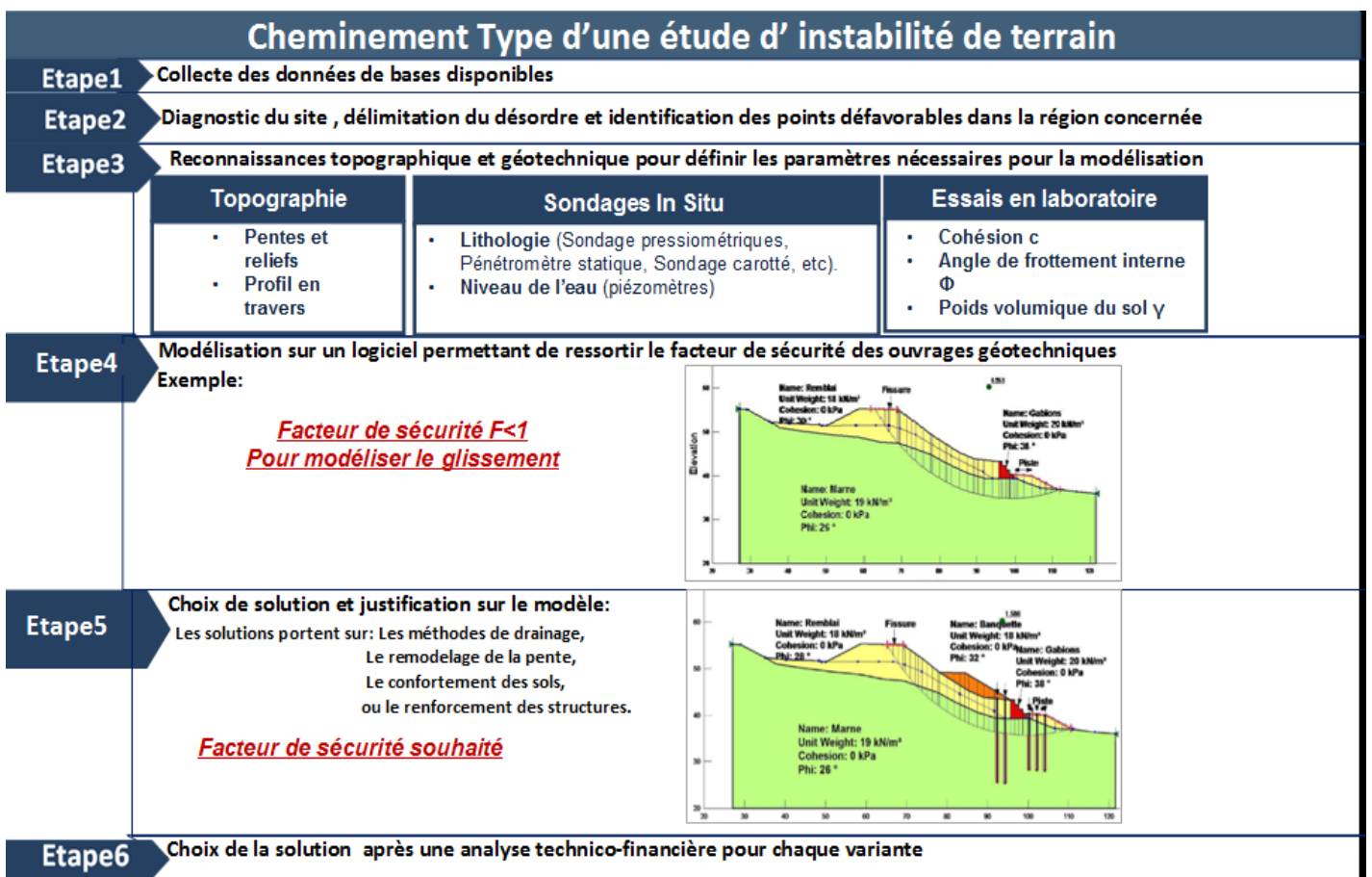
### 4.2.4.1. Etudes techniques

Les recommandations techniques suivantes sont préconisées :

