



TUNISIE COÛT DE LA DE DÉGRADATION DES RESSOURCES EN EAU DU BASSIN DE LA MEDJERDA

Version	Document Title	Author	Review and Clearance
1	TUNISIE COÛT DE LA DE DÉGRADATION DES RESSOURCES EN EAUDU BASSIN DE LA MEDJERDA	Sherif Arif et Fadi Doumani	Hosny Khordagui, Stavros Damianidis and Vangelis Konstantianos





REMERCIEMENTS ET CITATION

Remerciements:

Nous aimerions adresser nos remerciements à Mme Sondes Kamoun, Directeur Général du Bureau de la Planification et des Equilibres Hydrauliques au Ministère de l'Agriculture et Point Focal du projet SWIM-SM en Tunisie, Mme Sabria Bnoui, Directeur du Département de la Coopération Internationale au Ministère de l'Environnement, Agent de Liaison du programme SWIM-SM et Point Focal du programme H2020 ainsi qu'à toutes les personnes rencontrées durant la mission du 29 juillet au 4 août, 2012 (l'agenda de la mission se trouve dans l'Annexe I), notamment M. Bouzid Nasraoui, M. Fethi Sakli, M. Abdelbaki Labidi, M. Mohamed Beji, M. Chaabane Moussa, M. Adel Jemmazi, Mme Fatma Chiha, M. Kacem Chammkhi, M. Tawfik Abdelhedi, M. Hassen Ben Ali, M. Mellouli Mohamed, M. Moncef Rekaya, M. Nejib Abid, M. Omrani, M. Adel Boughanmi, Mme Nesrine Gdiri, Mme Awatef Messai, M. Samir Kaabi, Mme Mouna Sfaxi, M. Mabrouk Nedhif, Mme Myriam Jenaih, M. Bechir Béjaoui, M. Noureddine Zaaboul, M. Denis Pommier, M. Rafik Aini, Mme Jamila Tarhouni, Mme Salm Bettaeib, M. Mohame Salah Ben Romdhane, M. Mosbah Hellali, M. Abdellah Cherid, Mme Lamia Jemmali et M. Mohamed Rabhi. Par ailleurs, nous tenons aussi à remercier les administrations tunisiennes pour avoir facilité le travail et fournis des données essentielles après le départ de la mission. La liste des personnes rencontrées et leur affiliation est en Annexe I.

Un atelier de consultation a eu lieu le 7 décembre 2012 à l'hôtel Golden Tulip El Mechtel de Tunis et a été ouvert par Mme Sondes Kamoun, Directeur Général du Bureau de la Planification et des Equilibres Hydrauliques, Ministère de l'Agriculture, et M. Denis Pommier, Expert Développement Rural et Agricole, Délégation de l'Union européenne en Tunisie. La liste des participants et leur affiliation est en Annexe I.

Nous aimerions aussi remercier Dr. Sarra Touzi, experte locale du Programme SWIM-SM pour son assistance, sa précieuse aide et ses commentaires durant l'élaboration du rapport.

Ce rapport doit être cité comme suit:

Sherif Arif et Fadi Doumani. 2012. *Tunisie, Coût de la Dégradation des Ressources en Eau du Bassin de la Medjerda*. Programme de Gestion Intégrée Durable de l'Eau (SWIM-SM) financé par la Commission européenne et mis en œuvre par le consortium comprenant : LDK Consultants Ingénieurs & Programmeurs S.A. (Chef de file) ; l'Association des Services d'Eau des Pays Arabes (ACWUA) ; le Réseau Arabe pour l'Environnement et le Développement (RAED) ; le Bureau de Conseils DHV B.V., le Global Water Partnership - Mediterranean (GWP-Med) ; le Ministère Grec de l'Environnement, de l'Energie et du Changement Climatique/Département des Relations Internationales et des Affaires de l'Union européenne ; le Ministère Libanais de l'Energie et de l'Eau/Direction Générale des Ressources Hydrauliques et Electriques ; le Ministère Tunisien de l'Agriculture, des Ressources Hydrauliques et de la Pêche/Direction Générale des Ressources en Eau ; ainsi que l'Agence Autrichienne pour l'Environnement (Umweltbundesamt GmbH). Bruxelles.



TABLE DES MATIERES

<u>1.</u> Introduction	14
<u>2.</u> Le Mécanisme de Soutien à la Gestion Intégrée Durable de l'Eau (SWIM-SM)	16
2.1 Aperçu Général	16
2.2 Objectif de l'Etude	17
<u>3.</u> Le Bassin de la Medjerda	18
3.1 Données Générales du Bassin de la Medjerda	18
3.2 Pollution du Bassin de la Medjerda	20
3.3 Cadre Organisationnel et Institutionnel du Bassin de la Medjerda	24
3.3.1 Ministère de l'Agriculture	24
3.3.2 Ministère de l'Environnement	26
3.3.3 Ministère de la Santé Publique	27
3.3.4 Conclusions	27
<u>4.</u> Revue des Coûts de la Dégradation Environnementale en Tunisie	29
<u>5.</u> Méthodologie, Calibrage et Limites de l'Evaluation, et Catégorie	31
5.1 Méthodologie	31
5.2 Calibrage et Limites de l'Evaluation	33
5.3 Catégories Evaluées	33
<u>6.</u> Coût de la Dégradation du Bassin de la Medjerda	36
6.1 Aperçu Général des Coûts de la Dégradation	36
6.2 Catégorie Eau et Sous-catégories	37
6.2.1 Qualité et Traitement de l'Eau Potable	37
6.2.2 Qualité des Services d'Eau et d'Assainissement	38
6.2.3 Qualité de la Ressource en Eau	40
6.2.4 Salinité	40
6.2.5 Quantité	41
6.2.6 Erosion et Stockage	42
6.2.7 Production Hydroélectrique	44
6.3 Catégorie Déchets Solides	45
6.4 Catégorie Biodiversité	45
6.5 Catégorie Catastrophes Naturelles et Environnement Global	46
6.5.1 Catastrophes Naturelles	46
6.5.2 Environnement Global	47
6.6 Conclusions	47
<u>7.</u> Coût de la Réstauration du Bassin de la Medjerda	48
7.1 Aperçu Général des Coûts de la Restauration	48
7.2 Qualité de l'Eau Potable	49
7.3 Eau et Assainissement en Milieu Rural	50
7.4 Amélioration de la Gestion des Décharges	53
7.5 Réduction de l'Erosion en Amont pour Réduire l'Ensablement des Barrages	54
<u>8.</u> Recommendations	56
<u>9.</u> REFERENCES	58
<u>10.</u> ANNEXE I MISSION D'IDENTIFICATION	61



<u>11.</u> ANNEXE II METHODOLOGIE GENERALE POUR L'ÉVALUATION DES COUTS DE LA DEGRADATION	66
<u>12.</u> ANNEXE III METHODES SPECIFIQUES POUR L'ÉVALUATION DES COUTS DE LA DEGRADATION DE LA CATEGORIE EAU	71
<u>13.</u> ANNEXE IV METHODES SPECIFIQUES POUR L'ÉVALUATION DES COUTS DE LA DEGRADATION DE LA CATEGORIE DECHETS	73
<u>14.</u> ANNEXE V RESULTATS DE LA RESTAURATION	77
<u>15.</u> ANNEXE VI RESULTATS DESAGREGES DES COUTS DE LA DEGRADATION ET DE LA RESTAURATION	79



Taux de Change:

€ 1 = Dinar tunisien (DT) 1,891 (Décembre 2010)

€ 1 = Dinar tunisien (DT) 2,022 (Septembre 2012)

\$EU 1 = Dinar tunisien (DT) 1,427 (Décembre 2010)

\$EU 1 = Dinar tunisien (DT) 1,573 (Septembre 2012)

Source: <www.oanda.com>

Le contenu de cette publication est de la seule responsabilité des auteurs et ne représente pas nécessairement les vues de la Commission européenne ou celles du Gouvernement tunisien.



ACRONYMES

A/C	Ratio Avantages/Coûts
ANGed	Agence Nationale de Gestion des Déchets
ANPE	Agence Nationale de Protection de l'Environnement
BA	Benefit Assessment
C/A	Coûts/avantages
CE	Communauté européenne
CH ₄	Méthane
CO ₂	Dioxyde de carbone
COPEAU	Réseau de Contrôle de la Pollution de l'Eau
CRDA	Commissariats Régionaux au Développement Agricole
DBO ₅	Demande Biologique d'Oxygène
DCO	Demande Chimique d'Oxygène
DGACTA	Direction Générale de l'Aménagement et de la Conservation des Terres Agricoles
DGBGTH	Direction générale des Barrages et des Grands Travaux Hydrauliques
DGF	Direction Générale des Forêts
DGGREE	Direction Générale du Génie Rural et de l'Exploitation des Eaux
DGPA	Direction Générale des Pesticides Agricoles
DGQEV	Direction Générale de l'Environnement et de la Qualité de Vie
DGRE	Direction Générale des Ressources en Eau
dS/m	déciSiemens par mètre
EPA	Environmental Protection Agency des Etats-Unis
EUT	Eaux usée traités
FAO	Food and Agriculture Organisation
g	gramme
GEG	complexe de Ghdir El Golla
GES	Gaz à effet de serre
GIZ	Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (précédemment GTZ)
ha	Hectare
INAT	Institut National Agronomique de Tunisie
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
kg	Kilogramme
km	Kilomètre
km ²	Kilomètre carré
m	Mètre
m ²	Mètre carré
m ³	Mètre cube
MdA	Ministère de l'Agriculture
MdE	Ministère de l'Environnement
MdSP	Ministère de la Santé Publique
ODESPANO	Office de Développement Sylvo-Pastorale du Nord-Ouest
ONAS	Office National de l'Assainissement
OMS	Organisation mondiale de la santé (WHO)
PIB	Produit Intérieur Brut
PISEAU	Projet d'investissement dans le Secteur de l'Eau
SIG	Système d'information géographique
SECADENORD	Société d'Exploitation du Canal et des Adductions des Eaux de Nord
SONEDE	Société Nationale d'Exploitation et de Distribution des Eaux
STEP	Station de Traitement des Eaux Polluées
TEEB	The Economics of Ecosystems and Biodiversity
TRI	Taux de Rendement Interne



UE..... Union européenne
VAN Valeur actualisée nette
VET Valeur économique totale
VVL Valeur d'une vie statistique
WFD..... EC Water Framework Directive



RESUME

Avec une population of 10,6 millions (2011) et d'un Produit Interne Brut (PIB) de 63,4 milliards de DT en 2010, la Tunisie demeure confrontée à une dotation en eau estimée à 472 m³/habitant et qui diminuera à 315 m³/habitant dans 20 ans la classant parmi les 17 pays les plus stressés hydrauliquement. Les ressources naturelles de la Tunisie sont limitées, par leur quantité et, partiellement, par leur qualité et leurs potentialités réelles d'exploitation. Cependant, depuis les dernières années 80, la Tunisie a accompli d'importants résultats dans le domaine de la mobilisation des ressources en eaux, dans la conservation des eaux et des sols, de la lutte contre l'érosion, et la généralisation de l'eau potable avec un accès de presque 100% dans les zones urbaines et 94% dans les zones rurales et l'accès à l'assainissement urbain est de 99% alors qu'il n'est effectivement que de 5% en milieu rural.

Depuis 1999, la Tunisie a adapté une stratégie de ressources en eau dirigée principalement vers la mobilisation de l'approvisionnement et la gestion de la demande. Le Gouvernement a mis en application cette stratégie dans un programme sur dix ans (2001-2011), organisé autour de trois piliers spécifiques : (i) la gestion intégrée et la conservation des ressources en eau ; (ii) l'efficacité économique de l'utilisation de l'eau dans l'agriculture ; et (iii) la restructuration des institutions et le renforcement de leurs capacités dans le secteur de l'eau. Depuis sa Révolution de Janvier 2011, le nouveau Gouvernement, à travers son ministère de l'Agriculture, a mis l'accent sur les enjeux de l'emploi, du développement et l'orientation d'une part ses interventions vers les régions les moins privilégiées et les plus défavorisées, et d'autre part la gestion des ressources naturelles d'une manière participative au niveau des bassins versants de ces régions. Dans ces derniers, une priorisation plus concrète peut être identifiée sur la base des coûts et avantages des interventions pour lesquels la gestion durable de l'eau représente une composante critique dans la réduction de la pauvreté surtout en milieu rural.

C'est dans ce contexte général que s'inscrit l'étude régionale du coût de la dégradation des ressources en eaux à l'échelle des bassins versants et qui est appuyée par le programme régional SWIM-SM financé par un don de l'Union européenne à hauteur de 7,0 millions d'Euros. L'une des cinq composantes de ce projet est l'amélioration de la gouvernance de l'eau et l'intégration des problématiques de l'eau dans les politiques sectorielles telles que les politiques des secteurs de l'agriculture, l'industrie, le tourisme, etc., et ce, afin que l'eau devienne un élément important dans les politiques et les stratégies nationales de développement. Bien que les problèmes d'eau et leurs impacts sur l'économie aient été évalués à l'échelle nationale, la situation est différente au niveau des bassins versants car aucune identification précise des problèmes et aucune évaluation des coûts associées à la dégradation n'ont encore été entrepris. Cependant, des décisions doivent être prises au niveau du bassin en ce qui concerne la gestion et la protection des ressources en eau. Ceci permettrait aux institutions locales de disposer des outils nécessaires pour pouvoir dialoguer au niveau national et régional sur la base de coûts chiffrés les politiques nécessaires pour réduire ces coûts.

La Tunisie, à travers son point focal national, a demandé l'assistance de SWIM-SM pour estimer le coût de la dégradation des ressources en eaux dans le bassin versant de la Medjerda. Le choix de ce bassin repose sur les raisons suivantes ; (a) La Medjerda est le fleuve le plus long de la Tunisie, elle est considérée comme le château d'eau du pays fournissant ainsi l'eau potable à plus de 2,5 millions d'habitants du Grand Tunis et ponctuellement à ses Alentours ; (b) La Medjerda traverse les six gouvernorats de Béja, Jandouba, Le Kef, Siliana (tous les 4 faisant partie du district Nord-ouest) et Manouba ainsi que Ariana (ces 2 derniers faisant partie du district de Tunis) qui sont des gouvernorats à caractère rural et agricole. Ces gouvernorats sont riches en ressources naturelles, contiennent 75% des réserves en eau et incluent plus de la moitié des zones forestières du pays ; (c) Le bassin connaît un certain nombre de problèmes concernant les ressources naturelles liés à l'érosion, la salinité, la sécheresse et les inondations et l'envasement de barrages et aussi à des problèmes liés à la pollution agricole, municipale et industrielle. Il est considéré comme un bassin représentatif pour une analyse approfondie des coûts et avantages liés à la dégradation et la remise en état des ressources en eau en Tunisie.

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer le coût de la dégradation des ressources en eau au niveau du bassin versant de la Medjerda. Les résultats visés sont : (a) un aperçu des aspects économiques des problèmes



de gestion du bassin versant de la Medjerda ; (b) une évaluation du coût de la dégradation des ressources en eau ; (c) une analyse économique pour certaines alternatives ; et (d) des recommandations concrètes afin d'intégrer les avantages dont bénéficierait l'environnement et d'améliorer la gestion de ce bassin.

Les résultats du coût de la dégradation de la Medjerda sont illustrés dans le Tableau 1 et la Figure 1. Il est à noter que les coûts totaux de la Medjerda et du Grand Tunis sont comparés au PIB de la Tunisie (63,4 milliards de DT en 2010) alors que les coûts du Bassin de la Medjerda (intra-muros) sont comparés au PIB de la Medjerda (5,8 milliards de DT en 2010) qui a été extrapolé en utilisant le PIB par habitant pour le bassin de la Medjerda (4.058 DT/habitant en 2010) et le multipliant par le nombre d'habitant. Les résultats désagrégés sont disponibles dans l'Annexe VI.

Pour la Medjerda et le Grand Tunis, ces coûts atteignent 214 millions de DT en 2010 avec une variation de 149 à 324 millions de DT équivalent en moyenne à près de 0,34% du PIB courant mais 0,85% du PIB constant (par rapport à 2000) de la Tunisie de 2010. Concernant la Medjerda, les coûts de la dégradation sont de 192 millions de DT en 2010 avec une variation de 132 à 296 millions de DT équivalent en moyenne à près de 3,3% du PIB de la région du Bassin. Le coût attribuable à la santé humaine est de 81 millions DT in 2010 soit 42,5% du coût de la dégradation de la Medjerda et 63% de la catégorie eau (Tableau 1 et Figure 1).

Tableau 1 : Coût de la dégradation de la Medjerda et du Grand Tunis, 2010 et en millions de DT

Catégories	Medjerda	%	Borne Inf.	Borne Sup.	Grand Tunis	Borne Inf.	Borne Sup.	Total Medjerda et Grand Tunis	%	Borne Inf.	Borne Sup.
Eau	129,5	68%	99,1	164,5	22,3	17,5	28,1	151,8	71%	116,6	192,6
Déchets	60,5	32%	32,1	131,3	-	-	-	60,5	28%	33,7	130,9
Biodiversité	0,5	0%	0,4	-	-	-	-	0,5	0%	0,4	-
Catastrophe naturelle et Environnement global	1,1	1%	-	-	-	-	-	1,1	1%	-	-
Total	191,5	100%	131,6	295,8	22,3	17,5	28,1	213,9	100%	149,1	323,9
% PIB Medjerda	3,3%		2,3%	5,1%							
% PIB Tunisie								0,34%		0,24%	0,51%

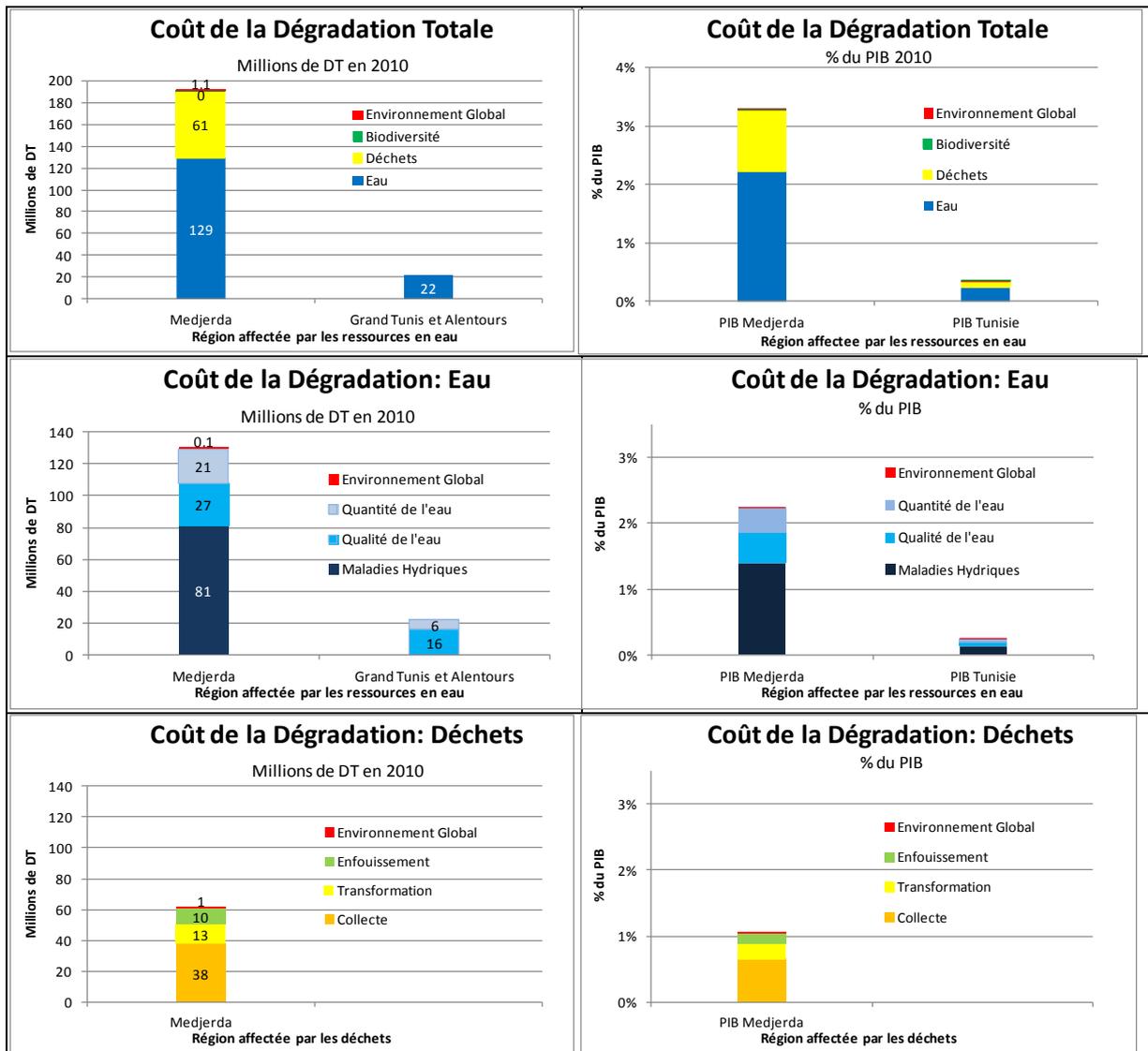
Source : Auteurs.

Ventilée par catégorie, la dégradation de l'eau est la plus importante dans la Medjerda et le Grand Tunis en valeur relative avec 68% par rapport au total en 2010. Les déchets, qui sont simplement couverts dans la Medjerda, viennent en second lieux avec relativement 32%, la biodiversité avec 0,01% et l'environnement global 1%. Il n'y a pas eu de catastrophes naturelles majeures dans le bassin de la Medjerda en 2010 et donc celles-ci ne sont pas prises en compte dans cette évaluation.

Ventilée par la sous-catégorie eau (130 millions de DT en 2010), les maladies hydriques représentent la majorité des coûts du Bassin de la Medjerda (81 millions de DT) suivies par la qualité de l'eau (27 millions de DT), la quantité d'eau (21 millions de DT, montant relativement bas du fait que 2010 était une saison propice) et enfin l'environnement global (1 million de DT).

Ventilée par la sous-catégorie déchets (61 millions de DT en 2010), la collecte représente la majorité des coûts du Bassin de la Medjerda (38 millions de DT) suivies par la transformation des déchets (13 millions de DT), l'enfouissement (10 millions de DT) et enfin l'environnement global (1 million de DT).

Figure 1 : Coût de la dégradation de la Medjerda et du Grand Tunis, 2010 et en millions de DT



Source : Auteurs.

L'estimation du coût de la dégradation des ressources en eau a permis de dégager les conclusions suivantes :

- Le coût de la salinité de l'eau potable (11 millions de DT) au sein et au-delà du bassin de la Medjerda est presque égal au coût de la salinité de la production agricole (12,3 millions de DT) au sein du même bassin.
- Les dommages dus au manque d'accès à l'eau potable et à l'assainissement rural (81 millions de DT) dans le bassin de la Medjerda est significativement supérieur aux dommages créés par la salinité dans l'eau potable.
- La mauvaise collecte et le manque de traitement des déchets infligent des dommages moins importants (61 millions de DT) que ceux dus au manque d'accès à l'eau potable et à l'assainissement dans le milieu rural (81 millions de DT).
- Les dommages affectant la qualité de l'eau du fleuve de la Medjerda sont moins prononcés (17 millions de DT), ce qui semble indiquer que la pollution tellurique n'est pas entièrement déchargée dans le fleuve.
- Les dommages créés par l'érosion dans l'envasement des barrages sont de l'ordre de 7,1 millions de DT, ce qui peut signifier que l'envasement des barrages peut être causé par les sédiments des sous bassins versants et non pas nécessairement par l'érosion des terres dont leurs sédiments n'atteignent pas toujours les réservoirs des barrages. Ces dommages sont presque équivalents aux pertes nutritives des sols dues à l'érosion (7,4 millions de DT).



Sur la base de ces conclusions, quatre priorités se dégagent dans le court et moyen terme :

- Le traitement de la salinité dans l'eau potable ;
- L'assainissement dans le milieu rural ;
- La collecte et le traitement des déchets ; et
- L'efficacité de l'aménagement du territoire permettant de réduire l'envasement des barrages.

Sur la base de priorités identifiées dans la partie précédente, quatre scénarios d'interventions ont été considérés mais seulement trois ont été réalisés. Seules, les catégories salinité de l'eau potable, eau et assainissement en milieu rural et gestion des décharges ont été évaluées. Les interventions liées à l'aménagement du territoire pour réduire l'érosion et ainsi l'envasement des barrages n'ont pas été considérées faute d'études permettant d'établir une causalité entre l'aménagement et la réduction de l'envasement afin de mener une évaluation économique.

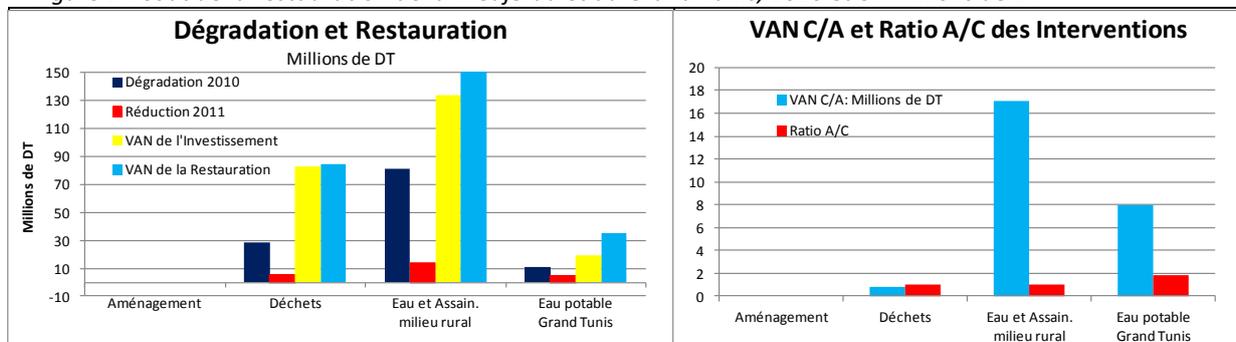
Les scénarios les plus efficaces ont été retenus et sont illustrés dans le Tableau 2 et la Figure 2. Concernant l'eau et l'assainissement en milieu rural, le jumelage du scénario *assainissement* et scénario *eau potable et assainissement* permet de rentabiliser ce dernier. Pour l'eau potable du Grand Tunis, dessaler une partie de la ressource en eau afin de pouvoir diluer la salinité de l'eau potable est rentable. Cependant, cette alternative n'a pas été comparée aux coûts de transport de l'eau des barrages du Bassin de la Barbara et deviendrait non rentable si le seuil des 30.000 m³/j sur trois mois de dessalement est dépassé. La réserve stratégique du Bassin de Barbara permet non seulement d'assurer la sécurité de la ressource mais aussi d'effectuer des dilutions d'eau lorsque les teneurs en sel sont élevées surtout en été et durant les saisons sèches. Pour les déchets, seule, l'alternative tout à la décharge avec génération d'électricité dans des cellules est rentable. Les alternatives avec ségrégation et recyclage ne le sont pas car elles sont trop coûteuses. Ainsi, pour pallier à cette insuffisance, une analyse multicritère pourrait être envisagée pour la prise de décision où des pondérations seraient attribuées non seulement à l'analyse C/A mais aussi à la création d'emploi, la réduction de la pauvreté, etc.

Tableau 2 : Coût de la restauration de la Medjerda et du Grand Tunis, 2010 et en millions de DT

Medjerda et Grand Tunis	Dégradation 2010	Réduction 2011	VAN de l'Investissement	VAN de la Restauration	Van de l'Analyse C/A
	Millions de DT	Millions de DT	Millions de DT	Millions de DT	Millions de DT
Aménagement	0	0	0	0	940-5.050 DT/ha 1.100-5.400 DT/ha
Déchets	28,6	5,7	83	84	0,9
Eau et Assainissement en milieu rural	81,3	13,7	133,7	150,7	17,1
Eau potable dans le Grand Tunis	10,6	4,4	19	35	8,0

Source : Auteurs.

Figure 2 : Coût de la restauration de la Medjerda et du Grand Tunis, 2010 et en millions de DT



Source: Auteurs.



L'analyse des coûts de restauration de trois catégories analysées et basée sur la valeur actualisée nette (VAN) de l'investissement sur 20 ans (24 ans pour les déchets) avec un taux d'escapement de 10% et le taux de rendement interne (TRI), a permis de dégager les investissements les plus efficaces qui sont les suivants :

- a. Pour l'eau potable, un dessalement de 20,000 m³/jour tous les trois mois aura une VAN de 8 millions de DT et un TRI de 32% avec un ratio A/C supérieur à 1.
- b. L'assainissement est rentable avec ou sans l'eau potable et produira une VAN de 32 millions de DT avec un TRI de 22%. Cependant le jumelage des investissements de l'eau et de l'assainissement est plus rentable avec une VAN de 17 millions de DT, un TRI de plus de 10% et un ratio A/C supérieur à 1.
- c. Le transfert et enfouissement des déchets municipaux n'est rentable que lorsque pour chaque gouvernorat, une station de transfert et une décharge seront établies avec production d'électricité moyennant les émissions du méthane. Ces investissements auront une VAN de 0,9 million de DT, un TRI de 10% et un ratio A/C supérieur à 1.

Cinq domaines d'intervention sont proposés pour la gestion intégrée et durable des ressources en eau de la Medjerda qui sous-tendent les recommandations de la présente étude :

- a. **La réorientation progressive de la politique d'intensification d'exploitation des ressources naturelles**, notamment dans le cadre de la mobilisation des ressources en eau. Cette réorientation pourra se faire sur la base de critères qui incluent explicitement la performance économique et la dégradation et la rareté des ressources du bassin de la Medjerda.
- b. **La focalisation en premier lieu sur des investissements efficaces pour le contrôle de la pollution domestique dans les milieux ruraux et périurbains** qui ont été négligés dans le passé. La priorité serait que l'État investisse d'abord dans l'extension de l'eau potable et de l'assainissement dans le milieu rural du bassin où la pauvreté est prédominante, et que la gestion des déchets inclue non seulement une déchetterie pour chaque gouvernorat mais aussi la fermeture des décharges sauvages.
- c. **La planification des interventions en amont susceptibles de réduire l'envasement des barrages** afin de dériver les déterminants de l'envasement et d'évaluer l'impact exact de la lutte antiérosive qui concerne la maîtrise et la mobilisation des eaux de surface et adapter les techniques antiérosives en vue de leur utilisation effective par les exploitants.
- d. **La réorientation en partenariat avec les institutions de l'eau et de l'environnement d'un réseau d'information décentralisé pour l'observation, le suivi, la surveillance continue des milieux et des ressources naturelles du bassin de la Medjerda** et ayant pour objectif la compréhension et l'évaluation du milieu et ses impacts sur la santé et la dégradation du capital naturel afin de contribuer à la prise de décision basée sur des données et informations précises et régulières.
- e. **L'établissement d'une dimension d'action horizontale pour une réflexion globale et intégrée sur la gestion de l'eau dans le bassin versant de la Medjerda**. Ce groupe aura pour objectif : en premier lieu de développer une expertise de l'évaluation des avantages et dommages et en économie de l'eau ; en second lieu dispenser des conseils pour ce qui est des modes et moyens de l'intégration de cet aspect dans les programmes et stratégies sectorielles de développement; et finalement de mettre en place un système d'évaluation et de suivi pour les investissements et activités du bassin de la Medjerda.



