

# Gestion de la Rareté de l'Eau en Milieu Urbain au Maroc

Annexes à la Sections 5

NOVEMBRE 2017

## **Avertissement**

© 2017 Banque internationale pour la reconstruction et le développement/Banque mondiale  
1818 H Street NW, Washington, DC 20433

Téléphone : 202-473-1000 ; Site web : [www.worldbank.org](http://www.worldbank.org)

Le présent document a été produit par le personnel de la Banque mondiale avec des concours externes. Les constats, interprétations et conclusions qui y sont exprimés ne reflètent pas nécessairement les opinions de la Banque mondiale, du Conseil des Administrateurs de la Banque mondiale ou des pays que ceux-ci représentent.

La Banque mondiale ne garantit pas l'exactitude des données présentées dans cet ouvrage. Les frontières, les couleurs, les dénominations et toute autre information figurant sur les cartes du présent ouvrage n'impliquent de la part de la Banque mondiale aucun jugement quant au statut juridique d'un territoire quelconque et ne signifient nullement que l'institution reconnaît ou accepte ces frontières.

## **Droits et licences**

Le contenu de cette publication fait l'objet d'un dépôt légal. La Banque mondiale encourageant la diffusion des connaissances, la reproduction de cette publication est autorisée, en tout ou en partie, à des fins non commerciales, sous réserve d'indication de la référence.

Le présent ouvrage doit être cité de la manière suivante : Dahan Stephane. 2017. Gestion de la Rareté de l'Eau en Milieu Urbain au Maroc. Banque mondiale, Washington, DC.

Toute question relative aux droits et licences, y compris les droits subsidiaires, est à adresser au Bureau des publications de la Banque mondiale : The World Bank Group, 1818 H Street NW, Washington, DC 20433, États-Unis d'Amérique ; télécopie : 202-522-2625 ; courriel : [pubrights@worldbank.org](mailto:pubrights@worldbank.org).

Maquette de couverture : Jean Franz, Franz & Company, Inc.

## TABLE DES MATIERES

---

ANNEXE VI - Cadre institutionnel de la gestion des eaux dans le bassin du Tensift et la zone de Marrakech .....	4
ANNEXE VII - Ressources en eau à l'échelle du bassin versant : situation actuelle et projections.....	10
ANNEXE VIII - Ressources en eau actuelles pour la ville de Marrakech .....	27
ANNEXE IX - Demande en eau pour le Grand Marrakech.....	47
ANNEXE X - Demande en eau et système d'approvisionnement en eau de la ville de Marrakech ....	53
ANNEXE XI - Solutions techniques pour sécuriser l'alimentation du Grand Marrakech .....	64
ANNEXE XII - Analyse financière et multi-critères des options .....	124
ANNEXE XIII - Références .....	133

## ANNEXE VI - Cadre institutionnel de la gestion des eaux dans le bassin du Tensift et la zone de Marrakech

### 1. Gestion des ressources en eau et des utilisations concurrentes au niveau du bassin de Tensift

La ville de Marrakech est située dans le bassin du fleuve Tensift. L'Agence de Bassin Hydraulique du Tensift (ABHT) a été créée en 2002. La délimitation géographique de la zone d'action de l'ABHT est faite à l'échelle du bassin versant, et non au sens administratif. De ce fait, l'élaboration et la révision du PDAIRE ainsi que la gestion des ressources et besoins hydriques implique typiquement plusieurs régions, provinces, préfectures, villes et communes ainsi que les représentants des associations d'usagers d'eau et des associations professionnelles. Il est à noter que dans le nouveau découpage administratif du Maroc, qui a été réalisé en 2015 dans le cadre de la régionalisation avancée, le territoire de l'ABHT relève à présent d'une seule région administrative, celle de Marrakech-Safi alors qu'auparavant ce territoire relevait des deux régions administratives « Marrakech-Tensift Al Haouz » et « Doukkala-Abda » avec les provinces Safi et Youssoufia. Cette nouvelle configuration territoriale implique la participation d'un seul acteur à l'échelle régionale lors des réunions de concertation préalables à l'établissement du PDAIRE ou de sa révision, réduisant ainsi le nombre de représentants territoriaux dans la gestion des ressources d'eau sur le plan institutionnel et politique. Il est à signaler que la région, ainsi que les préfectures et provinces, sont aussi représentées au niveau du conseil d'administration de l'ABHT par décret du 24 janvier 2005, article 3. Cependant, cette composition n'inclut pas des représentants des provinces de Safi, Youssoufia, Rhamna et El Kelaa des Sraghna, qui font aussi parties, intégralement ou partiellement, du territoire de l'ABHT.

Le Ministère chargé de l'eau a établi le PDAIRE du bassin hydraulique de Tensift. Ce plan trace les lignes stratégiques de la gestion et de planification des ressources hydriques ainsi que les objectifs et actions nécessaires à un développement durable dans le bassin jusqu'à l'horizon 2030. Cependant, compte tenu des mises à jour des études hydrologiques, des orientations de la Stratégie nationale du secteur de l'eau, et de l'évolution plus rapide de la demande en eau de la ville de Marrakech, qui représente à elle seule 80% de la demande en eau urbaine du bassin, le PDAIRE de Tensift a été actualisé par l'ABHT en 2010 selon le schéma de la figure ci-dessous.

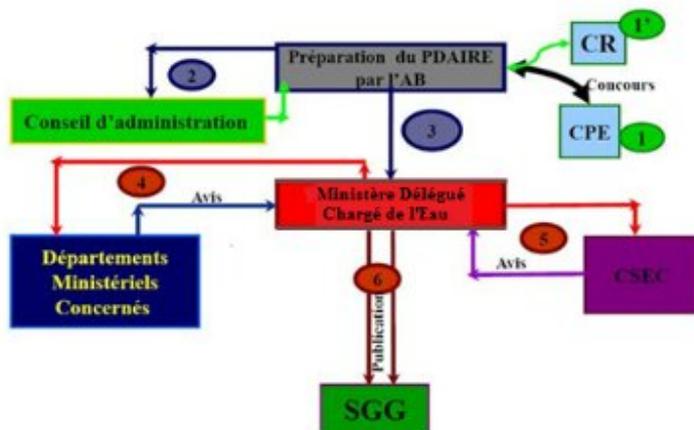


Figure VI-1: Les niveaux de concertation pour l'élaboration et la révision du PDAIRE (selon le Décret n° 2-05-1534 du 24 novembre 2005 en vigueur en 2010)

Il est à noter que dans la nouvelle Loi sur l'eau 36-15, le PDAIRE est élaboré par l'ABH, en coordination avec les départements ministériels, les établissements publics concernés et le comité technique du nouveau Conseil de Bassin Hydraulique. La concertation avec la Commission Préfectorale de l'Eau (CPE) et le Conseil Supérieure de l'Eau et du Climat (CSEC) n'est plus instituée. Le PDAIRE est ensuite soumis au

conseil du bassin pour examen et avis, puis au conseil d'administration de l'ABH qui adopte le plan et l'envoie au Secrétariat Général du Gouvernement (SGG) pour la publication dans le bulletin officiel. La nouvelle loi a ainsi limité le rôle de la CPE à la participation à la gestion de l'eau lors des pénuries, la prévention des inondations et la sensibilisation à la protection de la ressource. Le CSEC apporte son concours lors de l'établissement du plan national de l'eau et non plus au PDAIRE à l'échelle régionale. Les textes réglementaires relatifs aux nouvelles modalités d'élaboration et de révision des PDAIRES, de la composition du CPE et son fonctionnement, la composition du Conseil d'Administration de l'ABH, et la celle du conseil de l'ABH ne sont pas encore actualisés ou sortis.

La Commission Préfectorale de l'Eau (CPE) est un organe de gouvernance chargée de contribuer à l'établissement du PDAIRE, d'accompagner l'action des communes en matière d'économie d'eau et de protection des ressources en eau, ainsi que les actions de sensibilisation du public. Elle est composée d'une multitude de représentants de diverses institutions. C'est le gouverneur, qui préside la commission qui tient ses réunions une fois par trimestre. Afin de garantir une gestion intégrée plus efficace, il est nécessaire de repenser le CPE à une échelle intercommunale ou régionale plutôt qu'une échelle préfectorale ou provinciale strictement confinée dans les limites administratives. Les nouvelles prérogatives de cette commission selon la loi 36-15, consistent à la gestion de l'eau lors des pénuries, la prévention des inondations et la sensibilisation à la protection des ressources hydrauliques.

L'ABHT est chargée de la prévention des effets des phénomènes climatiques extrêmes notamment les inondations et les sécheresses. Le PDAIRE comprend un programme de gestion de la sécheresse précisant les mesures d'arbitrage pour satisfaire les demandes minimales. Conformément à la loi de l'eau 36-15, un plan de gestion de la pénurie d'eau en cas de sécheresse est établi par l'ABHT en concertation avec l'administration, l'ONEE, les collectivités territoriales et les conseils préfectoraux et provinciaux concernées. Les modalités d'établissement et de révision de ce plan n'ont pas encore été fixées par la réglementation. Cependant l'ABHT a mis en place un système de suivi des situations hydriques à travers des indicateurs hydro-climatiques. Concernant les inondations, l'ABHT établit un atlas des zones inondables. Pour les zones à risque moyen ou élevé, l'agence établit un plan de prévention des risques d'inondation en coordination avec les établissements publics, les collectivités territoriales et les commissions préfectorales et provinciales concernés. La déclaration de l'état de pénurie est faite par l'administration chargée de l'eau. Le gouverneur (Wali) joue un rôle important dans la gestion des situations de crise due à la pénurie d'eau ou aux inondations. Le gouverneur crée une Cellule de Prévention et de Gestion des Risques (CPGR) qui s'occupe également de la mise en place de plans d'urgence déclenché en cas de crises majeurs.

## **2. Gestion des ressources en eau et des utilisations concurrentes au niveau de Marrakech**

Au niveau de la ville de Marrakech, la gestion du service eau potable, assainissement et traitement des eaux usées relève de la commune de Marrakech. Les décisions relatives à cette gestion sont prises à l'échelle du conseil communal dont les membres sont des élus. L'administration communale dispose d'un service appelée 'RADEEMA et ONE', chargé d'assurer la coordination entre la commune et la Régie Autonome de Distribution d'Eau et d'Électricité de Marrakech (RADEEMA).

La RADEEMA est un établissement communal à caractère commercial sous tutelle du Ministère de l'intérieur, qui a été créé par le conseil communal de la ville de Marrakech en 1971, pour prendre en charge les services de distribution d'eau et d'électricité dans la ville. Ce n'est qu'en 1998 que la régie a pris en charge le service d'assainissement de la ville, puis l'épuration des eaux usées et leur réutilisation. La RADEEMA a été sollicitée par d'autres communes limitrophes pour prendre en charge le service de l'eau et d'assainissement.

La RADEEMA a connu des difficultés budgétaires chroniques, qui ont atteint leur apogée en 2005. C'est à ce moment que le Ministère de l'intérieur a enclenché un plan d'action déclenchant des investissements de MAD 2.6 milliards entre 2006 et 2010 pour la mise à niveau de l'infrastructure et des services. Aujourd'hui, la RADEEMA est reconnue comme la régie la plus performante au niveau national. En revanche, les tarifs sont parmi les plus élevés, particulièrement pour l'assainissement des eaux usées.

Au niveau de la gestion intégrée de l'eau urbaine, l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Haouz (ORMVAH) est concerné par la réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles ainsi que l'économie d'eau dans le cadre du Plan Maroc vert afin d'alléger la pression sur les ressources en eau servant à l'AEP de la ville.

L'Agence Urbaine de Marrakech (AUM) représente le service déconcentré de l'état en matière d'urbanisme. L'AUM est chargée d'élaborer le Schéma Directeur d'Aménagement Urbain de Marrakech (SDAU) qui trace les projections spatiales et stratégiques des options d'aménagement et du développement urbain, y inclus la lutte contre les inondations. Le Conseil de la commune est finalement responsable de l'exécution des aménagements et des ouvrages hydrauliques destinés à la maîtrise des eaux pluviales et à la protection contre les inondations.

### **3. La configuration institutionnelle qui régit l'allocation de l'eau**

A travers le PDAIRE, l'ABHT est la principale institution qui gère l'allocation des ressources en eau et leurs affectations selon les différents types d'usages (eau potable et industrielle, irrigation, production énergétique) tout en évitant les conflits et en s'inscrivant dans une démarche participative et concertée conformément à la Loi sur l'eau n° 36-15. Dans la gestion actuelle des ressources en eau, en particulier des ouvrages aux buts multiples, la priorité dans l'allocation des eaux est accordée à l'alimentation en eau potable suivie par l'irrigation. La concertation avec les acteurs au niveau de l'élaboration et la révision du PDAIRE, telle que défini par le Décret n° 2-05-1534 du 24 novembre 2005, permet à l'ABHT de prendre en considération les besoins en eau des différents secteurs. Les représentants régionaux ou provinciaux de l'administration et des établissements publics intervenant dans le domaine de l'eau participent à l'élaboration et la révision du PDAIRE et défendent leurs besoins dans les réunions de concertation. Ce procédé participatif devrait assurer la prise en compte des objectifs et orientations des différents plans sectoriels. Il n'a cependant pas pu empêcher la ville de Marrakech de se développer au détriment des terrains agricoles et de mettre en place des projets dont la consommation d'eau affecte considérablement l'équilibre hydrique de la région déjà fragilisée par le changement climatique. Une concertation plus étroite devra donc être instituée et il semble primordial que la région s'implique d'une manière plus soutenue et effective dans la gestion et la répartition du capital hydraulique en étroite collaboration avec l'ABHT, l'ONEE et la RADEEMA. La région en collaboration avec les autorités gouvernementales doit ainsi veiller à la mise en place d'un mode de gestion plus économe des ressources hydriques et garantir le respect stricto-sensu des allocations d'eau et des dispositions prévues pour la rationalisation des ressources hydrauliques. Le suivi et la mise en vigueur des stratégies et du cadre réglementaire doivent être renforcés, par exemple par la mise en place des contrats de nappe et par l'instauration d'une police de l'eau.

### **4. Plan d'action générale propose par la PNE (2015)**

Le PNE (2015) ordonne que i) l'économie et la valorisation de l'eau en irrigation, ii) une gestion plus efficiente des réseaux de distribution et iii) un usage économe de l'eau potable, touristique et industrielle, iv) l'optimisation des utilisations multiples de ressources en eau et v) la prise en considération du facteur disponibilité de l'eau dans la conception et l'implantation des projets, doivent représenter les axes prioritaires de la politique de l'eau dans les années à venir. Le plan national d'actions relatif à la gestion

de la demande en eau (GDE) potable, industrielle et touristique (AEPI) porte essentiellement sur la maîtrise de la demande en eau, la réduction des pertes d'eau et l'amélioration de l'efficacité. Elles comprennent l'ensemble des mesures visant à accroître les efficacités techniques, sociales et économiques dans les différents usages de l'eau. Le plan d'actions prévoit :

L'amélioration des rendements des réseaux de distribution d'eau potable pour atteindre près de 80% en moyenne nationale en 2025, par la réalisation des travaux de réhabilitation des réseaux de distribution, l'amélioration du comptage, l'entretien et la maintenance des réseaux, les travaux de sectorisation et de restructuration, la recherche et la réparation des fuites.

La généralisation de l'accès à l'eau potable en milieu rural ; l'ONEE prévoit d'atteindre un taux d'accès à l'eau potable en milieu rural de 96% à l'horizon 2016 ;

L'accélération de la mise en œuvre du programme de mise à niveau environnementale pour le secteur touristique, incluant la mise en place de meilleures pratiques de consommation d'eau ; ce programme inclut la réutilisation des eaux usées pour l'arrosage des golfs et des espaces verts, l'introduction de bonnes pratiques environnementales à travers des projets pilotes de bonne gestion hôtelière, et l'installation d'économiseurs d'eau, l'arrosage en goutte-à-goutte, l'optimisation de l'usage des lave-linge, etc.

Le renforcement des capacités de la police de l'eau en mettant à sa disposition les moyens humains et matériels nécessaires et en lui assurant l'appui des autorités administratives et judiciaires pour le contrôle des déversements des eaux usées industrielles.

La PNE (2015) indique également que la mise en œuvre du plan d'action relatif à la GDE de l'AEPI requiert des mesures d'accompagnement qui portent essentiellement sur :

L'introduction, dans la législation de l'eau, des dispositions permettant de conditionner l'octroi des autorisations aux nouveaux projets par l'adoption des meilleures pratiques de consommation d'eau, notamment l'optimisation des circuits d'eau, la maximisation des recyclages internes d'eau etc. ;

L'octroi des aides et des prêts bonifiés pour aider les unités touristiques et industrielles à généraliser les meilleures pratiques et réduire leurs consommations en eau ;

La révision du système tarifaire pour le rendre incitatif à la réduction de la consommation d'eau et pour un meilleur recouvrement des coûts ;

La promotion des systèmes d'audit de consommation d'eau et d'octroi de label « économie d'eau » ;

La normalisation et l'incitation au recours aux technologies appropriées d'économie d'eau et leurs mises sur le marché à des prix compétitifs moyennant des subventions à la production ;

Le développement de standard d'efficacité pour chaque type d'équipement et de normes de construction qui devront être obligatoires pour toute nouvelle construction ou rénovation ;

La généralisation de l'arrosage des golfs et des espaces verts par les eaux usées épurées ;

L'introduction de pratiques de conservation de l'eau moyennant l'éducation, la sensibilisation et la vulgarisation.

## **5. Actions pour améliorer le cadre institutionnel et réglementaire de la GIEU de Marrakech**

D'après la Charte Communale<sup>1</sup> de 1976, modifiée en 2002 puis en 2008, les services publics comme l'eau, l'assainissement et l'électricité sont de la compétence des communes. C'est le conseil municipal qui décide du mode de gestion de l'eau aussi bien pour l'approvisionnement en eau potable que pour l'assainissement. Le commun est aussi le maître d'ouvrage pour toutes les infrastructures hydrauliques urbaines y compris pour la maîtrise des eaux pluviales et la protection contre les inondations. Comme mentionné plus haut, la commune est aussi responsable de la protection de la qualité des eaux,

---

<sup>1</sup> [http://gis.nacse.org/rewab/docs/Communal\\_Charter\\_No\\_78\\_Fr.pdf](http://gis.nacse.org/rewab/docs/Communal_Charter_No_78_Fr.pdf)

notamment l'eau potable, de l'évacuation et du traitement des eaux usées et pluviales [...] et la lutte contre toutes les formes de pollution (Article 40 de la Charte communale).

La commune de Marrakech reçoit des orientations et exécute les plans et politiques définies par la Commission provinciale de l'eau qui constitue un lien avec l'ABH et l'ONEE (eau) dont dépend l'approvisionnement de la ville en eau. La municipalité dispose de l'assistance d'un comité de vigilance de l'eau établi par arrêté préfectoral pour faire face aux situations de manque d'eau et alerte sur les gaspillages éventuels. Enfin, ce dispositif inclut aussi l'Agence Urbaine de Marrakech qui assiste la municipalité dans la planification urbaine et la définition des investissements en infrastructures hydrauliques nécessaires.

Dans ce dispositif, et sur le territoire de la Commune de Marrakech, c'est le Régie Autonome de Distribution d'Eau et d'Electricité (RADEEMA) qui a la mission de distribuer l'eau potable aux populations de la ville. Il faut noter que RADEEMA intervient aussi dans l'approvisionnement de quelques communes limitrophes à la ville de Marrakech, même si cela ne découle pas fondamentalement de son mandat légal tel qu'il découle de ses statuts. RADEEMA est un établissement public relevant de la municipalité créé en 1971 en vertu du Décret n° 2-64-394 du 29 Septembre 1964 relatif aux Régies communales. Comme tous les opérateurs du secteur de l'eau urbaine, RADEEMA est sous la supervision du Ministère de l'intérieur. L'ONEE est le fournisseur d'eau et de services pour la réalisation des infrastructures de stockage, distribution et traitement de l'eau. La RADEEMA est en charge des investissements pour renforcer et étendre les réseaux d'approvisionnement en eau et d'améliorer leurs performances, y compris à travers le contrôle de la consommation par l'installation de compteurs, et la généralisation de l'accès à l'information par la mise en place d'un système d'information géographique commun aux réseaux d'eau et d'assainissement, ainsi que l'amélioration de la communication avec toutes les parties prenantes. Pour sa gestion courante, depuis 2010, la RADEEMA bénéficie d'un allègement des contrôles qui s'exercent sur les établissements publics qui ne sont plus automatiquement préalables (« contrôle d'accompagnement »).

Depuis 1998, la RADEEMA est aussi responsable de l'assainissement et du traitement des eaux usées au niveau de la STEP municipale inaugurée en 2011 pour assurer le traitement des eaux usées de la ville de Marrakech qui font l'objet d'une réutilisation. La réutilisation des eaux traitées par la STEP sont essentiellement destinées à l'irrigation de projet d'aires réservées au développement du golf et de la palmeraie. Cette STEP constitue la première application des PPP au financement et à la réalisation de STEP au Maroc. La RADEEMA est actionnaire en même temps que l'Etat et des partenaires privés, notamment des développeurs d'aires destinées à la pratique du Golf. La STEP constitue ainsi un instrument essentiel de la GIEU pour la ville de Marrakech et un exemple au Maroc.

Le dispositif de gestion de l'eau de Marrakech possède les structures opérationnelles et les instruments essentiels pour la réussite d'une GIEU. Cependant, s'agissant de la commune de Marrakech sa responsabilité est importante pour le succès de la GIEU. A ce titre, la municipalité de Marrakech doit viser toutes les améliorations potentielles au niveau institutionnel, technique et financier dans le cadre de ses prérogatives établies.

Ainsi, elle peut d'elle-même, ou en relation avec les autres institutions compétentes, demander aux autorités de tutelle ***d'amender la structure du Comité de Vigilance pour en faire un Comité élargi pour le suivi de la GIEU de la ville de Marrakech*** et doter ce Comité de suivi de statuts appropriés pour lui permettre de faire participer toutes les parties prenantes de la ville à ses délibérations. Ce Comité De Suivi de la GIEU sera un instrument de veille sur le respect de la mise en œuvre des politiques de l'eau y compris la conservation, la lutte contre les gaspillages, le renforcement des actions de protection et de sauvegarde, les prix de l'eau etc. Les parties prenantes incluront les organisations de citoyens, les chambre des métiers (commerce, agriculture, tourisme, services etc..), les représentants des producteurs/fournisseurs d'eau en

gros (ABH, ONEE, STEP) dont la présence permettra au Comité d'assimiler les questions liées à l'offre d'eau et de services d'assainissement de l'offre. Ce Comité devant être engagé au nom de la ville de Marrakech dans l'élaboration des plans et stratégies de l'eau à l'échelle du bassin (PDAIRE) ou national lorsque ces derniers feront l'objet de consultation en vue de leur préparation et adoption.

***Ainsi, la municipalité pourrait adopter des décisions, que les lois en vigueur l'autorisent à prendre, pour :***

- i. Élaborer, adopter, exécuter et mettre à jour de manière régulière un plan de collecte et de diffusion des informations relatives à l'eau. Ces données devant être accessibles à toutes les parties prenantes impliquées dans la fourniture d'eau et de services d'assainissement à la ville de Marrakech et de la conservation et protection des ressources naturelles.
- ii. Demander à RADEEMA à s'équiper d'un système de suivi permanent des pertes d'eau dans le réseau de distribution et en faire un audit annuel afin de définir les mesures adéquates pour corriger les défaillances au niveau du réseau.
- iii. Établir, maintenir et mettre à jour un système d'information sur tous les puits existant au niveau urbain afin de contrôler l'usage des eaux souterraines, y compris du point de vue qualitatif.
- iv. Formaliser l'intervention de RADEEMA dans sa mission de fournisseur d'eau et d'assainissement des municipalités limitrophes et développer la coopération avec les municipalités limitrophes dans le cadre d'un contrat d'agglomération ou autre.
- v. Adopter un règlement sur les prescriptions relatives à la collecte et aux conditions d'utilisation des eaux pluviales en concertation avec l'agence urbaine.
- vi. Dans le cadre du renforcement de la GIEU de Marrakech, la municipalité et les autorités provinciales/régionales doivent adopter une politique en vertu de laquelle tout consommateur d'eau industriel doit engager les procédures nécessaires avec la RADEEMA pour traiter et réutiliser ses eaux usées dans le cadre des incitations existantes ou à mettre en place. RADEEMA doit entreprendre et rendre publique une étude indépendante des contrats de réutilisation des eaux usées de la STEP afin d'en améliorer les performances sur une base régulière.
- vii. S'assurer que RADEEMA et la STEP sont parties prenantes impliquées dans tout contrat de gestion des eaux (souterraines ou autres) de l'ABH dont ses approvisionnements dépendent.
- viii. S'assurer que les études d'impact sur l'environnement pour les projets d'investissement qui affectent la municipalité de Marrakech incluent une composante « eau et assainissement » qui devra faire l'objet d'une revue par le Comité de la GIEU et RADEEMA avant la délivrance de tout certificat de conformité environnemental.
- ix. Adopter une politique d'éducation et de sensibilisation du public aux problèmes de gestion, protection et conservation de l'eau. Cette politique devant être mise en œuvre et supportée par tous les moyens de communication moderne et traditionnels : programme scolaire, campagne d'affichage, utilisation de l'internet et des réseaux sociaux et des médias traditionnels.

## ANNEXE VII - Ressources en eau à l'échelle du bassin versant : situation actuelle et projections

### 1. Eaux de surface

Sur le plan géographique physique, le bassin hydrographique du Tensift intègre des paysages très contrastés : des reliefs du Haut Atlas, aux plaines alluviales du Haouz de Marrakech, aux dépressions endoréiques de la Bahira et à la bande côtière d'Essaouira. Cette zone s'étend sur une superficie de l'ordre de 24 800 Km<sup>2</sup>, comprenant les bassins de Tensift (19 800 km<sup>2</sup>) et les bassins du Ksob-Igouzoulen (5 000 km<sup>2</sup>).

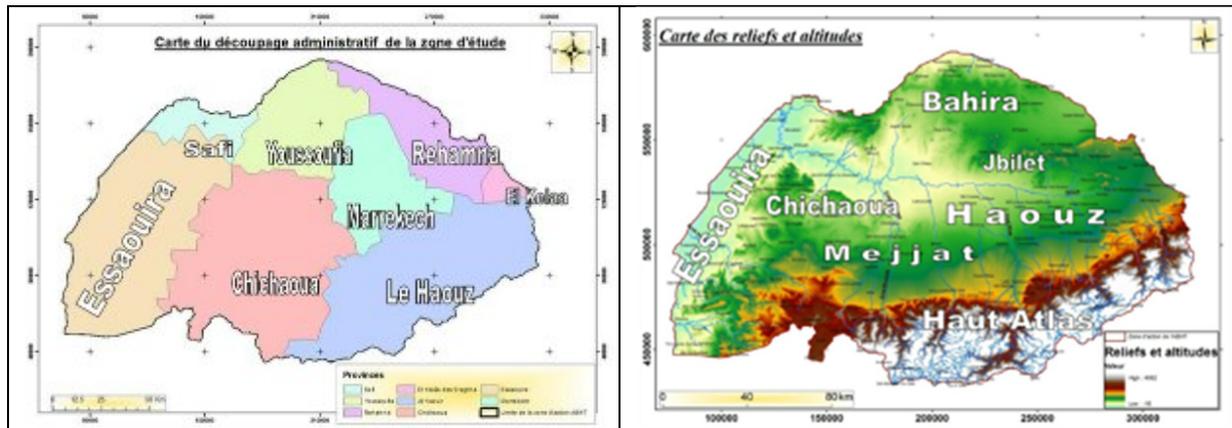


Figure VII-1: Cartes administrative et géomorphologique de la zone ABHT

Sur le plan administratif, la zone d'étude couvre totalement la préfecture de Marrakech et les provinces d'Essaouira et de Youssoufia, majoritairement et partiellement les provinces d'El Kalaâ des Sraghna et de Safi. Ainsi, la région de Marrakech-Tensift-Al Haouz recoupe pour l'essentiel avec la zone d'action de l'Agence de Bassin Hydraulique du Tensift.

Le bassin hydrographique de Tensift peut être subdivisé en deux parties dont le fonctionnement hydrologique est plus contrasté, à savoir :

1. **Montagnes du Haut Atlas** : Elles constituent la zone de production des eaux caractérisée par une hydrologie de surface très active et des précipitations importantes. Sous l'effet de l'altitude, les précipitations sont sous deux formes, liquide et solide. Les oueds qui drainent ces versants Nord des montagnes atlasique constituent la principale source de l'alimentation des nappes dans la plaine du Haouz.
2. **Plaine centrale semi-aride du Haouz** : C'est une zone de transit et de consommation des eaux. L'irrigation y consomme une grande partie des ressources en eau disponibles. L'infiltration des eaux de pluie sur la plaine participe très peu à la recharge de la nappe du fait de l'existence d'une couverture limoneuse qui limite le taux d'infiltration à 4%. Le suivi piézométrique de la nappe, montre que cette dernière ne réagit pas rapidement pendant les années pluvieuses.

Les oueds les plus importants prennent tous naissance dans le Haut Atlas. Sur ce relief montagneux à structures géologiques hétérogènes, des ruissellements à caractère torrentiel interviennent et sont collectés par le réseau hydrographique du Tensift qui les évacue vers l'océan.

Le **Haut Tensift** (11 900 km<sup>2</sup>) : Apports annuels de 860 Mm<sup>3</sup> (222 Mm<sup>3</sup> correspondant aux prélèvements en amont des stations hydrologiques et 638 Mm<sup>3</sup> correspondant à l'apport moyen mesuré au niveau de ces stations), soit 72 mm/an, soit 20% de la pluviométrie moyenne annuelle ;

Le **Bas Tensift** (7 900 km<sup>2</sup>) : Apports annuels de 220 Mm<sup>3</sup> (58 Mm<sup>3</sup> correspondant aux prélèvements en amont des stations hydrologiques et 162 Mm<sup>3</sup> correspondant à l'apport moyen mesuré au niveau de ces stations), soit 28 mm/an, soit 14% de la pluviométrie moyenne annuelle ;

**Ksob – Igouzoulen** (5 000 km<sup>2</sup>): Apports annuels de 62 Mm<sup>3</sup> (16 Mm<sup>3</sup> correspondant aux prélèvements en amont des stations hydrologiques et 46 Mm<sup>3</sup> correspondant à l'apport moyen mesuré au niveau de ces stations), soit 12 mm/an, soit 5% de la pluviométrie moyenne annuelle.

En outre, la région bénéficie d'un transfert d'eau à partir du bassin de l'Oum Er Rbia, via le canal de Rocade avec un débit moyen de 300 Mm<sup>3</sup> selon le PDAIRE mais déjà bien inférieur actuellement, d'un ordre de grandeur de 180 Mm<sup>3</sup> destinés à l'alimentation en eau potable de la ville de Marrakech et à l'irrigation dans le Haouz Central.

## 2. Eaux souterraines

La région est caractérisée par la présence de structures géologiques très diversifiées qui sont à l'origine de l'inégale répartition géographique des eaux souterraines. Les unités hydrogéologiques d'extension notable sont comprises dans la couverture sédimentaire qui forme le sous-sol de plaines et de plateaux. Les principales nappes sont :

**la nappe du Haouz-Mejjate** : au pied de l'Atlas, la plaine du Haouz-Mejjate, d'une superficie de 6'860 km<sup>2</sup>, est une vaste dépression comblée par les produits de démantèlement de la chaîne atlasique. Celle-ci renferme la nappe du Haouz-Mejjate et sa bordure occidentale dite nappe phréatique du Mejjate. C'est la nappe la plus productive de la région, mais également la plus exploitée ;

**les nappes du bassin d'Essaouira-Chichaoua** qui comporte plusieurs niveaux aquifères dont l'importance varie en fonction de la nature des formations géologiques et de l'extension de leur impluvium. Les principaux aquifères de cette région sont :

- o la nappe côtière,
- o l'aquifère de Meskala-Kourimate,
- o la nappe de Ouled Bou Sbâa,

la nappe de la Bahira plus au Nord au-delà des Jbilet et qui renferme une nappe d'eau dont l'exploitation, de plus en plus intense, a favorisé le développement de la zone particulièrement aride de Ben Guérir ;

Le volume annuellement renouvelable en eau souterraine est globalement évalué à 554 Mm<sup>3</sup>/an représenté à 80% par les nappes du Haouz-Mejjate et de la Bahira. Le tableau ci-après récapitule le bilan des nappes dans la zone du plan dont le volume global exploitable de façon durable ne dépasse guère 506 Mm<sup>3</sup>/an.

Nappes	HAOUZ-MEJJATE	BAHIRA	BOUSBAA	MESKALA	COTIERE ESSAOUIRA	TOTAL
Total Entrée	396	63	58	39	46	602
Total sortie	572	103	60	39	46	820
Bilan nappe	-176	-40	-2	0	0	-218

### 3. Variabilité interannuelle des précipitations

Le bassin du Tensift est doté d'un réseau de suivi pluviométrique couvrant l'ensemble du territoire du bassin avec des séries chronologiques de l'ordre de 30 à 40 ans. L'analyse des données de hauteurs annuelles de quelques stations couvrant les bassins du Haouz et Marrakech, notamment les stations de Marrakech (plaine), Lalla Takerkoust (Barrage Lalla Takerkoust), Nkouris (amont barrage Yaakoub Al Mansour) et les postes de Aghbalou, Tahannaout et Imi Hammam dominant le relief du Haut Atlas à l'amont du Haouz, fait état d'une forte variabilité interannuelle des apports pluvieux.

Cette variabilité est matérialisée par des coefficients de variations (CV) compris entre 30 et 45%, traduisant une forte irrégularité des précipitations par rapport à une année moyenne. Par ailleurs, l'ajustement statistique des cumuls annuels de précipitations au niveau des postes étudiés, a permis de traduire cette variabilité sous forme de probabilité d'occurrence associée à des centiles. Ainsi, en général, 80% des quantités de précipitations annuelles reçues sur les bassins (décile de 20%) ne constituent que 70% de la moyenne interannuelle. Notons que selon la distribution de probabilité normale, le décile de 20% équivaut à  $(1 - 0.842 CV) * \text{moyen}$ , donc 65% à 75% du moyen.

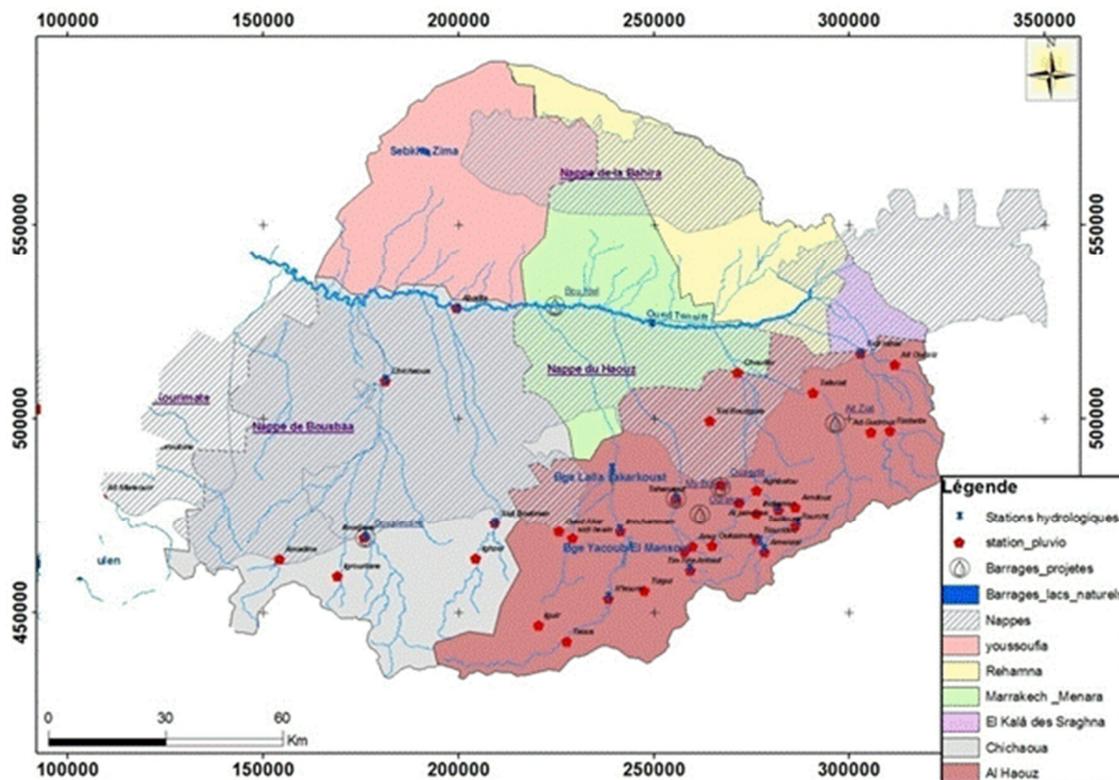


Figure VII-2: Carte du réseau hydrométrique du Tensift

Postes	Précipitation annuelle (mm/an)					
	Aghbalou	Nkouris	Imi Hammam	Tahannaout	Lalla Takerkoust	Marrakech
Moyenne	533	228	378	363	255	221
Écart- Type	165	103	121	110	84	80
Coefficient de variation	31%	45%	32%	30%	33%	36%

Tableau VII-1: Caractéristiques statistiques des précipitations dans le Haut Tensift

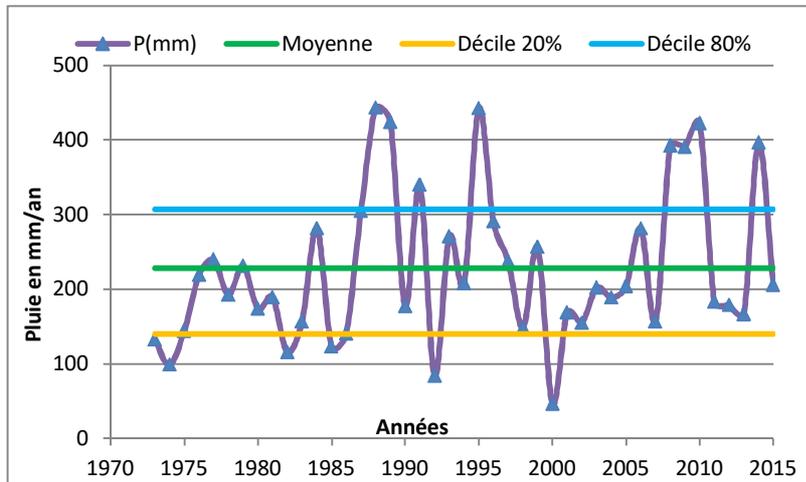
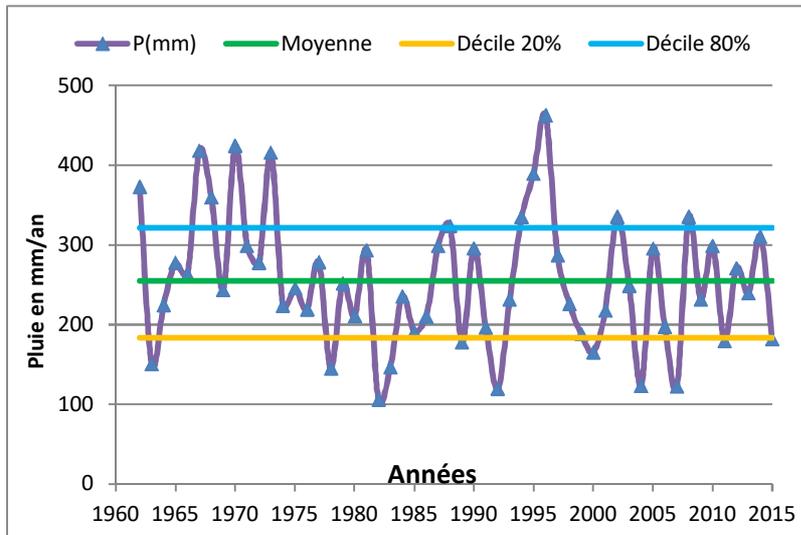


Figure VII-3: Évolution des précipitations (septembre – aout) au poste pluviométrique Nkouris

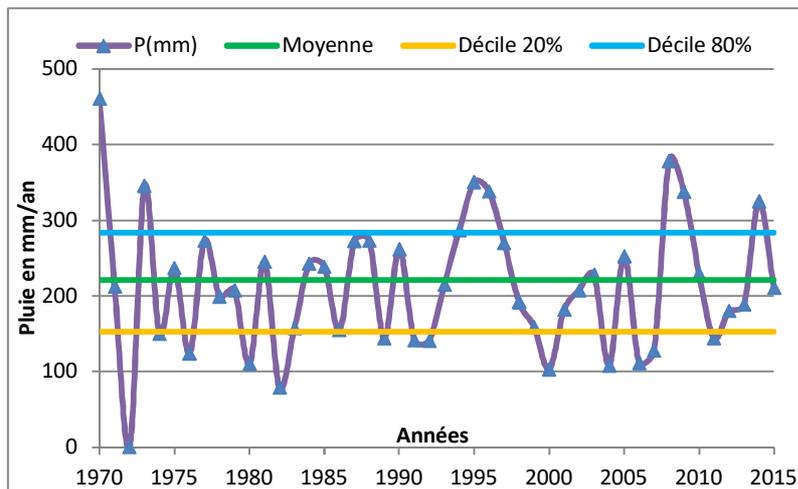


Figure VII-4: Évolution des précipitations au poste pluviométrique Lalla Takerkoust (septembre – aout)

Figure VII-5: Évolution des précipitations au poste pluviométrique Marrakech (septembre – aout)

		Précipitation annuelle en mm					
	Décile	Aghbalou	Nkouris	Imi Hammam	Tahannaout	Lalla Takerkoust	Marrakech
	10%	335.5	109.7	233.7	230.9	155.3	127.0
Année sèche	20%	391.6	139.8	274.4	268.7	183.2	152.8
	30%	435.8	164.8	306.5	298.4	205.3	173.4
Année moyenne	40%	476.1	188.4	336.0	325.4	225.6	192.5
	50%	516.0	212.5	365.2	352.2	245.7	211.5
	60%	558.1	238.5	396.0	380.4	267.0	231.8
Année humide	70%	605.5	268.6	430.9	412.2	291.1	254.9
	80%	664.4	306.9	474.1	451.5	321.1	283.8
	90%	752.0	365.7	538.7	510.1	366.0	327.2

Tableau VII-2: Centiles des précipitations dans le Haut Tensift

#### 4. Variabilité interannuelle des écoulements

##### 4.1 Bassin du barrage Lalla Takerkoust

L'analyse des écoulements appréhendée à travers les séries annuelles des apports au niveau du barrage Lalla Takerkoust avec une superficie du bassin versant de 1 707 km<sup>2</sup>, montre également une forte variabilité inter annuelle des débits d'oueds, traduisant une réponse élargie et variabilité plus grande que de la variabilité déjà significative constatée sur les séries des précipitations. Le Coefficient de Variation CV des écoulements annuels est  $CV_Q = 0.78$ , comparé de  $CV_P = 0.33$  pour la précipitation ; donc l'élasticité du ruissellement<sup>2</sup> pour la précipitation est environ  $CV_Q / CV_P = 2.4$ .

<sup>2</sup> L'élasticité de l'écoulement aux précipitations et température définit la réaction de l'écoulement aux variations de la pluviométrie et de la température (dues aux modifications de l'évapotranspiration). Une élasticité aux précipitations de 2.4 suggère qu'une baisse de 10% de la pluviométrie entraîne une réduction de 24% de l'écoulement. Une sensibilité à la température de -4% par °C suggère qu'une augmentation de 2.5°C de la température entraîne une baisse de 10% de l'écoulement.

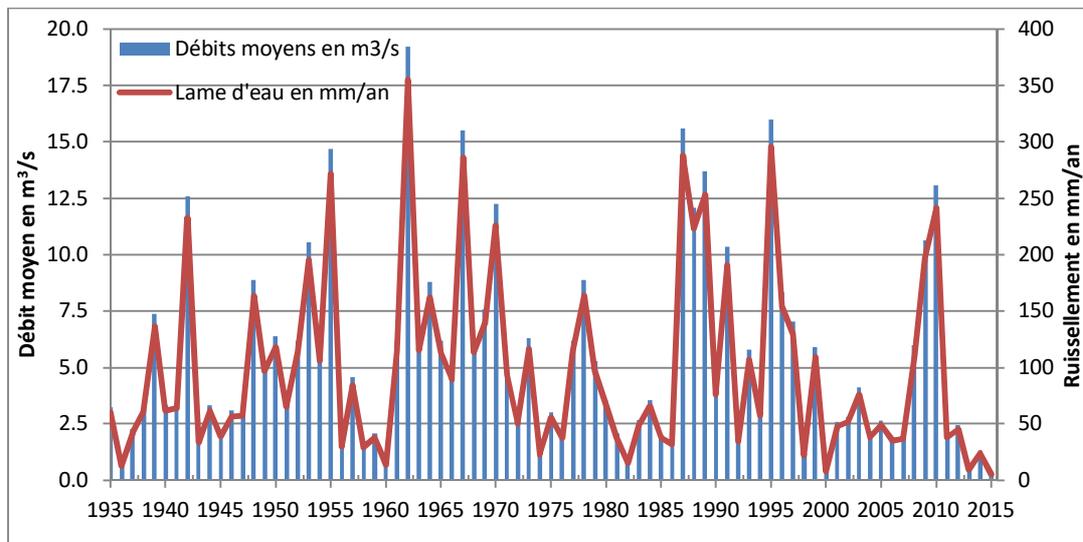


Figure VII-6: Évolution des apports au barrage Lalla Takerkoust

La corrélation entre hauteur annuelle de pluie (postes Lalla Takerkoust et Nkouris) et le ruissellement annuel au niveau du barrage de Lalla Takerkoust est seulement modéré (environ  $R = 0.8$ ) et ne donne pas une solide guide pour l'estimation du coefficient d'élasticité du ruissellement pour la précipitation (le coefficient de puissance est environ 2.06, alors que l'élasticité selon l'estimation  $CV_Q/CV_P$  est de l'ordre de 2.4, une valeur approximative proche des valeurs trouvées pour le bassin de l'Oum Er Rbia. Ce coefficient traduit la relation entre une variation de pluie  $P/P$  et la variation correspondante du ruissellement  $Q/Q$  (voir panneau de droite ci-dessous).

L'ajustement statistique des débits annuels, a permis de traduire cette variabilité sous forme de probabilité d'occurrence associée à des centiles. Ainsi, en général, 80% des apports (décile de 20%, soit environ  $57 \text{ Mm}^3/\text{an}$ ) ne constituent que 31% de la moyenne interannuelle ( $186 \text{ Mm}^3/\text{an}$ ). Notons que théoriquement selon la distribution de probabilité normale, le décile de 20% équivaut à  $(1 - 0.842 CV_Q) * \text{moyen}$ , donc 34% du moyen.

Figure VII-7: Corrélation entre les apports au barrage Lalla Takerkoust et la précipitation moyenne du bassin, dérivé des stations de Lalla Takerkoust et Nkouris pour le période de 1973 à 2012 ; panneau de gauche : valeurs absolus ; panneau de droite : changements par rapport à la moyenne

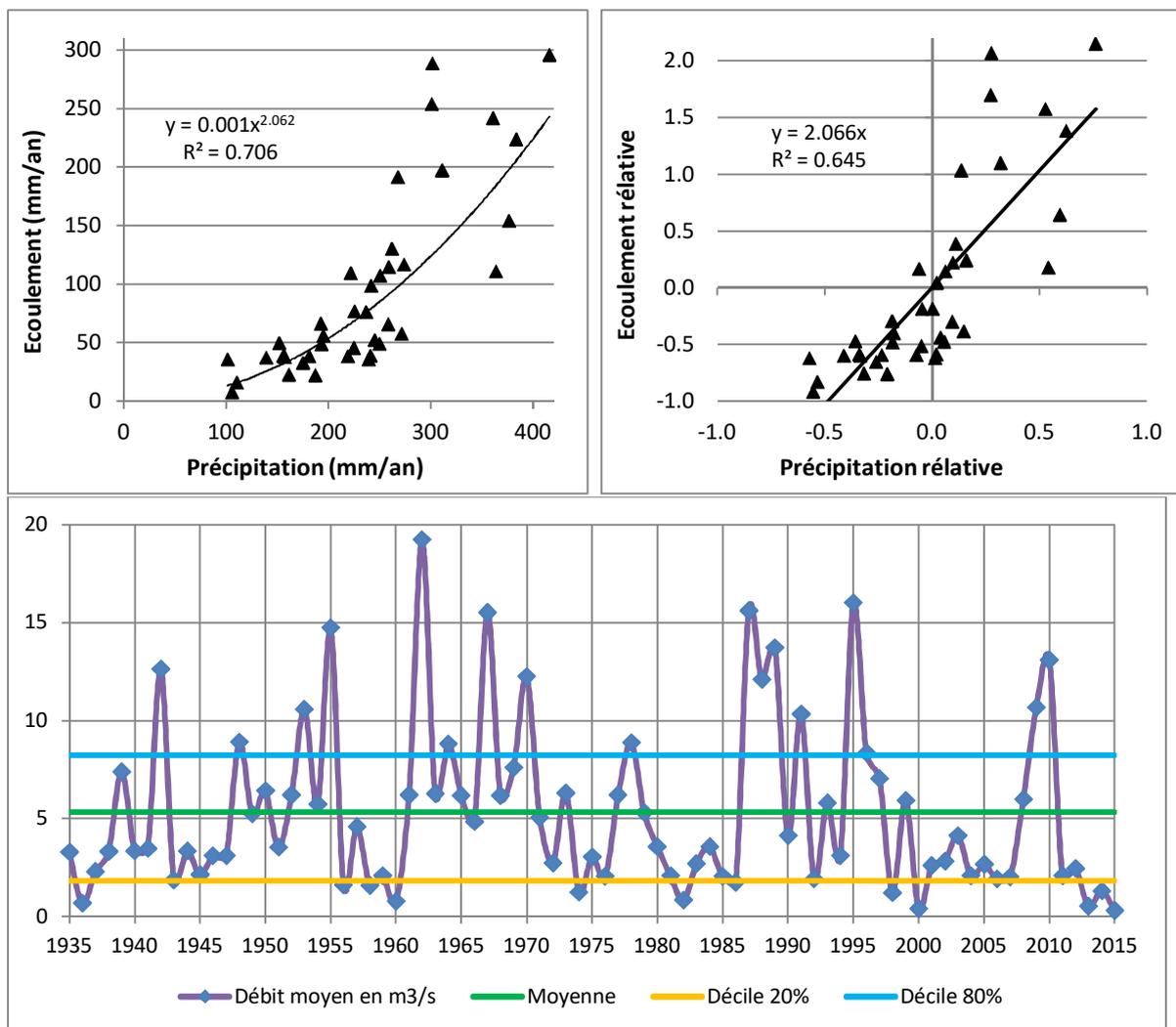


Figure VII-8: Évolution des apports au barrage Lalla Takerkoust avec les moyennes et les centiles

	Déciles	Barrage Lalla Takerkoust	
		Débits (m <sup>3</sup> /s)	Apports (Mm <sup>3</sup> /an)
	10%	1.1	33.6
Année sèche	20%	1.8	57.3
	30%	2.6	80.7
	40%	3.3	105.6
Année moyenne	50%	4.2	133.2
	60%	5.2	165.4
	70%	6.5	205.3
Année humide	80%	8.2	259.3
	90%	11.0	348.2

Tableau VII-3: Centiles des débits moyens annuels à l'entrée du réservoir Lalla Takerkoust

En plus de la variabilité interannuelle d'allure cyclique, traduisant une succession d'alternance épisodes humides et épisodes secs, l'analyse de la série des apports fait également état d'un terme tendance multi-décennale vers une réduction de ces apports. Cette tendance baissière à long terme a été analysée en calculant les moyennes sur des périodes de trente ans décalée de 10 ans. Ce calcul permet de mettre en évidence une succession de "climatologies normales" avec une diminution en escaliers depuis 1940. Ainsi

Période trentenaire		Volume moyen apport (Mm <sup>3</sup> /an)
1941	1970	202
<b>1951</b>	<b>1980</b>	<b>197</b>
1961	1990	203
1971	2000	167
<b>1981</b>	<b>2010</b>	<b>175</b>

entre la période 1941/1951-1980 et la période 1981-2010, la baisse significative des apports a atteint 25 Mm<sup>3</sup>/an, c'est à dire 12.5%, soit de 200 à 175 Mm<sup>3</sup>/ans.

Tableau VII-4 : Valeurs moyennes trentenaires glissantes des apports annuels à l'entrée du Barrage Lalla Takerkoust

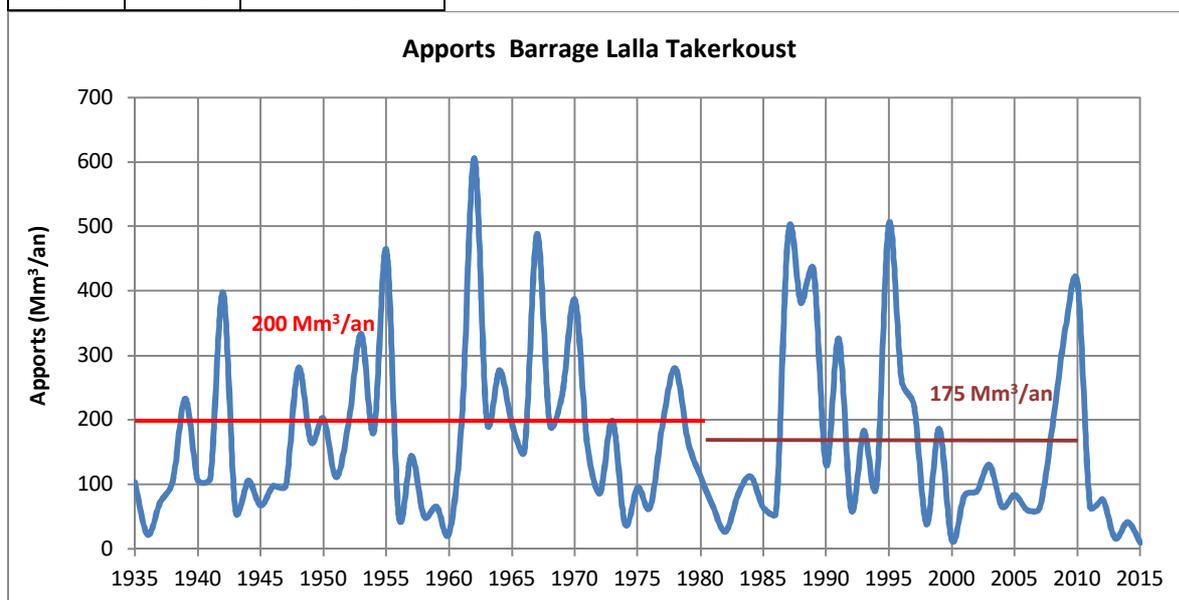


Figure 14: Évolution des apports au barrage Lalla Takerkoust- comparaison entre les moyennes mobiles trentenaires de 1940 - 1980 et de 1981 - 2010

#### 4.2 Bassin du barrage Hassan 1<sup>er</sup>

L'analyse des écoulements appréhendée à travers les séries annuelles des apports au niveau du barrage Hassan 1<sup>er</sup> montre également une forte variabilité inter annuelle des débits d'oueds, traduisant une réponse logique de la même variabilité constatée sur les séries des précipitations. L'ajustement statistique des débits annuels, a permis de traduire cette variabilité sous forme de probabilité d'occurrence associée à des centiles. Ainsi, en général, 80% des apports (décile de 20%, soit environ 149 Mm<sup>3</sup>/an) ne constituent que 57% de la moyenne interannuelle (260 Mm<sup>3</sup>/an). Notons que selon la distribution de probabilité normale, le décile de 20% équivaut à  $(1 - 0.842 CV_Q) * \text{moyen}$ , donc pour  $CV_Q = 54\%$  (pour Hassan 1<sup>er</sup>) on trouve 55% du moyen. Ainsi, pour Hassan 1<sup>er</sup> le ratio  $CV_Q/CV_P$  est  $54\%/24\% = 2.25$  (élasticité du ruissellement pour la précipitation en amont du barrage Hassan 1<sup>er</sup>).

