

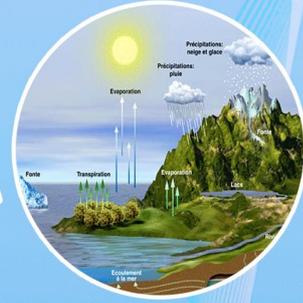


المعهد التونسي للدراسات الإستراتيجية

I . T . E . S

TUNISIAN INSTITUTE FOR STRATEGIC STUDIES

Étude Stratégique: SYSTEME HYDRAULIQUE DE LA TUNISIE A L'HORIZON 2030 - Janvier 2014



Étude Stratégique:

# SYSTEME HYDRAULIQUE DE LA TUNISIE A L'HORIZON 2030

Janvier 2014



## TABLE DE MATIERES

<b>INTRODUCTION</b>	<b>15</b>
Le coût croissant de l'eau	15
L'eau ressource rare en Tunisie	15
Le devenir de l'eau préoccupation permanente	16
Confrontation ressources - besoins	16
Principales priorités stratégiques du secteur de l'eau à l'Horizon 2030	18
<b>METHODOLOGIE DE L'ETUDE</b>	<b>21</b>
Concepts adoptés	21
Démarche de l'étude	23
<b>CHAPITRE I - DONNEES DE BASE</b>	<b>27</b>
I.    CLIMAT	27
II.   PLUVIOMETRIE ET RUISSELLEMENT	29
II.1 - Pluviométrie	29
II.2 - Ruissellement et apport en eau de surface	37
II.3 - Système hydraulique de la Tunisie	39
II.4 - Aquifères et eaux souterraines	47
<b>CHAPITRE II - DEMOGRAPHIE ET INDICATEURS HYDRAULIQUES CARACTERISTIQUES</b>	<b>51</b>
I    .DEMOGRAPHIE	51
I.1 - Indicateurs hydrauliques spécifiques	55
I.1.1 - Ressources en eau et quota	55
II.1.2 - Mobilisation	55
II.1.3 – Demande en eau	56
II.1.4 – Quotas par habitant	58
<b>CHAPITRE III - MOBILISATION DES EAUX DE SURFACE ET SOUTERRAINES</b>	<b>61</b>
I.  EAUX DE SURFACE	63
I.1 Infrastructure de mobilisation	63
II. EAUX SOUTERRAINES	69
II.1    Caractéristiques des aquifères de Tunisie	69
II.2    Mobilisation et exploitation	69

<b>CHAPITRE IV - MOBILISATION DES EAUX NON CONVENTIONNELLES</b>	<b>75</b>
I. DESSALEMENT	75
I.1 Technologies de dessalement	77
I.2 Dessalement par osmose inverse	79
I.2.1 Aspects techniques majeurs	79
I.2.2 - Consommation en énergie	82
I.2.3 Aspects économiques	88
I.3 Développement futur du dessalement en Tunisie	97
I.3.1 Développement et opportunité du dessalement d'eau de mer	97
I.3.2 – Programme de dessalement futur en Tunisie	98
II EAUX USEES TRAITEES	101
II.1 - Utilisations des eaux épurées.	102
II.1.1. Réutilisation des eaux épurées en irrigation	104
II.1.2. Réutilisation des eaux usées traitées pour la recharge des nappes.	104
<b>CHAPITRE V - TRANSFERTS D'EAU INTER REGIONS</b>	<b>109</b>
I. CAUSES ET JUSTIFICATIONS DU TRANSFERT	113
II. LE TRANSFERT D'EAU INTER-REGIONS EN TUNISIE	114
II.1. Principaux axes de transfert en Tunisie et leur développement	116
II.2. La dorsale tunisienne obstacle pour les nuages et le transfert	117
II-3. Amélioration des avantages et des performances du transfert en eau	122
<b>CHAPITRE VI - ALIMENTATION EN EAU POTABLE (URBAINE ET RURALE)</b>	<b>125</b>
I. LA SONEDE ET LA DESSERTE EN EAU POTABLE EN TUNISIE	125
II. EAU POTABLE URBAINE	128
III. L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE DANS LE MILIEU RURAL	129
III-1 Système spécifique pour le milieu rural	130
III-2 Limites et problèmes émergents du système actuel	132
<b>CHAPITRE VII - L'IRRIGATION</b>	<b>137</b>
I. IMPORTANCE ECONOMIQUE DES PERIMETRES IRRIGUES.	137
II. DEFIS ET MENACES DE L'IRRIGATION	139
III. LES GRANDS ENSEMBLES DES PERIMETRES IRRIGUES EN TUNISIE	141
III-1 Les périmètres de l'Extrême Nord et de l'Ichkeul.	141
III-2 Les périmètres irrigués du Nord.	142
III-3 Les périmètres irrigués de la basse vallée de la Mejerda	142
III-4 Les périmètres du Cap bon et Zaghouan	142
III-5 Les périmètres du Sahel et Sfax	143
III-6 Les périmètres irrigués du Centre (Kairouan, Sidi Bouzid et Kasserine)	143
III-7 Les périmètres irrigués des Oasis de Gafsa, Tozeur Kebili	144
III-8 Les périmètres irrigués de Gabs Mednine et Tatouine	145
<b>CHAPITRE VIII - BILANS RESSOURCES - BESOINS</b>	<b>147</b>
I. CONFRONTATION RESSOURCES – BESOINS	147
II. ACHEVEMENT DE LA MOBILISATION DE TOUTES LES RESSOURCES EN EAU DE SURFACE IDENTIFIEES MOBILISABLES	150

<b>CHAPITRE IX - L'ASSAINISSEMENT</b>	<b>155</b>
I. SITUATION ACTUELLE	155
I-1 Couverture du pays par l'ONAS.	155
I-2 - Interventions urgentes	156
II. ASSAINISSEMENT DU MILIEU RURAL	156
III. DEFIS ET PROBLEMES EMERGENTS DANS LE SECTEUR DE L'ASSAINISSEMENT	157
<b>CHAPITRE X - LUTTE CONTRE L'EROSION</b>	<b>161</b>
I. PRINCIPAUX FACTEURS DE L'EROSION	161
II. EROSION ET BARRAGES	161
II-1 Lutte contre l'envasement des retenues	162
III. LES OUVRAGES DE CONSERVATION DES EAUX ET DU SOL	163
III-1 Les barrages et lacs collinaires	164
III-2 Les banquettes	164
III-3 Intervention sur les grands barrages	165
III-4 Maitrise des courants de densité	165
III-5 Dragage des réservoirs de barrages	166
III-6 Remplacement des barrages envasés	166
IV. LUTTE CONTRE L'EROSION ET L'ENVASEMENT	167
<b>CHAPITRE XI - MOBILISATION DES EAUX DES CRUES ET GESTION DE LA SÉCHERESSE</b>	<b>183</b>
I. RECHARGE DES NAPPES A PARTIR DES EAUX DE CRUES	185
II. GESTION DES SECHERESSES	188
III. MESURES D'ACCOMPAGNEMENT	191
<b>CHAPITRE XII - SÉCURITÉ DES SYSTÈMES HYDRAULIQUES</b>	<b>195</b>
I. LA SECURITE HYDRAULIQUE PREOCCUPATION PERMANENTE	195
II. PRINCIPAUX THEMES DE LA SECURITE HYDRAULIQUE EN TUNISIE	196
II-1 Durabilité à long terme de la ressource en eau du pays	196
III. CARACTERISTIQUES DU SYSTEME HYDRAULIQUE TUNISIEN	197
IV. SECURITE D'APPROVISIONNEMENT EN EAU	197
V. SECURITE DES GRANDS ENSEMBLES HYDRAULIQUES ET MEGAPOLES	199
VI. REHABILITATION ET MODERNISATION DES GRANDS OUVRAGES HYDRAULIQUES	200
VII. VEILLE TECHNOLOGIQUE	201
<b>CHAPITRE XIII - COMPOSANTES DE LA VISION STRATEGIQUE 2030</b>	<b>203</b>
I. INTRODUCTION	203
II. COMPOSANTES PRINCIPALES DE LA STRATEGIE HORIZON 2030.	204
II-1 Eau de surface : les barrages	204
II-2 Eaux souterraines	208
II-2.1 – Nappes phréatiques.	<b>208</b>
II-2.2 – Les Nappes profondes	<b>208</b>



## **LISTE DES TABLEAUX**

Tableau 1: Coûts de production et de vente de l'eau à la SONEDE (millimes/m <sup>3</sup> ).....	15
Tableau 2: Principales caractéristiques géographiques et climatiques de la Tunisie.....	27
Tableau 3 : Pluviométrie moyenne en Tunisie .....	31
Tableau 4 : Succession des événements de sécheresse et d'inondation en Tunisie .....	34
Tableau 5 : Répartition régionale des ressources en eau de surface .....	45
Tableau 6 : Indicateurs sur l'évolution de la population en Tunisie .....	51
Tableau 7: Evolution de la population par gouvernorat.....	53
Tableau 8: Apports annuels des barrages par région (Millions de m <sup>3</sup> ) .....	64
Tableau 9: Apports annuels aux sites des barrages collinaires par unité hydraulique (Mm <sup>3</sup> ) .....	65
Tableau 10: Barrages existants et planifiés avant l'horizon 2020 .....	67
Tableau 11: Barrages à surélever ou à réaliser vers l'horizon 2030 .....	68
Tableau 12: Capacités des stations de dessalement et salinités des eaux des stations de dessalement en Tunisie .....	77
Tableau 13: Ventilation de la consommation d'énergie pour une station de dessalement d'eau de mer de 50000 m <sup>3</sup> /j composé de deux unités de capacité unitaire 25000 m <sup>3</sup> /j..	87
Tableau 14: Ventilation du CMLT (Coût Marginal de Long terme) pour eau saumâtre à 6 g/l en fonction de la capacité .....	89
Tableau 15: Ventilation du CMLT (Coût Marginal de Long terme) pour eau de mer en fonction de la capacité .....	91
Tableau 16: Ventilation des coûts des différents équipements et ouvrages de la station de dessalement.....	92
Tableau 17: Réactifs chimiques injectés dans le process de dessalement d'eau de mer .	94
Tableau 18: Cout marginal à long terme par m <sup>3</sup> d'eau dessalée .....	95
Tableau 19: Principaux projets de dessalement réalisés en Algérie y compris les coûts d'investissement.....	96
Tableau 20: Prix de cession de l'eau dessalée .....	96
Tableau 21: Tableau d'évolution de la capacité de dessalement installée et projetée en Tunisie.....	99
Tableau 22 : Qualités moyennes des eaux épurées en Tunisie .....	102

Tableau 23: Evolution de l'exploitation des ressources en eaux usées (1998-2007) en Mm <sup>3</sup> /an.....	103
Tableau 24: Bilan Ressources-Demandes en 2010.....	148
Tableau 25 : Bilan Ressources – Besoins en 2020 .....	148
Tableau 26: Bilan Ressources- Besoins en 2030 .....	149
Tableau 27: Evolution de la demande totale entre 2010 et 2030.....	150
Tableau 28: Barrages du Nord à l'échéance 2020 .....	152
Tableau 29: Barrages du centre à l'horizon 2020.....	153
Tableau 30 : Evolution de l'envasement des barrages en Tunisie.....	170
Tableau 31 : Evolution de la capacité des barrages existants jusqu'à l'horizon 2050...	173
Tableau 32 : Dates des différentes campagnes de mesures bathymétriques.....	175
Tableau 33: Bilans annuels de la retenue du barrage de Bou Heurtma .....	178
Tableau 34: Capacités de régularisation et de stockage par les barrages en Tunisie.....	180
Tableau 35 : Les caractéristiques des barrages existants et à réaliser dans les bassins de la Medjerda et de la Tunisie centrale.....	206
Tableau 36 : Les barrages à réaliser en amont du Mellègue, dans la région de Ghardimaou , de l'Ichkeul, de l'extrême Nord et du Cap bon.....	207
Tableau 37 : :Evolution prévisionnelle de l'exploitation des nappes phréatiques de Tunisie (2010-2030).....	208
Tableau 38 : Evolution prévisionnelle de la demande en eau à partir des aquifères profonds de Tunisie (2010-2030) en Mm <sup>3</sup> /an.....	209
Tableau 39: Les principales nappes rechargeables .....	212