COÛTS DE LA DEGRADATION ET RESTAURATION DES RESSOURCES EN EAUX EN TUNISIE : BASSIN DE LA MEDJERDA

1. Introduction

1. Avec une population of 10,6 millions (2011) et d'un Produit Interne Brut (PIB) de 63,4 milliards de DT en 2010,¹ la Tunisie demeure confrontée à une dotation en eau estimée à 472 m³/habitant et qui diminuera à 315 m³/habitant dans 20 ans² la classant parmi les 17 pays les plus stressés hydrauliquement et comparativement à une moyenne régionale de 1.100 m³ en 2011 et une moyenne mondiale de 6.600 m³. Par ailleurs, 4,5 millions de m³ représentent l'utilisation tunisienne annuelle des ressources en eau dont 2,7 millions sont des eaux de surface et 1,8 sont des ressources souterraines.³ Par ailleurs, 75,63%⁴ des ressources en eau sont alloués à l'agriculture et l'irrigation, 12,81% à l'eau potable et 3,86% à l'industrie. Le secteur de l'agriculture contribue environ à 10% du PIB et fourni de l'emploi à 16% de la population active et à 27% de la main œuvre rurale. Il est prévu que la demande dépassera l'offre dans les prochaines décennies et on prévoit aussi une réduction d'environ 6% de la pluviométrie à l'échelle nationale, au cours de la même période du fait des changements climatiques. Ces derniers affectent déjà le secteur de l'agriculture avec des impacts liés à la sécheresse, qui ont nécessité un rationnement de l'eau, ou à des crues d'inondations soudaines qui ont ravagé certains villages.
2. Les ressources naturelles de la Tunisie sont limitées, par leur quantité et, partiellement, par leur qualité et leurs potentialités réelles d'exploitation. Cependant, depuis les dernières années 80, la Tunisie a accompli d'importants résultats dans le domaine de la mobilisation des ressources en eaux, dans la conservation des eaux et des sols, de la lutte contre l'érosion, et la généralisation de l'eau potable avec un accès de presque 100% dans les zones urbaines et 94% dans les zones rurales et l'accès à l'assainissement urbain est de 99% alors qu'il n'est que de 5% en milieu rural.
3. La superficie de terres arables par habitant (moins de 0,3 hectare) est parmi les plus faibles de la région méditerranéenne --on estime à près de 4,2 millions d'hectares les terres plus ou moins affectées par des phénomènes d'érosion éolienne et hydrique pour lequel 2,5 millions ha ont été déjà aménagés par des travaux de conservation des eaux et des sols ; et à 0,12 à 0,14 million les terres irrigables atteintes par une plus ou moins forte salinisation. Les terres à risques d'érosion (3,54 millions d'hectares) se concentrent principalement dans le Centre du pays (48%) et dans le Sud (36%). La gestion des sols est reliée aussi à celle des ressources hydrauliques et largement influencée par les politiques liées à l'emploi rural et à la sécurité alimentaire. Sur 4,7 millions d'hectares de terres arables --dont 0,38 à 0,40 million de superficies irrigables. La Tunisie est soumise à de fortes érosions et dégradation des sols lesquels sont l'une des causes principales de la sédimentation des barrages estimé à 16-19 millions de m³ annuellement⁵ et la réduction de leur capacité de 0,8% annuellement. Les ressources minières sont également limitées aux seuls phosphates avec un volume de production stagnant autour de 6 millions de tonnes.
4. Depuis 1999, la Tunisie a adapté une stratégie de ressources en eau dirigée principalement vers la mobilisation de l'approvisionnement et la gestion de la demande. Le Gouvernement a mis en application cette stratégie dans un programme sur dix ans (2001-2011), organisé autour de trois piliers

¹ Site web de la Banque mondiale : <www.worldbank.org/en/country/tunisia>.

² World Bank. 2007. Making the most of scarcity. Accountability for better water management results in the Middle East and North Africa. MENA Development report. World Bank, Washington D.C.

³ ANPE Rapport du Réseau de contrôle de la Pollution en Tunisie 2010.

⁴ Site web de la Banque mondiale : <<http://databank.worldbank.org/>>.

⁵ DGBTH. 2003. Gestion de l'envasement dans les retenues des grands barrages tunisiens, élaboré par Mme M. Abid, 22p, et DGAFTA communication personnelle, Juillet 2012.



spécifiques : (i) la gestion intégrée et la conservation des ressources en eau ; (ii) l'efficacité économique de l'utilisation de l'eau dans l'agriculture ; et (iii) la restructuration des institutions et le renforcement de leurs capacités dans le secteur de l'eau. Le Ministère de l'Agriculture (MdA) a initié la préparation de la stratégie de l'eau jusqu'à 2050. Par ailleurs, les investissements publics pour le 11^{ème} plan (2006-2011) ont été estimés à 2,2 milliards de DT, dont la majorité est consacrée à la gestion des ressources naturelles, avec 56% de cette valeur allouée aux activités se rapportant à l'eau, 15% aux activités forestières, et 10% à la CES.⁶ Ces investissements ont été basés sur des solutions essentiellement d'ordre technique mises en œuvre par les services du MdA. Cependant les avantages environnementaux et globaux n'ont pas été estimés pour arriver à des politiques optimales pour la gestion durable des ressources naturelles et principalement des ressources en eau.

5. Depuis sa Révolution de Janvier 2011, la Tunisie a connu un bouleversement total au sein de son tissu socio-économique. Le nouveau Gouvernement a mis l'accent sur les enjeux de l'emploi, du développement rural et de la réduction de la pauvreté surtout dans la région de Centre-Ouest où la pauvreté a atteint 29% en comparaison du Grand Tunis où la pauvreté est de 5-7%.⁷ Par conséquent, le MdA a mis en exergue la nécessité d'orienter d'une part ses interventions vers les régions les moins privilégiées et les plus défavorisées, et d'autre part de gérer les ressources naturelles d'une manière participative au niveau des bassins versants de ces régions. Dans ces derniers, une priorisation plus concrète peut être identifiée sur la base des coûts et avantages des interventions pour lesquels la gestion durable de l'eau représente une composante critique dans la réduction de la pauvreté surtout en milieu rural.

⁶ MARH. 2007. Le 11^{ème} plan de développement économique et social. Secteur de l'Agriculture et de la Pêche, 67p. Site web de l'ONAGRI.

⁷ Site web de la Banque mondiale : <www.banquemondiale.org/fr/country/tunisia/overview>.



2. Le Mécanisme de Soutien à la Gestion Intégrée Durable de l'Eau (SWIM-SM)

2.1 APERÇU GENERAL

6. C'est dans ce contexte général que s'inscrit l'étude régionale du coût de la dégradation des ressources en eaux à l'échelle des bassins versants et qui est appuyée par le programme SWIM-SM.⁸ Ce dernier est un programme de soutien technique régional dont l'objectif est d'encourager activement la diffusion élargie des politiques et des pratiques durables de gestion de l'eau dans la région, dans le contexte de la pénurie croissante d'eau associée à la pression sur les ressources en eau par une grande partie des utilisateurs et à la désertification, le tout étant exacerbé par les changements climatiques. De portée régionale et visant à ajouter de la plus-value et à compléter les autres processus régionaux à travers des activités régionales et nationales reproductibles, le programme SWIM-SM s'attache à :
 - Fournir un appui stratégique aux neuf pays⁹ sud-méditerranéens Partenaires de l'Union européenne pour le développement et la mise en œuvre des politiques et des plans de gestion durable de l'eau, impliquant un dialogue intersectoriel et la consultation des institutions concernées.
 - Contribuer au renforcement institutionnel et au développement des compétences de gestion et de planification nécessaires et faciliter le transfert du savoir-faire.
7. L'une des cinq composantes de ce projet est l'amélioration de la gouvernance de l'eau et l'intégration des problématiques de l'eau dans les politiques sectorielles telles que les politiques des secteurs de l'agriculture, l'industrie, le tourisme, etc., et ce, afin que l'eau devienne un élément important dans les politiques et les stratégies nationales de développement.
8. Bien que les problèmes d'eau et leurs impacts sur l'économie aient été évalués à l'échelle nationale, la situation est différente au niveau des bassins versants car aucune identification précise des problèmes et aucune évaluation des coûts associées à la dégradation n'ont encore été réalisées. Cependant, des décisions doivent être prises au niveau du bassin en ce qui concerne la gestion et la protection des ressources en eau, en collaboration étroite avec les autorités locales, et en particulier pour les systèmes de conservation des eaux et des sols, de traitement des eaux usées au niveau régional/local. Le coût de la dégradation des ressources en eaux (Cost of Water Resources Degradation ou CWRD en anglais) permettrait aux institutions locales de disposer des outils nécessaires pour pouvoir dialoguer sur la base de coûts chiffrés avec les autorités centrales, leurs ministères nationaux, et en particulier avec les ministères des Finances, les autres autorités compétentes et le public, tout ce qui concerne les différents types de coûts de la dégradation et les politiques nécessaires pour réduire ces coûts.
9. La Tunisie à travers son point focal national a demandé l'assistance de SWIM-SM pour estimer le coût de la dégradation des ressources en eaux dans le bassin versant de la Medjerda. Le choix de ce bassin repose sur les raisons suivantes :
 - La Medjerda est le fleuve le plus long de la Tunisie. Sa source est originaire dans le nord-est de l'Algérie; il s'écoule vers l'est en direction de la Tunisie sur une distance de 450 km dont 350 km en Tunisie et se jette dans le mer Méditerranée. La Medjerda est considérée comme le château d'eau du pays fournissant ainsi l'eau potable à plus de 2,5 millions d'habitants notamment dans la région du Grand Tunis et ses environs comme le Cap-Bon, le Sahel et Sfax.
 - La Medjerda traverse les six gouvernorats de Béja, Jandouba, Le Kef, Siliana, Ariana et Manouba qui sont pour la plupart des gouvernorats à caractère rural et agricole. Ces gouvernorats sont riches en ressources naturelles, contiennent 75% des réserves en eau et incluent plus de la

⁸ Site web: <SWIM-SM : <www.swim-sm.eu>.

⁹ Les neufs pays sont l'Algérie, l'Egypte, Israël, la Jordanie, le Liban, le Maroc, les Territoires Palestiniens Occupés, la Syrie et la Tunisie.



moitié des zones forestières du pays (535.000 ha). Cependant le développement socio-économique de ces gouvernorats reste limité à cause d'une basse productivité agricole et un manque de services et d'opportunité pour la création d'emploi.

- Le bassin de la Medjerda est traversé ou affecté par 9 barrages de stockage dont deux barrages Sidi Salem (capacité de 814 millions de m³) et Nébeur-Mellègue (182 millions de m³) sont construits sur la rivière et sont sujets à des envasements importants.
- Le bassin connaît un certain nombre de problèmes concernant les ressources naturelles liés à l'érosion, la salinité, la sécheresse et les inondations et l'envasement de barrages et aussi à des problèmes liés à la pollution agricole, municipale et industrielle. Il est considéré comme un bassin représentatif pour une analyse approfondie des coûts et avantages liés à la dégradation et la remise en état des ressources en eau en Tunisie.
- Le bassin de la Medjerda a fait l'objet de beaucoup de rapports et d'informations scientifiques et techniques (qui, lorsqu'ils sont disponibles, seront utilisés au cours cette étude), cependant aucune des ces études n'a traité la dimension économique de la dégradation de ce bassin et les coûts de remise en état pour pallier à cette dégradation.

2.2 OBJECTIF DE L'ETUDE

10. L'objectif principal est d'évaluer le coût de la dégradation des ressources en eau au niveau du bassin versant de la Medjerda pour aider les décideurs à l'échelle nationale et locale à identifier et prioriser des actions concrètes visant à améliorer la gestion de ce bassin par le biais du potentiel de financement des projets lié aux avantages environnementaux et à la réduction des externalités.
11. Les résultats visés sont :
 - Un aperçu des aspects économiques des problèmes de gestion du bassin versant de la Medjerda ;
 - Une évaluation du coût de la dégradation des ressources en eau dans le bassin de la Medjerda incluant la dégradation écologique et la santé de l'environnement ;
 - Une analyse économique pour certaines alternatives prioritaires;
 - Des recommandations concrètes afin d'intégrer les avantages dont bénéficiera l'environnement et d'améliorer la gestion de ce bassin.
12. Le coût de la dégradation des ressources en eau peut être envisagé comme une mesure du bien-être perdu en raison de la dégradation des ressources en eau. Une perte en termes de bien-être comprend, sans s'y limiter nécessairement :
 - Une perte en termes de vie en bonne santé et de bien-être de la population (par exemple, le fardeau de la maladie) ;
 - Des pertes économiques (par exemple, des revenus auxquels certains agents économiques ont dû renoncer) ; et
 - Une perte en termes d'opportunités relatives à l'environnement et à l'eau (par exemple, une perte en termes de tourisme, de ressources halieutiques et de biodiversité).



3. Le Bassin de la Medjerda

3.1 DONNEES GENERALES DU BASSIN DE LA MEDJERDA

13. Le bassin de la Medjerda couvre une superficie de 23.700 km² se divise en trois parties distinctes. La première, appelée Haute Medjerda, s'initie d'Algérie jusqu'à Ghardimaou (7.870 km²). La seconde, la Moyenne Medjerda, regroupe la totalité des affluents et s'étend jusqu'à Medjez el Bab. Enfin, la Basse Medjerda s'achève à l'embouchure de Kalaat Landalous. La partie tunisienne de la Medjerda a une superficie de 15.930 km² soit 9,7% de la surface totale du pays mais atteint 20.243 km² quand tous les ouvrages d'art, qui ont été construits pour acheminer l'eau vers le Grand Tunis comprenant Tunis et Ben Arous (d'autres régions limitrophes bénéficient de transferts hydriques mais ne sont pas incluses dans l'analyse), sont considérés. Le bassin est situé dans un climat méditerranéen semi-aride avec une pluviométrie moyenne qui varie entre 400-600 millimètres. La population totale a été estimée en 2010 à 2,2 millions d'habitants soit approximativement 21,2% de la population tunisienne et avec une densité de la population de 110 habitants par km² qui est supérieure à la moyenne nationale de 68 habitant par km².¹⁰ Par ailleurs, 37% de la population est urbaine ou communale et 63% de la population est rurale. Les zones les plus peuplées sont situées dans les plaines au long du cours d'eau et de ses écoulements. Les 6 gouvernorats de Jandouba, Béja, Le Kef, Siliana, Ariana et Manouba sont principalement ruraux et détiennent 1/3 de la superficie forestière, un quart des meilleures terres agricoles et 2/3 des eaux mobilisables du pays.¹¹ Muni d'un vaste espace agricole, le secteur pilier du bassin est l'agriculture qui emploie plus de 87.500 personnes et contribue 50% de la production des denrées alimentaires du pays. Par ailleurs, c'est aussi un important centre d'élevage agricole. Ainsi, une grande partie des ressources en eau du bassin est allouée à l'irrigation et à l'élevage.
14. Le Revenu National Disponible Brut par habitant est d'environ 6.054 DT en Tunisie en 2010 avec un plus faible revenu par habitant qui pourrait atteindre -50% dans certaines régions du bassin de la Medjerda. La zone du Nord-ouest est la plus affectée par l'analphabétisme et surtout chez les femmes atteignant 43% en 2004. La zone du Nord-ouest enregistre aussi un nombre élevé de chômage de 19,6% en 2007.¹²

Encadré 3.1 : Principales Caractéristiques du Bassin de la Medjerda

Longueur du fleuve: 450 km en Algérie et en Tunisie dont 350 km en Tunisie.
Superficie du bassin versant: 15.930 km², soit 9,7% de la surface de la Tunisie.
Population: 2,2 millions d'habitants (21,2% de la population totale) dont 1,6 millions d'habitants en milieu rural.
Ouvrages d'art : 9 barrages.
Agriculture : 25% du secteur agricole et région la plus fertile de Tunisie.
Eau potable : Principale source pour plus de 3,8 millions d'habitants comprenant les habitants de la Medjerda et du Grand Tunis (Tunis et Ben Arous) ainsi que d'autres régions limitrophes. Ces dernières dépendent plus ou moins ponctuellement des ressources en eau de la Medjerda mais ne sont pas incluses dans l'analyse.

15. Le Bassin de la Medjerda (Encadré 3.1 et Figure 3.1) est alimenté par 4 affluents ou Oueds sur la rive gauche et 5 Oueds sur la rive droite de la rivière. Le fleuve est pérenne et a un débit moyen annuel de 29 m³/s avec de larges variations saisonnières. Cependant, ce bassin subit une hydromorphie en profondeur et une salinisation due à la stagnation des eaux de ruissellement qui sont salées. L'hydromorphie et la salinité sont la cause de la dégradation des sols qui peut atteindre jusqu'à 60% des terres dans la région contribuant en conséquent à la sédimentation des réservoirs de barrages et à une baisse de leur capacité. Ainsi, d'habitude, les eaux de ruissellement et de drainage, enrichies en

¹⁰ L'étude sur la Gestion Intégrée du Bassin. Rapport final sur la Régulation des Inondations dans le Bassin de la Medjerda, Résumé, (Janvier 2009 Nippon Koei Co. Ltd.)

¹¹ Etude de Faisabilité : Gestion des Déchets Municipaux de la Vallée de la Medjerda ANGED 2010.

¹² Ibid.



éléments solubles, s'écoulent vers les parties basses des bassins versants et dans le cas de la Medjerda, le bassin versant devient un exutoire et les sels migrent alors vers l'aval du bassin portant notamment préjudice à la qualité de l'eau potable et à la productivité agricole.

16. De même la construction de 9 barrages sur la rivière et sur ses affluents a modifié son régime d'écoulement. Ces barrages sont essentiellement utilisés pour le stockage des eaux en période de crues, pour régulariser leur évacuation pour les besoins d'agriculture et d'irrigation et d'utilisation de ces eaux pendant les périodes de sécheresse (Tableau 3.1). Due à de fortes érosions aux alluvions du cours d'eau et à un manque adéquat de régime forestier, ces barrages ont subi des envasements qui ont diminué leur capacité de stockage, de même il est prévu qu'à cause des changements climatiques, ces capacités de stockage diminueront de 30% à 40% d'ici 2030.

Tableau 3.1 : Envasement des barrages de la Medjerda, 1950-2010

Barrage	Bassin versant	Capacité initiale	Mise en eau	Puissance HE installée	Envasement depuis la mise en eau	Envasement en 2010	Pourcentage d'envasement depuis la mise en eau
	km ²	Millions de m ³	Année	MW	Millions de m ³	Millions de m ³	%
Nébeur-Mellègue	10.300	182	1954	13,0	122	2,5	67
Ben Métir	103	62	1954	9,0			
Kasseb	101	82	1968	0,7	3	0,2	3
Bou Hertma	390	178	1976		6	0,2	5
Sidi Salem	7.950	814	1981	36,0	171	6,8	21
Siliana	1.040	70	1987		17	1,1	24
Lakhmess	127	8	1966		1	0,0	12
Rmel	232	4	2002				
Laaroussia			1950				
Total	20.243	1.399		58,7	319	10,8	23%

Source : Données fournies par le MdA, Barrages et Grands Travaux Hydrauliques, Direction de l'Exploitation des Barrages et Maintenance des Ouvrages Hydrauliques (2010).

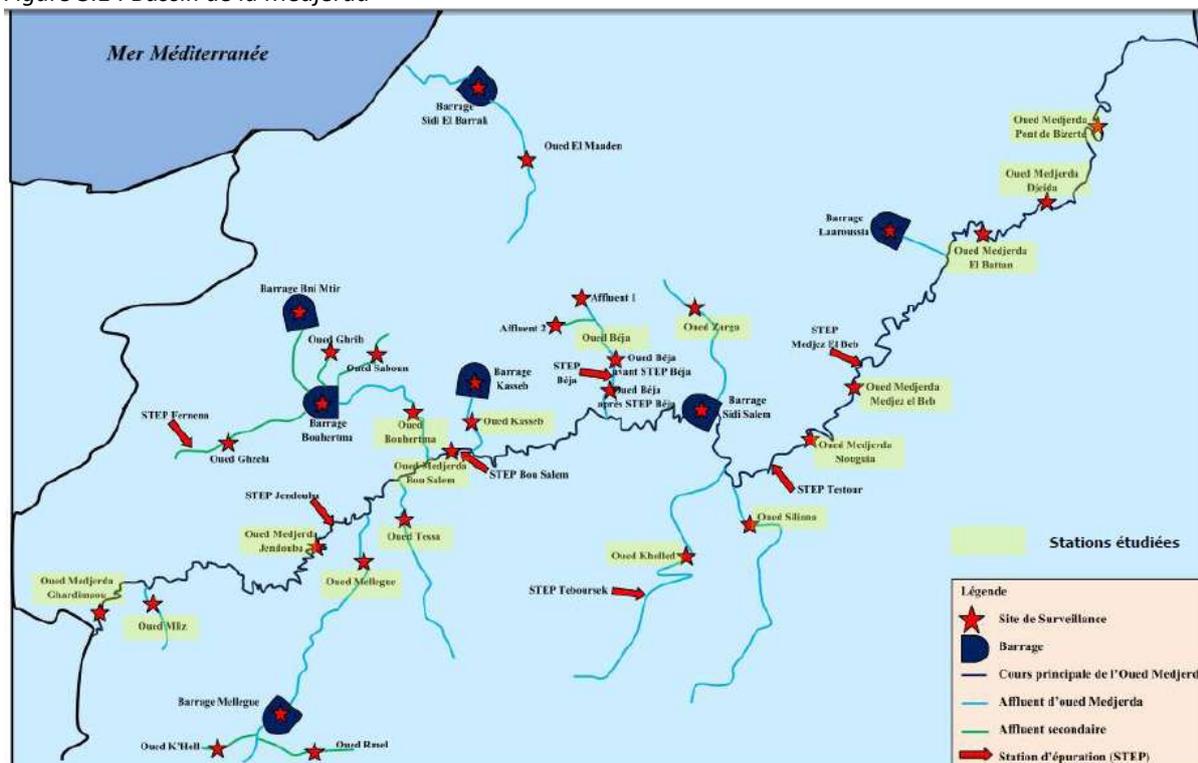
17. Le plus grand barrage de la Tunisie qui est celui de Sidi Salem est sur la Medjerda qui couvre plus de 7.950 km². D'une hauteur de 54 mètres et d'une capacité atteignant 750 millions de m³ avec une surface de réservoir de 4.300 ha, il est muni d'une centrale hydroélectrique de 20 MW et un évacuateur de crue.¹³ Plusieurs autres barrages réservoirs contribuent à contrôler les eaux de ce bassin dont notamment les deux ouvrages mis en service en 1954 : Nébeur sur l'Oued Mellègue, qui couvre 10.300 km² et qui est très fortement envasé à présent avec 122 millions de m³ de capacité perdue depuis 1954 sur 182 millions de m³ au départ (mais 188 sur 306 des cotes des petites hydroélectricités), et Ben Métir, contrôlant 103 km² du bassin versant dans une zone de forte pluviométrie avec une eau de très bonne qualité. Les barrages de Sidi Salem, Nébeur, Bou Hertma et Siliana ont notamment un rôle important pour la gestion des crues et la lutte contre les inondations, et fournissent de l'eau régularisée aux utilisateurs en aval. Les barrages de Kasseb, Lakhmess et Rmel produisent en partie de l'électricité et sont notamment destinés à l'irrigation. Cependant, les cotes des petites hydroélectricités augmentent la sédimentation des lits des rivières en aval et affectent la biodiversité. Enfin, le Barrage de Laaroussia sert à l'irrigation et à l'eau potable à travers : le Canal de Taulierville (ou Grand Canal) construit en 1956 avec une longueur de 56 km, une capacité de 13m³/s, qui sert à l'irrigation des anciens périmètres de la basse vallée de la Medjerda de 31.000 ha ; le sous réseau de la Basse Vallée de la Medjerda sert à l'irrigation des nouveaux périmètres de 6.000 ha ; et le sous réseau du Canal Medjerda – Cap-Bon qui est exploité depuis 1984 avec une longueur de 120 km, un débit de départ de 16m³/s et un débit à l'extrémité de 8,8 m³/s et se termine à la station de traitement de Belli (voir SONEDE ici-bas).

¹³ Site web de Wikipedia: <http://fr.wikipedia.org/wiki/Barrage_de_Sidi_Salem>.



18. La production hydroélectrique (HE), qui est concentrée au nord de la Tunisie, est fortement corrélée à la pluviométrie dans le Nord-est et Nord-ouest de la Tunisie entre les années 2000 et 2010 (coefficient de corrélation de 0,85). La moyenne annuelle sur la période est de 89 millions de kW/h avec une moyenne de 0,7% de la production totale d'électricité.

Figure 3.1 : Bassin de la Medjerda



Note : 6 des 9 barrages sont simplement indiqués.

Source : ANPE Comité de Coopération Marseille Provence Méditerranée Septembre 2011.

19. L'Oued de la Medjerda¹⁴ a été soumis depuis 1973 à des périodes de crues intensives qui ont été dévastatrices sur les deux cotés de la rivière et submergeant des villages notamment la région de Boussalem dans le gouvernorat de Jendouba ainsi que plusieurs autres zones environnant l'oued de la Medjerda comme Jdaïda et El Battan dans le gouvernorat de Manouba. Vu les débits élevés et aigus, les barrages tels que celui de Sidi Salem et celui de Mellègue ont nécessité des lâchers de volumes de crues allant jusqu'à 750 m³ par seconde causant un débordement des lits du fleuve qui a été accompagné par le transport de volumes importants de sédiments le long du lit du fleuve contribuant ainsi à l'accroissement des inondations, à l'augmentation de la « delta-isation » de l'embouchure du fleuve¹⁵ (un engraissement équivalent à 6,2 km² durant le 20^{ème} siècle) et affectant ainsi la biodiversité.

3.2 POLLUTION DU BASSIN DE LA MEDJERDA

20. La pollution de la Medjerda se caractérise par une pollution agricole, industrielle et urbaine.¹⁶ La pollution agricole est due à des concentrations des phosphates, nitrates et engrais due à la production

¹⁴ L'Etude sur la Gestion Intégrée du Bassin Axée Rapport final sur la Régulation des Inondations dans le Bassin de la Medjerda Résumé Nippon Koei Co., Ltd. S-4 Janvier 2009.

¹⁵ Jebari et al. (2012).

¹⁶ Caractérisation des pollutions de l'Oued Medjerda en Tunisie, Comité de Coopération Provence Méditerranée, Agence de l'eau, COPEAU, ANPE, septembre 2011.



des légumes, fruits et céréales et à l'élevage des bovins. De même, l'irrigation des terres engendre une salinité qui dépasse le seuil de 0,2 g/litre de la réglementation européenne pour l'eau potable contre 1% à 1,5% pour la réglementation tunisienne. Cette salinité est due à la salinité des eaux souterraines qui varie de 1,5 à 2 g/litre et peut atteindre jusqu'à 5 à 7 g/litre, et aussi à l'intrusion des eaux marines. Face à la salinisation des eaux dans quelques périmètres de la région du Cap-Bon, les agriculteurs sont acculés à mélanger l'eau souterraine avec l'eau du réseau public, de meilleure qualité, mais d'un coût plus élevé. Le drainage contenant des pesticides et nitrates utilisées pour les activités agricoles a été estimé à 2.213m³/jour.

21. La pollution industrielle est principalement due à l'industrie agro-alimentaire telle que la fabrication des produits laitiers et fromages, la transformation des olives (huile) et tomates et la production de sucre. Les rejets industriels non raccordés au réseau de l'ONAS sont estimés à 221 m³/jour. Cette industrie représente 90% des rejets industriels et constitue 5% des rejets dans les cours d'eau de la Medjerda. D'autres industries telles que le secteur du textile et des industries de plastiques et automobiles génèrent des rejets de 0,44% dans le cours d'eau. Ces rejets liquides estimés à 221 m³/jour contribuent à un niveau élevé de la Demande Chimique d'Oxygène (DCO).
22. La pollution urbaine domestique est due principalement à des rejets des eaux usées urbaines non traitées et estimées à 1,27 millions de m³/an et à des rejets des eaux traitées des 19 stations d'épuration de l'ONAS estimés à 12 millions de m³/an. Les charges polluantes rejetées dans les cours d'eau sont de 886 kg/jour de Demande Biologique d'Oxygène (DBO₅), soit 2.142 kg/jour d'azote et 315 kg/jour de phosphore. Ces charges sont responsables de l'eutrophisation observée sur les retenues des barrages de Sidi Salem et de Siliana. De plus, les eaux usées des villages ne sont pas traitées. Les analyses bactériologiques ont montré des quantités de germes fécaux dépassant 11.000 coliformes totaux/100 ml dans les points d'eau de Jandouba, Bou Salem, la Station de Traitement des Eaux Polluées (STEP) de Béja et de l'Ouest de Siliana.
23. La pollution urbaine est aussi due à une partie des déchets solides estimés à 149.000 tons par an pour les 4 gouvernorats Nord-ouest de la Medjerda.¹⁷ Ce chiffre est triplé lorsque les 6 gouvernorats de la Medjerda sont considérés. La collection des déchets, qui représente 0,71 kg/jour/habitant en moyenne, a un taux de couverture quasi absolu dans les centres urbains, périurbains et certaines communes (couvrant à peu près 30% de la population du Bassin). C'est cependant la gestion après collecte qui pose problème. Ainsi, les déchets collectés dans les 4 gouvernorats Nord-ouest sont enfouis dans 38 décharges répertoriés par GIZ (2011) : 7 décharges (dont Béja, Mejez el Bab, Jandouba et Ain Drahem mises en service en 1999) sont considérées semi-contrôlées mais sont effectivement des décharges sauvages au niveau de leurs impacts sur l'environnement avec une mauvaise gestion de l'enfouissement, des lixiviats (débordement des bassins et rare traitement par l'ONAS) et du dégazage (méthane) ; 24 décharges municipaux sont considérés sauvages et situés sur les rives de la Medjerda et ses affluents ; et 7 décharges, qui sont apparemment institutionnellement orphelines, sont aussi considérés sauvages. Les déchets de ces décharges génèrent une quantité importante de lixiviat qui s'écoule dans les zones périphériques et les oueds limitrophes. A cela s'ajoute les boues des 19 STEPs de l'ONAS (5.580 tonnes de matières sèches de boues stabilisées et de qualité conforme aux normes du pays dont une partie est utilisée comme engrais) qui sont, soit stockées dans l'enceinte des STEPs, soit rejetées dans les oueds et parfois mélangées avec les lixiviats. Par ailleurs, les débris de la destruction/construction (49.000 tonnes) sont aussi déchargés en partie dans ces décharges alors que le reste finit dans les terrains vagues, en pleine nature ou dans les oueds. Enfin, les déchets agricoles et les déchets agro-industriels présentent une opportunité de génération d'électricité mais sont pour la plupart déjà recyclés. Un début de recyclage du plastique est effectué par ECO-lef avec un peu moins de 600 tonnes recyclés en 2010. S'inscrivant dans le Programme National de Gestion Intégrée et Durable des Déchets solides, une étude de GIZ a repris les grandes lignes d'une étude de pré-faisabilité réalisée en 2005 pour mettre en place un système centralisé de gestion des déchets comprenant au

¹⁷ Etude de Faisabilité : Gestion des Déchets Municipaux de la Vallée de la Medjerda ANGED 2010.



moins deux décharges et des centres de transfert, afin de permettre la gestion des déchets générés dans 38 communes.