Tableau VII-5 : Centiles des débits moyens annuels à l'entrée du Barrage Hassan 1<sup>er</sup>

	Déciles	Hassan 1 <sup>er</sup>	
		Débits en m <sup>3</sup> /s	Apports en Mm <sup>3</sup> /an
Année sèche	10%	3.6	112.8
	20%	4.7	148.9
	30%	5.7	179.4
Année moyenne	40%	6.6	208.8
	50%	7.6	239.0
	60%	8.6	272.0
Année humide	70%	9.8	310.6
	80%	11.4	360.1
	90%	13.9	436.8

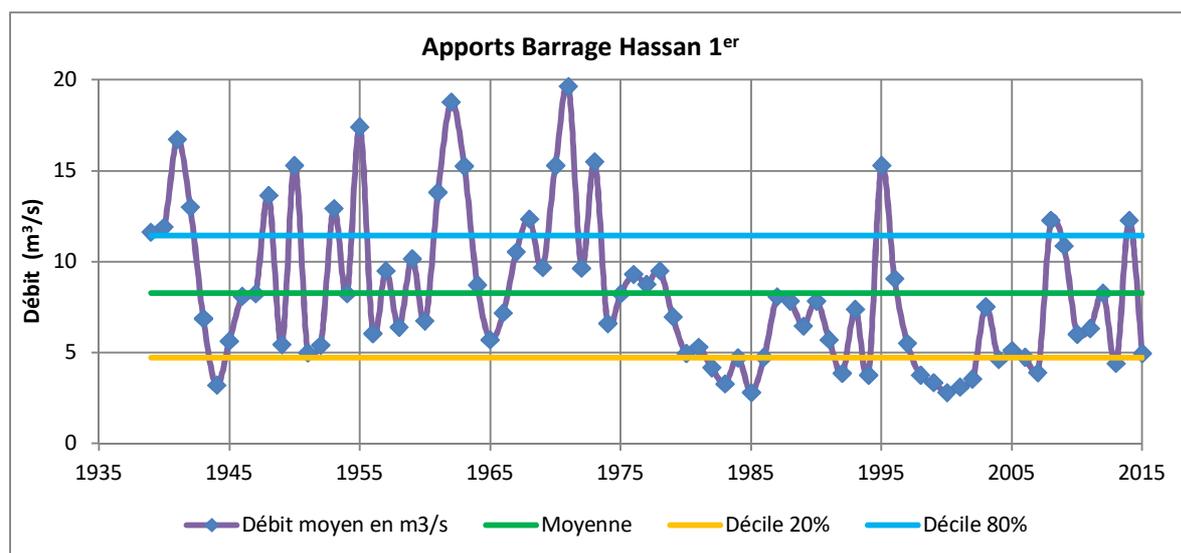


Figure VII-9: Évolution des apports au barrage Hassan 1<sup>er</sup> avec les moyennes et les centiles

En plus de la variabilité inter annuelle d'allure cyclique, traduisant une succession d'alternance épisodes humides et épisodes secs, l'analyse de la série des apports fait également état d'un terme tendance multi-décennale vers une réduction de ces apports, particulièrement une baisse abrupte à partir de 1980. Cette baisse abrupte et à long terme a été analysée en calculant les moyennes sur des périodes de trente ans décalée de 10 ans. Ce calcul permet de mettre en évidence une succession de "climatologies normales" avec une diminution en escaliers depuis 1940.

Période trentenaire		Volume moyen apport (Mm <sup>3</sup> /an)
1940	1970	320
<b>1950</b>	<b>1980</b>	<b>320</b>
1960	1990	284
1970	2000	236
<b>1980</b>	<b>2010</b>	<b>186</b>

Tableau VII-6: Valeurs moyennes trentenaires des apports annuels à l'entrée du Barrage Hassan 1<sup>er</sup>

Ainsi entre la période avant 1980 et la période après 1980, la baisse significative des apports a atteint 134 Mm<sup>3</sup>/an, c'est à dire 42% (comparé à 12,5% pour le barrage Lalla Takerkoust), soit de 320 à 186 Mm<sup>3</sup>/an, causée par une diminution d'environ 17% dans les précipitations amont du barrage, soit un ratio de 2.46.

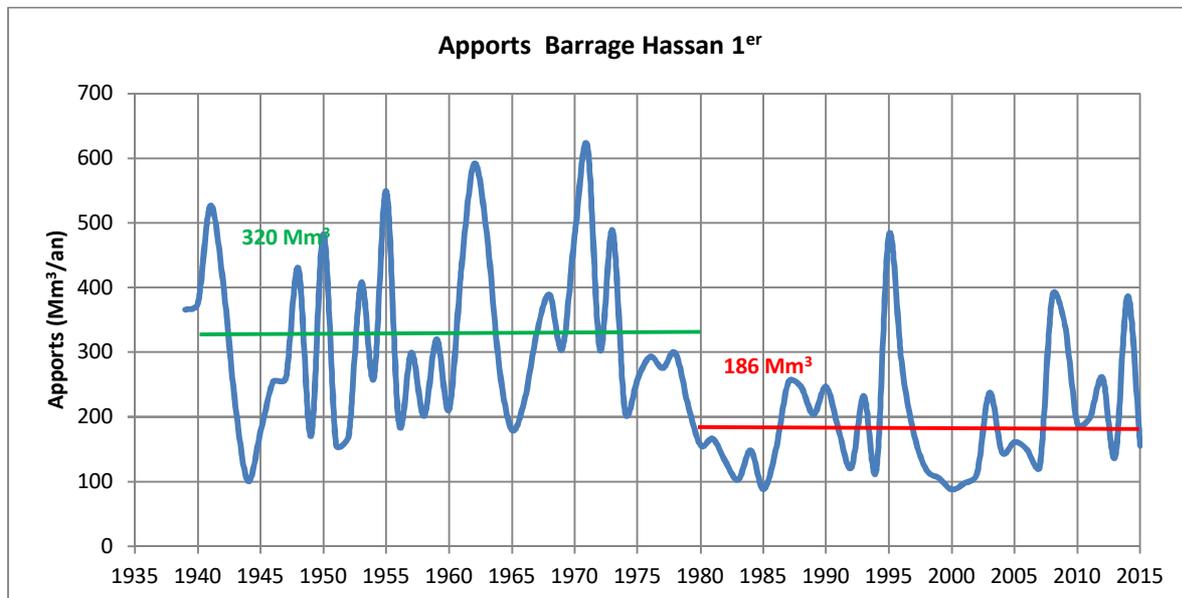


Figure VII-10: Evolution des apports au barrage Hassan 1<sup>er</sup> - comparaison entre les moyennes mobiles trentenaires 1940-1980 et 1980-2015

### 4.3 Conclusions

L'analyse des données exposées plus haut appelle les observations suivantes quant aux scénarios de disponibilité d'eau pour le bassin hydrographique de Tensift :

Les précipitations sur le Bassin du Tensift sont caractérisées par une forte variabilité inter annuelle avec des coefficients de variation de l'ordre de 30%, même que dans de Bassin de l'OER.

Cette variabilité des précipitations se traduit en termes de réponse hydrologique par une variabilité importante des écoulements et des apports de surface (environ 60% dans le bassin de l'OER), en

particulier ceux régularisés par les barrages. Les coefficients de variation des apports calculés pour le barrage Lalla Takerkoust est 78%, traduisant cette forte variabilité.

Les bilans d'eau ont été calculés dans toutes les évaluations de planification en adoptant une année moyenne, or, l'effet des épisodes de sécheresse (en particulier les épisodes de 2 années successives et plus) constituent un risque climatique réel compte tenu de la faible capacité de stockage inter annuel des ouvrages.

En adoptant un seuil d'année sèche correspondant au décile de 20%, les apports en année sèche constituent respectivement 57% et 35% de la moyenne des apports pour le barrage Hassan 1<sup>er</sup> et pour le barrage Lalla Takerkoust.

## 5. Les impacts potentiels du changement climatique sur la disponibilité de l'eau

Les tendances baissières à long terme des précipitations au niveau de la zone d'étude ont été mises en évidence à l'examen, notamment, des apports au niveau des barrages. Cette tendance peut être due au changement climatique et concorde avec plusieurs études climatologiques ayant révélé les tendances similaires sur les précipitations.

### 5.1 L'évaluation effectuée dans le cadre de la 3<sup>ème</sup> communication nationale

L'étude de vulnérabilité restituée dans le rapport de la Troisième Communication Nationale (TCN) du Maroc à la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (Avril 2016) fournit quelques évaluations de l'impact futur des changements climatiques à l'horizon 2100. Dans le cadre de cette étude, les projections climatiques portent notamment sur les précipitations annuelles et les températures moyennes annuelles pour deux scénarios du GIEC, RCP 2.6 et RCP 8.5 et pour les échéances fixées par le GIEC dans son 5<sup>ème</sup> rapport. Pour tous les horizons temporels, le rapport fait état d'une tendance à la baisse des cumuls annuels des précipitations qui varie entre 10 et 20 % pour atteindre 30% sur les provinces sahariennes à l'horizon 2100. Pour les températures moyennes annuelles, une tendance à la hausse de 0,5 à 1°C est projetée à l'horizon 2020 et au moins de 2 à 2.5 °C à l'horizon 2050 et 3 à 3.5 °C à l'horizon 2080, sur l'ensemble du pays. Le rapport conclut que ces impacts se traduiront par des réductions d'apports dans les retenues de barrages de l'ordre de -7% à -40% selon les scénarios à l'horizon 2080.

Tableau VII-7 : TCN du Maroc à la CCNUCC, Scénario d'émission R CP 2.6 (Scénario dit 'optimiste')

Période	Région du Maroc	Tendances des variations des cumuls annuels des précipitations	Région du Maroc	Tendances des variations des températures moyennes annuelles
2016-2035	Ensemble du pays Excepté la moitié sud des régions sahariennes et oasis du sud	-10% à -20% 0% à +10%	Ensemble du pays Excepté Quart sud ouest (région Figuig, Quarzazate et Tata).	+0.5°C à +1.0°C +1.0°C à +1.5°C
2046-2065	Nord de la chaîne de l'Atlas	-10% à -20%	Ensemble du pays Excepté Littoral des provinces sahariennes	+1.0°C à +1.5°C +0.5°C à +1.0°C
2081-2100	Nord de la chaîne du Haut et l'Anti-Atlas Régions sahariennes	-10% à -20% 20% à 30%	Ensemble du pays	+1.0°C à +1.5°C

Tableau VII-8 : TCN du Maroc à la CCNUCC, scénario d'émission R CP 8.5 (Scénario dit «pessimiste»)

Période	Région du Maroc	Tendances des variations des cumuls annuels des précipitations	Région du Maroc	Tendances des variations des températures moyennes annuelles
2016-2035	l'ensemble du pays Excepté l'extrême sud des régions sahariennes	0% à -10% 0% à +10%	l'ensemble du pays Excepté Quart sud ouest (région Figuig, Ouarzazate et Tata)	+0.5°C à +1.0°C 1.0°C à +1.5°C
2046-2065	Nord de la chaîne de l'Atlas régions Nord des provinces sahariennes les régions du Sud	-10% à -20% 0% à -10% 0% à +10%	Ensemble du pays Excepté Littoral des provinces sahariennes	+1.5°C à +2.0°C +1.0°C à +1.5°C
2081-2100	Ouest des chaînes de l'Atlas et du Rif Est de la chaîne de l'Atlas et les régions méditerranéennes	40% 20 à 30%	Régions du Sud Est de l'Atlas Régions méditerranéennes, atlantiques et centre du pays Régions des provinces sahariennes	5 à 7°C 4 à 5°C 3 à 4°C

## 5.2 Évaluations régionales

### 5.2.1 Évaluation des risques climatiques pour le Bassin de l'Oum Er Rbia

Cette étude, financée par la Banque mondiale (2017) et portant sur l'Évaluation des risques climatiques (ERC ; « *Climate Risk Assessment* ») a été conduite en utilisant un ensemble de modèles de circulation générale (MCG) et a souligné l'importance de ne pas privilégier certains modèles au détriment des autres. Cette approche par assemblage multi-modèles a été jugée le plus appropriée pour évaluer les impacts du changement climatique sur les ressources en eau du bassin. Cela aide à réduire les effets des erreurs de modèle dans un modèle particulier et la variabilité naturelle dans un cycle particulier. Les principales conclusions de cette évaluation sont formulées ainsi :

Les projections futures des précipitations et de la température varient en grande partie pour le bassin de l'Oum Er Rbia suivant plusieurs modèles MCG. Le bassin et le Maroc s'attendent à un avenir beaucoup plus sec. Presque tous les changements futurs projetés des écoulements sont négatifs.

L'élasticité du ruissellement aux précipitations est estimée à 2,0 pour la partie génératrice de ruissellement du bassin OER. Pour cette région, la sensibilité à la température du ruissellement est estimée à environ -4% par °C.

Les écarts entre les projections individuelles de précipitations est significative, avec un écart type de 10% d'ici 2050. La plupart des projections CMIP5 se situent entre -40% et 0% de variation des précipitations. Le large éventail des projections de précipitations dans de multiples MCG justifie une analyse simplifiée, basée sur les élasticité climatiques du ruissellement.

En 2050, on prévoit une diminution des précipitations de l'ordre de 20% et l'augmentation prévue de la température est de l'ordre de 2,5 °C, ce qui donne en moyenne à travers tous les MCG une réduction du ruissellement de l'ordre de 50%.

Les projections des changements climatiques n'ont pas beaucoup changé entre les scénarios d'émission A1B et A2 (CMIP3) et les scénarios RCP (*Representative Concentration Pathways*) 4.5 et 8.5 (CMIP5), bien que les précipitations projetées diminuent légèrement moins pour CMIP5 par rapport au CMIP3.

Les MCG qui reproduisent le mieux le climat passé ne sont pas sûrement les plus performants pour les prédictions climatiques du 21<sup>ème</sup> siècle et l'incertitude importante entachant les MCG individuellement incite à utiliser un ensemble des modèles pour une meilleure évaluation du changement climatique futur.

### 5.2.2 Étude sur les impacts régionaux du changement climatique

L'étude de Khomsi et al. (2016<sup>3</sup>), portant sur les impacts régionaux des changements climatiques globaux et leurs tendances saisonnières (précipitations extrêmes, ruissellement température), a été effectuée sur deux régions contrastées du Maroc (Bouregreg et Tensift). Elle a été conduite de manière statistique en utilisant les données climatologiques et hydrologiques des 2 bassins sur des séries relativement longues. Pour toutes les stations de jaugeage étudiées, en dehors de la station de Tahanaout où un changement est détecté au printemps 1996, aucun point de changement significatif n'a été détecté. Au cours des quatre saisons, la plupart des tendances observées dans le ruissellement sont faibles. Aucune des tendances saisonnières n'est statistiquement significative.

En Hiver, certaines tendances décroissantes apparaissent dans le bassin hydrographique de Tensift. Au printemps, et pour le bassin Tensift, les tendances baissières sont observées aux stations situées près des montagnes. Cette tendance à la baisse du ruissellement dans le bassin de Tensift a été attribuée à la diminution des quantités de neige dans les zones à haute.

### 5.3 Conclusions

Bien que les données sur les prédictions futures des effets des changements climatiques restent entachées de beaucoup d'incertitudes, inhérentes à la nature même du processus climatique et de sa complexité, et difficile à appréhender de manière précise par les MCG, il est vraisemblable que ces changements, qui se sont déjà manifesté par le passé, se poursuivent avec des intensités plus importantes. Avoir un ordre de grandeur de ces changements reste un défi scientifique majeur, mais en faisant un recoupement avec toutes les données disponibles issues d'évaluations diverses, nous sommes fondés à supposer les impacts suivants :

Indicateur	Enjeu et impact
<b>Précipitation moyenne annuelle</b>	La baisse générale à l'échelle annuelle des précipitations à l'horizon 2050 dans les proportions données dans les projections climatiques des MCG se situe au moins dans l'ordre de -10% à -30%.
<b>Débits moyens annuels</b>	La baisse générale annuelle des précipitations et l'augmentation de la température, et par conséquent l'augmentation de l'évapotranspiration affectera négativement les débits et les apports ; les changements se situent d'ici 2050 au moins entre -20% à -50%.
<b>Événements extrêmes de sécheresse</b>	L'allongement significatif de la période maximale de sécheresse à l'échelle annuelle aura comme conséquence une perturbation des niveaux de la nappe et un affaiblissement de la capacité de reconstitution des réserves.
<b>Température moyenne</b>	Le réchauffement en toutes saisons associé à une augmentation de la température moyenne de 1°C à 3°C impactera en particulier la demande en eau par l'exacerbation de l'évaporation et de l'évapotranspiration, et peut causer aussi une baisse des apports de l'ordre de 10% d'ici 2050. Ce réchauffement étant plus accentué en été qu'en hiver, la demande en eau potable et agricole subira une pression additionnelle pouvant créer des déséquilibres saisonniers nécessitant des ouvrages de mobilisation et de distribution plus adaptés.

Tableau VII-9: Impacts des changements climatiques sur les apports et événements de sécheresse

<sup>3</sup> Khomsi, K., Mahe, G., Trambly, Y., Sinan, M., and Snoussi, M., 2016: Regional impacts of global change: seasonal trends in extreme rainfall, run-off and temperature in two contrasting regions of Morocco, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 16, 1079-1090, doi:10.5194/nhess-16-1079-2016.

## 6. Les bilans futurs des ressources en eau pour le bassin Tensift

### 6.1 Scénarios de réduction

L'effet combiné de la variabilité climatique (VC) et du changement climatique (CC) se fera sentir à long terme, vraisemblablement avec une résonance due à la probable exacerbation de la variabilité climatique actuelle par le changement climatique. Ces scénarios sont combinés dans le tableau suivant:

Niveau de la sécheresse (VC)		Réduction des apports par changement climatique (CC)		
		0%	25%	50%
<b>Année très sèche (décile 10%)</b>	60%-80%	70%	77.5%	85%
<b>Année sèche (décile 20%)</b>	40%-60%	50%	62.5%	75%
<b>Année moyenne</b>	0%	0%	25%	50%

Tableau VII-10: Scénarios combinés de variabilité climatique et changement climatique pour Marrakech

En utilisant l'effet combiné de la variabilité climatique (VC) et du changement climatique (CC), des scénarios ont été construits de la manière suivante :

La variabilité climatique (VC) a été supposée sans effet significatif sur l'adduction d'Al Massira compte tenu de la capacité importante de la retenue du barrage (2 760 Mm<sup>3</sup>) assurant une régularisation des eaux de crues pluriannuelles. Cette hypothèse est réaliste aujourd'hui mais suppose que la variabilité climatique dans le futur serait la même qu'aujourd'hui, chose qui n'est pas démontrée. Il est même probable que cette variabilité soit plus accentuée sous l'effet des changements climatiques. Pour les transferts vers le réservoir d'Al Massira, l'effet des CC sur les volumes disponibles pour le transfert demeure plus atténué que sur les volumes perdus vers l'océan.

Pour l'adduction d'Al Massira, le changement climatique s'opérerait aussi bien sur les apports propres que sur les importations en cas de transfert du Nord. Le changement climatique est donc un scénario réaliste qui doit être intégré dans la vision à long terme du transfert Massira-Marrakech.

Pour les barrages Lalla Takerkoust et Hassan 1<sup>er</sup> les effets de la VC et du CC se conjuguent inéluctablement. Les hypothèses prises permettent de voir l'effet combiné de la sécheresse interannuelle et du changement climatique.

Pour les prélèvements d'eau sur oueds, les effets de la VC se font déjà sentir actuellement car en général l'irrigation n'est pas pérenne et suit le régime de l'oued. Dans le futur, les CC se conjuguent inéluctablement aussi avec cette VC. Les hypothèses prises permettent de voir l'effet combiné de la sécheresse interannuelle et du changement climatique.

Les résultats de cette évaluation sont regroupés de manière synoptique dans le tableau suivant, qui appelle les observations suivantes :

En année moyenne, les changements climatiques impacteraient le bilan hydrique de la zone de Marrakech par un creusement de déficit atteignant 324 Mm<sup>3</sup>/an à l'horizon 2050 pour une projection réaliste, s'aggravant à 650 Mm<sup>3</sup>/an à l'horizon 2050 pour une projection pessimiste

En année sèche, les changements climatiques impacteraient le bilan hydrique de la zone de Marrakech par un creusement de déficit atteignant 700 à 900 Mm<sup>3</sup>/an à l'horizon 2050.

Le scénario le plus catastrophique, associant la survenue d'un épisode très sec dans un contexte de CC, correspondrait à un déficit de plus de 1 000 Mm<sup>3</sup>/an.

Les impacts des scénarios combinés de variabilité et changement climatique sur le bilan hydrique des eaux souterraines (nappe d'El Haouz) de la région de Marrakech (2050) sont estimées dans les tableaux récapitulatifs suivants.

## 6.2 Conclusions

L'effet conjugué des changements climatiques et de la variabilité climatique se traduirait dans le futur à l'horizon 2050 par un déficit bilanciel pouvant atteindre 1 300 Mm<sup>3</sup>/an dans le scénario le plus catastrophique. Ce déficit dû aux risques climatiques viendrait s'ajouter au déficit déjà observé actuellement et qui a été documenté dans les parties antérieures du présent rapport, à savoir en particulier le déficit des eaux souterraines, atteignant aujourd'hui 176 Mm<sup>3</sup>/an.

Le déficit des eaux superficielles, qui atteint déjà aujourd'hui les 74 Mm<sup>3</sup>/an, devrait être compensé par un transfert de l'eau du barrage Al Massira, mais ce transfert doit aussi à son tour être compensé par un transfert depuis le Nord, zone qui devrait aussi connaître des réductions de précipitations et découlement similaires.

Tableau VII-11: Impacts des scénarios combinés de variabilité hydrologique et changement climatique sur le bilan hydrique de la région de Marrakech (horizon 2050)

		Réduction des apports			0%	25%	50%	50%	62.5%	70%	75%	77.5%	85%
		Changement climatique			optimiste	réaliste	pessimiste	optimiste	réaliste	optimiste	pessimiste	réaliste	pessimiste
		Variabilité Climatique			année moyenne	année moyenne	année moyenne	année sèche	année sèche	année très sèche	année sèche	année très sèche	année très sèche
Secteurs	Besoins 2050 en Mm <sup>3</sup> /an	Ressource en eau superficielle	Volumes totaux en situation de référence	Volumes eaux superficielle en situation de référence	Réductions attendues suivant les scénarios combinés de CC et de VC								
AEP	189	Adduction Massira	132	132	-	17	33		17		33	17	33
AEP		Canal Rode + Lalla Takerkoust	57	365	-								
GH	308		308			91	183	183	230	256	274	283	310
PMH	565	Lalla Takerkoust	565	565	-	141	283	283	356	396	424	438	480
Irrigation Privée	259	Nappe	259										
Seguias au fil de l'eau	300	Oueds	300	300	-	75	150	150	189	210	225	233	255
Seguias à partir de la nappe	65	Nappe	65										
Total	1 686		1 686	1 362	0.0	324	648	615	791	861	956	970	1 079

Tableau VII-12: Impacts des scénarios combinés de variabilité hydrologique et changement climatique sur le bilan hydrique des eaux souterraines de la nappe d'El Haouz (2050)

	Eaux souterraines situation de référence (**)	0%	25%	50%	50%	63%	70%	75%	77.5%	85%
		optimiste	réaliste	pessimiste	optimiste	réaliste	optimiste	pessimiste	réaliste	pessimiste
		Année moyenne	Année moyenne	Année moyenne	Année sèche	Année sèche	Année très sèche	Année sèche	Année très sèche	Année très sèche
Type d'entrée	Apports (Mm <sup>3</sup> /an)	Réductions attendues suivant les scénarios combinés de CC et de VC								
Infiltrations pluviales(*)	144	0	14	29	29	36	40	43	45	49
Infiltrations lits oueds	37	0	9	19	19	23	26	28	29	31
Retour eau irrigation	166	0	42	83	83	105	116	125	129	141
Retour séguias	38	0	10	19	19	24	27	29	29	32
Apport latéral piémont sud (*)	11	0	1	2	2	3	3	3	3	4
TOTAL	396	0	76	152	152	191	212	227	235	258

(\*) La réduction des quantités d'eaux pluviales infiltrée a été calculée en tenant compte d'un coefficient d'élasticité de 2.5 entre ruissellement et précipitation

Tableau VII-13: Synthèse des impacts de variabilité hydrologique et changement climatique sur le bilan hydrique de la région de Marrakech (2050)

	0%	25%	50%	50%	63%	70%	75%	77.50%	85%
	optimiste	réaliste	pessimiste	optimiste	réaliste	optimiste	pessimiste	réaliste	pessimiste
	Année moyenne	Année moyenne	Année moyenne	Année sèche	Année sèche	Année très sèche	Année sèche	Année très sèche	Année très sèche
Type de déficit	Réductions attendues suivant les scénarios combinés de CC et de VC								
Déficit eaux superficielles	0	324	648	615	791	861	956	970	1,079
Déficit eaux souterraines	0	76	152	152	191	212	227	235	258
Déficit total	0	400	800	767	982	1,073	1,183	1,205	1,336

## ANNEXE VIII - Ressources en eau actuelles pour la ville de Marrakech

### 1. Stratégie d'utilisation des ressources en eaux pour l'approvisionnement de Marrakech

La garantie de la sécurité hydrique de la région de Marrakech passe par la poursuite et la consolidation de la mobilisation des eaux superficielles. Il est à noter que le complexe des barrages Yacoub - Al Manssour - Lalla Takerkoust édifiés sur l'Oued N'Fis jouent un rôle important dans le système d'alimentation en eau potable de la ville de Marrakech, mais restent très insuffisants pour faire face à la demande en eau de la ville et de l'agriculture. Actuellement l'approvisionnement en eau dans le bassin du Tensift dépend donc largement du bassin de l'Oum Er Rbia, d'où un transfert a été réalisé en 1983 pour dériver les eaux via le complexe Hassan 1<sup>er</sup> - Sidi Driss et le Canal de Rcade avec une capacité de 300 Mm<sup>3</sup>/an vers le Haouz.

Le projet transfert nord-sud, faisant partie de la Stratégie nationale de l'eau, représente un autre pilier prioritaire pour l'approvisionnement futur de Marrakech en eau potable. Ce projet devrait permettre d'allouer à la zone du PDAIRE de Tensift un surplus d'eau brute de 200 Mm<sup>3</sup>/an via le barrage existant Al Massira (150 Mm<sup>3</sup>/an) et le barrage Sidi Driss (50 Mm<sup>3</sup>/an), dont 100 Mm<sup>3</sup>/an pour l'approvisionnement en eau potable de la ville de Marrakech et 100 Mm<sup>3</sup>/an pour l'irrigation du Haouz. La première phase de l'adduction de l'eau à partir du barrage Al Massira vers Marrakech, y inclus la construction d'une station de traitement, est présentement en cours de réalisation et devrait être complétée en 2018. Il est supposé que le transfert permettra de réduire dans une certaine mesure le déficit de la nappe du Haouz, qui va continuer à représenter une ressource stratégique pour faire face aux périodes d'extrême sécheresse.

La réutilisation des eaux usées épurées qui s'inscrivent dans le cadre du Programme National d'Assainissement (PNA) devra assurer jusqu'à 60 Mm<sup>3</sup>/an en 2030, mais selon les projections présentées dans ce volume, il est plus probable que le volume des eaux usées et épurées disponible de la zone d'action de RADEEMA ne soit que de l'ordre de 40 Mm<sup>3</sup>/an en 2030 et 50 Mm<sup>3</sup>/an en 2050. Néanmoins, laquelle permettra de supprimer tous les prélèvements à partir de la nappe du Haouz destinés à l'approvisionnement en eau des golfs et des espaces verts. Afin de sécuriser l'approvisionnement en eau potable de la ville, des actions sont aussi nécessaires pour augmenter les rendements des réseaux de production et de distribution. Le programme d'économie de l'eau en agriculture, qui s'inscrit dans le cadre du Plan Maroc Vert, est l'un des solutions majeures qui ont été prévues dans le cadre de l'actualisation du PDAIRE de Tensift représentant un potentiel d'économie d'eau de près de 40 Mm<sup>3</sup>/an.

En somme, l'allocation d'eau, allouée dans le cadre des PDAIREs du Tensift et de l'Oum Er Rbia à l'alimentation en eau potable de la région de Marrakech peut être résumée comme suit :

Une dotation en eau de 40 Mm<sup>3</sup>/an à partir du complexe Hassan 1<sup>er</sup> – Sidi Driss via le Canal de Rcade (transfert du bassin de l'Oum Er Rbia) ; en réalité c'était récemment environ 64 Mm<sup>3</sup>/an ;

Une dotation future (à partir de 2018) en eau de 95 Mm<sup>3</sup> par an à partir du Projet de transfert Nord - Sud via le barrage Al Massira ; cette dotation sera garantie à 100% même en période de sécheresse de longue durée.

Une dotation en eau de 17 Mm<sup>3</sup> par an à partir du complexe Lalla Takerkoust (bassin de N'fis), représentant près de 15% des ressources disponibles dans le bassin de N'fis ; en réalité c'était récemment au moyenne seulement environ 2 Mm<sup>3</sup>/an (par exception 16 Mm<sup>3</sup>/an en 2015/16);

Une dotation en eau potable d'environ 2 Mm<sup>3</sup>/an à partir de la nappe Bahira ; l'utilisation de l'eau souterraine pour AEP en Marrakech est récemment réduit à presque nul, sauf pour l'irrigation de quelques terrains de golf ; Cependant, l'utilisation des eaux souterraines pour l'AEP dans d'autres parties de la région est encore importante (15 Mm<sup>3</sup>/an);

Une dotation en eau de 58 Mm<sup>3</sup>/an à partir des eaux usées et épurées pour irriguer les espaces verts et les terrains de golf ainsi que pour recharger la nappe phréatique par infiltration directe ou indirecte; en réalité c'était récemment environ 7 Mm<sup>3</sup>/an dont 6 Mm<sup>3</sup>/an pour les golfs, et projeté à 40 Mm<sup>3</sup>/an en 2030

La garantie de la ressource en eau, allouée à AEP de la ville de Marrakech est appréciée à travers la priorité accordée à l'eau potable par rapport aux autres usages comme l'irrigation. Les PDAIRES des bassins de Tensift et de l'Oum Er Rbia ont adopté des critères de garantie de la ressource en eau pour assurer sans déficit la dotation en eau potable de la ville de Marrakech même en cas de pénuries exceptionnelles. La satisfaction de la dotation durant les années de sécheresse se traduirait par un arrêt des prélèvements d'eau d'irrigation.

Il est à noter que le changement climatique prévu se traduira probablement par une baisse significative des eaux du Canal de Rocate et du Bassin de N'fis. Cet impact, conjugué à la perte de capacité des barrages par envasement et l'augmentation de la demande en eau potable des centres urbains et des populations rurales, alimentées à partir du complexe Hassan 1<sup>er</sup> -Sidi Driss, pourrait se traduire par une nécessité de la satisfaction de la quasi-totalité de la demande en eau de la zone RADEEMA à partir du barrage Al-Massira.

## **2. Canal de Rocate**

Le Canal de Rocate a été conçu et mis en opération suite à une décision de transfert de tous les apports de l'oued Lakhdar vers Tensift, à l'exception des droits d'eau reconnus à l'aval de Sidi Driss (évalués à 10 Mm<sup>3</sup>/an). Avec la construction du complexe Hassan 1<sup>er</sup> - Sidi Driss et du Canal de Rocate, la région de Marrakech donc bénéficie depuis les années 1985 d'un transfert d'eau à partir du bassin de l'Oued Oum Er Rbia. Le Canal de Rocate transporte les eaux brutes sur un linéaire de 118 km et dispose d'une capacité de transit de 20 m<sup>3</sup>/s. En année moyenne le canal devrait transporter un volume de l'ordre de 300 Mm<sup>3</sup>/an dont 50 Mm<sup>3</sup>/an pour alimenter la ville de Marrakech en eau potable et 250 Mm<sup>3</sup>/an pour l'irrigation du périmètre de N'fis (34 000 ha) dans de la zone Haouz central.

Les sécheresses successives au cours des 35 dernières années ont diminué de façon significative les apports dans les barrages, ce qui s'est traduit par de faible taux de remplissage des retenues notamment durant les années de sécheresse. Pour le barrage Hassan 1<sup>er</sup> le remplissage moyen sur la période de 1981 à 2015 est par exemple inférieur de 42% par rapport à la période de 1941 à 1980. C'est pourquoi en actualité, les débits transférés dépassent rarement les 200 Mm<sup>3</sup>/an ; par exemple, de 2009 à 2015 le moyen débit du canal était 196 Mm<sup>3</sup>/an, dont au moyen 64 Mm<sup>3</sup>/an pour l'AEP de Marrakech et 132 Mm<sup>3</sup>/an pour l'irrigation. Cette réduction est donc reportée sur les dotations agricoles qui subissent toujours les réductions dues aux fluctuations climatiques, l'AEP restant intouchée. La réalité est donc que récemment la dotation de l'AEP dépasse souvent les 60 Mm<sup>3</sup>/an au détriment de l'irrigation. Dans un futur marqué par les effets des changements climatiques, tout porte à croire que les règles d'exploitation du canal resteront toujours les mêmes, avec le résultat que les dotations agricoles seront réduites drastiquement.

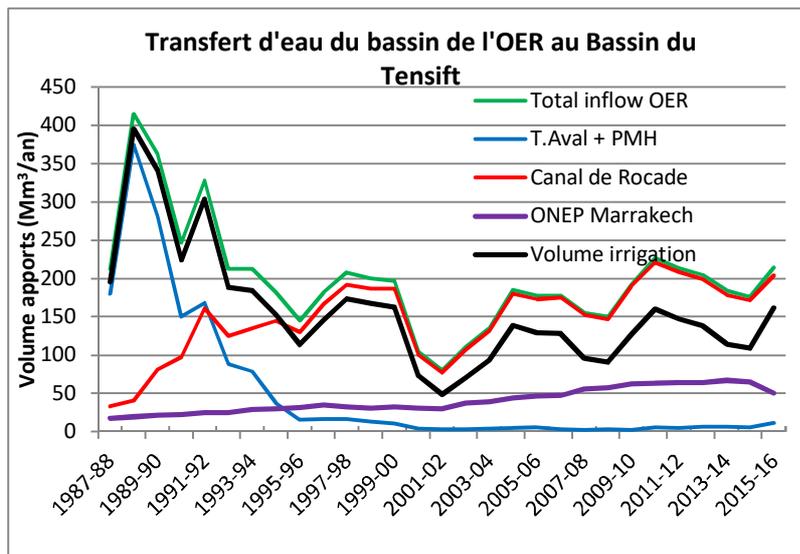


Fig. 5.6 : Transfer d'eau du bassin de l'OER au bassin du Tensift and la répartition entre l'AEP de Marrakech et l'irrigation du périmètre de N'fis

### 3. Adduction d'eau potable à partir du barrage Al Massira vers Marrakech

Le Plan national de l'eau a programmé un grand projet de transfert de l'eau à partir des bassins de l'Oued Laou, du Loukous et du Sebou via le barrage Al Massira, avec l'objectif de renforcer les ressources en eau des bassins du Bouregreg, de l'Oum Er Rbia et de Tensift. Ce transfert a été consacré comme scénario dans les PDAIRES des bassins concernés. Le transfert Nord Sud, échelonné suivant un phasage, prévoit en première phase un transfert de 300 Mm<sup>3</sup>/an depuis le barrage Sidi Mohammed Ben Abdellah sur l'oued Bouregreg vers le barrage Al Massira (galerie avec débit de 10 m<sup>3</sup>/s). Pendant la phase I le transfert n'est pas destiné à combler le déficit chronique de l'Oum Er Rbia mais uniquement à compenser les exportations d'eau pour AEP vers Casablanca et Marrakech (440 Mm<sup>3</sup>/an).

Le transfert Al Massira – Tensift d'un volume brut de 100 Mm<sup>3</sup>/an (net 95 Mm<sup>3</sup>/an), qui était logiquement conditionné par les transferts amont, sera réalisé en réalité avant ces transferts. L'impact de ce transfert sans compensation pour le barrage Al Massira se traduira par un creusement du déficit au niveau de l'Oum Er Rbia qui va être répercuté sur les dotations d'eau agricoles des périmètres de Doukkala. Ces répercussions sont déjà visibles en années de sécheresse.

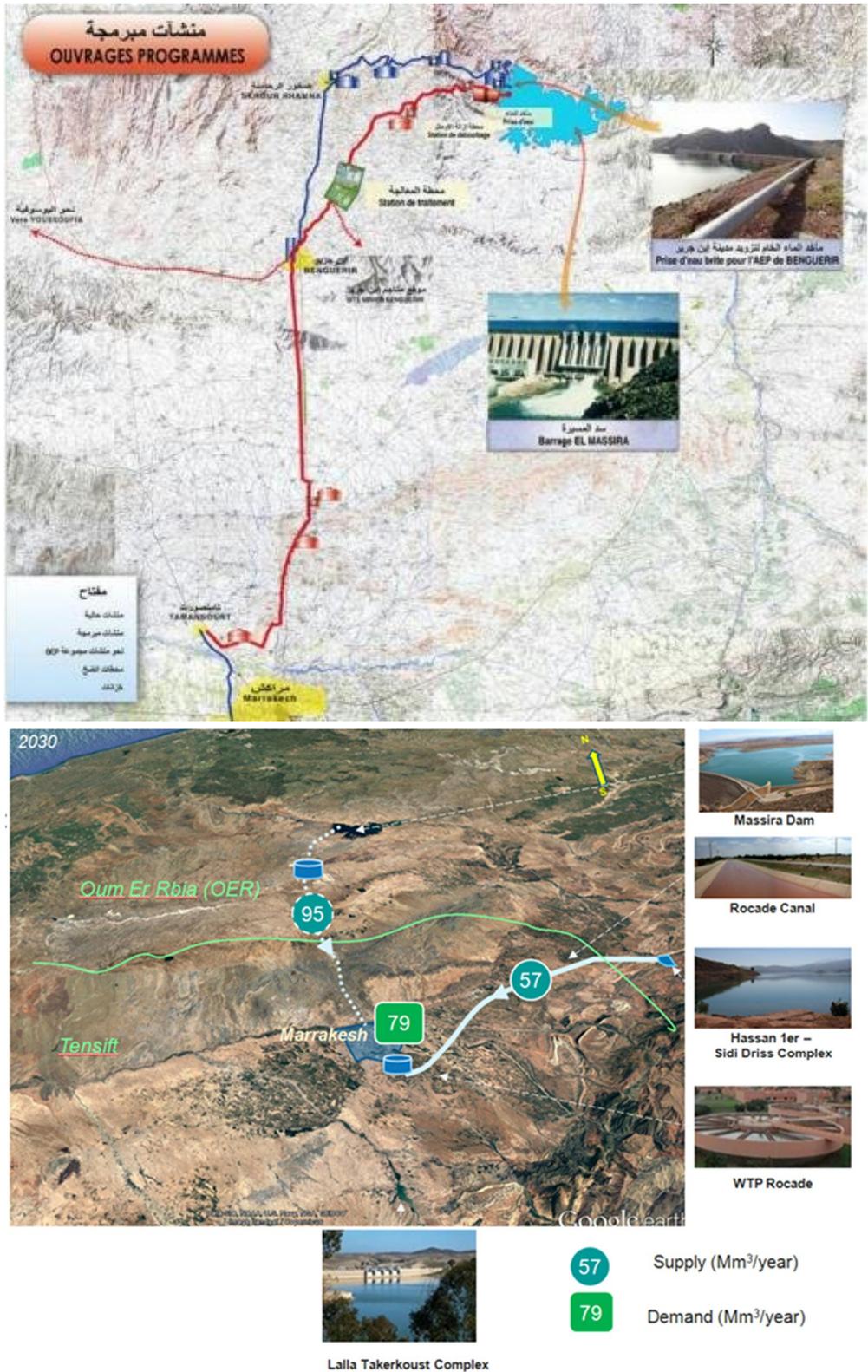


Fig. 5.7 : Schéma des ouvrages programmés d'alimentation en eau potables de la ville de Marrakech à partir du «Transfer Nord – Sud» via le barrage Al Massira (source ONEE)

Aucune décision officielle visant l'ordonnement de ces transferts n'existe actuellement et les scénarios de la stratégie nationale sur l'eau ne sont pas appliqués rigoureusement. Cette affaire a été gérée dans l'urgence pour éviter une pénurie d'eau au niveau de Benguérir et Marrakech. L'eau potable étant toujours prioritaire par rapport à l'eau agricole, tout déficit, qu'il soit dû à la variabilité climatique, au changement climatique ou à la réduction de l'eau disponible dans la retenue à cause d'un transfert hors bassin, se répercute automatiquement sur l'irrigation.

Les travaux de première tranche de ce transfert sont en cours. La date de mise en service de la première phase de ce projet, en cours de réalisation par l'ONEE avec financement de la Banque Africaine de Développement (BAD) et l'Office Chérifien de Phosphate (OCP), est prévue en 2018. La Phase I du projet d'adduction d'eau potable en cours de construction est dimensionné pour produire en 2030 un volume d'eau potable de 78 Millions de m<sup>3</sup>/par an pour l'AEP de la ville Marrakech et le centre urbain de Tamenourt. Le bilan d'eau est utilisé « en route » pour l'AEP de Benguérir et autres centres et projets.

La première phase du projet comporte les composantes relatives à la production, le stockage et l'adduction d'eau, comme suit :

- Construction d'une prise d'eau brute à partir du barrage Al Massira (7 m<sup>3</sup>/s ; y compris les phases II et III)

- Pose d'une conduite d'adduction d'eau brute (diamètre 2'000 mm, linéaire d'environ 3 km)

- Réalisation d'une station de débouage (3.5 m<sup>3</sup>/s)

- Pose d'une conduite d'adduction des eaux débouées (diamètre de 1'600 à 2'000 mm, linéaire d'environ 45 km)

- Construction de 2 réservoirs (R1, RMC1)

- Construction de 2 stations de pompage (SR1: HMT 182m et SR2: HMT 182m)

- Réalisation d'une station de traitement (capacité = 2.5 m<sup>3</sup>/s = 79 Mm<sup>3</sup>/an)

- Pose d'une conduite d'adduction des eaux traitées (diamètre de 1'300 à 1'800 mm, linéaire d'environ 65 km) de la station de traitement vers Marrakech

- Construction de 3 réservoirs (R2, RMC2 et réservoir Nord)

- Construction d'une station de pompage SR3 (HMT de l'ordre de 100m)

L'analyse des bilans hydriques permet de tirer les constatations suivantes :

- Malgré la réalisation de l'adduction d'eau potable à partir du barrage Al Massira, l'alimentation en eau potable du grand Marrakech restera fragile surtout du côté du Canal de rocade ; cette alimentation est assurée au détriment de l'irrigation du périmètre du Haouz Central ;

- Les capacités d'adduction sont suffisantes pour assurer dans de bonnes conditions l'alimentation en eau potable au delà de 2030 ;

- En absence des ouvrages nécessaires pour réaliser l'interconnexion entre les réservoirs d'eaux existantes de RADEEMA et les réservoirs pour l'adduction d'eau à partir du barrage Al Massira, les prélèvements d'eau opérés pour satisfaire les besoins en eau potables sont supérieurs à la dotation allouée à l'eau potable au niveau des adductions à partir du Canal de rocade et inférieurs à la dotation allouée à l'eau potable au niveau de l'adduction d'Al Massira.

La réalisation des ouvrages d'interconnexion entre les différents réservoirs est nécessaire pour sécuriser et diversifier l'alimentation en eau potable du grand Marrakech ;

Avec l'exploitation des adductions d'eau potable à partir du barrage Al Massira, et du Canal de rocade, les enjeux de la maîtrise de l'énergie relèvent clairement de problématiques d'optimisation technico-économique et de rationalisation de la gestion ; les interactions eau-énergie-alimentation représentent donc un enjeu de développement et d'optimisation technico-économique et de rationalité de gestion.

La réalisation des ouvrages d'interconnexion se traduirait par une amélioration de la sécurisation de l'alimentation en eau potable du grand Marrakech et des provinces de Benguéir, d'El Kelaa Sraghna et d'Azilal et réduit la pression sur l'irrigation des périmètres du Haouz Central et de N'fis. L'analyse du bilan hydrique ajusté pour tenir compte de la réalisation des ouvrages d'interconnexion permettant un transfert de 50 à 60 Mm<sup>3</sup>/an entre les deux sources d'eau, permet de tirer les constatations suivantes :

Les dotations d'eau prélevées à partir des barrages Hassan 1<sup>er</sup> - Sidi Driss et Al Massira correspondent à celles allouées dans le cadre des projets de PDAIRE de l'Oum Er Rbia et de Tensift ;

La dotation à prélever à partir du complexe Hassan 1<sup>er</sup> - Sidi Driss est largement inférieure à la capacité de la station de traitement existante (3.1 m<sup>3</sup>/s = 98 Mm<sup>3</sup>/an) ; cette dotation reste élevée pour être sécurisée durant les années de sécheresse.

L'adduction d'eau à partir du barrage d'Al Massira serait exploitée en pleine capacité, ce qui affecterait l'exploitation des réseaux de distribution d'eau potable et enrichie les frais d'énergie ;

En tenant compte de la dotation en eau réservée à l'OCP (18 Mm<sup>3</sup>/an) et des villes de Casablanca, El Jadida, Safi et Marrakech, les prélèvements d'eau potables à partir du barrage d'Al Massira avoisineraient les 450 Mm<sup>3</sup>/an. Durant une période de sécheresse, équivalente à celle observée de 2000 à 2007, un arrêt de l'irrigation serait nécessaire pour éviter une rupture du stock d'eau au barrage d'Al Massira ;

Des solutions visant à réduire la dotation en eau potable à prélever à partir du complexe Hassan 1<sup>er</sup> - Sidi Driss et du barrage d'Al Massira et à renforcer les ressources en eau au niveau des ces ouvrages seraient nécessaires pour sécuriser et renforcer la diversification de l'alimentation en eau potable du grand Marrakech.

Le projet en cours de réalisation n'est pas pris en considération dans l'analyse financière et économique dans ce rapport car il s'agit des infrastructures déjà existantes bientôt. Par contre, les coûts des Phases II et III de l'adduction de l'eau potable d'Al Massira vers Marrakech sont pris en compte. Le but de la phase II sera de compléter la phase I par la réalisation des ouvrages d'interconnexion entre les réservoirs de la RADEEMA, pour assurer que durant les périodes de sécheresse la ville de Marrakech peut compter uniquement sur les ressources en eau du complexe Al Massira.

Le complexe Hassan 1<sup>er</sup> – Sidi Driss ne pouvait pas assurer à la fois l'alimentation en eau potable de la ville de Marrakech et la dotation en eau minimale du périmètre du Haouz, adoptée dans le cadre des PDAIRE de l'Oum Er Rbia et de Tensift notamment durant les périodes de sécheresse à l'instar de celle observée durant la période après 1980. La troisième phase du projet devrait donc être réalisée et consiste à doubler les ouvrages de la première phase, y compris une nouvelle station de traitement (avec la même capacité de 79 Mm<sup>3</sup>/an), à l'exception de la prise d'eau. La troisième phase du projet devrait être réalisée à partir de 2025.

#### 4. Barrage de Lalla Takerkoust

La réalisation des ouvrages hydrauliques modernes au niveau du bassin du Tensift a commencé à partir des années 1930 avec la réalisation du barrage Lalla Takerkoust sur l'Oued N'fis pour irrigation du périmètre de N'fis. Le complexe Yacoub – Al Manssour – Lalla Takerkoust a été réalisé pour fournir un volume annuel de près de 107 Mm<sup>3</sup> dont 90 Mm<sup>3</sup> (84%) destiné à l'irrigation du N'fis et 17 Mm<sup>3</sup> (16%) à l'alimentation en eau potable et industrielle de la ville de Marrakech. Bien que cette dernière dotation soit prioritaire par rapport à celle du périmètre du N'fis, sa garantie n'est pas assurée parce que la fréquence et l'intensité des sécheresses pourraient augmenter et le volume de stockage pourrait diminuer à cause de l'envasement des barrages du complexe Lalla Takerkoust. Le barrage de Lalla Takerkoust a fait l'objet d'une surélévation de 9 mètres au début des années 1980, et a été renforcé par la construction du barrage Ouirgane.

Les sécheresses successives après 1980 ont diminué de façon significative les apports dans la retenue du barrage Lalla Takerkoust (la moyenne pour la période 1981-2008 est inférieure de 46% par rapport à 1941-1980), ce qui s'est traduit par de faible taux de remplissage de la retenue durant les années de sécheresse. C'est pourquoi, en réalité la contribution pour l'AEP de Marrakech a été beaucoup moins que 17 Mm<sup>3</sup>/an au cours des dernières années.

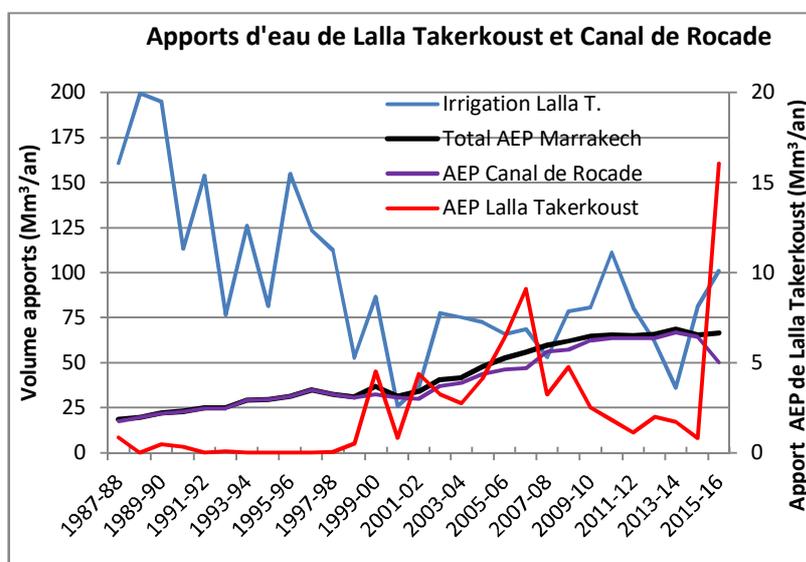


Figure VIII-1: La répartition des ressources en eau au niveau du barrage de Lalla Takerkoust entre AEP et irrigation.

L'approvisionnement de Lalla Takerkoust pour l'AEP de Marrakech a rarement dépassé 5 Mm<sup>3</sup> / an, sauf en 2015/16, où sa contribution a atteint 16 Mm<sup>3</sup> / an. En réalité, il varie la plupart du temps entre 1 et 4 Mm<sup>3</sup> / an. L'approvisionnement total en AEP pour Marrakech, y compris l'approvisionnement du Canal de Rocado, est presque constant depuis 2010 à 66 Mm<sup>3</sup> / an.

L'effet conjugué de l'impact négatives des changements climatiques, et de la perte de capacité par envasement des retenues de Yacoub – Al Mansour et de Lalla Takerkoust se traduiraient par une réduction substantielle des ressources en eau mobilisées au niveau de la branche de N'fis. Par suite, il est planifié que la contribution du complexe Lalla Takerkoust serait nulle à partir de 2030.

## 5. Les eaux souterraines

L'exploitation des eaux souterraines pour l'alimentation en eau potable du Grand Marrakech est largement affectée par la surexploitation de la nappe du Haouz. Jusqu'en 1963, l'exploitation de la nappe du Haouz pour les besoins de l'AEP de la ville de Marrakech se faisait uniquement par drainage naturel. A partir de 1984, date de la mise en service de l'adduction à partir du Canal de Rocade, la pression sur les ressources en eau souterraines a baissée et les prélèvements de l'eau potable à partir des différents captages ont été réduits. A partir des années 2000, et suite aux baisses importantes du niveau de la nappe, dû à la surexploitation pour l'irrigation, l'ONEE a entamé les renforcements de l'eau potable de la ville à partir des eaux de surface. Le PDAIRE de Tensift a alloué les ressources en eau souterraines exclusivement à l'irrigation, et la dotation en eau potable pour Marrakech provenant de la nappe phréatique a donc été réduite à presque nul. Le graphique ci-dessous donne l'évolution de la production des eaux souterraines dans le périmètre de la ville de Marrakech. Actuellement une petite quantité d'eau souterraine est toujours utilisée par quelques terrains de golf (2 Mm<sup>3</sup>/an).

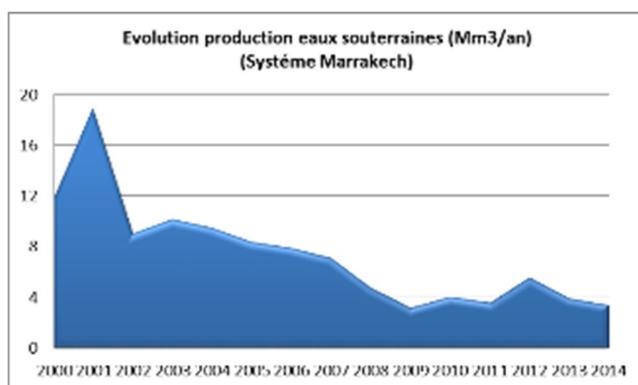


Figure VIII-2: Évolution de la production des eaux souterraines dans le périmètre de la ville de Marrakech (source : ONEE)

Historiquement, cette région dépend des eaux souterraines comme principale ressource en eau, mais la pression sur ces eaux souterraines progresse d'année en année, notamment du fait du développement de l'irrigation à grande échelle, du tourisme et de la croissance de la population. Cette augmentation de la demande conduit actuellement à une baisse du niveau de la nappe phréatique dans certains secteurs : les baisses moyennes du niveau d'eau observées depuis 20 ans sont de l'ordre de 0,8 à 1,6 m/an dans les secteurs du N'fis et du Haouz central et de 0,2 à 0,5 m/an dans le secteur oriental (CSEC, 2001)<sup>4</sup>.

Nous présentons ci-dessous les principales conclusions de la dernière étude d'actualisation du bilan de la nappe du Haouz (GIZ, 2016<sup>5</sup>). Le rapport sur l'étude du plan de gestion intégrée des ressources en eau dans la plaine du Haouz (JICA, 2008<sup>6</sup>) ainsi que le site internet de l'ABHT ont également été mis à contribution pour présenter cette section synthétique sur la nappe du Haouz.

<sup>4</sup> CSEC, 2001 : Plan directeur pour le développement des ressources en eau du bassin du Tensift, 9<sup>e</sup> session. Conseil Supérieur de l'Eau et du Climat, Direction de l'Hydraulique, Rabat, Maroc.

<sup>5</sup> GIZ, 2016 : Élaboration de la convention GIRE du Bassin de Haouz-Mejjate, Diagnostic du bassin global.

<sup>6</sup> [http://open\\_jicareport.jica.go.jp/pdf/11892460\\_02.pdf](http://open_jicareport.jica.go.jp/pdf/11892460_02.pdf)



Figure VIII-3: Carte des principales nappes de la zone d'action de l'ABHT (<http://saidi.ma/memoires/tourab.pdf>)

**Nappe du Haouz – Caractéristiques :** La nappe du Haouz s'étend sur une surface de 6 859 km<sup>2</sup>, entre l'oued Chichaoua à l'Ouest, l'oued Tessaout à l'Est, l'oued Tensift au Nord et la chaîne du Haut-Atlas au Sud. Les eaux souterraines s'écoulent dans les formations du plio-quaternaire (sables argileux, calcaires lacustres, galets et graviers à matrice sablo-argileuse) dont la puissance globale varie entre 50 et 80 m et peut atteindre localement 120 m. Ces formations se déposent sur le substratum des marnes du Miocène ou de schistes du Viséen. La surface libre de la nappe s'établit en moyenne à 30 m sous le niveau du sol, mais se situe entre 5 à 10 m le long de l'Oued Tensift et peut descendre jusqu'à 80 m le long du piémont de l'Atlas. Dans les zones où l'eau souterraine fait l'objet d'une exploitation intensive, elle s'établit aux environs de 40 à 50 m. Les productivités de la nappe sont généralement bonnes. Elles sont de quelques litres par seconde et peuvent atteindre par endroit 50 l/s ; mais en se rapprochant de la zone piémontaise, elles deviennent de plus en plus faibles. Ces productivités qui traduisent des caractéristiques hydrodynamiques de la nappe (perméabilité et transmissivité) très variables, sont en fait dues à l'hétérogénéité de l'aquifère. Les réserves de la nappe sont estimées entre 7 et 9 milliards de m<sup>3</sup> d'eau (SINAN, 2003)<sup>7</sup> pour une recharge annuelle moyenne (2001-2013) estimée à environ 400 Mm<sup>3</sup> (GIZ, 2016).

**Nappe du Haouz – Alimentations naturelles :**

L'alimentation naturelle de la nappe du Haouz s'effectue par :

L'infiltration directe des eaux de pluie sur la plaine et au niveau des formations éocènes et crétacées du Haut Atlas central entre 1300 et 1900 m et sur les calcaires et marno-calcaires liasiques du Haouz oriental entre 1 200 et 1 600 m, en plus de l'infiltration des eaux des oueds au piémont de l'Atlas.

L'infiltration de l'eau d'irrigation en excès (qu'elle provienne d'eaux souterraines ou de surface)

<sup>7</sup> SINAN M. et al, 2003 : Utilisation des SIG pour la caractérisation de la vulnérabilité et de la sensibilité à la pollution des nappes d'eau souterraine. Application à la nappe du Haouz de Marrakech, Maroc, 2<sup>nd</sup> FIG Conférence Régional, 2-5 décembre, Marrakech, Maroc.

L'infiltration préférentielle le long des lits mineurs des oueds et le long du réseau de séguías traditionnelles

Les apports latéraux depuis les formations géologiques des montagnes de l'Atlas

La drainance<sup>8</sup> ascendante depuis les formations aquifères eo-crétacées qui forment, par endroit, le substratum des séries plio-quaternaires de l'aquifère de la plaine du Haouz. Ce terme n'est pas considéré dans le bilan de GIZ (2016) présenté ci-dessous. Une étude vient d'être lancée par l'ABHT pour caractériser cette nappe.

L'infiltration des eaux de pluie sur la plaine participe très peu à la recharge de la nappe du fait de l'existence d'une couverture limoneuse qui limite le taux d'infiltration à 4% (JICA, GIZ). Le suivi piézométrique de la nappe, montre que cette dernière ne réagit pas rapidement pendant les années pluvieuses.

**Nappe du Haouz- Bilans 2001-2013** : L'analyse de l'historique des bilans de la nappe sur la période 2001-2013 montrent que les retours des eaux d'irrigation vers la nappe constituent la part la plus importante de l'alimentation de cette nappe (42% de l'alimentation globale) ; suivis de l'infiltration des eaux de pluie au niveau de la plaine et au droit du Haut Atlas (combinés dans le graphique ci-dessous pour former 36% dont la majorité provient de l'infiltration en altitude). L'infiltration des eaux de ruissellement contribue à hauteur de 20% environ. On note que la recharge des précipitations et des rivières, soit 181 Mm<sup>3</sup> / an sur une zone aquifère de 6 860 km<sup>2</sup>, équivaut à 26 mm / an soit environ 12% des précipitations annuelles de 220 mm / an.