- Lancement d'études approfondies pour 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.
- Déroulement de ces études particulières et approfondies suivant 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 ;
  - Implanter 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.
- Prise en compte du volet géotechnique dans les termes de références des études ou travaux ;
- 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 de l'étude directement par des entreprises, exiger la réalisation d'études techniques par l'entreprise ;
- 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 soit mal exécutée ou inadaptée au désordre à traiter ;
- Prévoir des durées convenables pour la réalisation des études approfondies nécessaires, qui seront variables suivant le degré de la problématique, 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.

4.2.4.2. Exemple de cheminement type d'une étude d'instabilité de terrain



#### 4.2.4.3. Impact d'une intervention d'urgence sans études techniques approfondies au préalable

##### Problématique :

- 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 ;
- Remblai affecté de 10 à 15 m de hauteur sur un linéaire de 100 m, dans un contexte topographique accidenté, avec des venues d'eau plus un sol sensible à l'eau ;
- Présence de 2 cercles de glissement circulaires ;

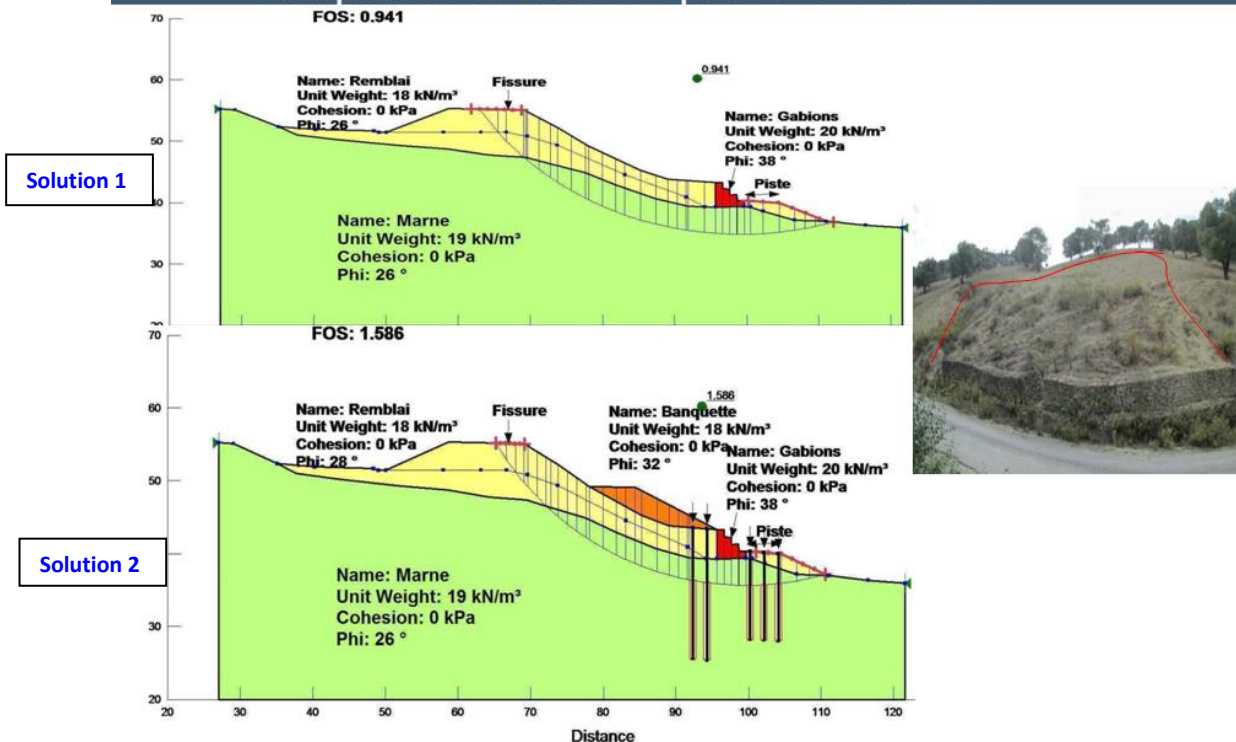
##### Solution 1 : Intervention d'urgence

- Sans études au préalable ;
- Solution de mise en place de séries de gabions en pied du remblai sur un linéaire de 100 m ;
- Coût de cette intervention : 1 MDH.