## **LISTE DES FIGURES**

Figure 1 : Carte des Isohyètes en Tunisie .....	33
Figure 2: Crues de Mars 1973 au niveau de différentes stations du bassin de Mejerda ..	41
Figure 3: Crues de 2003 en amont du barrage de Bou Salem.....	41
Figure 4 : Crues de 2003 en aval de Sidi Salem .....	42
Figure 5 : Réseau hydrographique de la Tunisie .....	43
Figure 6:Variation des apports en eau de surface .....	46
Figure 7: Ressources en eau de surface par région et selon leur degré de salinité .....	46
Figure 8: Ressources en eaux des nappes de la Tunisie.....	50
Figure 9: Population urbaine et rurale .....	54
Figure 10: Evolution des ressources en eau de surface potentiellement mobilisables ....	55
Figure 11: Evolution de la demande en eau (Mm <sup>3</sup> ) .....	56
Figure 12: Evolution des superficies des périmètres irrigués .....	57
Figure 13: Evolution des allocations par hectare.....	58
Figure 14: Exploitation des ressources en eau de Tunisie (1975-2010) et tendances d'évolution (2010-2030) (Mm <sup>3</sup> /an).....	62
Figure 15: Exploitation des nappes phréatiques de Tunisie (1980-2010).....	71
Figure 16 : Evolution de l'effectif des puits de surface équipés et exploitant les nappes phréatiques de Tunisie (1980-2010) .....	71
Figure 17 : Exploitation des nappes profondes de Tunisie (1975-2010) suivant les régions naturelles .....	72
Figure 18: Système de dessalement des eaux saumâtres à deux étages.....	81
Figure 19: Système de dessalement d'eau de mer à un seul étage et une seule passe.....	81
Figure 20: Energie du procédé en fonction de la salinité et de la température .....	83
Figure 21: Energie de Procédé en fonction du taux de conversion.....	84
Figure 22: Courbes de la consommation en énergie pour l'eau de mer en fonction du taux de conversion pour différent systèmes de récupération d'énergie.....	86
Figure 23: Ventilation de la consommation d'énergie pour une station de dessalement d'eau entre les différents postes de pompage .....	87
Figure 24: Cout de dessalement des eaux saumâtres pour les petites capacités .....	89

Figure 25: Cout de dessalement de l'eau de mer pour les petites capacités .....	91
Figure 26: Principaux postes de coût dans l'investissement d'une station de dessalement .....	93
Figure 27: Répartition des charges pour un taux d'actualisation de 5%.....	95
Figure 28 : Graphique d'évolution de la capacité de dessalement installée en Tunisie .	99
Figure 29: Carte des projets de dessalement existant et projetés dédiés à l'alimentation en eau potable .....	100
Figure 30: Stations d'épuration existantes et projetées.....	106
Figure 31: Stations d'épuration par type.....	108
Figure 32: Carte des transferts .....	112
Figure 33: Les aménagements hydrauliques de la Tunisie (Barrages et Barrages collinaires).....	119
Figure 34: Structure de la demande en 2010 .....	148
Figure 35: Structure de la demande en 2020 .....	149
Figure 36: Variation des apports liquides et solides annuels au niveau du barrage de Mellegue entre 1954 et 2005.....	171
Figure 37: Evolution des soutirages du barrage de Sidi Salem .....	177
Figure 38: Evolution des soutirages à partir du barrage de Mellegue .....	177
Figure 39: Evolution des soutirages à partir du barrage de Bou Heurtma.....	178
Figure 40: Evolution des soutirages du barrage de Lakhmess.....	179
Figure 41: Sites de barrages identifiés pour être réalisés au cours de 2020-2050 .....	182
Figure 42: Quantités d'eau employées pour la recharge des nappes .....	188

Lorsque nous avons sollicité Mr. Amer Horchani pour une étude sur l'eau à l'horizon 2030, c'était pour répondre à un double souci. Le premier est la garantie de la continuité du travail de l'institut sur ce secteur stratégique qui se place au-delà des orientations politiques et qui converge avec l'intérêt général du pays et des citoyens. Le deuxième souci est que la question de l'eau demeure une préoccupation majeure pour notre survie et pour l'avenir de notre agriculture. Les contraintes de disponibilité de l'eau et de l'énergie représentent déjà des obstacles majeurs face à toute politique de développement. Ce sont les principaux freins qui ont retardé le train du développement et qu'il est impératif de les desserrer pour pouvoir avancer. En tout cas, si la Tunisie souhaite parvenir à satisfaire les besoins et les attentes de sa population, il est impératif d'éviter les erreurs et les errements du passé et d'édifier sur des bases solides et pérennes son avenir. Une chose est essentielle. Il est déterminant de ne pas manquer d'eau. Notre avenir en dépendra largement.

**Tarek KAHLAOUI**

**Directeur General ITES**



« L'avenir ne se prévoit pas, il se prépare », c'est selon ce principe que l'Institut Tunisien des Etudes Stratégique (ITES) a tenté de désamorcer les différents risques inhérents au développement d'une ressource rare comme l'eau en Tunisie. Même si l'eau se vend et s'achète, il n'en demeure pas moins qu'elle n'est pas un bien comme les autres parce qu'il s'agit de notre survie. En effet, l'eau est une ressource vitale, indispensable pour tout développement socioéconomique. Aucune société n'a pu se développer sans qu'elle ne dispose de quantité suffisante de cette richesse naturelle.

La Tunisie, pays semi-aride, subit une pluviométrie irrégulière et demeure très vulnérable à la ressource en eau. De plus, l'accroissement démographique, l'urbanisation de la population et le développement économique poussent la demande à la hausse de sorte que l'eau devient une ressource de plus en plus rare. Ce constat exige une mobilisation accrue des ressources en eau afin de se prémunir contre la pénurie, une amélioration de la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine et animale, une optimisation de sa gestion et de son utilisation et le recours à des ressources non conventionnelles. C'est à ces impératifs que toute stratégie de développement des ressources en eau doit apporter des réponses.

Cependant, les ressources en eau ont presque atteint leur seuil critique. Les eaux de surfaces sont totalement mobilisées ou presque, les eaux des nappes profondes, fossiles et non renouvelables le sont en grande partie et risquent d'atteindre leurs limites d'exploitation quand ce n'est déjà le cas. Enfin, les eaux des nappes phréatiques largement accessibles à la population par des moyens traditionnels sont déjà en grande partie surexploitées et ce, dans la plupart des régions du pays.

Cette situation, aussi inquiétante soit-elle, appelle à un changement d'attitude et de vision par rapport aux ressources en eau. A cet égard, les efforts sont attendus aussi bien du côté de l'offre de l'eau que de la demande, notamment son affectation et sa gestion. Aujourd'hui, il faut admettre que le temps d'une eau abondante et bon marché est presque révolu. Il nous faut donc apprendre à payer plus chère pour cette ressource, d'où l'urgence d'optimiser son utilisation et mieux la valoriser.

L'eau, à l'origine de la vie et indispensable à son maintien, constitue donc une préoccupation importante et permanente. Il est donc urgent de penser et de proposer une nouvelle stratégie afin de maîtriser et d'adapter le système hydraulique de notre pays dans un souci de durabilité. Il s'agit de prendre conscience des risques mais aussi des solutions possibles et de fixer des normes d'économie pour une exploitation durable.

Au final, l'eau est un bien économique, social et environnemental et son allocation doit respecter un équilibre entre ces trois dimensions. L'eau est un bien dont il faut optimiser la distribution et rationaliser la consommation. Son prix doit également évoluer en fonction de sa rareté. L'eau doit être accessible à tous, en quantité suffisante et qualité requise, dans des conditions d'égalités.

C'est en se basant sur ces deux principes que l'équipe, dirigée par Monsieur Ameer HORCHANI avec la participation de Messieurs Ahmed MAMMOU, Mohamed LOUATI, et Mohamed ZAARA, a tenté de proposer une stratégie pour l'eau à l'horizon 2030. Cette étude prospective propose un diagnostic de l'état actuel des connaissances sur l'eau en Tunisie et le secteur de l'hydraulique. Elle présente également une réflexion prospective sur l'évolution de la demande en eau et les contraintes qui assaillent cette ressource. Elle souligne enfin les principales priorités stratégiques de l'eau à l'horizon 2030.

Cette étude, tout en adoptant une approche documentaire riche en données, pourrait servir de base pour les études stratégiques plus spécifiques, par exemple: analyse coût-bénéfice du secteur de l'épuration des eaux, du système hydrographique, ainsi que du secteur du dessalement; modélisation numérique de l'écoulement des eaux de surface (relation pluviométrie-crues--remplissage des barrages...); étude du secteur des équipements hydrauliques; étude sur l'optimisation du système de gestion de l'eau rurale...; pour la planification du secteur de l'eau avec des actions spécifiques à court, moyen et long terme. On peut bien sûr ne pas partager tel ou tel argument, telle ou telle suggestion, mais à travers cette étude, l'ITES espère contribuer activement au débat public sur les questions stratégiques en vue d'éclairer, à partir données scientifiques, les choix économiques des autorités.

**Zouhair EL KADHI, Directeur des Etudes et de la Recherche à l'ITES**

**Mohamed MABROUK, Economiste, Expert auprès de l'ITES**

Il est important de noter que l'eau richesse nationale et patrimoine commun, constitue un élément primordial et vital du développement économique et social de la Tunisie. L'alimentation, la santé, les activités de production, le confort, et l'équilibre des écosystèmes dépendent tous de sa qualité et des quantités disponibles.

### **Le coût croissant de l'eau**

Le coût de la mobilisation de l'eau augmente rapidement avec la démographie, l'urbanisation, la croissance économique, la croissance des besoins, la longueur des transferts, le coût de l'énergie et la mauvaise gestion.

Le coût de l'eau augmente aussi indirectement avec les frais de traitement et de l'escamotage des rejets des eaux usées résultant des activités et surtout avec les différents types de gaspillage pendant l'utilisation.

Par ailleurs, le coût de l'eau augmente pendant les périodes de sécheresse et de pénurie et suite à la surexploitation des nappes aquifères entraînant le rabattement de leurs niveaux et la dégradation de la qualité de leurs eaux. Le tableau suivant nous renseigne sur l'évolution des coûts de production et de vente de la SONEDE en ml /m<sup>3</sup>

**Tableau 1: Coûts de production et de vente de l'eau à la SONEDE(millimes/m3)**

	2001	2005	2010
<b>Coût de revient</b>	486	585	<b>714</b>
<b>Coût de vente</b>	<b>506</b>	<b>527</b>	<b>534</b>

*Source : SONEDE, Rapports statistiques*

### **L'eau ressource rare en Tunisie**

Les ressources en eau de la Tunisie sont limitées, inégalement réparties, et annuellement variables, de surcroît souvent de mauvaise qualité avec une charge en sel élevée qui

dépasse les 2 g/l pour 35 % de la totalité de ces ressources, alors même que la population du pays ne cesse de croître pour atteindre en 2030, les 13 millions d'habitants selon les projections de l'INS.

Le littoral très peuplé, le centre et le sud du pays sont déficitaires. Ils surexploitent leurs ressources naturelles et nécessitent pour maintenir leur développement un transfert de ressources en eau à partir des régions excédentaires ou un approvisionnement en eau dessalée à partir des eaux saumâtres et de la mer. Si l'allocation par habitant est de 450 m<sup>3</sup>/hab/an en 2010 tout usage confondu, elle sera seulement de 370 m<sup>3</sup>/hab/an en 2030<sup>1</sup>.

### **Le devenir de l'eau préoccupation permanente**

Le devenir de l'eau longtemps considérée comme un don de la nature dont on pouvait user sans précaution, devient une préoccupation permanente; et on assiste à l'émergence de nouvelles préoccupations concernant la fragilité des écosystèmes, surtout dans le secteur des eaux souterraines qui subissent une pression permanente et une dégradation rampante qui à terme, pourraient menacer leur durabilité si des dispositions adéquates ne sont prises à temps. Les nappes phréatiques en Tunisie sont surexploitées à un taux de 120 % en 2012, les nappes profondes de Bou Hafna à Kairouan sont surexploitées à un taux de 115%, la mer a envahi les nappes côtières du Cap Bon, les périmètres irrigués, consommateur principal de l'eau, dépassent 400 milles hectares et dépasseront probablement 500 milles hectares en 2030 en considérant les forages et les puits illicites et les extensions limitrophes des périmètres publics irrigués. Ce constat appelle un réexamen et une revue de la façon de gérer les ressources en eau.