Années	Entrées (Mm <sup>3</sup> )						Sorties (Mm <sup>3</sup> )				Bilan (Mm <sup>3</sup> )
	Infiltration des précipitations	Infiltration oueds	Retour des eaux d'irrigation	Retour au niveau des séguías	Apport latéral Sud	Total entrées	Agriculture	Pompages ONEP	Drainage Tensift	Total sorties	
2001-2002	117	18	160	26	11	331	663	84	2	749	-417
2002-2003	139	24	163	35	11	372	564	25	2	590	-219
2003-2004	175	44	159	40	11	430	457	25	2	484	-54
2004-2005	89	27	178	27	11	332	707	26	2	734	-402
2005-2006	180	37	148	42	11	419	392	21	2	415	4
2006-2007	107	34	162	36	11	350	552	22	2	575	-225
2007-2008	92	24	160	33	11	320	597	22	2	620	-300
2008-2009	222	68	173	70	11	544	255	22	2	278	266
2009-2010	177	69	158	53	11	467	385	22	2	408	58
2010-2011	175	37	181	46	11	449	555	22	2	579	-130
2011-2012	119	33	183	26	11	372	753	23	2	777	-405
2012-2013	137	32	164	27	11	371	635	24	2	660	-289
<b>Moyen</b>	<b>144</b>	<b>37</b>	<b>166<sup>9</sup></b>	<b>38</b>	<b>11</b>	<b>396</b>	<b>543</b>	<b>28</b>	<b>2</b>	<b>572</b>	<b>-176</b>
<b>Pourcentage</b>	36%	9%	42%	10%	3%	100%	95%	5%	0%	100%	-44%

<sup>8</sup> Flux d'eau, à composante essentiellement verticale, passant d'un aquifère à un autre.

<sup>9</sup> Selon GIZ (2016) le 2/3<sup>ème</sup> de l'irrigation provient des eaux souterraines et le 1/3<sup>ème</sup> provient des eaux de surface.

Tableau VIII-1: Bilan de la nappe du Haouz – période 2001/2013 (Source : GIZ, 2016)

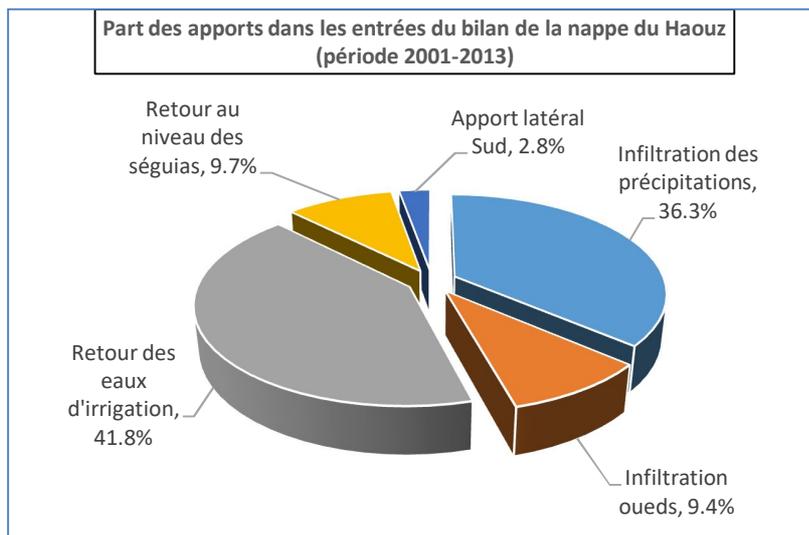


Figure VIII-4 : Les entrées du bilan de la nappe du Haouz

#### Nappe du Haouz – Historiques piézométriques : Période 1970-2000

L'analyse des historiques piézométriques montre que la mise en service des périmètres irrigués (irrigation gravitaire) a eu une influence certaine sur la nappe. En effet, la baisse de niveau observée avant la réalisation des périmètres irrigués, a été atténuée par les retours des eaux d'irrigation malgré l'augmentation du nombre de captages (puits et forages) qui étaient estimés à 25 000 en 2014<sup>10</sup>. La plupart des points d'observation du Haouz montrent une baisse du niveau piézométrique de la nappe entre 1981 et 1987. Après 1987, différents secteurs ont connu une remontée piézométrique d'ampleur variable liée à la diminution des volumes d'eau pompés à la suite de la mise en eau des périmètres irrigués à partir des barrages (Razoki, 2001)<sup>11</sup>. Ci-après, l'analyse d'Abourida (2007)<sup>12</sup> a été reproduite, qui caractérise le comportement de la nappe par secteur pendant la période 1970 – 2000.

<sup>10</sup> ABHT, 2014 : Gestion participative des ressources en eau souterraines, contrat de la nappe du Haouz-Mejjate. Communication orale.

<sup>11</sup> Razoki, B., 2001 : Mise en place d'un système de gestion de base de données pour la gestion des ressources en eaux souterraines de la plaine du Haouz (Meseta occidentale, Maroc). Thèse Université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc

<sup>12</sup> Abourida A., 2007 : Approche hydrogéologique de la nappe du Haouz (Maroc) par télédétection, isotope, SIG et modélisation. Thèse Université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc

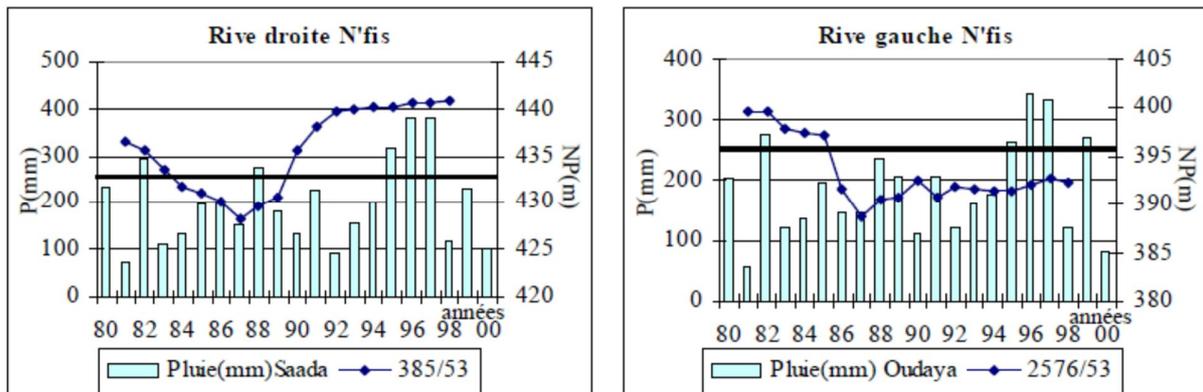


Figure VIII-5 : Historiques piézométriques pour la rive droit et gauche du fleuve N'fis

Au niveau du secteur N'fis, le piézomètre 385/53 situé en rive droite présente une baisse de 8 m entre 1981 et 1987 soit plus de 1 mètre par an. De 1989 à 1992 une importante remontée, d'environ 9 m est enregistrée, liée à la mise en eau du secteur d'irrigation du N'fis. Après cette date, le niveau piézométrique n'a subi que des variations légères malgré des précipitations relativement élevées en 1994, 1995 et 1996. Ceci indique que l'infiltration directe des précipitations a un effet moindre sur l'alimentation de la nappe. Au niveau de la rive gauche du secteur N'fis, le piézomètre 2576/53 montre une baisse qui atteint 10 m entre 1981 et 1987, suivie d'une remontée d'environ 5 m entre 1987 et 1990 liée à l'apport des eaux d'irrigation dérivées des crues de l'oued N'fis survenues lors de ces années.

En dehors des périmètres irrigués au Haouz central, la relation entre infiltration pluviale et variation piézométrique n'est pas évidente, le ruissellement concentré dans le réseau hydrographique semble plus important que l'infiltration diffuse de la pluie. Ainsi, le piézomètre situé à proximité de l'oued Tensift montre une évolution erratique, témoignant de la contribution importante des crues à la recharge de la nappe.

Au contraire, d'autres zones montrent une baisse continue due à une surexploitation locale de la nappe. Dans le périmètre de la Tessaout amont, la baisse du niveau piézométrique entre 1980 et 1987 va de 2 m au nord du périmètre à 6 m à l'ouest. Ceci traduit une exploitation des eaux de la nappe, à la suite du déficit pluviométrique au cours de ces années. Après 1987, une légère remontée d'un mètre est observée au nord du secteur suite à la diminution des volumes d'eau pompés de la nappe qui est lié à l'apport d'eau de surface à partir des barrages et à l'augmentation des précipitations au cours de 1988 et 1990.

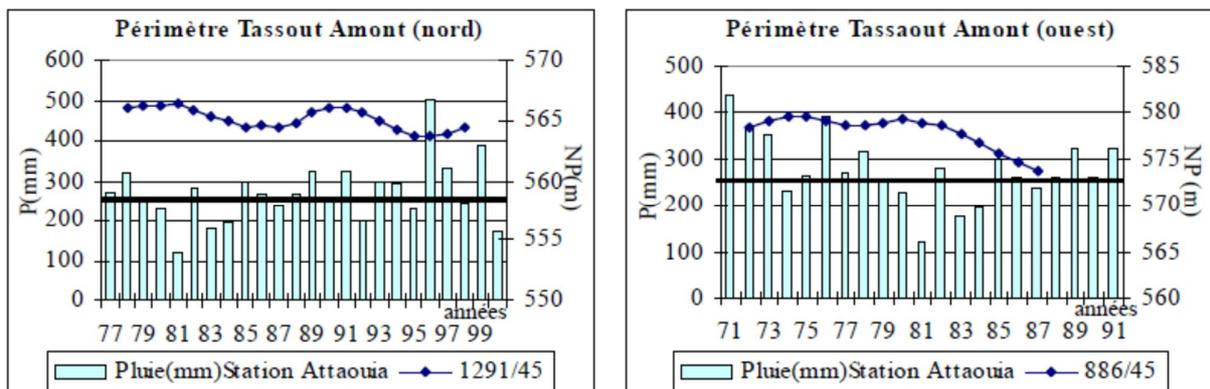


Figure VIII-6: Historiques piézométriques pour le périmètre de Tessaout

### **Nappe du Haouz – Historiques piézométriques : Période 2006-2014**

Nous reproduisons ci-après aussi l'analyse du rapport de GIZ (2016) qui caractérise le comportement de la nappe par secteur durant la période 2006-2014 : L'effet des pompages a provoqué des baisses au niveau de l'ensemble de la nappe de l'ordre de 20 mètres en moyenne et qui atteignent 60 mètres au niveau des périmètres agricoles du N'Fis et du Haouz Oriental. En rive gauche dans la partie amont du périmètre du N'Fis (Piézomètre n°3849/53) de mai 2005 à janvier 2015 on assiste à une succession de baisses et de remontées correspondant à la succession de périodes sèches où les pompages s'accroissent et à des périodes humides où l'irrigation par les eaux de surface régularisées est relativement développée.

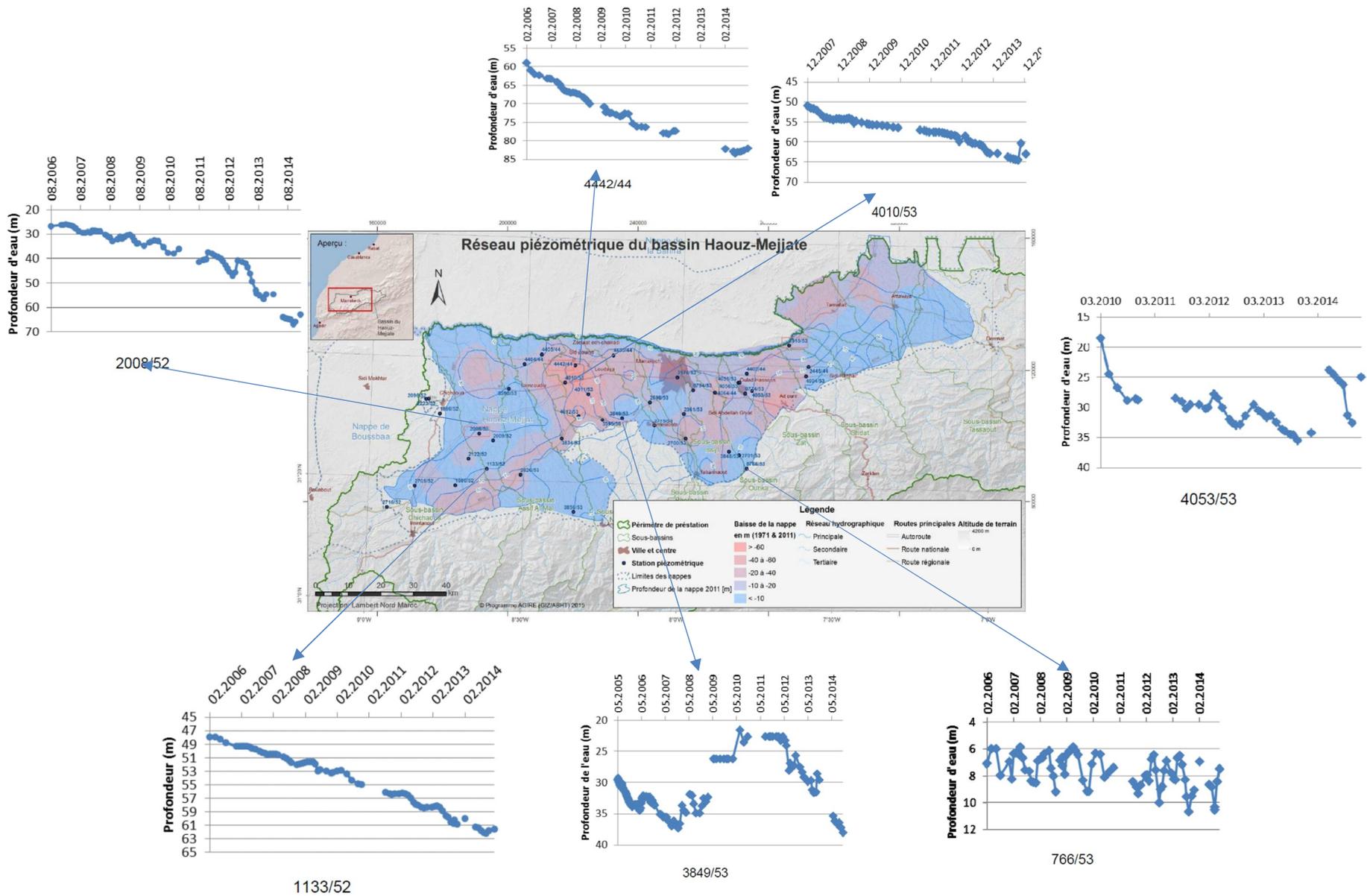


Figure VIII-7: Comportement de la nappe de Haouz-Mejjate par secteur

Dans les secteurs de Sidi Zouine (piézomètre N° 4442/44) et de Loudaya (piézomètres n°4010/53), on assiste à une baisse continue de 2,5 m/an et de 2 m/an en moyenne, respectivement. Ces baisses sont causées par les pompages excessifs qui compensent le déficit de la dotation en eau de surface par des prélèvements d'eau souterraine.

Dans la zone d'alimentation par les oueds (Oued Ourika, piézomètre n°766/53), le niveau piézométrique fluctue entre 5 et 10 mètres de profondeur suivant l'importance du sous-écoulement de l'oued. Dans la plaine de Mejjate, on observe une baisse continue variant de 1,50 m/an (piézomètre 1133/52) à 3,50 m/an (piézomètre 2008/52).

Au niveau des seuils de recharge sur l'oued Imin zat (piézomètre n° 4053/53), on observe une succession de baisses et de remontées du niveau statique, le niveau piézométrique moyen se stabilisant vers 25 m de profondeur et ce, du fait probablement de l'action conjointe de l'étalement des eaux de crues à l'aval des seuils et de l'irrigation à l'aide des prélèvements au fil de l'eau par des séguias en terre en amont des seuils qui compense les prélèvements par pompage. Ce comportement de la nappe du Haouz montre la dépendance de son bilan vis-à-vis des retours des eaux d'irrigation et de la pluviométrie au niveau du Haut-Atlas.

**Impacts du Plan national d'économie de l'eau en irrigation (PNEEI) :** La mise en œuvre du Plan national d'économie de l'eau en irrigation (PNEEI) s'appuie, dans le cas du bassin du Haouz, sur la reconversion de l'irrigation gravitaire de 80 600 hectares de grande hydraulique (GH périmètres du N'Fis dans le Haouz central et de la Tessaout amont dans le Haouz oriental) vers l'irrigation localisée (irrigation goutte à goutte). Cette reconversion de l'irrigation constitue une des mesures phares de l'atténuation des impacts des prélèvements sur la nappe du Haouz. En effet, parmi les effets attendus du PNEEI, figure l'économie de l'eau d'irrigation d'environ 20% à 50%<sup>13</sup>. Il est également attendu que les pompages agricoles diminueraient de façon significative, car la technique du goutte à goutte permet de faire des économies significatives sur les eaux de surface et donc de rendre disponible cette ressource sur une plus longue période de l'année et de s'affranchir partiellement des pompages qui surviennent en été. Avec l'irrigation gravitaire, les volumes d'eau de surface utilisés étaient tels que les réserves en eau de surface ne suffisaient pas à couvrir les besoins des assolements d'été. Pendant les longues périodes de sécheresse, même les besoins en eau d'hiver des périmètres ne sont pas totalement satisfaits.

Par ailleurs, l'économie de l'eau de surface grâce à l'irrigation localisée, engendrerait une baisse de la recharge de la nappe, par la réduction des retours d'eaux d'irrigation. Ces derniers sont estimés actuellement à 166 Mm<sup>3</sup>/an en moyenne (sur la période 2001-2013 (GIZ, 2016)). Si l'on considère que la part des eaux de surface contribuent à hauteur d'environ 202 Mm<sup>3</sup>/an (27%) des eaux d'irrigation et celle des eaux souterraines à 543 Mm<sup>3</sup>/an, un volume de recharge de 45 Mm<sup>3</sup>/an s'origine des eaux de surface et 121 Mm<sup>3</sup>/an s'origine des eaux souterraines, en total 22.3% de la dotation d'eau pour l'irrigation gravitaire. Donc, l'irrigation localisée à partir des eaux de surface, entraînerait une diminution de 25 à 45 Mm<sup>3</sup>/an des retours "des eaux de surface d'irrigation", considérant que, en raison de l'intensification agricole potentielle la recharge sera beaucoup plus affectée que l'évaporation et la transpiration, et pourrait même être complètement éliminé.

Le PNEEI n'avance pas une estimation des économies escomptées sur les prélèvements des eaux souterraines. Ces pompages agricoles s'élèvent actuellement à environ 543 Mm<sup>3</sup>/an et intéressent principalement les périmètres irrigués (voir carte des baisses de la nappe). Si l'on considère que l'impact de l'irrigation localisée est identique pour les eaux de surface (20% à 50% de réduction de la demande en eau) et pour les eaux souterraines, et que les pompages seront réduits aussi de 20% à 50%, l'irrigation au

---

<sup>13</sup> M. Belghiti, 2009 : Le plan national d'économie d'eau en irrigation (PNEEI): une réponse au défi de la raréfaction des ressources en eau, Revue HTE N°143/144

goutte-à-goutte entraînerait facilement une diminution de la recharge de 50% à 100% des retours "des eaux souterraines d'irrigation". Par conséquent, le bilan hydrique net de l'aquifère pourrait s'améliorer avec 25 à 100 Mm<sup>3</sup>/an. Cependant, il existe de nombreux rapports selon lesquels l'irrigation par goutte à goutte vient souvent avec l'intensification de l'agriculture, ce qui entraîne des pertes inchangées pour l'évaporation et la transpiration et une élimination complète de la recharge de l'aquifère. Dans ce cas, le bilan hydrique net de l'aquifère resterait inchangé sous l'irrigation par goutte à goutte. Ainsi, l'irrigation au goutte-à-goutte améliorerait légèrement le solde net des eaux souterraines ou laisserait la même inchangée.

**Changement climatique : Changement climatique :** Les effets négatifs des changements climatiques à l'horizon 2050 (scenario moyen), se traduiraient par une baisse des précipitations d'environ 20 % et par une réduction des apports en eau d'environ 50 %. Ces baisses engendreraient une augmentation de la pression sur les eaux souterraines par les agriculteurs pour satisfaire les besoins en eau des assolements. Le tableau ci-dessous contient le bilan moyen de la nappe du Haouz correspondant à la période actuelle (2001-2013) et le bilan de la nappe projeté à l'horizon 2050.

Scenario	Infiltration des précipitations	Infiltration oueds	Retour des eaux d'irrigation	Retour des séguías	Apport latéral Sud	Total entrées
Actuel	144	37	166	38	11	396
Impact CC	- 20%	- 50%	- 45 (eau de surface)	- 50%	- 20%	-114
Avec CC - moyen	115	18	121	19	9	282

Tableau VIII-2: Bilan moyen de la nappe du Haouz – actuel et avec l'impact du scénario moyen des changements climatiques (en Mm<sup>3</sup>/an)

Ainsi, une diminution de 20% de la pluviométrie et de 50% du ruissellement, avec le même bilan net des prélèvements de la nappe et retour des eaux souterraines (recharge) mais avec une diminution de la recharge de l'eau de surface, se traduiraient par une augmentation du déficit de la nappe de l'ordre de 114 Mm<sup>3</sup>/an en plus du déficit existant (176 Mm<sup>3</sup>/an), soit un déficit de 290 Mm<sup>3</sup>/an.

Par ailleurs, les années où le bilan de la nappe est déficitaire seraient plus fréquentes qu'actuellement, ce qui aggraverait la surexploitation de la nappe déjà observée actuellement dans certains secteurs de la nappe. Ces déficits supplémentaires se traduiraient par la baisse des réserves non renouvelables de la nappe et par la baisse de la productivité des captages. Pour contrebalancer les pertes d'alimentation de la nappe dues à la baisse des retours des eaux d'irrigation, il faudrait soit assurer une recharge artificielle dans les secteurs irrigués, soit diminuer les volumes des prélèvements d'eau de la nappe par pompage. **Cette dernière option suppose une réduction des superficies irriguées et/ou le remplacement des assolements forts consommateurs d'eau par ceux qui en consomment moins par hectare et par an.**

## Conclusion

Les observations piézométriques de la nappe du Haouz montrent à quel point cette dernière est sollicitée par les prélèvements agricoles, ainsi que sa dépendance vis-à-vis des retours des eaux d'irrigation pour assurer sa recharge.

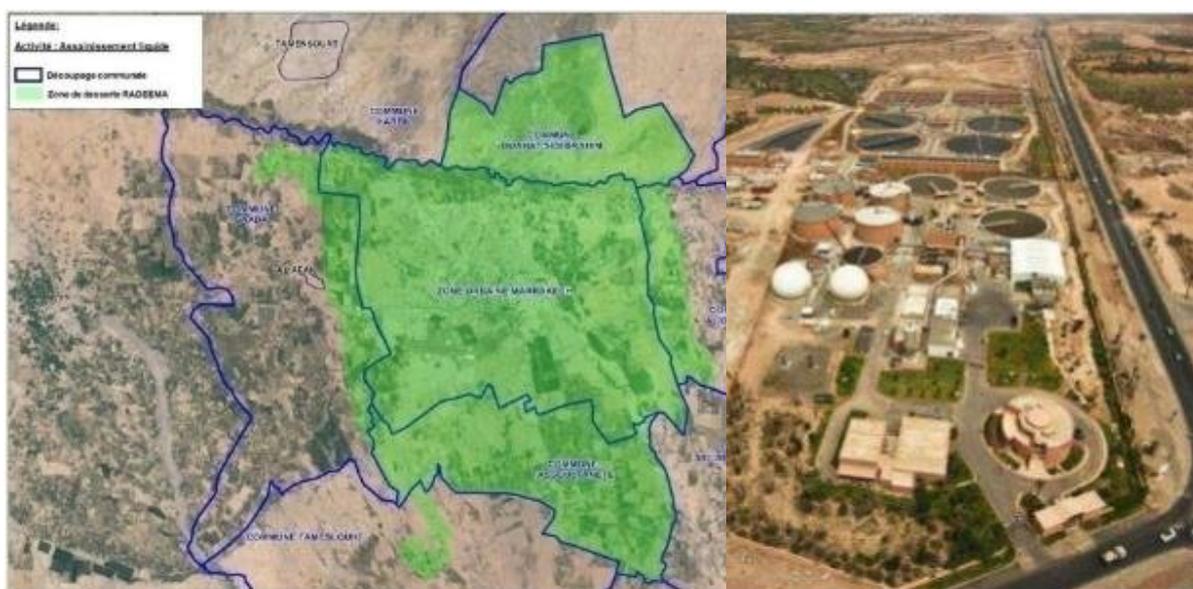
La figure précédente montre la carte des baisses des niveaux piézométriques entre 1971 et 2011. Les secteurs qui connaissent les baisses les plus importantes sont localisés dans les périmètres irrigués du N'fis et de la Tessaout amont. Les opérations de recharge artificielle actuelles et programmées dans le bassin du Haouz permettront d'améliorer la productivité des captages (AEPI et agricoles). Par contre, si la baisse des niveaux piézométriques de la nappe se maintient, ou s'aggrave, dans un contexte des

changements climatiques, le risque d'épuisement des réserves deviendrait alors persistant. Dans ce cas, le plan d'action, visant à favoriser une exploitation durable des ressources en eau de la nappe du Haouz, devrait tenir compte de l'impact projeté de l'accroissement du déficit de la nappe de l'ordre de 100 Mm<sup>3</sup>/an ou plus quand la recharge des sources d'eau de surface serait réduite en raison de l'irrigation croissante par goutte à goutte.

## 6. Réutilisation des eaux usées

La zone desservie par le réseau d'assainissement liquide de la RADEEMA comprend l'agglomération de Marrakech. Cette zone d'action s'étend sur une superficie de 23.8 km<sup>2</sup> avec une population d'environ 1 million d'habitants. Le taux de desserte est d'environ 90% et le linéaire du réseau est de 2 740 kilomètres.

Fig. 5.10 : Zone d'action d'assainissement liquide de la RADEEMA et vue aérienne de la STEP de Marrakech



La collecte et le transport des eaux usées sont assurés en général grâce à une canalisation gravitaire. Cependant, certaines zones sont équipées de stations de pompage (16 stations étaient en service à la fin de l'année 2015). Selon les endroits et les années de construction, le réseau d'assainissement de la ville de Marrakech est réalisé comme système unitaire (anciens quartiers de la ville), système séparatif (zone industrielle Sidi Ghanem, zones touristiques) ou système pseudo-séparatif (zone M'hamid zone Targa). La planification d'assainissement urbain est basée sur le Schéma Directeur qui définit entre autres les projets d'investissement. Selon les informations de la RADEEMA, le Schéma directeur prescrit pour la construction de grands complexes immobiliers, touristiques ou industriels des canalisations séparatives et des bassins de rétention et infiltrations.

La Station d'Épuration des Eaux Usées (STEP) a été réalisée en deux phases: la première phase consiste en un traitement primaire par un procédé de boues activées. Cette phase est opérationnelle depuis 2009. La deuxième phase consiste en l'extension du traitement jusqu'au niveau tertiaire, et permet d'avoir une eau traitée utilisable pour l'arrosage des terrains de golfs et des espaces verts en Marrakech. Cette phase

est opérationnelle depuis décembre 2011<sup>14</sup>. La capacité de traitement de la station est de 1.3 millions d'équivalent habitant avec un débit nominal de 118 000 m<sup>3</sup> par jour (43 Mm<sup>3</sup>/an). L'eau traitée est stockée dans un bassin d'une capacité de 9 000 m<sup>3</sup>, avant de passer dans un circuit du réseau de distribution des eaux traitées qui s'étend sur un linéaire de 80 km de conduites de diamètres compris entre 250 mm à 1 100 mm alimentant les terrains de golfs à travers cinq stations de pompage.

La STEP traite la quasi-totalité des eaux résiduaires urbaines de la ville de Marrakech et offre des ressources en eau non-conventionnelles (eaux usées épurées) d'une capacité de l'ordre de 33 Mm<sup>3</sup> par an. This is about half of the gross water supply to the city, as follows: with physical losses of 25%, the gross supply of 66 Mm<sup>3</sup>/year yields a net supply of about 50 Mm<sup>3</sup>/year, of which about 80% is collected as wastewater (40 Mm<sup>3</sup>/year); in turn 83% of this amount is treated, yielding potentially 33 Mm<sup>3</sup>/year for reuse. Within the treatment process, methane gas from the fermentation of sludge is used to generate electricity, generating daily 30MWh electricity. This fulfills nearly 50%<sup>15</sup> of the total electricity need of the wastewater treatment plant. Le traitement tertiaire et le system de distribution permet d'assurer les besoins en eau d'irrigation des terrains de golf dont les besoins moyens sont estimé à environ 1 Mm<sup>3</sup> par an et terrain de golf. Sur les 19 projets prévus au niveau de Marrakech, 11 sont fonctionnels actuellement, 3 en cours de réalisation et 5 sont en stand-by. Sur les 11 golfs fonctionnels, 8 sont desservis par la STEP avec un volume d'eau usée traitée d'environ 6 Mm<sup>3</sup> par an (2015).

Les eaux usées traitées qui ne peuvent pas être utilisées pour l'irrigation des golfs (environ 27 Mm<sup>3</sup> par an en 2015) sont évacuées (après traitement au niveau 2) dans le fleuve du Tensift, where it may serve downstream riparians, or recharge the Haouz aquifer from the river bed. Il est donc à noter que la réutilisation des eaux usées épurées pour les golfs et les espaces verts se traduit par une réduction des volumes disponibles pour le secteur de l'irrigation informelle. Once all 20 planned golf courses are operational, they will together only require about 20 Mm<sup>3</sup>/year. The balance of recycled water will thus be available for other projects and irrigated agriculture, including the irrigation of the nearby located Palmeraie de Marrakech, faisant partie du Patrimoine de l'UNESCO. Dans une première phase, 390 ha de Palmeraie avec environ 200 000 palmiers sont déjà irrigués avec 0.75 Mm<sup>3</sup> par an d'eau usée traitée. A l'avenir proche, la totalité de la Palmeraie qui s'étend sur 810 h sera approvisionné par la STEP avec 1.5 Mm<sup>3</sup> par an.

La dotation en eau de chaque golf, ainsi que les conditions d'approvisionnement et de contribution financière sont régis par une convention passée entre la RADEEMA et les promoteurs. Selon RADEEMA, 17 golfs ont signé une convention et au moins deux continuent de s'approvisionner exclusivement à partir de la nappe et du Canal de Rocade et extraient environ 2.5 Mm<sup>3</sup> par an. Selon les clauses de la convention, les promoteurs sont tenus de couvrir au moins 80% des besoins des golfs par les eaux traitées; la différence est pompée de la nappe, car le m<sup>3</sup> pompé coûte moins cher (env. 0.5-1.5 MAD/m<sup>3</sup> incluant les frais d'abstraction de 0.04 MAD/m<sup>3</sup>) que le m<sup>3</sup> épuré (2.5 MAD/m<sup>3</sup>). Le coût du traitement tertiaire, du pompage et du transport vers les terrains de golf est de 3,6 MAD / m<sup>3</sup>. Ceci n'inclut pas le coût du traitement primaire et secondaire (2,2 MAD / m<sup>3</sup>), qui est obligatoire pour la libération de l'effluent dans la rivière Tensift lorsqu'il n'y a pas de réutilisation des eaux usées.

Selon les informations de la RADEEMA et des études environnementales<sup>16</sup>, les capacités hydrauliques des traitements primaire, secondaire et tertiaire seront saturées vers 2020. RADEEMA a donc initié la

---

<sup>14</sup> <http://www.fm6e.org/en/weec-2013/presse/toutes-les-revus-de-presse/revu-de-presse-categorie/788-la-ville-de-marrakech-gestionnaire-modele-de-ses-eaux.html>

<sup>15</sup> The STEP project is certified under the Clean Development Mechanism by the United Nations, and enlisted for the sales of carbon credits on the global market.

<sup>16</sup> Diagnostic et analyse de l'état de l'environnement dans l'espace aggloméré de Marrakech, Rapports Provisoires des Missions II et III, Marché no. 12/2012, Resing, Février 2014

planification de l'extension de la STEP ou bien de la construction d'une deuxième STEP. Pour le moment l'extension de la STEP existante est priorisée. En tenant compte de mesure d'économie d'eau (par exemple irrigation goutte-à-goutte, arrosage automatisé des terrains de golf selon les besoins actuels mesurés en continue, remplacement du gazon dans les espaces verts par des plantes plus économiques en consommation d'eau), les besoins d'arrosage par hectare devraient se stabiliser et diminuer à long-terme. A l'horizon 2030, la demande en eau d'irrigation pour Marrakech est estimée à environ 35 Mm<sup>3</sup>/an.

## 7. Réutilisation des eaux grises dans les hôtels

La consommation en eau potable dans les hôtels et hébergements de Marrakech est très considérable. En assumant selon les figures ci-dessous une capacité actuelle d'environ 80'000 lits, une consommation modérée spécifique de 300 litres par nuitée et un taux d'occupation moyen de 40%, la consommation annuelle est estimée présentement à environ 3.5 Mm<sup>3</sup> par an. Ce chiffre est plus élevé que les ventes de la RADEEMA aux clients de catégorie touristique spécifiées pour 2015 à 2.7 Mm<sup>3</sup> / an.

Catégorie	Standards de consommation d'eau au Maroc (litre / nuitée)
Hôtel 5* Grand Luxe	600
Hôtel 5*	500
Hôtel 4*	400
Hôtel 3*	300
Ryad, équivalent 5*	500
Villa	300
Village de vacances, équivalent 4*	350
Appart-hôtel	250
Appartement	180

*Tableau VIII-3: Standards marocain de consommation en eau potable des hébergements<sup>17</sup>*

A Marrakech, les établissements hôteliers disposent de sources diverses en eau. L'alimentation en eau potable est assurée principalement par la RADEEMA. Pour les autres usages, les établissements disposent souvent de ressources alternatives permettant de réduire la facture d'eau et de disposer d'une flexibilité en matière d'approvisionnement en eau.

Le Plan national pour le développement des activités touristique conçu en 2010 a comme ambition d'imposer le Maroc comme un modèle touristique combinant une croissance soutenue avec une gestion responsable de l'environnement et le respect de l'authenticité culturelle du Maroc. En considérant que la consommation en eau potable du secteur touristique devrait encore augmenter et pourrait atteindre une demande de 5 à 10 Mm<sup>3</sup> par an à partir de 2050, le potentiel pour des économies est considérable. Car la réalisation des économies de l'eau dans des établissements de luxe représente un défi, des mesures de recyclage d'eau ou bien de la réutilisation des eaux grises relativement peu polluées des douches, buanderies et piscines représentent une option pertinente avec un potentiel de plusieurs millions de m<sup>3</sup> par an. En effet, dans des établissements touristiques plus de 50% de la consommation en eau potable correspond à l'eau grise peu polluée et relativement facile à traiter et réutiliser. Selon des études pilotes

<sup>17</sup> Source: ONEP/ABHT, Mission I, Inventaires des établissements touristiques [...], 2010

en Jordanie<sup>18</sup> le potentiel d'économie de la réutilisation des eaux grises est d'un ordre de grandeur de 15 à 20 m<sup>3</sup> par chambre d'hôtel par an. Une augmentation de capacité de 20 000 lits ou 10 000 chambres correspond donc à un potentiel d'économie d'environ 150 000 à 200 000 m<sup>3</sup> par an sans compromettre la qualité des services ou les conditions sanitaires.

---

<sup>18</sup> In-house Grey Water Reuse for Large-Volume Consumers in Jordan, Silke Rothenberger et. al, 2011

## ANNEXE IX - Demande en eau pour le Grand Marrakech

### 1. A L'échelle du Bassin de Tensift

Selon le PDAIRE, les besoins actuels en eau potable et industrielle sont de 128 Mm<sup>3</sup> dont 106 Mm<sup>3</sup> pour le Haut Tensift. Une évaluation plus actualisée montre que ces besoins sont sous-estimés car pour la seule région de Marrakech, ces besoins s'évaluent à 126 Mm<sup>3</sup>/an, y compris la demande en eau d'El Kelaa et Azilal. Les besoins en eau d'irrigation s'élèvent à 1 625 Mm<sup>3</sup> répartis comme suit :

- 348 Mm<sup>3</sup> pour la Grande Hydraulique (GH)
- 562 Mm<sup>3</sup> pour la Petite et Moyenne Hydraulique (PMH) zone DPA
- 444 Mm<sup>3</sup> pour la Petite et Moyenne Hydraulique (PMH) zone ORMVA
- 271 Mm<sup>3</sup> pour l'irrigation privée

Secteur	Total besoins (2010) en Mm <sup>3</sup> /an	Ressources actuellement mobilisées (Mm <sup>3</sup> /an)				Déficit
		Eaux superficielles régularisées	Eaux souterraines	Prélèvement au fil de l'eau	Total ressources	
AEPI	128	82	46		128	0
Agriculture irriguée	1 625	243	438	645	1 326	-299
Espaces verts et golfs	22		22		22	0
Totaux	1 775	325	506	645	1 476	-299

Tableau IX-1: Structure de la demande agricole actuelle dans le Tensift selon le PDAIRE de l'ABHT

Ainsi le déficit en année « normale » ou moyenne est de l'ordre de 300 Mm<sup>3</sup>/an pour l'ensemble du bassin du Tensift. En année sèche, correspondant à un décile de 20%, la baisse des apports est de l'ordre de 40% par rapport à la valeur moyenne. Cette baisse affectera directement les volumes stockés dans les ouvrages et indirectement le renouvellement des eaux souterraines.

Compte tenu de la faible capacité de régularisation interannuelle des barrages de la zone, on peut supposer qu'une succession de 2 ou 3 années sèches se traduirait par une baisse dramatique de la ressource mobilisée du même ordre de grandeur de la réduction des apports, soit de 40%. Ceci correspondrait alors à un déficit global de presque 900 Mm<sup>3</sup>/an qui impactera directement les dotations agricoles.

### 2. A L'échelle de la Zone de Marrakech

La zone de Marrakech, objet de l'étude en cours, comprend une étendue spatiale qui déborde largement au-delà du périmètre urbain administratif. Cette zone inclut :

La zone d'action de la RADEEMA, regroupant les communes urbaines de la ville de Marrakech, la commune de Ouahat Sidi Brahim, la ville de Tamansourt (Commune de Harbil, située au Mord) et le centre de Tassoultante (Commune de Tassoultante, située au Sud)

Les centres périurbains et ruraux alimentés par l'ONEE, regroupant plusieurs communes aux alentours de Marrakech, relevant des provinces de Marrakech, du Haouz et de Rhamna (M'Nabha, Loudaya, Sid Zouine, Ait Ourir, Amizmiz, Tahannaout, Ghmate, Sidi Abdellah Ghiat, Lalla Takerkoust, Moulay Brahim, Tameslohte, Rural Haouz, Ben Guérir, Sidi Bouhtmane et Skhour Rhémna)

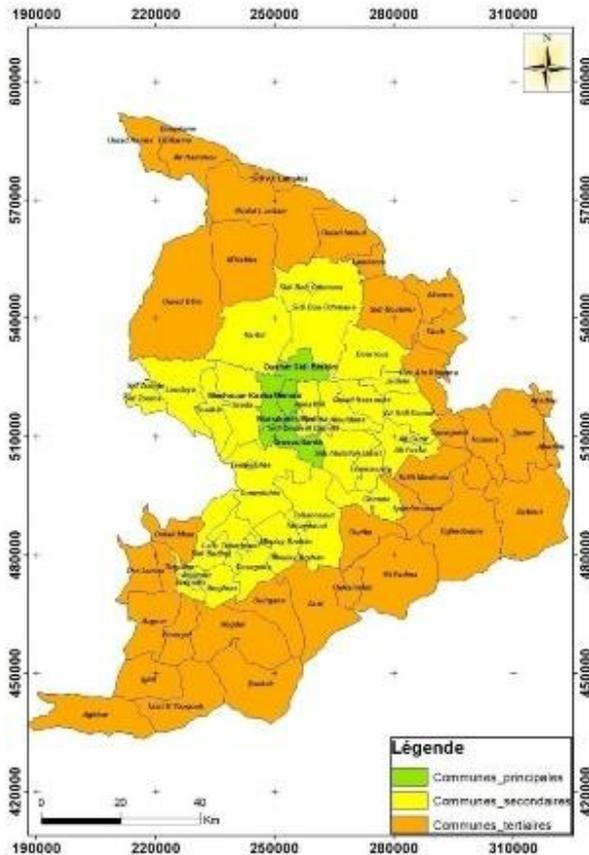


Figure IX-1: Délimitation et couverture communale de la zone de Marrakech (zone RADEEMA en vert)

## 2.1 Alimentation en eau potable et industrielle

Le tableau suivant résume les demandes d'eau pour la région de Marrakech en 2015.

Zone	Canal de Rocade & Lalla Takerkoust	Eaux souterraines	Total
RADEEMA - Marrakech	66.0		66.0
Demande autres centres urbains	11.7	7.9	19.6
Demande prov. de Haouz	14.6	4.5	19.1
Demande prov. de Rehamna	3.7	3.0	6.7
Demande El Kelaa et Azilal	15.0		15.0
Demande en eau totale	111.0	15.4	126.4
Dotation en eau allouée à AEP	70.7	15.4	86.1
Bilan hydrique eau potable	-40.3	0	-40.3

Tableau IX-2: Dotations actuelles en eau potable dans la zone de Marrakech en 2015 (Mm<sup>3</sup>/an)

## 2.2 Agriculture

La demande actuelle en eau agricole a été estimée à partir du PDAIRE. Cette demande englobe tous les périmètres irrigués relevant de la Grande Hydraulique (GH), de la Petite et Moyenne Hydraulique (PMH) et de l'irrigation privée ou traditionnelle. La gestion de l'eau agricole est confiée selon la nature du périmètre, à l'ORMVA, aux DPA ou aux associations des usagers de l'eau agricole ou encore aux

investisseurs privés. La ressource allouée vient des apports du Nfis, régularisé ou non par les barrages de Lalla Takerkoust et Yacoub al Mansour (Wirgane), du canal de Rocade ou de la nappe du Haouz.

Secteurs	Superficie (Ha)	Besoins actuels en tête de périmètre (Mm <sup>3</sup> /an)
Secteurs du NFIS RD irrigué à partir du canal de Rocade	17 400	141
Secteurs du HAOUZ CENTRAL irrigué à partir du canal de Rocade	14 300	125
Secteurs du NFIS RD irrigué à partir du barrage Lalla Takerkoust	4 000	83
PMH nappe Haouz		110
Irrigation privée à partir de la nappe du Haouz	84 750	241
<b>Total</b>		<b>700</b>

Tableau IX-3 : Structure de la demande agricole actuelle dans la zone de Marrakech

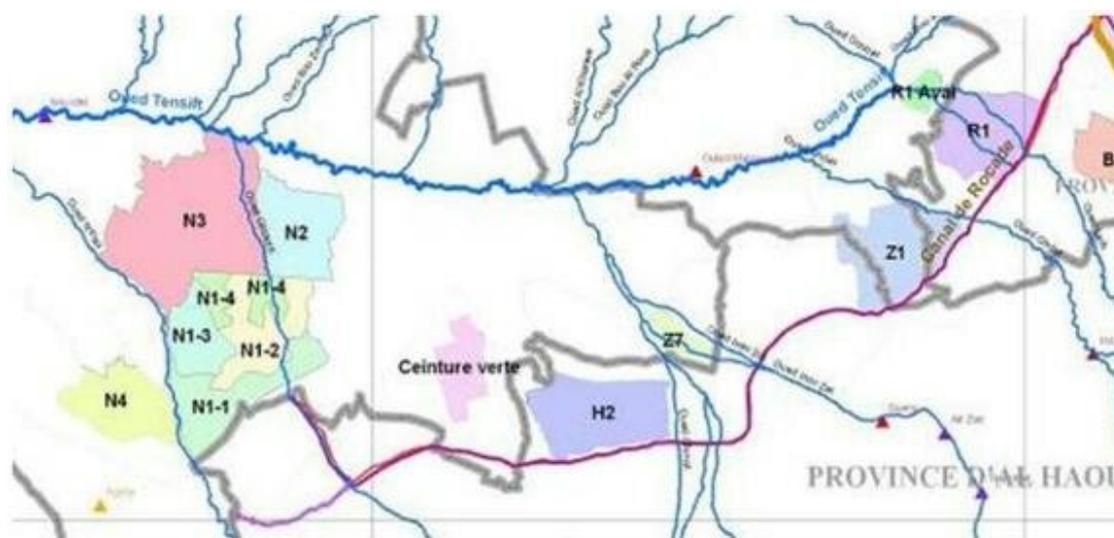


Figure IX-2: Carte de situation des secteurs irrigués du Haouz et du Nfis aux alentours de Marrakech

### 2.3 Récapitulatif des besoins actuels

Zone	Demande actuelle (2016) et Mm <sup>3</sup> /an et source d'alimentation			
	Total	Canal de Rocade	Barrages LT et YM	Nappe Haouz
AEPI Zone RADEEMA	66	64	2	0
AEPI zone Périphérique Marrakech	19.6	11.7		7.9
AEPI Haouz	19.1	14.6		4.5
<b>Total AEPI(*)</b>	<b>104.7</b>	<b>90.3</b>	<b>2</b>	<b>12.4</b>
<b>Total Irrigation</b>	<b>700</b>	<b>266</b>	<b>83</b>	<b>351</b>
<b>Totaux</b>	<b>805</b>	<b>356</b>	<b>85</b>	<b>363</b>

Tableau IX-4: Récapitulatif de la demande totale actuelle dans la zone de Marrakech

(\*) sans inclure les provinces de Rehamna, El Kelaa et Azilal

## 2.4 Débits fournis au niveau du canal de Rocade

La série des débits fournis au niveau du canal de Rocade sont en moyenne de 271 Mm<sup>3</sup>/an constitués de la contribution du barrage de Lalla Takerkoust (72 Mm<sup>3</sup>/an) et du barrage Hassan 1<sup>er</sup> (199 Mm<sup>3</sup>/an). Les fournitures du canal sont répartis suivants les allocations décrites ci-dessous:

Restitutions en Mm <sup>3</sup> /an (Moyennes récentes)	AEP Marrakech	Irrigation	Total
Lalla Takerkoust	4	68	72
Hassan 1 <sup>er</sup>	65	134	199
Total Canal de Rocade	69	202	271

Tableau IX-5: Allocations moyennes actuelles des restitutions des barrages Lalla Takerkoust et Hassan 1<sup>er</sup> pour la zone de Marrakech

Les séries des fournitures montrent une augmentation soutenue de la dotation AEPI au détriment de la dotation agricole, cette première est passée de 35 Mm<sup>3</sup>/an en 2000 à presque 70 Mm<sup>3</sup>/ans en 2015. Les fluctuations des apports et des restitutions annuelles au niveau des 2 sources d'approvisionnement (Lalla Takerkoust et Hassan 1<sup>er</sup>) sont données dans les figures et le tableau ci-dessous. Ces fluctuations montrent la faible capacité de régularisation des crues de ces 2 réservoirs.

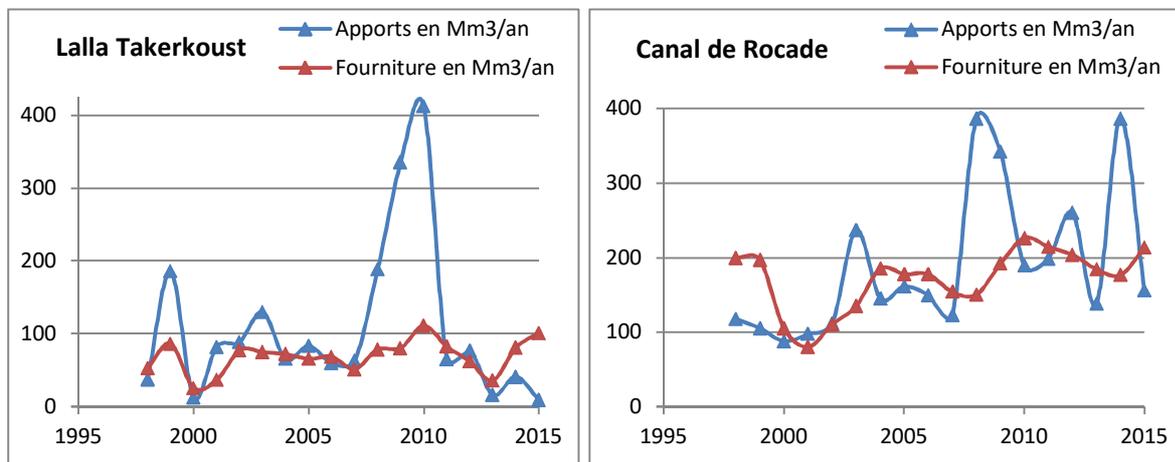


Figure IX-3: Évolution des apports et des restitutions, barrages Lalla Takerkoust (panneau de gauche) et Hassan 1<sup>er</sup> par le canal de Rocade (panneau à droite)

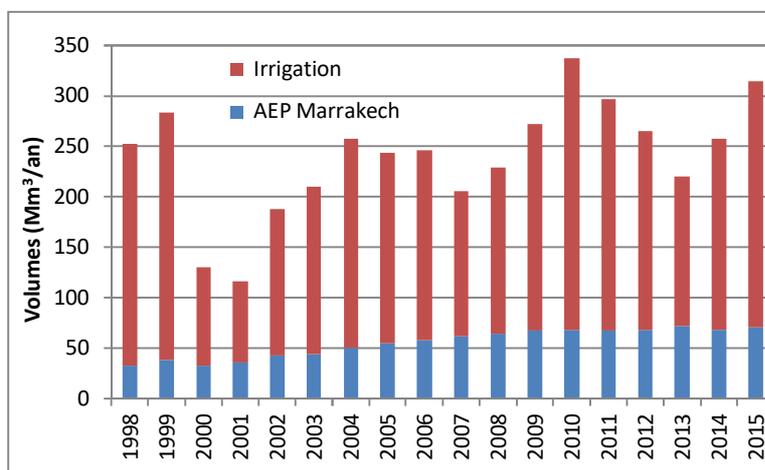


Figure IX-4: Évolution des fournitures cumulés, barrages Lalla Takerkoust et Hassan 1<sup>er</sup> par Canal de Rocade

<b>Fournitures en Mm<sup>3</sup>/an cumulées (canal de Rocade + barrage Lalla Takerkoust)</b>			
<b>Année</b>	<b>AEP Marrakech</b>	<b>Irrigation</b>	<b>Total fournitures Canal de Rocade</b>
1998	32.8	219.5	252.3
1999	38.5	244.7	283.2
2000	33.2	97.5	130.7
2001	36.0	80.5	116.5
2002	43.2	144.5	187.7
2003	44.1	165.8	209.9
2004	50.1	207.1	257.3
2005	55.1	188.5	243.6
2006	58.3	187.9	246.3
2007	62.2	143.2	205.4
2008	64.5	164.2	228.8
2009	67.4	204.6	272.0
2010	67.9	269.5	337.4
2011	67.7	229.4	297.1
2012	68.4	197.3	265.7
2013	71.7	148.7	220.5
2014	68.4	189.1	257.5
2015	70.4	244.2	314.6
<b>Moyenne étendue</b>	<b>55.6</b>	<b>184.8</b>	<b>240.4</b>
<b>Moyenne 10 ans (*)</b>	<b>66.7</b>	<b>197.8</b>	<b>264.5</b>
<b>Moyenne 5 ans (**)</b>	<b>69.3</b>	<b>201.7</b>	<b>271.0</b>

Tableau IX-6: Fournitures cumulées à partir de Lalla Takerkoust et du canal de Rocade pour la zone de Marrakech

(\*) Sur les 10 dernières années ; (\*\*) sur les 5 dernières années

### 3 Commentaires

La lecture de ces données permet de dégager les observations suivantes :

1. La demande en eau potable connaît une forte augmentation, elle totalise actuellement pour la zone d'action de RADEEMA et les contours de la ville de Marrakech 85.6 Mm<sup>3</sup>/an. Si on y ajoute les centres urbains du Haouz, elle s'élève à 105 Mm<sup>3</sup>/an.
2. Cette demande est couverte partiellement par les prélèvements à partir de la nappe du Haouz (12.4 Mm<sup>3</sup>/an), le solde est fourni par le canal de Rocade (92.3 Mm<sup>3</sup>/an).
3. La demande en eau agricole s'élève à 700 Mm<sup>3</sup>/an, dont 266 Mm<sup>3</sup>/an sont alloués à partir du canal de Rocade, 351 Mm<sup>3</sup>/an par des prélèvements sur la nappe et 83 Mm<sup>3</sup>/an à partir du complexe Lalla Takerkoust / Yacoub al Mansour.
4. En année normale, le déficit total au niveau du canal de Rocade s'élève à 356 + 85 [demande totale] - 271 [moyenne débit canal] = 170 Mm<sup>3</sup>/an.
5. Le déficit, ainsi que tout ajustement des allocations en cas de pénurie, sont reportés sur les allocations agricoles, l'eau potable étant toujours prioritaire et contribuant à une surexploitation des eaux souterraines de l'aquifère Haouz, rapporté comme étant de 176 Mm<sup>3</sup>/an (voir rapport principal).

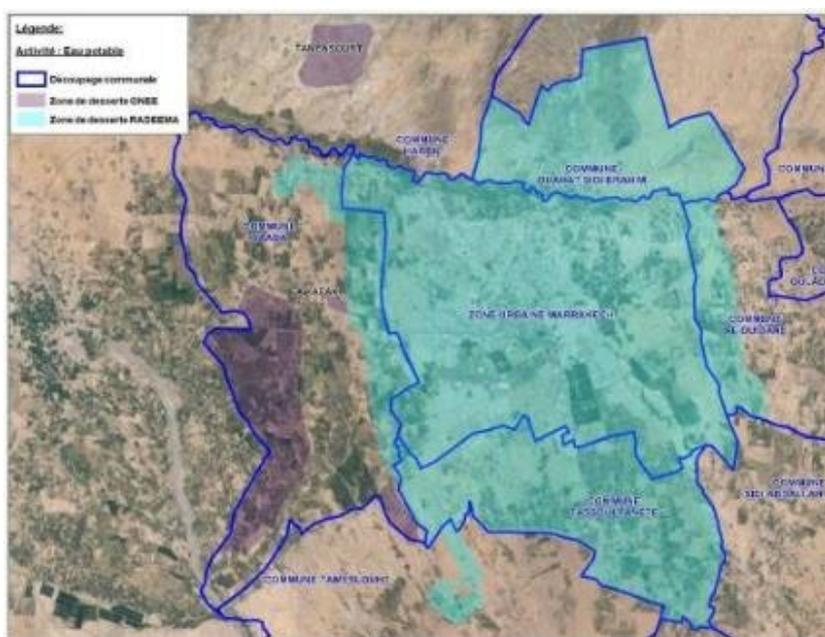
Par ailleurs, et sous l'hypothèse d'une année sèche ou d'un épisode sec de 2 ou 3 années, les apports seront diminués d'environ 40% (centile 20%). Cette diminution affectera probablement les volumes disponibles pour les barrages Lalla Takerkoust et Hassan 1<sup>er</sup> et, par conséquent, les fournitures restituées

dans le canal de Rcade. Cette diminution est d'au moins de l'ordre de 108 Mm<sup>3</sup>/an (40% des restitutions moyennes de 271 Mm<sup>3</sup>/an dans le canal de Rcade), creusant le déficit à 278 Mm<sup>3</sup>/an, toujours au détriment de l'eau agricole.

## ANNEXE X - Demande en eau et système d'approvisionnement en eau de la ville de Marrakech

### 1. Contexte

Pour cette étude de cas mettant l'accent sur la gestion intégrée des eaux urbaines, la zone d'action de la RADEEMA a été sélectionnée comme le périmètre du projet. La zone d'action de la RADEEMA comprend l'ensemble du territoire de la ville de Marrakech avec ses cinq arrondissements (Marrakech-Médina, Menara, Gueliz, Sidi Youssef Ben Ali et Annakhil), la municipalité de Méchouar-Kasba, une partie des communes rurales de Al Ouidane, Ouahat Sidi Brahim, Saâda et Tassoultante et aussi une partie de la commune de Tamesloht, où quelques projets touristiques importants sont implémentés et qui fait partie de la province de Haouz.



Le "Grand Marrakech" correspond à la zone qui est alimentée en eau potable par la station de traitement existante de l'ONEE (Station de traitement Canal de Rocade, capacité: 3,1 m<sup>3</sup>/s) et la future usine de traitement d'eau, qui dans le cadre du projet de transfert d'eau du nord (projet Al Massira) est actuellement mise en œuvre avec une capacité de 2.5 m<sup>3</sup>/s.

Fig. 5.2: Zone d'action de la RADEEMA (source : AUM, 2012)

### 2. Dépendance économique de la ville des secteurs à forte intensité d'eau

La zone d'action de la RADEEMA s'inscrit au sein d'une région dont l'économie repose sur l'agriculture et l'élevage, le tourisme et l'artisanat, l'industrie et les mines. Au sein du territoire régional, cette zone se positionne également comme un espace d'échanges économiques et sociaux très dynamiques. La ville dépend particulièrement du secteur de tourisme et de l'industrie caractérisés des fortes intensités d'eau.

**Tourisme :** La ville de Marrakech connaît un essor touristique important et les emplois liés au secteur représentent une part importante des emplois au sein de la ville. La ville se place aujourd'hui comme la première destination touristique du pays, avec plus de 6 millions de nuitées enregistrées pour l'année 2013, soit 34% des nuitées enregistrées au niveau national. Ils existent en plus 19 projets de golf au niveau de Marrakech dont 11 terrains sont fonctionnels, 3 en cours de réalisation et 5 sont en stand-by. En moyenne la consommation d'eau par golf monte à 1 Mm<sup>3</sup>/an.