##### Solution 2 : confortement définitif qui a été proposé à posteriori

- Etudes approfondies, basées sur des données géotechniques et essais de laboratoire ;
- Les travaux ont consisté à mettre en place des micro-pieux (un système de clouage) constitués par des forages  $\Phi 200$  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 ;
- Coût de cette intervention : 5 MDH (sans coût des études et des essais).

#### Exemple d'un confortement superficiel non suffisant





#### 4.2.4.4. Solutions techniques

Dans ce chapitre sont présentées les fiches de recommandations pour la thématique géotechnique, laquelle regroupe :

- ❑ Le confortement des glissements ;
- ❑ les instabilités rocheuses.

# Définition des priorités des solutions techniques

Thématique : **géotechnique**

N° fiche

GEOTECH-001

## Solution de confortement des glissements

1 - Drainage		2 - Modification géométrique		3 - Introduction d'éléments résistants en pied de talus	
Objectif :	Principe :	Objectif :	Principe :	Objectif :	Principe :
récolter les eaux et de les évacuer.	diminuer la pression interstitielle dans le sol et par conséquent éviter la diminution de sa portance mécanique	atténuer les problèmes liés à un déséquilibre topographique combiné à une qualité de sol médiocre	apporter une modification géométrique soit par allègement en tête, reprofilage ou retalutage, purge, substitution totale ou partielle, ou par ajout d'une butée en pied	mettre en place un soutènement de la masse glissante	introduire des éléments résistants au glissement soit par soutènement (murs, armatures, nappes géotextiles ou renforcement de sol), tirants d'ancrage, clouage, ou pieux et barrettes
Schémas types ou exemple de solution :		Schémas types ou exemple de solution :		Schémas types ou exemple de solution :	
<p>Coupe type d'une tranchée drainante</p>		<p>Reprofilage</p>		<p>Schéma d'un mur de soutènement en gabions au droit d'un cours d'eau</p>	

# Définition des priorités des solutions techniques

## Thématique : géotechnique

N° fiche  
GEOTECH-002

### Solution de confortement des instabilités rocheuses

#### 1 - Constat

Les solutions généralement utilisées ne sont pas aussi nombreuses que celles préconisées pour le confortement des glissements de terrain.

#### 2 - Solutions à envisager

**Clouage** : après dégagement des masses instables, on réalise un clouage perpendiculaire au pendage (longueur de clous 4 m) + grillage