24. La pollution rurale émanant des déchets liquides et solides reste problématique dans le Bassin de la Medjerda. Ainsi le taux de couverture pour l'assainissement amélioré ne dépasse pas 5% alors que les déchets solides ne sont pas collectés augmentant ainsi le risque de drainage affectant le Bassin. Par ailleurs, les déchets agricoles et les déchets agro-industriels présentent une opportunité de génération d'électricité mais sont pour la plupart déjà recyclés.
25. Pour ce qui est des paramètres liés à la qualité de la ressource,¹⁸ le bassin a une eau de qualité variable selon les oueds et le climat en 2010 mais est considérée en général passable. La salinité des eaux des oueds est très fluctuante et tend à baisser après des inondations mais remonte en période de sécheresse (voir ici bas et Figure 3.2). Les résultats de l'oxygène dissous se conforment aux normes à l'exception de l'Oued Kasseb du fait des rejets chargés en matières organiques provenant des industries agroalimentaires. Les valeurs de la DCO sont d'habitude inférieures à la norme à l'exception de l'Oued Kasseb et de l'Oued Jdaïda. Les matières en suspension sont en général toutes supérieures à la norme surtout pour les oueds Battan, Jdaïda et Gantaret Bizerte. Néanmoins, la pollution en DCO chargée par les matières en suspension n'est pas organique pour ces 3 oueds. Pour ce qui est des nitrates, l'ensemble du bassin est de qualité passable avec des pointes dans les Oueds Kasseb, Béja, Siliana, Kalled et Zarga surtout en décembre qui peuvent favoriser l'eutrophisation. Les concentrations des matières phosphorées dépassent les normes et les eaux sont majoritairement de mauvaise à très mauvaise qualité dues aux effets de lessivage des terres agricoles qui sont très chargées en engrais par les inondations. L'analyse bactériologique dénote des eaux de qualité passable avec Jendouba, Bou Salem, STEP Béja et Siliana étant particulièrement impactés par la présence de germes fécaux à grandes quantités. Ce dépassement touche les coliformes totaux et les entérocoques témoignant d'une éventuelle contamination par les eaux des égouts. Néanmoins, la présence d'entérocoques à des nombres assez élevés montre qu'il y a une contamination assez ancienne des eaux.¹⁹
26. Concernant les sédiments superficiels le long de la Medjerda, les analyses ont permis de confirmer une prévalence variable surtout de métaux lourds et PCB dans les sédiments. Par exemple, l'Oued Kasseb présente une très forte contamination par le PCB et les métaux lourds, principalement par l'arsenic, le cadmium, le plomb et le zinc,²⁰ mais aussi par le cuivre, l'antimoine et le baryum.²¹ Ces métaux lourds proviennent soit des activités industrielles hors agro-alimentaires, des engrais utilisés dans l'agriculture tels que l'arsenic et le cuivre et les déchets dans les décharges sauvages ainsi que les 12 anciennes mines de plomb, zinc, fer et cadmium.
27. Ainsi, la quasi-totalité de ces mines, dont l'exploitation a débuté à la fin du XIX^{ème} siècle, ont été abandonnées dans la région de la Medjerda au fil de ces dernières décades. Reste : la production de minerais de fer à Jerrissa dans le gouvernorat du Kef (107.000 tonnes en 2010) ; la production de minerais de fer (363.690 tonnes), de zinc (76.560 tonnes) et de plomb (9.890 tonnes) de Bougrine toujours dans le Kef ; et la réouverture prochaine des mines de phosphates de Sra Ouertane dans le gouvernorat du Kef.²² Cependant divers études mettent en évidence le risque persistant de transfert de métaux lourds dans la chaîne alimentaire en aval des anciennes mines comme par exemple des teneurs en plomb, zinc et cadmium très élevés en aval de l'ancienne mine de l'Akhout dans le gouvernorat de Siliana.²³
28. Concernant les ressources en eau de surface, la salinité mesurée dans le cours principal est globalement élevée (Figure 3.2). Ceci est principalement dû aux apports en eau provenant des

¹⁸ Caractérisation de la Pollution dans l'Oued de la Medjerda (2011).

¹⁹ Ibid.

²⁰ Héliali M.A. et al. 2009. Revue Méditerranéenne de l'Environnement 3 (2009) 485-497 496.

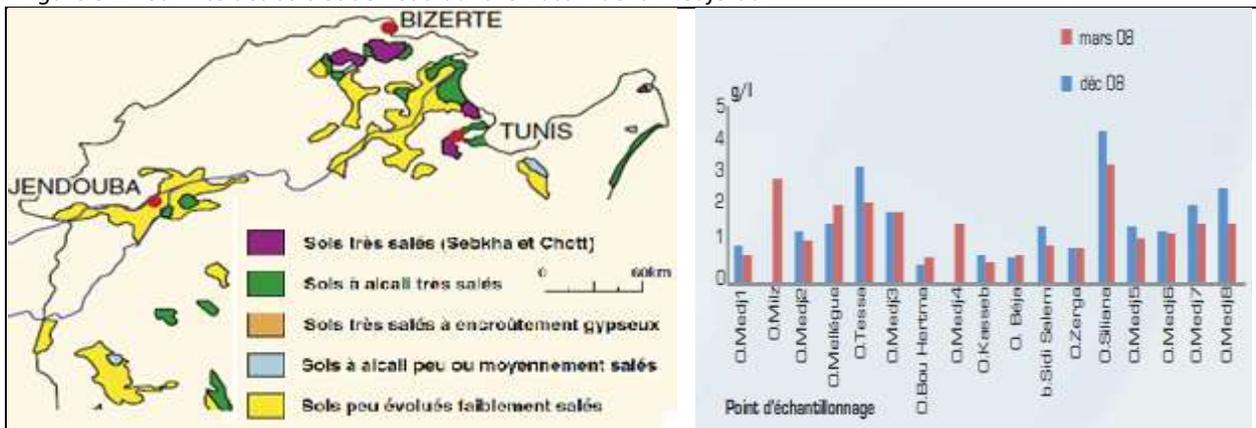
²¹ Ibid.

²² USDI (2012).

²³ INGREF. 200-. Etudes de la mobilité des métaux lourds à partir des rejets miniers du site l'Akhout.

affluents de la rive droite (Oueds de Siliana et Tessa) dont la salinité est élevée mais également à l'absence de crues durant cette période et à la baisse du niveau de l'eau de la Medjerda par évaporation se traduisant par une concentration saline. Par contre, c'est au niveau de l'Oued Kasseb (rive gauche) que l'on trouve la salinité la plus faible. Par ailleurs, la salinité augmente sensiblement en décembre par rapport au mois de mars.²⁴ Toujours est-il que la Tunisie a réalisé plusieurs mises en valeur de sols affectés par les sels surtout au centre et au sud du pays acquérant ainsi une unique expérience dans le domaine.

Figure 3.2 : Salinité des sols et de l'eau dans le Bassin de la Medjerda



Source : Hachicha (2007) ; et Copeau Bulletin No. 2 (2008).

29. Concernant la salinité des sols, la pénurie et la variabilité de la pluie et la forte évaporation affectent l'eau et l'équilibre des sels dans les sols ou plusieurs parties du bassin de la Medjerda sont constituées de sels solubles. Ainsi, les eaux de ruissellement et de drainage, enrichies en éléments solubles, qui sont d'origine naturelle et/ou anthropogénique (eaux de ruissellement de l'eau d'irrigation chargée d'azote), s'écoulent vers les parties basses des bassins versants.²⁵ Selon la Figure 3.2, la région de Jendouba et la basse Medjerda ont des sols peu évolués faiblement salés à l'exception du versant de la rive gauche (Siliana et Tessa) et l'embouchure du fleuve qui comprennent des sols à alcali très salés.
30. En résumé, la qualité de l'eau et des terres agricoles est affectée par la salinité avec une incidence sur la qualité de l'eau du Grand Tunis (teneur en sel) et la productivité agricole dans certains endroits du Bassin. Selon la saison (humide ou sèche dont l'intensité et la fréquence seront exacerbées par les changements climatiques), l'érosion le long de la Medjerda affecte la capacité de stockage des barrages et la gestion de ces derniers durant les grandes crues nécessitent des lâchers qui inondent les plaines agricoles en aval, sédimentent les lits des oueds, « delta-ise » les zones côtières et affectent la biodiversité. Aussi, la qualité de la ressource en eau est largement affectée par les sources de pollution hydrique d'origine anthropogénique et se synthétisent comme suit:
- les rejets d'eaux industrielles non raccordées au réseau de l'ONAS;
 - les rejets des eaux traitées issues des STEPs ;
 - les rejets des eaux usées urbaines non traitées ;
 - les drainages des eaux usées rurales non traitées ;
 - les drainages des pesticides, phosphates et nitrates utilisés par les activités agricoles;
 - les drainages des eaux usées dus aux activités d'élevage;
 - les drainages des abattoirs ;
 - les transferts des métaux lourds des anciennes mines et d'une mine toujours en activité ; et
 - les drainages issus des déchets solides et des lixiviats surtout durant la saison des pluies.

²⁴ Copeau Bulletin No.2 (2008).

²⁵ Hachicha (2007).



3.3 CADRE ORGANISATIONNEL ET INSTITUTIONNEL DU BASSIN DE LA MEDJERDA

31. Les principales institutions publiques responsables de la gestion et/ou contribuant au contrôle de la pollution du bassin de la Medjerda sont:
- A. Le Ministère de l'Agriculture ;
 - B. Le Ministère de l'Environnement (MdE) ; et
 - C. Le Ministère de la Santé Publique (MdSP).

3.3.1 Ministère de l'Agriculture

32. Conformément à l'article 2 de décret No. 2001-419, le MdA est chargé de la gestion de l'eau. Il est aussi responsable des activités agricoles, des ressources naturelles, de la conservation des sols, du domaine végétal et de la foresterie ainsi que la gestion des grands barrages. Le Ministère mène ses fonctions au siège central par les directions centrales, et à l'extérieur du siège par des institutions semi-autonomes telles que les Commissariats Régionaux au Développement Agricole (CRDA), l'Office de Développement Sylvo-Pastorale du Nord-ouest (ODESYPANO) et d'entreprises publiques telles que la Société Nationale d'Exploitation et de Distribution des Eaux (SONEDE). Pour la Medjerda, les directions générales et institutions suivantes sont impliquées au niveau central :
- a) **La Direction générale des Barrages et des Grands Travaux Hydrauliques (DGBGTH)** est responsable de la gestion, la régularisation et le suivi de la qualité des eaux des barrages et de leurs infrastructures. La DGBGTH est responsable de la mise en œuvre de la politique des barrages et prépare un rapport journalier sur l'état des barrages, leur capacité, leur niveau d'envasement qui n'a pas été maîtrisé lors de leur construction. Avec l'assistance de la JICA, la DGBGTH a préparé une étude Relative à la Gestion Intégrée du Bassin Axée sur la Régulation des Inondations dans le Bassin de la Medjerda. L'objectif principal de cette étude est de préparer un plan directeur sur la gestion intégrée du bassin axé sur l'inondation de l'Oued de la Medjerda.
 - b) **La Direction Générale des Ressources en Eau (DGRE)** en eau est responsable du réseau hydrométrique de la Medjerda et de ses eaux de surface et souterraines. La DGRE fait le suivi de la salinité des eaux et des nitrates de la Medjerda à des fins agricoles et d'irrigation.
 - c) **La Direction Générale de l'Aménagement et de la Conservation des Terres Agricoles (DGACTA)** est responsable de l'évaluation des ressources naturelles, la conservation des sols, la préservation des aspects hydrologiques et hydrogéologiques. La DGACTA a commencé à préparer les inventaires des bassins versants et la caractérisation des sols. La DGACTA fait le suivi de ses activités se basant sur 5 indicateurs pour la budgétisation des objectifs tel que le pourcentage : (i) des terres agricoles étudiés et suivies ; (ii) les terres agricoles irriguées ; (iii) les terres aménagés par la CES ; (iv) les terres aménagés et entretenues ; et (v) les terres agricoles dont la vocation a changé.
 - d) **La Direction Générale du Génie Rural et de l'Exploitation des Eaux (DGGREE)** assure les études, la gestion et la distribution de l'eau agricole dans les périmètres irrigués y compris les eaux usée traités (EUTs) ainsi que l'eau potable dans le milieu rural dispersé. L'eau d'irrigation était plutôt dirigée vers les grands travaux hydrauliques et pas assez vers les petites et moyennes hydrauliques qui sont toujours confrontés à des problèmes fonciers dus au manque d'études socio-économiques.
 - e) **La Direction Générale des Forêts (DGF)** a pour mandat de veiller à la protection et la gestion du domaine forestier de l'État conformément au code forestier refondu (Loi 88-20 du 13/04/1988) ainsi que les décrets et avis y afférant. La DGF possède aussi des directions dans les gouvernorats de la Medjerda. La DFG est le point focal pour l'adaptation aux changements climatiques et responsable de la stratégie sylvo-pastorale qui inclue le reboisement des bassins versants des barrages et des lacs collinaires dans l'Oued de la Medjerda.



- f) **La Direction Générale des Pesticides Agricoles (DGPA)** est responsable de l'importation et le suivi des pesticides, des analyses des résidus des pesticides dans l'acériculture et l'arboriculture.
- g) **La SONEDE** est une entreprise publique à caractère industriel et commercial dotée de l'autonomie financière et sous tutelle du MdA. Elle est responsable de la production et la distribution de l'eau potable ainsi que la gestion des eaux industrielles. Pour l'Oued de la Medjerda, le complexe de Ghdir El Golla (GEG) situé au nord-ouest de la Capitale maintient une réserve en eau brute permettant la sécurisation de l'alimentation, assure le traitement des eaux potables nécessaires au Grand Tunis (gouvernorats de Tunis, de l'Ariana, de Ben Arous et de la Manouba) et fournit un appoint pour le Cap-Bon (gouvernorat de Nabeul) et les gouvernorats de Zaghouan et Bizerte selon les besoins. Ces eaux proviennent de deux barrages de Sidi Salem sur l'Oued de la Medjerda ainsi que des barrages du Nord-ouest qui passent par le canal Medjerda/Cap-Bon. La capacité de production du complexe est de 600.000 m³/jour. Le complexe GEG, qui entreprend des analyses physico-chimiques à l'entrée et la sortie du complexe, produit une eau de bonne qualité avec un taux de détection infirme de 1,5% et qui est bien en deçà des normes de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) de 5%. Une gestion efficace et ingénieuse du complexe GEG, qui repose sur un mélange d'eau en provenance du Canal Medjerda (Medjez El Bab), le Barrage Kasseb (Amdoun) et le Barrage Béni Métir (Fernana), assure une eau potable sans contamination bactériale après traitement mais des problèmes peuvent se poser lors de la distribution de l'eau qui fait que cette dernière est des fois contaminée par des infiltrations comme par exemple lors de travaux de réparation du réseau. De plus, deux stations de traitement des eaux de Belli avec une capacité totale de 80.000 m³/jour se trouvent au sud de la délégation de Grombalia, à 42 km de Tunis. L'eau brute en provenance des barrages des Eaux du Nord (Joumine, Sidi Salem et Sejnane) via le canal Medjerda/Cap-Bon est traitée au niveau de ces stations et permet l'alimentation des régions du Cap-Bon, du Sahel (gouvernorats de Sousse, de Monastir et de Mahdia) et de Sfax. Aussi, la station, située dans la délégation de Aïn Draham, traite les eaux du barrage de Ben Métir, produit un volume journalier de 110.000 m³/jour véhiculé vers Tunis et permet, en cours de route, d'alimenter en eau potable plusieurs villes et villages du Nord-ouest tunisien. Tout cela pour dire qu'il y a un jumelage des ressources en eau de plusieurs bassins versants et qui desservent le Grand Tunis ainsi que des régions avoisinantes. Ce jumelage ne permet pas de faire une distinction précise quant à l'origine de l'eau mais cela permet entre autre de réduire la salinité de l'eau potable surtout en été qui est destinée au Grand Tunis et à ses Alentours.
- h) **La Société d'Exploitation du Canal et des Adductions des Eaux de Nord (SECADENORD)** assure le fonctionnement, la gestion, l'exploitation et l'entretien du canal et des conduites de transfert des eaux des barrages de Sidi Salem, du Lac Ichkeul, et de l'extrême Nord de la Tunisie vers leur utilisation. Cette Société est responsable de la répartition et de la vente des eaux des barrages aux différents organismes tels que la SONEDE et les CRDA (voir ci-dessus). La SECADENORD vend à la SONEDE le m³ d'eau à 0,37 DT qui le revend à l'utilisateur à 1,45 DT le m³ pour la première tranche. La SONEDE couvre le déficit de sa propre trésorerie : en effet le coût moyen de revient est de 7,16 DT alors que le coût moyen de vente est de 5,62 DT par m³. Les tarifs ont été bloqués à partir de 2005 mais une augmentation a été autorisée en 2010.
- i) **L'Institut National Agronomique de Tunisie (INAT)** est un établissement d'Enseignement et de Recherche Agronomique sous la double tutelle du MdA et du Ministère de l'Enseignement Supérieur. L'INAT a conduit des analyses physico-chimiques ainsi que des analyses biologiques sur les nitrates, ortho-phosphates et nitrites. Le centre entreprend une évaluation des risques de la qualité des eaux de la Medjerda qui sera complétée en 2013.
33. Les institutions suivantes sont impliquées dans le bassin de la Medjerda au niveau régional et local :
- a) **Les CDRA** sont chargés de la mise en œuvre de la politique agricole au niveau local et régional et sont placés sous la tutelle de MdA. Les CRDA exercent les missions de l'agriculture et en relation avec le gouverneur conformément à la législation et à la réglementation en vigueur. Les CRDA réalisent les opérations d'apurement foncier et suivent les opérations de la réforme agraire des terres agricoles.



Ils sont aussi responsables de gérer les infrastructures hydro-agricoles et d'alimentation des différents périmètres. Les 4 CRDA, qui couvrent les 4 gouvernorats administratifs de l'Oued, sont les représentants des services centraux du MdA.

- b) **L'ODESYPANO** est une entité, semi-autonome sous la tutelle du MdA et est un Etablissement Public à Caractère Non-Administratif depuis 1996. Son mandat est la mise en œuvre de la politique agricole dans les zones montagneuses et forestières du Nord-ouest et de protéger les écosystèmes vulnérables et de développer les infrastructures rurales dans cette région. C'est une structure décentralisée siégeant à Béja avec la juridiction régionale d'exécuter les politiques de développement national dans les 6 gouvernorats de Béja, Jendouba, Le Kef, Siliana, Ariana et Manouba qui sont traversés par la Medjerda. L'ODESYPANO et les CRDA des 6 gouvernorats de l'Oued de la Medjerda collaborent étroitement cependant les activités et investissements des zones montagneuses relèvent de la responsabilité de l'ODESYPANO tandis que les activités et investissements dans les plaines et les prairies sont gérées pas les CRDAs.

3.3.2 Ministère de l'Environnement

34. Le MdE a pour mandat la protection des ressources naturelles et la lutte contre la pollution, à la protection de la qualité de la vie et la lutte contre les impacts des changements climatiques et de la désertification. Ce Ministère est aussi impliqué dans les investissements et le contrôle de la pollution à travers :
- a) **La Direction Générale de l'Environnement et de la Qualité de Vie (DGQEV)** est une des directions clés pour formuler et mettre en œuvre la politique environnementale nationale. La DGQEV a entrepris un nombre d'études qui incluent l'Oued de la Medjerda, dont l'inventaire des principales sources potentielles de pollution ainsi que la mise en place d'un réseau national de surveillance de la pollution des eaux, qui incluent 25 stations de surveillance au long du cours d'eau de la Medjerda, la stratégie et le plan d'action de la biodiversité, les plans d'aménagement des parcs nationaux, la Stratégie nationale d'adaptation de l'agriculture tunisienne et des écosystèmes aux changements climatiques (avec l'assistance de la GIZ), santé et changement climatique ainsi que les études des margines et décharges sauvages au niveau national. La DGQEV participe aussi à la réalisation du Projet d'investissement dans le Secteur de l'Eau (PISEAU) II qui est financé par la Banque mondiale, l'Agence française de Développement et la Banque africaine de Développement et qui inclut les quatre CRDA du Nord-ouest.
- b) **L'Agence Nationale de Protection de l'Environnement²⁶ (ANPE)** a pour mandat la lutte contre toutes les sources de pollution et de nuisance ainsi que le contrôle et suivi des rejets polluants et des installations de traitement desdits rejets. Le département de contrôle et suivi de la pollution est responsable de la surveillance et du contrôle de la pollution de l'air, de l'eau et des sols. Ce département au sein de l'ANPE avec le concours de l'université de Liège ont mis en œuvre le projet COPEAU qui est un Réseau de Contrôle de la Pollution de l'Eau. Le département a publié un rapport exhaustif *Caractérisation des pollutions de l'Oued Medjerda* en septembre 2011 en collaboration avec le Comité de Coopération Marseille Provence Méditerranée. Ce rapport, qui a été utilisé pour l'étude du coût de la dégradation des ressources en eaux, a identifié les sources de la pollution tout au long de l'Oued de la Medjerda, a mesuré la qualité des eaux de surfaces du point de vue physico-chimique et bactériologique ainsi que la qualité physico-chimique des sédiments en surface. Le département a aussi procédé avec l'Université de Liège-Aquapôle à une étude de faisabilité²⁷ d'une méthodologie de modélisation du bassin versant de la Medjerda en vue d'utiliser le modèle PEGASE développé par l'Aquapôle, pour établir une relation pression/impact sur les charges de pollution et la qualité de l'eau de la Medjerda. Le rapport a conclu que la modèle PEGASE peut s'appliquer moyennant l'adaptation du modèle au contexte local du bassin.

²⁶ Site web de l'Agence National de Protection de l'Environnement : <www.environnement.gov.tn>.

²⁷ J-F. Deliège, T. Bourouag, C. Blockx, X. Detienne, E. Everbecq, A. Grard, rapport sur l'étude de modélisation à l'échelle globale du bassin versant de la Medjerda, Aquapôle Campus de l'Université de Liège, Septembre 2009.



- c) **L'Office National de l'Assainissement (ONAS)** a pour prérogative la lutte contre les sources de pollution hydriques, ainsi que la planification, la gestion, l'exploitation et le maintien des stations d'assainissement au niveau des zones urbaines. L'ONAS a un plan pour l'assainissement dans le monde rural et plus généralement dans les villages de plus de 4.000 habitants en 2021. Une étude pilote de l'assainissement rural a montré l'ampleur du problème : presque la moitié de la population n'est pas accordée à un réseau d'assainissement et 20% de la population utilise encore des fosses septiques. Aussi le problème des rejets industriels n'a pas encore été résolu et les stations d'épuration continuent à recevoir des rejets industriels mélangés aux eaux usées domestiques sans prétraitement. Il existe aussi un vide institutionnel concernant la mise en place et gestion des stations d'épurations dans les villages de plus de 4.000 habitats. Ces villages ne relèvent ni du mandat de l'ONAS, de la DGGREE ou de la SONEDE.
- d) **L'Agence Nationale de Gestion des Déchets (ANGed)** est un établissement public créé en 2005 sous la tutelle du Ministère de l'Environnement et doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière. Sa mission est de planifier, promouvoir et accompagner les collectivités locales dans la gestion durable des déchets et principalement dans l'enfouissement et le traitement des déchets ménagers. Avant l'établissement de l'ANGed; quatre décharges semi contrôlées ont été construites dans la vallée de la Medjerda Béja, Jendouba, Medjez el Bab et Siliana avec l'assistance de la coopération technique allemande et gérées principalement par l'ONAS. Le Gouvernement allemand a donné son accord de principe en 2005 pour le cofinancement d'un système pour la gestion intégrée des déchets municipaux dans la région de la Vallée de la Medjerda. Une étude de pré-faisabilité a été réalisée en 2007 et qui a été suivie par une étude de faisabilité²⁸ qui a été complétée en juillet 2010. Cette étude propose de traiter tous les déchets municipaux urbains (ménagers, plastiques, boues des STEPs, déchets industriels banals et déchets d'activités sanitaires) d'une quantité annuelle moyenne de 224.537 tons. Cependant, les déchets ménagers ruraux ne seront pas pris en considération.

3.3.3 Ministère de la Santé Publique

35. Le MdSP²⁹ a pour mandat la planification, la mise en œuvre et le contrôle de la politique de la santé publique dans les domaines de la prévention, des soins, du médicament, des stupéfiants et des laboratoires, et de la réadaptation. L'une des attributions dans le domaine de la prévention est de prévoir et éviter des répercussions sur la santé de la population et notamment dans, de l'eau de consommation. Le Ministère procède à des analyses systématiques de la qualité de l'eau potable à la sortie des stations de traitement jusqu'au robinet. Les eaux de la Medjerda sont des eaux riches en matières organiques et sensibles aux germes. Cette eau est traitée au niveau de la GEG moyennant la pré-chloration qui peut donner un effet néfaste pour ce qui est de la santé et pour laquelle la performance doit être améliorée sans la pré-chloration. Cette amélioration est sous étude avec la SONEDE.

3.3.4 Conclusions

36. Les diagnostics et analyses qui ont été entrepris par ce grand nombre d'institutions permettent de tirer trois conclusions :
- L'intensification des ressources naturelles (notamment eaux et sols) et l'envasement des barrages sont plus importants que la pollution hydrique.
 - Les institutions et agences chargées des programmes et rapports techniques sur le bassin de la Medjerda travaillent chacune dans un secteur bien défini, cependant, la coordination et les échanges d'information et d'expérience sur le bassin sont faibles et des renforcements horizontaux entre ces institutions sont à considérer.
 - Les appréciations qualitatives et quantitatives des impacts sur les ressources naturelles sont généralement bien cernées d'un point de vue technique, cependant, les évaluations économiques de ces impacts sont quasiment inexistantes.

²⁸ Etude de Faisabilité : Gestion des Déchets, Municipaux de la Vallée de la Medjerda, Phase 1 – Diagnostic de la Situation Actuelle et Définition des Objectifs, juillet 2010.

²⁹ Site web : <<http://www.santetunisie.rns.tn/msp/presentation/role.html>>.



37. C'est suite à ce manque d'évaluations économiques des impacts que s'inscrit l'évaluation des coûts de la dégradation et dans certains cas de la restauration des ressources en eau du bassin de la Medjerda. Cette évaluation permet ainsi de quantifier, même de façon approximative, et de donner un ordre de grandeur des coûts économiques associés aux impacts environnementaux pour en tirer un manque à gagner régional et national. Cette évaluation permet également, à travers la ventilation sectorielle des coûts de dégradation et de la rentabilité des alternatives du coût de la restauration, d'aider les décideurs à établir des priorités sectorielles.



4. Revue des Coûts de la Dégradation Environnementale en Tunisie

38. De nombreuses études sur la dégradation de l'environnement à l'échelle nationale, régionale et sectorielle ou sur les avantages tirés suite à une réduction de la pollution ont été réalisées en Tunisie au cours des douze dernières années. Les résultats de ces évaluations, qui couvrent d'habitude une année de base, sont illustrés dans la Figure 4.1.

39. Le projet METAP/Banque mondiale,³⁰ l'Economic Research Forum en Egypte et la Commission européenne ont estimé le coût de la dégradation de l'environnement au niveau national, en utilisant chacun des méthodologies différentes. Les résultats sont comme suit :

- **En 2004, le METAP/Banque mondiale a publié le coût de la dégradation de l'environnement en utilisant les données de l'année 1999 couvrant 6 catégories : air ; eau ; déchets ; sols et biodiversité ; zones côtières et patrimoine culturel ; et environnement global.**³¹ Ces coûts ont été estimés entre 383 et 662 millions de DT en 1999 par an, soit 1,5 à 2,7% du PIB, avec une estimation moyenne de 522 millions de DT soit 2,1% du PIB.³² A cela s'ajoute le coût des dommages sur l'environnement global estimé à près de 0,6% du PIB. Le coût de la dégradation due à l'eau a été estimée à 0,61% du PIB soit de 153 millions de DT en 1999. En comparaison avec d'autres pays de la région, ces coûts sont relativement moins élevés, et sont en fait les plus bas en termes de pourcentage du PIB parmi les 7 pays de la Région du Machrek et du Maghreb où le coût de la dégradation a été évalué. Cependant, ces coûts ne sont pas négligeables et indiquent que les dommages les plus importants se situeraient dans deux domaines : (i) la santé publique, en particulier en ce qui concerne les maladies hydriques liées au manque d'assainissement dans le milieu rural, les maladies respiratoires liées à la pollution de l'air, et l'impact du manque d'élimination et de traitement des déchets ; et (ii) la productivité des ressources naturelles, notamment la perte de productivité agricole due à la dégradation des sols, et l'impact sur les valeurs immobilières dû au manque d'élimination et de traitement des déchets.³³
- **En 2007, la Banque mondiale a évalué la dégradation des eaux de surface, souterraines et côtières à l'échelle nationale en Tunisie.**³⁴ Les coûts ont été estimés à environ 0,5-0,7% du PIB, avec une moyenne de 0,6% du PIB ou 203 millions de DT en 2004. Le rapport a montré que la perte de la productivité agricole irriguée est la plus significative, suivie par celle due à la surexploitation des eaux souterraines. L'agriculture est affectée principalement comme l'indique la Figure 4.1 par la salinité (58%) ; suivi par la sédimentation des barrages (39%) mais les effets sur l'agriculture dus aux eaux usées non traitées est faible (3%).
- **En 2011, l'Economic Research Forum a ré-estimé le coût de la dégradation couvrant 3 catégories : air ; eau (maladies hydriques) ; et dégradation des terres agricoles.**³⁵ Les coûts ont été estimés à environ 2,5% du PIB total dont l'impact sur l'eau était aux environs de 0,41% PIB soit 165 millions de DT pour les maladies hydriques en 2008. Malgré que cette estimation ait été calculée 10 ans après celle de la Banque mondiale, cette évaluation est du même ordre de grandeur que celle estimée par l'étude de la Banque mondiale qui se réfère à 1999.
- **En 2011, la Commission européenne a estimé les avantages accrus pour l'environnement couvrant 5 catégories : air ; eau ; nature ; déchets ; et environnement global.**³⁶ Les avantages tirés ont été estimés à 4% du PIB de 71,6 milliards de DT en 2020 estimé au cas où la pollution venait à être réduite de $\pm 50\%$ en 2020 par rapport à 2008. La part de l'eau dans ces avantages a

³⁰ Site web de la Banque mondiale: <www.worldbank.org>.

³¹ Sarraf et al. (2004).

³² En 1999 le PIB Tunisien était estimé à près de 25 milliards de DT alors qu'il est effectivement de 27,2 milliards de DT.

³³ Il est important de noter que la faiblesse relative du coût de la dégradation de l'environnement dû au problème de gestion des déchets est essentiellement du au fait qu'il n'a pas été possible d'entamer une estimation exhaustive de l'impact des déchets sur la santé et les ressources naturelles. Ainsi, l'impact du manque de traitement des déchets industriels et hasardeux n'est pas inclus dans l'estimation.

³⁴ Banque mondiale (2007).

³⁵ ERF (2011).

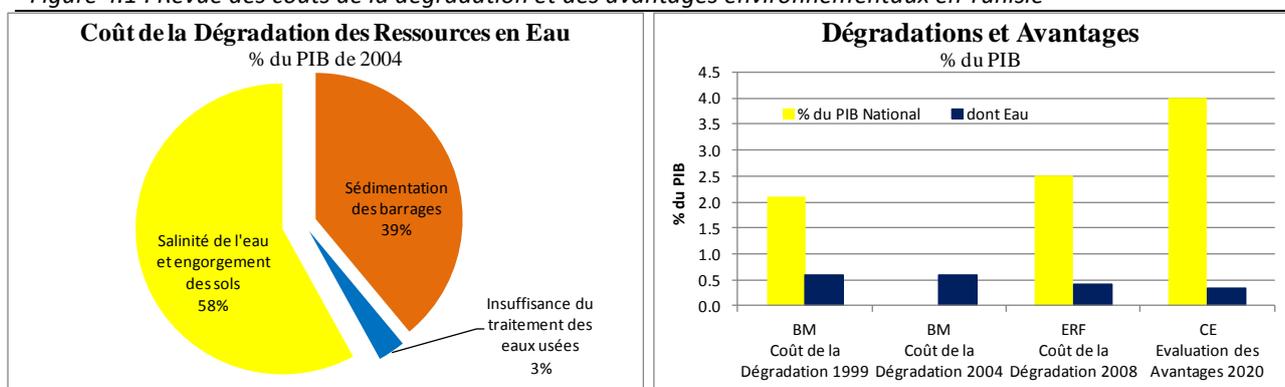
³⁶ EC ENPI (2011).



été estimée à 0,7% du PIB de 2020 soit 514 millions de DT comprenant les maladies hydriques ainsi que la dégradation des ressources en eau. En d'autres termes, dans le cas où la pollution ne pourrait pas être réduite de 50% en 2020, le coût de la dégradation considéré comme un avantage perdu pourrait atteindre au minimum l'équivalent de 4% du PIB en 2020.