**Industrie :** L'agglomération de Marrakech comprend trois zones industrielles. La ville abrite aujourd'hui environ 350 unités industrielles qui sont desservies par la RADEEMA. L'industrie s'est rapidement

développée dans le secteur agroalimentaire, qui représente aujourd’hui 38% des établissements, dans le secteur chimie et la parachimie (30%), le secteur textile (15%), le secteur métallique et mécanique (14%) et le secteur électrique/électroniques (3%) (CRI<sup>19</sup> Marrakech, 2013). Dans le cadre de son schéma régional d’aménagement du territoire (SRAT, 2014), la ville de Marrakech et les communes avoisinantes prévoient la réalisation de plusieurs projets, comme par exemple le Parc national pour l’émergence industrielle de 10 hectares dans la commune de Harbil.

### 3. Aperçu des réseaux actuels des distributions d'eau

Le système de production d’eau potable de Marrakech comprend les ouvrages suivants:

- Un système adducteur d’eau à partir du Canal de Rocate, d’une capacité de 3,7 m<sup>3</sup>/s;
- Une adduction d’eau de secours du barrage Lalla Takerkoust d’une capacité de 1,4 m<sup>3</sup>/s ;
- Une station de traitement d’une capacité nominale de 3,1 m<sup>3</sup>/s (98 Mm<sup>3</sup>/an). La capacité de la station est largement surdimensionnée pour traiter la dotation en eau potable du Grand Marrakech au niveau des deux complexes Lalla Takerkoust et Hassan Ier – Sidi Driss (récemment 66 Mm<sup>3</sup>/an) ;
- Un système adducteur d’eau traitée à partir de la station de traitement vers les réservoirs de Sidi Moussa et de Route d’Ourika ;

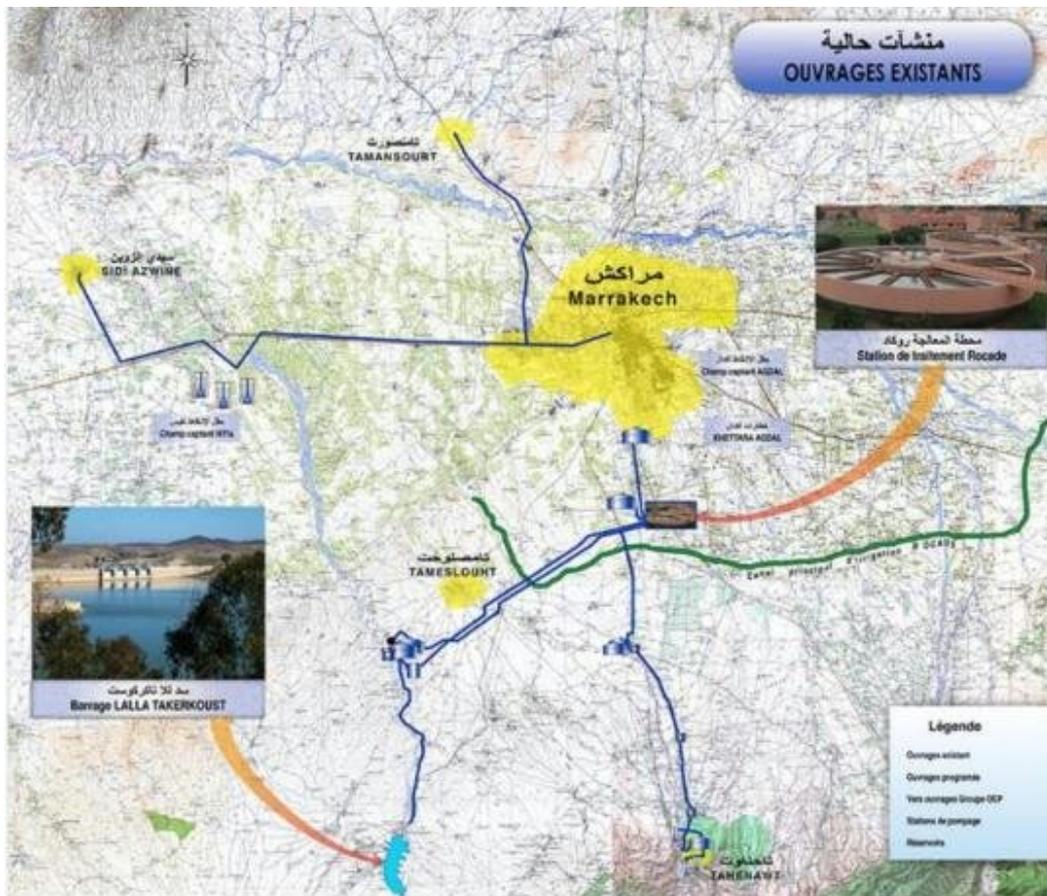


Figure X-1: Schéma des ouvrages existants d'alimentation en eau potable de la ville de Marrakech à partir de ressources de l'eau souterraine et des eaux de surfaces (source ONEE)

<sup>19</sup> Centre Régional d'Investissement Marrakech - Safi

Une production à partir de 49 captages d'eau souterraine, un drain et une Khettara. Ces eaux souterraines sont injectées directement dans le réseau de distribution d'eau potable. Le débit exploité en 2014 a atteint à peine 94 l/s (1.1 Mm<sup>3</sup>/an).

Ce système d'approvisionnement en eau potable sera renforcé à partir de 2018 par un projet d'approvisionnement en eau potable et industrielle à partir du projet de transfert d'eau via le barrage Al Massira.

La canalisation d'eau potable de la RADEEMA comprend les ouvrages suivants.

Le réseau de distribution d'un linéaire d'environ 2 600 km de conduites subdivisé en trois étages de pression ;

Le réservoir Route d'Ourika (85 000 m<sup>3</sup>) et le réservoir Sidi Moussa (50 500 m<sup>3</sup>) assurant une autonomie journalière de plus de 15 heures ;

Deux réservoirs Nord (2 x 30 000 m<sup>3</sup>) en cours de réalisation dans le cadre du projet transfert du nord et de l'adduction de l'eau potable à partir du barrage Al Massira.

Le programme d'amélioration du rendement d'eau potable lancé par la RADEEMA depuis l'année 2007 a permis de porter le rendement physique du réseau de 63.6% en 2007 à près de 75 % en 2015.

#### **5.2.4 Aperçu des systèmes actuels de la collecte et du traitement des effluents**

La zone desservie par le réseau d'assainissement liquide de la RADEEMA comprend l'agglomération de Marrakech. Cette zone d'action s'étend sur une superficie de près de 238 km<sup>2</sup> avec une population d'environ 1 million d'habitants. Le taux de desserte est d'environ 90% et la longueur globale du réseau est de 2 740 km.

### **4. Demande en eau actuelle et future**

#### **4.1 Projections démographiques dans la zone de service de la RADEEMA**

Selon le recensement de 2014, le taux de croissance de la population urbaine de Grand-Marrakech était de 1,2% par an entre 2004 et 2014, significativement inférieur au taux national de croissance urbaine de 2,1% par an sur la même période le taux de croissance entre 1994 et 2004 pour Marrakech était de 2,1% par an. La raison de ce ralentissement urbain de Marrakech est que les communes telles que Méchouar - Kasbah et la Médina affichent un taux de croissance négatif depuis 1994, de l'ordre de -3% par an depuis 2004, alors que d'autres communes ne connaissent qu'une croissance démographique. Ainsi, la croissance urbaine de la région migre du Grand Marrakech vers les communes environnantes, principalement en dehors de la zone de service de RADEEMA, probablement en raison du manque d'espace d'expansion et d'une diminution progressive de la taille des ménages à Marrakech. Au contraire, le taux de croissance annuel dans le reste de la préfecture de Marrakech a accéléré de 2,9% entre 1994-2004 à 4,7% entre 2004 et 2014. Cela a donné globalement à la préfecture de Marrakech un taux de croissance annuel constant de 2,2% entre 1994 et à la moyenne nationale.

RADEEMA dessert également des parties de 5 communautés rurales, soit environ 25% de la population de ces communautés. Ces communautés ont connu la plus forte croissance démographique annuelle, à savoir 4% entre 1994 et 2004, et 5,8% entre 2004 et 2014, clairement en raison de la migration de Grand Marrakech. Pour l'ensemble de la zone de service de RADEEMA, cela représente une croissance annuelle de 2,2% entre 1994 et 2004 et de 1,4% entre 2004 et 2014. La population desservie par RADEEMA en 2014 était de 986 580 et environ 1 million en 2015.

Le taux de croissance démographique récent de la zone de service RADEEMA (1,4%) est de 2/3 du taux de croissance annuel national de 2,1% de la population urbaine entre 2004 et 2014. Par conséquent, afin de projeter les futures demandes en eau pour le PEAT Zone de service RADEEMA, nous avons défini 3 scénarios de croissance démographique urbaine, à savoir i) un scénario de faible croissance à 60% du taux de croissance annuel national projeté pour la population urbaine, légèrement inférieur aux dernières données du recensement, ii) une médiane iii) un scénario de forte croissance à 100% du taux de croissance annuel national projeté, bien au-dessus des dernières données du recensement de Marrakech. Les résultats sont présentés au tableau ci-dessous et seront utilisés pour la projection des demandes en eau. Les projections démographiques utilisées précédemment par l'ONEE sont également incluses, avec un taux de croissance démographique annuel constant de 1,4%. Ce taux de croissance est exact pour la situation actuelle, mais en tant que taux de croissance constant, il est supérieur à la tendance nationale correspondant à un taux de croissance moyen de 1,3% / an entre 2015 et 2050.

	Population ('000)		taux d'accroissement	Pop. 2014	taux d'accroissement	Pop. 2015
	1994	2004				
<b>Mechouar Kasba</b>	25.1	22.1	-1.3%	16.9	-2.7%	16.4
<b>Annakhil</b>	38.4	54.1	3.5%	64.6	1.8%	65.7
<b>Gueliz</b>	148.3	173.1	1.6%	192.8	1.1%	194.9
<b>Medina</b>	192.3	167.2	-1.4%	120.6	-3.2%	116.8
<b>Menara</b>	148.4	281.7	6.6%	411.1	3.9%	426.9
<b>Sidi Youssef Ben Ali</b>	116.5	124.9	0.7%	122.9	-0.2%	122.7
<b>Ville de Grand Marrakech</b>	669.0	823.2	2.1%	928.9	1.2%	943.4
<b>Communes rurales de RADEEMA</b>						
<b>Alouidane</b>	17.2	20.9	2.0%	28.2	3.0%	29.0
<b>Ouahat Sidi Bramin</b>	7.6	13.7	6.0%	25.3	6.3%	26.9
<b>Saada</b>	24.4	39.1	4.8%	67.1	5.6%	70.8
<b>Tassoultante</b>	18.2	30.1	5.2%	71.2	9.0%	77.6
<b>Tamesloht</b>	17.1	21.4	2.2%	29.0	3.1%	29.9
<b>Totale communes rurales RADEEMA</b>	84.6	125.2	4.0%	220.8	5.8%	234.2
<b>Totale RADEEMA (25% of communes rurales)</b>	690.2	854.5	2.2%	984.0	1.4%	1002.0
<b>Préfecture de Marrakech</b>	861.2	1070.8	2.2%	1330.5	2.2%	1359.7

Tableau X-1: Évolution démographique de la région de Marrakech (source : AUM)

Scénario \ Année	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
<b>Bas (60%)</b>	1,002	1,063	1,118	1,167	1,210	1,248	1,281	1,310
<b>Moyen (80%)</b>	1,002	1,084	1,159	1,227	1,288	1,342	1,390	1,432
<b>Haut (100%)</b>	1,002	1,105	1,202	1,291	1,371	1,443	1,508	1,565
<b>ONEE moyen (+1.4%/an)</b>	1,002	1,074	1,151	1,234	1,323	1,418	1,521	1,630

Tableau X-2: Scénarios pour l'évolution démographique de la zone d'action de la RADEEMA

#### 4.2 Analyse de l'utilisation actuelle de l'eau et de la pénurie de l'eau

A niveau de la ville de Marrakech, l'utilisation actuelle de l'eau est illustrée dans la figure suivante. La consommation en eau potable a été en forte croissance jusqu'à 2011, elle s'est ensuite stabilisée en 2012 et puis a connu une légère baisse les années suivantes.

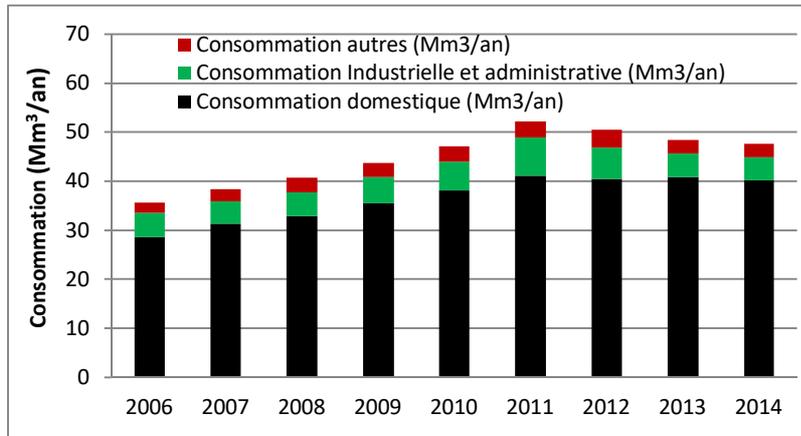


Figure X-2: Évolution de la consommation en eau potable dans la zone d'action de la RADEEMA (source : RADEEMA)

**Consommation domestique :** Environ 85% de l'eau potable consommée sert à l'usage domestique. Depuis 2006 jusqu'à 2011, la demande en eau à usage domestique était en croissance, ce qui est lié à la croissance démographique urbaine d'environ 1.3% par an, à l'augmentation du taux de branchement de 92% en 2004 à présentement environ 98%, à l'augmentation de la consommation spécifique de 89 l/hab/j en 2004 à 112 l/hab/j (41 m<sup>3</sup>/an/hab) en 2014 ainsi que à l'agrandissement de la zone d'action de la RADEEMA dans le contexte de l'urbanisation rapide de Marrakech. Néanmoins, l'usage domestique a stabilisé après 2011 à 41 Mm<sup>3</sup>/an, pour une population d'environ un million habitants.

**Consommation industrielle et administrative :** La ville de Marrakech abrite environ 270 unités industrielles. Ces unités ont consommé environ 0.6 Mm<sup>3</sup>/an en 2015 alors que la consommation en eau potable d'administration a atteint environ 4.4 Mm<sup>3</sup>/an, soit 12 l/j/hab. Le secteur public a en effet une consommation importante en eau et l'usage public est souvent peu rationnel principalement à cause de l'utilisation abusive de l'eau pour l'arrosage de jardins et parcs.

**Consommation du secteur touristique :** En 2015, la consommation touristique en eau potable a atteint selon la RADEEMA environ 2.7 Mm<sup>3</sup>/an, ce qui semble sous-estimé. La dotation d'eau par nuitée peut varier de 200 à 800 l/j suivant les catégories des établissements. Le taux de croissance des nuitées durant la période 1998 - 2009 est de 5.4%. Si ce taux est maintenu, et compte tenu de la multiplication des projets touristiques dans l'agglomération de Marrakech, on peut estimer que la demande en eau potable du secteur touristique monte vers 6 Mm<sup>3</sup>/an en 2030 et plus de 16 Mm<sup>3</sup>/an en 2050.

**Consommation totale de l'eau potable :** La consommation nette totale de l'eau potable était en 2015 donc 49 Mm<sup>3</sup>/an. Étant donné que le rendement du réseau de distribution de la ville de Marrakech en 2015 a été de 75%, l'usage brut domestique était 65 Mm<sup>3</sup>/an. Ce chiffre correspond très bien aux données disponibles concernant les volumes d'eau bruts obtenus à partir du Canal de Rocade et du complexe Lalla Takerkoust, estimant le volume d'eau fourni à la station de traitement de ONEE (pour RADEEMA) à 66 Mm<sup>3</sup>/an.

**Consommation de l'eau souterraine et les eaux usées traitées:** A cela s'ajoute la consommation pour piscines et arrosage des espaces verts. Selon une étude récente, environ 82% des établissements utilisent l'eau de puits pour l'arrosage de leurs espaces verts, 15 % utilisent l'eau potable, pendant que 3% sont arrosés par l'eau de pluie. Les jardins d'hôtels à Marrakech totalisent à près 500 hectares et nécessitent 1.7 Mm<sup>3</sup>/an d'eau pour arrosage (2015). En 2030, cette demande est estimée à 3.2 Mm<sup>3</sup>/an (SRAT, 2014).

A cela s'ajoute la demande en eau d'irrigation pour l'arrosage des jardins de l'Agdal et de la Ménara, estimée à environ 6 Mm<sup>3</sup>/an. Dans ce contexte, un programme de micro irrigation des espaces verts a été lancé par la commune en partenariat avec l'AUM et la « Wilaya » de Marrakech afin de réduire les besoins

d'arrosage. Une autre option sera de créer l'infrastructure nécessaire pour permettre la réutilisation des eaux usées traitées à cette fin.

Finalement la demande en eau des terrains de golf est très considérable. Selon une étude de l'ABHT élaborée en 2010, et sur la base d'un besoin moyen de près de 1 Mm<sup>3</sup>/an par terrain de golf, la demande totale actuelle des terrains des golfs ressort ainsi un volume de près de 11 Mm<sup>3</sup>/an et atteindra jusqu' à 2020 à près de 15 Mm<sup>3</sup>/an et jusqu' à 2030 à près de 30 Mm<sup>3</sup>/an. L'économie des eaux et la restitution de l'eau souterraine par les eaux usées traitées représentent donc une priorité.

**Pertes d'eaux physiques:** Dans la zone d'action de RADEEMA, les pertes s'élèvent en 2010 à 27% (17 Mm<sup>3</sup> / an) fourni pour l'AEPI (64 Mm<sup>3</sup> / an, à l'exclusion de l'eau souterraine et de l'eau réutilisée fournie aux terrains de golf, aux espaces verts publics, etc.). Le consensus général est que les pertes physiques étaient de 25% en 2015 (similaires pour Casablanca et Rabat); les pertes commerciales peuvent être comprises entre 3% et 10%. Afin de sécuriser l'approvisionnement en eau potable de la ville, des actions urgentes sont nécessaires pour augmenter les réseaux de production et de distribution. La RADEEMA prévoit son programme d'investissement 2015 - 2019 d'améliorer le rendement du système de distribution à 77% à partir de 2020. Un moyen-terme (2030) 85% pourrait être réalisable.

#### 4.3 Projections de la demande en eau potable de la zone d'action de RADEEMA

L'analyse de la situation actuelle et future de la demande d'eau potable tient compte de l'évolution démographique ainsi que de la dynamique des secteurs du tourisme, de l'industrie et de l'administration de la ville de Marrakech. Cette analyse a permis de dégager les ratios caractéristiques et les hypothèses à adopter pour l'évaluation des besoins en eau et pour la définition de trois scénarios de demande. Ces projections et hypothèses sont basées (bien que ajusté) sur les données relatives à la demande en eau, établies en 2016 par l'ONEE et peuvent être résumées comme suit:

Il est supposé que l'eau pour l'irrigation et l'arrosage des jardins et des terrains de golf ne soit fourni que par les eaux usées traitées.

Le taux de branchement au réseau d'eau potable a été de 98% en 2015 dans la zone d'action de la RADEEMA. On supposera que ce taux reste stable durant la période de 2015 à 2050.

Un taux de 1.4% est retenu pour l'évolution de la population de la zone de RADEEMA pour le scénario ONEE-moyen, et l'évolution de la population de la zone selon les trois scénarios bas, moyen et haut est choisi selon le tableau suivant.

La dotation de la population branchée en 2014 a été de 112 l/j/hab. Trois hypothèses d'évolution sont considérées :

- scénario bas: baisse de la dotation moyenne qui atteindrait 95 l/j /hab à partir de 2030 ; cela peut être difficile à réaliser, entre autres car le nombre de personnes par ménage diminue rapidement.
- scénario moyenne : une dotation de 115 l/j/hab à partir de 2020 ;
- scénario haut: Augmentation de la dotation qui atteindrait 120 l/j/hab à partir de 2025.
- La dotation pour la population non-branchée est réduite de 60 à 20 l/j/hab après 2030

La dotation industrielle enregistrée en 2014 est de 2 l/j/hab, soit 0.7 Mm<sup>3</sup>/an. Les prévisions des besoins en eau de l'industrie seront basées sur une dotation progressivement augmenté à 5 l/j/hab à partir de 2030 pour les trois scénarios.

La dotation administrative en 2014 était de 12 l/j/hab, soit 4.4 Mm<sup>3</sup>/an. Les prévisions des besoins en eau administrative seront basées sur la même dotation pour les trois scénarios jusqu'à 2050.

La consommation des établissements hôteliers et des résidences touristiques en 2014 a été spécifiée par la RADEEMA à 7 250 m<sup>3</sup>/jour, soit 2.65 Mm<sup>3</sup>/an ou 7.15 l/j/hab. Trois hypothèses ont été adoptées pour évaluer les besoins en eau :

- scénario basse : une augmentation de la dotation en termes des volumes de 1.5% / an
- scénario se moyenne : une augmentation de la dotation en termes des volumes de 2% / an
- scénario haute : une augmentation de la dotation en termes des volumes de 4% / an

Le rendement du réseau de distribution et d'adduction de la ville de Marrakech en 2015 a été environ 75%. Trois hypothèses ont été adoptées pour évaluer les rendements futurs:

- scénario basse : augmentation du rendement à 85% à partir de 2030
- scénario moyenne : augmentation du rendement à 80% à partir de 2020
- scénario haute : faible augmentation du rendement à 77%

Le potentiel de réutilisation des eaux usées traitées est calculé à partir de la quantité nette d'eau atteignant les consommateurs (volume brut moins les pertes physiques), dont 80% est estimé à atteindre le STEP et 85% de ce volume est alors supposé d'être traité pour réutilisation.

Compte tenu des ratios et hypothèses énoncée ci-avant, l'évolution de la demande en eau de la ville de Marrakech se caractérisera comme suit :

Demande AEP (Mm <sup>3</sup> /an)	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
<b>Scénario bas</b>	66	Xx : 65	66	63	63	65	67	69
<b>Scénario moyen</b>	66	69	74	79	83	87	90	93
<b>Scénario haut</b>	66	73	83	91	97	103	110	116
<b>Scénario ONEE moyen</b>	66	68	73	79	85	91	98	105
<b>Potentiel de réutilisation (Mm<sup>3</sup>/an)</b>								
<b>Scénario bas</b>	33	34.5	35.2	35.7	35.6	36.8	37.9	38.9
<b>Scénario moyen</b>	33	36.5	39.4	42.0	44.2	46.3	48.1	49.8
<b>Scénario haut</b>	33	37.4	42.7	46.5	49.8	53.1	56.3	59.5
<b>Scénario ONEE moyen</b>	33	36.2	39.1	42.3	45.4	48.7	52.3	56.2

Tableau X-3: Scénarios de demande en eau potable dans la zone d'action de la RADEEMA (en Mm<sup>3</sup>/an)

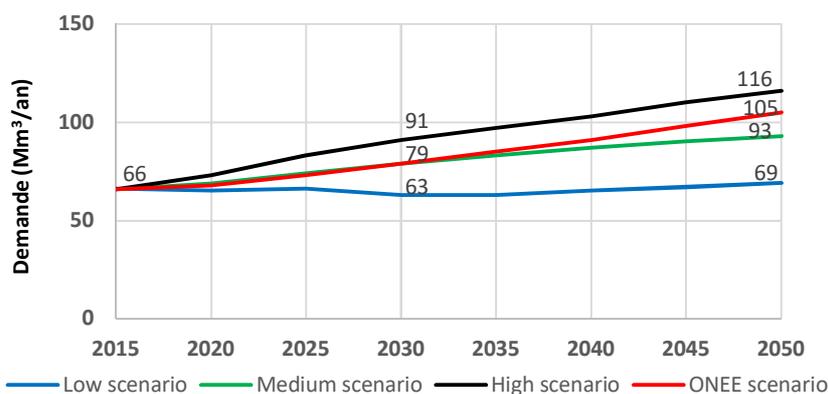


Figure X-3: Scénarios de demande en eau potable dans la zone d'action de la RADEEMA

Dans le scénario le plus bas, les demandes en eau restent stables autour des 66 Mm<sup>3</sup> / an actuels. Les impacts d'une croissance démographique modeste sont compensés par des réductions significatives de la

demande dues à la gestion de la demande et à la réduction des pertes physiques (fuites). Les résultats pour le scénario moyen sont similaires aux projections de l'ONEE jusqu'en 2035, mais inférieurs par la suite en raison des prévisions de croissance démographique réduite. Selon les scénarios moyens, les demandes de RADEEMA atteindraient 90 Mm<sup>3</sup> / an en 2040. Le scénario haut prévoit une augmentation de 50% de la demande en eau d'ici 2035. Le potentiel de réutilisation des eaux usées traitées serait d'environ 40 Mm<sup>3</sup> / an d'ici 2030 et 50 55 Mm<sup>3</sup> / année d'ici 2050.

Selon le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (IPCC) l'augmentation de la demande en eau des ménages et de l'industrie, due au changement climatique, sera probablement plutôt faible, c'est-à-dire inférieure à 5 % d'ici aux années 2050. Une hausse de la température moyenne de 2°C ne devrait donc pas résulter en une augmentation significative (moins que 5 Mm<sup>3</sup>/an) de la consommation domestique. Une éventuelle augmentation de la demande pourrait être compensée par une utilisation plus efficace (par exemple 5%) de l'eau potable.

Scenario bas	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Population RADEEMA ('000 hab)	1,002.0	1,062.7	1,117.9	1,167.1	1,210.3	1,248.0	1,281.3	1,310.3
Taux d'accroissement (moy. 5 ans)		1.18%	1.02%	0.86%	0.73%	0.61%	0.53%	0.45%
Taux de branchement	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%
<b>Dotations (l/hab/j)</b>								
Population branchée	112	110	105	100	95	95	95	95
Population non-branchée	60	40	30	20	20	20	20	20
Administrative	12	12	12	12	12	12	12	12
Tourisme (+1.5% en volume)	7.2	7.3	7.4	7.7	8.0	8.3	8.7	9.2
Industrie	2	3	4	5	5	5	5	5
Pertes physiques distribution	25%	20%	20%	15%	15%	15%	15%	15%
Pertes physiques adduction	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%
Demande à la distribution (l/s)	2,043	2,012	2,053	1,956	1,952	2,019	2,080	2,136
Mm³/an	64	63	65	62	62	64	66	67
Demande à la production (l/s)	2,085	2,053	2,095	1,996	1,992	2,061	2,123	2,179
Mm³/an	66	65	66	63	63	65	67	69
Potentiel de réutilisation (Mm³/an)	32.9	34.5	35.2	35.7	35.6	36.8	37.9	38.9
<b>Scenario moyen</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>	<b>2025</b>	<b>2030</b>	<b>2035</b>	<b>2040</b>	<b>2045</b>	<b>2050</b>
Population RADEEMA ('000 hab)	1,002.0	1,083.5	1,159.2	1,227.5	1,288.5	1,342.2	1,390.1	1,432.2
Taux d'accroissement (moy. 5 ans)		1.58%	1.36%	1.15%	0.97%	0.82%	0.70%	0.60%
Taux de branchement	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%
<b>Dotations (l/hab/j)</b>								
Population branchée	112	115	115	115	115	115	115	115
Population non-branchée	60	40	30	20	20	20	20	20
Administrative	12	12	12	12	12	12	12	12
Tourisme (+2% en volume)	7.2	7.3	7.5	7.9	8.3	8.8	9.3	10.0
Industrie	2	3	4	5	5	5	5	5
Pertes physiques distribution	25%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
Pertes physiques adduction	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%
Demande à la distribution (l/s)	2,043	2,129	2,295	2,450	2,579	2,696	2,804	2,903
Mm³/an	64	67	72	77	81	85	88	92
Demande à la production (l/s)	2,085	2,172	2,342	2,500	2,632	2,751	2,861	2,962
Mm³/an	66	69	74	79	83	87	90	93
Potentiel de réutilisation (Mm³/an)	32.9	36.5	39.4	42.0	44.2	46.3	48.1	49.8
<b>Scenario haut</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>	<b>2025</b>	<b>2030</b>	<b>2035</b>	<b>2040</b>	<b>2045</b>	<b>2050</b>
Population RADEEMA ('000 hab)	1,002.0	1,104.7	1,201.7	1,290.8	1,371.4	1,443.1	1,507.7	1,565.0
Taux d'accroissement (moy. 5 ans)		1.97%	1.70%	1.44%	1.22%	1.02%	0.88%	0.75%
Taux de branchement	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%
<b>Dotations (l/hab/j)</b>								
Population branchée	112	115	120	120	120	120	120	120
Population non-branchée	60	40	30	20	20	20	20	20
Administrative	12	12	12	12	12	12	12	12
Tourisme (+4% en volume)	7.2	7.9	8.8	10.0	11.4	13.2	15.4	18.1
Industrie	2	3	4	5	5	5	5	5
Pertes physiques distribution	25%	23%	23%	23%	23%	23%	23%	23%
Pertes physiques adduction	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%
Demande à la distribution (l/s)	2,043	2,265	2,584	2,813	3,019	3,215	3,409	3,601
Mm³/an	64	71	81	89	95	101	107	114
Demande à la production (l/s)	2,085	2,311	2,636	2,871	3,080	3,281	3,478	3,674
Mm³/an	66	73	83	91	97	103	110	116
Potentiel de réutilisation (Mm³/an)	32.9	37.4	42.7	46.5	49.8	53.1	56.3	59.5
<b>Scenario moyen ONEE</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>	<b>2025</b>	<b>2030</b>	<b>2035</b>	<b>2040</b>	<b>2045</b>	<b>2050</b>
Population RADEEMA ('000 hab)	1,002.0	1,074.1	1,151.5	1,234.3	1,323.2	1,418.5	1,520.6	1,630.0
Taux d'accroissement	1.40%	1.40%	1.40%	1.40%	1.40%	1.40%	1.40%	1.40%
Taux de branchement	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%
<b>Dotations (l/hab/j)</b>								
Population branchée	112	115	115	115	115	115	115	115
Population non-branchée	60	40	30	20	20	20	20	20
Administrative	12	12	12	12	12	12	12	12
Tourisme (+2% en volume)	7.2	7.4	7.6	7.8	8.0	8.3	8.5	8.8
Industrie	2	3	4	5	5	5	5	5
Pertes physiques distribution	25%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
Pertes physiques adduction	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%
Demande à la distribution (l/s)	2,043	2,111	2,280	2,463	2,645	2,840	3,050	3,275
Mm³/an	64	67	72	78	83	90	96	103
Demande à la production (l/s)	2,085	2,154	2,327	2,513	2,699	2,898	3,112	3,342
Mm³/an	66	68	73	79	85	91	98	105
Potentiel de réutilisation (Mm³/an)	32.9	36.2	39.1	42.3	45.4	48.7	52.3	56.2

Tableau X-4: Scénarios de demande en eau potable dans la zone d'action de la RADEEMA

#### 4.4 Projections de la demande en eau potable pour la région de Marrakech

Selon le PDAIRE de l'Oum Er Rbia et de Tensift, la zone qui serait alimentée à partir de l'adduction Al Massira, du complexe Hassan 1<sup>er</sup> Sidi Driss et du complexe Lalla Takerkoust se compose de :

la zone de Marrakech comprenant, les arrondissements de la ville de Marrakech (desservie par RADEEMA), Tamensourt, Loudaya, M'Nabha et Sid Zouine ainsi que la population rurale de la préfecture de Marrakech.

la zone relevant de la province de Haouz comprenant les municipalités d'Aït Ourir, Amizmiz, Tahannaout, les centres de Tameslohte, Moulay Brahim, Lalla Takerkoust, Ghmate et Sidi Abdellah Ghiate ainsi que la population rurale de cette province.

la zone relevant de la province de Rehamna comprenant les municipalités de Ben Guérir et Sidi Bou Othmane, le centre de Skhour Rhamna, ainsi que la population rurale de cette province.

les zones relevant des provinces de Kelaa Sraghna et d'Azilal.

L'ONEE a effectuées les prévisions de la demande en eau potable et industrielle de cette zone sur la base des projections de l'évolution démographique, les taux de branchement, les dotations domestiques, administratives, touristiques et industrielles et le rendement global, semblable à ce qui est présenté plus haut pour la zone d'action de RADEEMA, incluant la réutilisation des eaux usées et épurées dans l'arrosage des terrains de golf et des espaces verts. Les données des besoins en eau des provinces d'EL Kelaa et d'Azilal ont été tirées du PDAIRE de l'Oum Er Rbia. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant. La demande totale pour la région est répartie 50/50 entre la zone d'action de RADEEMA et le reste de la région. Selon les projections, en 2030 la demande en eau potable, industrielle et touristique de la préfecture de Marrakech et des provinces avoisinantes qui puisent dans la même ressource en eau augmenterait de 33 Mm<sup>3</sup>/an pour atteindre environ 160 Mm<sup>3</sup>/an, dont environ (190 Mm<sup>3</sup>/an à l'horizon 2050) :

79 Mm<sup>3</sup>/an pour l'approvisionnement de la zone de RADEEMA (scénario moyen )

19 Mm<sup>3</sup>/an pour l'alimentation en eau des autres centres urbains, gérés par l'ONEE

10 Mm<sup>3</sup>/an pour l'approvisionnement en eau des grands projets

25 Mm<sup>3</sup>/an pour l'approvisionnement en eau des zones rurales

27 Mm<sup>3</sup>/an qui correspondent à la dotation réservée pour l'approvisionnement en eau des provinces d'El Kelaa et d'Azilal à partir du complexe Hassan 1<sup>er</sup> - Sidi Driss

Les dotations en eau allouée à l'eau potable prises en compte sont celles fixées dans le cadre des PDAIRE de Tensift et de l'Oum Er Rbia, soit :

57 Mm<sup>3</sup>/a à partir du Canal de Rocade dont 40 Mm<sup>3</sup>/a à partir du barrage Hassan 1<sup>er</sup> et 17 Mm<sup>3</sup>/a à partir du complexe Lalla Takerkoust ; actuellement (2016) la dotation est de 66 Mm<sup>3</sup>/an

95 Mm<sup>3</sup>/a à partir du barrage d'Al Massira

1.7 Mm<sup>3</sup>/a à partir de la nappe de Bahira

La dotation en eau à prendre à partir de l'adduction du barrage Al Massira pour AEP de la zone d'action de la RADEEMA est actuellement limitée à près de 35% des besoins en eau de cette zone en raison de la non-programmation des ouvrages nécessaires pour réaliser l'interconnexion des réservoirs d'eau. Une fois l'interconnexions des réservoirs est réalisée, la dotation à prendre à partir du barrage Al Massira doit être plafonnée à 85 Mm<sup>3</sup>/an en raison de la capacité des adductions existante (7 Mm<sup>3</sup>/an) et en cours de construction (78 Mm<sup>3</sup>/an).

Zone/commune	Adduction Al Massira					Canal de Rocade + Lalla Takerkoust					Contribution eaux souterraines					Total				
	2015	2025	2030	2035	2050	2015	2025	2030	2035	2050	2015	2025	2030	2035	2050	2015	2025	2030	2035	2050
<b>RADEEMA</b>		26.0	27.0	29.0	33.0	66.0	48.0	52.0	54.0	60.0						66.0	74.0	79.0	83.0	93.0
<b>Autres centres urbains</b>																				
Tamensourt		4.3	6.6	8.3	9.1	2.45														
M'Nabha						0.06	0.06	0.06	0.06	0.06										
Loudaya						0.69	0.88	1	1.13	1.5	7.9									
Sid Zouine						0.4	0.53	0.59	0.66	0.85										
Grands Projets						0.4	1.1	1.63	2.45	2.45										
Marrakech rurale						7.71	8.5	8.8	9.04	9.04										
<b>Sous-total Centres urbains</b>		<b>4.3</b>	<b>6.6</b>	<b>8.3</b>	<b>9.1</b>	<b>11.7</b>	<b>11.1</b>	<b>12.1</b>	<b>13.3</b>	<b>13.9</b>	<b>7.9</b>				<b>19.6</b>	<b>15.4</b>	<b>18.7</b>	<b>21.7</b>	<b>23.0</b>	
<b>Province de Haouz</b>																				
Ait Ourir						1.63	1.89	2.17	2.42	2.40										
Amizmiz						0.63														
Tahannaout						0.53	0.72	0.82	0.91	0.91										
Ghmate						0.03	0.06	0.06	0.03	0.07										
Sidi Abdellah Ghiate						0.09	0.12	0.12	0.09	0.13	4.5									
Lalla Takerkoust						0.19	0.15	0.19	0.22	0.21										
Moulay Brahim						0.12	0.12	0.12	0.22	0.13										
Tameslohte						0.28	0.47	0.5	0.37	0.55										
Rural Haouz						11.08	11.55	11.84	12	13.08										
<b>Sous-total Province de Haouz</b>						<b>14.6</b>	<b>15.1</b>	<b>15.8</b>	<b>16.3</b>	<b>17.5</b>	<b>4.5</b>				<b>19.1</b>	<b>15.1</b>	<b>15.8</b>	<b>16.3</b>	<b>17.5</b>	
<b>Province de Rehamna</b>																				
Ben Guerir		3.78	4.28	4.63	4.70															
Sidi Bouhtmane		0.5	0.56	0.63	0.61															
Skhour Rhémna	3.7	0.22	0.25	0.28	0.27						3.0	1.7	1.7	1.7	1.7					
Rural Rhamna		4.37	4.31	4.25	4.73															
Grands projets		6.77	8.03	8.03	8.81															
<b>Sous-total Prov. de Rehamna</b>	<b>3.7</b>	<b>15.6</b>	<b>17.4</b>	<b>17.8</b>	<b>19.1</b>						<b>3.0</b>	<b>1.7</b>	<b>1.7</b>	<b>1.7</b>	<b>1.7</b>	<b>6.7</b>	<b>17.3</b>	<b>19.1</b>	<b>19.5</b>	<b>20.8</b>
<b>Demande El Kelaa et Azilal</b>						<b>15</b>	<b>24</b>	<b>27</b>	<b>29</b>	<b>35</b>					<b>15.0</b>	<b>24.0</b>	<b>27.0</b>	<b>29.0</b>	<b>35.0</b>	
<b>Demande en eau totale</b>	<b>3.7</b>	<b>46.0</b>	<b>51.1</b>	<b>55.1</b>	<b>61.3</b>	<b>107.3</b>	<b>98.2</b>	<b>106.9</b>	<b>112.6</b>	<b>126.4</b>	<b>15.4</b>	<b>1.7</b>	<b>1.7</b>	<b>1.7</b>	<b>1.7</b>	<b>126.4</b>	<b>145.8</b>	<b>159.7</b>	<b>169.4</b>	<b>189.3</b>
<b>Dotation en eau allouée à AEP</b>	<b>3.7</b>	<b>95.0</b>	<b>95.0</b>	<b>95.0</b>	<b>95.0</b>	<b>67.0</b>	<b>57.0</b>	<b>57.0</b>	<b>57.0</b>	<b>57.0</b>	<b>15.4</b>	<b>1.7</b>	<b>1.7</b>	<b>1.7</b>	<b>1.7</b>	<b>86.1</b>	<b>153.7</b>	<b>153.7</b>	<b>153.7</b>	<b>153.7</b>
<b>Bilan hydrique eau potable</b>	<b>0.0</b>	<b>49.1</b>	<b>43.9</b>	<b>39.9</b>	<b>33.7</b>	<b>-40.3</b>	<b>-41.2</b>	<b>-49.9</b>	<b>-55.6</b>	<b>-69.4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>-40.3</b>	<b>7.9</b>	<b>-6.0</b>	<b>-15.7</b>	<b>-35.6</b>

Tableau X-5: Bilan d'eau de la région de Marrakech (en Mm<sup>3</sup>/an)

## ANNEXE XI - Solutions techniques pour sécuriser l'alimentation du Grand Marrakech

### Remarques générales

Dans les sections ci-dessous, les options pour atténuer la pénurie d'eau qui sont considérées comme particulièrement pertinentes pour la ville de Marrakech sont décrites en détail. Pour chacune des options sélectionnées, les données sur les volumes d'eau projetés produits ou les économies d'eau réalisées ont été estimées en termes de volumes totaux moyens annuels. L'estimation grossière des coûts est basée sur les hypothèses suivantes :

Pour toutes les options, l'estimation des coûts est basée sur les volumes d'eau annuels moyens et sur un dimensionnement préliminaire moyen des infrastructures.

Uniquement les coûts d'investissement et d'opération *additionnels* des options sont pris en compte. Les coûts des infrastructures existantes utilisées pour le captage, le transfert et le traitement de l'eau mobilisée par une option ne sont donc pas considérés. Par exemple, les coûts d'investissement du Canal de Rcade existant et utilisé pour le transfert de l'eau vers Marrakech ne sont pas pris en compte dans les options SW4, SW5, WT1b et DS1. Seulement les coûts d'opération, de maintenance et de transport additionnels, c'est-à-dire pour des volumes d'eau libérés en plus, sont pris en compte.

Les coûts environnementaux des options ne sont pas pris en compte. Les effets environnementaux font partie de l'analyse économique des options et sont évalués à l'aide de l'indicateur « Gestion des risques environnementaux et sociaux ».

Les effets du changement climatique et les réductions correspondantes des volumes ne sont pas pris en compte. La vulnérabilité des options au changement climatique est étudiée de manière qualitative dans l'analyse économique des options, et ceci à l'aide de l'indicateur « Résilience au changement climatique ».

Les options suivantes de diversification pour remédier à la pénurie de l'eau dans le contexte de la GIEU ont été considérées comme particulièrement pertinentes pour le cas de Marrakech :

Dessalement de l'eau de mer par osmose inverse (DS1)

Réutilisation des eaux usées traitées pour usage non-potable (WW1 ; irrigation), et réutilisation des eaux grises dans les hôtels (WW3)

Réhabilitation du réseau, détection des fuites et mesures d'accompagnement (NR1)

Introduction des meilleures pratiques pour la gestion de la demande (DM)

Construction de nouveaux barrages (SW4) et augmentation de la capacité de stockage des barrages existants pour stocker de l'eau de surface (SW5)

Collecte des eaux de pluies, stockage et réutilisation au niveau de la ville (RW3) et à petite-échelle au niveau rural (RW1)

Recharge des nappes phréatiques par infiltration (GW3)

Transferts d'eau interbassins ou dérivations interbassins (WT1a et WT1b)

Aménagement paysager urbain (DM4)

## 1. Dessalement de l'eau de mer par osmose inverse (DS1)

**Sommaire de la situation actuelle :** Le dessalement d'eau de mer est aujourd'hui envisagé au Maroc comme une option possible et faisable contre la pénurie de l'eau. Le Plan nationale de l'eau (PNE) prévoit la construction des usines de dessalement de l'eau de mer pour produire en 2030 autour de 515 Mm<sup>3</sup> par an.

**Description et impacts de l'option pour Marrakech :** Le dessalement de l'eau de mer n'est pas une solution directe d'approvisionnement en eau, en raison de la distance (environ 150 km) et du dénivelé à franchir (500 m d'altitude, 800 m de dénivelé positif) depuis le littoral, qui occasionnerait des coûts de pompage prohibitifs. Contrairement à celui-ci, le Plan National de l'Eau (PNE, 2015) prévoit la réalisation d'une station de dessalement de l'eau pour couvrir en partie l'alimentation en eau de la ville de Casablanca, tandis que l'Office Chérifienne de Phosphate (OCP) entreprend actuellement la réalisation de deux usines de dessalement de l'eau de mer à Jorf Lasfar (à 18 km de la ville d'El Jadida) et à Safi.

Les villes de Safi et d'El Jadida ont été retenues pour les raisons suivantes:

l'existence des usines de dessalement de l'eau à Jorf Lasfar et à Safi ;

l'existence d'une convention entre ABHOER, l'ONEE, l'OCP et le Ministère en charge de l'Eau qui donne la possibilité d'alimenter la ville d'El Jadida par l'usine de dessalement de Jorf Lasfar,

l'importance des pertes d'eau entre le barrage Al Massira, le barrage Daourat et la Digue de Safi ;  
ces deux villes libéreraient une dotation équivalente à celle prélevée par l'adduction Al Massira - Marrakech en cours de réalisation, autour de 75 Mm<sup>3</sup>/an d'ici 2050

un avantage très important de cette option est que le dessalement de l'eau de mer n'est pas affecté par les changements climatiques.

La convention de l'OCP, signée en 2012 avec le Ministère Chargé de l'Eau, le Ministère de L'Agriculture, l'ONEE et l'Agence de bassin de l'Oum Er Rbia, a déjà envisagé la possibilité d'approvisionner la ville d'El Jadida à partir de l'usine de dessalement de l'eau de mer de Jorf Lasfar. Il est donc possible d'alimenter les villes de Safi et d'El Jadida à partir des deux usines de dessalement de l'OCP. L'alimentation en eau potable des villes de Safi, d'El Jadida, d'Azemmour et de Casablanca à partir du dessalement permettrait de libérer la dotation en eau allouée à ces villes, estimée à près de 200 Mm<sup>3</sup> par an au niveau du barrage Al Massira et d'utiliser ce volume d'eau pour le Grand Marrakech, et les provinces d'El Kelaa Sraghna, de Rhamna et d'Azilal. Le dessalement pour fournir aux villes côtières de l'eau et libérer de l'eau dans le réservoir d'Al Massira pour la ville de Marrakech, pour l'irrigation ou pour diminuer la surexploitation des eaux souterraines peut être une solution très prometteuse. Cette option devrait être approfondie, y compris son coût, en tenant compte également des expériences en cours de lancement (par exemple Chtouka, Agadir et Al Hoceima).

Les Ministères de l'Intérieur, de l'Agriculture, de l'Eau, de l'ONEE, de l'OCP, des ABH de Tensift, de l'Oum Er Rbia, et du Bouregreg, des ORMVA des Doukkala et de Tensift sont concernés par la réalisation de ces projets de dessalement de l'eau de mer. Une convention devrait être signée par ces organismes pour définir les dispositions institutionnelles pour permettre cet échange et les conditions de financement, d'exploitation et de gestion de ces projets.

Il est à noter que la ville de Casablanca pourrait être bien alimentée à partir du dessalement de l'eau de mer ce qui permettrait de libérer une quantité d'eau relativement importante au niveau du barrage Al Massira. Cette solution pourrait être étudiée dans le cadre ou le projet de transfert d'eau du nord (WT1a) ne serait pas réalisé ou dans le cadre d'une comparaison entre le dessalement et le transfert d'eau. Il serait intéressant d'alimenter les périmètres des Doukkala à la fois à partir du dessalement de l'eau de mer et du barrage Al Massira en fonction de l'hydraulicité de l'année. La demande en eau de ce périmètre avoisine un milliards mètres cubes. L'expérience du périmètre de Chtouka en cours de discussion pourrait aider à voir cette option plus claire.

## Projections des volumes

Le volume d'eau à récupérer au niveau du barrage Al Massira par la réalisation des projets de dessalement de l'eau pour alimenter les villes de Safi et d'El Jadida se situerait en 2030 à près de 60 Mm<sup>3</sup> par an et augmentera vers 75 Mm<sup>3</sup>/an en 2050. Le recours au dessalement de l'eau de mer se traduira par la récupération à la fois des volumes d'eau destinés à l'eau potable des villes de Safi et d'El Jadida et des pertes d'eau entre le barrage Al Massira et le barrage Daourat et entre le barrage Al Massira et la digue de Safi. Ces pertes sont considérables et estimées à environ 25%.

Tableau XI-1: Estimation de l'évolution du volume d'eau dégagé par dessalement de l'eau de mer et du volume récupéré pour la ville de Marrakech à Al Massira (source : estimation du consultant)

Volumes en Mm <sup>3</sup> /an	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Besoins de la ville de Safi	14.7	15.5	16.2	17.2	18.0	19.0
Besoins des villes d'El Jadida et centres rattachés	25.4	28.0	30.2	32.5	35.0	37.0
Volume d'eau dessalé	40.1	43.5	46.4	49.7	53.0	56.0
Pertes d'eau récupérées (Safi)	6.0	6.2	6.5	6.8	7.2	7.6
Pertes d'eau récupérées (El Jadida)	7.6	8.5	9.0	10.0	10.5	11.0
Volume récupéré pour la ville de Marrakech au niveau du complexe Al Massira	53.7	58.2	61.9	66.5	70.7	74.6



Figure XI-1: Schéma d'alternative avec dessalement d'eau de mer et transfert d'eau de Kasba Tadla à Marrakech (DS1)

**Estimations des coûts :** L'estimation du coût de dessalement de l'eau de mer a été faite sur la base des éléments suivants:

Existence de l'usine de dessalement de l'eau de mer à Jorf Lasfar de l'OCP, ce qui est moins cher qu'une usine complètement nouvelle parce le terrain et certaines infrastructures sont déjà disponibles. Une extension de l'usine sera programmée pour satisfaire les besoins en eau potable ;

L'usine de dessalement de l'eau de mer de Safi est en cours de construction. Cette usine, d'une capacité de l'ordre de 25 Mm<sup>3</sup>/an, est juste suffisante pour couvrir les besoins de l'OCP. Une extension de l'usine de dessalement est donc nécessaire pour couvrir les besoins en eau potable de la ville de Safi ;

Les ouvrages de raccordement entre les usines de dessalement de l'eau de mer et les réseaux d'eau potable de la ville de Safi et la ville d'El Jadida ;

Capacités et volumes d'eau annuels moyens.

**Coûts d'investissement :** Le coût d'investissement y inclus le coût du terrain, la prise d'eau, le prétraitement et le post-traitement des équipements et les frais des études dépend essentiellement de la capacité de l'usine de dessalement. Le coût d'investissement global comprend :

Les coûts d'investissement de l'extension des deux usines de dessalement de l'ordre de 56 Mm<sup>3</sup>/an dont 37 Mm<sup>3</sup>/an au niveau de Jorf Lasfar et 19 Mm<sup>3</sup>/an au niveau de Safi. Ce coût se situerait à MAD 1 230 million (8 000<sup>20</sup> MAD/m<sup>3</sup>/jour = 22 MAD/m<sup>3</sup> incluant une réduction d'environ 30% pour tenir compte des investissements déjà réalisés et les terrains déjà disponibles) dont près de MAD 870 millions pour les coûts d'équipement et MAD 360 millions pour le génie civil (GC).

Les coûts de raccordement des usines de dessalement et des réseaux d'eau potable se situeraient à près de MAD 250 millions dont MAD 150 millions pour la ville d'El Jadida et MAD 100 millions pour la ville de Safi.

Ces coûts d'investissement ne comprennent pas les coûts d'installations et d'infrastructures existantes de la plateforme de l'industrie phosphatier de l'OCP de Jorf Lasfar et de Safi. Il est estimé qu'environ 30% des infrastructures ayant une assez grande capacité sont déjà en place (prise d'eau et canal d'amenée d'eau à l'usine de dessalement, canal de rejet et postes électriques existants avec suffisamment de capacité, routes d'accès existantes, etc.).

**Coût de renouvellement :** Les coûts de renouvellement sont calculés en tenant compte d'une durée de vie de 40 ans pour le génie civil et de 20 ans pour les équipements.

**Coûts fixes d'exploitation :** Les coûts fixes d'exploitation sont calculés sur la base de 3% du coût des travaux pour les équipements, 0.5% pour le génie civil et les ouvrages de raccordement et 0.8% pour l'adduction du Kasba Tadla (voir option WT1b) :

	Investissement MAD millions	Coûts fixes d'exploitation % par an	Coûts fixes d'exploitation MAD millions par an
Ouvrages génie civil	360	0.5%	1.8
Équipements	870	3.0%	26.1
Ouvrages de raccordement	250	0.5%	1.25
Adduction du Kasba Tadla	900	0.8%	7.2
<b>Total</b>	<b>2 380</b>	<b>-</b>	<b>36.35</b>

Tableau 1.2 : Coûts fixes d'exploitation des usines de dessalement de l'eau de mer

Les coûts variables d'exploitation, y inclus les coûts de traitement, sont estimés à 3 MAD/m<sup>3</sup> dessalé sur les bases suivantes:

Nombre de kWh consommés par m<sup>3</sup> dessalé : 3.0 kWh/m<sup>3</sup>

Part de l'énergie dans les frais variables : 65%

Coût de l'énergie : 0.66 MAD/kWh

**Coûts variables :** La consommation énergétique importante des usines de dessalement est un des principaux inconvénients de cette source alternative d'eau potable. Cette consommation est due,

<sup>20</sup> Il est noté que le coût d'investissement de la station de dessalement de l'eau de mer d'une capacité de 400'000 m<sup>3</sup>/jour qui sera construite dans le sud du Maroc pour assurer l'alimentation en eau potable de la ville d'Agadir et du périmètre de Chtouka est spécifié de MAD 2.53 milliards, soit de 6'325 MDH/m<sup>3</sup>/j (sans les coûts pour la station de refoulement de l'eau potable). La convention relative à la réalisation de cette station a été signée au mois de juillet 2017 au Ministère des Finances.

d'une part, au pompage à haute pression à travers les filtres de membranes (deux tiers du total) et de l'autre part au pompage de l'eau de mer et de l'eau prétraitée, aux lavages des filtres et membranes etc. Au cours des dernières années, il y a eu une diminution de la consommation spécifique grâce au remplacement progressif de la distillation par l'osmose inverse, ainsi qu'au système de récupération de l'énergie des concentrats, pour le procédé membranaire. L'énergie récupérée par les différents systèmes varie de 25 à 40% environ. Aujourd'hui la consommation en énergie électrique se situerait à près de 2.5 kWh à 3.0 kWh par m<sup>3</sup> de l'eau potable produite par osmose inverse. Cette consommation varie aussi en fonction de la température de l'eau de mer, l'éloignement du captage de l'eau brute, la production de l'usine par rapport à sa capacité totale, l'existence d'une ou deux filtrations et le type de prise d'eau. Les réformes engagées par le Royaume du Maroc permettent d'envisager des usines de dessalement de l'eau de mer, couplé avec des énergies renouvelables. Le coût du kWh éolien se situerait actuellement entre 0.3 et 0.4 MDH par kWh. Les coûts variables du transfert d'eau de Kasba Tadla vers Marrakech sont estimés (option WT1b) à 1.3 MAD/m<sup>3</sup> pour les coûts d'énergie, transport et traitement.

### Aperçu des volumes et coûts

Le tableau ci-dessous synthétise les principales caractéristiques et les coûts du dessalement de l'eau de mer pour la situation spécifique avec l'extension des stations de dessalement existantes de Safi et Jorf Lasfar et la mobilisation équivalente de jusqu'à 75 Mm<sup>3</sup>/an au niveau du complexe Al Massira et le transfert de ce volume d'eau du barrage Kasba Tadla vers Marrakech. En plus des coûts du dessalement, les coûts d'investissement et d'opération pour le transfert d'un volume équivalent de Kasba Tadla vers Marrakech doivent être inclus. Par contre, il n'y a pas de coûts pour le transfert de l'eau des stations de dessalement vers Marrakech.

Le coût total est calculé à 7.5 MAD/m<sup>3</sup> (incluant 2.6 MAD/m<sup>3</sup> pour les coûts de transport de Kasba Tadla à Marrakech). Le coût de dessalement (4.9 MAD/m<sup>3</sup>) est nettement inférieur aux estimations des coûts fournis plus haut en base des données de coûts pour la région de MENA (environ 10 MAD/m<sup>3</sup> pour une capacité de l'ordre de 40 Mm<sup>3</sup>/an). Cela s'explique par l'économie de 25% de pertes d'eau entre Al Massira et la côte et par l'économie de 30% de l'infrastructure de dessalement en partie déjà existante.