### **Confrontation ressources - besoins**

Les tendances d'évolution sont éminemment préoccupantes d'une part, parce que les ressources se raréfient et se dégradent alors que les besoins augmentent; d'autre part en raison de l'inadéquation croissante, quoique variable suivant les régions, entre la localisation des ressources et celle des besoins, d'une part, et entre les besoins et le coût de plus en plus élevé des infrastructures hydrauliques, d'autre part.

La rareté des ressources en eau renouvelables et accessibles qui ne cesse d'augmenter, la qualité de l'eau qui se détériore et le coût de mobilisation de plus en plus élevé, génèrent

---

<sup>1</sup>Eau21, 1998

des problèmes chroniques qui sont susceptibles de déclencher des crises économiques, politiques et sociales.

Ainsi le secteur de l'eau exige des actions prioritaires pour résoudre les problèmes au plus vite, des interventions urgentes pour améliorer des situations critiques d'approvisionnement en eau et une pérennisation des services, des ouvrages et des systèmes de production, de traitement d'adduction, de distribution, d'évacuation et d'escamotage des rejets en eaux.

Le secteur de l'hydraulique exige la mise en œuvre aux échelles nationale, régionale et locale d'une stratégie fondée sur un plan d'action cohérent et rationnel qui respecte les priorités et intègre les différents types de ressources en eau pour réaliser à temps, les projets de mobilisation des disponibilités afin que le pays puisse disposer d'une capacité durablement suffisante lui permettant d'affronter la pénurie, les crues, ainsi que les menaces de la pollution et de la dégradation.

L'analyse de l'impact socio-économique des projets réalisés montre la nécessité d'adopter de nouvelles modalités de développement plus équitables et durables permettant de satisfaire les besoins des régions intérieures et frontalières d'une manière économique sans pour autant, hypothéquer de manière irréversible, le sort des générations futures.

Certaines régions intérieures du pays se trouvent dès à présent, dans une situation critique. Des disparités s'observent entre le littoral qui dépend en effet pour son approvisionnement en eau, de ressources provenant des régions intérieures, et les autres régions. D'autres disparités entre les espaces urbains et ruraux, sont considérables et tendent à se creuser en entretenant non sans raison, la crainte de voir se manifester des contestations difficilement réfutables.

Que peut-il advenir? Que pouvons-nous faire? Nul ne peut prédire de manière certaine ce qui pourrait advenir. Le mieux que nous puissions faire est d'essayer d'explorer quels sont les futurs possibles décelables à partir de la situation présente et à la lumière des tendances plus au moins lourdes ou émergentes.

Une prolongation des tendances passées depuis 20 ou 30 ans apparaît tout simplement insuffisante, vu l'évolution structurelle des ressources et de l'économie du pays. D'où la nécessité de corriger ces tendances sur la base des options retenues et d'élaborer une

vision globale acceptée par tous les partenaires afin de les impliquer et les encourager à être plus engagés à l'intervention.

Cette vision qui est un choix d'une conception précise du secteur de l'eau tel que nous le souhaitons, sera basée sur des options concrètes permettant d'élaborer une stratégie réaliste qui tient compte des disponibilités et de la demande, ainsi que des moyens d'exécution des planifications.

Cette stratégie déclinée en une planification cohérente et efficace, sera traduite par des actions concrètes d'intervention pour chaque acteur du secteur de l'eau; en premier rang les Services Publics garant du Bien Commun, du développement durable, de l'équité, et des investissements à long terme ainsi que l'intervention de tous les autres acteurs à savoir les organisations professionnelles et la société civile.

La production de l'eau augmente suite à la réalisation des projets de mobilisation, à l'utilisation des nouvelles technologies, et à l'amélioration des modes de gestion. L'eau est disponible pour un certain prix et le droit à l'eau est de plus en plus commercialisé: l'eau s'achète et se vend. L'accès à l'eau nécessite de lourdes charges d'investissement et d'exploitation. Il est donc primordial d'envisager tous les moyens pour que l'accès à l'eau soit et reste équitable, efficace, durable, et aisé. Ainsi la bonne gestion et l'adoption d'une tarification solidaire allègent les charges supportées et pérennisent les services du système hydraulique.

### **Principales priorités stratégiques du secteur de l'eau à l'Horizon 2030**

L'objectif de cette étude est de mettre à la disposition des décideurs politiques, des responsables financiers et des gestionnaires de l'eau ainsi que la société civile des éléments d'appréciation nécessaires pour la mise en œuvre, en collaboration avec les usagers de la gestion de l'eau la plus adaptée à la demande, aux spécificités naturelles des différentes régions du pays, ainsi qu'aux possibilités techniques et économiques de chaque région.

Pour sa réalisation, cette stratégie doit faire participer les différents acteurs en les associant dès l'amont de la réflexion et durant toutes les étapes de l'exécution et de la gestion, par la mise en place de procédures de participation, de concertation, de négociation et d'échange pour qu'ils soient ainsi impliqués et s'approprient les projets en question. Ceci permet d'éviter les refus, l'incompréhension et l'indifférence.

En effet, le dialogue et la concertation permettent d'obtenir les informations intersectorielles et interrégionales. Ils permettent de les exposer et de les discuter, ce qui élucide tous les problèmes clés et oriente la décision vers les options adéquates et appropriées.

Cette stratégie doit refléter les opinions des différentes parties prenantes dont les positions sur la gestion actuelle de l'eau et les intérêts futurs, ne sont pas forcément convergentes. Cette diversité offre à travers la participation, la concertation et l'arbitrage à toutes les parties, la possibilité d'intervenir et de contribuer à la mise en œuvre de solutions pour un système de gestion équitable et durable avec le concours de tous les intérêts.

Cette stratégie doit procéder à l'évaluation des demandes de la population et la mise en place de moyens permettant l'évaluation régulière et permanente de l'adéquation entre l'offre et la demande.

Elle doit surtout garantir l'accès à une eau saine et économique au profit de tous, à travers les réalisations les mieux conçues, les mieux gérées et les mieux adaptées aux problèmes de chaque région. Ainsi les bénéficiaires seront plus compréhensifs, moins suspicieux et plus convaincus de leur participation aux charges d'exploitation, tant que les avantages sont proportionnels aux coûts assumés.

Cette stratégie est un outil dynamique au service de la population. Elle se perfectionne à partir de l'analyse de ses réalisations et des suggestions séquentielles qui seront apportées à certaines des méthodes préconisées.

La stratégie identifie les étapes ou les actions à caractère urgent, nécessitant une mise en œuvre immédiate, ainsi que les actions qui peuvent être programmées à moyen ou à long terme.



### **Concepts adoptés:**

Après s'être employé pendant de nombreuses années à mener à bien le développement de son infrastructure hydraulique, à assurer l'approvisionnement en eau potable de la majorité de sa population dans les zones urbaines et les zones rurales, et à mettre en place d'importantes zones d'irrigation, la Tunisie s'approche de plus en plus des limites de l'exploitabilité de ses ressources en eau conventionnelles et se trouve ainsi poussée à prendre en considération le recours aux eaux non conventionnelles.

Depuis l'indépendance du pays, la mobilisation des ressources en eau a eu pour but en Tunisie, de faciliter l'accès à une eau potable à la population et d'assurer le développement des secteurs économiques (irrigation, industrie et tourisme) à travers la satisfaction de leurs besoins en eau. Maintenant que la demande en eau de ces secteurs est devenue de plus en plus forte, tant sur le plan des quantités nécessaires que celui de la qualité chimique requise, de nouvelles orientations basées sur la demande en eau, sont à mettre en place en remplacement de la politique de l'offre précédemment pratiquée.

L'exploitation des ressources en eau conventionnelles est supposée atteindre en Tunisie ses limites dans un proche avenir, vers l'horizon 2025 et l'on prévoit que la demande en eau associée à l'accroissement démographique et à l'élévation du niveau de vie, dépasserait, peut-être, dès l'horizon 2030, les disponibilités de l'offre. De toutes les manières, la compétition pour une eau de bonne qualité impose en conséquence, une réévaluation actualisée des disponibilités, la revue des allocations et l'amélioration de la gestion.

Le pays pourra se prémunir contre les pénuries prévisibles en eau, en repensant la gouvernance de son secteur hydraulique et en établissant une nouvelle stratégie fondée sur de nouvelles orientations et des technologies de pointe assurant l'économie d'usage, ainsi que le renouveau de la mobilisation intégrée des eaux conventionnelles et non conventionnelles. En vue d'assurer une transition dans les concepts de gestion, tout en décidant un changement stratégique dans la gestion des ressources en eaux, cette vision stratégique doit prendre en considération les mutations prévisionnelles dans la démographie et les secteurs économiques.

La pénurie prévisible entraînera la nécessité de mettre en place de nouvelles mesures pour une mobilisation croissante des ressources en eau additionnelles dont l'accès est actuellement à coût élevé (réutilisation des eaux traitées et recharge de nappes) et/ou technologiquement à mieux maîtriser.

Des moyens nouveaux et des outils complexes sont nécessaires pour économiser, recycler et traiter l'eau. Ces mesures auront pour effet très probable, d'augmenter le coût de l'eau produite dans tous les secteurs.

Afin de pouvoir garantir la satisfaction des besoins futurs, prévoir l'évolution de la couverture des besoins et être en mesure de faire face à temps, aux nouveaux déficits sectoriels pouvant survenir, la maîtrise de la connaissance détaillée actualisée du régime de toutes les ressources exploitables du pays est primordiale.

La planification de la mobilisation des ressources en eau conformément aux prévisions de la croissance des besoins, sera élaborée, en établissant, pour l'ensemble du pays, des hypothèses sur la dynamique des structures des différents besoins dans l'espace et dans le temps et ce en se basant sur la connaissance acquise sur les pluies, le ruissellement et les nappes, en tenant compte des caractéristiques et des performances hydrauliques des différentes régions du pays, pour la mobilisation, le stockage et le transfert de l'eau.

La gestion des ressources en eau en Tunisie, sera dans les prochaines décennies, beaucoup plus une affaire d'optimisation de la gestion en maîtrisant le processus depuis la quantification jusqu'à l'usage, qu'une affaire d'effort de mobilisation et d'infrastructures.

C'est à ce titre qu'on aura à faire appel à de nouvelles approches et technologies de gestion et qu'on aura besoin de nouvelles capacités humaines performantes dans de nouveaux domaines technologiques et scientifiques.

Toutes ces mesures et décisions exigent des décideurs une connaissance approfondie et actualisée du système hydraulique concerné, ceci exige une base de données exhaustive et actualisée en permanence.

La Tunisie couvre une superficie de 164150 km<sup>2</sup>. De par sa position au Sud de la Méditerranée, elle dispose de 1.300 km de côtes, mais reste un pays semi-aride avec une forte dépendance des pluies. L'orographie et le climat du pays permettent sa subdivision en trois principales sous régions naturelles qui sont le Nord, le centre et le Sud. A cette

subdivision, il y a lieu d'associer une autre liée à la densité démographique qui permet d'y distinguer :

- **une frange littorale** assez souvent plate à fortes densité démographique et activité économique,
- **une frange intermédiaire** plus ou moins large (basses steppes) où se localisent les principales plaines agricoles et où le rural l'emporte sur l'urbain, avec une densité moyenne ;
- **une frange intérieure** (Hautes steppes, dépressions des chotts et Sahara) passant des reliefs atlasiques aux confins sahariens, avec une densité démographique variable.

La dorsale tunisienne traverse le pays d'Ouest en Est, en créant une parfaite discontinuité orographique et climatique entre le nord et le reste du territoire. Le Sud du pays accuse également une discontinuité similaire entre la plaine côtière de la Djeffara et l'intérieur du pays suite au redressement des reliefs du Dahar, isolant ainsi la partie saharienne et les dépressions des chotts du littoral.

Cette configuration oro-géomorphologique conditionne de près, l'évolution du climat du pays (pluies et températures), la disposition du réseau hydrographique naturel et la localisation des aquifères souterrains. Elle a été à l'origine d'une cadence différentielle du développement et de la mise en place de l'infrastructure économique du pays.