40. En se basant sur l'étude sectoriel susmentionnée et dans laquelle une partie importante de la dégradation de l'eau était aussi causée par les dommages des sédiments des bassins versants tels que l'envasement des barrages, la Banque mondiale a mené une étude spécifique sur la génération des avantages environnementaux pour améliorer la gestion des bassins versants en Tunisie³⁷ et plus particulièrement dans le bassin versant de Barbara situé au nord du bassin versant de la Medjerda. L'étude a conclu que l'ensemble des pratiques de conservation des terres dans ce bassin tel que le reboisement avec les espèces d'eucalyptus, d'acacia et de chêne liège, a engendré pendant la période 1994-2008 un avantage additionnel net pour le pays variant entre 3,3 et 23,8 millions de DT. De même l'envasement des barrages serait causé par les sédiments des bassins versants et non pas par l'érosion des terres dont leurs sédiments sont déposés sur les pentes et n'atteignent pas nécessairement le réservoir du barrage Barbara.

Figure 4.1 : Revue des coûts de la dégradation et des avantages environnementaux en Tunisie



Source : Sarraf et al. (2004) ; Banque mondiale (2007) ; ERF (2011) ; et EC ENPI (2011).

41. Les résultats des coûts de la dégradation environnementale ont montré les mêmes ordres de grandeur de la dégradation de l'eau en fonction du PIB (0,4-0,6% du PIB) malgré que ces études ne reposent pas sur les mêmes méthodologies, ne couvrent pas les mêmes et le nombre de catégories, et n'ont pas la même année de base pour l'évaluation. Cependant, en valeur relative, ce ratio a été plus ou moins maintenu vu que le taux de croissance du PIB en Tunisie peut être supérieur au taux de croissance de la pollution comme par exemple le *Programme National Anti-Diarrhée* qui a diminué le coût de la mortalité infantile d'un facteur de 10 entre 1999 et 2004.³⁸ En valeur absolue, le coût de la dégradation augmentera vu que le PIB effectif aux prix courants³⁹ soit passé de 27,2 milliards de DT en 1999 à 38,8 milliards de DT en 2004 pour atteindre 63,4 milliards de DT en 2010 malgré que le taux de pollution soit supposé diminué, vu le programme ambitieux du gouvernement se rapportant à l'eau potable, l'assainissement urbain et la gestion des déchets.
42. L'étude du coût de la dégradation des ressources en eau du bassin de la Medjerda tiendra compte de ces estimations préalables mais se focalisera pertinemment sur les dommages causés par la pollution hydrique et par la dégradation des ressources naturelles.

³⁷ Croitoru et al : Génération des bénéfices environnementaux pour améliorer la gestion des bassins versants en Tunisie, Banque mondiale, rapport No 50192-TN, Novembre 2010.

³⁸ Banque mondiale (2007).

³⁹ World Bank Indicators (2011).



5. Méthodologie, Calibrage et Limites de l'Évaluation, et Catégorie

43. Les coûts de la dégradation ont été évalués en utilisant les données disponibles dont la source ne peut pas être entièrement fiable. De plus, les lacunes dans les données ont nécessité de faire plusieurs hypothèses. Les résultats sont donc considérés **à titre indicatif** et permettent de fournir un ordre de grandeur. Cependant, les résultats sont considérés comme utiles afin de montrer le potentiel en valeurs relatives et peuvent ainsi avoir un usage comparatif.
44. Par ailleurs, il est difficile de délimiter de façon précise la dégradation de l'environnement qui est strictement d'origine naturelle et celle qui est strictement d'origine anthropogénique. Dans certains cas de figure, il y a chevauchement entre les deux causes de la dégradation où se produit un renforcement mutuel comme par exemple, la salinité naturelle des sols et de l'eau qui est exacerbée par les pratiques humaines.

5.1 METHODOLOGIE

45. Les techniques d'estimation d'impact et d'évaluation économique retenues sont principalement dérivées des méthodes éprouvées et synthétisées dans le Manuel de la Banque mondiale sur le **Coût de la Dégradation**,⁴⁰ le Manuel de la Commission européenne sur le **Benefit Assessment**⁴¹ ainsi que d'autres manuels et sources de référence comme les publications de **The Economics of Ecosystems and Biodiversity** (TEEB), elles aussi financées par la Commission européenne en coopération avec le Gouvernement allemand.⁴² Les principales méthodes d'estimation d'impacts se regroupent autour de 3 piliers (Figure 5.1):
- Changement dans la production.
 - Changement de l'état de santé avec la dose-réaction afin d'établir la fonction entre polluant (inhalation, ingestion, absorption ou exposition) et maladie.
 - Changement de comportement avec deux sous-impacts: préférences révélées ; et préférences énoncées.
46. Les méthodes d'évaluation économique sont regroupées sous chaque pilier (Figure 5.1).
47. Pour le changement dans la production, trois méthodes sont suggérées :
- Valeur des changements dans la productivité comme par exemple une baisse de la productivité agricole due à la salinité et/ou la perte de matières nutritives dans les sols;
 - Approche du coût de l'opportunité comme par exemple le manque à gagner à ne pas réutiliser et revendre les matières recyclées des déchets ;
 - Approche du coût de remplacement lorsque par exemple le coût de la construction d'un barrage qui doit être remplacé par un barrage qui a été ensablé.
48. Pour le changement de santé, deux méthodes sont suggérées :
- Valeur associée à la mortalité à travers 2 méthodes : le manque à gagner future dû à la mort prématurée ; et le consentement à payer pour réduire le risque de mort prématurée. Seule, cette dernière méthode est utilisée dans cette étude.
 - L'approche des coûts médicaux comme par exemple les coûts engendrés lorsqu'un enfant de moins de 5 ans est pris à l'hôpital pour être guéri d'une diarrhée.
49. Pour le changement de comportement, deux méthodes sont suggérées :
- Comportement révélé en dérivant des coûts associés au comportement : coût hédonique pour par exemple les coûts de terrains autour d'une décharge ; méthode du voyage en essayant de dériver les

⁴⁰ Site web de la Banque mondiale : <www.worldbank.org>.

⁴¹ Site web de l'EC ENPI BA : <www.environment-benefits.eu>.

⁴² Site web de TEEB: <www.teebtest.org>.

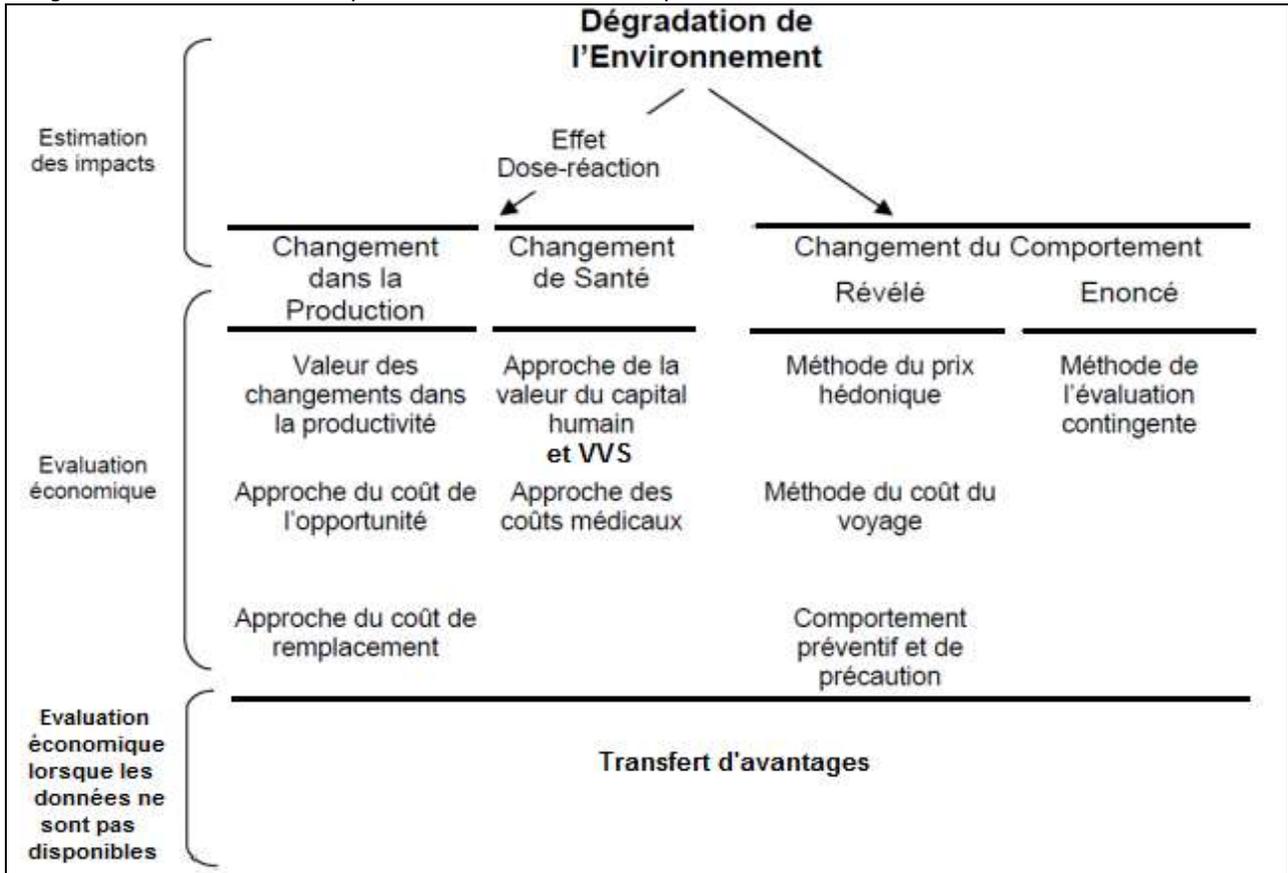


coûts du voyage pour visiter un lieu spécifique comme le Lac Ichkeul ; comportement préventif comme lorsqu'un ménage achète un filtre pour l'eau potable.

- Comportement énoncé où une évaluation contingente permet de dériver un consentement à payer grâce à une enquête comme par exemple, améliorer la qualité des ressources en eau.

50. Au cas où les données ne sont pas disponibles, un transfert d'avantages peut être effectué d'études ayant été faites dans d'autres pays en ajustant les résultats pour le différentiel du revenu, d'éducation, de préférence, etc. Les résultats d'origine reposent sur l'une des méthodes d'évaluation économique des 3 piliers susmentionnés.

Figure 5.1 : Estimation des impacts et évaluation économique



Source : Adapté de Bolt et al. (2005).

51. L'année de base 2010 a été retenue pour l'estimation des coûts de la dégradation. L'évaluation des avantages (coût de la dégradation réduite sur une année) sera utilisée pour dériver les coûts de la restauration qui sont calculées pour certaines sous-catégories prioritaires. Les coûts de la restauration reposent sur une analyse coûts/avantages (C/A) estimée au cas par cas et qui couvre la durée de vie de chaque investissement (les coûts d'investissement et le flux des avantages générés lors de la restauration) lorsque celui-ci est considéré dans l'évaluation. Trois indicateurs sont pris en compte dans l'analyse C/A afin de déterminer la rentabilité du projet avec un taux d'escompte économique de 10% :

- La valeur actualisée nette (VAN) qui est la différence entre les avantages et les coûts totaux actualisés;
- Le taux de rendement interne (TRI), qui est le taux d'actualisation qui remet à zéro la VAN ou, le taux d'intérêt qui rend la VAN de tous les flux monétaires égal à zéro ; et



- Le ratio A/C, qui est le rapport de la valeur actualisée des avantages sur la valeur actualisée des coûts au cours de la durée de vie du projet, doit être égal ou supérieur à 1.

5.2 CALIBRAGE ET LIMITES DE L'ÉVALUATION

52. En plus des contraintes de ressource et de temps contraignant, les techniques utilisées ont leurs propres limites méthodologiques. En règle générale, dans le processus de recherche des faits, il était clair que la disponibilité, l'accessibilité et l'actualité des informations ont posé de nombreux problèmes qui ont été cependant surmontés par la persistance, appropriés contacts clés et de l'expérience dans le traitement avec les autorités locales.
53. Les résultats permettent une marge d'erreur grâce à des gammes de sensibilité (borne inférieure-borne supérieure) qui ont été prises en compte. En outre, l'analyse marginale a été tentée dans certains cas afin d'évaluer les avantages (réduction du coût de dégradation de l'environnement) et les coûts d'investissement.
54. La plupart des techniques d'évaluation utilisées ont leurs limites intrinsèques en termes de biais, de prémices hypothétiques, d'incertitude surtout lorsqu'il s'agit de biens non marchands. De plus, les résultats sont bien entendu sensibles au contexte. L'utilisation des transferts d'avantages pourrait donc exacerber le biais des résultats et des incertitudes. Par conséquent, certains résultats sont mentionnés dans le texte et devrait nécessiter d'une analyse plus approfondie lorsque les investissements seront pris en considération.

5.3 CATEGORIES ÉVALUÉES

55. Quatre principales catégories ont été retenues pour l'évaluation du bassin versant: eau ; déchets ; biodiversité ; et le continuum catastrophes naturelles et changements climatiques. Des sous-catégories ont aussi été retenues pour répondre aux divers impacts touchant le bassin versant qui sont illustrées dans le Tableau 5.1. Cependant, la pollution de l'air n'a été retenue que lorsqu'il y a des émissions de gaz à effet de serre (GES) et quand la génération d'hydroélectricité est substituée par des énergies fossiles en période de sécheresse et qu'il y a des émissions de méthane des décharges. Les effets sur les zones côtières n'ont été couverts que dans la mesure de la pollution du milieu marin (comportement énoncé sur l'amélioration de la qualité des ressources en eau) dans le cadre de cette étude. Par ailleurs, certains investissements considérés pour une sous-catégorie donnée pourraient tout aussi bien avoir un impact positif sur d'autres catégories, par exemple, une meilleure gestion des décharges (sous-catégorie Déchets urbain et rural) pourrait avoir un impact positif sur la sous-catégorie Qualité des ressources en eau et/ou la catégorie Biodiversité.
56. Ainsi, le coût de la dégradation couvre toutes les sous-catégories alors que le coût de la restauration couvre seulement 4 sous-catégories. Le critère de sélection pour calculer les coûts de la restauration a été basé sur les sous-catégories qui connaissent une dégradation importante.
57. Les catégories, sous-catégories, impacts et méthodes pour évaluer le coût de la dégradation et de la restauration de l'environnement sont développées dans le Tableau 5.1. La description générale et spécifique des méthodes des sous catégories se trouvent dans les Annexes II à IV.



Tableau 5.1: Catégories, sous		catégories, impacts et méthodes utilisées pour l'évaluation de la dégradation et de la restauration de la Medjerda		
Catégorie	Sous-catégorie	Impact	Coûts de la dégradation	Coûts de la restauration
Eau	Qualité et traitement : eau potable en milieu urbain et rural	Préférence du consommateur (eau du robinet vs. eau en bouteille) ; voir Qualité des Services pour les maladies hydriques	CR et CC (coûts en sus de traitement)	Dessalement de l'eau potable pour dilution et investissements en amont (voir ici-bas)
	Qualité des services : eau et assainissement en milieu urbain et rural, et irrigation	Maladies liées à l'adduction et la qualité d'eau, l'assainissement et l'hygiène ; coûts des sources alternatives d'eau (bouteille, citerne, puits, etc.) ; pertes techniques ; et le temps perdu à transporter l'eau	CH/VVS et CS CR	Meilleure prestation, efficacité des services et taux de couverture de l'eau potable, de l'assainissement et sensibilisation pour l'hygiène
	Qualité de la ressource (anthropogénique) : rejets, effluents et eaux de ruissellement (voir Déchets)	Qualité de l'eau de surface affectant : l'usage de l'eau (domestique, agricole, halieutique, industriel et minier) ; l'écosystème du bassin et (eutrophisation, etc.) des zones côtières ; les terrains ; et l'éco-tourisme	EC (restauration de la qualité de l'eau)	Investissements dans les STEP, la réduction des rejets industriels (marges) et réduction de l'utilisation de pesticides et nitrates (voir Déchets)
		Qualité de l'eau souterraine affectant : l'usage de l'eau (industriel, agricole et potable) ; l'écosystème du bassin/côte ; et l'éco-tourisme	EC et RC (restauration de la qualité de l'eau)	Recharge artificielle pour dilution ; puits de substitution ou dessalement/transport de l'eau
	Salinité (anthropogénique et naturelle) : eaux de surface et souterraines, env. marin et sols	Salinité des sols, effets sur la santé (voir Qualité et traitement), réduction de la productivité agricole et halieutique, et effets sur l'écosystème	CP (productivité agricole)	Augmentation des engrais (mesures à court terme) et aménagement du territoire (mesures à long terme pour réduire la salinité)
	Quantité (anthropogénique et naturelle) : réduction du flux des eaux de surface et abaissement du niveau des nappes souterraines	Surface : utilisation des eaux usées traitées ou non traitées pouvant causer la contamination de la chaîne alimentaire ; et dans les cas extrêmes, besoin de substitution via le dessalement	CP (productivité agricole et coût additionnel de pompage/substitution)	Coûts d'opportunité de l'eau traitée et réutilisée ; et du dessalement/transport de l'eau
		Souterraines : Pompage plus en profondeur, puits de substitution ou dessalement (abaissement rapide ou eau fossile) pour pallier aux besoins domestiques et/ou maintenir la productivité agricole	CP (productivité agricole et coût additionnel de pompage/substitution)	Coûts d'opportunité de l'eau de pompage/substitution
	Erosion et Stockage : gestion est affectée par l'érosion et exacerbée par les changements climatiques	Perte nutritive des terres et ensablement et sédimentation des barrages, des lacs collinaires, des lits des fleuves et des côtes exacerbés par une utilisation inadéquate des sols en amont due à la déforestation, la gestion irresponsable des sols, l'érosion hydrique et éolienne, etc.	CP et RC (dragage ; relèvement des barrages ou construction de nouveaux lacs/barrages)	Coûts : Aménagement du territoire pour prévenir/réduire l'érosion
	Production hydroélectrique : affectée par un plus long cycle des sécheresses	Réduction de la production en cas de sécheresse et substitution par des centrales alimentées par des énergies fossiles (émissions de polluants et de GES)	RC, CC (substitution par des centrales alimentées par des énergies fossiles)	Coûts : substitution par des centrales alimentées par des énergies renouvelables
Déchets	Chaîne des déchets solides y	Inconfort ; santé ; pollution visuelle, olfactive, auditive, de l'air,	CP, CR, RC, PH et CC	Coûts : de la collecte, des stations de transfert,



	compris les boues : urbain, rural, agro-industriel et agricole	des sols et des ressources en eau (ruissellement des lixiviats) ; et impact sur le coût des terrains/bâtisses/appartements		des stations de séparation et recyclage ; des décharges sanitaires
	Chaîne des déchets médicaux et dangereux	Inconfort ; santé ; pollution visuelle, olfactive, auditive, de l'air, des sols et des ressources en eau (ruissellement toxiques et contamination radioactive) ; et sur le coût des terrains/bâtisses/appartements	Non-couvert	Non-couvert
Biodiversité	Divers empiètements	Perte des écosystèmes et de plantes médicinales	EC méta-analyse; CR	Investissements en amont (voir ici-haut)
Catastrophes naturelles et Environnement global	Inondations, sécheresses, événements extrêmes, etc.	Exacerbation de l'intensité et de la fréquence avec un impact sur : la santé (mortalité, blessures, noyade, maladies contagieuses) ; les biens ; les services ; les infrastructures ; la productivité ; les ressources (lâchage avec réduction de la ressource et effets sur l'écosystème) ; etc.	CH/VVS et CS AR, CP, RC et RC	Etat de préparation et efficacité de la réponse
	Emissions de GES	5 variables du changement climatique et effets sur l'utilisation des sols, l'eau, l'évapotranspiration, l'agriculture, la migration, etc.	CP, RC, RC et CC	Divers investissements d'adaptation, de mitigation et de résilience en cours ou en projet

Note: CC: changement de comportement; CS: coût des soins; CP: changement de production; CR: coût de restauration; PH: prix hédonique; EC: évaluation contingente; CH: capital humain; AR: analyse des risques; RC: coût de remplacement; VVS: valeur d'une vie statistique ; et CC : Crédits carbone. Source: Auteurs.

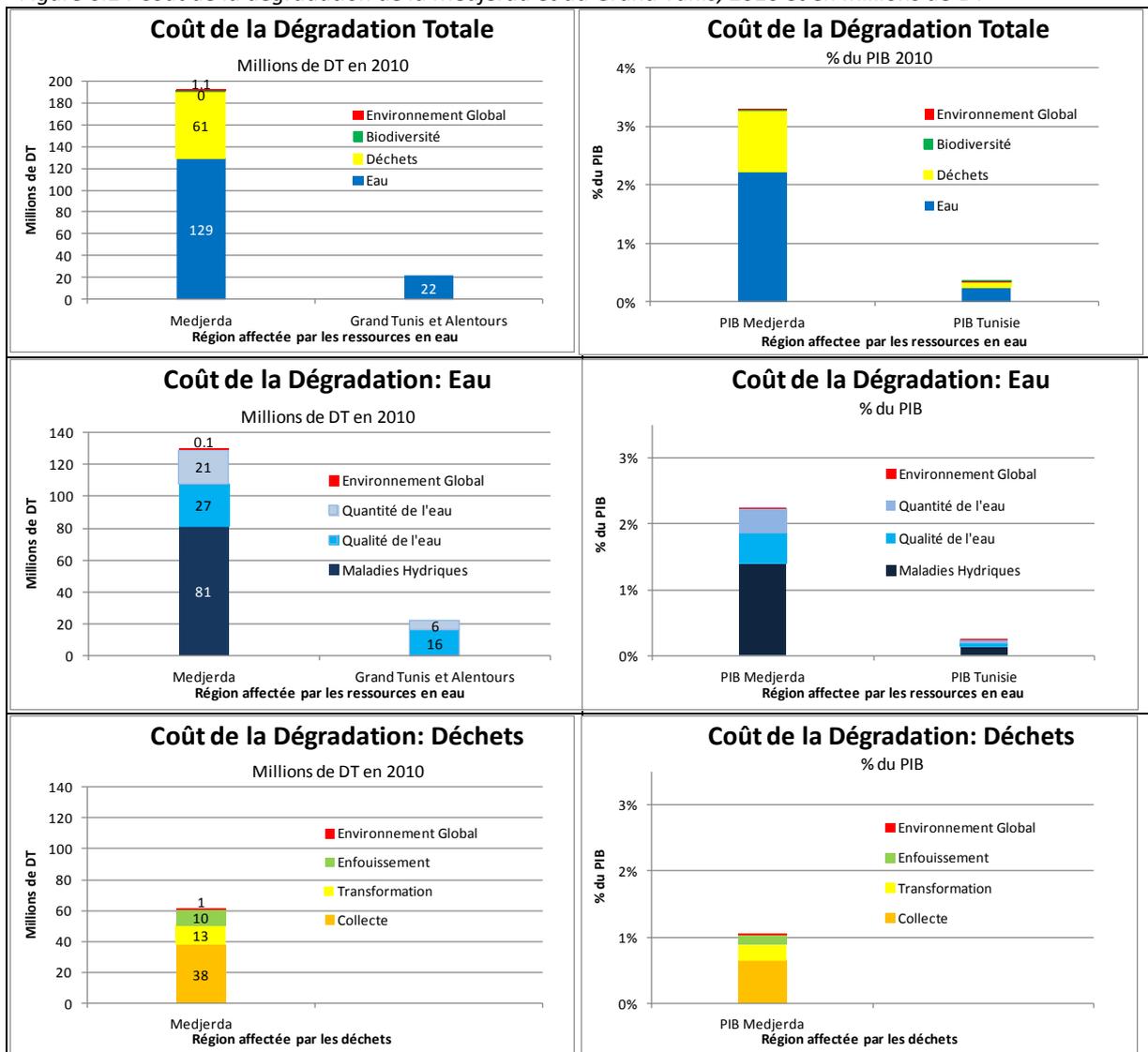


6. Coût de la Dégradation du Bassin de la Medjerda

6.1 APERÇU GENERAL DES COÛTS DE LA DEGRADATION

58. Les résultats du coût de la dégradation de la Medjerda sont illustrés dans le Tableau 6.1 et la Figure 6.1. Il est à noter que les coûts totaux de la Medjerda et du Grand Tunis sont comparés au PIB de la Tunisie (63,4 milliards de DT en 2010) alors que les coûts du Bassin de la Medjerda (intra-muros) sont comparés au PIB de la Medjerda (5,8 milliards de DT en 2010) qui a été extrapolé en utilisant le PIB par habitant pour le bassin de la Medjerda (4.058 DT/habitant en 2010) et le multipliant par le nombre d'habitant. Les résultats désagrégés sont disponibles dans l'Annexe VI.

Figure 6.1 : Coût de la dégradation de la Medjerda et du Grand Tunis, 2010 et en millions de DT



Source : Auteurs.

59. Pour la Medjerda et le Grand Tunis, ces coûts atteignent 214 millions de DT en 2010 avec une variation de 149 à 324 millions de DT équivalent en moyenne à près de 0,34% du PIB courant mais 0,85% du PIB constant (par rapport à 2000) de la Tunisie de 2010. Concernant la Medjerda, les coûts de la dégradation sont de 192 millions de DT en 2010 avec une variation de 132 à 296



millions de DT équivalent en moyenne à près de 3,3% du PIB de la région du Bassin. Le coût attribuable à la santé humaine est de 81 millions DT in 2010 soit 42,5% du coût de la dégradation de la Medjerda et 63% de la catégorie eau. (Tableau 6.1 et Figure 6.1).

Tableau 6.1 : Coût de la dégradation de la Medjerda et du Grand Tunis, 2010 et en millions de DT

Catégories	Medjerda	%	Borne Inf.	Borne Sup.	Grand Tunis	Borne Inf.	Borne Sup.	Total Medjerda et Grand Tunis	%	Borne Inf.	Borne Sup.
Eau	129,5	68%	99,1	164,5	22,3	17,5	28,1	151,8	71%	116,6	192,6
Déchets	60,5	32%	32,1	131,3	-	-	-	60,5	28%	33,7	130,9
Biodiversité	0,5	0%	0,4	-	-	-	-	0,5	0%	0,4	-
Catastrophe naturelle et Environnement global	1,1	1%	-	-	-	-	-	1,1	1%	-	-
Total	191,5	100%	131,6	295,8	22,3	17,5	28,1	213,9	100%	149,1	323,9
% PIB Medjerda	3,3%		2,3%	5,1%							
% PIB Tunisie								0,34%		0,24%	0,51%

Source : Auteurs.

60. Ventilée par catégorie, la dégradation de l'eau est la plus importante dans la Medjerda et le Grand Tunis en valeur relative avec 68% par rapport au total en 2010. Les déchets viennent en second lieu avec relativement 32%, la biodiversité avec 0,01% et l'environnement global 1%. Il n'y a pas eu de catastrophes naturelles majeures dans le bassin de la Medjerda en 2010 et donc celles-ci ne sont pas prises en compte dans cette évaluation.
61. Ventilée par la sous-catégorie eau (130 millions de DT en 2010), les maladies hydriques représentent la majorité des coûts du Bassin de la Medjerda (81 millions de DT) suivies par la qualité de l'eau (27 millions de DT), la quantité d'eau (21 millions de DT, montant relativement bas du fait que 2010 était une saison humide) et enfin l'environnement global (1 million de DT).
62. Ventilée par la sous-catégorie déchets (61 millions de DT en 2010), la collecte représente la majorité des coûts du Bassin de la Medjerda (38 millions de DT) suivies par la transformation des déchets (13 millions de DT), l'enfouissement (10 millions de DT) et enfin l'environnement global (1 million de DT).

6.2 CATEGORIE EAU ET SOUS-CATEGORIES

6.2.1 Qualité et Traitement de l'Eau Potable

63. La perception de la qualité de l'eau reflète une toute autre image et varie selon le consommateur en Tunisie avec 66,8% des consommateurs ayant confiance dans l'eau du robinet alors que 32,2% n'ayant pas du tout confiance. Toujours est-il que c'est surtout la salinité de l'eau qui pose problème avec une salinité moyenne des eaux distribuées variant entre 1 et 1,5 g/l selon la SONEDE,⁴³ contre un maximum de 0,2 g/l préconisé par la directive européenne 98/83 EC. Cependant, pour ce qui est du goût, 95,2% des consommateurs préfère l'eau minérale et par extension en bouteille. En fait, la consommation de l'eau en bouteille ne fait qu'augmenter avec

⁴³ Site web de la SONEDE: <www.sonede.com.tn>.



plus de 45 litres d'eau en bouteille consommées par ménage par an en 2008 mais avec une réduction d'un quart de la consommation en milieu rural.⁴⁴

64. Le coût de la dégradation a été dérivé de cet excès d'utilisation d'eau en bouteille dans le bassin de la Medjerda et le Grand Tunis. Cet excès est semblerait-il en partie dû à une perception du consommateur quant à la mauvaise qualité de l'eau mais surtout au goût de l'eau à cause de la forte teneur en sel de l'eau du robinet. Le coût de la dégradation se monte à 19,3 millions de DT avec une fourchette oscillant entre 12,9 et 25,8 millions de DT (Tableau 6.2). Ce montant demeure conservateur vu la croissance annuel de l'usage de l'eau en bouteille par le consommateur.

Tableau 6.2 : Coût de la dégradation dû à la qualité de l'eau potable, 2010

Région	Population	Nombre par ménage	Nombre de ménage	Consommation de l'eau en bouteille	Coût moyen de l'eau en bouteille	Urbain	Rural	Total	Equivalent du coût de l'eau du réseau non-utilisé	Coût Net de la dégradation
	million	#	million	l/ménage/an	DT/l	millions de DT	millions de DT	millions de DT	millions de DT	millions de DT
Grand Tunis	1,6	4	0,39	45-60	0,4-0,6	10,6		10,6	0,05	10,6
Bassin de la Medjerda : urbain	0,6	5	0,13	45-60	0,4-0,6	3,4		3,4	0,02	3,4
Bassin de la Medjerda : rural	1,6	6	0,27	34-45	0,4-0,6		5,4	5,4	0,03	5,4
Total en millions de DT						14,0	5,4	19,4	0,10	19,3
Borne inférieure en millions de DT										12,9
Borne supérieure en millions de DT										25,8

Note : 77% de la population en milieu rural a accès à l'eau potable (Tableau 7.3).

Source: Auteurs.

6.2.2 Qualité des Services d'Eau et d'Assainissement

65. Le taux de desserte en eau potable est quasiment de 100% en milieu urbain et de 94% en milieu rural en 2010⁴⁵ selon les sources officielles. A titre exceptionnel, certains quartiers périphériques peuvent avoir une desserte équivalente à 85% tels que certains quartiers du Grand Tunis. Par contre, le taux de desserte de l'assainissement atteint 99%⁴⁶ en milieu urbain mais n'excède pas 5% en milieu rural pour les ménages reliés aux réseaux d'égout toujours selon les sources officielles.⁴⁷ Cependant, il est difficile d'avoir un taux exact de couverture aussi bien de l'eau potable que de l'assainissement du fait de la dualité des responsabilités institutionnelles (voir Section 2) et le Tableau 6.3 reflèterait un taux de couverture plus réaliste pour l'eau potable et l'assainissement en milieux urbain et rural en Tunisie en 2010.

Tableau 6.3 : Typologie d'accès à l'eau potable et l'assainissement, % population considérée, 2010

Typologie d'accès en Tunisie	Urbain	Rural	Total
Eau Potable			
Desserte améliorée	94%	39%	76%
Autre desserte améliorée	5%	45%	18%
Desserte non-améliorée	1%	16%	6%

⁴⁴ Site web du Quotidien Le Temps : <www.turess.com/fr/letemps/24223>.

⁴⁵ Présentation de Hédi Belhaj: <www.w-e-x.com/downloads/l'eaupotableentunisie (1erepartie).pdf>.

⁴⁶ Présentation de Khalil Attia: <http://www.oecd.org/mena/governance/43316523.pdf>.

⁴⁷ MdE (2012).



Assainissement			
Toilette reliée aux réseaux d'égout	82%	5%	56%
Autre assainissement amélioré	15%	62%	31%
Assainissement non-amélioré	3%	33%	13%
- Dont: défécation dans la nature	0%	14%	5%

Source : adapté de Van Acoleyen et Baouendi (2011).