Durée des travaux d'extension	5 ans à partir de 01/01/2020
Date de mise en service	à partir de 01/01/2025
Volume d'eau dessalé	40 Mm <sup>3</sup> /an (2025) et 56 Mm <sup>3</sup> /an (2050)
Volume d'eau dégagé au niveau d'Al Massira	54 Mm <sup>3</sup> /an (2025) et 75 Mm <sup>3</sup> /an (2050)
Coût d'investissement : Dessalement Adduction du barrage Kasba Tadla	MAD 1 480 millions pour 56 Mm <sup>3</sup> /an MAD 900 millions pour 75 Mm <sup>3</sup> /an
Coûts fixes d'exploitation (dessalement et transfert du barrage de Kasba Tadla)	MAD 36.2 millions (environ 0.6 MDH/m <sup>3</sup> )
Coûts variables du dessalement	3.0 MAD/m <sup>3</sup>
Coûts variables du transfert de Kasba Tadla vers Marrakech (vers Canal de Rcade) : - Frais de pompage - Coût de transport - Coût du traitement de l'eau	Total 1.3 MAD/m <sup>3</sup> come suit: 0.52 MAD/m <sup>3</sup> 0.53 MAD/m <sup>3</sup> 0.25 MAD/m <sup>3</sup>
Coût par m <sup>3</sup> d'eau dégagé	7.5 MAD/m <sup>3</sup> (sans 20% pour les coûts imprévus et les éventualités)

Tableau XI-2: Estimation du coût du m<sup>3</sup> d'eau dégagé par le dessalement de l'eau de mer

**Les impacts environnementaux et sociaux** : le dessalement de l'eau de mer permet d'assurer une offre sécurisée en eau potable. Les externalités positives associées au dessalement correspondent à i) la diminution de la pression sur les eaux de surface et souterraines, ii) l'atténuation (voir l'abandon) des investissements (et des externalités négatives) relatifs aux projets de transferts interbassins quand le coût du m<sup>3</sup> produit devient compétitif et iii) la production d'une eau de qualité, exempte de polluants et de virus. L'absence de calcaire permet d'éviter le colmatage des réseaux de distribution et des installations de pompage ce qui réduit les coûts d'entretien. Ces avantages sont contrebalancés par les effets négatifs qui sont présents pendant la durée de vie de cette option:

<b>Mesure : Dessalement de l'eau de mer par osmose inverse (OI)</b>		
<b>Phase</b>	<b>Niveau du site</b>	<b>Aval hydraulique</b>
<b>Phase de construction</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pollution de l'air (poussières et gaz)</li> <li>• Dégradation des écosystèmes</li> <li>• Sécurité des ouvriers et des riverains</li> <li>• Expropriations</li> <li>• Pertes de valeurs écologiques</li> <li>• Pertes de valeurs patrimoniales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Détérioration de la qualité des eaux de baignade</li> <li>• Pollution marine</li> </ul>
<b>Phase d'exploitation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perte de revenus (tourisme, récréation)</li> <li>• Bruit</li> <li>• Gestion inefficace du stockage des produits chimiques</li> <li>• Déchets solides (filtres, futs, sacs d'emballage, etc.)</li> <li>• Rejet de saumure</li> <li>• Potentiel de gaz à effet de serre (lié à la consommation importante d'énergie)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modification de la salinité de l'eau de mer</li> <li>• Diminution du taux d'oxygène</li> <li>• Augmentation des teneurs en métaux lourds</li> <li>• Perte d'écosystèmes</li> <li>• Perte de la qualité des eaux de baignade</li> </ul>

*Tableau XI-3: Les impacts environnementaux et sociaux du dessalement d'eau de mer*

## 2. Réutilisation des eaux usées traitées pour usage non-potable et réutilisation des eaux grises dans les hôtels

### 2.1 Réutilisation des eaux usées traitées pour usage non-potable (WW1)

**Sommaire de la situation actuelle:** La zone desservie par le réseau d'assainissement liquide de la RADEEMA comprend l'agglomération de Marrakech avec les arrondissements Menara, Gueliz, Médina, Méchouar-Kasbah, Sidi Youssef Ben Ali et Annkhil et s'étend partiellement dans les communes rurales dans les alentours. Cette zone d'action s'étend sur une superficie de 23 804 ha avec une population d'environ 1 million d'habitants. Le taux de desserte est d'environ 91% et le linéaire du réseau est à peu près 2 500 kilomètres. Avec l'accroissement du nombre des projets de golfs et surtout le déficit alarmant au niveau du Canal de Rocade et l'abaissement de la nappe de Haouz, il a été décidé de construire une Station d'Épuration des Eaux Usées (STEP) dans le but d'utiliser les eaux usées traitées pour l'arrosage des terrains de golf et des espaces verts.

La STEP d'une capacité de 1.3 million équivalents habitants (118 000 m<sup>3</sup>/j, soit < 43 Mm<sup>3</sup>/an ; temps de pluie: 9'828 m<sup>3</sup>/h) traite la quasi-totalité des eaux résiduaires urbaines de la ville de Marrakech et offre des ressources en eau non-conventionnelles (eaux usées épurées) d'une capacité de l'ordre de 33 Mm<sup>3</sup> par an.

Le traitement tertiaire et le system de distribution avec 5 stations de pompage permet d'assurer les besoins en eau d'irrigation des terrains de golf dont les besoins moyens sont estimé à environ 1 Mm<sup>3</sup> par an par terrain de golf. Sur les 19 projets prévus au niveau de Marrakech, 11 sont fonctionnels actuellement, 3 en cours de réalisation et 5 sont en stand-by. Sur les 11 golfs fonctionnels, 8 sont desservis par la STEP avec un volume d'eau usée traitée d'environ 6 Mm<sup>3</sup> par an (2015). La dotation en eau de chaque golf, ainsi que les conditions d'approvisionnement et de contribution financière sont régis par une convention passée entre la RADEEMA et les promoteurs. Selon les clauses de la convention, les promoteurs sont tenus de couvrir au moins 80% des besoins des golfs par les eaux traitées; la différence de 1.5 à 2 Mm<sup>3</sup> par an est pompée de la nappe, car le m<sup>3</sup> pompé coûte moins cher (environ 0.5 à 1.5 MAD/m<sup>3</sup> incluant les frais d'abstraction de 0.04 MAD/m<sup>3</sup>) que le m<sup>3</sup> épuré (2.5 MAD/m<sup>3</sup>, qui est la prix de vente présentement facturé au golfs basé sur un volume actuellement et réellement distribué de 6 Mm<sup>3</sup>/an). Selon RADEEMA, 17 golfs ont signé une convention et au moins deux continuent de s'approvisionner exclusivement à partir de la nappe et du canal de Rocade et extraient environ 2.5 Mm<sup>3</sup> par an.

A part l'utilisation des eaux usées pour les golfs, la Palmeraie de Marrakech - faisant partie du Patrimoine de l'UNESCO - est irriguée avec de l'eau usée. Dans une première phase, 390 ha de Palmeraie avec environ 200 000 palmiers sont déjà irrigués avec 0.75 Mm<sup>3</sup> par an d'eau usée traitée. A l'avenir proche, la totalité de la Palmeraie qui s'étend sur 810 ha sera approvisionné par la STEP avec 1.5 Mm<sup>3</sup> par an. Les coûts d'investissement de ce projet sont environ de 35 MAD.

Les eaux usées traitées qui ne sont pas ou ne peuvent pas être utilisées pour l'irrigation des golfs et de la Palmeraie (env. 26 Mm<sup>3</sup> par an en 2015) sont évacuées dans le Tensift. Une partie considérable de ce volume devrait infiltrer dans la nappe.

**Description et impacts de l'option pour Marrakech :** Selon les informations de la RADEEMA et des études environnementales<sup>21</sup>, les capacités hydrauliques des traitements primaire, secondaire et tertiaire seront saturées vers 2020. RADEEMA a donc initié la planification de l'extension de la STEP ou bien de la construction d'une deuxième STEP. Pour le moment l'extension de la STEP existante est priorisée.

---

21 Diagnostic et analyse de l'état de l'environnement dans l'espace aggloméré de Marrakech, Rapports Provisoires des Missions II et III, Marché no. 12/2012, Resing, février 2014.

En tenant compte de mesure d'économie d'eau (p.ex. irrigation goutte-à-goutte, arrosage automatisé des terrains de golf selon les besoins actuels mesurés en continue, remplacement du gazon dans les espaces verts par des plantes plus économiques en consommation d'eau), les besoins d'arrosage par hectare devraient se stabiliser et diminuer à long-terme. A l'horizon 2030, la demande en eau d'irrigation pour Marrakech est donc estimée à environ 35 Mm<sup>3</sup> par an. Le besoin d'arrosage futur sera donc inférieur à la ressource des eaux usées utilisables à des fins d'arrosage ou d'irrigations, estimée à 42 Mm<sup>3</sup> / an d'ici 2030 et 50 à 55 Mm<sup>3</sup>/an d'ici 2050.

Afin de pouvoir couvrir les besoins en eau d'arrosage et d'irrigation par l'eau usée traitée, la capacité de traitement de la STEP doit être agrandie au fur et à mesure et les systèmes d'adduction d'eau usée traitée doivent être développés. L'augmentation de la capacité de traitement de présentement 33 Mm<sup>3</sup> à environ 60 Mm<sup>3</sup> par an devrait impliquer des investissements de l'ordre de grandeur de MAD 1 000 millions. Comme le traitement primaire et secondaire des eaux usées représente une exigence légale, les coûts d'investissement et d'opération correspondants ne doivent pas être pris en compte pour la réutilisation des eaux usées traitées

**Description de la faisabilité et la vulnérabilité climatique :** Autre l'effet positif sur la nappe phréatique par une réduction de pompage des eaux souterraines et l'infiltration des eaux usées traitées cette option pourrait avoir les conséquences négatives suivantes:

Les eaux épurées sont généralement de forte teneur en sels. Elles sont donc susceptibles de se traduire par des effets de salinisation des sols ce qui pourrait éventuellement entraîner des pratiques de lessivage des sols. La quantité d'eau de lessivage peut représenter près de 30% des volumes d'eau nécessaire pour l'arrosage des golfs.

La réutilisation des eaux usées épurées pour les golfs et les espaces verts se traduit par une importante réduction des volumes disponibles pour le secteur de l'irrigation informelle.

L'irrigation avec les eaux usées épurées est susceptible d'entraîner une stérilisation des sols. Elle comporte un risque de contamination des sols et de la nappe en sels, nitrates, pesticides et métaux lourds (par exemple chrome issue des tanneries).

Cependant, ces dommages potentiels sont très limités au regard des bénéfices sanitaires, en termes de santé publique et de protection des ressources en eau, engendrés par un traitement des eaux usées. Les eaux usées ne sont pas affectées par l'impact sur les changements climatiques.

**Projections des volumes :** La réalisation d'un projet de recharge à partir des eaux usées épurées de la ville de Marrakech pour améliorer l'infiltration et la recharge de la nappe de Haouz avec un volume d'eau de près de 30 Mm<sup>3</sup> par an comprendrait les composantes suivantes :

Agrandissement de la STEP de 33 à 60 Mm<sup>3</sup>/a

Système de transport de la STEP vers les sites d'utilisation de l'eau

Le volume d'eau épuré qui serait réutilisé a été estimé sur la base des besoins en eau potable de la ville de Marrakech de 79 Mm<sup>3</sup> en 2030 et 103 Mm<sup>3</sup> en 2050 et les besoins en eau des espaces verts de la ville de Marrakech et des terrains de golfs. Une dotation en eau de 30 Mm<sup>3</sup>/an a été définie à la satisfaction de ces besoins de ces espaces et ces terrains.

Le projet de traitement et de réutilisation des eaux usées épurées de Marrakech se justifie pour :

assurer le respect des normes de rejet dans le milieu naturel et l'amélioration des conditions sanitaires et environnementales de la ville ;

répondre aux besoins en eau des terrains de golfs et des espaces verts ;

répondre aux besoins d'irrigation du périmètre de Nfis, irrigué par le complexe Lalla Takerkoust ou renforcer les ressources en eau de la nappe du Haouz.

Le volume d'eau usée traitée provenant de la deuxième étape de la STEP est donné dans le tableau ci-après :

Tableau 2.1 : Estimation de l'évolution du volume d'eau usée traitée supplémentaire (source : RADEEMA)

Mm <sup>3</sup> /an	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Volume dégagé	-	-	10	15	20	25	30

**Estimations des coûts :** Les coûts d'investissement sont estimés comme suit :

Agrandissement de la STEP de 33 à 60 Mm<sup>3</sup>/a : environ MAD 1'000 millions dont près de 20 % pour le traitement tertiaire ; la répartition du coût de la STEP serait comme suit<sup>22</sup> :

- MAD 800 millions pour le projet relatif au respect des normes et l'amélioration des conditions sanitaire (coût du traitement primaire et secondaire) ;
- MAD 200 millions pour le projet de réutilisation des eaux usées et épurées (traitement tertiaire)

Système de transport de la STEP vers les sites d'utilisation de l'eau : environ MDH 300 millions qui s'additionnent à l'investissement de la STEP. Par rapport à la première phase de la STEP, les coûts du système de transport seront probablement inférieurs car, il n'y aura plus de système de distribution pour alimenter les golfs, mais l'eau usée traitée serait transportée sur une distance d'environ 25 km vers le Canal de Rode.

Ce projet pourrait être réalisé dans le cadre du Programme national de réutilisation des eaux usées et épurées en cours de lancement par le Ministère Chargé de l'Eau. Pour la prise en compte des coûts de renouvellement des infrastructures une durée de vie moyenne de 20 ans semble réaliste.

Les coûts fixes d'exploitations sont estimés à 2% des coûts d'investissement (benchmarks internationaux).

Coût d'entretien, d'opération et de traitement : La note de synthèse de l'AFD relative aux avancées récentes et enjeux majeurs du secteur de l'eau au Maroc, établie en avril 2008, a évalué les charges de fonctionnement de la station de traitement des eaux usées à près de 15% des coûts d'investissement du traitement tertiaire et des ouvrages de distribution, soit MAD 75 million/an ou 2.5 MAD/m<sup>3</sup> sur la base de la totalité des volumes traités (environ 30 Mm<sup>3</sup>/an d'ici 2050).

**Aperçu des volumes et coûts :** Le tableau ci-dessous synthétise les principales caractéristiques de la réutilisation des eaux usées épurées pour l'arrosage et la recharge de la nappe phréatique. Le coût total est calculé à 5.4 MAD/m<sup>3</sup>. Le niveau des coûts est plus élevé parce que les avantages complets des investissements prévus pour la période 1925 - 1929 ne feraient que mûrir pendant les années 2040.

<sup>22</sup> Selon la RADEEMA, le coût total d'investissement de la première étape de la STEP existante d'une capacité de 33 Mm<sup>3</sup>/an était MAD 1 232 millions, soit MAD 746 millions pour le coût du traitement primaire et secondaire, et 486 MAD pour le coût du traitement tertiaire et du réseau de distribution (environ 80 km). Le projet a été subventionné par l'état avec 150 MAD et les promoteurs de golf ont contribué 265 MAD (au lieu de 486 millions comme initialement prévue).

Durée de réalisation	5 ans (1925 – 1929)
Date de mise en service	à partir de 01/01/2030
Volume d'eau dégagé	10 Mm <sup>3</sup> /an en 2030 à 30 Mm <sup>3</sup> /an en 2050
Coût d'investissement	MAD 200 millions pour le traitement tertiaire et MAD 300 millions pour la distribution des eaux usées épurées. Coûts totales : MAD 500 millions
Coûts fixes d'exploitations	MAD 10 million/an (2% d'investissement)
Coûts d'opération	2.5 MAD/m <sup>3</sup> : MAD 75 millions par an d'ici 2050
Coût par m <sup>3</sup> d'eau dégagé	5.4 MAD/m <sup>3</sup> (sans 20% pour les coûts imprévus et les éventualités)

Tableau XI-4: 1Estimation des volumes et coûts du m<sup>3</sup> pour la réutilisation des eaux usées épurées pour l'arrosage et la recharge de la nappe phréatique

**Les impacts environnementaux et sociaux :** L'eau recyclée est généralement utilisée aux fins suivantes :

- L'irrigation des terrains de golf, des parcs, des terrains de sport ;
- Comme eau industrielle pour les systèmes de refroidissement, pour le système incendie, pour l'abattement des poussières, pour les blanchisseries, pour les installations de lavage de voitures ;
- Pour l'agriculture : irrigation, alimentation animale, etc. ;
- Pour les immeubles administratifs pour les toilettes ;
- Pour la recharge des nappes ; etc.

En plus d'être une source d'approvisionnement constante et indépendante des précipitations, les externalités positives les plus citées pour la réutilisation des eaux usées traitées correspondent aux coûts de dégradation de l'environnement évités. Au Maroc, selon la Banque Mondiale (2016c), les coûts de dégradation de l'environnement relatifs aux eaux usées rejetées sans traitement (62%) seraient en moyenne de 818 millions de dirhams. La réutilisation des eaux usées traitées permet également de diminuer la pression exercée sur les ressources en eau (de surface et souterraines). Le même rapport cité plus haut estime que pour le bassin de Tensift "La réutilisation des eaux usées pour alléger la pression sur la nappe dont la surexploitation est évaluée à 180 Mm<sup>3</sup>/an, nécessitera six STEP de capacité identique à celle actuellement installée à Marrakech en 2011...pour un coût total d'investissement (par usine) de 1 232 millions MAD. En se basant sur une durée de vie de 25 ans par STEP, une valeur résiduelle nulle à la fin de la période, un taux de capitalisation de 6 % et un taux d'inflation de 1,2%, l'annuité actualisée pour l'année 2014 serait de 551 millions MAD", c'est à dire 7,5% d'un investissement de presque 7,4 milliard MAD (non compris le coût d'exploitation). Ces avantages sont contrebalancés par les effets négatifs qui sont présents pendant la durée de vie de cette option :

Réutilisation des eaux usées traitées pour usage non-potable			
Phase	Niveau du site	Aval hydraulique	Amont hydraulique
Phase de construction (réseaux et STEP)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perte de sols arables</li> <li>• Pollution de l'air (poussières et gaz)</li> <li>• Dégradation des écosystèmes</li> <li>• Sécurité des ouvriers et des riverains</li> <li>• Déplacement des populations</li> <li>• Expropriations</li> <li>• Pertes de valeurs écologiques</li> <li>• Pertes de valeurs patrimoniales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pollution des eaux de surface et souterraines</li> </ul>	

<i>Phase d'exploitation</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Augmentation de la fréquence des maladies hydriques (ouvriers, populations limitrophes de la STEP)</li> <li>• Production de gaz à effets de serre</li> <li>• Production de boues</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Augmentation de la fréquence des maladies hydriques (parcs, golfs, cours d'eau, sources, puits, agriculture, eaux de baignade)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Augmentation de la fréquence des maladies hydriques (parcs, golfs, agriculture, puits et sources)</li> <li>• Pertes de revenus (tourisme, pêche, agriculture)</li> </ul>
-----------------------------	--	--	---

## 2.2 Réutilisation des eaux grises dans les hôtels (WW3)

**Sommaire de la situation actuelle :** La consommation en eau potable dans les hôtels et hébergements de Marrakech est très considérable. En assumant selon les figures ci-dessous une capacité actuelle d'environ 80'000 lits, une consommation modérée spécifique de 300 litres par nuitée et un taux d'occupation moyen de 40%, la consommation annuelle est estimée présentement à environ 3.5 Mm<sup>3</sup> par an. Ce chiffre est plus élevé que les ventes de la RADEEMA aux clients de catégorie touristique spécifiées pour 2015 à 2,7 Mm<sup>3</sup> par an. La facturation de la RADEEMA au secteur touristique semble donc être trop basse.

Catégorie	Standards de consommation d'eau au Maroc (litre / nuitée)
Hôtel 5* Grand Luxe	600
Hôtel 5*	500
Hôtel 4*	400
Hôtel 3*	300
Ryad, équivalent 5*	500
Villa	300
Village de vacances, équivalent 4*	350
Appart-hôtel	250
Appartement	180

*Tableau XI-5: Standards marocain de consommation en eau potable des hébergements (source: ONEP/ ABHT, Mission I, Inventaires des établissements touristiques [...], 2010)*

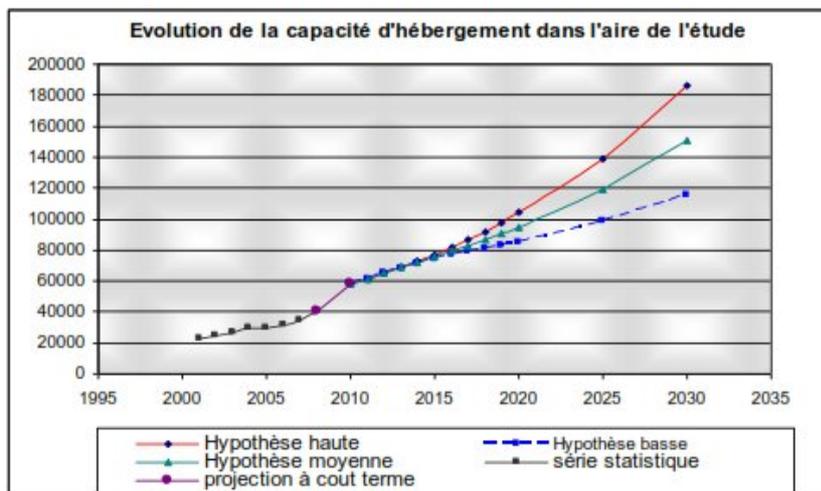


Figure XI-2: Évolution de la capacité litière à Marrakech à long terme (source: ONEE/ ABHT, Mission I, Inventaires des établissements touristiques [...], 2010)

CATEGORIE	NOMBRE	NOMBRE DE CHAMBRES	NOMBRE DE LITS
LUXE	08	1.011	2.145
5 ETOILES	17	4.762	9.912
4 ETOILES	29	4.974	10.169
3 ETOILES	22	1.439	3.085
2 ETOILES	13	745	1.512
1 ETOILES	8	467	951
HÔTELS CLUB	12	2.898	6.242
R.H (Résidences Hôtelières)	26	933	2.306
AUBERGES	09	102	226
PENSIONS	14	249	567
GÎTES ET FERMES D'HÔTES	32	100	578
REFUGES	05	-	198
CAMPING	01	-	60
MAISONS D'HÔTES	650	3.910	8.588

Tableau XI-6: Typologie des établissements touristiques (source: ABHT/ Waman Consulting, Mission II, État des lieux et perspective de rationalisation de l'usage de l'eau dans le secteur hôtelier de Marrakech [...], 2010)

A Marrakech, les établissements hôteliers disposent de sources diverses en eau. L'alimentation en eau potable est assurée principalement par la RADEEMA. Pour les autres usages, les établissements disposent souvent de ressources alternatives permettant de réduire la facture d'eau et de disposer d'une flexibilité en matière d'approvisionnement en eau. La structure de la consommation d'eau peut être résumée de la manière suivante:

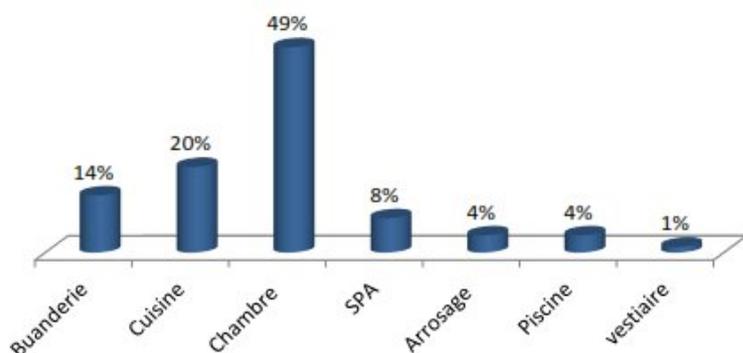


Figure XI-3: Répartition de la consommation en eau potable sur les différents services (source: ABHT/ Waman Consulting, Mission II, État des lieux et perspective de rationalisation de l'usage de l'eau dans le secteur hôtelier de Marrakech [...], 2010)

Le Plan national pour le développement des activités touristique conçu en 2010 a comme ambition d'imposer le Maroc comme un modèle touristique combinant une croissance soutenue avec une gestion responsable de l'environnement et le respect de l'authenticité culturelle du Maroc.

**Description et impacts de l'option pour Marrakech :** En considérant que la consommation en eau potable du secteur touristique devrait encore augmenter et pourrait atteindre une demande de 5 à 10 Mm<sup>3</sup> par an, le potentiel pour des économies est considérable. Car la réalisation des économies de l'eau dans des établissements de luxe représente un défi, des mesures de recyclage d'eau ou bien de la réutilisation des eaux grises relativement peu polluées des douches, buanderies et piscines représentent une option pertinente avec un potentiel de plusieurs millions de m<sup>3</sup> par an. En effet, dans des établissements touristiques plus de 50% de la consommation en eau potable correspond à l'eau grise peu polluée et relativement facile à traiter et réutiliser.

Selon des études pilotes en Jordanie<sup>23</sup> le potentiel d'économie de la réutilisation des eaux grises est d'un ordre de grandeur de 15 à 20 m<sup>3</sup> par chambre d'hôtel par an. Une augmentation de capacité de 20'000 lits ou 10'000 chambres correspond donc à un potentiel d'économie d'environ 150'000 à 200'000 m<sup>3</sup> par an sans compromettre la qualité des services ou les conditions sanitaires.

Étant donné que la réutilisation des eaux grises requiert des installations sanitaires doubles, cette option semble avant tout favorable pour des nouvelles infrastructures touristiques où les tuyauteries sanitaires et des systèmes de traitement adaptés peuvent être planifiés et installés dès le début. Il existe aujourd'hui une multitude de systèmes pour traiter les eaux grises des hôtels, comme par exemple le système Pontos AquaCycle ([http://pro.hansgrohe-int.com/assets/global/pontos\\_ac2500\\_brochure.pdf](http://pro.hansgrohe-int.com/assets/global/pontos_ac2500_brochure.pdf)) qui a démontré son efficacité dans une multitude d'applications.

Comme le démontre les expériences en Jordanie, l'implémentation de systèmes de réutilisation des eaux grises requiert une adaptation du cadre institutionnel et réglementaire ainsi que la provision des règles et standards pour la réutilisation interne des eaux grises (la réutilisation pour l'irrigation est déjà réglementée). Le projet de loi sur l'eau en cours de discussion au Parlement ouvre la possibilité de réutiliser les eaux grises à condition de ne pas les utiliser à la boisson, à la préparation, au conditionnement ou à la conservation de produits ou denrées alimentaires.

En tenant compte des coûts d'approvisionnement en eau à partir du projet, la réutilisation des eaux grises engendre des économies importantes en termes de coût d'utilisation pour l'ONEE, la RADEEMA et les établissements hôtelières.

Les options pour la réutilisation des eaux usées devraient être évaluées plus, par exemple à l'aide d'un projet pilote à Marrakech, comme cela avait été demandé dans l'atelier avec la Banque Mondiale au juillet 2016. Dans le cadre d'un tel projet pilote, un programme d'utilisation des eaux grises devrait être élaboré qui comprendra une définition du cadre institutionnel, la réglementation à mettre en place ainsi que les mesures incitatives pour promouvoir les eaux grises.

**Projections des volumes :** La capacité hôtelière est estimée en 2015 à 80 000 lits ou environ 40 000 chambres. La consommation actuelle du secteur touristique est estimée par le consultant à environ 3.5 Mm<sup>3</sup> par an, ce qui correspond à environ 250 litre par chambre et jour.

En scénario moyen les besoins en eau des établissements hôteliers sont évalués à 4.4 Mm<sup>3</sup>/an en 2030 et à 6.6 Mm<sup>3</sup>/an en 2050. En tenant compte que près de 50% de la consommation en eau potable correspond à l'eau grise peu polluée et relativement facile à traiter et à réutiliser, le potentiel en eau grise au niveau de l'ensemble des établissements hôteliers se situerait à 2.2 Mm<sup>3</sup>/an en 2030 et à 3.3 Mm<sup>3</sup>/an en 2050. Un programme volontariste de récupération de ce potentiel en eau grise doit être étudié, et mis en œuvre au niveau de l'ensemble des établissements de la ville de Marrakech compte tenu de la rareté de l'eau dans la région de Marrakech et de l'importance du coût de l'eau qui pourrait dépasser les 20 MAD/m<sup>3</sup> si le manque à gagner pour l'irrigation est pris en compte dans le coût de l'eau potable à partir du projet de transfert d'eau.

---

23 Silke Rothenberger et. al, 2011: In-house Grey Water Reuse for Large-Volume Consumers in Jordan,

Figure XI-4: Estimation de l'évolution du potentiel en eau grise au niveau de l'ensemble des établissements hôteliers

Volume dégagé	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Mm <sup>3</sup> /an	1.8	2	2.2	2.5	2.7	3.0	3.3

Les besoins en eau des jardins des hôtels, d'une superficie globale de l'ordre de 510 ha, sont estimés à près de 1.7 Mm<sup>3</sup> par an. Le potentiel en eau grise dépasse donc les besoins en eau d'arrosage des espaces verts au niveau des établissements hôteliers.

**Estimations des coûts :** Le coût du mètre cube d'eau grise a été estimé dans l'étude de Tarfaya et Al Hoceima<sup>24</sup> à près de 22 MAD/m<sup>3</sup>. Ce coût était estimé sur la base des benchmarks internationaux de réutilisation des eaux grises pour les ménages (35 l/pers/jour d'eau économisé pour un coût de l'ordre de 4 000 EUR (source : Cambridge Water). Ce coût a été réduit de 50% pour refléter le niveau des prix au Maroc. Sur la base de ces éléments de coût, le coût d'investissement du programme global se situerait à près de MAD 400 millions.

**Coût de renouvellement :** Pour la prise en compte des coûts de renouvellement des installations de collectes et de traitement des eaux grise une durée de vie de 20 ans semble réaliste.

**Coûts fixes d'exploitation :** Sur la base de benchmarks internationaux, les coûts d'exploitations sont estimés à 2% des coûts d'investissement. Ce coût englobe l'ensemble des coûts d'entretien, de maintenance et des frais d'énergie.

**Aperçu des volumes et coûts :** Le tableau ci-dessous synthétise les principales caractéristiques de la réutilisation des eaux grises dans les hôtels ainsi que le coût du mètre cube d'eau potable. Le coût total est calculé à 26 MAD/m<sup>3</sup>.

Durée de réalisation	à court terme
Date de mise en service	à partir de 2020
Volume d'eau dégagé	1.7 Mm <sup>3</sup> /an de 2020 jusqu'à 2050
Coût d'investissement	MAD 400 millions
Durée d'amortissement de l'investissement	20 ans
Coût d'entretien, incluant les frais de pompage et les coûts du traitement de l'eau	MAD 8 millions/an, soit 4.7 MAD/m <sup>3</sup>
Coût par m <sup>3</sup> d'eau dégagé	26.1 MAD/m <sup>3</sup> (sans 20% pour les coûts imprévus et les éventualités)

Figure XI-5: Estimation du coût du m<sup>3</sup> d'eau dégagé par la réutilisation des eaux grises dans les hôtels

**Les impacts environnementaux et sociaux :** Bien que les coûts de traitement des eaux grises soient élevés, leur réutilisation présente une externalité positive intéressante dans le sens où elle permet de réduire la demande en eau potable pour les usages dans les toilettes et dans l'irrigation des jardins. Cette réutilisation entraîne la réduction des investissements nécessaires au traitement des eaux usées ainsi que la réduction des taux de pollution y associées. Il est admis que plus de 50% des eaux usées générées par les habitations (et les hôtels) correspondent à des eaux grises. Ces avantages sont contrebalancés par les effets négatifs qui sont présents pendant la durée de vie de cette option :

Réutilisation des eaux grises dans les hôtels		
Phase	Niveau du site	Aval hydraulique

<sup>24</sup> Tarfaya et Al Hoceima, 2015 : Étude de l'analyse économique : réduction de l'écart entre l'offre et la demande en eau en milieu urbain au Maroc

Phase de construction	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rejet de l'option pour des considérations de coûts</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sans objet</li> </ul>
Phase d'exploitation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Augmentation de la fréquence des maladies hydriques (si le système de traitement est défaillant)</li> <li>• Salinisation des sols</li> <li>• Pollution des eaux souterraines</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pollution des eaux souterraines</li> </ul>

### 3. Réhabilitation du réseau, détection des fuites et mesures d'accompagnement (NR1)

**Sommaire de la situation actuelle:** La situation actuelle du système d'adduction et de distribution d'eau de l'ONEE peut être caractérisée comme suivant:

Les rendements globaux de l'ONEE pour l'alimentation et la fourniture aux distributeurs de l'eau potable et industrielle de la région de Marrakech sont de l'ordre de 90%. L'essentiel des pertes en eau correspond aux besoins de procès de la station de traitement (purges continues des débourbeurs, lavage des filtres, etc.). On suppose que ces pertes d'eau sont retournées au Canal de Rocate.

En aval de la station de traitement jusqu'à la livraison à la RADEEMA, les rendements sont estimés à 98%. Les infrastructures de l'ONEE offrent peu de perspectives en matière de potentiel d'économie d'eau.

L'ONEE engage des programmes d'amélioration des rendements techniques des réseaux de distribution d'eau potable au niveau des centres urbains de la région. Actuellement, le rendement des réseaux varie de à 63% à plus de 80% ; l'objectif de l'ONEE est d'atteindre généralement des rendements de 80% en 2020.

Selon RADEEMA, la situation actuelle du système de distribution d'eau de la RADEEMA peut être caractérisée comme suivant:

La RADEEMA engage annuellement un programme d'amélioration du rendement technique du réseau de distribution d'eau potable. Actuellement le rendement du réseau est de l'ordre de 75%. L'objectif de la RADEEMA est d'atteindre un taux de rendement de 77% en 2019. Le budget consacré à cet objectif est de MAD 100 millions.

Le taux du renouvellement de la canalisation d'eau potable (2 400 km en totale) est de 1.5% par an, correspondant à MAD 15 à 20 millions par an. Le taux du renouvellement de la canalisation des eaux usées est d'environ 1% par an.

La canalisation d'eau potable dans la Médina se trouve dans un moins bon état et les fuites d'eau peuvent causer de problèmes structurels aux fondations des maisons. En outre, les fontaines publiques ne sont pas facturées ce qui implique des pertes financières dans la Médina.

Un programme de détection de fuites (« leak detection ») est en cours.

La sectorisation du réseau est en cours et prévoit deux zones de pression.

**Description et impacts de l'option pour Marrakech :** Selon le Schéma directeur 2017, la RADEEMA prévoit entre autres les mesures suivantes afin d'augmenter le rendement à au moins 80% en 2025 et de rendre plus fiable l'approvisionnement en eau potable:

Maintenir le taux de renouvellement à au moins 1.5% par an

Réhabilitation des canalisations dans la Médina

Construction de deux réservoirs de 60 000 m<sup>3</sup> afin de mieux pouvoir couvrir les demandes de pointe et d'installer des réservoirs des deux côtés de la ville (totale 185 000 m<sup>3</sup> au sud et 60 000 m<sup>3</sup> au nord)

Établissement d'une structure de ceinture intégrant les zones périphériques de Marrakech

Modélisation hydraulique du réseau

Pour notre analyse économique, nous allons supposer que l'amélioration de l'efficacité de la distribution se fera à un rythme de 5% par 10 ans, passant de 80% en 2025 à 85% en 2035 et à 90% en 2045, après quoi elle demeurera constante. Au cours de cette période, RADEEMA aurait renouvelé presque 50% de son système de distribution. L'amélioration du rendement avec 5% devrait permettre de réduire les pertes en eau d'environ 5 Mm<sup>3</sup>/an compte tenu de la demande brute à l'horizon 2030 (80 Mm<sup>3</sup>/an). Donc, dans l'analyse l'économie d'eau augmente de 5 Mm<sup>3</sup>/an en 2025 à 10 Mm<sup>3</sup>/an en 2035 et à 15 Mm<sup>3</sup>/an en 2045. L'amélioration des rendements techniques ne présente généralement pas de coûts d'opportunité (les volumes d'eau de fuite récupérés et réintégrés dans les réseaux ne privent aucun usager) et n'engendre pas d'externalités économiques ou environnementales négatives. Le coût du rendement économique doit être comparé à celui de l'adduction de l'eau d'Al Massira, car un m<sup>3</sup> d'eau perdu dans le réseau se traduirait par un prélèvement d'eau à partir du barrage d'Al Massira dont le coût se situerait à près de 7 MAD/m<sup>3</sup> sans compter le coût du transfert d'eau du nord vers le réservoir d'Al Massira (7.4 MAD/m<sup>3</sup>).

**Description de la faisabilité et la vulnérabilité climatique :** Il semble techniquement faisable d'augmenter le rendement du système de distribution au niveau de la ville de Marrakech à 85 % en 2035 et de réduire les pertes physiques à 15%. La réduction des pertes en eau potable à ce niveau nécessite entre autres que :

- Le taux du renouvellement de la canalisation d'eau potable actuellement de 1.5% soit renforcé notamment en la Médina ;
- Le programme de détection de fuites soit renforcé ;
- La sectorisation du réseau soit réalisée, y inclus l'établissement des « District Metered Areas ».

Des mécanismes de financement de cette amélioration du rendement devraient être étudiés et mis en place. La réhabilitation des réseaux n'est pas affectée par les changements climatiques.

**Projection des volumes :** Compte tenu de la rareté de l'eau dans la région de Marrakech et surtout l'importance du coût de l'eau (de l'ordre de 15 MAD/m<sup>3</sup> à partir du projet de transfert d'eau sans prendre en compte le manque à gagner), l'objectif d'un rendement de 80% paraît faible. Un rendement de 85% au niveau de la ville de Marrakech et les centres urbains de la région doit être visé d'ici 2035 (et pourquoi pas 90% d'ici 2045 ?) pour réduire les pertes physiques significativement. Avec cette amélioration du rendement, les pertes d'eau seraient réduites de 10 Mm<sup>3</sup>/an en 2035. Une augmentation de l'efficacité de la distribution de 1% entraîne une réduction des pertes d'environ 1 m<sup>3</sup>/s.

Réduction des pertes (Mm <sup>3</sup> /an)	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Rendement (%) – 75% en 2015	77.5%	80.0%	82.5%	85%	87.5%	90%	90%
Économie d'eau (Mm <sup>3</sup> /an)	2.5	5.0	7.5	10	12.5	15	15

Tableau XI-7: Estimation de l'évolution du volume d'eau dégagé par la réhabilitation du réseau de distribution de la RADEEMA et l'augmentation du rendement

**Estimation des coûts d'investissement :** Selon RADEEMA, il est estimé qu'initialement un budget l'ordre de MAD 100 millions est nécessaire, suivi par un investissement de MAD 15 millions/an. Le taux du renouvellement de la canalisation d'eau potable devrait être plus que 1.5%.

Coûts fixes d'exploitation : Les charges d'entretiens et de maintenance afférentes au programme de réhabilitation du réseau sont estimées sur la base des normes professionnelles françaises à près de 0.2 MAD/m<sup>3</sup> (note de synthèse de l'AFD).

Coût d'opération : La réhabilitation du réseau n'influence pas significativement les coûts d'opération.

**Aperçu des volumes et coûts :** Le tableau ci-dessous synthétise les principales caractéristiques et les coûts de la réhabilitation du réseau de distribution de l'eau potable de la RADEEMA. Le coût de l'eau économisée est calculé à 3.0 MAD/m<sup>3</sup>.

Date de mise en service	à partir de 2018
Volume d'eau dégagé	10 à 15 Mm <sup>3</sup> /an (rendement de 85% en 2035 et 90% en 2045)
Coût d'investissement	Investissement initial : MAD 100 millions Investissement annuel : MAD 15 million/an
Coût d'entretien et « leak detection »	0.2 MAD/m <sup>3</sup>
Coût d'opération	Pas de changement par rapport à la situation actuelle
Coût par m <sup>3</sup> d'eau dégagé	3.0 MAD/m <sup>3</sup> (sans 20% pour les coûts imprévus et les éventualités)

*Tableau XI-8: Estimation du coût du m<sup>3</sup> d'eau potable dégagé par la réhabilitation du réseau de distribution*

**Les impacts environnementaux et sociaux :** L'amélioration du rendement du réseau de distribution nécessite, entre autres opérations, celle du remplacement des sections de canalisation détériorées. Ces travaux sont généralement limités dans le temps et intéressent un linéaire réduit. Cependant, l'impact sur la population limitrophe pourrait être significatif si :

- plusieurs sections nécessitent d'être réhabilitées
- les accès et la circulation sont détournés
- les nuisances sonores (marteau piqueur par exemple) ne respectent les horaires de travail
- la génération de poussière incommode les riverains

La mise en œuvre de mesures rationnelles de gestion des chantiers permet de s'affranchir de tous ces impacts. Par ailleurs, l'expérience a montré qu'à l'aide d'un plan de communication efficace, la population riveraine adhère au projet et ne s'oppose pas aux travaux.

#### **4.1 Construction de nouveaux barrages pour stocker de l'eau de surface (SW4)**

**Sommaire de la situation actuelle :** Les plans de développement et d'aménagement intégré des ressources en eaux des bassins de l'Oum Er Rbia et de Tensift comprennent des projets de réalisation de barrages qui peuvent renforcer les ressources en eau destinées à la région de Marrakech. Il s'agit notamment des barrages d'Ait Ziat, de Bou Idel, de Tiyoughza et de la surélévation du barrage Sidi Driss. La réalisation de ces barrages se traduirait par l'amélioration des ressources en eau de la région de Marrakech:

Le barrage Bou Idel, d'une capacité de 84 Mm<sup>3</sup>, permettra de régulariser près de 83.3 Mm<sup>3</sup> par an (source : PDAIRE de Tensift) pour renforcer l'irrigation dans la région de Marrakech. Ce barrage, situé à l'aval de la ville de Marrakech, n'est pas destiné à l'alimentation en eau potable de la ville de Marrakech ;

Le barrage Imizer permettrait de régulariser les eaux de l'Oued Rdat. Ce barrage n'a pas été retenu par le PDAIRE pour des raisons liées à la salinité de l'eau.

La taille du barrage d'Ait Ziat, retenue dans le cadre du PDAIRE de Tensift est évaluée à près de 45 Mm<sup>3</sup>, permettra de régulariser un volume d'eau supplémentaire de l'ordre de 13 Mm<sup>3</sup> par an (source : PDAIRE de Tensift). Ce PDAIRE a réservé le volume d'eau de 13 Mm<sup>3</sup> /an au renforcement de l'irrigation à l'aval du barrage, actuellement pratiquée par dérivation des eaux de l'Oued Za.

Le site du barrage Ait Ziat permettrait aussi de construire un barrage d'une taille de 395 Mm<sup>3</sup> (Grand Barrage Ait Ziat). Avec cette dernière taille, le volume régularisé serait porté de 13 à plus de 100 Mm<sup>3</sup> par an. Cependant, la réalisation d'un grand barrage d'une capacité de 395 Mm<sup>3</sup> se traduirait par un fort impact environnemental.

**Description et impacts de l'option :** La construction du barrage Ait Ziat avec une taille moyenne de l'ordre de 95 Mm<sup>3</sup> permettrait à la fois de réduire d'une manière significative les impacts sur l'environnement, de renforcer l'irrigation pratiquée à l'aval du barrage et d'allouer une nouvelle dotation en eau de l'ordre de 30 Mm<sup>3</sup>/an (source : étude d'impact sur l'environnement, 2009) à l'alimentation en eau potable du Grand Marrakech. Cette nouvelle dotation permettrait de renforcer la diversification et la sécurisation de l'alimentation en eau potable du Grand Marrakech et de la province d'El Kelaa Sraghna et de réduire le volume d'eau de l'adduction d'Al Massira à utiliser pour l'alimentation en eau de la ville de Marrakech. Cette réduction du volume d'eau à partir de l'adduction Al Massira se traduira par une réduction du coût d'exploitation notamment les frais de pompage. L'eau du barrage d'Ait Ziat sera lâchée dans l'Oued Zat pour être dérivée gravitairement dans le Canal de Rocade par un ouvrage de dérivation qui sera construit dans le cadre du barrage Ait Ziat.

Le barrage Ait Ziat peut donc constituer une solution pour renforcer les eaux du Canal de Rocade, valoriser d'une manière convenable la station de traitement existante dont la capacité se situe à près de 100 Mm<sup>3</sup>/a pour une allocation d'eau de 57 Mm<sup>3</sup>/a et réduire les coûts d'exploitation notamment les frais d'énergie de l'adduction d'Al Massira. Le volume régularisé du barrage Ait Ziat se situe à près de 90 Mm<sup>3</sup>/an (source : Étude d'impact sur l'environnement, 2009). Ce volume régularisé pourrait être alloué comme suit :

30 Mm<sup>3</sup> par an pour l'eau potable (33% du volume d'eau total régularisé)

60 Mm<sup>3</sup> pour l'irrigation des périmètres situés à l'aval du barrage

**Projections des volumes :** Compte tenu de l'importance du coût de l'eau de l'adduction Al Massira notamment les frais de pompage et l'existence des équipements pour transporter, traiter et distribuer l'eau mobilisée par le barrage Ait Ziat, le volume d'eau de 30 Mm<sup>3</sup> par an serait utilisé pour l'alimentation en eau potable de Marrakech depuis la mise en service du barrage Ait Ziat.

Tableau 4.1 : Evolution de volume d'eau potable disponible pour Marrakech à partir du barrage Ait Ziat

Volume (Mm <sup>3</sup> /an)	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Dotation eau potable	-	-	30	30	30	30	30

### Estimations des coûts

**Coût d'investissement :** Le coût du barrage Ait Ziat, d'une capacité totale de 95 Mm<sup>3</sup>, se situerait à près de MAD 900 millions (source: étude d'impact sur l'environnement). En tenant compte du volume alloué à l'eau potable et du niveau de sa garantie, la côte part du coût du barrage à allouer à l'eau potable serait de l'ordre de 50%, soit un coût de l'ordre de MAD 450 millions, soit 15 MAD/m<sup>3</sup>.

**Coût de renouvellement :** La durée de vie admis pour les barrages est de 50 ans. L'investissement doit être renouvelé tous les 50 ans. Une autre approche du renouvellement est possible. Elle consiste à prendre en compte non pas les travaux de renouvellement mais une provision de maintenance annuelle égale au coût de l'investissement divisé par sa durée de vie. Dans ce cas la provision de maintenance est estimée à MAD 18 millions dont MAD 9 millions pour le secteur d'eau potable.

Les coûts d'investissement et de renouvellement des infrastructures *existantes* qui seront sollicitées par cette option, par exemple le Canal de Rocade et l'usine de traitement d'eau, ne sont pas inclus dans les coûts de cette option.

Coûts fixes d'exploitation : Les frais fixes annuels d'entretien et d'exploitation sont calculés à partir des coûts d'investissement des ouvrages utilisant un taux d'entretien admis pour les barrages de 0.5%.

En tenant compte de ce taux d'entretien, les frais fixes annuels d'entretien et d'exploitation du barrage Ait Ziat à allouer à l'eau potable serait de l'ordre de MAD 2,25 million.

Frais de pompage : Le barrage Ait Ziat domine gravitairement le Canal de Rocade. Les frais de pompage sont donc nuls.

Coût du transport : L'office de Mise en Valeur Agricole estime pour la situation actuelle la part du coût de transport de l'eau à payer par le secteur de l'eau potable au niveau du Canal de Rocade à près de 0.264 MAD/m<sup>3</sup>. Sur la base de ce coût, le coût de transport de la dotation en eau mobilisée par le barrage Ait Ziat est estimé à près de MAD 8 millions par an.

Coût de traitement : Le coût de traitement est estimé sur la base d'un coût de 0.25 MAD/m<sup>3</sup> qui correspond à l'utilisation des réactifs et à l'électricité pour l'opération de la station (source : « Étude d'alimentation en eau potable de la ville de Marrakech, des centres et douars limitrophes à partir du barrage Al Massira »). Ce coût ne tient pas compte du coût du personnel et des frais généraux car la station de traitement est en cours d'exploitation et ces coûts ne devraient pas augmenter avec l'augmentation du volume d'eau traité. Le coût de traitement de la dotation en eau mobilisée par le barrage Ait Ziat est estimé à près de MAD 7.5 million par an.

Coût des impacts : Le barrage d'Ait Ziat présente un fort impact environnemental et social (déplacements de populations, disparition d'activités d'irrigation traditionnelles, pertes d'aménités paysagères, etc.).

Actions	millions MAD
Indemnisation des populations pour les biens perdus	160
Remplacement des ouvrages d'AEP	10
Rétablissement des infrastructures	6
Coût total	176

Tableau XI-9: Estimation du coût des impacts environnementaux du barrage d'Ait Ziat

L'étude d'impact sur l'environnement du barrage Ait Ziat, effectuée par la DRPE en 2001 a identifié les impacts du barrage Ait Ziat à :

- 740 ha de propriétés agricoles seront inondés par la retenue du barrage
- 30 000 pieds seront perdus dont 90% d'oliviers
- 320 ménages perdront leur habitation
- L'équivalent de 360 emplois permanents sera perdu
- Plusieurs équipements socio-économiques (2 écoles, 3 mosquées, 4 cimetières, 5 boutiques, 2 moulins, 7 huileries et 4 puits collectifs) seront inondés
- La perte de revenu moyenne est de 1 000 MAD/ménage/mois : 64% des ménages perdront moins de 25% de leur revenu, et 15% des ménages perdront plus de 50%.
- La submersion d'un tronçon de route, sur environ 3 km
- L'inondation d'un poste de transformation électrique ainsi que de 3 km de ligne électrique
- Cette étude a estimé le coût global de ces impacts à près de MAD 176 millions, dont 50% devraient être facturés à l'AEP, équivalent à environ 0,3 MAD/m<sup>3</sup>. Dans cette étude, nous avons pris en compte ces coûts dans l'analyse économique par le critère « Gestion des risques sociaux et environnementaux ». Il est à noter que la DRPE entreprend actuellement une actualisation de l'étude d'impact du barrage Ait Ziat.

**Description de la faisabilité et la vulnérabilité climatique :** Concernant la faisabilité technique du barrage Ait Ziat, les études réalisées au niveau d'avant-projet sommaire ont montré que la réalisation du barrage est techniquement faisable. La variante retenue est de type digue à noyau étanche en argile de 60 m de hauteur sur fondation.

Les ressources en eau au niveau de ce barrage sont vulnérables à l'impact des changements climatiques. Les prévisions concernant le changement climatique pour le bassin d'Ait Ziat vont dans le sens d'une réduction de 20% des apports d'eau par rapport à ceux pris en compte dans le PDAIRE. Cette vulnérabilité climatique est valable pour l'ensemble de la ressource en eau, destinée à l'alimentation en eau potable de la ville de Marrakech à savoir le complexe Hassan 1<sup>er</sup>, le complexe Lalla Takerkoust, le barrage Al Massira et la nappe du Haouz.

L'impact de cette réduction des apports d'eau se traduirait par une réduction du volume régularisé, estimée à près de 10%. La réduction des apports d'eau ne se traduira pas complètement sur le volume régularisé pour des raisons liés à la régularisation annuelle et interannuelle des apports d'eau par le barrage, les déficits en eau admis, la réduction des déversés, les règles de gestion adoptées etc. Cette réduction du volume régularisé de 10% devrait être compensée par l'amélioration de la productivité agricole et le recours à une gestion intégrée de l'ensemble des barrages Hassan 1<sup>er</sup> - Sidi Driss, Lalla Takerkoust et le réservoir d'Al Massira. Malgré cette vulnérabilité climatique, le barrage Ait Ziat qui sera géré d'une manière intégrée avec le complexe Hassan 1<sup>er</sup> et le barrage Al Massira pourrait jouer un rôle fondamental dans l'alimentation de Marrakech.

**Avantage du barrage Ait Ziat :** Les principaux avantages de la construction du barrage Ait Ziat pourraient être résumés de la manière suivante :

Partant du principe que l'alimentation en eau potable de la ville de Marrakech sera satisfaite en tout état de cause, la contribution du barrage Ait Ziat à l'alimentation en eau potable de la ville de Marrakech à hauteur de 30 Mm<sup>3</sup>/an se traduira par une réduction de la contribution du barrage Al Massira à cette alimentation. Une réduction des frais de pompage d'un volume de trente millions de m<sup>3</sup> par an à partir du barrage Al Massira sera réalisée ;

La contribution du barrage Ait Ziat à l'alimentation en eau potable de la ville de Marrakech à hauteur de 30 Mm<sup>3</sup>/an se traduira par une augmentation des disponibilités en eau d'irrigation de l'ordre de 30 Mm<sup>3</sup>/an. Une valorisation d'un volume d'eau de trente millions de m<sup>3</sup> par an dans l'irrigation des périmètres de Haouz central ou des Doukkala sera réalisée;

Une valorisation de la station de traitement existante ;

Une réduction du coût de l'adaptation du réseau de distribution de la RADEEMA.

**Aperçu des volumes et coûts :** Le tableau ci-dessous synthétise les principales caractéristiques du barrage et le coût du mètre cube en eau potable provenant de ce barrage.

Capacité du barrage	95 Mm <sup>3</sup>
Durée de réalisation	10 ans
Date de mise en service	2030
Volume d'eau alloué à l'eau potable	30 Mm <sup>3</sup> /an
Coût d'investissement	MAD 450 millions (partie AEP)
Coût d'entretien	MAD 2.25 millions/an (partie AEP)
Coût de transport	7.9 million MAD/an (0.264 MAD/m <sup>3</sup> , sans frais de pompage pour le système gravitaire)
Coût du traitement de l'eau	MAD 7.5 millions/an (partie AEP)
Coût des impacts environnementaux	MAD 88 millions (50% ; ces coûts sont pris en comptes dans l'analyse économique sous le critère « Gestion des risques sociaux et environnementaux » ; ne pas dans l'analyse financière)

Coût par m <sup>3</sup> d'eau dégagé	2.3 MAD/m <sup>3</sup> (sans 20% pour les coûts imprévus et les éventualités)
--------------------------------------	---

Tableau XI-10 : Estimation du coût du m<sup>3</sup> d'eau régularisé pour l'eau potable à partir du Barrage Ait Ziat

**Les impacts environnementaux et sociaux :** Les avantages sociaux et économiques attribués à la construction des barrages, comprennent :

- Sécurité alimentaire et protection contre les sécheresses dans les zones vulnérables ;
- Génération d'énergie hydroélectrique ;
- Protection contre les inondations ;
- Développement de zones de récréation et de loisirs

Ces avantages sont contrebalancés par les effets négatifs qui sont présents pendant la durée de vie de cette structure :

<b>Construction de nouveaux barrages pour stocker de l'eau de surface &amp; augmentation de la capacité de stockage des barrages existants</b>		
<b>Phase</b>	<b>Niveau du site</b>	<b>Aval hydraulique</b>
<i>Phase de construction</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perte de sols arables</li> <li>• Dégradation des écosystèmes</li> <li>• Pollution de l'air (poussières et gaz)</li> <li>• Sécurité des ouvriers et des riverains</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pollution des eaux de surface et souterraines</li> </ul>
<i>Phase d'exploitation</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Submersion de larges surfaces</li> <li>• Déplacement des populations</li> <li>• Pertes de valeurs écologiques</li> <li>• Pertes de valeurs patrimoniales</li> <li>• Eutrophisation</li> <li>• Émission de GES (décomposition du couvert végétal inondé)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limitation des apports en nutriments et sédiments</li> <li>• Perte ou altération du débit écologique</li> <li>• Pertes de revenus (tourisme, pêche, agriculture)</li> <li>• Risque d'inondation (lâchés importants, rupture du barrage)</li> </ul>

#### **4.2 Augmentation de la capacité de stockage des barrages existants (SW5)**

**Sommaire de la situation actuelle :** La surélévation des barrages pour récupérer la capacité des retenues perdue par envasement est une pratique courante au Maroc. Trois barrages ont fait l'objet d'une surélévation. Il s'agit des barrages de:

- Lalla Takerkoust sur l'Oued Nfis
- El Kansera sur l'Oued Beht
- Sidi Driss sur l'Oued Lakhdar qui a fait l'objet d'une première surélévation

Les PDAIREs prévoient actuellement la surélévation des quatre barrages suivants :

- Mohammed V sur l'Oued Moulouya
- Ibn Battouta sur l'Oued Mharhar
- Aoulouz sur l'Oued Souss
- Sidi Driss sur l'Oued Lakhdar

Les autres barrages, notamment les barrages Hassan 1<sup>er</sup> et Moulay Youssef ne peuvent pas faire l'objet de surélévation.

**Description et impacts de l'option pour Marrakech :** Parmi les barrages qui contribuent à l'alimentation en eau potable du Grand Marrakech, le PDAIRE de Tensift a retenu la possibilité de surélever le barrage de Sidi Driss. La rehausse de la digue de Sidi Driss (de la cote 643.50 m à la cote 680.00 m) permettra de passer d'un volume de stockage de 1.2 Mm<sup>3</sup> à un volume d'environ 73.2 Mm<sup>3</sup>.

**Projection des volumes :** La surélévation du barrage Sidi Driss permettrait de récupérer en partie les eaux perdues par envasement des capacités des barrages d'Hassan 1<sup>er</sup> et de Sidi Driss. Le volume susceptible d'être récupéré par cette surélévation a été estimé dans le cadre du PDAIRE de l'Oum Er Rbia et de Tensift à près de 50 Mm<sup>3</sup>/an. Ce volume récupéré permettra de renforcer les ressources en eau du Canal de Rcade. Une dotation en eau de l'ordre de 27 Mm<sup>3</sup> par an a été allouée à l'eau potable (source PDAIRE de l'Oum Er Rbia).

Compte tenu de l'importance du coût de l'eau de l'adduction Al Massira notamment les frais de pompage et l'existence des équipements pour transporter, traiter et distribuer l'eau mobilisée par le barrage Sidi Driss, le volume d'eau de 50 Mm<sup>3</sup> par an dont 27 Mm<sup>3</sup> par an pour l'eau potable serait utilisé en totalité depuis la mise en service du barrage Sidi Driss.

### Estimations des coûts

Coût d'investissement : Le coût d'investissement total est estimé à MAD 605 millions (source: Étude d'impact sur l'environnement). En tenant compte du volume alloué à l'eau potable et du niveau de sa garantie, la cote part du coût du barrage à allouer à l'eau potable serait de l'ordre de 60%, soit un coût de l'ordre de MAD 360 millions, soit 13.3 MAD/m<sup>3</sup>.

Coût de renouvellement : La durée de vie admis pour les barrages est de 50 ans. L'investissement doit être renouvelé tous les 50 ans. Les coûts d'investissement et de renouvellement des infrastructures existantes qui seront sollicitées par cette option, par exemple le Canal de Rcade et l'usine de traitement d'eau associée à ce canal, ne sont pas inclus dans les coûts de cette option.

Coûts fixes d'exploitation : Les frais fixes annuels d'entretien et d'exploitation sont calculés à partir des coûts d'investissement des ouvrages par application du taux d'entretien admis pour les barrages de 0.5%. En tenant compte de ce taux d'entretien, les frais fixes annuels d'entretien et d'exploitation de la surélévation du barrage Sidi Driss est de l'ordre de MAD 3 millions par an, dont environ MAD 1.8 millions par an pour la dotation en eau potable pour Marrakech.

Coût du transport : Le barrage Sidi Driss domine gravitairement le Canal de Rcade. Les frais de pompage sont donc nuls. L'office de Mise en Valeur Agricole estime pour la situation actuelle la part du coût de transport de l'eau à payer par le secteur de l'eau potable au niveau du Canal de Rcade à près de 0.264 MAD/m<sup>3</sup>. Le coût de transport de la dotation en eau potable mobilisée par le barrage Sidi Driss est donc MAD 7.1 millions par an.