### **Démarche de l'étude :**

Cette étude traite de la planification des ressources en eau durant les prochaines années jusqu'à l'horizon 2030. Elle présente les rouages et propose des solutions scientifiques, techniques et pratiques pour mobilisation optimale des ressources en eau conventionnelles et non conventionnelles. L'objectif est de satisfaire une demande en constante évolution des secteurs urbain, industriel, touristique agricole et écologique et ceci pour les différentes régions du pays.

Cette étude se base essentiellement sur l'ensemble des données et études hydrologiques et hydrogéologiques collectées et élaborées par la Direction Générales des ressources en eau en ce qui concerne les régimes des oueds et nappes du pays et l'exploitation des aquifères. Elle fait également référence aux études des grands ouvrages et de leur planification nationale et régionales : Economie de l'Eau 2000, Eau21, GEORE, Gestion de la sécheresse, Prospection des sites des barrages et lacs collinaires, Périmètres

Irrigués, Plans Directeurs pour la satisfaction des besoins en eau potable et assainissement...) élaborées par les Directions générales des Grands Travaux Hydrauliques, du Génie Rural, de la SONEDE, et de l'ONAS, ainsi que par les CRDA. Cette étude se base aussi sur les résultats testés et éprouvés acquis par la recherche, par les expériences dans les laboratoires et sur le terrain par les différents acteurs du secteur de l'eau.

Il est important de noter qu'il est nécessaire de permettre aux gestionnaires des ressources en eau de disposer de moyens nécessaires pour arbitrer entre des aspirations ou des objectifs de natures différentes et souvent contradictoires. Il convient ainsi que le planificateur puisse être capable d'évaluer correctement la signification et l'importance des hypothèses et des contraintes qui ont servi de support ou de cadre à l'élaboration des solutions proposées. Par ailleurs l'approche systémique des problèmes de l'eau permet de prendre en considération les relations fondamentales entre l'eau, l'environnement naturel, les projets et les utilisateurs concernés par le secteur de l'eau.

Il est important de relever les avantages et les limites des modèles de simulations pour les nappes souterraines et les bilans ressources-besoins, les plans directeurs, et la création d'équipements hydrauliques adéquats, en insistant sur la nécessité d'informer tous les acteurs du secteur de l'eau des hypothèses de travail sur lesquelles sont fondées les solutions proposées par les modèles. Ce transfert de connaissances est parfois négligé par les consultants, ce qui affaiblit la clarté des options pour les allocations proposées.

La réalisation des projets dans le secteur de l'eau est une entreprise complexe et délicate, mettant en œuvre des opérations exigeant la maîtrise de nombreuses techniques spécialisées variées et toujours en évolution, dont dépendent leurs succès, productivité, et durée de vie. Ainsi, chaque chapitre de cette étude, est consacré à un domaine fondamental spécifique du secteur qui rassemble sur le sujet, les connaissances techniques et théoriques y compris les plus modernes. Chaque chapitre est ainsi rédigé avec le souci de concilier la précision des données et les possibilités des applications propres à la Tunisie dont le régime climatique est varié d'une région à l'autre et dont les nappes aquifères sont nombreuses et très sollicitées. Avec une situation où les sécheresses sévères se succèdent aux crues catastrophiques et où l'eau de surface fait parfois défaut et inversement dans d'autres régions, les nappes sont insuffisantes pour

répondre à la demande en eau, il est impératif d'avoir une approche de gestion intégrée de toutes les disponibilités en eau à l'échelle de l'ensemble du pays.

Cette **introduction** vient de rappeler l'importance vitale de l'eau dans notre pays, sa rareté, son coût de plus en plus croissant présentant une lourde charge financière pour sa mobilisation et son exploitation. Elle a proposé également les concepts de l'approche pour affronter l'avenir, à savoir la maîtrise de la gestion de la rareté, la mobilisation des ressources en eau non conventionnelles, la gestion intégrée des ressources de surface et souterraines, la promotion de l'économie de l'eau, la planification prospective et l'intensification de la recherche pour proposer des éléments d'aide à la décision de planification et les technologies adéquates.

**Les chapitres I et II** constituent la plateforme de base de l'étude à travers les données nécessaires à une bonne compréhension du système hydraulique tunisien. En effet le climat, la pluviométrie, le ruissellement de surface et ses apports et les nappes aquifères constituent le cadre physique qui conditionne les disponibilités en eau. La démographie et sa dynamique constituent de leur part, les éléments de demande en eau suivant sa discrétisation dans l'espace et dans le temps. L'ensemble de ces éléments constituent la base de toute planification et projet hydraulique. Toute vision stratégique doit prendre ces éléments en considération et elle exige dans ce domaine, un effort intensif et permanent de suivi de la recherche scientifique afin d'approfondir les connaissances à travers un réseau opérationnel de mesures et de données suffisantes, crédibles et faciles d'accès, permettant d'améliorer la productivité et la performance des ouvrages.

**Les chapitres III, IV, V**, traitent de la mobilisation des ressources conventionnelles et non conventionnelles et leur transfert aux zones d'utilisation, afin d'en faire les principaux facteurs du développement économique et social. C'est dans ce cadre que se tracent les options pour faire face durant les prochaines décennies, à une demande débordant les disponibilités et à une gouvernance de plus en plus rationnelle et performante.

**Le chapitre VI** traite le problème de l'eau potable primordial pour la santé et le bien être dans les zones urbaines et rurales. Ce chapitre identifie les problèmes latents et propose les moyens envisageables pour faire face aux exigences du défi du futur dans ce domaine.

**Le chapitre VII** traite l'eau d'irrigation qui constitue dans un environnement aride et semi-aride comme celui de la Tunisie; un secteur stratégique du développement économique et social en garantissant l'autosuffisance nutritionnelle du pays et en assurant son indépendance alimentaire.

**Le chapitre VIII** propose un bilan ressources- besoins établi en prenant l'année 2010 comme référence. La projection de ce bilan-besoins jusqu'à l'an 2030, a été basée sur l'évolution des ressources en fonction des réalisations de la planification de la mobilisation et de l'évolution de la demande des différents secteurs. Il tente de faire apparaître les limites et leurs perspectives en vue de mieux se préparer pour ne pas être bousculé par une demande difficile à maîtriser.

**Le chapitre IX** traite l'assainissement urbain et rural qui est primordial pour la santé et l'environnement. En effet, le recyclage des eaux usées est un aspect dont le coût doit être évalué sur la base de ses impacts et des avantages dont on peut en tirer.

**Le chapitre X** traite de la lutte contre l'érosion. L'érosion qui est un phénomène naturel imposé par le climat et la nature du pays, constitue une menace permanente pour ses ressources naturelles dont principalement l'eau, le sol et le couvert végétal. Elle dégrade la qualité du sol, réduit la recharge des nappes souterraines, accélère l'envasement des barrages et des lacs collinaires et fait progresser la désertification. En proposant des solutions envisageables efficaces dans ce domaine, on réduit les contraintes du développement et optimise l'utilisation des disponibilités.

**Le chapitre XI** traite de la mobilisation des eaux de crues et la gestion de la sécheresse en vue de protéger la population et l'infrastructure de base et d'améliorer le stockage d'une partie plus grande des apports en eau des oueds pour en faire des réserves (dans les barrages et les aquifères) à utiliser pendant les années de pénuries.

**Le chapitre XII** traite de la sécurité hydraulique et des éléments nécessaires pour définir une vision complète en vue de sécuriser la demande et de pouvoir lui répondre à temps, tant avec les quantités exigées que par la quantité requise.

**Le chapitre XIII** souligne les éléments de la vision stratégique 2030 qui sont identifiés par cette étude dans le cadre d'une planification de la gestion des ressources en eau permettant d'assurer la durabilité de la ressource en eau et la préservation de son environnement d'utilisation.

## DONNEES DE BASE

### I. CLIMAT :

La Tunisie est un pays à climat méditerranéen, influencé, à mesure qu'on s'enfonce à l'intérieur du pays, par les courants d'air secs sahariens, accentuant l'irrégularité pluviométrique et par la succession aléatoire des années sèches déficitaires et des années pluvieuses excédentaires. Les changements climatiques attendus ne feront qu'accroître cette irrégularité.

**Tableau 2: Principales caractéristiques géographiques et climatiques de la Tunisie**

Caractéristique	Unité	Valeur
Superficie totale	Km <sup>2</sup>	164150
Altitude maximale(Chaambi)	Mètre	1544
Altitude minimale (Chott El Gharsa)		-25
Altitude moyenne	Mètre	744
Longueur totale de la côte	Km	1300
Longueur de la principale rivière (Medjerda)	Km	484
Précipitations moyennes :	mm	
Au Nord		de 500 à 700
Au Centre		de 250 à 350
Au Sud		de 50 à 150
Nombre moyen de jours de pluie :		
Nord :		60 – 80
Centre		40 -55
Sud		20 -30
Températures moyennes :	° Celsius	
Décembre		12
Juillet		30

Source : DGRE, Bases de données pluviométriques (Zebidi, 1990)

La latitude relativement élevée de la Tunisie (31-34°N) et sa forme allongée dans le sens Nord-Sud, lui confèrent la succession des zones climatiques suivantes:

- **Une zone humide** à l'extrême Nord comportant la région de Tabarka, Nefza, Jebel Abiod, Sejnane et Bizerte,
- **Une zone climatique subhumide** comportant le Kef, Jendouba, Beja, Siliana, Bizerte, le Grand Tunis; Nabeul et Zaghouan,
- **Une zone semi-aride** littorale comportant Sousse, Monastir, Mahdia, Sfax et la plaine de la Djeffara (Gabés et Médenine),
- **Une zone aride** en Tunisie Centrale englobant Kairouan, Kasserine, Sidi Bouzid, Nord de Gafsa,
- **Une zone désertique** couvrant le Sud du pays et englobant les plaines intérieures de Médenine, Tataouine (el Ouara) et de Gabès-Gafsa (el Bhaïer, Chareb et Ségui), ainsi que le Dahar, Kébili, et Tozeur.

De ce fait, le climat de la Tunisie est caractérisé par des nuances résultant du relief, ainsi que de la proximité de la mer et du désert. Il est également caractérisé par une nette irrégularité saisonnière et annuelle, et une aridité de plus en plus prononcée du Nord au Sud qui le rend indispensable dans l'appréhension de tous les facteurs conditionnant les ressources en eau du pays.

La Tunisie a subi le long de son histoire, de fréquentes sécheresses et inondations parfois catastrophiques comme l'attestent les documents historiques et les restes des aménagements hydrauliques, puis les mesures climatiques enregistrées depuis la fin du 19<sup>ème</sup> siècle.

Les cycles de sécheresse sont très liés au déplacement, à l'ampleur, et à la persistance de l'anticyclone des Açores dont la haute pression s'abat sur le pays pendant plusieurs mois et bloque ainsi toute infiltration pluvieuse.

Des pluies exceptionnelles<sup>2</sup>(Nippon Koei- JICA, 2009) génèrent souvent des inondations qui causent de graves dégâts dans l'infrastructure routière, urbaine et agricole et parfois des pertes en vies humaines.

Le «sirocco» vent sec et chaud saharien, souffle pendant quelques dizaines de jours par an, et cause des dégâts importants dans le secteur agricole, tout en faisant augmenter de manière excessive, la pointe de la demande en eau potable et des cultures et il est à ce titre non moins néfaste que les inondations.

La variabilité climatique qui ne cesse de se confirmer à travers le dérèglement de l'avènement des pluies d'automne et dans les températures saisonnières, se traduit par un important impact négatif sur les régimes climatique et hydrologique du pays. Les extrêmes climatiques plus fréquents avec le dérèglement de la périodicité saisonnière, imposent une nouvelle vision dans la sécurisation de l'approvisionnement en eau, la protection de l'infrastructure économique et la gestion des pénuries.

Les études préliminaires menées par les Ministères de l'Agriculture et des ressources hydrauliques (2007) ont montré que la Tunisie subira d'ici 2050, une élévation de la température moyenne de 1° à 3° C, une diminution de la moyenne pluviométrique de 10 à 20%, et une accentuation de la variabilité climatique, particulièrement la durée de la sécheresse et l'ampleur des inondations.

L'installation d'un observatoire et/ou d'un système de veille devient ainsi nécessaire pour un meilleur suivi du climat. Ce suivi est une mesure indispensable pour la maîtrise des variations des régimes des pluies et des écoulements de surface ; ainsi que pour l'appréhension de l'évolution des réserves en eau des aquifères souterrains.