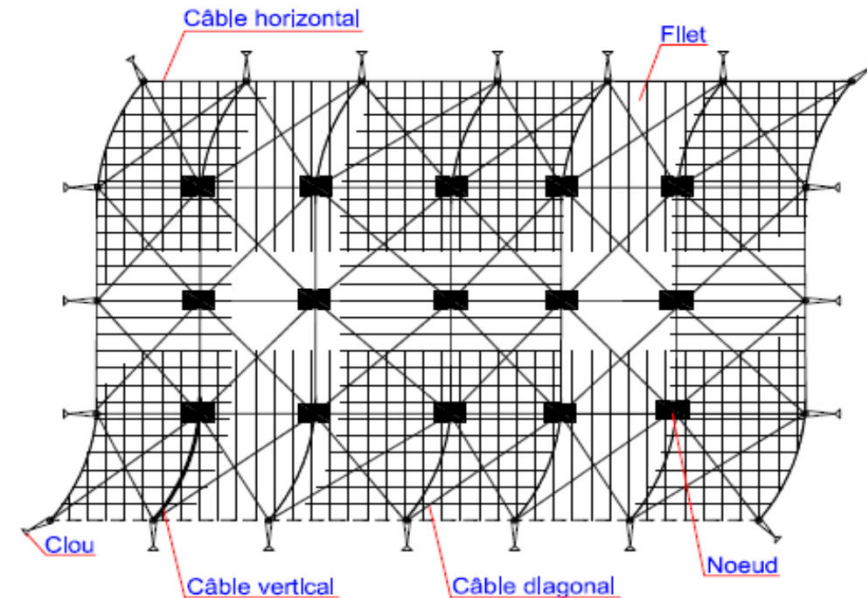
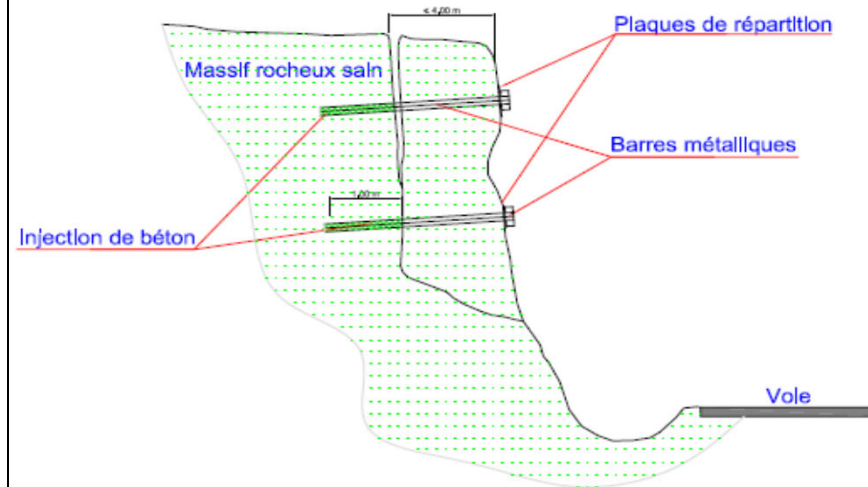
**Grillage** : lorsque les zones instables sont plus étendues l'utilisation d'un grillage comportant des câbles verticaux, horizontaux et/ou diagonaux peut être une solution intéressante pour retenir les blocs de pierre instables

Schéma

Schéma

Principe de clouage

Filets et clous avec câbles verticaux, longitudinaux et diagonaux



## 4.2.5. Les chaussées

### 4.2.5.1. Principes de base

Il est recommandé de prendre en compte les aspects techniques suivants :

- Dimensionner la chaussée 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;
- Mettre en place un réseau d'assainissement et de drainage approprié pour :
  - 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.

### 4.2.5.2. Solutions de base

Dans ce chapitre sont présentées les fiches de recommandation pour la thématique de structure des chaussées.

## Définition des priorités des solutions techniques

Thématique : **chaussée**

N° fiche

CHAUSS-001

### Solution aux problèmes de dégradations de chaussées

#### 1 - Constat

Il est important au préalable de préciser si les dégradations sont causées par un défaut de chaussées ou induites par des désordres géotechniques ou de drainage.

#### 2 - Solutions :

a. Reprofilage	Schéma	b. Purge	Schéma
<p><u>Principe :</u></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Retrouver un profil correct pour permettre l'évacuation des eaux</li><li>- Principalement pour les routes en BB</li><li>- La pente de chaussée après travaux doit être de l'ordre de 2 à 3 cm par mètre.</li></ul>		<p><u>Principe :</u></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Redonner une portance uniforme à la chaussée en cas de dégradation partielle en évitant de créer un piège à eau</li><li>- Opération chère et délicate à réaliser avec soin</li></ul>	
c. Bouchage des trous	Schéma	d. Imperméabilisation	Schéma
<p><u>Principe :</u></p> <p>Rendre à la chaussée son état initial d'urgence</p>		<p><u>Principe :</u></p> <p>Répondre du liant et des gravillons avec compactage</p>	