66. La prévalence des diarrhées et la mortalité attribuable aux diarrhées dans le bassin de Medjerda en milieu rural ont été dérivées des statistiques nationales avec 1 cas de décès sur les 15,1 nouveaux nés par 1.000 habitants en 2010. La prévalence des diarrhées est 2,5 cas par enfant de moins de 5 ans et 0,5 cas pour la population égale ou de plus de 5 ans.⁴⁸ Le coût de la dégradation se monte à 81 millions de DT en 2010 avec une fourchette variant entre 68 et 94 millions de DT (Tableau 6.4).

Tableau 6.4: Coût de la Dégradation associés à l'accès à l'eau potable et à l'assainissement, 2010

Population rurale	2010	Coefficient pour la diarrhée	Mortalité due à la diarrhée	Cas de diarrhée	Valeur par cas	Coût de la dégradation
		#	#	Million	DT	Millions de DT
Population de la Medjerda (million)	1,564					
Taux de natalité (Nombre de nouveau-nés par 1.000 habitants)	15,1	1,0	138		378.643	52,4
Population < 5 ans (million)	0,121	2,5		0,3	45	13,6
Population ≥ 5 ans (million)	1,443	0,5		0,7	21	15,3
Total						81,3
Borne inférieure						68,2
Borne supérieure						94,4

Sources : adapté de Bassi et al. (2011); World Development Indicators (2011); Annuaire Statistique de la Tunisie 2006-2010 (2011); et Auteurs.

67. Le *American Water Works Association*⁴⁹ suggère un point de référence (benchmark) de 10% pour les pertes acceptables d'eau pour les prestataires de service. Une fourchette de plus de 10% à 25% est considérée comme intermédiaire et devrait faire l'objet d'une attention particulière pour ramener les pertes à moins de 10%. Les pertes d'eau au dessus de 25% sont considérées chroniques et requièrent une attention immédiate. Ainsi, la production d'eau potable en Tunisie enregistre des pertes surtout dans le réseau de 26%⁵⁰ en moyenne ou 136,4 millions de m³ en 2010 équivalent à une perte de 12,8 m³ de perte par habitant. Ainsi, 16% de la production pourrait être considéré comme un coût supporté par les contribuables sans aucun retour sur investissement équivalent à 7,8 m³ de perte par habitant ou 37,3 m³ par ménage dans le Grand Tunis.

68. Le montant de la perte par habitant a été considéré pour la population du bassin de la Medjerda en milieu non-rural ainsi que celle du Grand Tunis et ses Alentours. Le coût d'opportunité a été considéré égal au 3^{ème} niveau du tarif progressif équivalent à 0,315 DT par m³ qui a été introduit en 2010. Le coût de la dégradation se monte ainsi à 1,5 millions de DT pour la population de la Medjerda et 6,1 millions de DT pour celle du Grand Tunis avec un total de 7,6 millions de DT avec une variation de 6,5 à 8,8 millions de DT en 2010 (Tableau 6.5).

Tableau 6.5 : Coût de la dégradation associé aux pertes techniques évitables de distribution, 2010

⁴⁸ Bassi et al. (2011).

⁴⁹ Site web de l'AWWA: <www.awwa.org>.

⁵⁰ Annuaire Statistique de la Tunisie 2006-2010 (2011).



Services dans le Grand Tunis et ses Alentours	Production	Production annuelle	Pertes techniques évitable (16%)	Coût de la dégradation pour le Grand Tunis	Coût de la dégradation pour le Bassin en milieu non-rural	Coût total de la dégradation
	m ³ /jour	millions de m ³ /an	millions de m ³ /an	millions de DT	millions de DT	millions de DT
Hiver (8 mois)	280.000	67,2	10,8	3,4		3,4
Été (4 mois)	450.000	54	8,6	2,7		2,7
Total				6,1	1,5	7,6
<i>Borne inférieure</i>				5,2	1,3	6,5
<i>Borne supérieure</i>				7,0	1,8	8,8

Source : Rapport Annuel de la SONEDE (2011) ; et Annuaire Statistique de la Tunisie 2006-2010 (2011).

69. Le coût d'inefficacité de l'irrigation dans le bassin de la Medjerda ainsi que dans les zones où l'eau est transférée comme le Cap Bon n'a pas été calculé faute de données fiables.

6.2.3 Qualité de la Ressource en Eau

70. Vue la multiplicité des sources de pollution et du nombre de polluants le long de la Medjerda et son embouchure, une méthode reposant sur les *préférences énoncées* a été retenue pour l'évaluation. Par ailleurs, certains investissements pour la réduction de la pollution sont en cours mais l'estimation de tous les investissements nécessaires pour réduire la pollution et le rétablissement ou le maintien des fonctions et services de l'écosystème dépassent largement le cadre de cette étude. Baker et al. (2007) a récemment conduit une enquête afin d'estimer la valeur économique accordée par les ménages anglais et gallois pour l'amélioration de la qualité de l'eau aussi bien au niveau des bassins versants que des zones côtières dans le cadre de la mise en œuvre de la directive eau de la CE (voir Annexe II). Un transfert d'avantages est ainsi considéré pour dériver le coût de la dégradation du bassin de la Medjerda. Après avoir fait le transfert d'avantages, le consentement à payer se monte à 14,3 DT par ménage par an pour une amélioration tangible après 6 ans. Ainsi, le coût de la dégradation se monte à 5,6 millions de DT pour la population de la Medjerda et 5,6 millions de DT pour celle du Grand Tunis et ses Alentours avec un total de 11,3 millions de DT avec une variation de 10,5 à 13,9 millions de DT en 2010 (Tableau 6.6).

Tableau 6.6 : Coût de la dégradation de la qualité de l'eau de la Medjerda, 2010

Zone	Population	Nombre d'habitants par ménage	Consentement à payer DT/an			Coût de la dégradation Millions de DT		
			Borne inférieure	Borne moyenne	Borne supérieure	Borne inférieure	Borne moyenne	Borne supérieure
Grand Tunis	1,6	4	13,4	14,3	17,6	5,3	5,6	6,9
Medjerda Urbain	0,6	5	13,4	14,3	17,6	1,7	1,8	2,2
Medjerda Rural	1,6	6	13,4	14,3	17,6	3,6	3,8	4,7
Total						10,5	11,3	13,9

Source : Baker et al. (2007); World Bank (2011); et Auteurs.

6.2.4 Salinité

71. La salinité moyenne de 3,0 déciSiemens par mètre (dS/m) est communément utilisée dans la région de la Medjerda mais la salinité globale du sol est d'habitude positivement corrélée à celle de l'eau d'irrigation qui peut donc produire des moyennes inférieures ou supérieures dans certaines régions de la Medjerda. Les 3 principales cultures de la Medjerda ont seulement été considérées



du fait de la difficulté à obtenir la production agricole par région : les tomates, le blé et les olives. Cependant, les coûts d'opportunité de la moins value associée à la production agro-industrielle des trois cultures n'ont pas été considérés (par exemple, l'huile d'olive, etc.).

72. La salinité, même à faible dose peut affecter la production agricole. Ainsi, des seuils de salinité et des réductions de productivité ont été développés par *Kotuby-Amacher et al. (2003)* et *Evans (2006)*⁵¹ pour chaque culture et sont basées sur la conductivité électrique des sols saturés (CEs) exprimée en dS/m. Cependant, d'autres facteurs pourraient affecter le seuil de tolérance des cultures (variété, climat, etc.) et par conséquent, les seuils sont simplement suggérés à titre indicatif. La réduction de la productivité due de la salinité affectant la production agricole ne touche que la production de tomates et d'olives car le blé a une grande tolérance au sel. La perte de productivité se monte à 37 millions de DT avec une variation de 29,6 à 44,3 millions de DT en 2010 (Tableau 6.7). Ce montant, qui ne considère que 3 cultures, est très conservateur et mériterait de pousser cette analyse. Cependant, l'utilisation additionnelle d'engrais devrait compenser ces pertes de productivité tout en créant un cercle vicieux (ruissellement) mais il n'est pas possible de déterminer le coût de ce *comportement préventif*. Ainsi, nous estimons que malgré l'utilisation d'engrais, un tiers des pertes de productivité est attribuable à la dégradation due à la salinité des sols. Ainsi, le coût de la dégradation s'élève à 12,3 millions de DT avec une variation de 9,9 à 14,8 millions de DT en 2010.

Tableau 6.7 : Pertes de productivité agricole due à la salinité, 2010

Principales cultures	Medjerda	Seuil de salinité CEs	Réduction du rendement des cultures CEs				Prix de gros DT/tonne	Pertes de productivité à -10%		
			-10% avec dS/m à :	-25% avec dS/m à :	-10% Tonnes	-25% Tonnes		Borne moyenne Millions de DT	Borne inférieure Millions de DT	Borne supérieure Millions de DT
Tomates	366.667	2,5	3,5	5,0	18.333	91.667	422	7,7	6,2	9,3
Blé	479.190	4,7	6,0	8,0	0	119.798	550	0	0	0
Olive	584.267	2,6	3,0	3,5	58.427	146.067	500	29,2	23,4	35,1
Total								37,0	29,6	44,3
Coût de la Dégradation								12,3	9,9	14,8

Note : la réduction du rendement des tomates est estimée à 5% pour atteindre 3 dS/m considérant ainsi la réduction linéaire. La production de tomates et olive est estimative et représente plus de la moitié de la production nationale en 2010.

Source : Site web du MdA <www.adriportail.tn>; *Kotuby-Amacher et al. (2003)* ; et *Evans (2006)*.

6.2.5 Quantité

73. Pour les ressources souterraines, la quantité des ressources en eau est affectée par un rabattement de la nappe phréatique et des ressources profondes de 0,4 m par an qui nécessite un pompage supplémentaire. Ainsi, le **changement de production** est considéré pour dériver le coût additionnel de pompage équivalent au coût de la dégradation. Le coût de la dégradation s'élève ainsi à 0,45 million de DT avec une variation de 0,38 à 0,52 million de DT en 2010 (Tableau 6.8).

Tableau 6.8 : Coût additionnel du pompage dans le bassin de la Medjerda, 2010

Coût de pompage	Unité	Ressources phréatiques	Ressources profondes	Coût de la dégradation
Ressources concernées par le rabattement	Millions de m ³	252	28	
Consommation moyenne de diesel	l/m de profondeur/m ³	0,004	0,004	

⁵¹ Site web du Gouvernement australien: <www.dpi.nsw.gov.au/agriculture/resources/soils/salinity/crops/tolerance-irrigated>.



Rabattement annuel moyen de la nappe	m	0,4	0,4	
Prix du marché	DT/litre de Diesel	1,010	1,010	
Coût annuel du pompage diesel	DT/an	407,232	45,248	452,480
Borne inférieure				384,608
Borne supérieure				520,352

Source : adaptée de la Banque mondiale (2007).

74. Pour les ressources de surface, le non remplacement de la perte de capacité des barrages due à l'envasement peut conduire à la réduction de la disponibilité en eau pour les usagers (voir Stockage ici-bas). Puisque l'agriculture est un important consommateur de l'eau des barrages en Tunisie, l'impact de leur envasement sur l'agriculture irriguée a été évaluée en suivant le **changement de production**. En considérant une consommation de 5.000 m³/ha pour l'irrigation intensive, un manque à gagner serait la différence entre la valeur ajoutée de la production agricole entre l'irrigation intensive et non-intensive. Tous les autres facteurs restant constant, un manque à gagner de 2007 DT/ha toutes cultures confondues a été retenu.⁵² Le coût de la dégradation s'élève ainsi à 4,3 millions de DT avec une variation de 3,9 à 4,8 millions de DT en 2010 (Tableau 6.9).

Tableau 6.9 : Moins-value agricole due à la perte de stockage des barrages de la Medjerda, 2010

Barrage	Envasement en 2010	Allocation pour l'irrigation-intensive	Plus-value agricole due à l'irrigation intensive	Coût de la dégradation
	Millions de m ³	M ³ /ha	DT/ha	Millions de DT
Nébeur-Mellègue	2,5	5.000	2.007	1,00
Ben Métir		5.000	2.007	-
Kasseb	0,2	5.000	2.007	0,08
Bou Hertma	0,2	5.000	2.007	0,08
Sidi Salem	6,8	5.000	2.007	2,73
Siliana	1,1	5.000	2.007	0,43
Lakhmess	0,0	5.000	2.007	0,01
Rmel		5.000	2.007	-
Laaroussia		5.000	2.007	-
Total	10,8	5.000	2.007	4,32
Borne inférieure				3,89
Borne supérieure				4,76

Source : Données fournies par le MdA, Barrages et Grands Travaux Hydrauliques, Direction de l'Exploitation des Barrages et Maintenance des Ouvrages Hydrauliques (2010) ; Banque mondiale (2007) ; et World Development Indicators (2011).

6.2.6 Erosion et Stockage

75. Dans les terres agricoles, l'érosion des sols se manifeste surtout par un décapage généralisé et pernicieux des sols et par des ravinements localisés sur les pentes fortes. La relation complexe entre les épisodes de pluie érosive et les taux annuels de perte de sol peut s'expliquer par deux facteurs importants. Le premier facteur est lié au cycle de dégradation du sol qui détermine le potentiel d'érosion des sols du bassin. Le deuxième facteur correspond à l'orientation de la dégradation, qui dans ce cas présente une direction Nord-ouest et sud-est. Les études de télédétection ont permis de déterminer une perte de 14,5 tonnes par ha tout au long de la Dorsale.⁵³ Ainsi, cette érosion des sols se traduit par une perte nutritive qui devrait être compensée par des engrais. Par ailleurs, l'érosion est aussi responsable d'une perte de séquestration de carbone qui n'est pas comptabilisé dans cette étude.

⁵² Banque mondiale (2007).

⁵³ Jebari (2009).



76. Par ailleurs, les lacs collinaires et les barrages subissent aussi cette érosion, qui sera exacerbée par les changements climatiques, et réduisent la durée de vie des lacs collinaires à 14 ans⁵⁴ dans la Dorsale et la capacité de stockage d'au moins 6 des 9 barrages du bassin de la Medjerda (voir plus haut Qualité et Traitement de l'Eau Potable).
77. Le **coût de remplacement** pour le calcul du coût de la dégradation de la productivité agricole due à l'érosion consiste à compenser la perte de la valeur nutritive des sols par des engrais. Un montant de 27,1 DT per ha d'engrais est basé sur un mixage des engrais chimiques et organiques. Ainsi, le coût de la dégradation se monte à 7,4 millions de DT avec une variation de 3,7 à 14,8 millions de DT en 2010 (Tableau 6.10).

Tableau 6.10: Perte nutritive des sols due à l'érosion des sols dans la Medjerda, 2010

Gouvernorat	Superficie cultivée	Superficie affectée			Erosion	Coût de l'engrais	Coût de la dégradation		
		1/4 : Borne Moyenne	1/8 : Borne inférieure	1/2 : Borne supérieure			Borne Moyenne	Borne inférieure	Borne supérieure
		Ha	Ha	Ha			DT/tonne	Millions de DT	
Ariana	20.830	5.208	2.604	10.415	14,5	27,1	0,1	0,1	0,3
Manouba	80.700	20.175	10.088	40.350	14,5	27,1	0,5	0,3	1,1
Beja	250.210	62.553	31.276	125.105	14,5	27,1	1,7	0,8	3,4
Jandouba	165.780	41.445	20.723	82.890	14,5	27,1	1,1	0,6	2,2
Le Kef	288.470	72.118	36.059	144.235	14,5	27,1	2,0	1,0	3,9
Siliana	284.580	71.145	35.573	142.290	14,5	27,1	1,9	1,0	3,9
Total	1.090.570	272.643	136.321	545.285			7,4	3,7	14,8

Source : Site web du MdA <www.agriportail.tn>; et Jebari (2009).

78. Le **coût de remplacement** pour le calcul du coût de la dégradation des barrages, qui sont uniquement considérés dans cette étude, est basé sur la Banque mondiale (2007) avec une borne inférieure consistant en une élévation des barrages pour remplacer les volumes de stockage perdu (basée sur l'élévation de coûts du barrage de Mellègue) et se monte à 0,006 DT/m³ et une borne supérieure consistant à la construction de nouveaux barrages comme borne supérieure et se monte à 1,31 DT/m³ en 2010. Ainsi, le coût de la dégradation se monte à 7,1 millions de DT avec une variation de 0,1 à 14,1 millions de DT en 2010 (Tableau 6.11). Il est important de noter que le coût de dragage n'a pas été considéré vu la qualité des sédiments (teneur en métaux lourds des anciennes mines) qui pourrait avoir un impact négatif dans les zones où ils seraient déchargés.

Tableau 6.11: Envasement des barrages de la Medjerda, 2010

Barrage	Envasement en 2010	Coûts de remplacement Borne inférieure		Coûts de remplacement Borne supérieure		Coût de la dégradation
	Millions de m ³	DT/m ³	Millions de DT	DT/m ³	Millions de DT	
Nébeur-Mellègue	2,5	0,006	0,01	1,31	3,26	1,64
Ben Métir		0,006	-	1,31	-	-
Kasseb	0,2	0,006	0,00	1,31	0,26	0,13
Bou Hertma	0,2	0,006	0,00	1,31	0,25	0,13
Sidi Salem	6,8	0,006	0,04	1,31	8,91	4,47
Siliana	1,1	0,006	0,01	1,31	1,39	0,70
Lakhmess	0,0	0,006	0,00	1,31	0,04	0,02
Rmel		0,006	-	1,31	-	-
Laaroussia		0,006	-	1,31	-	-
Total	10,8		0,06		14,11	7,09

⁵⁴ Ibid.



Source : Données fournies par le MdA, Barrages et Grands Travaux Hydrauliques, Direction de l'Exploitation des Barrages et Maintenance des Ouvrages Hydrauliques (2010) ; Banque mondiale (2007) ; World Development Indicators (2011) ; et Auteurs.

6.2.7 Production Hydroélectrique

79. La production hydroélectrique (HE), qui est concentrée au nord de la Tunisie, est fortement corrélée à la pluviométrie dans le Nord-est et Nord-ouest de la Tunisie entre les années 2000 et 2010 (coefficient de corrélation de 0,85). La moyenne annuelle sur la période est de 89 millions de kW/h avec une moyenne de 0,7% de la production totale d'électricité (Tableau 6.12).

Tableau 6.12 : Corrélation entre la pluviométrie et la production hydroélectrique, 2000-2010

Données pour la Corrélation	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Pluviométrie au Nord (mm)	452	501	397	762	758	691	551	545	444	697	710
Production HE (Millions de kW/h)	64	54	64	166	154	145	92	48	31	78	83
Production HE (% du total)	0,60	0,47	0,54	1,34	1,18	1,05	0,65	0,33	0,20	0,50	0,51
Production Totale (Millions de kW/h)	10.596	11.392	11.841	12.411	13.067	13.793	14.122	14.661	15.303	15.693	16.251

Source : Site web Perspective Monde : <www.perspective.usherbrooke.ca> ; Annuaire de la Pluviométrie (2011) ; et Auteurs.

80. Le coût de la dégradation est relatif à la production hydroélectrique du nord de la Tunisie est compensée par une production à base de gaz ou fuel les années de sécheresse. Le coût de la dégradation a été calculé en utilisant le coût des facteurs de production pour la substitution de la production d'électricité et le coût du carbone pour les émissions de GES. Cependant, les effets des émissions de polluants ambiants associées à l'utilisation des énergies fossiles n'ont pas été évalués. Sur la base de la moyenne sur 11 ans, la perte d'hydroélectricité est de 5,97 millions de kW/h en 2010. Le coût de la dégradation se monte ainsi à 0,76 million de DT avec 0,66 million de DT comme coût de substitution pour produire l'électricité en utilisant de l'énergie fossile et 99.987 DT pour l'équivalent d'émissions carbonées en 2010 du fait de la fluctuation des flux hydriques (Tableau 6.12). Par ailleurs, 2008 semble avoir été l'année la plus sèche de la décade avec une perte de production HE de 58,4 millions de kW/h et un coût de la dégradation de presque 7,5 millions de DT (dont 6,5 millions de DT représentant le coût de substitution) contrairement à 2003, qui est une saison humide et qui a permis des gains de HE par rapport à la moyenne avec un coût négatif de la dégradation de 9,9 millions de DT (dont -8,6 millions de DT représentant le coût de substitution) aux prix de 2010 (Tableau 6.13).

Tableau 6.13 : Coût de la dégradation hydroélectrique du fait de la variation des flux hydriques, 2010

Effets des Fluctuations Hydriques	Perte de production HE par rapport à la moyenne (11 ans)	HE : émission de CO ₂	Fuel/Gaz : émission de CO ₂	Emissions nettes de CO ₂	Emissions totales de CO ₂	Coût global de l'émission de CO ₂	Facteurs de production	Coût de la dégradation
	Millions de kW/h	CO ₂ /kW/h	CO ₂ /kW/h	CO ₂ /kW/h	Tonne	DT/tonne	DT/kW/h	Millions de DT
Coût de	5,97						0,11	0,66



substitution : 2010								
<i>Borne inférieure</i>	5,97						0,09	0,54
<i>Borne supérieure</i>	5,97						0,13	0,78
Excès de GES : 2010	5,97	0,004	0,887	0,883	0,005	19		0,09
<i>Borne inférieure : 2008</i>	58,4	0,004	0,887	0,883	0,052	19		0,98
<i>Borne supérieure : 2003</i>	-77,3	0,004	0,887	0,883	-0,068	19		-1,29
Total								0,76

Source: Site web Green It <www.greenit.fr>; Site web de l'Industrie tunisienne : <www.industrietunisienne.nat.tn>; Site web Perspective Monde : <www.perspective.usherbrooke.ca>; et Auteurs.

6.3 CATEGORIE DECHETS SOLIDES

81. La gestion des déchets dans le bassin de la Medjerda reste problématique surtout en milieu rural. Néanmoins, ce n'est pas toute la chaîne de déchets qui a un impact direct sur les ressources en eau : c'est surtout les décharges avec le ruissellement de lixiviats. Cependant, le coût de la dégradation de la chaîne des déchets domestique, agricole et agro-industrielle est considéré dans cette étude.

Tableau 6.14 : Coûts de la dégradation dus aux déchets, 2010 en millions de DT

Résultats	Collecte en milieu rural	Coût de nettoyage des décharges pour les déchets générés	Manque à gagner du recyclage	Manque à gagner en production électrique grâce à la biomasse	Moins-value des terrains proche des décharges	Manque à gagner futur de la production d'électricité escompté à 5%	GES non-évités dans le futur escomptés à 5%	Total
Coût de la dégradation	26,8	11,2	7,6	5,2	6,5	3,3	1,0	60,5
<i>Borne inférieure</i>	13,4	5,8	5,3	0,0	4,3	0,0	0,0	28,8
<i>Borne supérieure</i>	40,2	12,6	8,4	58,3	8,6	3,3	1,0	132,4

Source : Annexe IV.

82. Les coûts de la dégradation dus aux déchets se montent à 61 millions de DT en 2010 avec une variation de 29 à 132 millions de DT en 2010 (Tableau 6.14). Les coûts de la dégradation comprennent : la non-collecte en milieu rural; le coût de nettoyage des décharges pour les déchets générés en 2010; le manque à gagner du recyclage de 2010; le manque à gagner en production électrique grâce à la biomasse (déchets agricoles); la moins-value des terrains proche des décharges; le manque à gagner futur de la production d'électricité escompté à 5% (actualisés au temps présent); et les GES non-évités dans le futur escomptés à 5% (actualisés au temps présent). La description de la méthodologie et des calculs est développée dans l'Annexe IV.

6.4 CATEGORIE BIODIVERSITE

83. Le rôle des zones humides comme valeurs d'usage (par exemple dans l'agriculture, la pêche, l'atténuation des inondations, la recharge de la nappe) et de non-usage (en tant qu'habitats pour



des espèces de faune aquatique) ont bien été validée dans plusieurs études en Tunisie.⁵⁵ La dégradation de la biodiversité se manifeste aussi bien par la diminution de la surface des zones humides qu'à travers une diminution de la richesse de la faune et de la flore. Quoique la construction de barrages ait accru la superficie de zones humides de 22.400 ha depuis 1945 et les bassins de décantation des stations d'épuration des eaux constituent des zones humides artificielles ces derniers ne peuvent remplacer les zones humides naturelles qui fournissent des habitats et des écosystèmes plus favorables à la survie de nombreuses espèces animales et végétales. Par ailleurs, les lâchers d'eau fortement non stationnaires pour la gestion des crues et notamment optimiser la production d'électricité (Barrage de Sidi Salem) provoque les plus importantes et les plus évidentes modifications du régime d'écoulement se traduisant ainsi par des répercussions directes sur la morphologie du lit de la rivière et des pertes de biodiversité.

84. Les principales causes de disparition des zones humides dans la Medjerda sont le drainage, l'urbanisation dans les villes moyennes le long du fleuve, l'effet des anciennes et nouvelles mines, l'expansion agricole, et la création de barrages et lac collinaires en amont. Par ailleurs, ces zones humides sont polluées par les sources susmentionnées dans les Sections Eau et Déchets. Selon Karem et al. (1999), la Medjerda aurait perdu 10.440 ha de zones humides.
85. Il est très difficile d'évaluer les pertes réelles de biodiversité de la Medjerda. Cependant, en considérant la moyenne adoptée par la Banque mondiale (2007) pour le bassin de la Medjerda, la perte annuelle serait de 10 ha de zones humides. Le *coût de remplacement* a été adopté pour évaluer le coût de la dégradation. Il est important de signaler que cette approche est affectée par des limitations significatives. D'une part, l'utilisation des dépenses effectives peut sous-estimer les dommages, car ces dépenses peuvent rarement compenser tous les services fournis auparavant par l'écosystème original surtout pour ce qui a trait à l'effet des lâchers des barrages sur la biodiversité. TEEB⁵⁶ a estimé le coût de remplacement d'une zone humide sur la base d'une méta-analyse globale. Le coût se monte à 47.091 DT par ha. La moyenne des zones humides perdues par an dans la Medjerda, qui est dérivé de la Banque mondiale (2007), est de 10 ha. Ainsi, le coût de la dégradation, qui reste très sous-estimé, se monte à 470.910 DT en 2010 avec une borne inférieure de 400.000 DT et une borne supérieure indéterminée.

6.5 CATEGORIE CATASTROPHES NATURELLES ET ENVIRONNEMENT GLOBAL

6.5.1 Catastrophes Naturelles

86. Plusieurs projets sont en cours pour réduire les risques d'inondation en Tunisie. En l'occurrence le Projet PISEAU II avec une partie des 170 millions de \$EU destinées à la gestion des ressources en eau dans les bassins versants à risque. Un projet de 140 millions de DT partiellement financé par la JICA s couvre les zones inondables prioritaires de Tunis qui nécessiteront la construction de plusieurs canaux d'évacuation. De plus, la JICA a aussi financé une étude pour réduire les inondations dans le bassin versant de la Medjerda. Le Grand Tunis fait l'objet d'une étude financée par la BAfD afin de diagnostiquer la situation actuelle dans tous les bassins versants de la zone concernant quatre gouvernorats (Tunis, Ariana, Ben Arous et la Manouba) et préconiser des investissements pour réduire les inondations. Par ailleurs, une étude de la Banque mondiale s'est concentrée sur la vulnérabilité du Grand Tunis aux changements climatiques en l'occurrence, l'élévation accélérée du niveau de la mer et les quartiers à haut risque d'inondation.
87. Les éléments fournis par les projections climatiques font craindre une augmentation des fréquences des hausses des débits de crue sur la Medjerda qui affecterait le Grand Tunis. Cependant, l'année 2010 a été relativement sans événement majeur pour ce qui est des catastrophes naturelles notamment des inondations surtout si on la compare à 2009 où plusieurs

⁵⁵ Banque mondiale (2007).

⁵⁶ Site web de TEEB: <www.teeb.org>.



inondations ont eu lieu et des victimes et des dégâts ont été recensés. Ainsi, le coût de la dégradation associé aux catastrophes naturelles n'est pas considéré pour l'année 2010.

6.5.2 Environnement Global

88. Le déséquilibre entre la part d'utilisation des eaux de surface par rapport à la part des eaux souterraines au détriment de la première ira en s'accroissant dans le futur. Ce déséquilibre s'exacerbera encore plus avec les effets des changements climatiques. En effet, outre l'augmentation prévue de température, qui conduit à une augmentation de l'évapotranspiration, et une réduction de la pluviométrie devrait décroître. Ceci pourrait conduire à la fois à une moindre recharge des aquifères et à une utilisation accrue de ces aquifères par les agriculteurs pour compenser la croissance du déficit entre évapotranspiration et pluviométrie.
89. Cependant, seules les émissions de GES ont été considérées dans le cadre de l'environnement global et ont été couvertes sous Production Hydroélectrique et Déchets Solides et se montent à 1,1 millions de DT en 2010.

6.6 CONCLUSIONS

90. L'estimation du coût de la dégradation des ressources en eau a permis de dégager les conclusions suivantes :
- Le coût de la salinité de l'eau potable (11 millions de DT) au sein et au-delà du bassin de la Medjerda est presque égal au coût de la salinité de la production agricole (12,3 millions de DT) au sein du même bassin.
 - Les dommages dus au manque d'accès à l'eau potable et à l'assainissement rural (81 millions de DT) dans le bassin de la Medjerda est significativement supérieur aux dommages créés par la salinité dans l'eau potable.
 - La mauvaise collecte et le manque de traitement des déchets infligent des dommages moins importants (61 millions de DT) que ceux dus au manque d'accès à l'eau potable et à l'assainissement dans le milieu rural (81 millions de DT).
 - Les dommages affectant la qualité de l'eau du fleuve de la Medjerda sont moins prononcés (17 millions de DT), ce qui semble indiquer que la pollution tellurique n'est pas entièrement déchargée dans le fleuve.
 - Les dommages créés par l'érosion dans l'envasement des barrages sont de l'ordre de 7,1 millions de DT, ce qui peut signifier que l'envasement des barrages peut être causé par les sédiments des sous bassins versants et non pas nécessairement par l'érosion des terres dont leurs sédiments n'atteignent pas nécessairement les réservoirs des barrages. Ces dommages sont presque équivalents aux pertes nutritives des sols dues à l'érosion (7,4 millions de DT).
91. Sur la base de ces conclusions, quatre priorités se dégagent dans le court et moyen terme :
- Le traitement de la salinité dans l'eau potable ;
 - L'assainissement dans le milieu rural ;
 - La collecte et le traitement des déchets ; et
 - L'efficacité de l'aménagement du territoire permettant de réduire l'envasement des barrages.