Coût de traitement : Le coût de traitement est estimé sur la base d'un coût de 0.25 MAD/m<sup>3</sup> qui correspond à l'utilisation des réactifs et à l'électricité pour l'opération de la station (source : « Étude d'alimentation en eau potable de la ville de Marrakech, des centres et douars limitrophes à partir du barrage Al Massira »). Ce coût ne tient pas compte du coût du personnel et des frais généraux car la station de traitement est en cours d'exploitation et ces coûts ne devraient pas augmenter avec l'augmentation du volume d'eau traité. Le coût de traitement de la dotation en eau mobilisée par le barrage Sidi Driss est estimé à près de MAD 6.75 million par an.

Le tableau ci-dessous synthétise les principales caractéristiques de la surélévation du barrage Sidi Driss.

Capacité du barrage	73 Mm <sup>3</sup>
Durée de réalisation	5 ans (2020 – 2024)
Date de mise en service	2025
Volume d'eau alloué à l'eau potable	Volume totale 50 Mm <sup>3</sup> /an dont 27 Mm <sup>3</sup> /an pour AEP
Coût d'investissement	MAD 360 millions (partie AEP)

Coût d'entretien	MAD 1.8 millions par an (partie AEP)
Coût de transport	MAD 7.13 millions par an (0.264 MAD/m <sup>3</sup> , sans frais de pompage, système gravitaire)
Coût du traitement de l'eau	MAD 6.75 millions/an (coûts additionnels)
Coût des impacts environnementaux	MAD 100 millions (60% ; ces coûts sont pris en comptes dans l'analyse économique sous le critère « Gestion des risques sociaux et environnementaux » ; ne pas dans l'analyse financière)
Coût par m <sup>3</sup> d'eau dégagé	1.7 MAD/m <sup>3</sup> (sans 20% pour les coûts imprévus et les éventualités)

Tableau XI-11 : Estimation du coût d'eau potable régularisé à partir du barrage Sidi Driss surélevé

**Description des impacts environnementaux :** Le barrage Sid Driss drainera l'ensemble du bassin versant de l'Oued Lakhdar situé entre les barrages Hassan 1<sup>er</sup> et l'actuel Sidi Driss. Ce bassin concerne 75 000 habitants sur 1 260 km<sup>2</sup> vivant en grande partie à l'intérieur du cercle de Demnate dans la province d'Azilal.

La rehausse de la retenue actuelle devrait submerger les terres à une cote un peu plus haute. Cette rehausse ne devrait pas avoir un impact important sur le milieu humain, ni sur le milieu naturel (source : PDAIRE du bassin de l'Oum Er Rbia).

**Description de la faisabilité et la vulnérabilité climatique :** Les ressources en eau au niveau de ce barrage sont vulnérables à l'impact des changements climatiques. Les prévisions concernant le changement climatique pour le bassin de Lakhdar, contrôlé par le barrage Hassan 1<sup>er</sup> – Sidi Driss vont dans le sens d'une réduction de 20% des apports d'eau par rapport à ceux pris en compte dans le PDAIRE.

L'impact de cette réduction des apports d'eau se traduirait par une réduction du volume régularisé, estimée à près de 10%. Cette réduction du volume régularisé de 10% serait compensée par l'amélioration de la productivité agricole et le recours à une gestion intégrée de l'ensemble des barrages : Hassan 1<sup>er</sup> - Sidi Driss, Lalla Takerkoust et le barrage Al Massira. Malgré cette vulnérabilité climatique, le barrage Sidi Driss qui sera géré d'une manière intégrée avec le complexe Hassan 1<sup>er</sup>, le barrage Ait Ziat et le barrage Al Massira pourrait jouer un rôle fondamental dans l'alimentation en eau potable de la ville de Marrakech.

**Avantages du barrage Sidi Driss :** Les principaux avantages de la surélévation du barrage Sidi Driss peuvent être résumés de la manière suivante :

La contribution du barrage Sidi Driss à l'alimentation en eau du Canal de Rcade permettra de maximiser le volume mobilisé au niveau du bassin de Lakhdar. Cette contribution a été estimée dans le cadre des PDAIRE de Tensift et de l'Oum Er Rbia à près de 50 Millions de m<sup>3</sup> par an. Ce volume supplémentaire de 50 Mm<sup>3</sup>/an permettrait d'améliorer la sécurisation de l'alimentation en eau potable de la ville de Marrakech et d'atténuer le déficit en eau, observé actuellement au niveau du périmètre du Haouz;

La contribution du barrage Sidi Driss à l'alimentation en eau potable des villes de Kelaa Sraghna et d'Azilal;

La réduction de la turbidité de l'eau du Canal de Rcade, ce qui se traduira par une réduction des frais d'exploitation du canal et de la station de traitement;

Une meilleure valorisation de la production énergétique de l'usine hydroélectrique d'Ammouguez, associée au barrage Hassan 1<sup>er</sup> et localisée en aval du barrage Sidi Driss (l'augmentation de la production énergétique n'est pas prise en compte dans les coûts de cette option).

## 5. Collecte des eaux de pluies, stockage et réutilisation au niveau de la ville et à petite-échelle au niveau rural

### 5.1 Collecte des eaux de pluies, stockage et réutilisation au niveau de la ville (RW3)

**Sommaire de la situation actuelle :** La collecte d'eau pluviale est une pratique ancestrale dans la région, réalisée par exemple par la récolte des eaux déversées pendant les périodes de crue ou drainées par le relief pendant la saison des pluies par des systèmes de canaux, digues et bassins (systèmes de Rabta et Tabia) .

Le potentiel en eaux pluviales est considéré comme important et les pratiques de récupération devraient être diversifiées, améliorées et innovées en considérant de bonnes pratiques empruntées des régions dont le contexte est similaire.

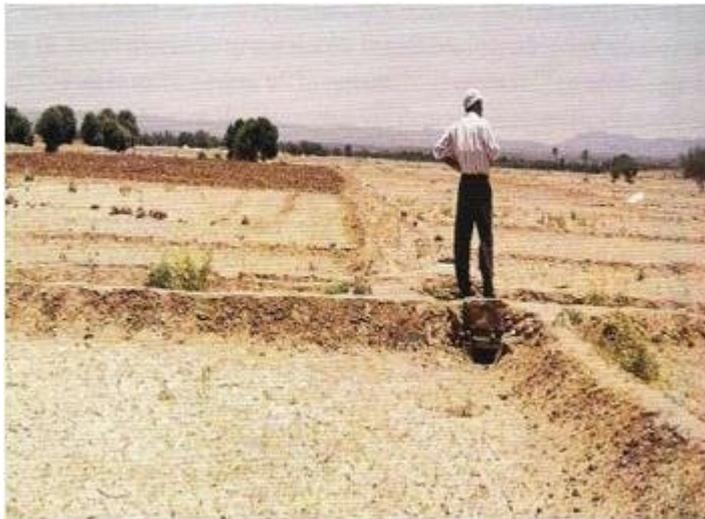


Figure XI-6: Système traditionnel de récolte d'eau pluviale (source: Said Rhoulane, Atelier sur le captage et l'utilisation des eaux pluviales au Maroc, 2011)

Unité morphologique	Superficie (km <sup>2</sup> )	Pluviométrie moyenne (mm)	Potentiel Pluviométrique (Mm <sup>3</sup> /an)
Plaine	7.358	225	1.655
Piémont	4.380	400	1.752
Montagne	6.969	650	4.530
Total			7.937

Tableau XI-12: Potentiel pluviométrique dans le bassin Haouz-Mejjate (source: Élaboration de la convention GIRE du Bassin de Haouz-Mejjate, Diagnostic du bassin global)

Le réseau actuel d'assainissement de la ville de Marrakech comprend 8 bassins de rétention à ciel ouvert avec des volumes variant entre 2 000 et 20 000 m<sup>3</sup>. Deux grand bassins de rétention sont déjà réalisés ou prévu au sud de la ville: Il s'agit d'un bassin de 12 000 m<sup>3</sup> déjà opérationnel et lié au fossé contre les inondations à l'ouest de l'avenue Mohammed VI et un bassin de 9 000 m<sup>3</sup> à l'est de cette même avenue dont la réalisation est prévue. Les bassins de rétention sont repartis au sud de la ville de manière à créer, avec les fossés de déviation, une zone tampon qui protège la ville des inondations générés par les pluies de période de retour exceptionnelles. L'eau retenue dans ces bassins n'est pas récupérée et la quantité de cet eau qui infiltre dans le sous-sol est faible.

La planification d'assainissement urbain est basée sur le Schéma Directeur qui définit entre autres les projets d'investissement. Selon les informations de la RADEEMA, le Schéma Directeur prescrit pour la construction de grands complexes immobiliers, touristiques ou industriels des canalisations séparatives et des bassins de rétention et infiltrations.

**Description et impacts de l'option pour Marrakech :** Étant donné que le potentiel de récupération des eaux pluviales est considéré comme important les solutions proposées ci-dessous peuvent contribuer à la préservation des ressources hydriques, notamment à la restitution de la nappe phréatique.

Le programme de récupération des eaux pluviales proposé dans le cadre de cette étude rentre dans le cadre d'un projet global de l'utilisation de l'eau dans la ville y inclus les eaux pluviales, l'eau grise, l'eau souterraine ainsi que la reconversion à l'irrigation localisée et l'aménagement paysager des espaces verts. Ce programme global destiné à l'arrosage des espaces verts est résumé dans le tableau plus bas :

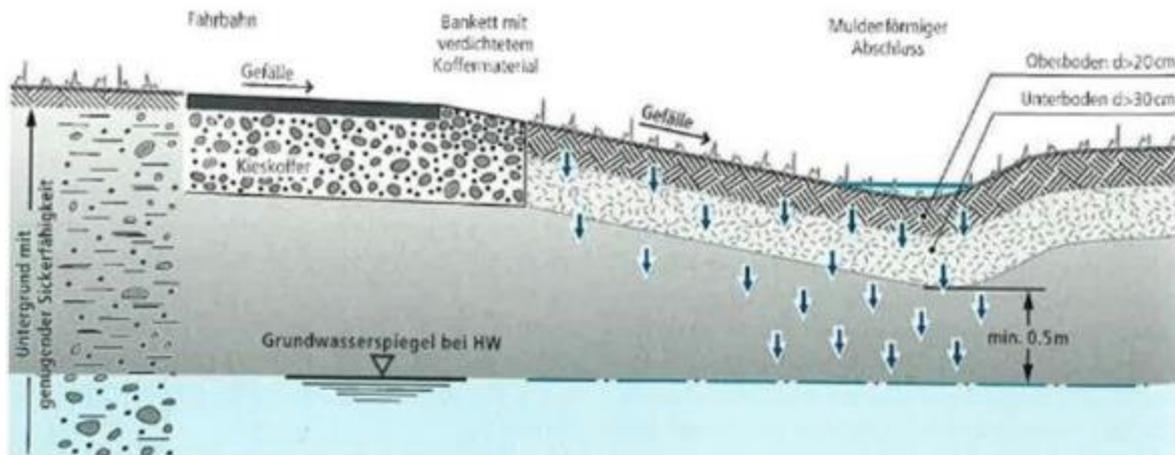


Figure XI-7: Exemple pour infiltration des eaux de pluies des routes (source: Association professionnelle pour l'eau en Suisse, VSA)



Figure XI-8: Aspect du paysage urbain moderne de Marrakech avec gazon et rosiers irrigués (source: EBP, 2016)

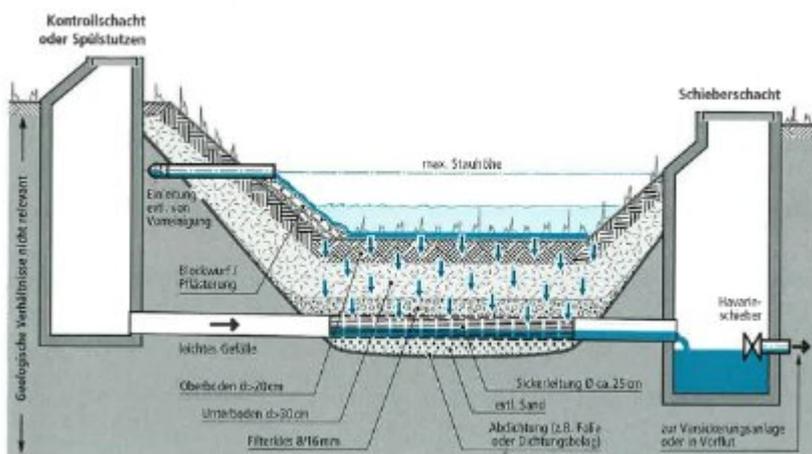


Figure XI-9: Exemple pour - bassins de rétention ouvert (source: Association professionnelle pour l'eau en Suisse, VSA)

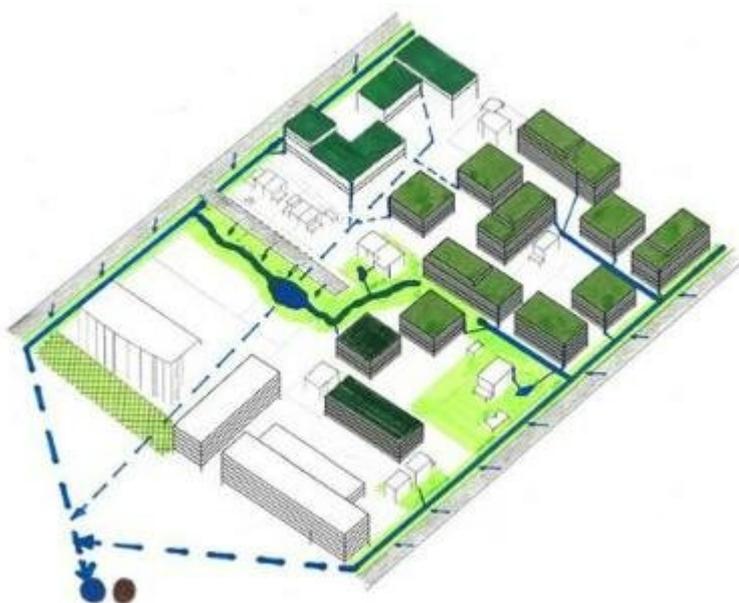


Figure XI-10: Exemple pour lotissement avec canalisation séparative, toitures et bassins de rétention, infiltration des eaux pluviales des routes (source: Grand Projet Vernier-Meyrin-Aéroport, État de Genève – Département de l'urbanisme, EBP 2012)

Tableau XI-13: Réduction des besoins en eau estimée selon le programme d'utilisation de l'eau dans la ville de Marrakech

Type d'espaces verts	Besoins en Mm <sup>3</sup> /an	Programme proposé	Besoins en eau à satisfaire avec le programme eau pluviale proposé (Mm <sup>3</sup> /an)
Domaines Royaux	6	reconversion	-
Géré par la commune	4	aménagement paysager, eau pluviale, reconversion à l'irrigation localisée, eau souterraine	0.20
Intérieur de la ville	2	eau grise et eau pluviale	-

En ce qui concerne la collecte des eaux de pluies au niveau de ville le programme proposé comprend les mesures suivantes :

- 15 bassins de rétention couverts maçonnés (35 m\* 15m\* 3m) ;
- Réhabilitation des réservoirs existants ;
- 500 projets de récupération des eaux pluviales au niveau des institutions administratives. Installation de citerne de 25 m<sup>3</sup> au niveau des administrations, écoles hôpitaux et des hôtels;
- 1 000 projets de Métfias individuels, à réaliser par les populations
- Mise en place d'un cadre réglementaire et incitatif ;

Programme de promotion des différentes techniques du captage et d'utilisation des eaux de pluies et leur vulgarisation au niveau des différents usagers potentiels

**Projection des volumes :** Selon le tableau ci-après, les ressources eau à mobiliser à travers la récupération des eaux pluviales seraient de l'ordre de 200 000 m<sup>3</sup>/an. Le volume d'eau susceptible d'être dégagé par le programme proposé a été estimé en tenant compte des hypothèses suivantes :

trois remplissages total chaque année des Métfias et des réservoirs

une utilisation chaque année de la totalité de l'eau des Métfias et des réservoirs

Mm <sup>3</sup> /an	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Volume dégagé	0.05	0.10	0.10	0.15	0.15	0.20	0.20

Tableau XI-14: Estimation de l'évolution du volume d'eau dégagé par la collecte des eaux de pluies au niveau de la ville pour l'irrigation des espaces verts (source : estimation du consultant)

La collecte des eaux de pluies se fait déjà à plusieurs endroits, par exemple dans des complexes immobiliers. Cette option est donc réalisable à court terme.

### Estimations des coûts

#### Coûts d'investissement :

Le coût des bassins de rétentions est estimé à environ MAD 9 millions (MAD 600 000 par bassin).

Le coût de projets de récupération des eaux pluviales est estimée à environ MAD 40 millions (MAD 80 000 par projet).

Le coût des Métfias privés est estimé à environ MAD 30 millions

Une provision de MAD 10 millions est réservée pour la réhabilitation des réservoirs existants.

Le coût d'investissement total se situe donc à près MAD 90 millions. Pour la prise en compte des coûts de renouvellement des installations de collectes des eaux pluviales une durée de vie de 50 ans pour les bassins de rétentions et de 20 ans pour les projets de récupération de l'eau pluviale semble réaliste.

Coûts fixes d'exploitation et d'entretien : Sur la base de benchmarks internationaux, les coûts d'exploitations sont estimés à 2% des coûts d'investissement, y inclus les coûts d'opération.

#### Description de la faisabilité et la vulnérabilité climatique :

Les mesures proposées sont techniquement faisables et approuvées. En effet, il y a à Marrakech déjà plusieurs installations et bassins pour la collecte des eaux pluviales. Un projet pilote pourrait être réalisé pour tester l'efficacité du programme, affiner les coûts et arrêter les conditions de financement, d'exploitation et de gestion. A l'issue de ce projet pilote, un programme relatif à la récupération des eaux pluviales sera élaboré. Ce programme comprendra :

Le cadre institutionnel ;

La réglementation à mettre en place (textes d'application de la nouvelle loi sur l'eau);

Les mesures incitatives pour promouvoir la récupération des eaux pluviales.

Il est à noter que les eaux pluviales qui entre dans les égouts et sont traitées à la STEP ne sont pas nécessairement perdues. En effet, les eaux pluviales qui ne sont pas déversées de la canalisation lors de fortes pluies excédant la capacité de la canalisation, sont traitées et disponibles pour l'arrosage des golfs et des espaces verts. Par contre, la rétention des eaux de pluies à la source peut réduire les coûts de pompage, les débits de pointe et la quantité en eaux usées mixtes déversée dans l'environnement. En plus, la rétention des eaux de pluie peut réduire le risque d'inondations par remous de la canalisation.

Les eaux pluviales sont affectées par l'impact des changements climatiques. Une étude du FAO, la Banque Mondiale, la Direction de la Météorologie Nationale (DMN) et l'INRA indique, qu'en 2050, les baisses des précipitations pourraient atteindre dans la région de Marrakech près de 20% par rapport à la série pluviométrique de la période 1961-1990.

**Aperçu des volumes et coûts :** Le tableau ci-dessous synthétise les principales caractéristiques de la collecte des eaux pluviales et leurs réutilisations au niveau de la ville ainsi que le coût spécifique du mètre cube mobilisé.

Durée de réalisation	à court terme
Date de mise en service	à partir de 2020
Volume d'eau dégagé	0.2 Mm <sup>3</sup> /an
Coût d'investissement	MAD 90 millions
Coût d'entretien et d'opération	MAD 1.8 millions par an
Frais de pompage, transfert et traitement de l'eau	0
Coût par m <sup>3</sup> d'eau dégagé	44.4 MAD/m <sup>3</sup> (sans 20% pour les coûts imprévus et les éventualités)

Tableau XI-15: Estimation du coût d'eau dégagé par la collecte des eaux pluviales au niveau de la ville

## 5.2 Collecte des eaux pluviales à petite-échelle au niveau rurale (RW1)

**Sommaire de la situation actuelle :** La collecte d'eau pluviale est une pratique ancestrale dans la région, réalisée par exemple par des citernes (Métfias).

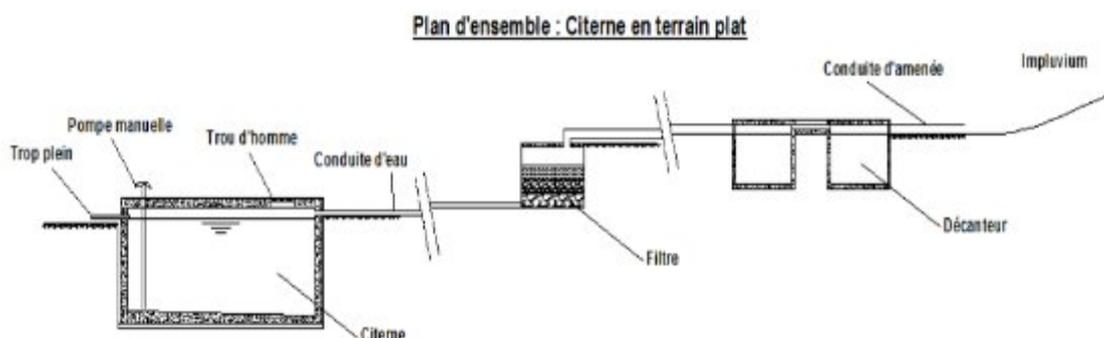


Figure 5.6 : Schéma fonctionnel d'une citerne traditionnelle (source: Slaid Rouzlane, Atelier sur le captage et l'utilisation des eaux pluviales au Maroc, 2011)

La récupération et la réutilisation des eaux pluviales qui constitue une composante de la SNE et du PNE est une technique alternative de mobilisation des ressources en eau à petite échelle. Traditionnellement, elle est particulièrement adaptée aux zones éloignées et aux zones où les ressources en eau souterraines sont inexistantes et constitue un moyen pour :

- assurer l'alimentation en eau potable et l'abreuvement du cheptel par les systèmes de *métfias*;
- l'irrigation par épandage des crues par prélèvement au fil de l'eau;
- la conservation de l'eau et du sol par des techniques d'aménagement en surface du sol;
- la création de bassins de stockage pour l'irrigation.

La zone desservie par le réseau d'assainissement de la RADEEMA est majoritairement équipée d'un système de canalisation unitaire. Dans certains quartiers, comme la zone industrielle Sidi Ghanem ainsi que dans les zones M'hamid et Sud, il y a des systèmes pseudo-unitaire où une partie des eaux pluviales des voiries et des espaces imperméables s'évacuent séparément. En principe, toutes les eaux usées de la ville de Marrakech sont donc canalisées et interceptées par des collecteurs qui les acheminent vers la STEP. Quant aux eaux pluviales, y inclus les eaux des toits, elles sont majoritairement collectées par la même canalisation unitaire et partiellement déversée dans le milieu naturel en période de crues.

**Description et impacts de l'option pour Marrakech :** L'Agence de bassin du Tensift a réalisé une étude de collecte des eaux pluviales pour promouvoir la valorisation des eaux pluviales en milieu urbain et rural pour réduire le coût d'investissement en assainissement pluvial et assurer les besoins en eau des populations rurales. Ce programme, élaboré dans le cadre du PDAIRE vise la réalisation de dix *métfias* par an durant les dix prochaines années. Le cout de ce programme est estimé à près de MAD 20 million (source PDAIRE de Tensift).

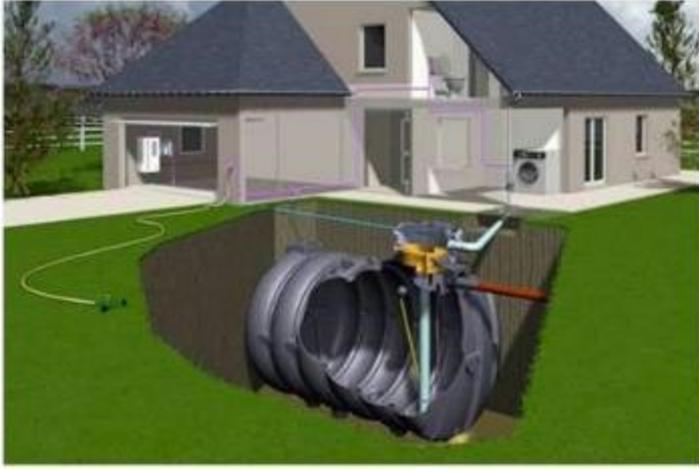
En tenant compte du fait que la zone de Marrakech enregistre un déficit en eau alarmant, les eaux pluviales constituent une ressource en eau importante. Les solutions proposées ci-dessous peuvent donc contribuer à la préservation des ressources hydriques, notamment par la récupération des eaux de pluies pour l'arrosage des espaces verts et des golfs, ainsi qu'à la restitution de la nappe phréatique.



*Figure XI-11: Exemple d'un réservoir pour la rétention et la récupération des eaux pluviales (source: Grand Projet Vernier-Meyrin-Aéroport, État de Genève – Département de l'urbanisme, EBP 2012)*



*Figure XI-12: Eco-village Vauban à Fribourg en Briscau, Allemagne avec panneaux solaires et infiltration de 80% des eaux pluviales (source: Grand Projet Vernier-Meyrin-Aéroport, Etat de Genève – Département de l'urbanisme, EBP 2012)*



*Figure XI-13: Système de rétention et récupération des eaux pluviales à l'échelle d'une maison unifamiliale (source: Grand Projet Vernier-Meyrin-Aéroport, Etat de Genève – Département de l'urbanisme, EBP 2012)*

L'option de la récupération des eaux pluviales de la ville de Marrakech doit être étudiée dans le cadre d'une vision globale tenant compte de la problématique de la rareté de l'eau dans

la région, l'importance des coûts d'approvisionnement en eau potable de la ville de Marrakech à partir du barrage Al Massira et la nécessité de réduire les coûts d'investissement de l'assainissement (canalisations mixtes et/ou séparées) et d'épuration des eaux usées.

L'Agence de bassin hydraulique de Tensift a élaboré une étude relative à la collecte des eaux pluviales dans le bassin de Tensift. Le programme de récupération des eaux pluviales dans le milieu rural, proposé dans le cadre de la présente étude vise à assurer en partie l'alimentation en eau potable des populations rurales et l'abreuvement du cheptel et la restitution des nappes phréatiques. Il comprend la réalisation :

- d'une centaine de métfias collectives d'une capacité totale de 60 000 m<sup>3</sup> ;
- d'une vingtaine de lacs collinaires, d'une capacité totale de l'ordre de 4 Mm<sup>3</sup> (une capacité moyenne de 200 000 m<sup>3</sup>/lac);
- d'une cinquantaine de projets de réhabilitation de métfias collectives ;
- d'un programme de 1 000 métfias individuels, à réaliser par les populations;
- mise en place d'un cadre réglementaire et incitatif ;
- un programme de promotion des différentes techniques du captage et d'utilisation des eaux de pluies et leur vulgarisation au niveau des différents usagers potentiels.

Le coût de ce programme a été estimé à près de MAD 100 millions dont près MAD 18 millions pour les métfias collectives, MAD 76 millions pour les lacs collinaires et près MAD 5 millions pour la réhabilitation de métfias collectives. Les tableaux suivants donnent pour chaque province la consistance du programme de collecte des eaux pluviales proposé.

CR / Mu	Métfias					Iferd		Lacs collinaires		
	Création de nouveaux systèmes			Réhabilitation		Réhabilitation		Création de nouveaux ouvrages		
	Nombre	Capacité/métfia en m <sup>3</sup>	Coût/métfia en M dh	Nombre	Coût/métfia en M dh	Nombre	Coût/ouvrage en M dh	Nombre	capacité en m <sup>3</sup>	Coût/ouvrage en M dh
Sidi M'hamed ou Marzouq	1	600	0,6	-	-	-	-	1	26780	0,936
								1	395333	1,909
Sidi laaroussi	1	600	0,6	1	0,2	-	-	1	44320	1,044
								1	160666	2,213
								1	160700	2,484
Sidi Jazouli	1	600	0,6	-	-	-	-	1	85240	2,52
Korimate	-	-	-	-	-	-	-	1	70700	2,862
Adaghas	1	600	0,6	3	0,2	-	-	-	-	-
Aglif	1	600	0,6	4	0,2	-	-	-	-	-
Ida ou Guelloul	1	600	0,6	3	0,2	-	-	-	-	-
Imgrade	1	600	0,6	2	0,2	-	-	-	-	-
Takoucht	1	600	0,6	1	0,2	-	-	-	-	-
Timizguida Oufas	1	600	0,6	2	0,2	-	-	-	-	-
Assais	1	600	0,6	4	0,2	-	-	-	-	-
Ait Aissi Hahane	1	600	0,6	3	0,2	-	-	-	-	-
Bouzemmour	1	600	0,6	1	0,2	-	-	-	-	-
Ida ou kazzou	1	600	0,6	2	0,2	-	-	-	-	-
Imi n'tlit	1	600	0,6	1	0,2	-	-	-	-	-
Sidi Ahmed Essayeh	1	600	0,6	-	-	-	-	-	-	-
Sidi el Jazouli	1	600	0,6	1	0,2	-	-	-	-	-

Tableau XI-16: Aperçu du programme de collecte des eaux pluviales proposé pour la Province de Safi (source : L'Agence de bassin hydraulique de Tensift)

CR / Mu	Métfias					Iferd		Lacs collinaires		
	création de nouveaux systèmes			Réhabilitation		Réhabilitation		création de nouveaux ouvrages		
	Nombre	Capacité/métfia en m <sup>3</sup>	Coût/métfia en M dh	Nombre	Coût/métfia en M dh	Nombre	Coût/ouvrage en M dh	Nombre	capacité en m <sup>3</sup>	Coût/ouvrage en M dh
El Ghiate	1	600	0,6	1	0,2	-	-	1	289500	5,84
								1	382000	10,32
Ighoud	-	-	-	-	-	-	-	1	943000	6,35
Sidi Chiker	1	600	0,6	-	-	-	-	1	1210400	7
								1	763333	5,15
								1	2104000	11,45
Ataimim	-	-	-	-	-	-	-	1	1730333	10,9
Lamrasla	1	600	0,6	2	0,2	-	-	-	-	-
Laamamra	1	600	0,6	2	0,2	-	-	-	-	-
Nagga	1	600	0,6	2	0,2	-	-	-	-	-
Jdour	1	600	0,6	-	-	-	-	-	-	-

Tableau XI-17: Aperçu du programme de collecte des eaux pluviales proposé pour les Provinces de Youssoufia et Safi (source : L'Agence de bassin hydraulique de Tensift)

CR / Mu	Métfias					Iferd		Lacs collinaires		
	création de nouveaux systèmes			Réhabilitation		Réhabilitation		création de nouveaux ouvrages		
	Nombre	Capacité/métfia en m <sup>3</sup>	Coût/métfia en M dh	Nombre	Coût/métfia en M dh	Nombre	Coût/ ouvrage en M dh	Nombre	capacité en m <sup>3</sup>	Coût/ouvrage en M dh
Douirane	1	600	0,6	3	0,2	-	-	-	-	-
Ichamraren	1	600	0,6	2	0,2	-	-	1	45780	1,152
Kouzemt	1	600	0,6	4	0,2	-	-	-	-	-
Oued Lbour	1	600	0,6	2	0,2	-	-	-	-	-
Timlilt	1	600	0,6	2	0,2	-	-	1	41040	1,278
Ahdil	1	600	0,6	3	0,2	-	-	-	-	-
Zaouia Annahlia	1	600	0,6	5	0,2	-	-	-	-	-
Sidi Bouzid	-	-	-	-	-	-	-	1	57160	1,476
Sidi Mokhtar	-	-	-	-	-	-	-	1	79480	1,134

Tableau XI-18: Aperçu du programme de collecte des eaux pluviales proposé pour la Province de Chichaoua (source : L'Agence de bassin hydraulique de Tensift)

### Description de la faisabilité et la vulnérabilité climatique :

Les eaux pluviales sont affectées par l'impact des changements climatiques. L'étude FAO/Banque Mondiale/ Direction de la Météorologie Nationale/INRA indique, qu'en 2050, les baisses des précipitations pourraient atteindre dans la région de Marrakech près de 20% par rapport à la série pluviométrique 1961-1990.

**Programme proposé :** Le programme proposé dans le cadre de la présente étude comprend la récupération des eaux pluviales dans le milieu rural des provinces d'Azilal, de Rhamna, de Kelaa Sraghna et du Haouz par la réalisation d'une centaine de métfias pour assurer en partie l'abreuvement du cheptel. Il comprend la réalisation :

- d'une centaine de métfias collectives d'une capacité totale de 60 000 m<sup>3</sup> ;
- d'une vingtaine de lacs collinaires, d'une capacité totale de l'ordre de 4 Mm<sup>3</sup> (une capacité moyenne de 200 000 m<sup>3</sup>/lac);
- d'une cinquantaine de projets de réhabilitation de métfias collectives ;
- d'un programme de 1 000 métfias individuels, à réaliser par les populations;
- mise en place d'un cadre réglementaire et incitatif ;
- un programme de promotion des différentes techniques du captage et d'utilisation des eaux de pluies et leur vulgarisation au niveau des différents usagers potentiels.

La réalisation de ce programme de récupération des eaux pluviales permettrait de réduire la demande en potable, satisfaite à partir du complexe Hassan Ier – Sidi Driss et du barrage Al Massira.

**Projection des volumes :** Le volume d'eau susceptible d'être dégagé par le programme proposé a été estimé en tenant compte des hypothèses suivantes :

- un remplissage total chaque année des métfias et des lacs collinaires;
- une utilisation chaque année de la totalité de l'eau des métfias ;
- Une utilisation chaque année près de 70% du volume d'eau stocké dans les lacs collinaires (problèmes d'évaporation et d'infiltration).

En tenant compte de ces hypothèses, la réalisation de ce programme de récupération des eaux pluviales permettrait de dégager près de 3 Mm<sup>3</sup> par an. Le tableau ci-après donne une estimation de l'évolution du volume d'eau susceptible d'être dégagé par le programme proposé.

Mm <sup>3</sup> /an	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Volume dégagé	0.5	1	2	3	3	3	3

Tableau XI-19: Estimation de l'évolution du volume d'eau infiltrée pour la recharge de la nappe phréatique dans les alentours de Marrakech

### Estimations des coûts

Coût d'investissement : Le coût du programme, estimé sur la base des coûts du programme réalisé par l'Agence de Bassin de Tensift, se situerait à près de MAD 130 millions dont :

- MAD 60 millions pour les métfias collectives ;
- MAD 5 millions pour la réhabilitation des métfias collectives ;
- MAD 3 millions pour les métfias privés ;
- MAD 60 millions pour les lacs collinaires ;
- MAD 2 millions pour le programme de promotion pour 5 ans.

Coût de renouvellement : Pour la prise en compte des coûts de renouvellement des installations de collectes des eaux pluviales une durée de vie d'environ 40 ans semble réaliste.

Coûts fixes d'entretien, de maintenance et de traitement : Compte tenu de la nature des ouvrages, les coûts d'exploitation et de maintenance annuels représentent près de 0.5% des coûts d'investissement.

Coût d'énergie : Compte tenu de la faiblesse de la profondeur de l'eau dans les métfias, le coût d'énergie est négligeable.

**Aperçu des volumes et coûts** : Le tableau ci-dessous synthétise les principales caractéristiques de la collecte des eaux pluviales à petite échelle ainsi que le coût du mètre cube d'eau potable.

Durée de réalisation	à court terme
Date de mise en service	à partir de 2020
Volume d'eau dégagé	Maximum 3 Mm <sup>3</sup> /an (à partir de 2035)
Coût d'investissement	MAD 130 millions
Coût d'entretien	MAD 0.65 millions par an
Frais de pompage, de transfert et du traitement	0
Coût par m <sup>3</sup> d'eau dégagé	4.4 MAD/m <sup>3</sup> (sans 20% pour les coûts imprévus et les éventualités)

Tableau XI-20 : Aperçu des coûts d'eau dégagé par la collecte des eaux pluviales à petite échelle au niveau rurale

**Les impacts environnementaux et sociaux** : En ruisselant sur les chaussées, les jardins, les toitures, etc., les eaux pluviales se chargent en solides en suspension, en nutriments, en métaux lourds, en produits organiques toxiques, en microorganismes pathogènes, en hydrocarbures, etc. Les eaux pluviales ont de fait une forte charge polluante et constituent une cause majeure de la dégradation de l'environnement des cours d'eau urbains et des eaux côtières adjacentes. En fonction de l'utilisation finale de l'eau, certaines eaux pluviales peuvent nécessiter un traitement ultérieur comme la microfiltration ou l'osmose inverse et la désinfection à l'aide de chloration ou de rayonnement UV. Dans les développements urbains typiques, l'espace requis pour le stockage est généralement indisponible et par conséquent, coûteux.

Cependant, la collecte et l'utilisation des eaux pluviales soulage la pression sur l'infrastructure de drainage pendant les périodes d'orages et évite de saturer les infrastructures de traitement des eaux usées dans le cas de réseaux non séparatifs.

L'externalité positive la plus importante relative à la collecte des eaux de pluie consiste en les infrastructures évitées ou dont la taille peut être réduite pour la mobilisation de l'eau. En effet, les

volumes mobilisés grâce à la collecte des eaux de pluie peuvent être soustraits des autres projets qui peuvent être programmés pour mobiliser les eaux de surface. Ces derniers voient leurs investissements diminuer ainsi que leurs externalités socio-environnementales négatives.

Ces avantages sont contrebalancés par les effets négatifs qui sont présents pendant la durée de vie de cette option :

<b>Collecte des eaux pluviales à petite-échelle &amp; Collecte, stockage et réutilisation au niveau de la ville</b>		
<b>Phase</b>	<b>Niveau du site</b>	<b>Aval hydraulique</b>
<i>Phase de construction</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perte de qualité des sols</li> <li>• Dégradation des écosystèmes</li> <li>• Pollution de l'air (poussières et gaz)</li> <li>• Pollution des eaux de surface et souterraines</li> <li>• Expropriations</li> <li>• Déplacement des populations</li> <li>• Pertes de valeurs écologiques</li> <li>• Pertes de valeurs patrimoniales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pollution des eaux de surface et souterraines</li> </ul>
<i>Phase d'exploitation</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maladies hydriques</li> <li>• Prolifération des vecteurs de maladies pendant les périodes où le système n'est pas en charge</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pollution des eaux de surface et souterraines</li> <li>• Inondations</li> </ul>

## **6. Recharge des nappes phréatiques par infiltration (GW3)**

**Sommaire de la situation actuelle :** Selon les PDAIRE, les ressources en eau souterraine exploités actuellement sont estimées au niveau national à 4.3 milliards de m<sup>3</sup>, alors que les ressources en eau souterraine pouvant être utilisés d'une manière durable ne dépasse guère les 3.4 milliards de m<sup>3</sup>. La surexploitation des nappes d'eau souterraine est donc estimée en moyenne à près d'un milliard de m<sup>3</sup> par an, et beaucoup plus dans les années sèches. La capacité des trois principaux champs de puits autour de la ville de Marrakech (Agdal : 9 puits, Ourika : 6 puits, Issil : 5 puits) qui a diminué de plus de 1 200 l/s dans les années 1970 à présentement moins de 200 l/s illustre les conséquences de la surexploitation des nappes dans la région de Marrakech.

Face à cette situation susceptible de s'aggraver, en raison de l'impact du changement climatique et la demande croissante en eau, les pouvoirs publics ont développé un programme de sauvegarde des eaux souterraines. Ce programme, développé dans le cadre de la Stratégie nationale de l'eau, a pour objectif d'assurer la gestion durable des nappes souterraines. Ce programme comporte la mise en œuvre du programme d'économie d'eau d'irrigation, le recours aux ressources en eau de surface et à l'eau de mer, la recharge artificielle des nappes ainsi qu'un renforcement du système de contrôle et de sanctions en cas de surexploitation.

C'est dans ce cadre que le Gouvernement a lancé l'initiative pour établir et signer des contrats de nappes avec les objectives principales suivantes:

Analyser l'état actuel de l'utilisation des ressources en eau souterraine avec l'évaluation des impacts socio-économiques et les défis futurs notamment la protection des nappes souterraines et la préservation des investissements hydriques existants ;

Définir un plan d'action découlant du meilleur scénario pour l'amélioration de la situation de la nappe, tout en spécifiant son coût, sa durée, et les responsabilités de chaque intervenant dans la mise en œuvre du programme ;

Développer et implémenter des mécanismes de suivi et de sanctions afin d'atteindre les objectifs et assurer une gestion durable et intégrée des ressources hydraulique souterraines.

Selon l'ABHT, la nappe phréatique de Haouz-Mejjate couvre environ 50% de la superficie du bassin hydraulique du Tensift. Le niveau de la nappe phréatique et donc le rendement de la ressource en eau souterraine Haouz-Mejjate a considérablement diminué au cours des dernières années, en raison des prélèvements d'eau souterraine incontrôlés et excessifs, dépassant largement la recharge naturelle de la nappe. La surexploitation de l'eau souterraine est principalement due aux raisons suivantes:

La ville de Marrakech couvre encore environ 10% de ses besoins en eau potable avec de l'eau souterraine

100% des besoins en eau potable des petits centres urbains, de la population rurale et des complexes touristiques en milieu rural de la région du Haouz sont couverts par la nappe

50% des besoins en eau d'irrigation sont satisfaits de la nappe

En vue d'assurer une exploitation durable de la nappe de Haouz – Mejjate qui enregistre selon le rapport de GIZ<sup>25</sup> de 2016 actuellement un bilan déficitaire de près de 176 Mm<sup>3</sup>/an, le PDAIRE de Tensift a recommandé la mise en place des dispositions suivantes:

La mise en œuvre d'un programme d'économie d'eau d'irrigation pour réduire de manière substantielle les prélèvements d'eau souterraine ;

Le recours aux ressources en eau de surface et au transfert d'eau à partir du bassin de l'Oum Er Rbia en substitution aux prélèvements d'eau souterraine. C'est dans ce cadre que l'alimentation en eau potable du Grand Marrakech ne serait plus assurée à partir de la nappe du Haouz – Mejjate.

La recharge artificielle des nappes souterraines

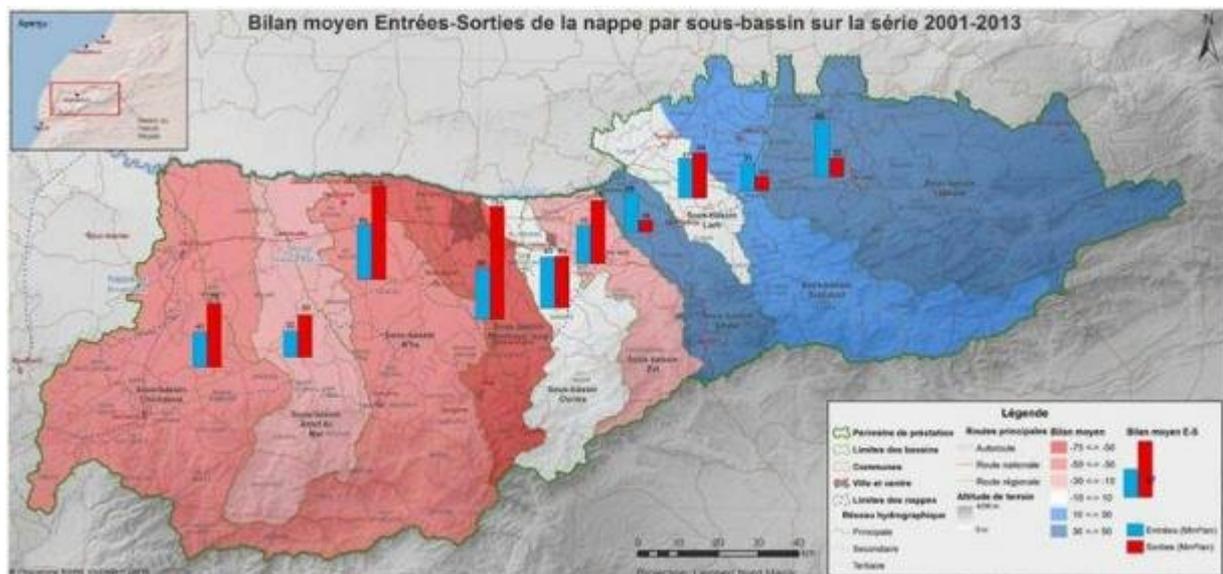


Figure XI-14: Bilan de la nappe Haouz-Mejjate (source: ABHT / AGIRE, Élaboration de la convention GIRE du Bassin de Haouz-Mejjate, Diagnostic du bassin global)

<sup>25</sup> Le rapport de la GIZ de 2016 présente le diagnostic et le bilan les plus actualisés de la nappe du Haouz, pour la période de 2001 à 2013.

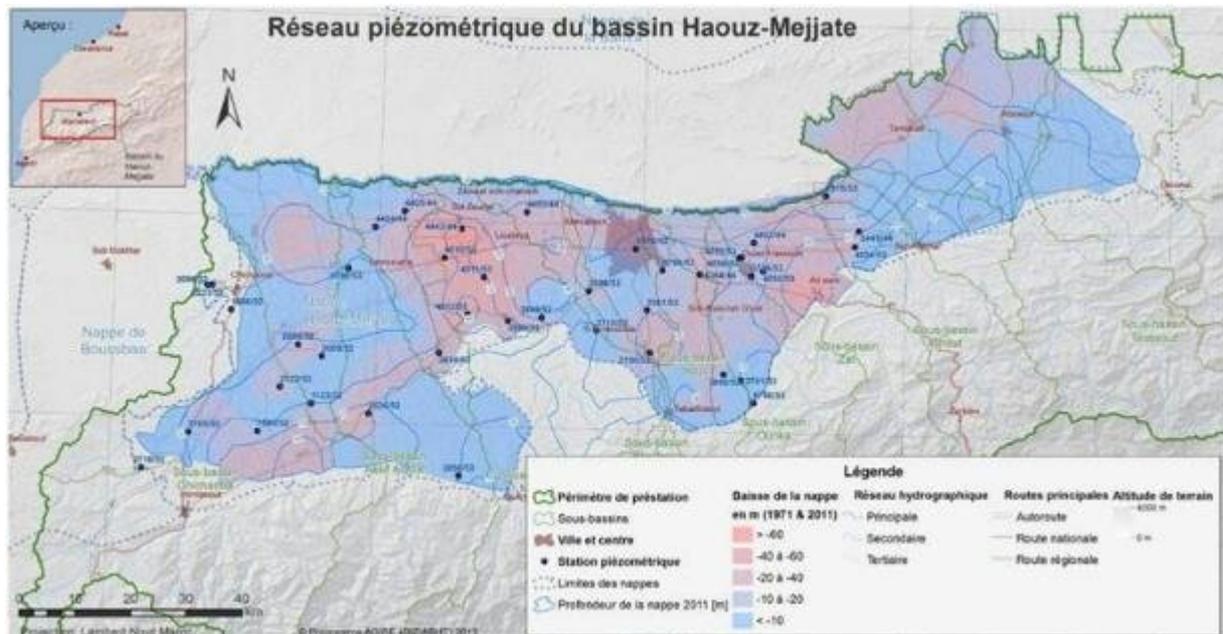


Figure XI-15: Baisse de la nappe Haouz-Mejjate (source: ABHT / Élaboration de la convention GIRE du Bassin de Haouz-Mejjate, Diagnostic du bassin global)

Le PDAIRE de Tensift évoque les expériences de recharge réalisées entre 1985 et 1986 dans le lit de l'Oued Nfis et les réalisations entreprises dans la zone des Jbilet. Ces expérimentations ont mis en évidence le rôle que peut jouer la recharge artificielle des nappes d'eau souterraine dans l'accroissement des ressources en eau. Ces projets de recharge visent à favoriser l'infiltration dans les nappes souterraines grâce à un aménagement approprié des lits des oueds ou des zones d'épandage des eaux de crue. Les possibilités de recharge artificielle dans la zone du bassin de Tensift ont été identifiées au niveau de l'Oued Nfis à l'aval du barrage de Lalla Takerkoust, et le long des affluents de l'Oued Tensift, Zat, Ghmat et Rhérhaya :

Au niveau de l'Oued Zat, les études ont montré que la réalisation de 14 seuils permettrait de porter le volume infiltré de 20 à 30 Mm<sup>3</sup> par an soit un gain annuel de 10 Mm<sup>3</sup>. Actuellement huit seuils sont réalisés.

La programmation de 5 seuils de recharge sur l'Oued Ghmat pour un budget de MAD 20 millions y compris quelques piézomètres et une station hydrologique pour le suivi des opérations de recharge.

Le lancement d'une étude pour la réalisation de 5 seuils de recharge sur l'Oued Rhérhaya incluant un barrage écrêteur de crues favorisant également la recharge de la nappe.

Un plan directeur de recharge artificielle est en cours d'élaboration par l'ABH de Tensift. Compte tenu de l'importance des coûts d'exploitation du projet d'approvisionnement en eau potable de la ville de Marrakech et du rôle stratégique que peut jouer la nappe du Haouz dans l'alimentation en eau potable du Grand Marrakech durant les années de sécheresse, la stabilisation et la reconstitution de la nappe de Haouz-Mejjate représente une priorité pour l'ABH et l'ONEE. Cette nappe est considérée comme stratégique pour l'alimentation en eau potable et d'arrosage des zones rurales. En outre, cette nappe devrait aussi jouer un rôle dans la gestion des pénuries au niveau du bassin ainsi qu'au niveau de la ville de Marrakech.

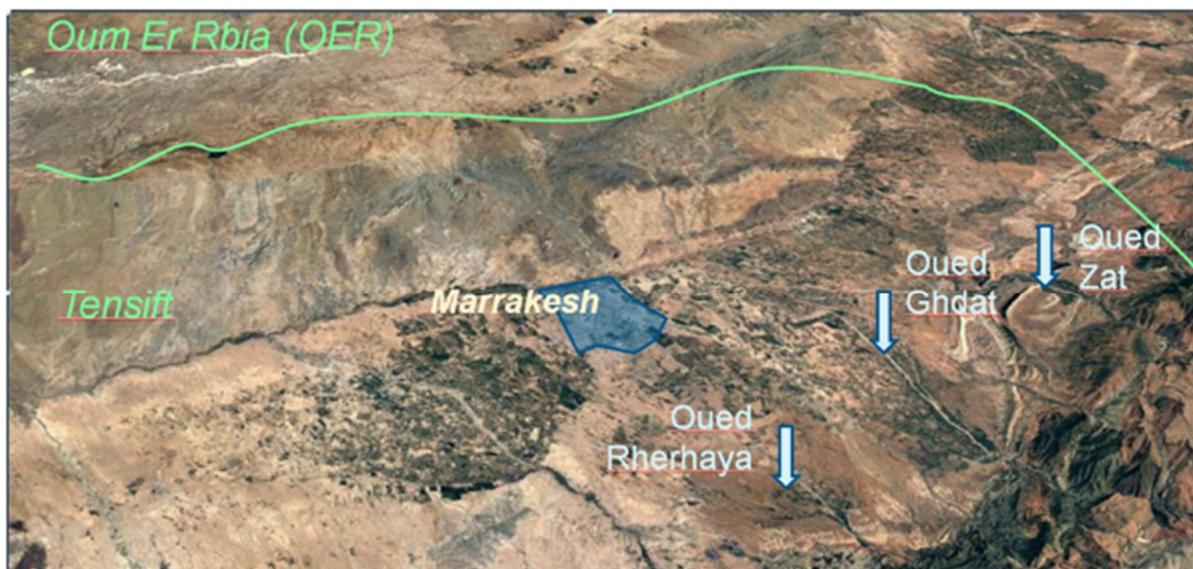


Figure XI-16: Locations pour l'alternative recharge des nappes phréatiques (GW3)

**Description et impacts de l'option pour Marrakech :** Le plan d'action de recharge de la nappe du Haouz – Mejjate, initié par l'ABH de Tensift doit être revue pour permettre une contribution de cette nappe à l'alimentation en eau de la ville de Marrakech. Il doit comprendre notamment :

Un apport d'eau usée et épurée de la ville de Marrakech pour recharger la nappe du Haouz au niveau de l'Oued Nfis. Des ouvrages de transport d'eau usées et épurée doivent être étudiés et réalisés. Ce projet de recharge de la nappe du Haouz à partir des eaux usées pourrait apporter à la nappe près d'une trentaine de millions de m<sup>3</sup> par an. Le coût du m<sup>3</sup> d'eau usée serait largement inférieur au coût des autres solutions d'apport d'eau à partir du bassin de l'Oum Er Rbia. Ce projet de recharge de la nappe à partir des eaux usées et épurées doit être réalisé dans le cadre du plan National de la réutilisation des eaux usées et épurées et selon les dispositions de la nouvelle loi sur l'eau.



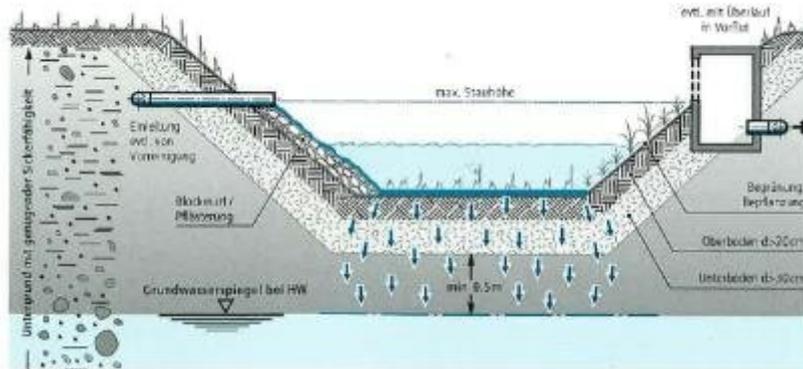
Seuils de rétention dans les oueds et le Tensift pour favoriser l'infiltration. La conception des seuils doit tenir compte des expériences antérieures, en particulier concernant les problèmes de colmatage. La construction d'une centaine de seuil permettrait d'améliorer le volume infiltré d'une cinquantaine de m<sup>3</sup> par an.

Renforcement de la recharge de la nappe le long des oueds Hria et Bahja, M'hamid Issyl en relation avec la gestion des crues. Combiner l'aménagement des berges, reprofilage des intersections avec la construction des étangs et de surfaces de rétention et infiltration. Afin de minimiser le colmatage des infrastructures de rétention et infiltration, les charges importantes en matière de suspension durant les périodes de crues devraient être emportées par les crues dans les oueds. Les bassins et surfaces de rétention et infiltration préférablement ne devraient être alimentées qu'après la première crue. Etant donné que les terrains aux alentours de Marrakech sont relativement plats, des grandes surfaces sont nécessaires pour l'infiltration de l'eau.

Alternativement, des bassins et canaux de rétention des eaux des oueds et eaux de pluies comme présentés ci-dessous pourraient être conçus.



Figure XI-17: Exemples pour infrastructures pour recharge de la nappe phréatique par infiltration



**Description des impacts environnementaux :** Les principaux impacts des seuils d'infiltration peuvent être résumés de la manière suivante :

Étalement et un laminage des crues ce qui améliore la protection contre les inondations

Modification du régime des eaux des oueds

**Description de la faisabilité et la vulnérabilité climatique :** La réalisation des seuils d'infiltration est techniquement faisable. Plusieurs seuils d'infiltration sont réalisés le long des 'Oueds du Sous et de l'Oued Zat. Ces ouvrages d'une faible hauteur sont construits en béton. Ils sont bien ancrés dans les rives des Oueds et possèdent à l'aval des ouvrages de dissipation. Les seuils proposés dans le cadre de cette étude seront réalisés le long des oueds Nfis, Ghmat, Zat, Rdat, Rheraya, Ourika dont les apports d'eau se situeraient à près de 500 Mm<sup>3</sup>/an. Ces oueds constituent un lieu privilégié de recharge de la nappe du Haouz.

Les ressources en eau de surface des différents oueds sont vulnérables à l'impact des changements climatiques. Les prévisions concernant le changement climatique pour ces bassins vont dans le sens d'une réduction de 20% des apports d'eau par rapport à ceux pris en compte dans le PDAIRE. L'impact de cette réduction des apports d'eau se traduirait par une réduction du volume d'eau infiltrée dans la nappe, estimée à moins de 20%. Le stockage des eaux de surface dans les nappes phréatiques représente une méthode approuvée qui minimise les pertes d'eau par évapotranspirations.

**Projection des volumes :** Le projet de recharge de la nappe du Haouz proposé dans le cadre de la présente étude est composé de la construction d'une centaine de seuils le long des affluents de l'Oued Tensift (Nfis, Ghmat, Zat, Rdat, Rheraya, Ourika, etc.) pour améliorer l'infiltration de 50 Mm<sup>3</sup>/an (0.5 Mm<sup>3</sup>/an par seuil), à partir de 2023 pour la recharge de la nappe phréatique dans les alentours de Marrakech (source : PDAIRE Tensift).

## Estimations des coûts

Coût d'investissement : Le coût de la construction de ces seuils est estimé sur la base des coûts des seuils construits le long de l'Oued Zat par l'Agence de bassin hydraulique de Tensift et des expériences réalisées dans le bassin du Souss. Le coût de ce programme se situerait à près de MAD 300 millions (MAD 3 millions par seuil).

Coût de renouvellement : L'objectif de ces seuils est généralement de réduire la vitesse d'écoulement et d'ainsi favoriser l'infiltration des eaux. Ces ouvrages en béton, d'une faible hauteur, sont bien ancrés dans les rives des Oueds. La durée de vie de ces ouvrages est estimée à près de 40 ans. L'investissement doit donc être renouvelé tous les 40 ans.

Coûts d'exploitation : Les coûts d'exploitation comprennent les coûts relatifs à i) la réparation des dégâts des crues, et ii) la réalisation d'opération de nettoyage. Ces coûts sont estimés à 1 % des coûts d'investissement.