## **II. PLUVIOMETRIE ET RUISSELLEMENT :**

### **II.1 - Pluviométrie :**

Le régime et la répartition des pluies en Tunisie sont erratiques et influencés par le relief, la couverture végétale et la proximité de la mer. Les précipitations sont très variables d'une région à l'autre du pays. Dans le Nord du pays couvrant 25% de la superficie, la pluviométrie est comprise entre 400 mm/an le long de la vallée de la

---

<sup>2</sup>1930 : Sebkhet elkalbia a coulé 6 mois à la mer ; Septembre-octobre 1969 : grandes inondations en Tunisie centrale et Sahel, mars 1973 : grandes inondations du nord au sud, Janvier 1990 : grandes inondations dans Sidi Bouzid et Gafsa ; et en 2003 : grandes inondations dans le Nord et le Sud

Medjerda et 1500 mm/an à l'extrême Nord-Ouest. Dans la région centrale du pays, au sud de la Dorsale couvrant 15% de sa superficie, on enregistre de 200 à 400 mm/an, tandis que dans les régions du Sud du pays représentant 60% de sa superficie, les pluies deviennent plus rares et ne totalisent qu'environ 200 à 50 mm/an. La dorsale tunisienne (altitude : 400-1200 m) constitue une barrière pour les nuages pluvieux provenant du Nord-ouest.

L'essentiel des pluies tombent en Tunisie suite à des orages qui produisent un ruissellement rapide entraînant une érosion excessive du sol. Elles ne rechargent qu'insuffisamment les nappes souterraines et produisent des violentes inondations. Quand le sol est protégé par la végétation, l'érosion devient limitée et les dégâts sont réduits. L'expérience de protection des versants par des aménagements de conservation de l'eau et des sols (CES) a montré son utilité et efficacité. Cette activité doit être consolidée pendant les prochaines décennies, comme partie intégrante de l'aménagement hydraulique.

Afin de ne pas se limiter aux moyennes qui masquent les extrêmes, on a choisi une série pluviométrique de 40 ans<sup>3</sup> (DGRE, Fichiers pluviométriques) qu'on considère comme étant bien représentative de la pluviométrie tunisienne. Cette série s'étend de 1965 à 2004. Elle traduit des mesures de suivi pluviométrique dont la représentativité est assurée vu que sa continuité est confirmée et que la densité du réseau est la plus forte.

Cette série pluviométrique se réfère à des stations bien réparties entre les différentes régions du pays où l'avènement des pluies est significatif. Les données pluviométriques ainsi analysées sont classées en première étape, mensuellement et par gouvernorat (3 à 6 stations par gouvernorat) en vue d'établir la pluie moyenne par gouvernorat. On arrive ainsi à caractériser la pluie moyenne mensuelle et annuelle. Ramenée à la superficie du territoire considéré, cette moyenne permet d'évaluer la pluie tombée à l'échelle de l'année

Il tombe ainsi, en moyenne, sur le sol tunisien, l'équivalent de 31 milliards de m<sup>3</sup>/an, à raison de 47% sur le Nord du pays, 33% sur le centre et 20% sur le Sud. Cette pluviométrie peut cependant varier selon les années. En années de sécheresse, cette

---

<sup>3</sup>Les premières mesures de la pluviométrie sur une station en Tunisie, ont commencé en 1897 à Tunis (Station el Manoubiya). Depuis le réseau pluviométrique n'a cessé de devenir de plus en plus dense, répondant ainsi aux besoins de l'aménagement du territoire (ponts et chaussées, barrages, ...), aux services de la navigation marine et aérienne et de l'agriculture. Deux services sont responsables de cette tâche : la météorologie (INM) et l'Agriculture (DGRE).

pluviométrie peut être réduite à 10-12 milliards de m<sup>3</sup>/an et avoisine en années excédentaires, les 90 milliards de m<sup>3</sup>/an.

**Tableau 3 : Pluviométrie moyenne en Tunisie**

Sous-région	Gouvernorat	Pluviométrie moyenne (mm/an)	Volume en eau tombée (Milliards m <sup>3</sup> /an)	Total des volumes d'eau
				Milliards m <sup>3</sup> /an
Tunisie du Nord	Bizerte	620	2.227	14.691
	Béja	571	2.111	-47%
	Ariana	455	0.666	
	Nabeul	488	1.358	
	Jendouba	769	2.400	
	Tunis	455	0.150	
	Ben Arous	455	0.301	
	Zaghouan	406	1.175	
	Siliana	490	2.249	
	Le Kef	420	2.054	
Tunisie du centre	Sousse	343	0.900	10.122
	Kairouan	314	2.088	-33%
	Monastir	375	0.373	
	Kasserine	325	2.652	
	Mahdia	302	0.849	
	Sidi Bouzid	235	1.732	
	Sfax	223	1.528	
Tunisie du Sud	Gafsa	160	1.188	6.307
	Tozeur	95	0.592	-20%
	Gabès	180	1.343	
	Kébili	84	1.857	
	Medenine	205	0.659	
	Tataouine	119	0.668	

Source : Base de données pluviométriques et hydrologiques- DGRE, depuis 1970

L'aridité est un trait caractéristique du climat de la Tunisie. L'insuffisance des disponibilités en eau a toujours été à l'origine de l'orientation de l'aménagement hydraulique vers le stockage et la modulation du transfert et l'amélioration de la recharge naturelle des nappes. 39Le but permanent de l'action hydraulique a toujours été de stocker les excédents en eau des années humides (barrages et nappes) pour pouvoir les utiliser en années déficitaires. C'est ainsi qu'est née la notion de transfert d'eau d'une région à l'autre du pays et les aménagements en CES.

D'après les séries pluviométriques disponibles sur plus d'un siècle<sup>4</sup>, plusieurs années de sécheresse peuvent se succéder: deux années sèches sont fréquentes; trois années de sécheresse successives épuisent les réserves en eau mais elles sont plus rares. Les années déficitaires sont plus fréquentes que les années à pluviométrie excédentaire.

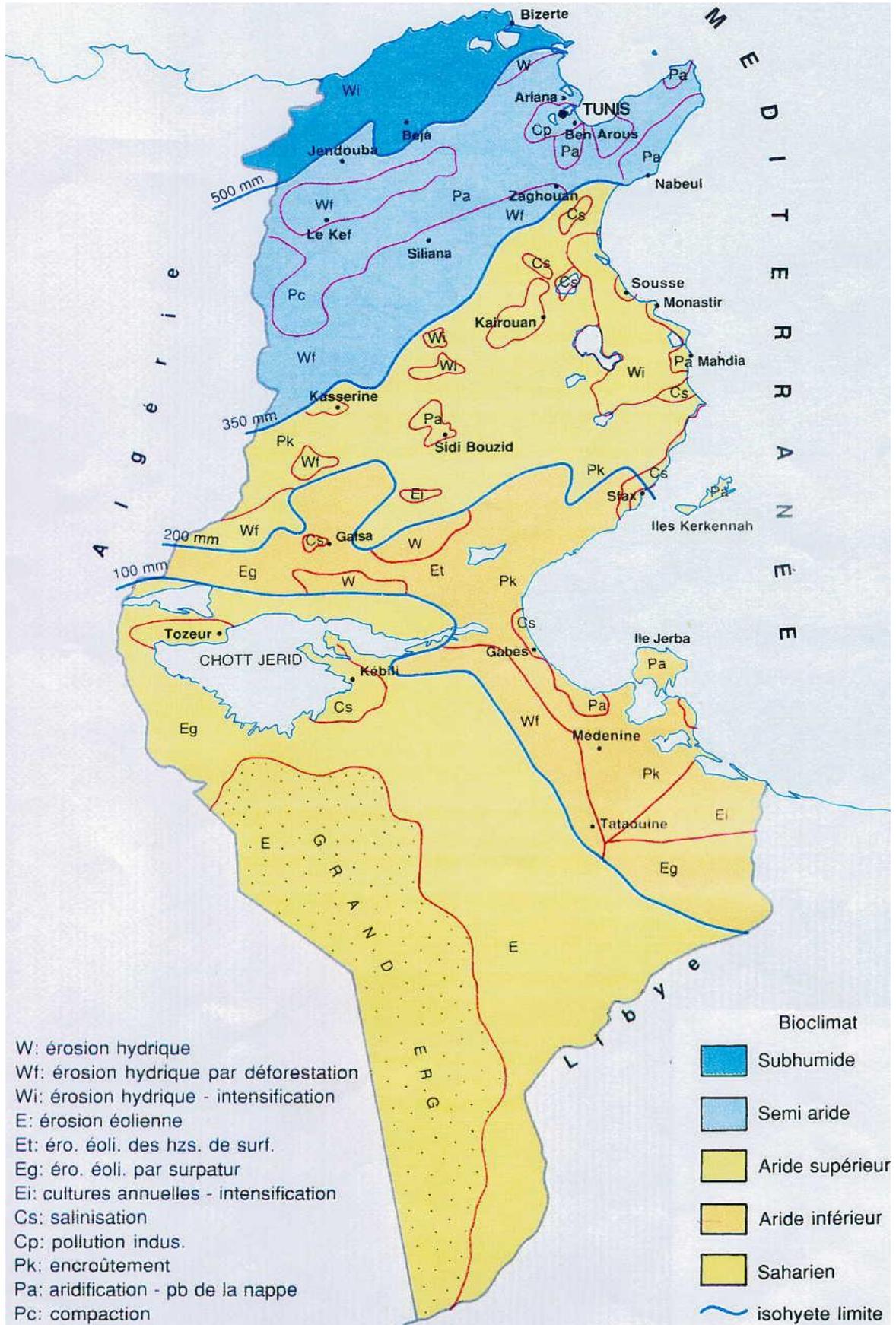
On considère que le régime climatique du pays répond à la suite suivante : 3 années très sèches, 3 années sèches et 3 années humides. La considération des moyennes pluviométriques ne permet pas de mettre en évidence les situations extrêmes caractérisées par la sécheresse hydraulique ou les années à pluviométrie excédentaire. Malgré une répartition quasi homogène de la pluviométrie sur les trois saisons de l'automne, l'hiver et le printemps, le nombre de jours pluvieux est relativement limité. Il pleut en moyenne 70 jours par an dans le Nord, 40 jours par an dans le centre et 20 jours par an dans le Sud

Ces pluies ne se traduisent par du ruissellement que durant de courtes périodes de l'année (des épisodes de 1 à 3 jours), ce qui impose une ingéniosité dans leur maîtrise, captage et gestion.

---

<sup>4</sup>Base des données pluviométriques de la Direction Générale des Ressources en Eau (DGRE) au Ministère de l'Agriculture dont les observations sont publiées dans des annuaires depuis 1970.