7. Coût de la Réstauration du Bassin de la Medjerda

7.1 APERÇU GENERAL DES COÛTS DE LA RESTAURATION

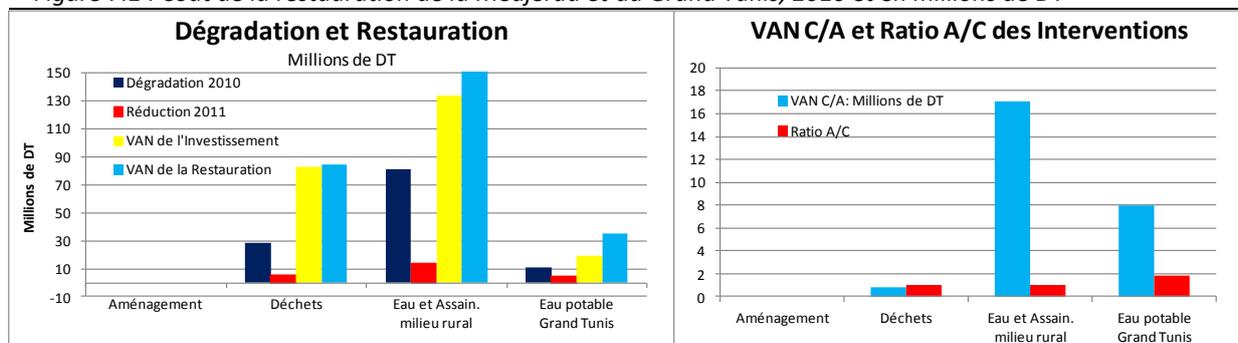
92. Sur la base de priorités identifiées dans la Section précédente, quatre scénarios d'interventions ont été considérés mais seulement trois ont été réalisés. Seules, les catégories salinité de l'eau potable, eau et assainissement en milieu rural et gestion des décharges ont été évaluées. Les interventions liées à l'aménagement du territoire pour réduire l'érosion et ainsi l'envasement des barrages n'ont pas été considérées faute d'études permettant d'établir une causalité entre l'aménagement et la réduction de l'envasement afin de mener une évaluation économique.
93. Les scénarios les plus efficaces ont été retenus et sont illustrés dans le Tableau 7.1 et la Figure 7.1. Concernant l'eau et l'assainissement en milieu rural, le jumelage du scénario *assainissement* et scénario *eau potable et assainissement* permet de rentabiliser ce dernier. Pour l'eau potable du Grand Tunis, dessaler une partie de la ressource en eau afin de pouvoir diluer la salinité de l'eau potable est rentable. Cependant, cette alternative n'a pas été comparée aux coûts de transport de l'eau des barrages du Bassin de la Barbara et deviendrait non rentable si le seuil des 30.000 m³/j sur trois mois de dessalement est dépassé. La réserve stratégique du Bassin de Barbara permet non seulement d'assurer la sécurité de la ressource mais aussi d'effectuer des dilutions d'eau lorsque les teneurs en sel sont élevées surtout en été et durant les saisons sèches. Pour les déchets, seule, l'alternative tout à la décharge avec génération d'électricité dans des cellules est rentable. Les alternatives avec ségrégation et recyclage ne le sont pas car elles sont trop coûteuses. Ainsi, pour pallier à cette insuffisance, une analyse multicritère pourrait être envisagée pour la prise de décision où des pondérations seraient attribuées non seulement à l'analyse C/A mais aussi à la création d'emploi, la réduction de la pauvreté, etc.

Tableau 7.1 : Coût de la restauration de la Medjerda et du Grand Tunis, 2010 et en millions de DT

Medjerda et Grand Tunis	Dégradation 2010	Réduction 2011	VAN de l'Investissement	VAN de la Restauration	Van de l'Analyse C/A
	Millions de DT	Millions de DT	Millions de DT	Millions de DT	Millions de DT
Aménagement	0	0	0	0	940-5.050 DT/ha 1.100-5.400 DT/ha
Déchets	28,6	5,7	83	84	0,9
Eau et Assainissement en milieu rural	81,3	13,7	133,7	150,7	17,1
Eau potable dans le Grand Tunis	10,6	4,4	19	35	8,0

Source : Auteurs.

Figure 7.1 : Coût de la restauration de la Medjerda et du Grand Tunis, 2010 et en millions de DT



Source: Auteurs.



94. L'analyse des coûts de restauration de trois catégories analysées et basée sur la valeur actualisée nette (VAN) de l'investissement sur 20 ans (24 ans pour les déchets) avec un taux d'escapement de 10% et le taux de rendement interne (TRI), a permis de dégager les investissements les plus efficaces qui sont les suivants :
- Pour l'eau potable, un dessalement de 20,000 m³/jour tous les trois mois aura une VAN de 8 millions de DT et un TRI de 32% avec un ratio A/C supérieur à 1.
 - L'assainissement est rentable avec ou sans l'eau potable et produira une VAN de 32 millions de DT avec un TRI de 22%. Cependant le jumelage des investissements de l'eau et de l'assainissement est plus rentable avec un VAN de 17 million de DT, un TRI de plus de 10% et un ratio A/C supérieur à 1.
 - Le transfert et enfouissement des déchets municipaux n'est rentable que lorsque pour chaque gouvernorat, une station de transfert et une décharge seront établies avec production d'électricité moyennant les émissions du méthane. Ces investissements auront une VAN de 0,9 million de DT, un TRI de 10% et un ratio A/C supérieur à 1.

7.2 QUALITE DE L'EAU POTABLE

95. Le coût de la restauration de l'eau potable pour en réduire la salinité a été dérivé en estimant trois volumes/jour d'eau (20.000, 30.000 et 40.000 m³/jour pendant les trois mois en été lorsque la teneur des ressources en eau augmente suite au manque de pluie). Ceci nécessite un dessalement avant traitement sur 20 ans afin d'opérer une dilution permettant de ramener l'eau du robinet à des normes acceptables de teneur en sodium. Ainsi, ce dessalement est nécessaire pour améliorer la qualité de l'eau et n'est donc pas considéré comme une mesure d'augmentation de la ressource en eau du fait de sa rareté. Les coûts des scénarios 1, 2 et 3 sont respectivement 1,4, 2,2 et 2,9 millions de DT par an sur 20 ans (Tableau 7.2).

Tableau 7.2 : Coût de la restauration de la qualité de l'eau potable, 2010

scénario pour le dessalement Durée de l'investissement : 20 ans	Scénario 1 : 20 000 de m ³ /jour sur 3 mois	Scénario 2 : 30 000 m ³ /jour sur 3 mois	Scénario 3 : 40 000 m ³ /jour sur 3 mois
Coût moyen/an en millions de DT	1,4	2,2	2,9
Borne inférieure en millions de DT	2,3	3,4	4,5
Borne supérieure en millions de DT	2,1	3,2	4,3

Note : 0,8 \$EU/m³ a été retenu comme coût dynamique du dessalement de l'eau de la Medjerda et comprend le taux de recouvrement de l'investissement et de l'entretien. Cependant, le coût social n'est pas pris en compte (émissions des énergies fossiles pour la génération additionnelle d'électricité nécessaire au dessalement et impact du rejet de l'eau saumâtre).

Source : Auteurs.

96. L'introduction du dessalement de l'eau de la Medjerda en période d'été ou de sécheresse permettrait d'améliorer marginalement la qualité de l'eau distribuée via dilution par la SONEDE dans le bassin de la Medjerda ainsi que dans la région du Grand Tunis. Cette amélioration de la qualité de l'eau réduirait la consommation d'eau en bouteille surtout l'eau non-minéralisée laquelle représente un tiers de la consommation d'eau en bouteille selon l'enquête susmentionnée (Tableau 7.3). Quoique très conservatrice, la réduction de la consommation d'eau en bouteille a été considérée de 1/5 de la consommation présente (soit 4,4 millions de DT) pour l'analyse C/A sur 20 ans tout en considérant la consommation d'eau en bouteille et la population ciblée constante sur la période (ce qui est très aléatoire du fait de la très forte tendance d'accroissement de la consommation des dernières années).
97. Le scénario 1 consistant à dessaler 20.000 m³/jour sur 3 mois est rentable avec une VAN positive de 8 millions de DT, un TRI de plus de 10% et une VA du Ratio A/C de plus de 1. Le scénario 2 consistant à dessaler 30.000 m³/jour sur 3 mois permet de dégager un point charnière au seuil



duquel l'alternative deviendrait non rentable et qui fait office d'analyse de sensibilité. Le scénario 3 est à rejeter (Tableau 7.4).

Tableau 7.3 : Investissements et avantages actualisés pour la qualité de l'eau potable, 2011-30

Eau et assainissement en milieu rural	Investissement initial de 2011	Investissement total actualisé à 10% sur 20 ans	Avantage initiale de 2012	Avantage total actualisé à 10% sur 20 ans
	Millions de DT	Millions de DT	Millions de DT	Millions de DT
Scénario 1 : 20 000 de m ³ /jour sur 3 mois/an	15,8	19,3	3,9	33,0
Scénario 2 : 30 000 m ³ /jour sur 3 mois/an	23,7	28,9	3,9	33,0
Scénario 3 : 40 000 m ³ /jour sur 3 mois/an	31,7	38,5	3,9	33,0

Source : Auteurs.

Tableau 7.4 : Analyse Coût/Avantage de la restauration de la qualité de l'eau potable, 2010

Indicateurs de l'Analyse C/A	Critère de rentabilité (taux d'escompte de 10% et durée de l'investissement de 20 ans)	Scénario 1 20 000 de m ³ /jour sur 3 mois/an	Scénario 2 30 000 m ³ /jour sur 3 mois/an	Scénario 3 40 000 m ³ /jour sur 3 mois/an
VAN millions de DT	>0	8,0	0,5	-11,3
TRI	≥10%	32%	11%	--
Ratio A/C (valeur présente)	>1	1,7	1,1	0,9
Résultats		A Considérer	A Considérer	A Rejeter

Note : le flux des avantages survient avec un temps de latence de 1 à 2 ans.

Source : Auteurs.

98. Cette analyse mériterait une enquête plus approfondie pour dériver l'élasticité de la demande en eau potable du robinet avec une amélioration du goût (réduction de la salinité en été) de cette dernière. Toujours est-il que les trois scénarios suggérer ne réduiraient que marginalement la teneur en sel de l'eau potable et pourraient être considérés des appoints pour les années de sécheresse lorsque la salinité de la Medjerda augmente sensiblement. Par ailleurs, un effort en amont, en l'occurrence des actions s'inscrivant dans une meilleure gestion du territoire, permettrait d'avoir un impact positif sur la ressource en eau et de là, sur la qualité de l'eau potable.

7.3 EAU ET ASSAINISSEMENT EN MILIEU RURAL

99. De nombreux projets comme le PISEAU II (Section 2) avec un coût total de 170 millions de \$EU sont en cours pour surtout améliorer l'eau potable en milieu rural. De plus, un effort particulier est en cours notamment par l'ONAS en collaboration avec l'AfD et la Banque mondiale pour rattraper le retard du taux de couverture de l'assainissement en milieu rural dont notamment dans le gouvernorat de Béja.

100. Les réductions réalisables des cas de diarrhée et de la mortalité due à la diarrhée après l'amélioration de l'adduction d'eau, de l'assainissement et des mesures d'hygiène sont basées sur les dernières méta-analyses qui sont illustrées dans le Tableau 7.5. Les cas de figure où : (i) l'adduction d'eau potable existe alors que la connexion au réseau d'égout n'existe pas ; et (ii) lorsque l'adduction d'eau potable n'existe pas et que la connexion au réseau d'égout n'existe pas



ont été retenus : En moyenne, les réductions seraient de 50% et 60% respectivement (Tableau 7.3) et ceci en tenant compte de l'état des mesures d'hygiène au sein des ménages.⁵⁷

101. Les coûts d'investissements et de sensibilisation se rapportant à l'amélioration de l'adduction d'eau, de l'assainissement et des mesures d'hygiène sont illustrés dans le Tableau 7.3 avec de larges variations. Des réductions moyennes de 50% pour l'assainissement et 60% pour l'eau et l'assainissement ont été adoptées pour dériver les gains qui se monte à 9 millions de DT en 2011 (Tableau 7.6) si les investissements venaient à être immédiatement réalisés dans le bassin de la Medjerda en milieu rural. Une intervention augmenterait le taux de couverture de l'assainissement de 17% en 2010 et inclura l'accroissement de la population jusqu'à 2030 en milieu rural. Une intervention augmenterait le taux de couverture de l'eau et de l'assainissement de 16% en 2010 et inclura l'accroissement de la population jusqu'à 2030 en milieu rural.

Tableau 7.5 : Réduction réalisable des cas de diarrhées avec l'amélioration des services

Taux de couverture de l'eau et de l'assainissement	Distribution de la population 2010	Amélioration de l'eau et de l'assainissement	Réduction réalisable des cas de diarrhée quand une :	
			Bonne hygiène au niveau du ménage est vérifiée	Amélioration de l'hygiène au niveau du ménage est nécessaire
Adduction d'eau potable et connexion au réseau d'égout	56%	Amélioration de la fiabilité et de la qualité de l'eau courante (de manière à assurer l'approvisionnement en eau de façon suffisante et sûre) pour ceux de cette population ayant actuellement la fiabilité de l'eau et des problèmes de qualité	15%	45%
Adduction d'eau potable et pas de connexion au réseau d'égout	21%	a) Amélioration de la fiabilité et de la qualité de l'eau courante (de manière à assurer l'approvisionnement en eau de façon suffisante et sûre) pour ceux de cette population ayant actuellement la fiabilité de l'eau et des problèmes de qualité b) Connexion des eaux usées (et chasse d'eau pour ceux qui ont des toilettes sèches ou pas de toilettes) pour toute cette population.	35%	65%
Pas d'adduction d'eau potable et connexion au réseau d'égout	1%	Adduction d'eau fiable et sûre dans les locaux de toute cette population	25%	55%
Pas d'adduction d'eau potable et pas de connexion au réseau d'égout	22%	Adduction d'eau fiable et sûre et connexion des eaux usées (et chasse d'eau pour ceux qui ont des toilettes sèches ou pas de toilettes) pour toute cette population.	45%	75%
Total	100%		28%	60%

Source: adapté de Bassi et al. (2011).

⁵⁷ Bassi et al. (2011).



Tableau 7.6 : Investissements et avantages actualisés pour l'eau et l'assainissement, 2011-30

Eau et assainissement en milieu rural	Investissement par habitant		Investissement initial de 2011 Millions de DT	Investissement total actualisé à 10% sur 20 ans Millions de DT	Avantage initiale de 2012 Millions de DT	Avantage total actualisé à 10% sur 20 ans Millions de DT
	Borne inférieure DT/hab.	Borne supérieure DT/hab.				
Eau	143	171				
Assainissement	64	100				
Sensibilisation à l'hygiène	6	11				
scénario 1			30	38	6,3	77
Assainissement et Sensibilisation						
scénario 2			75	95	7,4	89
Eau, Assainissement et Sensibilisation						
scénario 3			105	134	13,7	151
scénarios 1 et 2						

Note : des coûts d'entretien de 4% pour l'adduction d'eau et l'assainissement de l'investissement initial ont été considérés avec une augmentation nette de 3% par an sur la période. Le coût de la sensibilisation est alloué durant la première année avec des rappels médiatiques annuels.

Source : site web de WASH : <www.sanitationupdates.wordpress.com/2012/10/16/wash-by-numbers-the-latest-on-cost-benchmarks-economic-returns-and-handwashing/>; et Auteurs.

102. Le scénario 1 consistant à assurer un assainissement amélioré à **313.519** habitants⁵⁸ entre 2011 et 2030 est rentable avec une VAN positive de 32 millions de DT, un TRI de plus de 10% et une VA du Ratio A/C de plus de 1. Le scénario 2 consistant à assurer l'eau potable et l'assainissement amélioré à **295.076** habitants entre 2011 et 2030 n'est pas rentable. Cependant, lorsque le scénario 3, qui comprend le scénario 1 et 2, est considéré, l'investissement devient rentable avec une VAN positive de 17 million de DT, un TRI de plus de 10% et une VA du Ratio A/C de plus de 1 (Tableau 7.7). En d'autres termes, l'assainissement avec ou sans l'eau potable justifie les investissements et réduira par à coup la pollution des ressources en eau.

Tableau 7.7 : Analyse Coût/Avantage de la restauration de l'eau et l'assainissement ruraux, 2010

Indicateurs de l'Analyse C/A	Critère de rentabilité (taux d'escompte de 10% et durée de l'investissement de 20 ans)	Scénario 1 Eau et sensibilisation sur 20 ans	Scénario 2 Eau, assainissement et sensibilisation sur 20ans	Scénario 3 Scénarios 1 et 2 sur 20 ans
VAN millions de DT	>0	32	-15	17
TRI	≥10%	22%	7%	12%
Ratio A/C (valeur présente)	>1	2,0	0,9	1,1
Résultats		A Considérer	A Rejeter	A Considérer

Note : le flux des avantages survient avec un temps de 1 à 2 ans.

Source : Auteurs.

⁵⁸ Annuaire Statistique de la Tunisie 2006-2010 (2011).



7.4 AMELIORATION DE LA GESTION DES DECHARGES

103. Le rapport de la GIZ de 2011 pour la gestion de la chaîne de déchets exclue la population rurale vue la dispersion des villages et hameaux se traduisant par des coûts techniquement élevés. D'où, la difficulté à les rattacher à un système centralisé qui couvrirait les villes, les communes et certaines régions mixtes. Ainsi pour la population rurale, des approches communautaires et participatives sont préconisées ultérieurement.
104. Le rapport de la GIZ comprend 4 des 6 gouvernorats de la Medjerda, en l'occurrence, Béja, Jandouba, Le Kef et Siliana. La génération de déchets atteint 183.369 tonnes de déchets municipaux et 39.600 tonnes de déchets inertes en 2009 avec : les déchets domestiques (150.000 tonnes dont 544 tonnes recyclées par EcoLef) ; les boues des STEPs (13.000 tonnes de boues séchées) ; les débris de construction (49.500 tonnes) ; les déchets industriels banals (9.000 tonnes) ; les déchets d'activité sanitaire (556 tonnes) ; et les déchets des abattoirs (1.089). Les déchets agricoles (2 millions de tonnes) s'ajoutent à ce total mais une option de valorisation a été utilisée dans le coût de la dégradation ici-haut. Pour les STEP 6 scénarios sont développés avec une estimation de près de 8.000 tonnes de matières sèches en 2033 avec un coût variant entre 88 DT par tonne pour tout à la décharge à 180 DT la tonne pour une valorisation des boues.

Tableau 7.8 : Investissements et avantages actualisés pour les déchets, 2011-34

Eau et assainissement en milieu rural	Investissement initial de 2011	Investissement total actualisé à 10% sur 24 ans	Avantage initiale de 2012	Avantage total actualisé à 10% sur 24 ans
	Millions de DT	Millions de DT	Millions de DT	Millions de DT
scénario 1 : Station de Transfert, Ségrégation, 15% de recyclage, 15% de compostage et enfouissement	134	229	7,2	71
scénario 2 : Station de Transfert, Ségrégation, 10% de recyclage, 10% de compostage et enfouissement	129	222	6,4	63
scénario 3 : Station de Transfert, enfouissement et génération d'électricité	31	83	5,0	84

Note : des coûts d'entretien de 5% pour des investissements initiaux ont été considérés avec une augmentation nette de 3% par an sur la période.

Source : World Bank (2011), World Bank (2012); et Auteurs.

105. Les coûts d'investissements se rapportent à l'amélioration d'une partie de la chaîne de déchets domestiques et couvrent des stations de transferts jusqu'à l'enfouissement pour les déchets générés par les villes, les communes et certaines régions mixtes avec une population de près de 650.000 habitants en 2010 et atteignant 835.000 habitants en 2033 (Tableau 7.8).
106. Ainsi, 3 scénarios ont été retenus sur 24 ans pour les gouvernorats Nord-ouest: le scénario 1 consistant à assurer dans chacun des gouvernorats 1 station de transfert, 1 station de ségrégation avec un recyclage de 15% et un compostage de 15% avec l'enfouissement du volume résiduel dans une décharges ; le scénario 2 consistant à assurer dans chacun des gouvernorats 1 station de transfert, 1 station de ségrégation avec un recyclage de 10% et un compostage de 10% avec l'enfouissement du volume résiduel dans une décharge ; et le scénario 3 consistant à assurer dans chacun des gouvernorats 1 station de transfert et une décharge permettant la construction de cellules afin de générer de l'électricité. Ainsi, les coûts d'investissement varient entre 31 et 134 millions de DT et les coûts de transport (0,2 DT par km/tonne) des stations de transfert à la ségrégation et enfouissement, et d'opérations et d'entretien sont compris dans l'analyse. Les gains de la première année varient entre 5,0 et 7,2 millions de DT (Tableau 7.9).

Tableau 7.9 : Analyse Coût/Avantage de la restauration des déchets domestiques, 2010



Indicateurs de l'analyse C/A	Critère de rentabilité (taux d'escompte de 10% et durée de l'investissement de 24 ans)	Scénario 1 Station de transfert, ségrégation, 15% de recyclage, 15% de compostage et enfouissement	Scénario 2 Station de transfert, ségrégation, 10% de recyclage, 10% de compostage et enfouissement	Scénario 3 Station de transfert, enfouissement et génération d'électricité
VAN millions de DT	>0	-158	-159	0,9
TRI	≥10%	--	--	10%
Ratio A/C (valeur présente)	>1	0,3	0,3	1,0
Résultats		A Rejeter	A Rejeter	A Considérer

107. L'analyse C/A a été faite pour l'amélioration d'une partie de la chaîne de gestion des déchets domestiques et les résultats sont illustrés dans le Tableau 7.6. (voir l'Annexe V pour le détail des analyses). Les scénarios 1 et 2 ne sont pas rentables économiquement, car trop coûteux. Cependant, le scénario 3 est rentable avec une VAN positive de 0,9 million de DT, un TRI de plus de 10% et une VA du Ratio A /C de plus de 1 (Tableau 7.6).

7.5 REDUCTION DE L'EROSION EN AMONT POUR REDUIRE L'ENSABLEMENT DES BARRAGES

108. Un programme de la stratégie nationale de conservation des eaux et du sol 2002-2011 de protection des barrages contre l'envasement a été formulé et un projet d'aménagement global des bassins versants de l'ensemble des barrages a été réalisé et programmé en Tunisie avec succès. Cette approche est préventive et plus efficace que le **coût de remplacement** utilisé pour calculer les coûts de la dégradation ici-haut et mériterait d'être ainsi considérée pour un calcul éventuel des coûts de la restauration.

109. Ainsi, les interventions de l'ODESYANO et dans une moindre mesure celles du Commissariat Régional de Développement Agricole ont généré des avantages dans les régions ciblées. Il est néanmoins très difficile d'évaluer l'impact exact de la lutte antiérosive qui concerne la maîtrise et la mobilisation des eaux de surface ou la gestion des terres agricoles. Toujours est-il que la Banque mondiale (2010) a évalué les interventions de ces deux institutions dans le bassin de Barbara au nord du bassin de la Medjerda dont nombreux versants ont la même topographie et subissent les mêmes conditions climatiques et par à-coup, la même érosion. Cependant, l'évaluation tire les avantages directs des pratiques de conservation comme les aménagements ou la plantation de blé, d'arbres, etc. et indirectes comme la séquestration de carbone sans vraiment essayer d'établir une causalité entre les interventions et la réduction de l'envasement des barrages.

110. La VAN avec un taux d'escompte de 10% sur 20 ans est de 940-5.050 DT/ha sur la zone intervenue pour les interventions de l'ODESYANO. L'agroforesterie (olivier/céréales en intercalaire), l'amélioration des terres des parcours, les prairies permanentes et la plantation de *sulla* (ressources phylogénétiques fourragères) sur les terres de culture contribuent le plus à ce résultat, car ce sont les interventions les plus rentables du point de vue social. Les cordons et les seuils en pierres sèches n'apparaissent pas rentables qu'uniquement en combinaisons avec l'agroforesterie. S'ajoute à ces avantages une VAN de 1.100-5.400 DT/ha au niveau de l'environnement global. Les interventions du Commissariat Régional de Développement Agricole donnent des résultats quasi similaires où 2.700 DT/ha lorsqu'un taux d'escompte de 2% sur la zone intervenue.



111. Aussi, le troisième Projet de Développement des Zones Montagneuses financé par la Banque mondiale, récemment achevé avec succès, a aussi dégagé des gains importants sans pour autant démontrer une baisse de l'érosion. Ce projet a contribué notamment à : (i) une augmentation du couvert végétal et forestier, passant de 32 % à 38 % ; (ii) une augmentation du pourcentage des terres bénéficiant d'investissements en conservation des eaux et des sols, passant de 0,3 % à 13 % et couvrant 20 700 hectares de terres fragiles ; et (iii) un progrès important se traduisant par des rendements plus élevés, une diversification des systèmes de production agricole et la rationalisation de l'affectation des terres.
112. Une étude de planification des aménagements CES dans le Gouvernorat de Jendouba a aussi dégagé des avantages positifs quand les groupes sociaux sont pris en compte mais sans vraiment dériver un C/A pour l'érosion et l'ensablement des barrages.
113. Une étude conduite par Daly-Hasen (2008) évalue l'avantage des valeurs directes et indirectes d'une forêt avec un avantage de 14 DT/ha pour la prévention de l'érosion (Encadré 7.1).

Encadré 7.1 : Valeur d'usage d'une forêt

La valeur d'usage d'une forêt et la distribution des avantages a été calculée par Daly-Hassen et al. (2008) pour tous les retours que le gouvernement ou la population locale reçoivent des forêts, les prestations externes et sociales (prestations pour l'ensemble de la société en général, de la biodiversité, par exemple, la prévention de la dégradation des sols). Les résultats ont montré que les bénéfices privés s'élèvent à 96,8 \$EU/ha en 2005 (à parts égales entre le gouvernement et les utilisateurs locaux). Le bois et le fourrage pâturé étaient les produits les plus précieux générant 41,4 millions et 34,2 de \$EU/ha respectivement. Les avantages externes ont atteint une moyenne de 24,9 \$EU/ha. Ses principales composantes sont la prévention de l'érosion (9,8 \$EU/ha), la séquestration du carbone (11,8 \$EU/ha), et la conservation de la biodiversité (3,2 \$EU/ha). Cependant, les loisirs est la composante la moins gratifiante de l'avantage économique qui se monte à 0,1 \$EU/ha, en dépit de l'existence de plusieurs parcs nationaux et réserves dans la région étudiée.

114. Il n'en demeure pas moins que vu la difficulté de dériver des coûts utilisables de prévention de l'érosion, l'analyse C/A ne sera pas faite dans ce cas de figure mais il est urgemment nécessaire de lancer une étude comparative en utilisant une analyse multi variée afin d'établir une corrélation entre topographie, utilisation des sols, précipitation et ensablement de barrages sur au moins 3 barrages de la Medjerda. Ceci permettra de dériver les déterminants de l'ensablement nécessaires pour la conception et la réalisation d'interventions en amont susceptibles de réduire l'ensablement des barrages.



8.Recommandations

115. Le diagnostic et les analyses qui ont été développés dans les précédents chapitres permettent d'arriver à trois conclusions d'ordre général :
- la priorité donnée aux investissements visant d'abord l'amélioration du cadre de vie urbain et en ne fournissant pas autant d'investissements et d'institutions pour l'amélioration du cadre de vie du milieu rural alors que le bassin de la Medjerda possède un tissu rural ;
 - les appréciations qualitatives des impacts sur les ressources naturelles sont généralement bien cernées d'un point de vue technique, cependant, les évaluations économiques de ces impacts sont quasiment inexistantes ; et
 - la « sectorisation » de la prise de décision du fait que les questions environnementales relèvent uniquement des compétences des autorités environnementales du pays et sont traitées au titre d'avis ou de conseil et ceci, faute d'intégrations et de réflexions « transversales » et de la responsabilisation précise d'institutions existantes pour atteindre les objectifs globaux du développement durable dans le bassin de la Medjerda.
116. Cinq domaines d'intervention sont proposés pour la gestion intégrée et durable des ressources en eau de la Medjerda qui sous-tendent les recommandations de la présente étude :
- La réorientation progressive de la politique d'intensification d'exploitation des ressources naturelles**, notamment dans le cadre de la mobilisation des ressources en eau. Cette réorientation pourra se faire sur la base de critères qui incluent explicitement la performance économique et la dégradation et la rareté des ressources du bassin de la Medjerda. Ceci devra permettre d'une part une meilleure valorisation des ressources de l'eau et d'autre part intégrer les préoccupations de conservation du patrimoine « sols et eaux », et l'amélioration de leur productivité.
 - La focalisation en premier lieu sur des investissements efficaces pour le contrôle de la pollution domestique dans les milieux ruraux et périurbains** qui ont été négligés dans le passé. La priorité serait que :
 - l'État investisse d'abord dans l'extension de l'eau potable et de l'assainissement dans le milieu rural du bassin où la pauvreté est prédominante, en utilisant des technologies appropriées. Les conclusions de cette étude permettront à l'ONAS de développer la stratégie de l'assainissement basée sur des éléments économiques et environnementaux persuasifs et munis des indicateurs de suivi tels que la diminution du coût de la dégradation des ressources en eau.
 - Les investissements projetés par l'ANGed avec l'assistance de la KfW devraient inclure non seulement le type d'enfouissement traditionnel mais aussi la génération des revenus additionnels en forme d'électricité ainsi que le traitement et la fermeture des décharges sauvages du bassin de la Medjerda.
 - La planification des interventions en amont susceptibles de réduire l'envasement des barrages** afin de dériver les déterminants de l'envasement et d'évaluer l'impact exact de la lutte antiérosive qui concerne la maîtrise et la mobilisation des eaux de surface et adapter les techniques antiérosives en vue de leur utilisation effective par les exploitants.
 - Un réseau d'information décentralisé pour l'observation, le suivi, la surveillance continue des milieux et des ressources naturelles du bassin de la Medjerda**. Ce réseau devrait être réorienté en partenariat avec les institutions de l'eau et de l'environnement. Ce réseau aura pour objectif de :
 - définir et valider des protocoles continus d'échange et de coopération avec d'autres sources d'information et bases de données
 - entreprendre des mesures de l'état des sols et des eaux (commencé déjà sous le PISEAU et le COPEAU) ;



- iii. refléter la compréhension et l'évaluation du milieu et ses impacts sur la santé et la dégradation du capital naturel afin de contribuer à la prise de décision basée sur des données et informations précises et régulières et ;
 - iv. fournir à tout usager, toutes les informations et données sur la nature et qualité des eaux et des sols ainsi que les contraintes et incitations.
- e. **Une dimension d'action horizontale pour une réflexion globale et intégrée sur la gestion de l'eau dans le bassin versant de la Medjerda est fortement recommandée.** Les investissements efficaces et efficients ne sont pas suffisants pour assurer la multi-sectorialité et la coopération entre les ministères et bénéficiaires. Un système « horizontal » doit être mis en place pour une réflexion globale et intégrée sur la gestion de l'eau dans le bassin versant de la Medjerda. Il est fortement recommandé que les actions des mises en place soient soutenues par un groupe permanent établi au sein du MdA et qui rassemblerait l'ensemble des sources d'information et des expertises techniques et scientifiques provenant, du même ministère et ses institutions (SONEDE, INAT, CRDA, ODESYANO), et des départements extérieurs impliqués tels que le MdE (ONAS, ANGed, CITET), et le MdSP et les représentants des usagers. Ce groupe permanent des politiques et suivi du bassin de la Medjerda peut être établi sous l'égide de la Direction Générale du Bureau de la Planification et des Équilibres Hydrauliques du MdA et devrait, dans un premier lieu :
- i. développer une expertise de l'évaluation des avantages et dommages et en économie de l'eau et un conseil dans les modes et moyens de l'intégration de cet aspect dans les programmes et stratégies sectorielles de développement ; et
 - ii. mettre en place un système d'évaluation et de suivi pour les investissements et activités du bassin de la Medje



9. REFERENCES

- Arnold, B. and Colford, JM. 2007. "Treating water with chlorine at point-of-use to improve water quality and reduce child diarrhea in developing countries: a systematic review and meta-analysis." *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, vol. 76(2): 354-364.
- Baker, B., Metcalfe, P. Butler, S., Gueron, Y., Sheldon, R., and J. East. 2007. *The benefits of the Water Framework Directive Programme of Measures in England and Wales*. Sponsored by Defra, Welsh Assembly Government, Scottish Executive, Department of Environment Northern Ireland, Environment Agency, Scottish Environment Protection Agency, Department of Business, Enterprise and Regulatory Reform, Scotland and Northern Ireland Forum for Environmental Research, UK Water Industry Research, the Joint Environmental Programme, UK Major Ports Group, British Ports Association, CC Water, Royal Society for the Protection of Birds, National Farmers' Union and Country Land and Business Association (the "Collaborative Partners").
- Banque mondiale. 2007. *République Tunisienne Evaluation du Coût de la Dégradation de l'Eau*. Bureau Régional Moyen-Orient & Afrique du Nord. Département Développement Durable. Rapport No. 38456-TN. Washington, D.C.
- Banque Mondiale. 2010. *La Génération des Bénéfices Environnementaux pour Améliorer la Gestion des Bassins Versants en Tunisie*. République Tunisienne. Rapport No 50192 – TN. Bureau Régional Moyen-Orient & Afrique Du Nord Département Développement Durable. Washington, D.C.
- Bassi, S. (IEEP), P. ten Brink (IEEP), A. Farmer (IEEP), G. Tucker (IEEP), S. Gardner (IEEP), L. Mazza (IEEP), W. Van Breusegem (Arcadis), A. Hunt (Metroeconomica), M. Lago (Ecologic), J. Spurgeon (ERM), M. Van Acoleyen (Arcadis), B. Larsen and, F. Doumani. 2011. *Benefit Assessment Manual for Policy Makers: Assessment of Social and Economic Benefits of Enhanced Environmental Protection in the ENPI countries. A guiding document for the project 'Analysis for European Neighbourhood Policy (ENP) Countries and the Russian Federation on social and economic benefits of enhanced environmental protection'*. Brussels.
- Caractérisation des pollutions de l'oued Medjerda. 2011. Comité de Coopération Marseille Provence en partenariat avec le service COPEAU et l'ANPE et le financement de l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée. Tunis.
- Centre d'analyse stratégique. 2009. *La valeur tutélaire du carbone*. Rapports et documents N.16/2009 - Rapport de la commission présidée par Alain Quinet. Paris.
- Centre for Development and Environment (CDE). 2009. *Benefits of sustainable land management*. University of Bern. UNCCD, WOCAD, and others. Bern.
- Commission of the European Communities (CEC). 1991. Council Directive of 21 May 1991 concerning urban waste water treatment (91/271/EEC). OJ L135, 30.5.1991.
- Clasen, T., Schmidt, W-P., Rabie, T., Roberts, I., and Cairncross, S. 2007. "Interventions to improve water quality for preventing diarrhoea: systematic review and meta-analysis." *British Medical Journal*, 334:782-91.
- Curtis, V. and Cairncross, S., 2003. "Effect of Washing Hands with Soap on Diarrhoea Risk in the Community: A Systematic Review." *Lancet Infectious Diseases*, vol. 3:275-81.
- Daly-Hassen, H., Mansoura, A.B., 2008. "Private and social values and their distribution in Tunisian cork oak forests." Paper for the XIII *World Forestry Congress*, Buenos Aires, Argentina, 18 – 23 October 2009.
- Department for Energy and Climate Change (DEEC). 2009. *Carbon Valuation in UK Policy Appraisal: A Revised Approach*. London.
- European Commission (EC). 2008. *Impact Assessment - Document accompanying the Package of Implementation measures for the EU's objectives on climate change and renewable energy for 2020 - Commission Staff Working Document*. Brussels.
- European Commission (EC). 2009. Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC.
- European Environment Agency (EEA). Undated: glossary.eea.europa.eu
- European Environment Agency (EEA). 2009. *Water resources across Europe — confronting water scarcity and drought*.