Coût de traitement : Nulle, car par l'infiltration l'eau est épurée. L'eau n'est pas prioritairement utilisée comme eau potable, mais plutôt pour l'irrigation.

**Aperçu des volumes et coûts** : Le tableau suivant synthétise les principales caractéristiques du barrage et le coût du mètre cube en eau potable provenant de ce barrage.

Nombre de seuils d'infiltrations	100
Durée de réalisation	50 ans
Date de mise en service	à partir de 01/01/2023
Volume d'eau souterraine obtenue	jusqu'à 50 Mm <sup>3</sup> /an
Coût d'investissement	MAD 300 millions
Coût d'entretien	MAD 3 millions/an
Coût du traitement de l'eau	0
Coût par m <sup>3</sup> d'eau dégagé	0.6 MAD/m <sup>3</sup> (sans 20% pour les coûts imprévus et les éventualités)

Tableau XI-21: Estimation du coût du m<sup>3</sup> d'eau souterraine obtenue par infiltration d'eau de surfaces

**Les impacts environnementaux et sociaux** : La recharge des nappes comprend deux types de technologies : i) les méthodes utilisées pour augmenter le volume d'eau stocké dans les aquifères ; et ii) les méthodes utilisées pour le traitement de l'eau ou des eaux usées (la zone non saturée est utilisée comme filtre naturel pour éliminer ou réduire les concentrations de matières solides en suspension, de matières organiques biodégradables, de nutriments, de métaux et de micro-organismes pathogènes).

Les avantages potentiels comprennent la réduction des coûts de pompage des eaux souterraines et l'évitement de remplacer ou d'approfondir les puits de production et la prévention de l'intrusion d'eau salée. L'exploitation de la nappe est optimisée et les bénéfices induits (agriculture, eau potable, industrie, etc.) sont pérennisés.

Ces avantages sont contrebalancés par les effets négatifs qui sont présents pendant la durée de vie de cette option : La technologie analysée dans le cadre de ce chapitre concerne l'infiltration par l'aménagement de seuils sur les lits des oueds.

Recharge des nappes phréatiques par infiltration		
Phase	Niveau du site	Aval hydraulique
<i>Phase de construction</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>Dégradation des écosystèmes</li><li>Pollution de l'air (poussières et gaz)</li><li>Sécurité des ouvriers et des riverains</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Pollution des eaux de surface et souterraines</li></ul>

<i>Phase d'exploitation</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inondations des berges</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dégradation de la qualité des eaux de surface et souterraines</li> <li>• Recrudescence des maladies hydriques</li> <li>• Modification du régime des écoulements de l'oued</li> </ul>	

## 7. Transferts d'eau interbassins ou dérivations interbassins

### 7.1 Transferts d'eau interbassins ou dérivations interbassins (WT1)

**Sommaire de la situation actuelle :** Avec la construction du complexe Hassan 1<sup>er</sup> - Sidi Driss et du Canal de Rocate, la région de Marrakech bénéficie depuis les années 1984 d'un transfert d'eau à partir du bassin de l'Oued Ou Er Rbia. Le Canal de Rocate transporte les eaux brutes sur un linéaire de 118 km et dispose d'une capacité de transit de 20 m<sup>3</sup>/s. En année moyenne le canal devrait transporter un volume de l'ordre de 300 Mm<sup>3</sup>/an dont 40 Mm<sup>3</sup>/an pour alimenter la ville de Marrakech en eau potable et 260 Mm<sup>3</sup> pour l'irrigation de la zone Haouz central.

Un autre grand projet de transfert est programmé dans le cadre du Plan national de l'eau. Ce projet de transfert d'eau à partir des bassins de l'Oued Laou, du Loukkos et du Sebou via le barrage Al Massira a pour objectif de renforcer les ressources en eau des bassins du Bouregreg, de l'Oum Er Rbia et de Tensift. L'idée de ce projet de transfert d'eau est née de constats principaux suivants:

la mutualisation des capacités de stockage disponibles ou projetées dans les bassins du Laou, du Loukkos, du Sebou et d'Oum Er Rbia notamment à Al Massira, qui disposant d'une capacité de stockage importante pas toujours remplie, peut permettre de mobiliser des ressources en eau additionnelles aujourd'hui perdues en mer;

les bassins de l'Oum Er Rbia et du Tensift accusent des déficits hydriques structurels qui seront aggravés par la diminution des apports d'eau constatée dans ces bassins et l'augmentation de la demande en eau potable, industrielle et touristique notamment à Marrakech.

Ce projet qui assure un transfert d'eau de 845 Mm<sup>3</sup>/an des bassins de l'Oued Laou, du Loukkos et du Sebou vers les bassins du Bouregreg, de l'Oum Er Rbia et de Tensift permettra l'extension de l'irrigation sur une superficie de 70 000 ha, le renforcement de l'irrigation sur une superficie de 125 000 ha et la satisfaction et la sécurisation des besoins en eau potable de la ville de Marrakech.

Le projet de transfert d'eau constitue un parcours de 400 km presque en ligne droite, qui franchit des situations de relief et de géologie différente imposant des passages en tunnels. Quatre tunnels sont prévus, de longueur allant de 7 à 63 km, soit 164 km au total. Ce projet de transfert comprend les ouvrages hydrauliques suivants : i) transfert du nord vers le barrage Al Massira, et ii) adduction d'eau potable à partir du barrage Al Massira vers Marrakech.

Le point de prélèvement pour l'alimentation en eau potable de la ville de Marrakech est situé en bas du barrage Al Massira. La date de mise en service de la première phase du projet de l'adduction d'Al Massira vers Marrakech, en cours de réalisation par l'ONEE, est prévue en 2018.

L'alimentation de Marrakech en eau potable à partir d'un point de prélèvement en aval du barrage existant Kasba Tadla situé sur l'Oued Oum Er Rbia en amont du barrage Al Massira via un système de canaux et une station de mise en pression qui refoule dans le Canal de Rocate représente une alternative au transfert via le barrage Al Massira vers Marrakech.

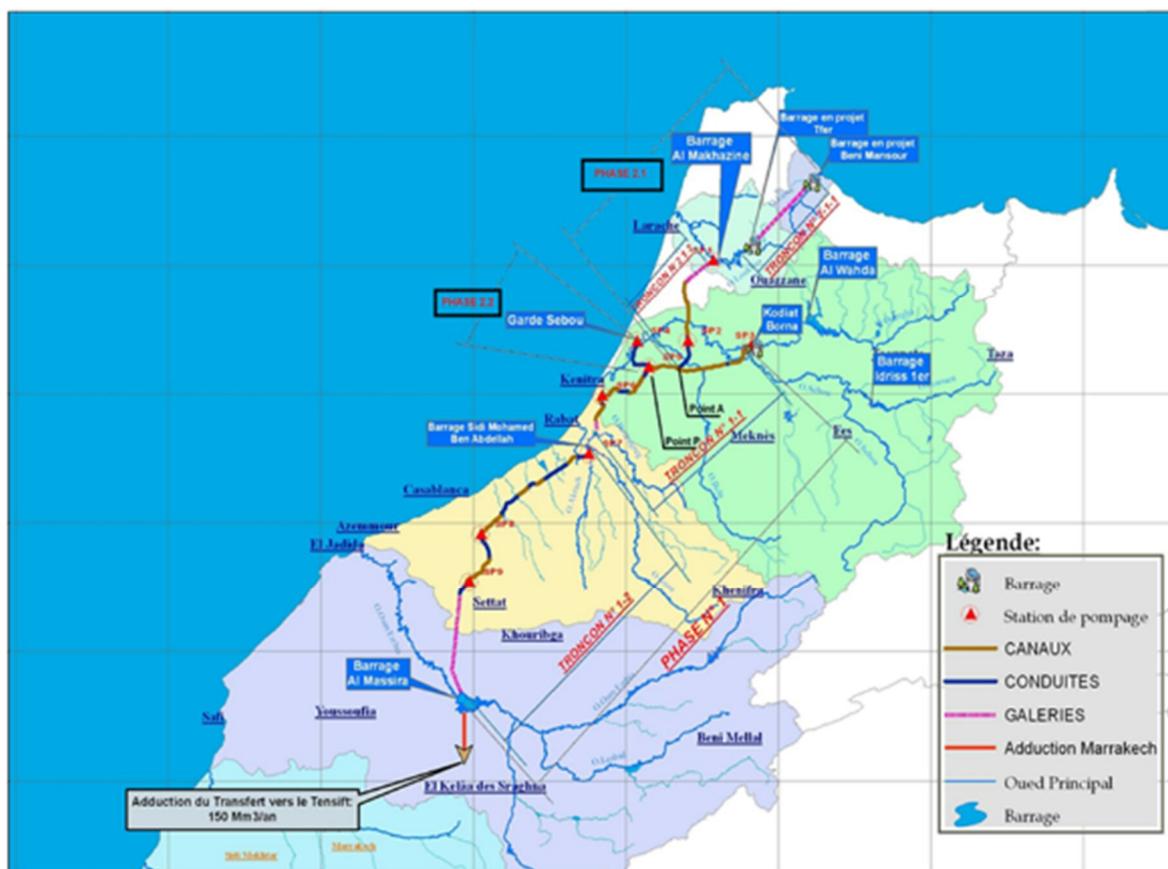


Figure XI-18 : Schéma du projet de transfert interbassin d'eau vers Al Massira et Marrakech (source: ONEE)

## 7.2 Transfert du nord vers barrage Al Massira

**Projections des volumes :** Le tableau ci-dessous donne la répartition de l'eau apportée par le Projet transfert du nord au barrage Al Massira, incluant 95 Mm<sup>3</sup>/an pour l'alimentation en eau potable de Marrakech.

Bassin hydraulique	Zone de mise en valeur potentielle	Origine de la ressource	dotation allouée (2030)	Ressource en Mm <sup>3</sup> /an (2030)		
				Dont combler déficit nappe	Dont combler déficit GH	Dont extension
Oum Er Rbia	Doukkala - Renforcement grande hydraulique (GH)	transfert	74		74	
	Doukkala-Extension	transfert	188			188
	Rhamna-Bahira	transfert	50	50		
	Rhamna- Bouchanne	transfert	70			70
Total Oum Er Rbia			382	50	74	258
Tensift el Haouz	Renforcement GH Haouz Central	transfert	50		50	
Total irrigation Oum Er Rbia et Tensift			432	50	124	258
Eau potable de Marrakech			95			

Tableau XI-22: Allocation des eaux du Projet transfert du nord vers les bassins Oum Er Rbia et Tensift

## Estimations des coûts

**Coût d'investissement :** Le coût des infrastructures hydrauliques du Projet transfert du nord (non compris les investissements associés à l'aménagement hydroagricole et à l'eau potable) a été estimé à environ MAD 31 milliards :

Phases de réalisation	Coût d'investissement en milliards de MAD
Phase I	16.2
Phase II	14.7
Coût d'investissement	30.9

Tableau XI-23: Coûts d'investissement du Projet transfert du nord avec répartition des coûts par phases (source : Étude de faisabilité de l'aménagement hydroagricole rattaché au projet de transfert des eaux du Nord au Sud)

**Coût d'entretien, de maintenance et de renouvellement :** Le tableau ci-dessous donne les coûts de renouvellement et d'entretien. Ces coûts sont:

Coût d'entretien et de maintenance: MAD 185 millions/an  
Provision annuelle pour amortissement: MAD 628 millions/an

		Barrages / Dessableur	Conduites	Équipement	GC	GC	GC	GC	GC	GC	TOTAL	
Investissement	1er Phase	MDH	544	3 420	69	903	595	94	4 276	3 009	190	13 099 MDH
	2eme Phase	MDH	2 134	4 060	82	1 074	145		5 058	519	19	13 089 MDH
	Total	MDH	2 678	7 480	151	1 976	740	94	9 333	3 528	209	26 187 MDH
Amortissement annuel	Annuel	MDH	54	187	4	99	18	2	187	71	7	628 MDH
	Taux	%	0,5%	0,5%	1,0%	3,0%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	2,5%	
Entretien / Maintenance	Annuel	MDH	13,39	37,40	1,51	59,28	3,70	0,47	46,67	17,64	5,23	185 MDH

Tableau XI-24 : Coûts d'entretien et de renouvellement du projet de transfert d'eau (source : Étude de faisabilité de l'aménagement hydroagricole rattaché au projet de transfert des eaux du Nord au Sud)

**Coût d'énergie :** Le tableau ci-dessous donne la variation du coût de revient de l'eau en fonction de l'énergie de pompage associée à chaque niveau de relevage, des investissements imputables à chaque tronçon et ceci rapporté aux volumes transférables. De ce tableau, les frais de pompage, ainsi que le coût spécifique total de l'eau livré au barrage Al Massira sont tirés.

Tronçon	Horizon 2022									70i hiféY' du m <sup>3</sup> fUbgzfé
	Océâcé; à cā ^• Å^• Å[ ] ç } •				O[ ^• Å[ ] ; ā ^• Å ÅÅ[ ] ç }				Energie	
	V[ ] ç }	Q	HMT	J'dca dé	Investissement annuel sur 30 ans	Amortissement	Entretien maintenance	DH/m3		
KM	m3/s	(m)	Mm3/an	MDH/an	MDH/an	MDH/an	DH/m3	DH/m4		
GRA BM (Laou) - Makhazine	54	20	?	250	93,53	67,30	19,85	0,00	0,723	
SP1 Makhazine-Sebou	49	30	10,5	273	84,87	61,07	18,01	0,04	1,363	
SP2 Sebou-Pt L	32	30	26,6	273	55,42	39,88	11,76	0,05	1,809	
SP3 KB-Pt P	73	45	10,7	272	126,43	90,98	26,83	0,03	0,929	
SP4 Garde - Pt P	26	45	35,0	191	45,03	32,40	9,56	0,07	0,523	
SP5 Pt P - SP5	48	45	74,0	736	83,13	59,82	17,64	0,18	3,655	
SP6 Oj dé^ÅJT ŒCE	20	45	68,1	736	34,64	24,93	7,35	0,17	5,363	
SP7 Sortie SMBA	89	30	163,5	628	154,14	110,92	32,72	0,39	6,227	
SP8 Berrechid	41	30	87,4	455	71,01	51,10	15,07	0,20	6,728	
SP9 Oj dé^ÅÅj'â	72	30	53,3	455	124,70	89,73	26,47	0,12	7,383	

Tableau XI-25: Coûts du m<sup>3</sup> par tronçon (source : Étude de faisabilité de l'aménagement hydroagricole rattaché au projet de transfert des eaux du Nord au Sud)

**Aperçu des volumes et coûts :** Le tableau ci-dessous synthétise les principales caractéristiques du Projet transfert du nord et le coût du mètre cube en eau transféré vers le barrage existant d'Al Massira.

Volume d'eau transféré	845 Mm <sup>3</sup> /a dont 527 Mm <sup>3</sup> /an pour le barrage Al Massira y compris 95 Mm <sup>3</sup> /a pour AEP
Durée Phase I : Durée Phase II :	5 ans ; période 2025 – 2030 (hypothèse optimiste) 5 ans ; période 2030 – 2035 (hypothèse optimiste)
Coût d'investissement Phase I : Coût d'investissement Phase II :	MAD 16.2 milliards dont 1.82 milliards pour AEP MAD 14.7 milliards dont 1.65 milliards pour AEP
Coût d'entretien y inclus le coût de transport	MAD 185 millions/an dont 21 million/an pour AEP
Frais de pompage	1.25 MAD/m <sup>3</sup>
Coût du traitement de l'eau	0 pour le transfert de l'eau vers le barrage d'Al Massira
Coût de l'eau livrée au barrage Al Massira	7.4 MAD/m <sup>3</sup>

Tableau XI-26: Estimation du coût du m<sup>3</sup> transféré du nord vers le barrage Al Massira

### 7.3 Adduction d'eau potable à partir du barrage Al Massira vers Marrakech (WT1a)

**Phase I :** La première phase du projet d'approvisionnement en eau potable et industrielle de la région de Marrakech à partir du barrage Al Massira comporte les composantes relatives à la production, de stockage et d'adduction d'eau:

Construction d'une prise d'eau brute à partir du barrage Al Massira (7 m<sup>3</sup>/s)

Pose d'une conduite d'adduction d'eau brute (diamètre 2'000 mm, linéaire d'environ 3 km)

Réalisation d'une station de débouage (3.5 m<sup>3</sup>/s)

Pose d'une conduite d'adduction des eaux débouées (diamètre de 1'600 à 2'000 mm, linéaire d'environ 45 km)

Construction de 2 réservoirs (R1, RMC1)

Construction de 2 stations de pompage (SR1: HMT 182m et SR2: HMT 182m)

Réalisation d'une station de traitement (capacité = 2.5 m<sup>3</sup>/s)

Pose d'une conduite d'adduction des eaux traitées (diamètre de 1'300 à 1'800 mm, linéaire d'environ 65 km) de la station de traitement vers Marrakech

Construction de 3 réservoirs (R2, RMC2 et réservoir Nord)

Construction d'une station de pompage SR3 (HMT de l'ordre de 100m)

Ce projet est en cours de réalisation par l'ONEE à un coût d'investissement d'environ MDH 30 milliards. Il est financé avec la Banque Africaine de Développement (BAD) et l'Office Chérifien de Phosphate (OCP). La date de mise en service de ce projet est prévue en 2018. Cette solution en cours de réalisation n'est pas prise en considération dans l'analyse financière et économique car il s'agit des infrastructures déjà existantes. Par contre, les coûts des Phases II et III de l'adduction de l'eau potable d'Al Massira vers Marrakech sont pris en compte.

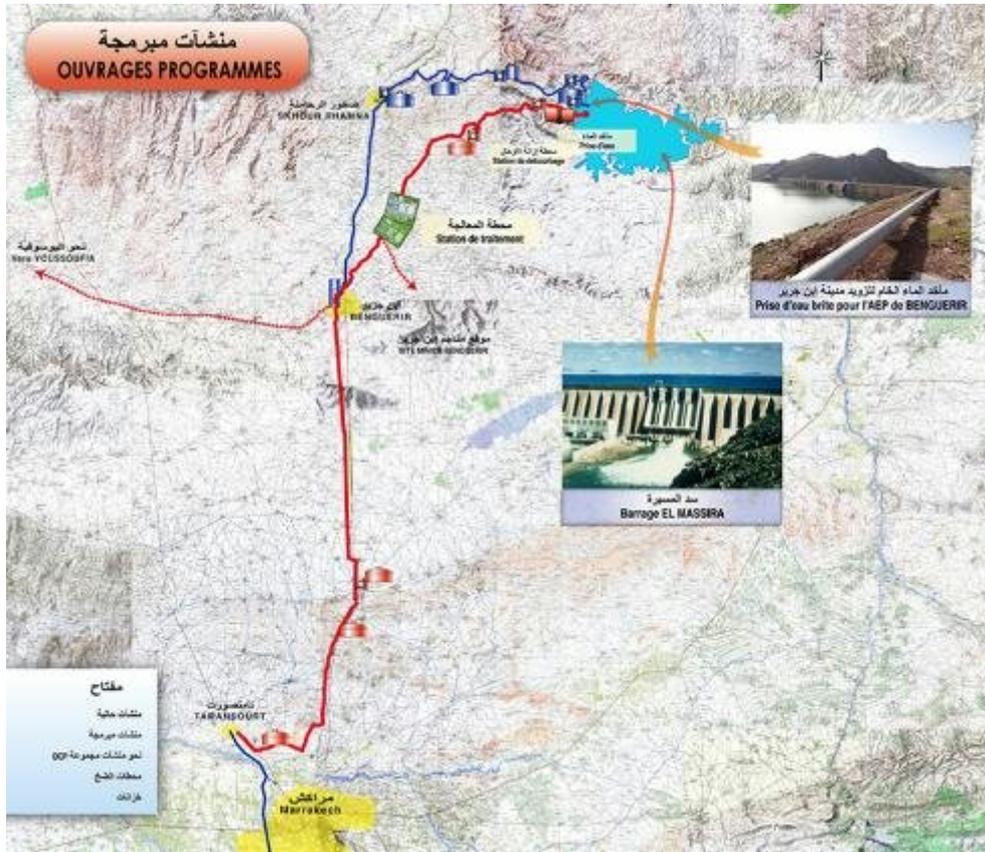


Figure XI-19: Schéma des ouvrages programmés d'alimentation en eau potable de la ville de Marrakech à partir du «Transfer Nord – Sud» via le barrage d'Al Massira (source : ONEE)

**Projection des volumes :** Le projet d'adduction d'eau potable (Phase I) en cours de construction est dimensionné pour produire un volume d'eau potable de 78 Millions de m<sup>3</sup> par an. Ce volume est destiné à l'alimentation en eau potable de la ville de Marrakech et certains centres urbains. La première phase de l'adduction de Marrakech ne domine pas en totalité la zone de la RADEEMA.

**Estimations des coûts :** Le coût total du m<sup>3</sup> d'eau potable livré à la ville de Marrakech se situerait à près de MAD 14.4, incluant les coûts de transfert du nord jusqu'à le barrage d'Al Massira.

Source : Études de transfert, ONEE	Coût du m <sup>3</sup> d'eau potable (MAD/m <sup>3</sup> )
Projet de transfert (Phase I et II) ver Al Massira	7.4
Adduction Al Massira (Phase I) à Marrakech	7.0
Coût totale	14.4

*Tableau XI-27: Estimations des coûts globales incluant le transfert de l'eau brute du nord vers le barrage Al Massira et la première phase de l'adduction d'eau potable à partir du barrage Al Massira vers Marrakech*

**Phase II :** La Phase I du Projet sera complétée en Phase II par la réalisation des ouvrages d'interconnexion entre les réservoirs de la RADEEMA. Les bilans hydriques réalisés dans le cadre de la présente étude ont montré que :

Le complexe Hassan 1<sup>er</sup> – Sidi Driss doit contribuer à plus que 125 Mm<sup>3</sup> par an à l'alimentation en eau potable. Le prélèvement de cette dotation en eau se traduirait par des perturbations majeures de l'irrigation des périmètres du Haouz central et de Nfis.

Durant les périodes de sécheresse équivalente à celle observée durant la période 2000-2007, une rupture du stock d'eau au barrage Hassa 1<sup>er</sup> pourrait être enregistrée.

La perte de capacité du barrage Lalla Takerkoust par envasement pourrait se traduire par une réduction significative du volume mobilisé au niveau de la branche Nfis, contrôlée par le complexe Lalla Takerkoust ;

La ville de Marrakech devrait donc compter uniquement sur les ressources en eau du complexe Al Massira durant les périodes de sécheresse. Elle doit donc disposer des équipements nécessaires pour être alimentée en totalité à partir de ce barrage. C'est dans ce cadre que la réalisation des ouvrages d'interconnexion entre les réservoirs de la RADEEMA est nécessaire.

### **Estimation des coûts**

Coût d'investissement : Le coût total des ouvrages d'interconnexion est estimé à près de MAD 250 millions, dont la totalité est attribuable à l'adduction de 29 Mm<sup>3</sup> d'eau potable par an vers Marrakech. La durée de vie admise pour les conduites est de 50 ans (55% de l'investissement) et 20 ans pour la station de pompage (45%).

Coûts fixes d'exploitation : Les frais fixes annuels d'entretien et d'exploitation sont calculés à partir des coûts d'investissement des ouvrages par application du taux d'entretien admis pour les travaux civils de 0.5% (86% d'investissement) et de 3% pour les équipements (14% d'investissement). En tenant compte de ces taux, les frais fixes annuels d'entretien et d'exploitation sont estimés à MAD 2.125 millions/an.

Coût d'opération : Les frais de pompage sont calculés sur la base du prix du kWh de 0.66 MAD/kWh, d'un rendement des pompes de 0.75, d'un volume pompé de l'ordre de 29 Mm<sup>3</sup>/an et d'une HMT de l'ordre de 50 m. Les coûts spécifiques de pompage correspondent donc à 0.12 MAD/m<sup>3</sup>.

**Phase III :** Le complexe Hassan 1<sup>er</sup> – Sidi Driss ne pouvait pas assurer à la fois l'alimentation en eau potable de la ville de Marrakech et la dotation en eau minimale du périmètre du Haouz, adoptée dans le cadre des PDAIRE de l'Oum Er Rbia et de Tensift notamment durant les périodes de sécheresse à l'instar de celle observée durant la période allant de 2000 à 2007. La troisième phase du projet de l'adduction à partir du barrage Al Massira peut donc être réalisée comme une des options disponibles. Cette troisième phase consiste à doubler les ouvrages de la première phase, y compris une nouvelle station de traitement, à l'exception de la prise d'eau.

La troisième phase du projet devrait être réalisée à partir de 2025, être opérationnelle en 2030, et comporte les composantes suivantes relatives à la production, de stockage et d'adduction d'eau :

- Pose d'une conduite d'adduction d'eau brute (diamètre 2 000 mm, linéaire d'environ 3 km)
- Réalisation d'une station de débouage (3.5 m<sup>3</sup>/s)
- Pose d'une conduite d'adduction des eaux débouées (diamètre de 1 600 à 2 000 mm, linéaire d'environ 45 km)
- Construction de 2 réservoirs (R1, RMC1)
- Construction de 2 stations de pompage (SR1: HMT 182 m et SR2: HMT 182 m)
- Réalisation d'une station de traitement (capacité = 2.5 m<sup>3</sup>/s)
- Pose d'une conduite d'adduction des eaux traitées (diamètre de 1 300 à 1 800 mm, linéaire d'environ 65 km) de la station de traitement vers Marrakech
- Construction de 3 réservoirs (R2, RMC2 et réservoir Nord)
- Construction d'une station de pompage SR3 (HMT de l'ordre de 100 m)

### Projection des volumes

Les hypothèses prises en compte dans le calcul du volume pompé sont les suivantes :

- demande en eau potable selon l'hypothèse moyenne ;
- la contribution à l'alimentation en eau potable du complexe Hassan 1<sup>er</sup> Sidi Driss est de 40 Mm<sup>3</sup>/an dont près de 15 Mm<sup>3</sup>/an pour la province d'Azilal ;
- la contribution de l'adduction d'Al Massira sera de 158 Mm<sup>3</sup>/an dont 79 Mm<sup>3</sup>/an pour la Phase II (Phase I et ouvrages d'interconnexion)
- la contribution du complexe Lalla Takerkoust sera nulle à partir de 2030 ;
- la contribution de la nappe du Haouz sera nulle ;
- la fourniture d'eau minimum d'irrigation adoptée au PDAIRE sera assurée à partir du barrage Hassan 1<sup>er</sup> – Sidi Driss et de Lalla Takerkoust ;
- le barrage Sidi Driss sera totalement envasé, la surélévation du barrage ne serait pas réalisée ;
- un taux d'envasement moyen de 1 Mm<sup>3</sup>/an au niveau du barrage Hassan 1<sup>er</sup> et de Lalla Takerkoust ;
- le projet de transfert d'eau du nord vers le barrage Al Massira sera mis en service qu'après 2035.

Le tableau ci-dessous donne l'évolution du volume en eau potable pompé vers Marrakech.

Phases	2022	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Phase I	50	50	50	50	50	50	50
Phase II	29	29	29	29	29	29	29
Phase III	-	-	40	50	60	79	79
Total	79	79	119	129	139	158	158

Tableau XI-28: Projection des volumes en eau potable transférés du barrage Al Massira vers Marrakech, Phase I, II et III (chiffres arrondies)

**Estimations des coûts de la Phase III :** Les coûts de la troisième phase de l'adduction de l'eau à partir du barrage Al Massira vers Marrakech, y compris les coûts des ouvrages d'interconnexion des réservoirs à Marrakech sont estimés ci-après.

Coût d'investissement : Selon l'étude d'alimentation en eau potable de la ville de Marrakech, des centres et douars limitrophes à partir de barrage Al Massira, le coût d'investissement se situerait à

près de MAD 2 500 millions dont près de 55% pour les conduites, 29% pour les équipements et 16% pour le génie civil.

Coût de renouvellement : Pour la prise en compte des coûts de renouvellement des installations, une durée de vie de 20 ans est adoptée pour les équipements et 50 ans pour le génie civil et les conduites.

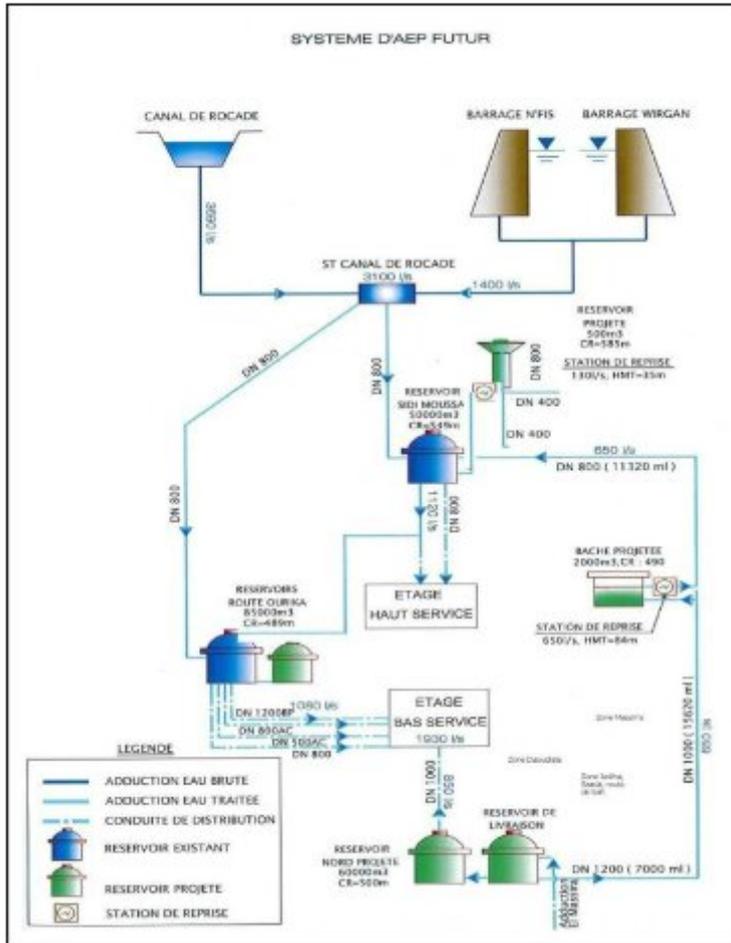


Figure XI-20: Schéma future de l'alimentation en eau potable de Marrakech (source RADEEMA, 2014)

Coûts fixes d'exploitation : Les frais fixes annuels d'entretien et d'exploitation sont calculés à partir des coûts d'investissement des ouvrages par application du taux d'entretien admis pour les différents ouvrages de cette troisième phase, c'est-à-dire 0.5% du coût d'investissement pour le génie civil et les conduites (71% d'investissement totale) et 3% du coût d'investissement pour les équipements (29% d'investissement totale). Sur la base de ces taux d'entretien, les dépenses d'investissement sont évaluées à MAD 30.6 millions/an pour l'adduction d'eau supplémentaire du barrage Al Massira ver Marrakech.

Coût d'énergie : Les frais de pompage de l'adduction de l'eau potable d'Al Massira vers Marrakech sont calculés sur la base du prix de 0.66 MAD/kWh, d'un rendement des pompes de 0.75, d'un volume pompé de l'ordre de 79 Mm<sup>3</sup>/an et d'une HMT de l'ordre de 500 m. Les coûts spécifiques de pompage correspondent donc à 1.2 MAD/m<sup>3</sup>.

Coût de traitement : Selon l'étude d' « Alimentation en eau potable de la ville de Marrakech, des centres et douars limitrophes à partir de barrage Al Massira » (ONEE), le coût de traitement est estimé à 0.25 MAD/m<sup>3</sup>. Ce coût tient compte du coût du personnel, des frais généraux et des réactifs.

**Aperçu des volumes et coûts** : Le tableau ci-dessous synthétise les principales caractéristiques du projet de transfert de l'eau du nord ainsi que les Phases I, II et III du projet de d'adduction de l'eau potable du barrage Al Massira vers Marrakech.

Durée de réalisation :	
Transfer du nord (Phase I)	5 ans ; période 2025 – 2030
Adduction vers Marrakech (Phase I)	4 ans ; période 2015 – 2018
Adduction vers Marrakech (Phase II)	2 ans ; période 2020 – 2021
Adduction vers Marrakech (Phase III)	4 ans ; période 2026 – 2029
Volume d'eau alloué à l'eau potable :	
Adduction vers Marrakech (Phase I)	50 Mm <sup>3</sup> /an (sans interconnexion ; existante)
Adduction vers Marrakech (Phase II)	29 Mm <sup>3</sup> /an (Phase II) de 2022
Adduction vers Marrakech (Phase III)	79 Mm <sup>3</sup> /an pour la Phase III de 2030
Coût d'investissement :	
Transfer du nord (Phase I)	Les coûts du Phase I sont présentement investis et ne doivent donc pas être pris en compte
Adduction vers Marrakech (Phase II)	MAD 250 millions (interconnexion)
Adduction vers Marrakech Phase III	MAD 2.5 milliards
Coût d'entretien :	
Adduction vers Marrakech (Phase II)	MAD 2.125 millions/an
Adduction vers Marrakech Phase III	MAD 30.625 millions/an
Frais de pompage :	
Adduction vers Marrakech (Phase II)	0.12 MAD/m <sup>3</sup> pour 29 Mm <sup>3</sup> /an
Adduction vers Marrakech Phase III	1.2 MAD/m <sup>3</sup> pour 79 Mm <sup>3</sup> /an (après 2045)
Coût du traitement de l'eau :	
Adduction vers Marrakech (Phase II)	0.25 MAD/m <sup>3</sup> pour 29 Mm <sup>3</sup> /an
Adduction vers Marrakech Phase III	0.25 MAD/m <sup>3</sup> pour 79 Mm <sup>3</sup> /an (après 2045)
Coût par m <sup>3</sup> d'eau dégagé	3.9 MAD/m <sup>3</sup> (sans 20% pour les coûts imprévus et les éventualités)

Tableau XI-29: Estimation du coût du m<sup>3</sup> d'eau transféré via le barrage Al Massira vers Marrakech

**Description de la faisabilité et la vulnérabilité climatique :** La faisabilité technique est assurée. L'impact des changements climatiques sur les ressources en eau a été étudié dans le cadre de l'étude des schémas de transferts d'eau à partir des bassins du Loukkos, Laou et du Sebou vers le Sud- mission IV ; choix du projet d'aménagement, effectuée par le Ministère Chargé de l'Eau.

Cette étude a montré que l'impact des changements climatiques se traduirait par une réduction des ressources en eau transférées de l'ordre de 10%. Une amélioration de la gestion de l'ensemble des ouvrages de stockage des 5 bassins pourrait atténuer cette réduction.

**Description des impacts environnementaux :** L'étude d'impact sur l'environnement pour le Projet transfert du nord, réalisée dans le cadre de la mission IV, a identifié les principaux impacts sur l'environnement. Elle s'est focalisée sur l'impact de la réalisation des conduites, galeries et canaux sur l'environnement pendant les travaux et lors de l'exploitation.

Les tracés retenus s'étant éloignés des zones habitées, l'impact sur les populations environnantes est assez faible et dilué. L'étude a également permis de faire l'inventaire des zones sensibles susceptibles de nécessiter quelques précautions particulières.

En conclusion, le projet de transfert ne soulève pas de problèmes majeurs d'un point de vue environnemental. Selon l'étude d'impact, le projet d'adduction d'eau potable à partir du barrage Al Massira ne devrait pas causer de problèmes majeurs du point de vue environnemental.

**Avantages du projet :** Les avantages du projet peuvent être résumés de la manière suivante :

Renforcement de la diversification et la sécurisation des besoins en eau potable de la ville de Marrakech

Un projet commun pour l'eau potable (ONEE) et industrielle (OCP)

#### 7.4 Projet de transfert à partir du barrage Kasba Tadla (WT1b)

Ce projet de transfert comprend les ouvrages hydrauliques suivants :

Adduction d'eau vers Marrakech à partir du barrage Kasba Tadla

Transfert du nord vers le barrage Al Massira (mêmes ouvrages que le projet du transfert d'eau du nord vers Marrakech via le barrage Al Massira) : Au lieu de transférer l'eau du nord via le barrage Al Massira vers Marrakech, l'eau sera prise au niveau du barrage Kasba Tadla qui se trouve en amont du barrage Al Massira, ce qui va résulter en une réduction en alimentation du barrage Al Massira à partir du barrage Kasba Tadla. Cette réduction au niveau du barrage Al Massira doit être compensée par le transfert du nord.

Ce transfert est constitué des ouvrages suivants :

d'une conduite d'eau à partir du barrage Kasba Tadla pour alimenter le canal GM (existant) qui sort du barrage Bin El Ouidane. Ce canal alimentera à son tour le canal T2 (existant) ;

une station de mise en pression qui refoule l'eau à partir du canal T2 (près d'El Kelaï Sraghna) via une conduite qui traverse Tessaout Aval vers le canal du Rocade.

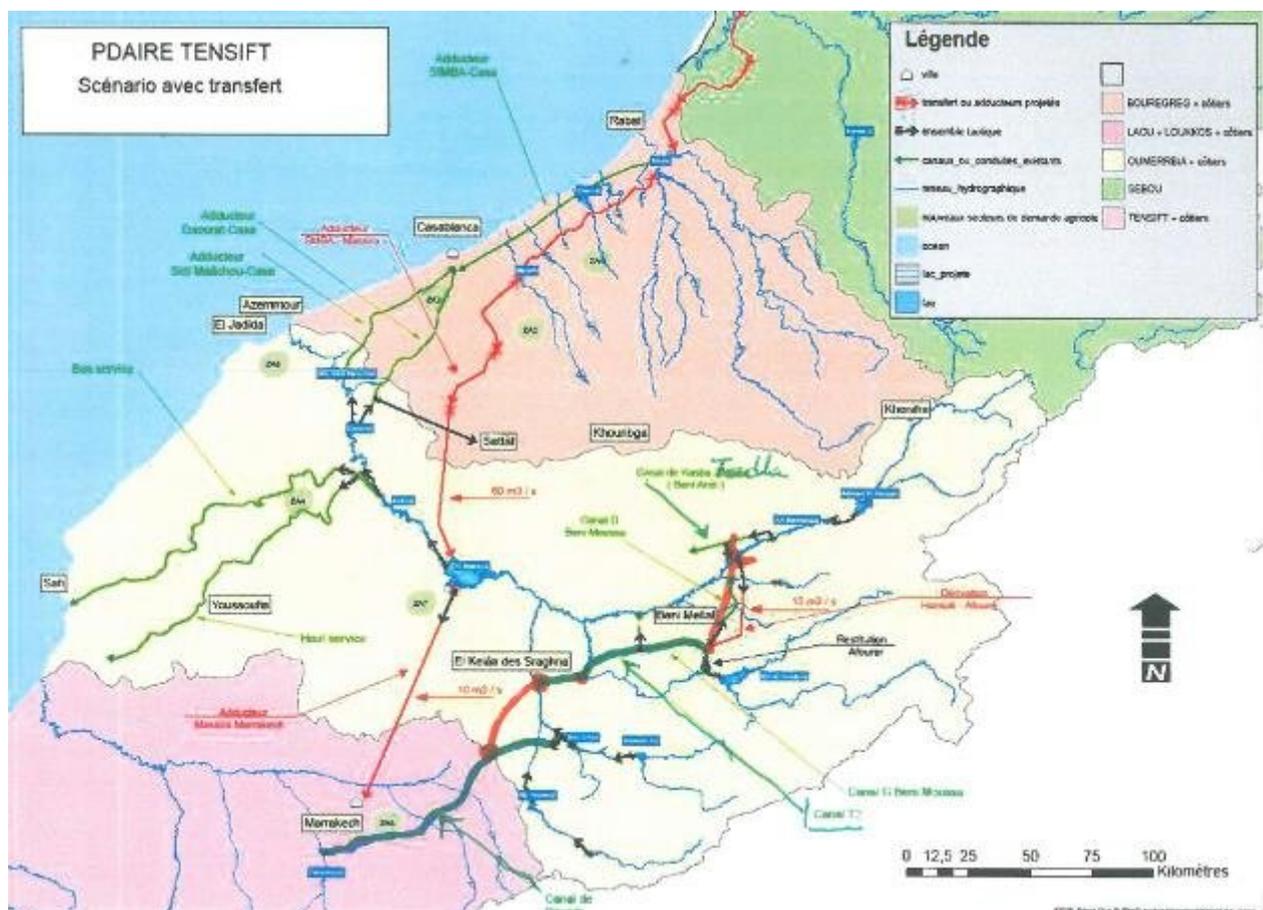


Figure XI-21: Schéma du projet de transfert interbassin d'eau à partir du barrage Kasba Tadla vers Marrakech (source: PDAIRE Tensift)

Le bilan hydrique, effectué au niveau du barrage Kasba Tadla situé dans le bassin Haut Oum Er Rbia dégage un excédent d'eau, actuellement transféré vers le barrage Al Massira. Une partie de cet excédent pourrait être transféré vers le bassin de Tensift. Cette dotation prélevée sur les eaux transférées vers le barrage Al Massira serait compensée par les eaux du Projet transfert du nord ou le dessalement de l'eau de mer. Le tableau ci-après présente le bilan hydrique au niveau du barrage Kasba Tadla. Pour l'alimentation en eau potable de la ville de Marrakech, le transfert à partir du barrage Kasba Tadla au lieu du barrage Al Massira permettrait de réduire les pertes d'eau par transport entre Kasba Tadla et Al Massira, les frais d'énergie et de valoriser les ouvrages de traitement déjà réalisés au niveau du Canal de Rcade.

Le PDAIRE du bassin de l'Oum Er Rbia prévoit la réalisation d'un canal à partir du barrage Ahmed Al Hansali pour renforcer les ressources en eau du barrage Bin El Ouidane en vue d'atténuer le déficit en eau observé au niveau des périmètres des Béni Moussa et de la Tessaout Aval. Un canal à partir du barrage Kasba Tadla pour alimenter le canal GM qui sort d'Afourer sera réalisé. Selon le PDAIRE Oum Er Rbia, le coût de ce canal, d'une débitance de 10 m<sup>3</sup>/s (>300 Mm<sup>3</sup>/an) et d'une longueur de l'ordre de 25 km est estimé à près de MAD 800 millions.

		Période humide (1941-1980)	Période sèche (1981-2008)
Ressources en eau	eau souterraine	50	50
	eau de surface	1,124	800
Besoins en eau	eau potable	99	99
	irrigation	433	300
Évaporation		50	50
Bilan hydrique (Mm <sup>3</sup> )		592	400

Tableau XI-30: Bilan hydrique du bassin Haut Oum Er Rbia au niveau du Kasba Tadla (source : PDAIRE)

**Description de la faisabilité et la vulnérabilité climatique :** L'étude de faisabilité de l'aménagement hydroagricole, rattaché au projet de transfert d'eau du Nord Vers le Sud, menée par le Ministère Chargé de l'Agriculture, étudie actuellement un schéma d'alimentation en eau des périmètres de Bouchane, de la Bahira et du Haouz Central à partir du barrage Kasba Tadla. Ce schéma est composé de :

- d'un canal à partir du barrage Kasba Tadla pour alimenter le canal GM qui sort d'Afourer ;
- un canal qui va partir en parallèle du canal T2 et sera alimenté par le Canal GM qui sort d'Afourer. Le débit de ce canal est de 25 m<sup>3</sup>/s.
- l'alimentation du Haouz va se faire par une station de mise en pression qui refoule via une conduite qui traverse Tessaout Aval vers le Canal du Rcade.

Les ressources en eau au niveau du barrage Kasba Tadla sont vulnérables à l'impact des changements climatiques. Les prévisions concernant le changement climatique pour le bassin de l'Oum Er Rbia vont dans le sens d'une réduction de 20% des apports d'eau par rapport à ceux pris en compte dans le PDAIRE. Malgré cette vulnérabilité climatique, le canal Kasba Tadla – Afourer – T2 – Canal de Rcade pourrait sécuriser l'alimentation en eau potable de la ville de Marrakech puisqu'il peut être alimenté à la fois par les grands barrages d'Ahmed Al Hansali et de Bin El Ouidane.

La réduction des ressources en eau due à l'impact des changements climatiques serait compensée par la réalisation du projet de transfert d'eau du nord vers le barrage Al Massira ou les projets de dessalement de l'eau de mer pour les villes de Safi et d'El Jadida et éventuellement Casablanca.

La réalisation de ce projet dont le coût est estimé à plus que MAD 7 milliards est liée à celle du Projet transfert du nord. Le renforcement des ressources en eau du Canal de Rcade pour améliorer la sécurisation de l'alimentation en eau potable du grand Marrakech et des provinces d'El Kelaa Sraghna

et d'Azilal, permettrait de valoriser les ouvrages de traitement réalisés au niveau du Canal de Rocate et de réduire la facture énergétique par rapport à l'adduction à partir du barrage Al Massira.

La dotation à prélever à partir du barrage Kasba Tadla rentre dans le cadre de la dotation en eau réservée à la ville de Marrakech. Une partie de cette dotation serait prélevée à partir du barrage Kasba Tadla et la partie restante à partir du barrage Al Massira.

**Description des impacts environnementaux :** Le transfert d'eau aurait les mêmes impacts sur l'environnement que le transfert du nord vers la ville de Marrakech via le barrage Al Massira. Le projet d'adduction d'eau à partir du barrage Kasba Tadla ne soulève pas de problèmes majeurs du point de vue environnemental.

**Projection des volumes :** Le volume d'eau qui sera fourni par le projet de transfert à partir du barrage Kasba Tadla est 60 millions de m<sup>3</sup>/an à partir de 2025.

### Estimation des coûts

Coût d'investissement : Le coût de ce projet se situerait à près de MAD 900 millions.

	Coût (MAD millions)	Volume supplémentaire (Mm <sup>3</sup> /an)
Conduite Kasba Tadla – Afourer	250	60
Station de pompage (HMT : 35 m)	50	
Conduite reliant T2 - Canal de Rocate	500	
Station de pompage (HMT : 180 m)	100	
<b>Total</b>	<b>900</b>	

Tableau XI-31: Coût d'investissement pour le projet de transfert à partir du barrage Kasba Tadla

Coût de renouvellement : L'investissement doit être renouvelé tous les 50 ans pour les conduites et les ouvrages de génie civil des stations de pompage (88% d'investissement totale) et tous les 20 ans pour les équipements des stations de pompage (12% d'investissement totale).

Coûts fixes d'exploitation : Les frais fixes annuels d'entretien et d'exploitation sont calculés à partir des coûts d'investissement des ouvrages par application du taux d'entretien admis pour les différents ouvrages, c'est-à-dire 3% pour les équipements (12% d'investissement totale) et 0.5% pour les conduits et génie civil (12% d'investissement totale), en moyenne 0.8%. En tenant compte de la répartition des coûts et des pourcentages des coûts fixes d'exploitation, les frais fixes annuels d'entretien et d'exploitation sont estimés à MAD 7.2 millions/an.

Coût d'opération : Les frais de pompage sont calculés sur la base du prix de 0.66 MAD/kWh, d'un rendement des pompes de 0.75, d'un volume pompé de l'ordre de 60 Mm<sup>3</sup>/an et d'une HMT de l'ordre de 215 m. En tenant compte de ces hypothèses, le coût spécifique est estimé à près de 0.52 MAD/m<sup>3</sup>

Coût de transport : Le coût de transport de l'eau au niveau du nouveau système de transport (Canal de Rocate et Canal T2) est estimé sur la base du coût de transport estimé au niveau du Canal de Rocate de 0.264 MAD/m<sup>3</sup> (source : estimation du Ministère de l'Agriculture). Sur la base de ce coût spécifique, le coût global de transport de l'eau au niveau du nouveau système de transport est estimé à MAD 31.8 millions/an (MAD 15.9 millions/an pour chaque canal).

Coût de traitement : Le coût de traitement est estimé sur la base d'un coût de 0.25 MAD/m<sup>3</sup>. Ce coût ne tient pas compte du coût du personnel et des frais généraux de la station de traitement déjà existante ayant une capacité suffisante pour traiter un volume supplémentaire de 60 Mm<sup>3</sup> par an. Le coût de traitement de la dotation en eau de 60 Mm<sup>3</sup>/an mobilisée par le transfert à partir du barrage Kasba Tadla est estimé à MAD 15 millions par an.

**Aperçu des volumes et coûts :** Le tableau ci-dessous synthétise les principales caractéristiques de projet de transfert à partir du barrage Kasba Tadla vers Marrakech ainsi que le coût du mètre cube d'eau potable.

Durée de réalisation	5 ans ; période de 2020 à 2024
Volume d'eau susceptible d'être prélevé	60 Mm <sup>3</sup> /an
Coût d'investissement	MAD 900 millions
Coût d'entretien fixe	MAD 7.9 millions/an
Frais de pompage	0.52 MAD/m <sup>3</sup>
Coût de transport	MAD 31.8 millions/an (0.53 MAD/m <sup>3</sup> )
Coût du traitement de l'eau	MAD 15 million par an (0.25 MAD/m <sup>3</sup> )
Coût par m <sup>3</sup> d'eau dégagé	2.7 MAD/m <sup>3</sup> (sans 20% pour les coûts imprévus et éventualités)

*Tableau XI-32: Estimation du coût d'eau transféré via le barrage Kasba Tadla vers Marrakech*

### **Avantage du projet**

La réalisation de ce projet de transfert à partir du barrage Kasba Tadla permettrait de :

- renforcer la diversification et la sécurisation de l'alimentation en eau potable du grand Marrakech puisque le canal envisagé peut être alimenté à partir de trois barrages : Bin El Ouidane - Ahmed Al Hansali – Kasba Tadla ;
- valoriser les ouvrages de traitement déjà réalisés au niveau du Canal de Rode ;
- réduire pratiquement de moitié les frais d'énergie ;
- réduire le déficit en eau observé au niveau du périmètre du Haouz central ;
- réduire le cout d'adaptation du réseau de distribution de la RADEMA ;
- éviter la réalisation de la 3ème phase couteuse du transfert du nord via Al Massira vers Marrakech.

**Les impacts environnementaux et sociaux :** L'équilibre entre les besoins et les ressources en eau mobilisables est établi moyennant des transferts d'eau des bassins excédentaires vers les bassins déficitaires. Ce transferts sont opérés grâce à des infrastructures (canalisations, station de traitement, stations de pompages, bassins, etc.) qui sont étalées sur un grand linéaire (centaines de km parfois) et nécessitent l'acquisition de terrains, la traversée de cours d'eau, de sites d'intérêt biologique et écologique, de forêts, pâturages etc. L'empreinte de ces projets comprend i) l'emprise des conduites qui ne se limite pas à la tranchée, mais comprend également une piste qui longe le linéaire pour les besoins de maintenance et ii) les travaux de génie civil, qui eux aussi, ne se limitent pas aux stations de pompage et de traitement mais comprennent tous les ouvrages de franchissement des vallonnements et de traversées de cours d'eau ainsi que les regards de visites.

Généralement, plusieurs tracés sont étudiés pour comparer leur faisabilité technique, financière et socio-environnementale. Ce dernier paramètre peut fortement influencer le choix de la variante à retenir et l'orienter vers celle qui présente les externalités environnementales les plus faibles.

Les transferts interbassins sont généralement considérés comme solution d'adaptation aux effets des changements climatiques sur les bassins déficitaires. Leur conception doit tenir compte de l'impact des changements climatiques sur les bassins excédentaires afin d'éviter d'y induire des déficits hydriques. Ces avantages sont contrebalancés par les effets négatifs qui sont présents pendant la durée de vie de cette option :

Option : Transferts d'eau interbassins ou dérivations interbassins			
Phase	Niveau du site	Aval hydraulique	Amont hydraulique
<i>Phase de construction</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perte de sols arables</li> <li>• Dégradation des écosystèmes</li> <li>• Pollution de l'air (poussières et gaz)</li> <li>• Sécurité des ouvriers et des riverains</li> <li>• Déplacement des populations</li> <li>• Expropriations</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pollution des eaux de surface et souterraines</li> </ul>	
<i>Phase d'exploitation</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pertes de valeurs écologiques</li> <li>• Pertes de valeurs patrimoniales</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perte ou altération du débit écologique</li> <li>• Pertes de revenus (tourisme, pêche, agriculture)</li> </ul>

## 8. Aménagement paysager urbain

**Sommaire de la situation actuelle** : Selon une diagnostique environnementale<sup>26</sup>, les espaces verts de la ville de Marrakech s'étendent sur environ 300 ha, ce qui correspond à 0.26 ha par 1'000 habitants représentant une valeur très inférieure à la norme qui est de 2 ha par 1'000 habitants. En comptabilisant les oliveraies de l'Agdal et de la Menara, ce taux remonte à 0.8 ha par 1'000 habitants. En plus, la distribution des espaces verts sur le territoire urbain est inégale. Les nouveaux quartiers et lotissements sont souvent dépourvus de parcs et jardins.



Figure XI-22 : Aspect du paysage urbain moderne de Marrakech avec un nombre considérable de fontaines (source : EBP, 2016)

Selon le tableau ci-dessous, les espaces verts se répartent sur plusieurs catégories de parcs, jardins, oliveraies et de plantations d'alignement le long des avenues et boulevards principaux. Les espaces verts contiennent plusieurs types d'implantations, comme par exemple des arbres, massifs arbustifs,

26 Diagnostic et analyse de l'état de l'environnement dans l'espace aggloméré de Marrakech, Rapport provisoire de la Mission II, Marché no. 12/2012, Resing, février 2014

massifs floraux, du gazon, des haies etc. composés de palmiers, rosiers, oliviers, bigaradiers, plantes grasses, cactus, etc.

Catégorie	Superficie (ha)	%
Parcs Publics	117	13,8
Jardins Publics	84	10,0
Petits Jardins de Quartier et Squares	9	1,0
Espaces verts d'Accompagnements	42	5,0
Jardin Agdal	344	40,8
Jardin Menara	91	10,8
Jardin Ghabet Echabab	143	17,0
Espaces verts privés	15	1,7
<b>Total</b>	<b>845</b>	<b>100</b>

Tableau XI-33 : Catégories d'espaces verts de la ville de Marrakech (source: Diagnostic et analyse de l'état de l'environnement de Marrakech)

L'arrosage des espaces verts résulte en une consommation excessive des eaux souterraines premièrement à cause des modes d'irrigation traditionnels peu économiques, des plantations inappropriées et voraces en eau (par exemple gazon), ainsi qu'une gestion déficiente de l'arrosage par les services municipaux. En outre, les espaces verts représentent un risque de contamination de la nappe par des produits phytosanitaires et fertilisants.



Figure XI-23: Aspect du paysage urbain moderne à Marrakech avec plantation d'alignement d'un boulevard avec gazon et rosiers (source: EBP, 2016)

Type de culture	Besoins de pointe saisonnière	Besoins moyens	Coefficient de pointe
Gazon pour un terrain de golf de Golf	70 m <sup>3</sup> /j/ha soit 0.81 l/s/ha	45 m <sup>3</sup> /j/ha = 4.5 mm/ha/j	1.60
Jardins et espaces verts	2 mm/j = 20 m <sup>3</sup> /j/ha = 0.23 l/s/ha	13.70 m <sup>3</sup> /ha/j = 1.37 mm/ha/j	1.46

Tableau XI-34 : Besoins en eau d'arrosage selon le type de culture (source: ABHT, Mission I, Inventaires des établissements touristiques [...], 2010)

	Superficie (ha)	Besoins Mm <sup>3</sup> /an
<b>Espaces verts gérés par la commune urbaine et les arrondissements</b>	<b>399</b>	<b>4.0</b>
<b>Domaines Royaux</b>	<b>580</b>	<b>6.00</b>
Jardins de l'Agdal	500	
Jardins de la Ménara	80	
<b>Espaces verts à l'intérieur de la ville</b>	<b>541</b>	<b>2</b>
Jardins d'hôtels	511	1.7
Jardins d'INRA	30	0.3
<b>Total</b>	<b>1 520</b>	<b>12</b>

Tableau XI-35: Estimation de la demande en eau d'arrosage pour les espaces verts de la ville de Marrakech sans tenir compte des terrains de golf et des palmeraies (source: Diagnostic et analyse de l'état de l'environnement de Marrakech)

Selon les tableaux ci-dessus, les besoins en eau d'arrosage pour les espaces verts de la ville de Marrakech sont très considérables et estimés à 12 Mm<sup>3</sup> par an sans l'irrigation de la Palmeraie. La Palmeraie s'étend sur une superficie de près de 1'000 ha. La demande en eau pour la préservation et extension des palmeraies est estimée à 1.5 à 2.9 Mm<sup>3</sup> par an.

**Description et impacts de l'option pour Marrakech :** Étant donné les forts besoins en eau d'arrosage pour les espaces verts, les solutions proposées ci-dessous peuvent contribuer à la préservation des ressources hydriques, notamment à la restitution de la nappe phréatique:

Promotion de cactus et de plantes grasses et sèches ; remplacement de plantes irriguées avec fort besoin en eau d'arrosage (p.ex. gazon) ;

Implémentation d'un programme de micro irrigation pour les espaces verts et les golfs



Figure XI-24: Plantation de cactus et de plantes grasses dans un giratoire à Marrakech (source: EBP, 2016)



Figure XI-25 : Plantation de cactus et remplacement du gazon par du gravier sur un terrain de golf à Marrakech (source: EBP, 2016)



Figure XI-26: Exemple d'un arrosage goutte-à-goutte au centre-ville de Marrakech (source: EBP, 2016)

**Description de la faisabilité et la vulnérabilité climatique :** Un projet pilote pourrait être réalisé pour tester l'efficacité du programme, affiner les coûts et arrêter les conditions de financement, d'exploitation et de gestion du projet. L'aménagement paysager urbain ne devrait pas être affecté significativement par les changements climatiques.