Figure 1 : Carte des Isohyètes en Tunisie



Source : DGRE, 1978 et Zebidi, 1990

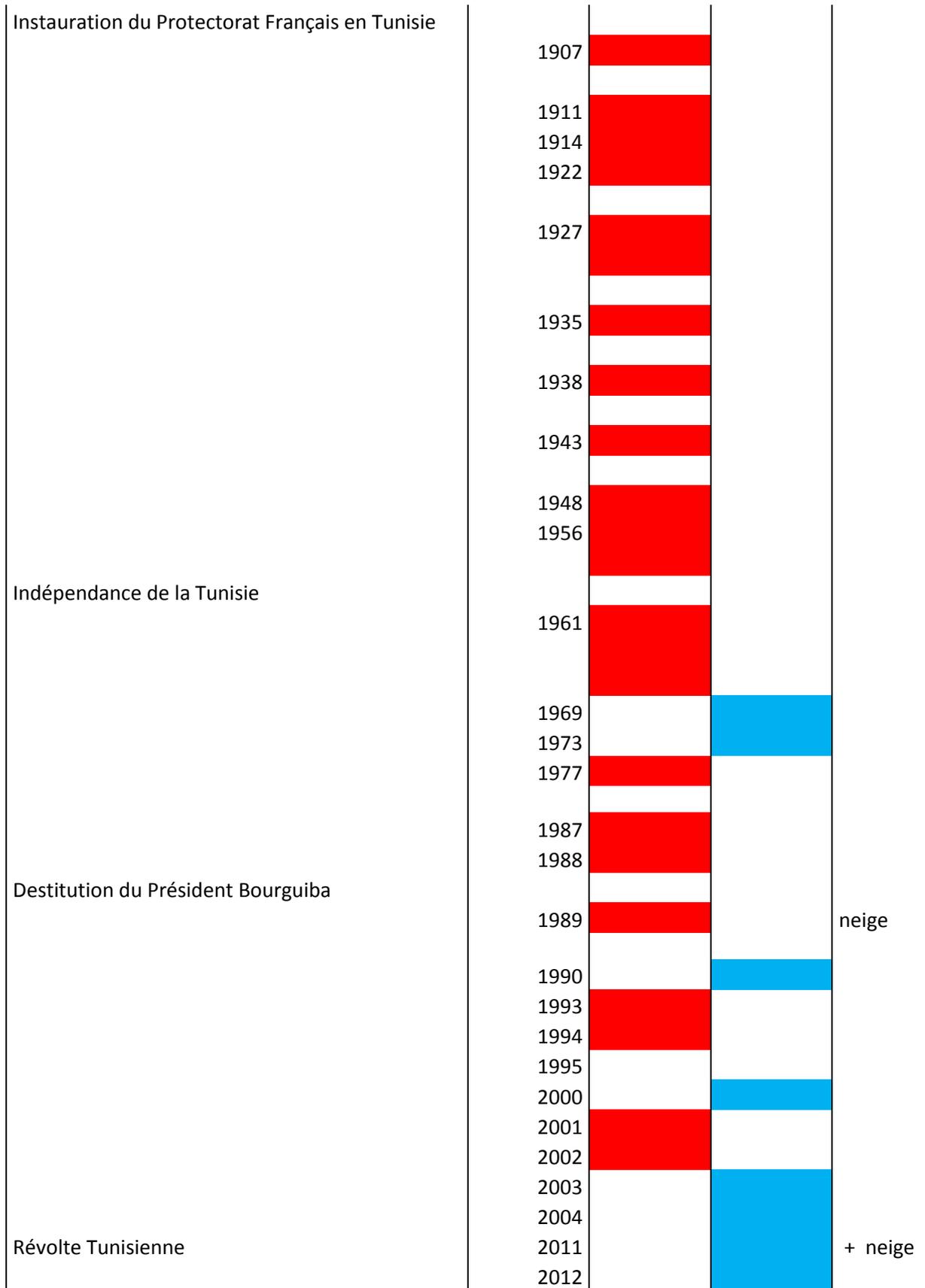
**Tableau 4: Succession des événements de sécheresse et d'inondation en Tunisie**

Période	Année	Sécheresse	Inondation	
Conquête de l'Espagne par les Aghalbités	707			
	717			
	733			
	800			
	873			
	879			
	910			
	920			
	Fatimides	924		
		929		
973				
1004				
Zirides	1022			
	1033			
	1040			
	1041			
	1042			
	1052			
	1076			
	1090			
	1097			
	1141			
Tributs de Bani Hellal en Tunisie	1148			
	1160			
	1180			
	Almohades	1260		
		1270		

### Suite tableau 4

Hafcides	1310	
9ième croisade sur Tunis	1348	
	1352	
	1354	
Départ de Ibn Khaldoun de Tunis	1357	
Peste à Tunis	1457	
	1570	
	1573	
	1574	
Occupation de la Tunisie par les Espagnols	1605	
Occupation de la Tunisie par les Ottomans	1628	
Installation des Mauradites en Tunisie	1640	
	1705	
Début de l'ère des Hussainites	1758	
	1805	
	1829	
	1864	
Révolte de Ali Ben Hhdhahem	1867	
	1881	

**Suite tableau 4**



Source : DGRE et « L'histoire de la Tunisie » de Mohamed el Hedi Cherif

Le tableau 4 permet de mieux comprendre la répartition de la ressource en eau dans le temps et de mieux cibler l'aménagement hydraulique adéquat. L'analyse de la série pluviométrique disponible montre qu'à l'échelle du pays, la succession suivante est assez souvent respectée :

- Une année type sèche<sup>5</sup> singulière apparaît une fois tous les dix ans (Eau 2000, 1993)
- Deux années sèches successives apparaissent une fois tous les trente ans ;
- Trois années sèches successives apparaissent une fois tous les 100 ans.

C'est particulièrement la succession des années humides et les extrêmes pluviométriques qui conditionnent la disponibilité en eau qu'il y a lieu de maîtriser. La maîtrise des apports extrêmes est à la base des principaux aménagements de stockage en eau. C'est la gestion de ce stockage qui traduit au mieux la spécificité du système hydraulique tunisien. L'effort à faire pour l'augmentation des disponibilités en eau durant les prochaines décennies, est principalement lié à la gestion de ces excédents en eau des années pluvieuses.

A l'échelle des saisons, tout en enregistrant plus de 90% des pluies en automne, hiver et printemps, plusieurs régions du pays accusent des saisons sèches qui se prolongent de 6 à 8 mois de l'année et nécessitent des appoints en eau tant pour les cultures que pour l'alimentation en eau potable rurale.

## **II.2 - Ruissellement et apport en eau de surface :**

Le réseau hydrographique de la Tunisie reflète en même temps la nature sédimentaire du sol, la répartition de la pluviométrie et le rôle des reliefs dans la modulation du ruissellement. Il est structuré en fonction de l'orographie et des zones climatiques avec une influence de la mer qui se fait sentir avec plus d'intensité, sur la côte nord du pays et dans les principaux golfes de la façade orientale (Golfes de Tunis, de Hammamet et de Gabès). La majorité des oueds du pays sont à écoulement temporaire à l'occasion des grands orages. Leurs apports varient en fonction de la superficie du bassin versant et de l'ampleur de l'averse (intensité et durée).

---

<sup>5</sup> Une année type sèche est celle dont le volume ruisselé est inférieur ou égale à 30% des apports en eau annuels moyens.

La décroissance de la pluviométrie du Nord vers le Sud, fait apparaître une décroissance graduelle de la densité de ce réseau hydrographique. Les reliefs de l'Extrême-Nord (Kroumirie et Mogods) ainsi que la Dorsale tunisienne jouent dans le Nord et l'arrière-pays, un rôle capital dans la densification localisée de ce réseau. Essentiellement ouvert sur le littoral, ce réseau hydrographique est exogène et nécessite la maîtrise de ses crues par des ouvrages adaptés afin d'éviter la perte d'une partie non négligeable des apports de crues en mer.

Ce réseau évacuant l'essentiel de ses apports en eau en mer, est à l'origine de l'alimentation des nappes aquifères et de la reconstitution de leurs réserves en eau ainsi que de la régulation de leur qualité chimique. Une meilleure maîtrise de ces apports, permet aux aquifères souterrains de renouveler plus fréquemment leurs réserves en eau.

Les oueds de la Tunisie constituent le siège de la génération de la ressource en eau de surface du pays. Leur aménagement hydraulique permet de réguler et de capter l'apport en eau des pluies et d'en faire un stock à utiliser sur place ou à transférer ailleurs. C'est de la densité de ces aménagements, principalement dans le Nord et le centre du pays, que dépend la disponibilité en eau de surface.

Il est difficile de séparer sur le plan de l'impact hydrologique le long du littoral tunisien, l'apport en eau des oueds dont les bassins versants sont entièrement côtiers de ceux qui se développent en amont à l'intérieur du pays. Les cas de la Vallée de la Medjerda, du Zeroud et de l'Oued Ouadrane plus au Sud, sont édifiants dans ce sens. En effet, ces trois oueds dont les bassins versants s'étendent pour l'essentiel à l'intérieur du pays, ont des apports en eau très notables à leurs embouchures côtières. Certains oueds comme le Zéroud et le Merguellil n'ont de communication avec la mer qu'à la suite de crues exceptionnelles (1930, 1969, 1973, 1990, 2003, 2004, 2012). Ils traduisent ainsi l'intégration des phénomènes climatiques dépassant les limites de l'extension de leurs bassins versants.

Le régime hydrologique différent de chaque bassin et dans chaque région du pays, pousse l'aménageur à intégrer dans sa conception de l'optimisation du système hydraulique du pays, le maximum d'oueds et de nappes en les interconnectant avec des aménagements complémentaires afin de diminuer les pertes en eau (mer et sebkhas), ainsi que l'occurrence de la pénurie.

Avec des besoins grandissant et une demande dépassant les disponibilités, la maîtrise de ce régime est une priorité. Cette maîtrise est envisagée à différentes échelles (barrages, barrages collinaires et lac collinaires), avec le recours progressif et grandissant aux ressources en eau non conventionnelles.

### **II.3 Système hydraulique de la Tunisie :**

Le système hydraulique tunisien est constitué par un réseau hydrographique d'oueds et des systèmes aquifères structurés en nappes phréatiques et profondes. Les principaux oueds aménageables du pays sont:

- **les Oueds côtiers de l'extrême Nord et de l'Ichkeul:** (Kebir, Moula, Barkoukech, Ziatine, Herka Gamgoum, Zouaraa, Sejnane, Melah-ouest, Ghezala, Maaden, Melah; Joumine, Tine, Mechria) .

- **les Oueds de la Medjerda, du Cap Bon et du Meliane:** Medjerda et ses affluents : Mellegue, Tessa, Kalled, Lahmar, Chaffrou, Bou Heurta, Kasseb Beja, Zerga, El Hmar, le Meliane, Hma, Bezirk, Abid, Hajar, Lebna, Chiba et Masri. Ces oueds drainent la Kroumérie et les Mogods.

- **les Oueds de La Tunisie Centrale :** Nebhana, Merguellil, Zeroud , Leben Bayech. Ces oueds drainent le versant nord de la Dorsale et J. Abderrahmane (Cap Bon).

- **Oueds du Sud** dont ceux de la Djeffara de l'Aradh de Gabes Djir, Ferd, el Hamma, Sourreg, Zeus, Koutine et Zegzaou, ...) d'El Ababsa (Métameur, el Fejei, Soltane, et Smar, ...) et d'El Ouara (el Khil, Oued Fessi, Dekouk, Ouni, el Berigua, ...) aboutissant en mer et ceux du Dahar (Zmertén, Hallouf, Nakhla,...), des chaînes de Gafsa (Bayech, Melah, Thalja, el Khangua, ...) et des chotts (Ségui, Chareb, Zitouna,...) qui sont endoréiques et aboutissent dans les chotts ou dans les dunes du Grand Erg Oriental.

La majorité des oueds se présentent en périodes de crues, sous forme de torrents dont le temps d'écoulement ne dépasse pas quelques heures à quelques jours. Ce régime d'écoulement augmente les pointes de crues et limite le temps d'infiltration de l'eau dans le sol, ce qui limite la recharge des nappes. La maîtrise de ce type d'écoulement augmente excessivement le coût de mobilisation de ces eaux de surface, car la protection des aménagements contre les crues exceptionnelles et leur maintenance sont onéreuses pour une durée de vie des ouvrages souvent courte à cause de l'envasement.

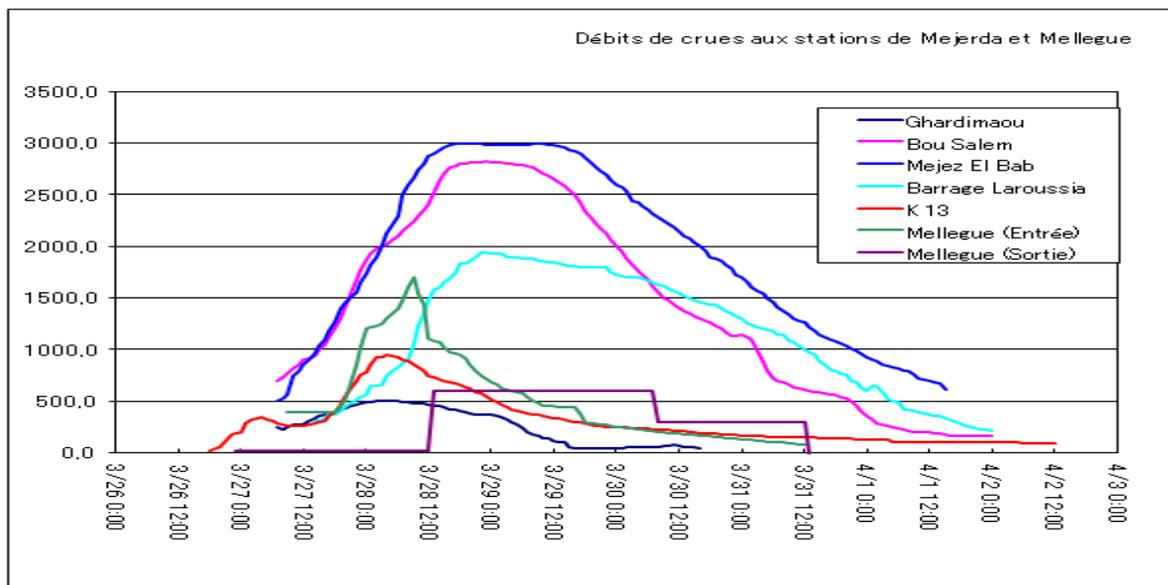
Ainsi, le Mellègue charrie des apports à partir d'un bassin versant à couvert végétal très dégradé dont la superficie est de 10.000 km<sup>2</sup>. Une grande partie de ce bassin se trouve au piedmont aride des Aurès algériens. De ce fait, le barrage de Nebeur contrôlant ses apports, a perdu en 50 ans, les deux tiers de sa capacité de stockage.