- Fewtrell, L., Kaufmann, R., Kay, D., Enanoria, W., Haller, L., and Colford, JM. 2005. "Water, sanitation, and hygiene interventions to reduce diarrhoea in less developed countries: a systematic review and meta-analysis." *Lancet Infectious Diseases*, vol. 5:42-52.
- FAO. 2010c. Global Forest Resources Assessment: www.fao.org/forestry/62318/en/
- FAO. 2011a. *State of the World's Forests 2011*. <www.fao.org/docrep/013/i2000e/i2000e00.htm>
- FAO. 2011b. *FAO Forestry Country Information: Tunisia*. <www.fao.org/forestry/country/en/tun/>.
- Forster, P., V. Ramaswamy, P. Artaxo, T. Berntsen, R. Betts, D.W. Fahey, J. Haywood, J. Lean, D.C. Lowe, G. Myhre, J. Nganga, R. Prinn, G. Raga, M. Schulz and R. Van Dorland, 2007. *Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing*. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, N.Y.
- GIZ. 2010. *Etude de Faisabilité : Gestion des Déchets Municipaux de la Vallée de la Medjerda Phase 1 – Diagnostic de la Situation Actuelle et Définition des Objectifs*. Tunis
- Hachicha, Mohamed. 2007. "Les sols salés et leur mise en valeur en Tunisie". *Science et changements planétaires / Sécheresse*. Volume 18, Numéro 1, 45-50, Janvier, Février, Mars 2007.
- IFH. 2001. *Recommendations for Selection of Suitable Hygiene Procedures for the Use in the Domestic Environment*. International Scientific Forum on Home Hygiene. United Kingdom.
- Jebari, Sihem. 2009. *Water erosion modeling using disaggregation - A study in semi-arid Tunisia fractal rainfall*. Report No. 1047. Department of Water Resources Engineering, Lund Institute of Technology, Lund University, Sweden.
- Jebari, S., Berndtsson, R., Lebdi, F., and Bahri, A., 2012. "Historical aspects of soil erosion in the Mejerda catchment." *Hydrological Sciences Journal*, 57 (5), 1–12.
- Karem A., Maamouri F., Ben Mohamed A. (sous la direction). 1999. *Actes du séminaire de Gestion et conservation des zones humides tunisiennes*. Projet MedWet, Sousse, Octobre 1997, Tunis.
- Kotuby-Amacher, Janice, Boyd Kitchen and Rich Koenig. 2003. *Salinity and Plant Tolerance*. Utah State University. Utah.
- Lindhjem and Navrud. 2010. *Meta-analysis of stated preference VSL studies: Further model sensitivity and benefit transfer issues*. Prepared by Henrik Lindhjem, Vista Analyse, Norway, and Ståle Navrud, Department of Economics and Resource Management, Norwegian University of Life Sciences, Working Party on National Environmental Policies, OECD.
- Luby, S., Agboatwalla, M., Feikin, D., Painter, J., Ward Billheimer, MS., Altaf, A., and Hoekstra, R. 2005. "Effect of hand washing on child health: a randomised controlled trial." *Lancet*, 366: 225-33.
- MA - Millennium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*. World Resources Institute, Washington, D.C.
www.millenniumassessment.org/documents/document.354.aspx.pdf
- Matthews, E. and Themelis, N.J. 2007. *Potential for Reducing Global Methane Emissions From Landfills, 2000-2030, Sardinia 2007, Eleventh International Waste Management and Landfill Symposium*. NASA Goddard Institute for Space Studies, Earth Engineering Center, Columbia Univ. Boston.
- Mediterranean Environmental Technical Assistance Program (METAP). 2009. *Coastal Legal and Institutional Assessment and Environmental Degradation, Remedial and Averted Cost in Coastal Northern Lebanon*. Funded by EC SMAP III and The Ministry of Foreign Affairs of Finland. Washington, D.C.
- Merlo M. and L. Croitoru (eds.). 2005. *Valuing Mediterranean Forests: Towards Total Economic Value*. Wallingford: CABI Publishing.
- Nelson, J. 1978. "Residential choice, hedonic prices, and the demand for urban air quality". *Journal of Urban Economics* 5 (3): 357–369.
- Nordhaus, William. 2001. "Global Warming Economics." *Science*. 294(5545): 1283-1284. Nordhaus, William. 2011. "Estimates of the Social Cost of Carbon: Background and Results from the RICE-2011 Model." *NBER Working Paper No. 17540*. Oct 2011.
- Pimentel, D., Harvey, C., et al. 1995. "Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits." *Science*. 267: 1117-23.
- Rabie, T. and Curtis, V. 2006. "Handwashing and risk of respiratory infections: a quantitative systematic review." *Tropical Medicine and International Health*, vol. 11(3): 258-67.



- Raskin, P., Gleick, P.H., Kirshen, P., Pontius, R. G. Jr and Strzepek, K., 1997. *Comprehensive assessment of the freshwater resources of the world*. Stockholm Environmental Institute, Sweden. Document prepared for UN Commission for Sustainable Development 5th Session 1997.
- Sonneveld, B.G.J.S. and Dent, D.L. 2007. "How good is GLASOD?" *Journal of Environmental Management*, 1-10.
- TEEB. 2009. *The economics of ecosystems and biodiversity for national and international policy makers - summary: responding to the value of nature*. European Commission, Brussels.
- TEEB. 2010. *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations*. Edited by Pushpam Kumar, Earthscan, London.
- TEEB. 2011. *The Economics of Ecosystems and Biodiversity in National and International Policy Making*. Edited by Patrick ten Brink. Earthscan, London.
- ten Brink, P. and S. Bassi. 2008. *Benefits of Environmental Improvements in the European Neighbourhood Policy (ENP) Countries – A Methodology*. A project working document for DGENV.
- U.S. Department of the Interior (USDI). 2012. *U.S. Geological Survey Minerals Yearbook 2010*. Washington, D.C.
- Van Acoleyen, M., and Baouendi, A. 2011. *Analysis for European Neighbourhood Policy (ENP) Countries and the Russian Federation of social and economic benefits of enhanced environmental protection – Tunisia Country Report*, funded by the European Commission. Brussels.
- World Health Organisation (WHO). 2002. *Environmental Health Indicators for the WHO European region. Update of Methodology*. Geneva.
- WHO. 2010. *World Health Statistics 2010*. Geneva.
- WHO/UNICEF. 2010a. *Progress on Sanitation and Drinking-Water 2010 Update*. Geneva
- WHO/UNICEF. 2010b. *Estimates for the use of improved drinking-water sources and improved sanitation facilities: Tunisia*. JMP for Water Supply and Sanitation. March 2010. www.childinfo.org.
- World Bank. 2004. *Cost of Environmental Degradation – The Case of Lebanon and Tunisia*. Environmental Economics Series. Paper number 97. Edited by M. Sarraf, M. Oweygene and B. Larsen. Washington, D.C.
- World Bank. 2008. *Environmental Health and Child Survival: Epidemiology, Economics, Experiences*. Washington, D.C.
- World Bank. 2010. *Lebanon Country Environmental Analysis*. Washington, D.C.
- World Bank. 2011. *World Development Indicators*. Washington, D.C.
- World Bank. 2012. *For Better For Worse*. Republic of Egypt. Washington, D.C.



10. ANNEXE I MISSION D'IDENTIFICATION

Évaluation du Coût de la dégradation de l'environnement du bassin de la Medjerda en Tunisie : Liste des personnes rencontrées Tunis, du 30 juillet au 04 août 2012

Institution	Nom	Fonction
Direction Générale de la Protection et du Contrôle de la Qualité des Produits Agricoles	M. Bouzid Nasraoui	Directeur Général
	M. Fethi Sakli	Directeur de Protection des Plantes
	M. Abdelbaki Labidi	Service Analyses Chimiques
	M. Mohamed Beji	Sous Directeur des Intrants et Produits
	M. Chaabane Moussa	Ing/P – Chef de service de l'homologation des engrais et pesticides
	M. Adel Jemmazi	S/Directeur Contrôle Sanitaire Interne
	Mme Fatma Chiha	S/Directeur Semences et plants
M. Kacem Chamkhi	Homologation et protection des végétales	
Direction des Grands Barrages et des Travaux Hydrauliques	M. Tawfik Abdelhedi	Directeur Général
	M. Hassen Ben Ali	
	M. Mellouli Mohamed	
Bureau de la Planification et des Equilibres Hydrauliques Direction Générale des Ressources en Eau	Mme Sondess Kamoun	Directeur Général
	M. Moncef Rekaya	Directeur Général
ONAS	M. Nejjib Abid	Directeur de la Planification
	M. Omrani	
	M. Adel Boughanmi	Chef Département Planification & Budgets
Direction Régionale de l'Environnement du Littoral Nord	Mme Nesrine Gdiri	
Direction Générale de l'Environnement et de a Qualité de la Vie	Mme Awatef Messai	



Agence Nationale de Protection de l'Environnement (ANPE)	M. Samir Kaabi Mme Mouna Sfaxi	
Observatoire des Maladies Nouvelles et émergentes	M. Mabrouk Nethif	
ANGED	Mme Myriam Jenaih	
INSTM	M. Bechir Béjaoui M. Noureddine Zaaboul	
DUE	M. Denis Pommier	
Vendredi 03 août 2012		
Direction Générale des Forêts	M. Rafik Aini	
INAT	Mme Jamila Tarhouni Mme Salm Bettaeib M. Mohame Salah Ben Romdhane	Département Génie Rural Département Halieutique
SONEDE	M. Mosbah Hellali	
DGACTA	M. Abdellah Cherid	
DGFIOP	Mme Lamia Jemmali	
Direction de l'Hygiène	M. Mohamed Rabhi	Directeur Général

**Atelier de Consultation sur le Coût de la Dégradation de l'Environnement du Bassin de la Medjerda en Tunisie : Liste des participants
Tunis, le 7 décembre 2012**

#		Prénom	Nom	Titre	Organisation	Département	Adresse email
1	Dr.	Sherif	ARIF	Consultant	SWIM-SM		sherifarif59@yahoo.com
2	M.	Khalil	ATTIA	P.D.G	ONAS - Ministère de l'Environnement		pdg@onas.nat.tn
3	M.	Mohamed	AYADI	Chef d'arrondissement CRDA de l'Ariana	Ministère de l'Agriculture	Commissariat régional au développement agricole de l'Ariana	ayedm11@yahoo.fr
4	M.	Habib	AZAIEZ	P.D.G	SECADENORD Ministère de l'Agriculture	Société d'exploitation des canaux et des adductions des eaux du nord.	secadenord@secadenord.com.tn
5	M.	Sami	AZOUZ	Sous Directeur	SECADENORD Ministère de l'Agriculture	Société d'exploitation des canaux et des adductions des eaux du nord	azouzsami@gmail.com



#		Prénom	Nom	Titre	Organisation	Département	Adresse email
6	M.	Néji	BALTI	Ingénieur Principal	Ministère de l'Agriculture CRDA de Jendouba	Ressources en Eau (Hydraulique)	Nbalti05@gmail.com
7	M.	Bécher	BEJAOUI	Chercheur	Institut National des Sciences et Technologies de la Mer	Milieu Marin	nouri_zaaboub@yahoo.fr
8	Mme	Faïza	BEN ATIG	Environnementaliste	SCET-TUNISIE	Environnement, Hydraulique et Agriculture	f.benatig@scet-tunisie.com.tn
9	M.	Riadh	BEN MOUSSA	Chef de Service	Ministère de l'Agriculture	Direction Générale du Financement des investissements et des organismes professionnels	benmoussa_riadh@yahoo.fr
10	M.	Bader Essalem	BEN LETAIEF	Chef de Service	Office National de l'assainissement		dop.suiviprojet@onas.nat.tn
11	Dr.	Anne	CHAPONNIERE	Expert	GIZ	Project CCC	anne.chaponniere@giz.de
12	M.	Fadi	DOUMANI	Consultant	SWIM-SM		fdoumani@yahoo.com
13	Mme	Marie-Josée	ELLOUMI	Directeur	ANPE	Département du suivi des milieux environnementaux	elloumi_mj_anpetunisie@yahoo.fr
14	Dr.	Raoudha	GAFREJ	Maître Assistante Expert	Université Tunis El Manar - ISSBAT	Département Protection de l'environnement	r.lahache@gnet.tn
15	M.	Chedli	GHAZOUANI	Ingénieur en Chef	Ministère de l'Agriculture CRDA de Jendouba	Hydraulique et Equipement Rural	ghazouanich@yahoo.fr
16	M.	Balti	HABIB	CUDA de Béja	Ministère de l'Agriculture		baltihabibbalti@yahoo.com
17	M.	Abdelkader	HAMDANE	Consultant-Enseignant	INAT		abdelkader.hamdane@gmail.com
18	M.	Habib	HELLALI	Sous Directeur	Ministère de l'Agriculture	Bureau de la Coopération Internationale Ministère de l'agriculture	habib.hellali@iresa.grinet.tn
19	Dr.	Taoufik	HERMASSI	Chercheur	National Research Institute for Rural Engineering, Water and Forestry	Research Laboratory of Rural Engineering	taoufikhermassi@yahoo.com
20	M.	Hamdi	JABRI	Ingénieur	ANGED		jabrihamdi@yahoo.fr
21	M.	Abderraouf	JAZIRI	Chef de Division HER CRDA de l'Ariana	Ministère de l'Agriculture	Commissariat régional au développement agricole de l'Ariana	jaziri_raouf@yahoo.fr
22	Dr.	Sihem	JEBARI	Chercheur	INGREF	Hydrologie - CES	sihem.jebari@gmail.com
23	M.	Fethi	JEMAI	Directeur régional	Ministère de l'Environnement	Direction Régionale de l'Environnement de Béja	jemaifethi17@yahoo.fr



#		Prénom	Nom	Titre	Organisation	Département	Adresse email
24	M.	Samir	KAABI	Chef de département	Agence Nationale de la Protection de l'Environnement	Observatoire Tunisien de l'Environnement	dt.ctl@anpe.nat.tn
25	Mme	Sondes	KAMOUN	Directeur Général	Ministère de l'Agriculture		sondeskamoun@yahoo.fr
26	Mme	Awatef	LARBI MESSAI	Chef de Service	Ministère de l'Environnement	Direction Générale de l'Environnement et de la Qualité de la Vie	awatef.messai@yahoo.fr
27	M.	Faouzi	MAAMOURI	Coordinateur	WWF Medpo	WWF Tunis office	Fmaamouri@wwftunis.org
28	Dr.	Mohamed Raouf	MAHJOUB	Professeur	Ecole Supérieure des Ingénieurs de l'Equipement Rural	Département d'Hydraulique	mahjoub_raouf@yahoo.fr
29	M.	Mohamed	MELLOULI		Ministère de l'Agriculture	Direction Générale des Barrages et Grands Travaux Hydrauliques	
30	M.	Chokri	MEZGHANI	Sous Directeur	Ministère de l'Environnement	Direction Générale du Développement durable	chokri.mezghani@yahoo.fr
31	M.	Mohamed Lotfi	NACEF	Directeur	Ministère de l'Agriculture	Bureau de l'Inventaire et des Ressources en Eau	nacefm1@yahoo.fr
32	M.	Mabrouk	NADHIF	Directeur	Ministère de la santé Publique	Observatoire National des Maladies Nouvelles et Emergentes	mabrouk.nedhif@rns.tn
33	Dr.	Fethi	OULED-SAAD	Sous Directeur	ODESYPAMO	Protection Gestion Ressources Naturelles	fethiouled@yahoo.fr
34	Mme	Samira	RAFRAFI	Sous Directeur	Ministère de l'Agriculture	Direction Générale du Financement, des Investissements et des Organismes Professionnels	samira.rafrafi@gmail.com
35	Dr.	Mohamed Salah	ROMDHANE	Professeur	INAT/Université de Carthage	Ecosystèmes et Ressources Aquatiques	ramdhanms@gmail.com
36	Mlle	Rakia	CATINI	Directeur Général (assistant Saad SEDDIK)	Ministère de l'Agriculture	Direction Générale du Génie Rural et de l'Exploitation des Eaux	saad.seddik@iresa.agrinet.tn
37	M.	Bouaziz	SIFI	Chef de Laboratoire	INRAT	Laboratoire des Sciences et Techniques Agronomiques	bouazizsifi@yahoo.fr
38	M.	Mohamed	TARHANI	Sous Directeur	Ministère du Développement régional et de la Planification	Direction Générale des Infrastructures	mohamed.tarhani@mdci.gov.tn
39	Dr.	Boubaker	THABET	Professeur	Institut National Agronomique de Tunisie	Economie - Gestion Agricole et agro-alimentaire	boubaker_thabet.inat@yahoo.com
40	M.	Denis	POMMIER		Délégation de l'UE en Tunisie		denis.pommier@eas.europa.eu



#		Prénom	Nom	Titre	Organisation	Département	Adresse email
41	Mme	Monia	ZIADI	Chef de division SONEDE	SONEDE		
42	M.	Essaied	NAASSAOUI	Directeur de l'ONAS	Projet SWIM-Sustain Water MED		
43	M.	Jemmali	KHALIL				
44	M.	Habib	BALTI				
45	M.	Baha Eddine	JRADI				
46	M.	Hamed	DALY		INRAT		
47	Mme	Najet	GHARBI		DGGREE		n.gharbi@laposte. net
48	Mme	Soufia	ABROUG		ONAS		
49	Mme	Nasima	GUEDIRI		ME / DRLN		
50	Mme	Mouna	SFAXI	Ingénieur à l'ANPE			
51	Mme	Kathrin	ALBMANN	Assistant de Denis Pommier	Délégation de l'Union européenne en Tunisie		
52	Mme	Dalila	JAZIRI		Direction Générale de l'Aménagement et de la Conservation des Terres Agricoles	Ministère de l'Agriculture	dalila.jaziri@lapost e.net
53	M.	Habib	JAZIRI		Direction Générale de l'Aménagement et de la Conservation des Terres Agricoles	Ministère de l'Agriculture	jaziri.habib@yahoo .fr
54	Mme	Caroline	VILOS	Coordinatrice de l'événement	LDK Consultants		



11. ANNEXE II METHODOLOGIE GENERALE POUR L'ÉVALUATION DES COÛTS DE LA DÉGRADATION

Catégorie Eau et Sous-catégories

Qualité et traitement de l'eau potable. Le traitement de l'eau potable peut s'effectuer à deux niveaux : au niveau des stations des traitements de l'eau potable; et au niveau des ménages. Le coût de la dégradation est calculé en déterminant le **changement de production** et ce, en dérivant le coût additionnel de traitement requis au niveau des stations (par exemple, lorsque les margines sont rejetées dans le bassin versant sans être traitées) et en déterminant les **préférences révélées** au niveau des ménages (par exemple lorsqu'un ménage utilise un filtre, fait bouillir l'eau et/ou dans un cas extrême achète de l'eau en bouteille quand la qualité de l'eau potable laisse à désirer). Pour le coût de la restauration, des avantages peuvent être tirés par dilution (**changement de production**) lors du dessalement d'une partie du volume d'eau destiné à la consommation domestique ainsi qu'à d'autres investissements pouvant couvrir toutes les autres sous-catégories afin de réduire la pollution de la ressource d'origine anthropogénique et naturelle.

Qualité des services de l'eau potable ou domestique et de l'assainissement en milieu urbain et rural ainsi que des systèmes d'irrigation. L'état des prestations n'est pas considéré dans ce cas précis mais pourrait cependant être évalué en dérivant les **coûts de remplacement** associés aux sources alternatives d'eau domestique (bouteilles, puits, citernes, etc.) ou les coûts de production associés au nettoyage/dégorgage des fosses septiques en cas de carence des services. Les **coûts d'opportunité** peuvent aussi être calculés pour les pertes techniques du réseau de distribution, qui sont considérées dans cette étude, ou le temps perdu à transporter l'eau ou nettoyer/dégorger les fosses septiques. Le **changement de l'état de santé** est aussi considéré dans cette sous-catégorie. Certains paramètres de qualité de l'eau n'affecte que le goût de l'eau comme l'excès des solides dissous et de sulfates. Par ailleurs, la qualité bactériologique de l'eau peut causer des maladies comme la typhoïde, l'hépatite A, le trachome et les nématodes. De plus, la qualité physico-chimique de l'eau peut causer des maladies comme un excès de globules rouges, l'hypertension et la méthémo-globinémie qui sont respectivement attribuable à l'excès de chlorures, de sodium, et de nitrates. Néanmoins, la causalité entre la qualité de l'eau et certaines maladies reste très difficile à établir de façon définitive surtout lorsqu'il s'agit de cas de cancer liés à l'ingestion de pesticides qui contaminent l'eau potable ou la chaîne alimentaire. Ainsi, la causalité la plus fiable est celle qui lie la diarrhée qui est transmissible via une contamination biologique d'une part et le manque d'eau ou la qualité d'eau notamment l'eau potable, l'état inadéquat de l'assainissement au sein du ménage et le manque de mesures d'hygiène (utilisation judicieuse du savon) par les membres du ménage d'autre part. Ainsi, une fonction de dose-réponse, qui a largement été établie par un grand nombre d'études, a été utilisée pour évaluer les maladies hydriques, notamment la mortalité prématurée et la morbidité liées à la diarrhée touchant les enfants de moins de 5 ans. Ainsi, la prévalence des diarrhées dans la région et le taux de couverture de l'eau potable et de l'assainissement ont été considérés dans la fonction de dose-réponse pour dériver les résultats. Concernant la **mortalité**, il est difficile d'attribuer une valeur à une mort prématurée et ceci est controversé. Pourtant la valeur d'une vie statistique humaine (VVS), qui représente la réduction du risque de décès prématuré, a été utilisée et est égale à 378.643 de DT pour la toute mortalité prématurée en Tunisie. Aussi, le coût des soins a été considéré pour la **morbidité** (hôpitaux, médecins, aides soignants, médicaments, nombre de jours d'inactivité, etc.) à 45 DT en moyenne par cas de diarrhée pour les enfants de moins de 5



ans et 21 DT pour la population égale à ou plus âgée que 5 ans.⁵⁹ Le coût de la restauration comprend les investissements pour augmenter le taux de couverture de l'adduction d'eau et l'assainissement. Ceci devrait être accompagné par une bonne prestation et par le lancement d'une campagne de sensibilisation pour un changement de comportement pour ce qui est de l'hygiène au sein du ménage. Par ailleurs, une augmentation de l'efficacité des systèmes d'irrigation s'effectue en utilisant le **changement de productivité**.

Qualité de la ressource en eau. Dans cette sous-catégorie, celle-ci est exclusivement d'origine anthropogénique et est affectée par le rejet des eaux usées domestiques, les effluents industriels, miniers et halieutiques (pisciculture en eau fraîche) ainsi que par les eaux de ruissellement dus aux nitrates et pesticides utilisés par le secteur agricole. Les lixiviats sont cependant couverts sous **Déchets**. La pollution des eaux de surface et des eaux souterraines affectent l'usage de l'eau (domestique, agricole et industriel) ; l'écosystème (eutrophisation, effets sur les valeurs directes, indirectes et d'option, etc.) du bassin versant et des zones côtières; le coût des terrains, logements et appartements (méthode hédonique) le long des zones polluées; et l'éco-tourisme (perte d'opportunité surtout le long des berges et côtes polluées). Cependant, il est très difficile de pouvoir évaluer la dégradation de la qualité de l'eau par impact. Ainsi, des enquêtes utilisant une évaluation contingente permettent de dériver des **préférences révélées** (consentement-à-payer) des utilisateurs afin de gauger l'état de restauration de la ressource souhaité. Cette méthode est utilisée en se basant sur un **transfert d'avantages** (voir Annexe III). Par ailleurs, pour restaurer la qualité de la ressource, les investissements incluent d'habitude : un choix oscillant entre l'utilisation de procédés simples et peu coûteux comme l'assainissement naturel à l'aide roseaux à la construction de STEPs avec un traitement primaire, secondaire ou tertiaire pour les rejets des eaux usées domestiques ; le changement du procédé de production et/ou le traitement individuel ou collectif des effluents industriels ; une campagne de sensibilisation auprès des agriculteurs afin soit d'optimiser l'utilisation de pesticides et nitrates soit d'adopter l'agriculture bio ; et dans un cas extrême où la ressource est irrécupérable, une substitution de la ressource par une adduction d'eau plus éloignée ou le dessalement et le transport de la ressource en eau est considérée.

Salinité. La salinité des eaux de surface et souterraines est d'origine naturelle et anthropogénique (érosion des sols due à l'activité humaine), et a des effets sur la santé si l'eau est utilisée à des fins domestiques (voir ici-haut **Qualité de l'Eau Potable**), la productivité agricole et sur les écosystèmes. Seuls les effets sur l'agriculture sont pris en compte dans ce cas de figure avec l'utilisation d'un **changement de production** pour dériver le coût de la dégradation. Par contre, le coût de la restauration peut comprendre plusieurs alternatives : de la compensation de la salinité en utilisant plus de fertilisants (effet cependant pervers qui pollue les ressources en eau) ; à la dilution des ressources souterraines en injectant d'habitude des eaux usées traitées ; à une meilleur utilisation des sols en mettant en œuvre une stratégie d'aménagement du territoire qui peut comprendre comme instruments d'aménagement la reforestation, une gestion responsable des sols, la prévention ou l'atténuation de l'érosion hydrique et éolienne des sols, etc. ; et dans un cas extrême où la ressource est irrécupérable, une substitution de la ressource par une adduction d'eau plus éloignée ou le dessalement et le transport de la ressource en eau peut être envisagée.

Quantité. La raréfaction des ressources en eau est d'origine naturelle et anthropogénique, et se manifeste par la réduction du flux ou le ruissellement, qui est exacerbée par une utilisation accrue de la ressource pour pallier à la croissance démographique et couvrir les activités économiques. Par ailleurs, le rallongement et dérèglement des cycles de sécheresses (fréquences et intensités) affectent les eaux de surface et des eaux souterraines qui subissent un abaissement du niveau des

⁵⁹ Bassi et al. (2011).



nappes phréatiques et des nappes profondes. Le manque de flux est compensé d'habitude : dans un cas d'urgence, par l'utilisation spontanée des eaux usées traitées ou non traitées pouvant causer la contamination de la chaîne alimentaire ; dans un cas intermédiaire, par un pompage plus en profondeur (abaissement rapide ou utilisation de l'eau fossile donc non-renouvelable) des ressources souterraines est nécessaire pour pallier aux besoins domestiques et/ou maintenir la productivité agricole ; et dans un cas extrême, par une substitution de la ressource nécessitant une adduction d'eau plus éloignée ou le dessalement et le transport de la ressource en eau est considérée pour les eaux de surface. Le **changement de production**, les **coûts d'opportunité (manque à gagner)** et les **coûts de remplacement** sont considérés pour le calcul du coût de la dégradation alors que le coût de la restauration dépend de l'alternative de substitution retenue.

Erosion et Stockage. La gestion de la ressource en eau est affectée par l'érosion et exacerbée par les changements climatiques qui réduisent la capacité de stockage. L'ensablement et la sédimentation des barrages, des lacs collinaires, des lits des fleuves et des côtes sont accentués par une utilisation inadéquate des sols en amont (comme la déforestation, gestion irresponsable des sols, érosion hydrique et éolienne des sols, etc.) et exacerbés par le dérèglement climatique se manifestant par une fréquence et une intensité accrues des inondations durant les saisons humides. Les **coûts de remplacement** peuvent être calculés en considérant la baisse de la valeur nutritive des sols qui doit être compensée par des engrais, les **coûts d'opportunité** (lâchers nécessaires pour dégorger les bassins) de l'eau perdue et les dommages à l'écosystème ; les **dépenses défensives** (dragage ; construction de lacs collinaires pour absorber l'excès de sédimentation) ; les **coûts de remplacement** (relèvement des barrages ou construction de nouveaux barrages) ; les **coûts d'opportunité (manque à gagner)** du fait de la réduction du volume d'eau stocké et la réduction de la durée de vie des barrages et des lacs collinaires ; de la réduction des services des écosystèmes. Par ailleurs, les coûts de la restauration sont dans certains cas les mêmes coûts utilisés pour évaluer la dégradation comme par exemple les investissements pour la construction de nouveaux barrages. Mais les coûts de restauration peuvent aussi comprendre la mise en œuvre d'une stratégie d'aménagement du territoire qui peut comprendre des instruments comme la reforestation, une gestion responsable des sols, la prévention ou l'atténuation de l'érosion hydrique et éolienne des sols, etc.

Production hydroélectrique. La réduction de la production est enregistrée en cas de sécheresse et l'exacerbation des cas de sécheresse grâce aux changements climatiques risque de mener à des coupures de courant. Le coût de la dégradation considère **le coût social de substitution** de la génération électrique par des centrales alimentées par des énergies fossiles. Ce coût comprend les effets des émissions de polluants et de GES. Le coût de restauration ou d'adaptation comprend notamment la substitution des centrales alimentées par des énergies fossiles par des centrales alimentées par des énergies renouvelables.