**Projections des volumes :** L'aménagement paysager urbain concerne les espaces verts gérés par la commune urbaine et les arrondissements. Les besoins en eau de cet espace, d'une superficie de 400 ha, sont évalués à près de 4 Mm<sup>3</sup> par an. Dans l'objectif de réduire de 50% de ces besoins en eau, un projet d'aménagement paysager urbain pourrait être adopté. Ce projet serait constitué de :

- 50% de la superficie serait aménagée avec des plantes irriguées ;
- 40% de la superficie serait aménagement avec du pavé autobloquant
- 10% de la superficie serait aménagée avec des plantes sèches ;

Le volume susceptible d'être dégagé se situerait à 2 Mm<sup>3</sup> par an.

Mm <sup>3</sup> /an	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Volume produit	0.2	0.5	1.3	2	2	2	2

Tableau XI-36: Estimation de l'évolution du volume d'eau dégagé par l'aménagement paysager urbain (source : estimation du consultant)

### Estimations des coûts

Coûts d'investissement : Le coût de cet aménagement est estimé à près de MAD 250 millions :

MAD 10 millions pour la superficie aménagée avec les plantes sèches ;

MAD 240 millions pour la superficie aménagée en pavé autobloquant (150 MAD/m<sup>2</sup>).

Coûts fixes d'exploitation : L'aménagement paysage urbain ne se traduirait pas par une augmentation des coûts fixes d'exploitation actuels des espaces verts urbains.

Coût d'opération : L'aménagement paysage urbain ne se traduirait pas par une augmentation des coûts d'opération actuels des espaces verts urbains.

**Aperçu des volumes et coûts** : Le tableau ci-dessous synthétise les principales caractéristiques de l'aménagement paysager urbain ainsi que le coût du mètre cube d'eau potable économisé.

Date de mise en service	à court terme
Volume d'eau dégagé	2 Mm <sup>3</sup> /an
Coût d'investissement	MAD 250 millions (renouvellement en 40 ans)
Coût par m <sup>3</sup> d'eau dégagé	14.0 MAD/m <sup>3</sup> (sans 20% pour les coûts imprévus et les éventualités)

Tableau XI-37: Estimation du coût du m<sup>3</sup> d'eau dégagé par l'aménagement paysager urbain (source : estimations du consultant)

## 9 Gestion de la demande (GD)

### 9.1 Gestion de la demande interne des foyers

**Sommaire de la situation actuelle** : Malgré les efforts importants déployés sur le plan technique, institutionnel, tarifaire, sensibilisation du public, des quantités d'eau mesurées et facturées par le distributeur sont gaspillées par le consommateur. L'origine du gaspillage de l'eau chez le consommateur peut être soit un usage anormal chez des utilisateurs mal informés du coût de la production qui se traduit généralement par des pratiques abusives, soit des pertes dans les installations intérieures mal entretenues ou mal conçues. Trois études ont été réalisées au Maroc (1990, 1996 et 2000) avec le soutien respectivement de de l'OMS, de l'AFD et de l'institut Méditerranéen de l'Eau, d'après lesquelles 15 à 20 % de l'eau est perdue ou gaspillée à l'intérieure des foyers (après le compteur d'eau).

**Description et impacts de l'option pour Marrakech** : Compte tenu de la rareté de l'eau et l'importance du coût de l'eau dans la région de Marrakech, la gestion de la demande en eau interne des foyers doit être renforcée. En vue d'éviter ou au moins diminuer les pertes, des mesures techniques et institutionnelles suivantes doivent être mise en place. Un programme de gestion de la demande de l'eau interne des foyers doit être mis en place dans l'objectif de réduire les pertes de plus de 50%. Ce programme qui doit être basé sur un plan d'action comprendra :

Renforcement de l'organisation de campagnes de sensibilisation des utilisateurs d'eau potables dans l'objectif d'un développement davantage d'une prise de conscience générale de la rareté de l'eau, de l'importance du coût de développement de l'eau et de la nécessité

d'économiser l'eau. La sensibilisation joue un rôle très important dans la limitation du gaspillage. En effet et d'après une étude par enquête effectuée par l'ONEE, les abonnés ayant apprécié les spots publicitaires consomment moins que les autres. En plus, l'impact de la sensibilisation des jeunes influe considérablement sur la consommation des ménages. Les enfants et les jeunes sont la cible privilégiée à toucher au niveau des écoles, colonies de vacances, foyers féminins, maisons des jeunes, salons et foires moyennant des exposés, des expositions, l'organisation des concours et la distribution des documents adaptés selon les différentes tranches d'âge.

Tarifification adaptée pour dissuader les gaspilleurs (facturation en fonction de la consommation réelle, mais avec une tarification par tranche de consommation)

Renforcement de mesures d'ordre techniques: la mise en place des politiques d'économie d'eau en dehors des aspects comportementaux fait appel à des moyens techniques. Trois types de mesures d'ordre technique sont proposés :

- Développement d'un projet pilote relatif à l'installation de matériels économiseurs (aérateurs, robinets boutons poussoirs, robinets temporisés, douchettes économiques et les «stop douche», systèmes de chasse toilette, lave-linge et lave-vaisselle économiques, etc.)
- Développement d'un projet pilote relative à la maintenance préventive et curative. La maintenance préventive permet d'assurer une plus grande pérennité des installations, d'améliorer le confort des utilisateurs et de réduire la fréquence des dégâts des eaux. Cette maintenance consiste à faire effectuer une fois par an une visite d'entretien des matériels de logement par un technicien qualifié.
- Renforcement du programme de comptage individuel qui constitue un moyen très efficace pour lutter contre le gaspillage, en responsabilisant les occupants de chaque logement;
- Suivi de la consommation chez les abonnés est un moyen de détection des surconsommations accidentelles et des anomalies relatives au fonctionnement du compteur (mauvais fonctionnement ou blocage par exemple).

## 9.2 Gestion de la demande externe des foyers

**Sommaire de la situation actuelle :** Malgré les efforts importants déployés sur le plan technique, le rendement global du réseau d'eau potable de la ville de Marrakech se situerait actuellement à près de 75 % seulement. Des quantités d'eau, de l'ordre de 25% de la quantité d'eau distribuée, sont donc perdues au niveau du réseau de distribution. En vue de réduire ces pertes d'eau, des mesures d'ordre technique et incitatives sont engagées. L'ONEE et la RADEEMA engagent des programmes d'amélioration des rendements techniques des réseaux de distribution:

L'ONEE engage des programmes d'amélioration des rendements pour atteindre des rendements de 80% en 2020 ;

La RADEEMA engage annuellement un programme d'amélioration du rendement technique du réseau de distribution d'eau potable. Actuellement le rendement du réseau est de l'ordre de 75%. L'objectif de la RADEEMA est d'atteindre un taux de rendement de 77% en 2019. Le budget consacré à cet objectif est de MAD 100 millions ;

Le taux du renouvellement de la canalisation d'eau potable (2 400 km en totale) est de 1.5% par an, correspondant à MAD 15 à 20 millions par an ;

Un programme de détection de fuites est en cours ;

La sectorisation du réseau est en cours et prévoit 2 zones de pression ;

La RADEEMA engage des actions d'amélioration et d'optimisation de son système d'information.

En outre, l'Agence de bassin hydraulique de l'eau de Tensift a mise en place des mesures incitatives concernant la redevance pour prélèvement d'eau dans l'objectif d'inciter à l'économie d'eau et à réduire les gaspillages.

**Description et impacts de l'option pour Marrakech :** Les mesures engagées visent à porter le rendement global au niveau de la zone de la RADEEMA à 78% en 2030. Compte tenu des problèmes de l'eau, liés à la rareté de l'eau et de l'importance du coût de l'eau, l'objectif de 78% doit être porté à plus de 85%, lequel pourraient traduire par une récupération d'un volume d'eau de 15 Mm<sup>3</sup> par an (voir NR1)

### **9.3 Gestion de la demande touristique/commerciale/industrielle**

**Sommaire de la situation actuelle :** La demande en eau touristique et industrielle de la ville de Marrakech se situerait en 2030 à près de 8 Mm<sup>3</sup> dont près de 4.6 Mm<sup>3</sup> pour le secteur touristique et 3.4 Mm<sup>3</sup> pour le secteur industriel.

Les émissions liquides industrielles constituent des contraintes majeures au bon fonctionnement de la station de traitement des eaux usées.

La mise en place d'un programme de la gestion de la demande en eau se traduirait par une réduction de la demande en eau et une réduction des rejets liquides.

Dans l'objectif de réduire la demande en eau du secteur industriel et lutter contre la pollution, générée par ce secteur, les pouvoirs publics ont développé des outils économiques et financiers (Fonds Nationale de l'Environnement (FODEP) et le Mécanisme de Développement Durable) pour assurer le respect de l'environnement, mettre à niveau les industries et réduire les émissions gazeuses, solides et liquides.

Plusieurs projets de dépollution industrielle ont été développés avec l'appui du FODEP dans la région de Marrakech.

**Description et impacts de l'option pour Marrakech :** Compte tenu de la rareté de l'eau, de l'importance du coût de l'eau dans la région de Marrakech et du programme de la réutilisation des eaux usées et épurées de la ville de Marrakech, un programme de gestion de la demande en eau dans les secteurs touristiques, industriels et commerciaux est nécessaire. Ce programme qui doit être basé sur un plan d'action spécifique comprendra :

#### **Secteur industriel :**

Organisation de campagnes de sensibilisation des responsables des industries dans l'objectif d'un développement d'une prise de conscience générale de la rareté de l'eau, de l'importance du coût de développement de l'eau dans la zone de Marrakech et de la nécessité d'économiser et de dépolluer l'eau ;

Promulgation des textes réglementaires relatifs aux normes de rejets ;

Application des redevances de prélèvement et de déversement ;

Réalisation d'un programme de dépollution avec un rythme soutenu et l'appui Mécanisme de Développement Durable et du Fonds National de l'Environnement ;

Renforcement de la police de l'eau.

#### **Secteur touristique :**

Organisation de campagnes de sensibilisation des responsables des projets touristiques dans l'objectif d'un développement d'une prise de conscience générale de la rareté de l'eau, de l'importance du coût de développement de l'eau dans la zone de Marrakech, de la nécessité d'économiser l'eau et de l'obligation à respecter les normes ;

Mise en place de mesures d'ordre techniques: trois types de mesures d'ordre technique sont identifiés:

- Développement d'un projet pilote relatif à l'installation de matériels économiseurs (aérateurs, robinets boutons poussoirs, robinets temporisés, douchettes économiques et les «stop douche», systèmes de chasse toilette, lave-linge et lave-vaisselle économiques, etc.)
- Suivi de la consommation au niveau des établissements hôteliers est un moyen de détection des surconsommations accidentelles et des anomalies relatives au bon fonctionnement du compteur;
- Développement d'un projet pilote pour l'utilisation des eaux grises y inclus le développement de la réglementation relative à l'utilisation des eaux grises.

## ANNEXE XII - Analyse financière et multi-critères des options

Les options de diversification pour remédier à la pénurie de l'eau à Marrakech sont évaluées à l'aide d'une analyse financière et économique. A l'aide de l'analyse financière le prix de revient de l'eau en Dirhams par mètre cube (MAD/m<sup>3</sup>) est calculé pour toutes les options. Ce coût spécifique entre comme critère « Coût-efficacité » dans l'analyse économique, qui prend en compte d'autres critères comme la durabilité, le volume d'eau dégagé et les risques des différentes options.

### 1. Financial analysis

**Méthodologie :** L'analyse financière est basée sur une estimation grossière des coûts d'investissement et d'opération ainsi que des volumes d'eau dégagés jusqu'à 2050 pour les différentes options. L'estimation des coûts et la projection des volumes d'eau a été faite sur la base des études réalisées par les administrations et organismes chargés de la gestion de l'eau, à partir des informations de projets similaires de la région ou des chiffres comparatives. Les estimations sont basées sur des volumes annuels moyens et des capacités moyennes des infrastructures. Le degré de précision des coûts et des volumes est donc limité et les estimations des coûts, comme résumé en dans l'annexe XI, ne comprennent pas de provisions pour imprévus. C'est pourquoi nous avons choisi d'ajouter dans ce chapitre 20% aux estimations des coûts pour couvrir les coûts imprévus et les éventualités, afin de s'assurer que nos estimations des coûts sont réalistes.

L'analyse financière a été réalisée à l'aide d'une analyse de la Valeur actuelle nette (VAN). La VAN et le prix de revient ont été déterminés pour les différentes options sur la base des projections à long terme (jusqu'à 2050) des coûts et volumes moyens. Un taux d'actualisation de 5% a été choisi, ce qui correspond à un taux de croissance économique moyen de 2.5% par an. Pour des options dégageant de l'eau potable ainsi que de l'eau d'irrigation, seulement les coûts attribuables à l'eau potable ont été être pris en compte.

Uniquement les coûts d'investissement et d'opération directement liées aux options ont été pris en compte. Les coûts des infrastructures existantes utilisées pour le captage, le transfert et le traitement de l'eau mobilisée par une option ne sont donc pas considérés. Par exemple, les coûts d'investissement du Canal de Rcade existant qui sera utilisé pour le transfert de l'eau vers Marrakech ne sont pas pris en compte dans diverses options.

**Résultats de l'analyse financière :** Les résultats de l'analyse financière sont résumés dans les tableaux suivants, selon les codages des couleurs ci-après :

SW4	SW4: Construction d'un nouveau barrage pour stocker l'eau de surface
SW5	SW5: Augmentation de la capacité du barrage existant
GW3	GW3: Recharge de l'aquifère (infiltration d'eaux usées traitées)
WT1b	WT1b : Transferts interbassins: transfert du nord via Kasba Tadla
WT1a	WT1a: Transferts interbassins: transfert du nord d'Al Massira à Marrakech
RW1	RW1: Collecte des eaux pluviales à petite échelle / au niveau rurale
RW3	RW3: Collecte des eaux de pluie, stockage et réutilisation au niveau de la ville
WW1	WW1: Réutilisation des eaux usées traitées pour usage non-potable
WW3	WW3: Réutilisation des eaux grises dans les hôtels
DS1	DS1: Dessalement d'eau de mer par osmose inverse
NR1	NR1: Réhabilitation du réseau d'eau et détection des fuites et mesures appropriées
DM4	DM4: Aménagement paysager urbain

Options	Code	Prix de revient (MAD/m <sup>3</sup> )	Prix +20% (MAD/m <sup>3</sup> )	Volumes annuels (Mm <sup>3</sup> /an)
Construction de nouveaux barrages pour stocker de l'eau de surface	SW4	2.3	2.8	30
Augmentation de la capacité de stockage des barrages existants	SW5	1.7	2.0	27
Recharge des nappes phréatiques par infiltration	GW3	0.6	0.7	50
Transferts d'eau interbassin: Phases II et III de l'adduction de l'eau du barrage Al Massira vers Marrakech (sans les coûts du transfert du nord estimés à 7.4 MAD/m <sup>3</sup> )	WT1a	3.9	4.7	108
Transferts d'eau interbassin: Adduction de l'eau via le barrage Kasba Tadla vers Marrakech (sans les coûts du transfert du nord estimés à 7.4 MAD/m <sup>3</sup> )	WT1b	2.7	3.2	60
Collecte des eaux pluviales à petite-échelle / au niveau rural	RW1	4.4	5.3	3
Collecte des eaux de pluies, stockage et réutilisation en ville	RW3	44.4	53.3	0.2
Réutilisation des eaux usées traitées pour usage non-potable	WW1	5.4	6.5	30
Réutilisation des eaux grises dans les hôtels	WW3	26.1	31.3	1.7
Dessalement de l'eau de mer par osmose inverse et transfert d'un volume équivalent du barrage Kasba Tadla vers Marrakech	DS1	7.5	9.0	75
Réhabilitation du réseau, détection des fuites et mesures d'accompagnement	NR1	3.0	3.6	15
Aménagement paysager urbain (« land scaping »)	DM4	14.0	16.7	2

Tableau XII-1: Résumé des coûts spécifiques et volumes d'eau pour les différentes options (2050) (couleur bleu : solutions conventionnelles ; vert : solutions non-conventionnel ; marron : gestion de la demande)

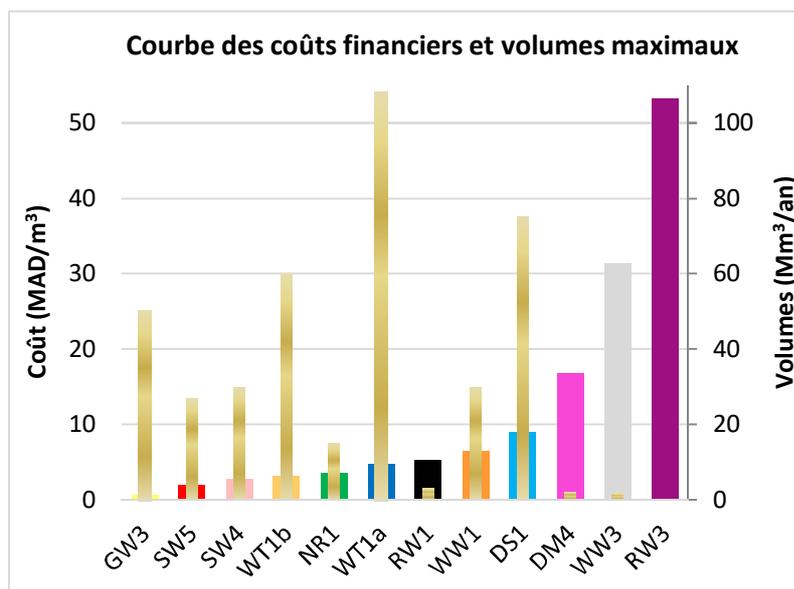


Figure XII-1: Courbe des coûts financiers (barres larges) et volumes maximaux (barres étroits)

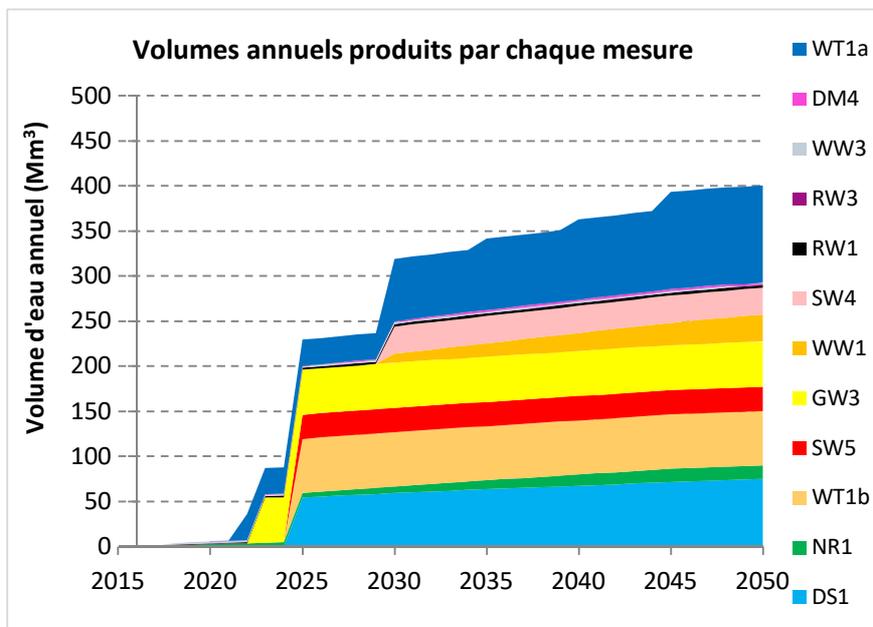


Figure XII-2: Volumes annuels d'eau produits par diverses options pour la fourniture d'eau à Marrakech

**Discussion des coûts-efficacités des options :** En vue d'évaluer les différentes options envisagées, une comparaison des coûts spécifiques a été effectuée. Selon le tableau ci-dessus il apparaît que:

Du point de vue financier, la recharge de la nappe à l'aide des seuils d'infiltration dans les oueds en amont de Marrakech (GW3) représente l'option la plus avantageuse avec des coûts unitaires très avantageux. L'estimation des coûts et la projection des volumes d'eau sont considérées fiables car elle sont basées sur le PDAIRE et des projets (pilotes) déjà réalisés. Par contre et étant donné que les nappes sont largement surexploitées par de multiples acteurs, l'accès à l'eau infiltrée ou sont utilisation comme eau d'irrigation représentent un défi considérable.

Les options relatives à la construction du barrage Ait Ziat (SW4) et à la surélévation du barrage Sidi Driss (SW5) paraissent intéressantes sur le plan coût ainsi qu'au niveau des volumes d'eau potable dégagés. Ces options mériteraient donc d'être examinées de plus près.

Les options de transfert d'eau ou bien l'adduction de l'eau transférée du nord au complexe Al Massira / Kasba Tadla et de là vers Marrakech semblent relativement avantageux. Le transfert du nord via le barrage Al-Massira (WT1a) semble plus coûteux que le transfert via le barrage Kasba Tadla (WT1b), car ce dernier peut valoriser des infrastructures de transport et de traitement existants (Canal de Rcade). Si on inclut les coûts spécifiques d'environ 7.4 MAD/m<sup>3</sup> pour le transfert du nord vers Al Massira, les options de transfert WT1a et WT1b avec 12.1 MAD/m<sup>3</sup> et 10.6 MAD/m<sup>3</sup> respectivement, coûtent par contre relativement chers. En effet, le dessalement de l'eau de mer y inclus un transfert d'un volume équivalent de 75 Mm<sup>3</sup>/an de Kasba Tadla vers Marrakech (DS1) ne coûterait que 9.0 MAD/m<sup>3</sup>.

Les options qui visent la récupération des eaux pluviales et des eaux grises sont parmi les options les plus couteuses. Dans ces cas, les prix de revient élevés sont due à des coûts relativement importants (RW3) et / ou des volumes d'eau dégagés relativement faible (RW3, WW3). La collecte des eaux pluviales à petite-échelle (RW1) peut résulter en des coûts intéressants, si elle est réalisée au niveau rural à l'aide de lacs collinaires.

La réutilisation des eaux usées épurées (WW1) est de nature à apporter des volumes d'eau importants à des coûts modérés, car les coûts du traitement primaire et secondaire ne doivent pas être pris en comptes ; ces traitements sont obligatoires par la loi, avec ou sans réutilisation des eaux usées.

Avec des coûts relativement bas, la réduction des pertes du système de distribution de l'eau potable (NR1) représente certainement une des options intéressantes. L'apport de cette option

est par contre plutôt restreint compte tenu des efforts déjà accomplis et envisagés par la RADEEMA et l'ONEE en matière de gestion des réseaux et en considérant le défi pour augmenter le rendement vers 90%.

## 8.2 Analyse économique

Pour cette étude une analyse complète des coûts et avantages n'est pas considérée comme appropriée pour ce genre d'étude, principalement parce que il serait coûteux et complexe de monétariser tous les coûts (incluant les coûts environnementaux et sociaux) et les avantages économiques et puisque les nombreuses données nécessaires pour cela ne sont pas ou seulement partiellement disponibles. Au lieu d'une telle analyse, les différentes options ont été évaluées à l'aide d'une analyse multicritère utilisant un ensemble de critères d'évaluation pondérée qui figurent dans le tableau ci-dessous. Les

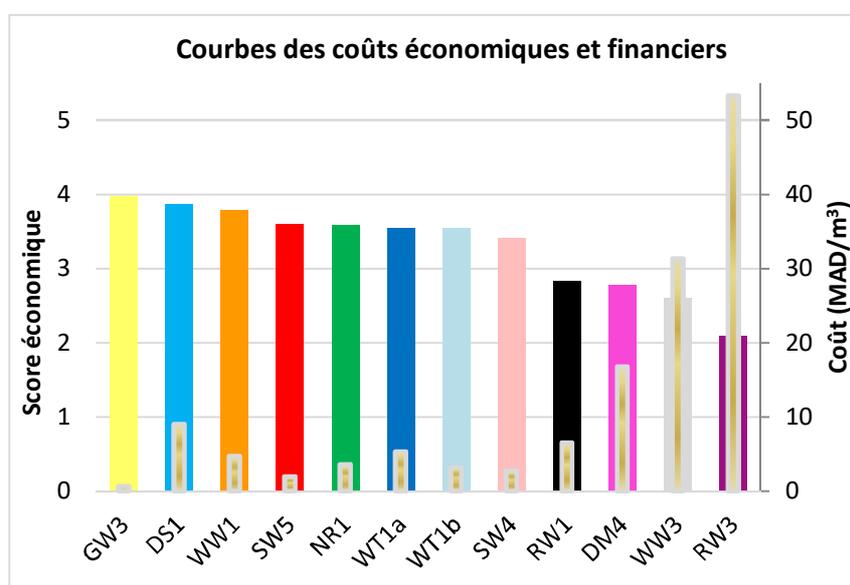


Figure XII-3: Courbe des coûts économiques (barres larges) et financiers (barres étroites)

Mesures conventionnelles	score $\geq 4$		$3 \leq \text{score} < 4$		score $\leq 3$		Score total
Mesures non-conventionnelles	Critères	Durabilité	Demande	Qualité	Economie	Gestion	
Gestion de la demande	Poids	30%	20%	10%	20%	20%	100%
Recharge des nappes phréatiques par infiltration	GW3	3.4	4.0	5.0	5.0	3.4	4.0
Dessalement de l'eau de mer par osmose inverse	DS1	3.1	5.0	4.0	4.0	3.7	3.9
Réutilisation des eaux usées traitées pour usage non-potable	WW1	3.9	4.0	3.0	4.0	3.7	3.8
Augmentation de capacité de barrages: barrage Sidi Driss	SW5	2.7	4.0	4.0	5.0	3.0	3.6
Réhabilitation du réseau et mesures d'accompagnement	NR1	3.0	2.0	5.0	4.0	5.0	3.6
Transferts inter-bassins: Adduction de Al Massira à Marrakech	WT1a	3.0	5.0	4.0	4.0	2.3	3.5
Transferts inter-bassins: Adduction de Kasba Tadla à Marrakech	WT1b	3.0	5.0	4.0	4.0	2.3	3.5
Construction de nouveaux barrages: barrage Ait Ziat	SW4	3.0	4.0	4.0	4.0	2.7	3.4
Collecte des eaux pluviales à petite-échelle/ au niveau rurale	RW1	2.2	2.0	3.0	4.0	3.4	2.8
Aménagement paysager urbain	DM4	2.5	1.0	3.0	3.0	4.7	2.8
Réutilisation des eaux grises dans les hôtels	WW3	3.3	2.0	3.0	2.0	2.7	2.6
Collecte eaux de pluies et réutilisation au niveau de la ville	RW3	1.8	1.0	3.0	2.0	3.4	2.1

Tableau XII-2: Résumé de l'analyse économique des options

**Évaluation et priorisation des options :** L'évaluation et la priorisation des options à l'aide de l'analyse financière et économique représentent un défi considérable. En effet, le score global ne varie souvent pas beaucoup entre les différentes options. Les trois options qui obtiennent les meilleurs résultats dans l'analyse économique sont les suivantes :

- Recharge des nappes phréatiques par infiltration (GW3, score 4.0)
- Dessalement de l'eau de mer par osmose inverse (DS1, score 3.9)
- Réutilisation des eaux usées traitées pour usage non-potable (WW1, score 3.8)



La réutilisation des eaux usées et épurées (WW1) est de nature à apporter des volumes d'eau relativement importants avec des coûts relativement modérés. Cette option devrait être intégrée en tant que ressource locale qui n'est pas vulnérable au changement climatique dans l'approvisionnement en eau de la région de Marrakech en vue de renforcer les ressources en eau du Canal de Rocade et réduire les achats en eau potable de la ville de Marrakech.

De fournir aux villes côtières de l'eau dessalée et de ainsi libérer de l'eau au niveau du complexe Al Massira pour la ville de Marrakech représente une option prometteuse, aussi car elle permet de réduire considérablement les pertes de transport, d'autant plus qu'il s'agit d'une option qui n'est pas vulnérable au changement climatique. Cette option devrait donc être approfondie, y compris son coût, en tenant compte également des expériences internationales et du potentiel de couvrir la forte consommation d'électricité avec de l'énergie renouvelable (p.ex. énergie éolienne ou solaire). Dans ce cadre, les dispositions institutionnelles requises pour ces échanges d'eau et les dispositions financières nécessaires devraient également être élaborées.

Les options de transfert d'eau ou bien l'adduction de l'eau transférée du nord au complexe Al Massira et de là vers Marrakech obtiennent un score économique de 3.5 points, car les coûts du transfert du nord vers le barrage Al-Massira ne sont pas pris en compte (voir discussion des coûts-efficacités des options ci-dessus). Globalement, les options de transfert sont donc moins favorables que le dessalement, pas seulement à cause de leurs coûts élevés, mais aussi à cause de leurs risques environnementaux et leur vulnérabilité au changement climatique.

Les options avec la collecte des eaux pluviales (RW1 et RW2), la réutilisation des eaux grises des hôtels (WW3) ainsi que l'aménagement du paysage urbain (DM1) obtiennent des scores relativement bas. Ces options produisent un volume d'eau relativement faible à haut coût.

La priorisation des options ne dépend pas uniquement des résultats de l'analyse financière et économique. Elle va dépendre aussi du volume d'eau cumulé à dégager par les options – suivant les besoins attendus - et du moment à partir duquel ces volumes et les différentes ressources hydriques vont être disponibles. Dans ce contexte, la réhabilitation du réseau de distribution de la RADEEMA (NR1) devrait être réalisée le plus vite possible, car elle peut dégager des volumes considérables en eau potable en peu de temps. La même chose est vraie pour la recharge des nappes phréatiques par infiltration (GW3) à l'aide de seuils de rétention qui peuvent être construites relativement rapidement.

### **Description des principaux défis avec la mise en œuvre des options**

Généralement il faut dire, que la mise en œuvre des options techniques doit être accompagnée par des mesures institutionnelles. En plus, cette étude ne représente pas une base assez détaillée et solide pour la réalisation des options. Dans une prochaine étape, les aspects techniques, économiques, institutionnels, environnementaux et sociaux des options et des combinaisons d'options doivent être étudiés plus en détail lors des études de faisabilité, tenant compte aussi de défis dans un cadre plus élargi. Pour cela, il faudrait notamment approfondir les deux aspects suivants :

**Adaptabilité** : Le cadre des conditions pour l'approvisionnement en eau potable pour Marrakech peuvent se développer dans un sens pas ou que partiellement prévu (p.ex. variations non-prévues du changement climatique, de la migration, de l'économie, etc.). Les options modulaires et/ou avec une durée de service limitée et/ou avec des caractéristiques adaptables ont un avantage de ce point de vue.

**Concurrence**: Les options divers pour l'approvisionnement en eau utilisent certains ressources en eau et nécessitent de l'espace. Souvent, ces mêmes ressources sont utilisées par d'autres usagers (p.ex. autres villes, agriculture, industrie). Ces usages concurrents varient dans leur degré de complexité (p.ex. au niveau du nombre et de l'organisation des usagers). Les options qui utilisent surtout des ressources non-contestées par d'autres usages ont un avantage de ce point de vue.

La figure ci-dessous illustre une première appréciation des défis pour les options provenant de ce cadre plus élargi. Quelques éléments d'explication de cette appréciation pour les options individuelles sont donnés dans ce qui suit.

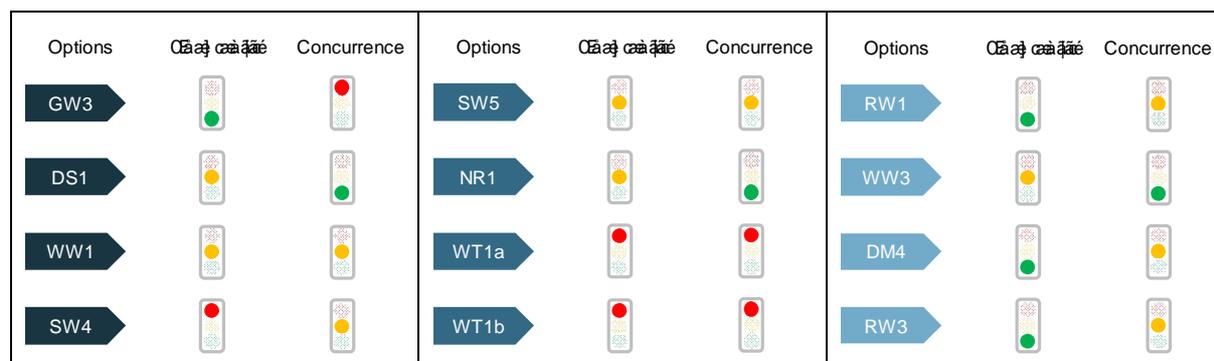


Figure XII-4 : Appréciation des défis pour les options provenant du cadre élargi. Sens des feux : rouge = grands défis, jaune = moyens défis, vert = peu de défis

**Construction de nouveaux barrages pour stocker de l'eau de surface (SW4) :** Le coût du projet représente un défi et la construction du barrage Ait Ziat est un choix stratégique et financier important pour l'agence du bassin hydraulique d'Oum Er Rbia, sachant qu'à l'horizon 2030, environ 30% de la capacité de ce barrage sera destinée à l'alimentation en eau potable de la ville de Marrakech. L'impact environnemental et socio-économique de ce projet est important et coûteux, en particulier la perte de centaines d'hectares de terres agricoles en amont du barrage ainsi que les pertes de revenus et d'emploi dans une région où l'indice de pauvreté est déjà important. Du point de vue technique, le risque d'envasement du barrage doit être considéré.

**Augmentation de la capacité de stockage des barrages existants (SW5) :** La surélévation du barrage Sidi Driss ne présente pas de défis majeurs. Par contre, les ressources au niveau de ce barrage sont vulnérables à l'impact du changement climatique qui se traduirait par une réduction du volume régularisé estimée à près de 10% par rapport au PDAIRE. Malgré cette vulnérabilité climatique, le barrage Sidi Driss qui sera géré d'une manière intégrée avec le complexe Hassan 1<sup>er</sup>, le barrage Ait Ziat et le barrage Al Massira pourrait jouer un rôle fondamental dans l'alimentation en eau potable de la ville de Marrakech. Du point de vue technique, le risque d'envasement du barrage doit être considéré.

**Recharge des nappes phréatiques par infiltration (GW3) :** La faisabilité de cette option présente un défi technique due aux risques d'érosion, de colmatage et de la vulnérabilité aux changements climatiques. En effet, les apports en eau de surface des différents oueds où les seuils d'infiltrations vont être réalisés peuvent subir une réduction du débit et du volume d'eau infiltrée dans la nappe estimée à près de 20%. L'option représente également un défi au niveau de la concurrence des utilisations de la nappe. En effet, la recharge de la nappe pourrait promouvoir un retour à l'irrigation des espaces verts à partir de la nappe ou une exploitation excessive par les agriculteurs dans la région.

**Transferts d'eau interbassins ou dérivations transbassins (WT1) :** Le défi que représente l'impact du changement climatique sur la disponibilité de l'eau n'est pas négligeable pour le transfert de l'eau du nord via le barrage Al Massira ou Kasba Tadla vers Marrakech. Il suffit qu'un bassin de 'la chaîne' du transfert souffre d'une succession d'années sèches pour que le système soit perturbé. Cependant, la dotation prévue à l'AEP ne représentant que 3% de la ressource totale. Cette option renforcerait donc la résilience de l'alimentation en eau potable de Marrakech au changement climatique, ce qui n'est pas le cas pour la dotation en eau d'irrigation.

Les coûts d'investissement et énergétique élevés du transfert vers Marrakech nécessitent une stratégie de financement à long-terme et une répartition des coûts d'investissement et d'exploitation entre les différents acteurs institutionnels (ABHT, ABHOER, ONEE, MDCE), bailleurs de fonds

internationaux, et privés (OCP, concessionnaires). Des problèmes de financement pourraient entraîner des retards considérables avec la réalisation du transfert du nord.

La concurrence des allocations due à la rareté des ressources en eau et au développement économique (irrigation et AEPI des pôles urbains) constitue un défi technique et politique important. De telles situations doivent être réglées par le ministère de tutelle en concertation avec les conseils des régions qui ont la compétence pour la promotion du développement économique.

**Collecte des eaux pluviales (RW1 et RW3) :** Basé sur la nouvelle loi de l'eau qui renforce de manière générale le cadre juridique relatif à la valorisation de l'eau de pluie, la collecte et réutilisation des eaux pluviales requiert préalablement la mise en place et en vigueur d'un dispositif réglementaire spécifique. En plus, des campagnes de sensibilisation aussi bien de la population, des promoteurs immobiliers que des autorités en charge sont nécessaires. Ces campagnes doivent porter sur la qualité de l'eau pluviale ainsi que sur la mise en œuvre des dispositifs de collecte et l'usage de ces eaux et aider à promouvoir l'acceptabilité de cette solution dans la société civile.

**Réutilisation des eaux usées traitées pour usage non-potable (WW1) :** Sur le plan juridique, on note l'absence de texte réglementaire fixant les modalités d'octroi des aides financières pour la réutilisation des eaux usées épurées.

Le poids financier de l'extension de la STEP existante nécessite une stratégie de financement possiblement avec un partenariat PPP ou bien un financement partagé parmi des investisseurs publics et privés. Les contrats existants entre la RADEEMA et les exploitants des golfs ne connaissent pas encore un succès assuré et doivent être améliorés afin de généraliser l'utilisation de l'eau usée traitée pour l'irrigation des golfs et des espaces verts.

La STEP, après son extension, pourra fournir une quantité de 60 Mm<sup>3</sup>/an dont environ 35 Mm<sup>3</sup>/an sera nécessaire et suffisante pour l'irrigation des golfs et espaces verts de Marrakech. Ce volume diminuera la pression sur la nappe et pourra libérer une dotation en eau potable équivalente à partir du Canal de Rocate. Cependant, pour pouvoir libérer plus d'eau potable et rendre effectif les échanges d'eau, un partenariat entre l'ONEE, l'ORMVAH, l'ABHT et la RADEEMA devrait être institué.

**Réutilisation des eaux grises dans les hôtels (WW3) :** La nouvelle loi de l'eau renforce le cadre juridique relatif à la valorisation des eaux usées et règle leurs réutilisations pour l'irrigation. Cependant, l'adaptation du cadre institutionnel et réglementaire ainsi que la provision de standards pour la réutilisation interne des eaux grises manquent encore.

Sur le plan technique, il faut accompagner les gestionnaires des hôtels dans la mise en place des installations nécessaires à la réutilisation des eaux grises, et mettre en place des mesures incitatives en partenariat avec l'AUM, le ministère du tourisme et la commune de Marrakech. La réutilisation des eaux grises nécessite des installations sanitaires séparées pour les eaux usées des toilettes et les eaux grises. Pour cela, l'option est faisable plus facilement dans des hôtels neufs équipés dès le début avec les installations sanitaires requises.

**Dessalement de l'eau de mer par osmose inverse (DS1) :** La nouvelle loi de l'eau a mis en place le cadre juridique relatif au dessalement de l'eau de mer. Cependant, le cadre réglementaire relatif aux contrats de concession avec l'exploitant des stations de dessalement n'est pas encore suffisamment établi. Cette option est dépendante de l'efficacité de l'alimentation des villes d'El Jadida et Safi à partir de deux stations de dessalement. Sur le plan institutionnel, l'implication des conseils des deux régions Casablanca - Settat et Marrakech - Safi est nécessaire pour définir les dispositions institutionnelles permettant cet échange d'eau, les conditions de financement, de réalisation et d'exploitation.

Les coûts d'opération et de maintien des installations de dessalement sont considérables, notamment les frais d'électricité. Dans ce contexte, la faisabilité d'une opération des usines de dessalement avec de l'énergie renouvelable (p.ex. de l'énergie éolien et solaire) doit être étudiée.

**Réhabilitation du réseau, détection des fuites et mesures d'accompagnement (NR1) :** En réduisant le volume d'eau achetée de l'ONEE, l'amélioration du rendement du réseau de distribution d'eau contribuera au redressement de l'équilibre financier de la RADEEMA. Cependant, les investissements importants pour l'amélioration des services (extension de la STEP et des réseaux) ainsi que les contraintes de la tarification rendent difficile un autofinancement de ces mesures. Les subventions de l'état, la contribution de la commune et les bailleurs de fonds internationaux peuvent être sollicitées pour le financement de cette option. Sur le plan technique, l'introduction des technologies adaptées de l'information et de la communication (TIC) comme par exemple des systèmes SCADA et des systèmes d'information géographique sont nécessaires afin de garantir l'efficacité et la durabilité de cette option. Ceci aussi nécessite une approche stratégique et des programmes de formation professionnelle.

**Aménagement paysager urbain (DM4) :** La ville de Marrakech est un modèle à l'échelle nationale en matière de l'amélioration de la qualité de vie ainsi que de l'augmentation substantielle des espaces verts. Les aménagements paysagers de la ville sont importants et ont permis à verdir et embellir l'espace urbain tout en luttant contre les îlots de chaleur. Ces espaces doivent rester attrayants et en harmonie avec l'image de la ville et son attractivité touristique tout en limitant leur consommation en eau. Pour cela, un travail de sensibilisation visant une implication plus large des différents acteurs qui interviennent dans l'espace urbain, y inclus la société civile, est nécessaire.

## ANNEXE XIII - Références

- ABHOER, 2017: Assistance technique pour l'intégration et l'évaluation des risques climatiques (ERC) dans la planification et le développement des ressources en eau au niveau du bassin de l'Oum Er Rbia
- ABHT, 2010 : Rapport d'ABH du Bassin Hydraulique de Tensift
- ABHT, 2014 : Gestion participative des ressources en eau souterraines, contrat de la nappe du Haouz-Mejjate. Communication orale de l'ABH Tensift
- Abourida A., 2007: Approche hydrogéologique de la nappe du Haouz (Maroc) par télédétection, isotope, SIG et modélisation. Thèse Université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc AFD, 2012: Agence française de développement; Gestion de la demande en eau : étude de cas du Maroc
- Alston J.M., 1986: An analysis of growth of U.S. farmland prices 1963-1982, *American Journal of Agric. Economics*, 68, 1
- Angrill S., R. Farreny, C. M. Gasol, X. Gabarrell, B. Viñolas, A. Josa and J. Rieradevall, 2011: Environmental analysis of rainwater harvesting infrastructures in diffuse and compact urban models of Mediterranean climate, *Int. Journal Life Cycle Assessment*, DOI 10.1007/s11367-011-0330-6
- ANSES, 2016: Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail - Risques sanitaires liés à la recharge artificielle de nappes d'eau souterraine
- Arfanuzzaman, Atiq Rahman, 2017: Sustainable water demand management in the face of rapid urbanization and groundwater depletion for social-ecological resilience building, *Global Ecology and Conservation* 10, 9–22
- Bahri, 2012: *Integrated Urban Water Management*. Stockholm: Global Water Partnership
- Belghiti M., 2009: Le plan national d'économie d'eau en irrigation (PNEEI): une réponse au défi de la raréfaction des ressources en eau, *Revue HTE* N°143/144
- Berkamp, G., et al. 2000: *Dams, Ecosystem Functions and Environmental Restoration* Thematic Review II.1 prepared as an input to the World Commission on Dams, Cape Town, [www.dams.org](http://www.dams.org)
- Blumenthal U.J. and Peasey A., 2002: Critical review of epidemiological evidence of the health effects of wastewater and excreta use in agriculture, London School of Hygiene and Tropical Medicine
- Boinon et Cavailles, J., 1988 : "Essai d'explication de la baisse du prix des terres", dans "La terre, succession et héritage", *Études rurales*, 110-111-112, Ed. EHESS, Paris, avril-décembre.
- Bolaky, B. and C. Freund, 2004: Trade, Regulations, and Growth; World Bank eLibrary <http://elibrary.worldbank.org/doi/abs/10.1596/1813-9450-3255>
- Brears R.C., 2017: *Urban Water Security*, Wiley & Sons, UK, ISBN: 9781119131724
- Caziot P., 1930: « Le capital foncier et les capitaux d'exploitation », *Revue d'Économie Politique*, XLIV, pp.8-19
- CSEC, 2001: Plan directeur pour le développement des ressources en eau du bassin du Tensift, 9<sup>e</sup> session. Conseil Supérieur de l'Eau et du Climat, Direction de l'Hydraulique, Rabat, Maroc
- Daniell, Katherine, Jean-Daniel Rinaudo, Noel, Chan, Celine Nauges and R. Quentin Grafton, 2015: *Understanding and Managing Urban Water in Transition*

- Doukkali R. and C. Lejars, 2015: Energy cost of irrigation policy in Morocco: a social accounting matrix assessment. *International Journal of Water Resources Development*, Volume 31, 2015 - Issue 3: Special Issue: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07900627.2015.1036966>: Water-Food-Energy-Climate nexus in Global Drylands: the epitome of 21<sup>st</sup> century development?
- Doukkali R. M. and J.G. Grijzen, 2015: Contribution économique de la surexploitation des eaux souterraine au Maroc ; World Bank Working Paper, Rabat, Maroc
- ECA et al, 2015: Economic Consulting Associates, Trémolet Consulting Limited, Waman Consulting - Economic Analysis: Reducing Morocco's Urban Water Gap. Final Report commissioned by the World Bank
- EPA, 2013: Water audits and water loss control for public water systems; <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-04/documents/epa816f13002.pdf>
- EU, 2013: Sustainable Water Integrated Management - Support Mechanism (SWIM- SM) - Review and analysis of the status of the implementation of strategies and/or action plans for wastewater; National report for Morocco; [http://www.swim-sm.eu/files/EXECUTIVE\\_SUMMARY\\_MOROCCO\\_ENGLISH.pdf](http://www.swim-sm.eu/files/EXECUTIVE_SUMMARY_MOROCCO_ENGLISH.pdf)
- Facchini, F., 1997: Politique agricole en France et prix de la terre. « Politique agricole et prix de la terre », *Politiques et Management Public*, 1997, décembre, vol.15, numéro 4.
- Falkenmark M. and G. Lindh, 1976: *Water for a Starving World*, Westview Press, 1976 - Technology & Engineering
- Falter C.M, 2017: Greenhouse Gas Emissions from Lakes & Reservoirs: The Likely Contribution of Hydroelectric Project Reservoirs on the Mid-Columbia River <https://www.chelanpud.org/docs/default-source/default-document-library/chelan-pud-mid-columbia-river-hydro-project-greenhouse-gas-emissions.pdf>
- FAO and WWC, 2015: Towards a water and food secure future. Critical Perspectives for Policy-maker; <http://www.fao.org/3/a-i4560e.pdf>
- García-Valiñas, 2005: Efficiency and equity in natural resources pricing: A proposal for urban water distribution service. *Environmental and Resource Economics* 32, 183–204
- GIZ, 2016: Élaboration de la convention GIRE du Bassin de Haouz-Mejjate, Diagnostic du bassin global
- Grijzen J.G., 2011: Sustainability of the Chambal River Water Resources, Chambal - Bhilwara Water Supply Project; report prepared for the World Bank Water Anchor and Water Expert Team
- GWl, 2009: *Municipal water reuse markets 2010*. Oxford, UK: Media Analytics Ltd.
- GWl, 2016: *Desalination and water reuse*, Media Analytics Ltd., Oxford, UK
- Global Water Partnership, 2000: *La gestion intégrée des ressources en eau*, TAC Background Papers # 4
- GWP, 2011: Global Water Partnership: <http://www.gwp.org/en/GWP-CEE/about/why/what-is-iwrm>
- Hati H. and K. Kounhi, 2012: *Essai d'amélioration du système de distribution d'eau potable à la ville de Marrakech*
- Hollweg, C. H., D. Lederman, D. Rojas, and E. R. Bulmer, 2014: *Sticky Feet: How Labor Market Frictions Shape the Impact of International Trade on Jobs and Wages*; *Directions in Development*; Washington, DC: World Bank.doi:10.1596/978-1-4648-0263-8
- IEA, 2012: *Water for energy; is energy becoming a thirstier resource?* [http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebiste/2012/WEO\\_2012\\_Water\\_Excerpt.pdf](http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebiste/2012/WEO_2012_Water_Excerpt.pdf)

- ILO, 1998: Migration and population distribution in developing countries: Problems and policies. In: United Nations (Ed.), Population distribution and migration. Proceedings of the United Nations expert group meeting on population distribution and migration, Santa Cruz, Bolivia, January 18–22, 1993
- IPCC, 2012: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (Eds.); Cambridge, UK and New York, NY: Cambridge University Press.
- IPCC, 2014: Summary for policymakers. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32; [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/ar5\\_wgII\\_spm\\_en.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/ar5_wgII_spm_en.pdf)
- IWMI, undated: Chapter 2, Global Wastewater and Sludge Production, Treatment and Use; [http://www.springer.com/cda/content/document/cda\\_downloaddocument/9789401795449-c1.pdf?SGWID=0-0-45-1493735-p177017059](http://www.springer.com/cda/content/document/cda_downloaddocument/9789401795449-c1.pdf?SGWID=0-0-45-1493735-p177017059);
- JICA, 2008: Étude du Plan de gestion intégrée des ressources en eau dans la plaine du Haouz, Maroc
- Khomsî, K., Mahe, G., Trambly, Y., Sinan, M., and Snoussi, M., 2016: Regional impacts of global change: seasonal trends in extreme rainfall, run-off and temperature in two contrasting regions of Morocco, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 16, 1079-1090, doi:10.5194/nhess-16-1079-2016
- Kuper M., Bouarfa S., Errahj M., Faysse N., Hammani A., Hartani T., Marlet S., Zairi A., Bahri A., Debbarh A., Garin P., Jamin J.-Y., Vincent B., 2009: A crop needs more than a drop: towards new praxis in irrigation management in North Africa. *Irrigation and Drainage*
- Kurtze J., M. Morais, E. Platko, H. Thompson, 2015: Advancing Water Management Strategies in Morocco - [https://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-101615-040211/unrestricted/IQP-Sponsor\\_Edition.pdf](https://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-101615-040211/unrestricted/IQP-Sponsor_Edition.pdf)
- Lautze, J.; Stander, E.; Drechsel, P.; da Silva, A. K.; Keraita, B. 2014: Global experiences in water reuse. IWMI - CGIAR Research Program on Water, Land and Ecosystems (Resource Recovery and Reuse Series 4): [http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/wle/rrr/resource\\_recovery\\_and\\_reuse-series\\_4.pdf](http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/wle/rrr/resource_recovery_and_reuse-series_4.pdf)
- Lazarova V. et Brissaud F., 2007: Intérêt, bénéfices et contraintes de la réutilisation des eaux usées en France ; <http://www.ecoumenegolf.org/XEauXLAZAROVA.pdf>; N° 299 - L'eau, l'industrie, les nuisances
- Luo, T., R. Young, P. Reig, 2015: Aqueduct Projected Water Stress Country Rankings, Washington, D.C.: World Resources Institute; <http://www.wri.org/publication/aqueduct-projected-water-stress-country-rankings>
- Martins R. and A. Fortunato, 2007: Residential water demand under block rates - a Portuguese case study. *Water Policy* 9, 217–230
- Molle, 2017: *Conflicting Policies: Agricultural Intensification vs. Water Conservation in Morocco*, Institut de Recherche pour le Développement, UMR-G-Eau
- OECD, 2012: Environmental Outlook to 2050: The consequences of Inaction - Key Findings on Water; <https://www.oecd.org/env/indicators-modelling-outlooks/49844953.pdf>

- ONEE-IEA, 2014: Water sector management in Morocco. Pillar of sustainable development; Mahmoud Hafsi - Mediterranean water forum; <https://www.holanda.es/media/72108/m.%20hafsi.pdf>
- ONEMA & BRGM, 2013 : Recharge artificielle des eaux souterraines: État de l'art et perspectives
- ONEP/ABHT, 2010 : Mission I, Inventaires des établissements touristiques [...]
- ORMVAH, 2011 : Office régional de mise en valeur agricole de la région de Haouz - Gestion des réseaux d'irrigation dans les périmètres du Haouz. Document interne.
- Palrecha A., N. Sakhare, S. Patkar, S. Sule, S. Sebas and M. Ramola, 2016: Wastewater Irrigation in Maharashtra, IWMI-Tata Water Policy Program
- PNE, 2015 : Plan Nationale d'Eau, Rapport Général, juillet 2015
- PNUE/UNEP, 2001 : Dessalement de l'eau de mer dans les pays méditerranéens : Évaluation des impacts sur l'environnement et lignes directrices proposées pour la gestion de la saumure. Plan d'action pour La Méditerranée, UNEP(DEC)/MED - WG.183/Inf.6
- Pope C.A., 1985: « Agricultural productive and consumptive use components of rural land values in Texas », American Journal of Agricultural Economics, 1, pp.81-86
- Qadir, M., B.R. Sharma, A. Bruggeman, R. Choukr-Allah and F. Karajeh, 2007: Non-conventional Water Resources and Opportunities for Water Augmentation to Achieve Food Security in Water Scarce Countries, Agricultural Water Management 87-1 (2007); <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377406001065>
- Razoki, B., 2001 : Mise en place d'un système de gestion de base de données pour la gestion des ressources en eaux souterraines de la plaine du Haouz (Meseta occidentale, Maroc). Thèse Université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc
- Ricardo D., 1951: The Works and Correspondence of David Ricardo: On the Principles of Political Economy and Taxation; Cambridge University Press.
- Salama, Y., Chennaoui, M., Sylla, A., Mountadar, M., Rihani, M., & Assobhei, O., 2014: Review of Wastewater Treatment and Reuse in the Morocco: Aspects and Perspectives. International Journal of Environment and Pollution Research, 2(1), 9-25; <http://www.eajournals.org/wp-content/uploads/Review-of-Wastewater-Treatment-and-Reuse-in-the-Morocco-Aspects-and-Perspectives.pdf>
- Satoa T., M. Qadir, S. Yamamotoe, T. Endoe, Ahmad Zahoor, 2013: Global, regional, and country level need for data on wastewater generation, treatment, and use; Agricultural Water Management 130 (2013) 1–13, Elsevier; <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377413002163>
- Schultz, B., 2002: Role of Dams in Irrigation, Drainage and Flood Control. Water Res. Development 18(1)
- Siegel S., 2015: Let there be water – Israel's solution for a water-starved world, ISBN 9781-250-073952
- Sinan M. et al, 2003: Utilisation des SIG pour la caractérisation de la vulnérabilité et de la sensibilité à la pollution des nappes d'eau souterraine. Application à la nappe du Haouz de Marrakech, Maroc, 2<sup>nd</sup> FIG Conférence Régionale, 2-5 décembre, Marrakech, Maroc
- Skinner, J. et al, 2009 : Partage des bénéfices issus des grands barrages en Afrique de l'Ouest. Série Ressources Naturelles no. 19. Institut International pour l'Environnement et le Développement
- Statzu and Strazzer, 2009: Water demand for residential uses in a Mediterranean region: Econometric analysis and policy implications

- Todaro, M., 1997: Urbanization, unemployment and migration in Africa: Theory and policy; Policy Research Division Working Paper No. 104, Population Council, New York
- UNDESA, 2015: The 2015 Revision of World Population Prospects, Key findings and Advance Tables [https://esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/Key\\_Findings\\_WPP\\_2015.pdf](https://esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/Key_Findings_WPP_2015.pdf)
- UNDP, 2006: Human Development Report 2006 - Beyond scarcity: Power, poverty and the global water crisis; <http://hdr.undp.org/sites/default/files/reports/267/hdr06-complete.pdf>
- UNEP, 2008: Desalination Resource and Guidance Manual for Environmental Impact Assessments. United Nations Environment Program, Regional Office for West Asia, Manama, and World Health Organization, Regional Office for the Eastern Mediterranean, Cairo
- UN-Water, 2010: Climate Change Adaptation: The Pivotal Role of Water. Available at: [http://www.unwater.org/downloads/unw\\_ccpol\\_web.pdf](http://www.unwater.org/downloads/unw_ccpol_web.pdf)
- UN-WATER, 2013: Water security and the Global Water Agenda – a UN Water Analytical Brief [www.unwater.org/downloads/watersecurity\\_analyticalbrief.pdf](http://www.unwater.org/downloads/watersecurity_analyticalbrief.pdf); definition based on UNESCO's International Hydrological Program's (IHP) Strategic Plan of the Eighth Phase.
- UN-Water, 2014: Partnerships for improving water and energy access, efficiency and sustainability; [http://www.un.org/waterforlifedecade/water\\_and\\_energy\\_2014/pdf/water\\_and\\_energy\\_2014\\_final\\_report.pdf](http://www.un.org/waterforlifedecade/water_and_energy_2014/pdf/water_and_energy_2014_final_report.pdf)
- WHO-UNICEF, 2000: Global Water Supply and Sanitation Assessment, 2000 Report; [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/monitoring/jmp2000.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/jmp2000.pdf)
- WHO, 2003: State of the art report on health risks in aquifer recharges using reclaimed water; [http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/83800/1/WHO\\_SDE\\_WSH\\_03.08.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/83800/1/WHO_SDE_WSH_03.08.pdf); No. WHO/SDE/WSH/03.08, Geneva
- WHO, 2006: WHO Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and grey water (Volume IV: Excreta and grey water use in agriculture); <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1004>
- World Bank, 2004, Seawater and Brackish Water Desalination in the Middle East, North Africa and Central Asia; A Review of Key issues and Experience in Six Countries
- World Bank, 2012: Integrated Urban Water Management Case Study: Buenos Aires. Washington, DC
- World Bank, 2016a: Mainstreaming Water Resources Management in Urban Projects: Taking an Integrated Urban Water Management Approach; World Bank, Washington, DC <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/24430>
- World Bank, 2016b: Cost of desalination for domestic water supply in the MENA Region, White Paper
- World Bank, 2016c: Évaluation du coût de la dégradation de l'environnement, Pôle de Compétences Mondiales de l'Environnement, Bureau régional Moyen-Orient et Afrique du Nord, Rapport N° 105633-MA Royaume du Maroc