Une crue ordinaire de la Medjerda, l'oued le plus important du pays, met en moyenne trois jours pour traverser le bassin versant jusqu'à son embouchure. Ce temps de concentration relativement court, ne permet pas l'alimentation efficace des nappes aquifères. C'est le cas également des autres oueds du pays dont la fonction ruissellement l'emporte sur celle de l'infiltration.

Afin de mieux optimiser la mobilisation des eaux de surface du réseau hydrographique du pays, il est important de:

- Maitriser les principales crues, y compris celles considérées comme exceptionnelles (fréquence de 10 à 100 ans), par des ouvrages de stockage et de rétention adéquats (barrages, barrages collinaires, lacs collinaires et aménagements de CES),
- Réduire le temps de séjour du transport solide des crues dans les retenues, par l'évacuation de la sédimentation ainsi accumulée,
- Détourner les eaux salées de l'étiage et des petites crues, vers les zones d'évacuation secondaires en vue de préserver la salinité de l'eau des retenues.

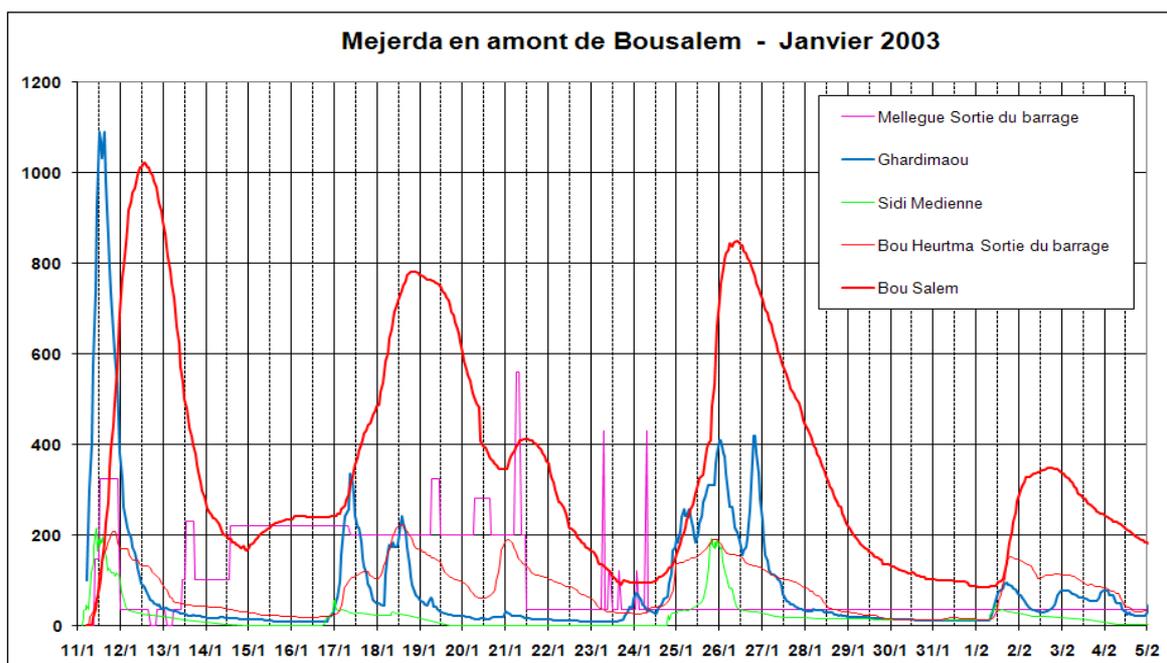
**Figure 2: Crues de Mars 1973 au niveau de différentes stations du bassin de Mejerda**



Source : Nippon Koei-JICA, 2009

Les crues de la Medjerda en mars 1973 ont duré 6 jours (Figure n°2). La pointe (débit maximum) de la crue a pu atteindre à Mejez el Bab, 3 000 m<sup>3</sup>/s. Le lit de la Mejerda à ce niveau, atteint le débordement à partir de 500 m<sup>3</sup>/s

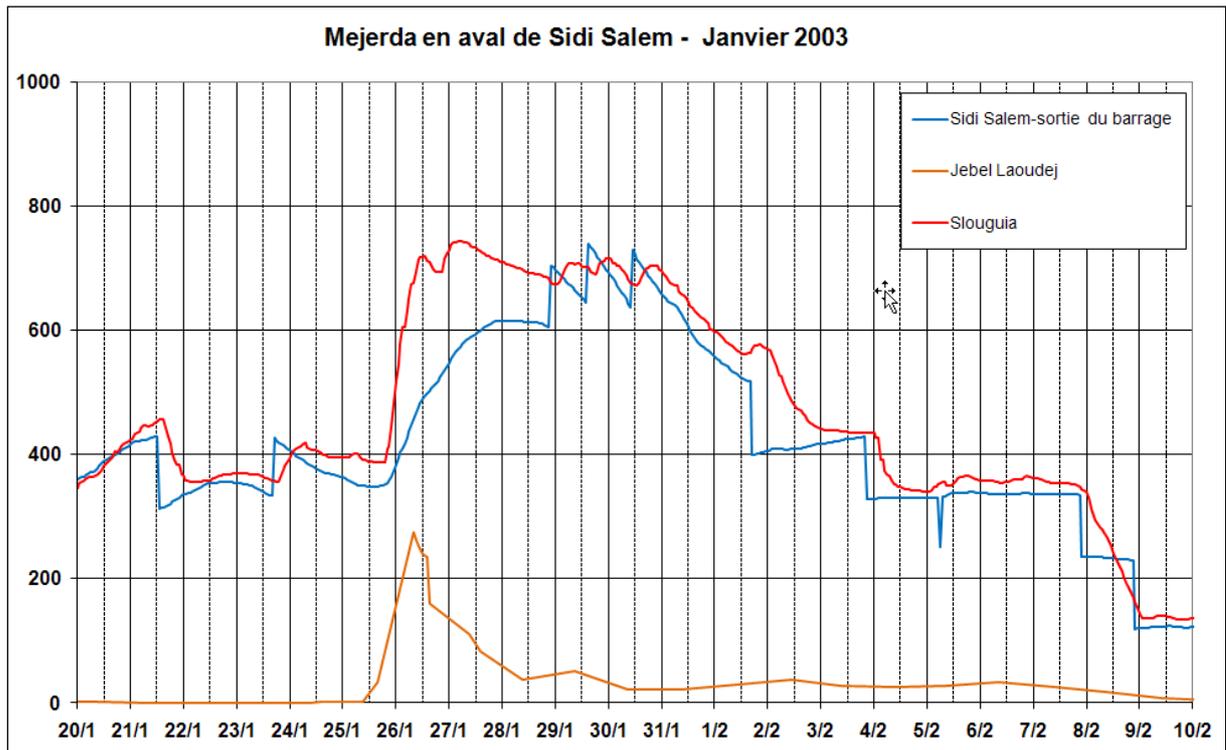
**Figure 3: Crues de 2003 en amont du barrage de Bou Salem**



Source : Nippon Koei-JICA, 2009

Les crues de la Medjerda en Janvier 2003, se sont poursuivies sur près d'une vingtaine de jours (11 janvier – 5 février), avec un débit de pointe à Bou Salem variant de 350 à 1000m<sup>3</sup>/s (Figure n°3). Ces crues se sont poursuivies en aval (J. Laouedj et Slougua) avec un grand débit étalé dans le temps (Figure n°4). Un débit supérieur à 400 m<sup>3</sup>/s est à ce niveau synonyme du débordement.

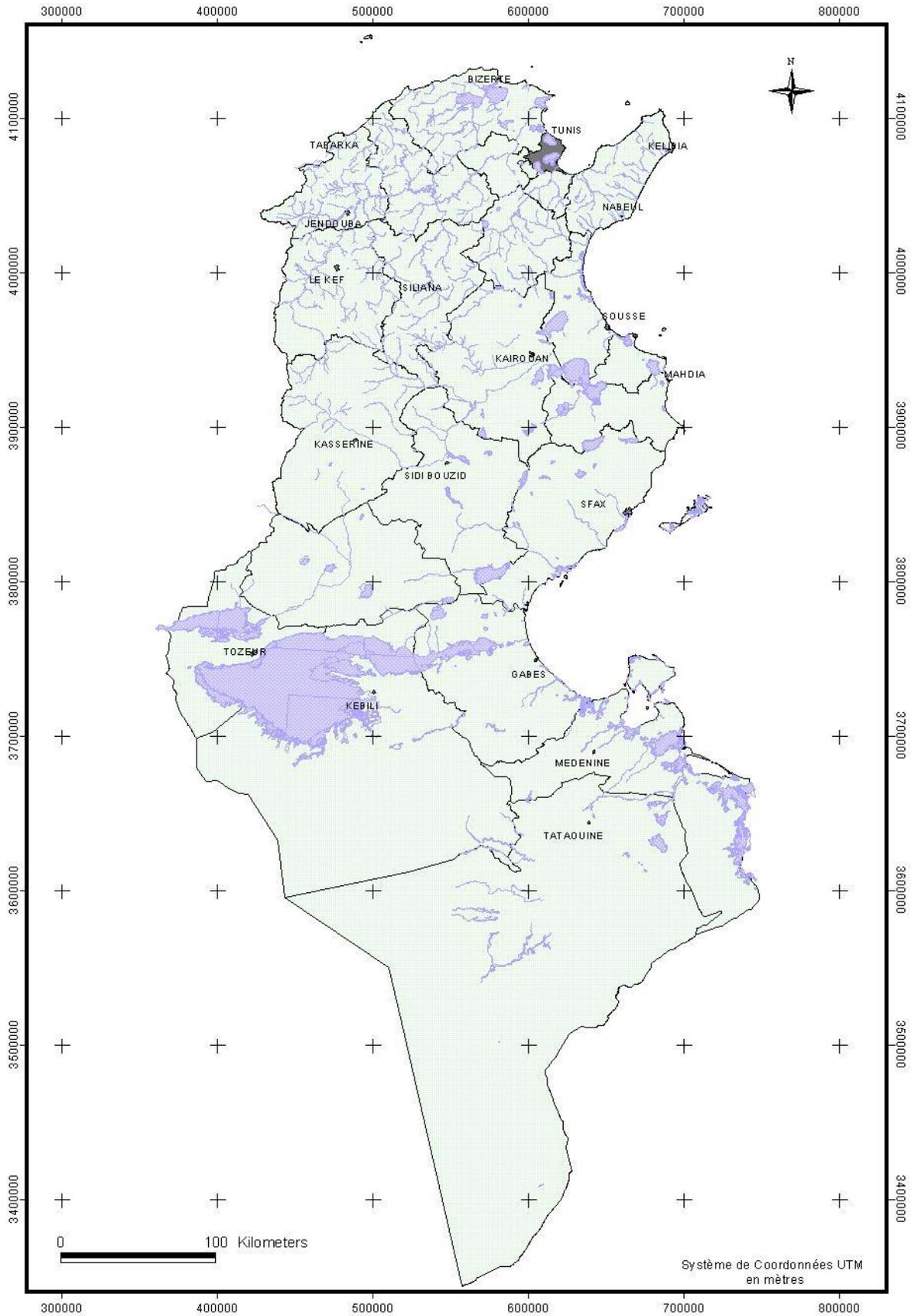
**Figure 4 : Crues de 2003 en aval de Sidi Salem**



Source : Nippon Koei-JICA, 2009

Les crues des autres oueds du pays ne mettent souvent que quelques heures pour se déverser précipitamment soit en mer, soit dans les sebkhas, en charriant avec leurs eaux de grandes quantités de matériaux solides (sables et argiles) et en emportant le bon sol. Non équipés, pour maintenir l'essentiel de ces apports, les oueds du pays, ne conservant leur écoulement que durant quelques heures à quelques jours, contribuent à la recharge des aquifères souterrains, à la reconstitution et à l'amélioration de la qualité chimique des réserves en eau des barrages.