Catégorie Déchets et Sous-catégories

Chaîne des déchets solides en milieu urbain et rural y compris les boues issues des STEPs. La pollution issue des déchets domestiques et agricoles est bien sur d'origine anthropogénique. Ainsi, la mauvaise gestion des déchets solides domestiques ainsi que les boues (et éventuellement des dépôts de sel avec le dessalement qui est effectué par la SONEDE dans le sud du pays) et les déchets agricoles peut se traduire par plusieurs impacts comme : l'inconfort ; la santé ; la pollution visuelle, olfactive, auditive, de l'air, des sols et des ressources en eau (ruissellement des lixiviats) ; les décharges sauvages peuvent engendrer des explosions et des incendies ; la réduction des prix des terrains/bâtisses/appartements autour de la décharge ; etc. Les coûts de la dégradation considèrent toute la chaîne des déchets. **Collecte:** attribution de 1% du revenu disponible des ménages pour les



ménages sans couverture pour les déchets solides alors que les boues sont collectées par les prestataires mais rejetées généralement de façon sauvage dans la nature (oueds, décharges, etc.). **Décharges** : coût de nettoyage par m³. **Séparation et recyclage**: coût d'opportunité des déchets recyclables en utilisant le taux du marché pour les matériaux non-recyclés. Manque à gagner de la production d'énergie **par le manque d'utilisation des déchets agricoles**. **Réduction des prix des terrains autour de la décharge (préférences révélées** en utilisant la méthode hédonique) ou des oueds ou les boues des STEPs sont rejetées: réduction des prix des terrains, bâtisses et appartements de : $\pm 15\%$ dans une circonférence jusqu'à 30 m autour de la décharge ; et de $\pm 10\%$ dans une circonférence de 30 à 100 m autour de la décharge.⁶⁰ **Capture du méthane dans les décharges sanitaires** : manque à gagner de la production d'énergie et empreinte carbone en l'absence d'un site d'enfouissement sanitaire. Par ailleurs, le coût de la restauration dépend des alternatives retenues pour la collecte, les stations de transfert, les stations de séparation et de recyclage ; et les décharges sanitaires avec ou sans la capture du méthane.

Chaîne des déchets médicaux et dangereux. Celle-ci n'est pas considérée dans cette étude mais l'impact pourrait être plus important que les déchets domestiques si les prestations pour gérer les déchets médicaux et dangereux ne sont pas adéquates.

Catégorie Biodiversité

Divers empiètements sont enregistrés le long du bassin se traduisant par des pertes des écosystèmes et de plantes médicinales. TEEB a été considéré pour le coût de la dégradation (pertes des services) alors que toutes les interventions des autres sous-catégories peuvent être considérées comme des coûts de restauration.

Catégorie Catastrophes Naturelles et Changements Climatiques

Les catastrophes naturelles et les effets des changements climatiques sont considérés dans un continuum allant du court au long terme.

Catastrophes naturelles. Les inondations, sécheresses, événements extrêmes, etc. verront leur intensité et leur fréquence s'exacerber avec le temps. Les coûts des impacts comprennent : la santé (mortalité, blessure, noyade, maladies contagieuses, stress psycho-physique) ; les biens détruits ; les biens dépréciés (préférences révélées en utilisant la méthode hédonique) dans des régions susceptibles d'être le plus touchées par les inondations (dépréciation des prix des terrains dans les zones inondables), la houle (dépréciation des prix des terrains dans les zones côtière du fait de la houle et de l'érosion côtière), etc. ; la perturbation des services ; les infrastructures affectées; les ressources (lâchers avec réduction de la ressource et effets sur l'écosystème) dilapidées ; la productivité économique réduite; etc. Le coût de restauration ou de prévention dépend de l'état de préparation et de l'efficacité de la réponse.

Emissions de GES. Les modèles de réduction d'échelle pour estimer les effets des changements climatiques existent pour la Tunisie. Cependant, dans ce cas de figure, seules les émissions de GES avec un effet sur l'environnement global seront considérées. Le World Resource Institute a identifié 2 tonnes de CO₂ par an et par habitant comme le seuil à ne pas dépasser pour limiter la croissance des températures à 2° Celsius au-dessus desquelles un changement climatique irréversible et

⁶⁰ Nelson (1978).



dangereux deviendra inévitable. Ainsi, le coût de la dégradation considère les émissions de carbone marginaux qui dépassent les 2 tonnes de CO₂ par an et par habitant (l'excès des tonnes de CO₂ par an et par habitant à multiplier par la population et le prix du carbone). Le coût social de CO₂ présent et futur (2000-2099) représente les dommages causés par une tonne des émissions actuelles en termes de: inondations, sécheresses, élévation accélérée du niveau de la mer, baisse de la production alimentaire, extinction des espèces, migration, etc. Plusieurs estimations sont disponibles pour le coût social des émissions de CO₂ allant de \$EU 3 à \$EU 95 (Nordhaus, 2001; Stern, 2007; UNIPPC, 2007). Récemment, la Commission européenne (CE 2008 et DECC 2009) a considéré 6 \$EU la tonne comme valeur inférieure consolidé de CO₂ et l'étude française (Centre d'analyse stratégique, 2009) comme valeur limite supérieure de CO₂ avec 11 \$EU par tonne en 2009. Une fourchette de 11,3-15,4 \$EU par tonne de CO₂ en 2010 sont les prix ayant été considérés comme borne inférieure et borne supérieure basée sur Nordhaus, 2011, qui a ré-estimé le coût social du carbone au temps présent et jusqu'à 2015, y compris l'incertitude, pondération des actions, et l'aversion au risque. Le prix moyen considéré est donc de 13,3 \$EU équivalent à 19 DT par tonne de CO₂ (45,1 \$EU par tonne de carbone) en \$EU de 2010.



12. ANNEXE III METHODES SPECIFIQUES POUR L'ÉVALUATION DES COÛTS DE LA DEGRADATION DE LA CATEGORIE EAU

Méthodologie pour la Qualité de l'Eau

Contrairement aux transferts des avantages non ajustés où le consentement à payer (CAP) sur le site de la politique est supposé être égal aux valeurs moyennes du CAP sur le site d'origine ($CAP_p = CAP_s$). Les transferts tentent d'ajuster les valeurs en tenant compte de toutes les différences possibles (par exemple les variables socio-économiques et environnementales inclus dans la fonction agrégée avantages) entre les deux sites (voir Bateman et al. (2000) ou Garrod et Willis (1999)). L'équation 1 offre une représentation conceptuelle de l'approche fonction de transfert des avantages:

$$\begin{aligned} \text{Sondage sur le site: } CAP_s &= \alpha S + \beta_1 X_{s1} + \beta_2 X_{s2} \\ \text{Site de la Politique: } CAP_p &= \alpha S + \beta_1 X_{p1} + \beta_2 X_{p2} \end{aligned}$$

Où s désigne le site du sondage. p le site de la politique et X_1 , X_2 vecteurs des caractéristiques spécifiques et les caractéristiques de la population pour chaque site (par exemple les niveaux de revenu et de l'éducation. aux niveaux de référence qualité de l'eau ...). Le transfert des avantages est considéré comme un outil approprié pour le transfert des estimations du CAP ajusté entre différents endroits où le vecteur d'attributs et de caractéristiques socio-économiques (X_1 , X_2) qui déterminent les similitudes et les différences entre la politique et le site de l'enquête ne peut être établie. Lorsque ces différences existent et leur ampleur sont connus, il est possible de substituer les variables connues dans le site d'origine enquête avantages agrégés pour fonction de fournir des estimations. Cet exercice implique le choix sur les facteurs qui sont inclus et qui sont omis dans l'analyse à cause de la limitation par la disponibilité des données.

Tableau A3.1 : Les valeurs CAP annuelles pour l'amélioration à 100% de l'environnement eau en 2016

Méthode d'élicitation / Modèle pour l'amélioration de 100% en 2015	Angleterre		Pays de Galles		Angleterre et Pays de Galles	
	CAP moyen £/mén./an	CAP médian £/mén./an	CAP moyen £/mén./an	CAP médian £/mén./an	CAP moyen £/mén./an	CAP médian £/mén./an
PCCV statistiques de l'échantillon	49.2	30.0	62.6	50.0	50.4	30.0
PCCV MCO modèle	44.8	25.3	40.1	22.7	44.5	25.1
Modèle Logit DCCV	167.0	167.0	181.4	181.4	167.9	167.9
Modèle Logit CE	293.7	293.7	508.0	508.0	299.9	299.9

Source: Baker et al. (2007).

Baker et al. (2007) a récemment estimé la valeur économique accordée par les ménages anglais et gallois pour l'amélioration de la qualité de l'eau au niveau local et national en tant que résultat de la mise en œuvre de la directive eau (Tableau A3.1). Il est l'un des rares études qui ont utilisé une série écologique basée sur les métriques de qualité de l'eau pour la description des niveaux de référence et d'améliorations. Les résultats de cette recherche sont utilisés par le *Department for Environment, Food and Rural Affairs* ainsi que l'Agence de l'environnement en Angleterre et au Pays de Galles pour informer les décisions politiques nécessaires pour se conformer à la directive.

Les eaux usées brutes et les rejets industriels ainsi que tous les contaminants provenant de processus tel que les déchets liquides d'origine domestique, industrielle et agricole (comme par exemple la



pollution organique, les déchets dangereux et les pesticides) dans le bassin hydrique de la Medjerda affectent cette ressource de façon négative en général. La valeur économique non marchande d'un changement dans la qualité des eaux qui pourraient découler du traitement des eaux usées et d'options de politique des déchets est calculée pour la qualité des eaux de surface. Une méthode de transfert des avantages est utilisée dans ce contexte. La méthodologie proposée couvre les valeurs directes et indirectes découlant de l'amélioration de la qualité des ressources en eau (Tableau A3.2).

Tableau A3.2 : Améliorations des valeurs d'usage courant et de non-usage des ressources en eau

Avantage	Type des usages de l'eau		Exemple	
Avantages potentiels de la qualité de l'eau	Usage courant	Usage direct	Flux dérivé de l'utilisation de la ressource	
		Usage Indirect	Flux dérivé le long des berges	Activités de loisirs: pêche, baignade, canotage
				Activités de loisirs: randonnée, trekking
	Non Usage		Option	Détente, plaisir de paix et la tranquillité
				Esthétique, jouissance de la beauté naturelle
				Préférences d'utilisation future de la ressource à des fins personnelles
Non Usage		Existence	Maintenir un bon environnement pour le plaisir de tous	
			Legs	Plaisir de connaissances que les générations futures seront en mesure de faire usage de la ressource dans l'avenir

Source: Adapté de Baker et al. (2007).

Tableau A3.3 : CAP par ménage basé sur la carte de paiement et le choix dichotomique dérivés à partir du transfert d'avantages, 2010

Consentement à Payer	Population	Membre dans chaque ménage	Scénario 3 100% d'amélioration après 6 ans		
	(# million)	(#)	Consentement à payer		
	2010	2010	2010		
			Borne Inférieure	Borne Moyenne	Borne Supérieure
Grand Tunis (\$EU/an)	2,5	4	9,4	10,0	12,3
Medjerda Urbain (\$EU/an)	0,4	5	9,4	10,0	12,3
Medjerda Rural (\$EU/an)	0,8	6	9,4	10,0	12,3
Grand Tunis (DT/an)	2,5	4	13,4	14,3	17,6
Medjerda Urbain (DT/an)	0,4	5	13,4	14,3	17,6
Medjerda Rural (DT/an)	0,8	6	13,4	14,3	17,6

Note: \$PPP Revenu Intérieur Brut par habitant a été utilisé pour ajuster le différentiel de revenus (0,21) entre le Royaume Uni et la Tunisie l'élasticité des revenus est estimée à 1. Taux de change utilisés 1\$EU = 1,4 DT.

Source: Baker et al. (2007); World Bank (2011); et Auteur.

L'évaluation des biens marchands et non marchands est fondée sur les préférences des gens pour une amélioration de l'environnement et les valeurs sont mesurées soit par une procédure d'élicitation directe ou indirecte par l'analyse des transactions dans les marchés où les préférences pour un bien environnemental sont supposées influencer le prix du bien commercialisé (Tableau A3.3). La valeur de toute la population touchée est établie par une opération de change reflétée dans la somme de la valeur de chaque personne pour l'amélioration de l'environnement. La méthode de transfert de prestations ne peut être considérée comme une méthode d'évaluation en soi, mais plutôt comme une alternative rapide et peu coûteuse pour le transfert de données sur la valeur existante.



13. ANNEXE IV METHODES SPECIFIQUES POUR L'ÉVALUATION DES COÛTS DE LA DEGRADATION DE LA CATEGORIE DECHETS

Coût de la collecte en milieu rural. Le coût de la collecte en milieu rural pour 1,6 millions d'habitants dans le bassin de la Medjerda est équivalent à 1% de leur revenu de 10.000 DT par ménage par an⁶¹ avec une variation de 5.000 à 15.000 DT par ménage. Le coût de la dégradation de la non-collecte est donc équivalent à 26,8 millions de DT en 2010.

Coût du nettoyage des déchets déchargés dans des décharges sauvages. La population considérée est la population périurbaine de certaines communes et rurale qui atteint 2,2 millions avec 0,58 kg⁶² généré par habitant par jour avec une fourchette de 0,30 à 0,65 kg.

Les hypothèses suivantes sont utilisées:

- La profondeur de la décharge est en moyenne de 1 mètre.
- La densité moyenne de déchets immergés est de 340 kg /m³.
- La réduction du volume à travers les feux incontrôlés dans les décharges est de 2/3 laissant ainsi un solde de 1/3.

Le total des déchets non collectés municipaux générés en 2010 est de 340.006 tonnes. Ces déchets ont le potentiel de polluer 333.339 m² = (1,6 millions*365*0,58 kg)* 1/3 * 1/340. Pour le nettoyage des décharges sauvages, 32 DT par tonne par m³ (1 m² par 1 mètre de profondeur) est adopté.⁶³ Le coût du nettoyage se monte à 11,2 millions de DT en 2010 avec une variation de 6 à 13 millions de DT.

Tableau A4.1 : Déchets potentiellement recyclables dans la Medjerda, 2010

	Population	Déchets générés	Déchets générés	Métaux	Verres	Papiers / carton	Plastiques	Textile	Compost
	#	Kg/jour	Tonnes/an	1.4%	0.6%	4.1%	5.5%	7.0%	20%
Population urbaine	393.716	0,75	107.780	1.509	647	4.419	5.928	7.545	21.556
Population périurbaine et Communale	86.020	0,58	18.210	255	109	747	1.002	1.275	3.642
Population rurale	1.606.074	0,58	340.006	4.760	2.040	13.940	18.700	23.800	68.001
Total	2.085.810		465.996	6.524	2.796	19.106	25.630	32.620	93.199
Produits Recycles							600		
Produits Recyclables nets				6.524	2.796	19.106	25.030	32.620	93.199
Coût/tonne (DT/tonne)				117,6	19,9	32,4	65,9	26,1	39,2
Coût de la Dégradation				767.045	55.756	619.121	1.649.346	851.947	3.657.780
Coût de la Dégradation totale									7.600.995
Borne inférieure									5.320.697
Borne supérieure									8.361.095

Source : GIZ (2011) ; Bassi et al. (2011) ; et Auteurs.

⁶¹ GIZ (2011).

⁶² Ibid.

⁶³ Bassi et al. (2011).



Recyclage. La gestion des déchets en Tunisie a développé des systèmes formels et informels de récupération des matériaux avec de grands impacts sur le volume et le poids des déchets municipaux pour la collecte et l'élimination finale. Des procédés innovants de recyclage ont été mis au point comme ECO-Lef qui organise la collecte et le recyclage des plastiques au niveau local et en participant à la création d'emplois et de revenus. ECO-Lef ne s'occupe que des plastiques et a développé ses activités presque exclusivement dans le gouvernorat de Béja avec à peu près 600 tonnes de quantité de plastiques collectés en 2010. Les résultats sont illustrés dans le Tableau A4.1 et le coût de la dégradation se monte à 7,6 millions de DT en 2010 avec une variation de 5,3 à 8,4 millions de DT.

Production d'électricité avec la biomasse. Le bassin de la Medjerda est orienté vers les grandes cultures céréalières ainsi vers l'élevage. Les déchets agricoles avec des déchets estimés à 1,6 millions de tonnes venant de l'élevage; 0,3 million venant du bois de taille et 0,27 tonnes venant des cultures céréalières. Dans le rapport GIZ (2011). Le potentiel électrique réalisable par la méthanisation des biomasses agricoles dans le bassin de la Medjerda a été calculé et est de 71 MW de puissance installée avec une production annuelle de 462.329.000 kW/h. Les déchets générés par les industries agro-alimentaires peuvent aussi représenter un potentiel électrique de 10 MW soit 65.116.761 kW/h. Ceci est équivalent à 51,1 et 7,0 millions de DT respectivement au tarif moyen de 0,1105 DT par kW/h. Cependant, seul 10% et 1% respectivement des montants générés peuvent être mobilisés soit l'équivalent de 5,1 et 0,05 millions de DT en 2010 respectivement.

Moins-value des terrains autour des décharges. La méthodologie des coûts hédoniques a été utilisée pour dériver le coût de la moins-value des terrains avoisinants les décharges.⁶⁴ Les décharges ont été considérées en forme de cercle pour dériver le premier anneau et le deuxième anneau : $\pm 15\%$ de réduction des prix des terrains dans une circonférence jusqu'à 30 m autour de la décharge ; et $\pm 10\%$ de réduction des prix des terrains dans une circonférence de 30 à 100 m autour de la décharge. Les appartements et bâtisses n'ont pas été considérés alors qu'une plus grande moins-value aurait pu être calculée. Aucune distinction n'a été faite entre les décharges semi-contrôlées et sauvages dans le bassin de la Medjerda. La plus petite superficie répertoriée par GIZ (2011) a été assignée aux décharges répertoriées sans superficie. Les résultats sont illustrés dans le Tableau A4.2.

La génération d'électricité perdue et GES émis du fait de la non-capture du méthane dans le futur. La génération de déchets solides dans le bassin de la Medjerda se monte à 465.996 tonnes. D'ici 3 ans, 10% de la génération potentielle de méthane pourrait être capturé et utilisé pour générer de l'électricité. Ainsi sur un potentiel de 67 millions de m³ de méthane, 3 millions de m³ pourraient être capturés. Seule une année a été considérée dans le futur par souci de simplification alors que le flux capture pourrait s'étendre sur plusieurs années. La production d'électricité pouvant être générée est de 31,1 millions de kW/h en utilisant la formule suivante : $1 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 = 9,8 \text{ kW/h}$ à 100% d'efficacité. L'équivalent monétaire est de 3,3 millions de DT lorsque le VAN est calculé avec un taux d'escompte 5% avec un tarif moyen de 0,1105 DT par kW/h pour considérer ces avantages perdus au temps présent. L'émission de méthane qui aurait pu être évitée d'ici 3 ans est de 2.185 tonnes équivalent à 54.617 de tonnes de CO₂ équiv. L'équivalent monétaire est de 1 millions de DT lorsque le VAN est calculé avec un taux d'escompte de 5%.

⁶⁴ Nelson (1978).



Tableau A4.2 : Evaluation hédoniques des terrains autour des décharges, 2010

Décharge	Type	Superficie	$D^2=5/Pi/4$	Diamètre d'origine	Rayon d'origine	Rayon 30 m	Rayon 100 m	Superficie 30 m	Superficie 100 m	Pertes 30 m	Pertes 100 m	Prix des terrains	Pertes 30 m 15% du prix	Pertes 100 m 10% du prix
		m ²		m	m	m	m	m	m ²	m ²	m ²	m ²	DT/m ²	DT
Béja	Contrôlée	30000	38.197	195	98	128	167	51.247	87.323	21.247	36.076	30 (20-40)	95.613	108.227
Maagoula	Contrôlée	5000	6.366	80	40	70	109	15.347	37.253	10.347	21.906	30 (20-40)	46.563	65.717
Mejez el Bab	Contrôlée	25000	31.831	178	89	119	158	44.642	78.632	19.642	33.989	30 (20-40)	88.391	101.967
Jendouba	Contrôlée	30000	38.197	195	98	128	167	51.247	87.323	21.247	36.076	30 (20-40)	95.613	108.227
Boussalem	Contrôlée	5000	6.366	80	40	70	109	15.347	37.253	10.347	21.906	30 (20-40)	46.563	65.717
Tabarka	Contrôlée	300000	381.972	618	309	339	378	361.076	448.929	61.076	87.853	30 (20-40)	274.843	263.559
Siliana	Contrôlée	18000	22.918	151	76	106	145	35.095	65.773	17.095	30.678	30 (20-40)	76.929	92.034
Goubellat	Sauvage	15000	19.099	138	69	99	138	30.852	59.914	15.852	29.062	30 (20-40)	71.335	87.186
Teboursouk	Sauvage	50000	63.662	252	126	156	195	76.607	119.651	26.607	43.044	30 (20-40)	119.733	129.131
Zahret Medien	Sauvage	30000	38.197	195	98	128	167	51.247	87.323	21.247	36.076	30 (20-40)	95.613	108.227
Ben Metir	Sauvage	5000	6.366	80	40	70	109	15.347	37.253	10.347	21.906	30 (20-40)	46.563	65.717
Ghardimaou	Sauvage	30000	38.197	195	98	128	167	51.247	87.323	21.247	36.076	30 (20-40)	95.613	108.227
Oued Meliz	Sauvage	5000	6.366	80	40	70	109	15.347	37.253	10.347	21.906	30 (20-40)	46.563	65.717
Dahmani	Sauvage	5000	6.366	80	40	70	109	15.347	37.253	10.347	21.906	30 (20-40)	46.563	65.717
Jerissa	Sauvage	40000	50.930	226	113	143	182	64.097	103.877	24.097	39.780	30 (20-40)	108.436	119.340
Kalaat Kashba	Sauvage	20000	25.465	160	80	110	149	37.867	69.549	17.867	31.681	30 (20-40)	80.402	95.044
Kalaat Senan	Sauvage	15000	19.099	138	69	99	138	30.852	59.914	15.852	29.062	30 (20-40)	71.335	87.186
Ksour	Sauvage	20000	25.465	160	80	110	149	37.867	69.549	17.867	31.681	30 (20-40)	80.402	95.044
Nabeur	Sauvage	2500	3.183	56	28	58	97	10.645	29.687	8.145	19.042	30 (20-40)	36.652	57.127
Sakiet S Youssef	Sauvage	30000	38.197	195	98	128	167	51.247	87.323	21.247	36.076	30 (20-40)	95.613	108.227
Sers	Sauvage	27000	34.377	185	93	123	162	47.302	82.149	20.302	34.847	30 (20-40)	91.359	104.540
Tajerouine	Sauvage	30000	38.197	195	98	128	167	51.247	87.323	21.247	36.076	30 (20-40)	95.613	108.227
Touiref	Sauvage	8000	10.186	101	50	80	119	20.339	44.835	12.339	24.495	30 (20-40)	55.527	73.486
Aroussa	Sauvage	10000	12.732	113	56	86	125	23.462	49.417	13.462	25.955	30 (20-40)	60.580	77.864
Bargou	Sauvage	25000	31.831	178	89	119	158	44.642	78.632	19.642	33.989	30 (20-40)	88.391	101.967
Bouarada	Sauvage	30000	38.197	195	98	128	167	51.247	87.323	21.247	36.076	30 (20-40)	95.613	108.227
Gaafour	Sauvage	20000	25.465	160	80	110	149	37.867	69.549	17.867	31.681	30 (20-40)	80.402	95.044
Le Krib	Sauvage	20000	25.465	160	80	110	149	37.867	69.549	17.867	31.681	30 (20-40)	80.402	95.044
Makhtar	Sauvage	20000	25.465	160	80	110	149	37.867	69.549	17.867	31.681	30 (20-40)	80.402	95.044
Rouhia	Sauvage	15000	19.099	138	69	99	138	30.852	59.914	15.852	29.062	30 (20-40)	71.335	87.186
Sidi Bou Rouis	Sauvage	12000	15.279	124	62	92	131	26.477	53.752	14.477	27.274	30 (20-40)	65.147	81.823
Nefza	Présumée sauvage	5000	6.366	80	40	70	109	15.347	37.253	10.347	21.906	30 (20-40)	46.563	65.717



Décharge	Type	Superficie	$D^2=S/\pi/4$	Diamètre d'origine	Rayon d'origine	Rayon 30 m	Rayon 100 m	Superficie 30 m	Superficie 100 m	Pertes 30 m	Pertes 100 m	Prix des terrains	Pertes 30 m 15% du prix	Pertes 100 m 10% du prix
		m ²		m	m	m	m	m	m ²	m ²	m ²	m ²	DT/m ²	DT
Testour	Présumée sauvage	5000	6.366	80	40	70	109	15.347	37.253	10.347	21.906	30 (20-40)	46.563	65.717
Ain Draham	Présumée sauvage	5000	6.366	80	40	70	109	15.347	37.253	10.347	21.906	30 (20-40)	46.563	65.717
Fernana	Présumée sauvage	5000	6.366	80	40	70	109	15.347	37.253	10.347	21.906	30 (20-40)	46.563	65.717
El Kef	Présumée sauvage	30000	38.197	195	98	128	167	51.247	87.323	21.247	36.076	30 (20-40)	95.613	108.227
Menzel Salem	Présumée sauvage	5000	6.366	80	40	70	109	15.347	37.253	10.347	21.906	30 (20-40)	46.563	65.717
Kesra	Présumée sauvage	5000	6.366	80	40	70	109	15.347	37.253	10.347	21.906	30 (20-40)	46.563	65.717
Sous-total													2.959.102	3.528.314
Total													6.487.415	
<i>Borne inférieure à 20 DT le m²</i>													<i>4.324.944</i>	
<i>Borne supérieure à 40 DT le m²</i>													<i>8.649.887</i>	

Source : Nelson (1978) ; Bassi et al. (2011) ; GIZ (2011) ; Site web ImmoTunisie : <www.immotunisie.com>; et Auteurs.



14. ANNEXE V RESULTATS DE LA RESTAURATION

Les gains associés à l'accès à l'assainissement amélioré et à l'eau potable sont illustrés dans le Tableau A5.1. Les capacités, coûts unitaires et investissements requis pour la chaîne de déchets après la collecte sont illustrés dans les Tableaux A5.2 à A5.4.

Tableau A5.1 : Gains associés à l'accès à l'eau potable et à l'assainissement, 2010

Population rurale de la Medjerda	2010	Réduction de la diarrhée	Réduction de la mortalité due à la diarrhée	Réduction des cas de diarrhée	Valeur par cas	Gains en 2010
			#	million	DT	Millions de DT
Sans accès à l'assainissement (million)	0,266					
Taux de natalité (Nombre de nouveau-nés par 1000 habitants)	15,1	0,500	9		378,643	3,3
Population < 5 ans (million)	0,025	1,25		0,03	45,0	1,4
Population ≥ 5 ans (million)	0,241	0,250		0,06	21,2	1,3
Sous-Total						6,0
Sans accès à l'eau et à l'assainissement (million)	0,250					
Taux de natalité (Nombre de nouveau-nés par 1000 habitants)	15,1	0,600	10		378,643	3,8
Population < 5 ans (million)	0,025	1,50		0,04	45	1,7
Population ≥ 5 ans (million)	0,225	0,300		0,07	21	1,4
Sous-Total						6,9
Total						12,9

Sources : adapté de Bassi et al. (2011); World Development Indicators (2011); Annuaire Statistique de la Tunisie 2006-2010 (2011); et Auteurs.

Tableau A5.2: Capacité requise après collecte pour les déchets des gouvernorats Nord-ouest, 2010-2034

	Capacité des stations de transfert	Distance	Capacité des stations ségrégation	Recyclage, compostage et/ou enfouissement			
				Superficie	Scénario1 15% R - 15% C	Scénario 2 10% R - 10% C	Scénario 3 0% R - 0% C
				Tonne/j	km	Tonne/j	km ²
Beja	165	40-60	200	20	90	116	200
Jenjoubba	226	40-60	250	20	113	145	250
Le Kef	140	40-60	200	10	90	116	200
Siliana	127	40-60	180	10	81	104	180
Total	658		830		374	481	830

Source: GIZ (2011); et Auteurs.

Tableau A5.3: Coût unitaire pour la chaîne de déchets des gouvernorats Nord-ouest

	Capacité des stations de transfert	Transport	Capacité des stations ségrégation	Recyclage, compostage et/ou enfouissement			
				Superficie	Scénario1 15% R - 15% C	Scénario 2 10% R - 10% C	Scénario 3 0% R - 0% C
				DT/tonne/j	DT/km/tonne	DT/tonne/j	km ²
Beja	35000	0,2	82.069	50	141425	100000	10000
Jenjoubba	35000	0,2	82.069	50	141425	100000	10000
Le Kef	35000	0,2	82.069	40	141425	100000	10000
Siliana	35000	0,2	82.069	40	141425	100000	10000

Source: GIZ (2011); et Auteurs.



Tableau A5.4: Investissements pour la chaîne de déchets des gouvernorats Nord-ouest

Gouvernorat	Coût des stations de transfert	Coûts des transports	Coût des stations de ségrégation	Coût de recyclage, composte et enfouissement			Coût total d'investissement sans transport		
				Scénario 1 15% r - 40%	Scénario 2 12% r - 30%	Scénario 3 0% r - 0% c	Scénario 1 15% r - 15%	Scénario 2 10% r - 10%	Scénario 3 0% r - 0%
	Millions de DT	Millions de DT	Millions de DT	Millions de DT	Millions de DT	Millions de DT	Millions de DT	Millions de DT	Millions de DT
Beja	8	1,8	16	13	12	3	37	36	27
Jenjouba	11	2,5	21	16	15	3	47	46	35
LeKef	7	1,5	16	13	12	3	36	35	26
Siliana	6	1,4	15	11	10	2	32	31	23
Total	32	7,2	68	53	48	11	153	148	111

Source: GIZ (2011); et Auteurs.



15. ANNEXE VI RESULTATS DESAGREGES DES COÛTS DE LA DEGRADATION ET DE LA RESTAURATION

Tableau A6.1 : Résultats désagrégés du coût de la dégradation

Catégorie	Medjerda				Grand Tunis			Total
	Coût de la dégradation Millions de DT	%	Borne inférieure Millions de DT	Borne supérieure Millions de DT	Coût de la dégradation Millions de DT	Borne inférieure Millions de DT	Borne supérieure Millions de DT	
Eau	129,5	68%	99,1	164,5	22,3	17,5	28,1	151,8
Déchets	60,5	32%	32,1	131,3	-	-	-	60,5
Biodiversité	0,5	0%	0,4	-	-	-	-	0,5
Environnement global	1,1	1%	-	-	-	-	-	1,1
Total	191,5	100%	131,6	295,8	22,3	17,5	28,1	213,9
% du PIB	3,3%		2,3%	5,1%				0,34%
Eau	2,2%		1,7%	2,8%				0,2%
Déchets	1,0%		0,6%	2,3%				0,1%
Biodiversité	0,0%		0,0%	0,0%				0,0%
Environnement global	0,0%		0,0%	0,0%				0,0%
Total	3,3%		2,3%	5,1%				0,34%
EAU	129,5	67,6%	99,1	164,5	22,3	17,5	28,1	
Qualité de l'Eau Potable	8,8	4,6%	5,8	11,7	10,6	7,1	14,1	47,4%
Maladies Hydriques	81,3	42,5%	68,2	94,4				
Distribution	1,5	0,8%	1,3	1,8	6,1	5,2	7,0	27,3%
Qualité des Res. en Eau	5,6	2,9%	5,3	6,9	5,6	5,3	6,9	25,2%
Quantité	4,8	2,5%	4,3	5,3				
Salinité	12,3	6,4%	9,9	14,8				
Erosion	7,4	3,9%	3,7	14,8				
Stockage	7,1	3,7%	0,1	14,1				
Hydroélectricité	0,7	0,3%	0,5	0,8				
DECHETS	60,5	31,6%	32,1	131,3				
Collecte	26,8	14,0%	13,4	40,2				
Nettoyage	11,2	5,9%	5,8	12,6				
Recyclage	7,6	4,0%	5,3	8,4				
Biomasse	5,2	2,7%	-	58,3				
Moins-value des terrains	6,5	3,4%	4,3	8,6				
Energie	3,3	1,7%	3,2	3,3				
BIODIVERSITE	0,5	0,2%	0,4	≥0				
Zones humides	0,5	0,2%	0,4	≥0				
CATASTROPHE NATURELLE ET ENVIRONNEMENT GLOBAL	1,1	0,6%						
Catastrophe naturelle	0,0	0,0%	0,0	0,0				
Environnement global	1,1	0,6%	1,1	2,3				
Hydroélectricité	0,1	0,1%	0,1	1,3				
Décharges	1,0	0,5%	1,0	1,0				

Source : Auteurs.