## Définition des priorités des solutions techniques

Thématique : **chaussée**

N° fiche

CHAUSS-002

### Recommandations sur les accotements

<b>1 - Ruissellements le long des accotements</b>		<b>2 - Fortes déclivités ou présence d'un cours d'eau</b>		<b>3 - Stabilisation des accotements</b>	
Objectif :	recomandation :	Objectif :	recomandation :	Objectif :	recomandation :
<p>Dans le cadre d'un entretien régulier : améliorer l'écoulement des eaux et l'assainissement</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maintenir le bon fonctionnement des fossés par curage et entretien régulier.</li> <li>- Dérasement avec remise en état du réseau d'assainissement, et creusement de saignées si nécessaire</li> </ul>	<p>Protéger les assises des accotements et les maintenir en place en cas de forte déclivité et/ou en présence d'un cours d'eau en pied de remblai</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Protéger les berges par des enrochements ou par d'autres systèmes de soutènement (si nécessaire bétonner également les accotements)</li> <li>- Mettre en place des lits de géotextiles intercalés entre les couches du remblai</li> </ul>	<p>Maintenir la chaussée en place, en assurant un drainage meilleur des eaux internes</p>	<p>Mettre en place des matériaux appropriés : généralement plus perméables que la terre végétale (exemple de granularité (0/20, 0/31, 5)) avec un bon réglage et compactage ainsi qu'une imperméabilisation contrôlée de la surface</p>
<b>exemple photographique :</b>		<b>exemple photographique :</b>		<b>exemple photographique :</b>	
					

## 4.2.6. Génie végétal

### 4.2.6.1. Constats

Ce sont des techniques utilisées principalement comme protection superficielle des talus de remblais ou déblais contre l'érosion pluviale. Leur bon fonctionnement nécessite au préalable de résoudre les problèmes liés aux glissements éventuels et/ou drainage et assainissement.

Ce sont des techniques qui ne sont pas très utilisées, le seul retour d'expérience disponible est celui des Autoroutes du Maroc dont les principales orientations sont comme suit.

### 4.2.6.2. Principales techniques

- 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 ;
- 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 ;
- 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 ;
- 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 aussi 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.

### 4.2.6.3. Paramètres pour le choix des méthodes

- L'état initial de dégradation du talus reflétant l'urgence de l'intervention ;
- Les conditions pédologiques et climatiques du site ;
- Le contexte paysager où se situe le talus ;
- L'exposition et la nature physique du talus ;
- Les coûts à engager.

La liste des plantations à recommander 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.

#### 4.2.6.4. Recommandations proposées

- 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 *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.

#### 4.2.7. Choix des matériaux

##### 4.2.7.1. Principes de base

Les recommandations techniques suivantes sont préconisées :

- Visites de terrain afin d'apprécier le contexte général de la route ;
- Réalisation de sondages géotechniques pour disposer d'échantillons des sols qui feront l'objet d'essais de laboratoire ;
- Réalisation d'essais de laboratoires pour identifier la classe du sol sur la base de :
  - la forme de la courbe granulométrique ;
  - le pourcentage d'éléments gros et fins (< 80 µm) ;
  - les limites de liquidité  $w_l$  et de plasticité  $w_p$  ainsi que l'indice  $I_p$ , avec :  $I_p = w_l - w_p$ .
- Apprécier la sensibilité du sol et des matériaux le constituant aux facteurs climatiques sur la base des guides techniques LCPC-SETRA, et de la classe du sol déduite des essais de laboratoire ;
- Pour le cas des matériaux en remblai ou en couche de forme, prendre en compte 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 place.

##### 4.2.7.2. Matériaux vis-à-vis des facteurs climatiques

- 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.