**Figure 5 : Réseau hydrographique de la Tunisie**



Source : Eau 2000, 1993

Les principaux oueds de la Tunisie se trouvent actuellement maîtrisés par des barrages et des ouvrages hydrauliques (seuils de pompage, ouvrages d'épandage, digues de protection) ce qui a fini par changer radicalement leur comportement naturel, particulièrement leur régime d'écoulement. Les impacts de ces aménagements sur le milieu naturel (temps de concentration, perte de charge linéaire, érosion, recharge des nappes, transport solide, qualité chimique, engraissement de leur lit) ne peuvent être bien identifiés qu'à travers une bonne connaissance du nouveau régime hydrologique.

Le suivi de l'apport du réseau hydrographique du pays est assuré à l'aide d'un réseau de **130 stations hydrométriques**<sup>6</sup>(Annuaire hydrologique de la Tunisie, depuis 1970) dont la plupart d'entre elles ont plus de 25 ans de fonctionnement et la moitié plus de 50 ans.

Le suivi de ce réseau permet de mesurer les volumes d'eau qui y transitent, leur transport solide lors des crues et la salinité des eaux ainsi ruisselées. De même qu'il permet l'évaluation, au cours de l'année, des volumes d'eau accumulés derrière les retenues des barrages et leur salinité.

Le suivi de la réaction de ce réseau hydrologique ainsi artificialisé, permettra d'identifier les travaux confortatifs et compensatoires, surtout pour maintenir la capacité de transit des lits (majeurs et mineurs) des oueds pendant les crues et pour éviter leur débordement. C'est dans cette optique qu'ont été réalisées des études de suivi du régime hydrologique (monographies) des principaux oueds du pays.

On arrive ainsi, à travers l'étude du régime hydrologique de chaque oued, à évaluer ses apports extrêmes et moyens annuels, ainsi que les périodes de l'année correspondantes.

C'est ainsi que l'ensemble de ces études hydrologiques ont permis d'évaluer l'apport moyen en eau de surface du réseau hydrographique tunisien, à près de **2630 Millions de m<sup>3</sup>/an**. Ce volume correspond aux ressources en eau de surface potentiellement mobilisables par des ouvrages hydrauliques adéquats. Ces ressources se répartissent entre les principaux grands bassins versants du pays comme suit :

- bassin de la Mejerda : 1000 Millions de m<sup>3</sup>/an,

- Extrême-Nord : 585 Millions de m<sup>3</sup>/an,

---

<sup>6</sup>Ce réseau est géré par la DGRE (Min. Agriculture) et fait depuis 1970 l'objet d'une publication annuelle (l'annuaire hydrologique de Tunisie).

- Ichkeul et Bizerte : 375 Millions de m<sup>3</sup>/an,
- Cap Bon et Meliane : 230 Millions de m<sup>3</sup>/an,
- Sahel et Centre (Zéroud-Merguellil, Sahel de Sousse et de Sfax): 320 Millions de m<sup>3</sup>/an,
- Sud tunisien (bassin des chotts et Djeffara): 120 Millions de m<sup>3</sup>/an.

Ces ressources en eau de surface potentielles sont mobilisables à raison de 95%, à l'aide des différents types d'ouvrages (barrages, barrages collinaires et lacs collinaires) ; ainsi que par des travaux de CES.

Ces ressources se répartissent entre les trois principales régions du pays, comme suit :

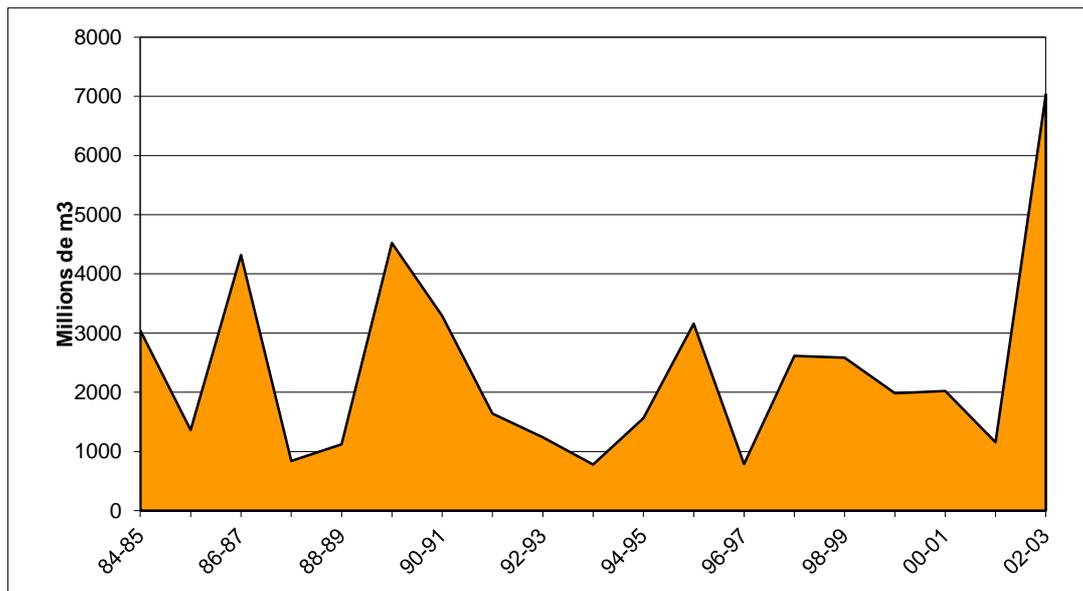
- le Nord: **2190 millions de m<sup>3</sup>** par an dont 1796 millions de m<sup>3</sup> ayant une salinité inférieure à 1,5 g/l
- le Centre: **320 millions de m<sup>3</sup>** dont 153 millions de m<sup>3</sup> ayant une salinité inférieure à 1,5 g/l
- le Sud: **120 millions de m<sup>3</sup>** par an dont 5 millions de m<sup>3</sup> ayant une salinité inférieure à 1,5 g/l

**Tableau 5 : Répartition régionale des ressources en eau de surface**

Région	Ressources en eau de surface (Millions de m <sup>3</sup> /an)	Pourcentage (%)	Ressources à S 1.5>g/l	
			Volume (Millions de m <sup>3</sup> /an)	% des ressources
Nord	2190	83	1796	82
Centre	320	12	153	48
Sud	120	5	6	5
Total	2630	100%	1955	74%

Source : DGRE, Fichiers pluviométriques depuis 1970

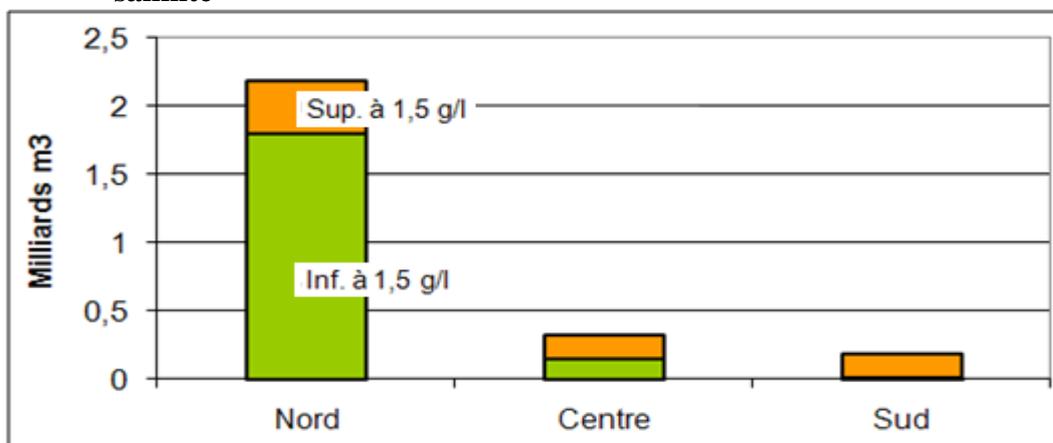
**Figure 6: Variation des apports en eau de surface**



Source :EGTH, Situation hydraulique des barrages

Sur la base de cette évaluation, fut mise en place la planification de maîtrise de ces eaux à l'aide d'ouvrages hydrauliques appropriés. L'irrégularité des apports en eau du réseau hydrographique du pays d'une année à l'autre, impose une gestion basée sur la maîtrise d'un potentiel en eau mobilisable à partir des retenues des barrages, qui est au moins, l'équivalent de l'exploitation de deux années successives. La maîtrise des grandes crues à fréquence peu habituelle (20 ans et plus), nécessite une densification poussée de l'infrastructure de mobilisation au sein des principaux bassins versants, ainsi qu'une adéquate gestion des apports en sédiments.

**Figure 7: Ressources en eau de surface par région et selon leur degré de salinité**



Source :DGRE, pluviométriques depuis 1970

## **II.4– Aquifères et eaux souterraines:**

Par sa position en bordure du bouclier africain, la Tunisie a subi une évolution géologique largement influencée par celle de la Méditerranée qui est l'aboutissement d'un géosynclinal énorme bordé par les Alpes et les Pyrénées au Nord et l'Atlas maghrébin au Sud.

Les plissements atlasiques et la sédimentation géosynclinale entrecoupée de remontées diapiriques, constituent les principaux traits géologiques de cette évolution structurale.

Avec une géologie largement dominée par les terrains sédimentaires et une évolution structurale en marge du craton saharien cristallin, le sous-sol de la Tunisie est fort propice pour la présence des systèmes aquifères dont l'extension est tributaire des entités géologiques identifiées. Ces bassins sédimentaires deviennent de plus en plus petits et fragmentés à mesure qu'on s'écarte de la plateforme saharienne vers le Nord du pays.

C'est ainsi que suite à un intense effort d'exploration géologique, plusieurs nappes aquifères ont été reconnues et mises en exploitation à l'aide d'une multitude de puits et de forages. Les eaux souterraines contenues dans ces nappes aquifères sont identifiées sur la base de travaux de recherche et d'exploration qui se réfèrent aux prospections géophysiques, aux sondages et aux inventaires des points d'eau.

Le Nord du pays, caractérisé par une évolution géologique du type atlasique, renferme une multitude de nappes alluvionnaires à faible profondeur et dont les ressources en eau sont pour l'essentiel, renouvelables à l'échelle des années et des décennies. C'est le cas des nappes du littoral nord (dunes de Nefza et nappe de Mekna), des plaines de Sejnane, Mateur, Oued Guennich, de la moyenne vallée de la Mejerda et de Ras Jebel.

Le Centre du pays, domaine des grands fossés d'effondrement (cas de Kasserine, Kairouan, Sidi Bouzid, Mekkassy, Gafsa-nord, etc...), renferme des systèmes aquifères dont la nappe phréatique est le niveau aquifère le moins profond. Elle surmonte ainsi d'autres niveaux aquifères dont les réserves en eau sont plus importantes et relativement plus anciennes.

Le Sud tunisien constituant la continuité de la plateforme saharienne, renferme des systèmes aquifères dont l'extension déborde les frontières du pays et dont les réserves en eau sont anciennes et pratiquement non renouvelables. C'est le cas des nappes du

Continental intercalaire et du Complexe terminal exploitée à Tozeur, Kebili, Gabès, Médenine, et Tataouine; ainsi que celui de la nappe de Djefara exploitée à Gabès, Médenine et Tataouine.

Toutes les nappes en eau souterraines du pays sont fortement sollicitées et accusent ainsi des réactions nuancées vis-à-vis de l'exploitation (baisse piézométrique et augmentation de la salinité de l'eau).

A travers les différentes opérations de reconnaissance<sup>7</sup> et de mobilisation des eau de ces nappes<sup>8</sup>, le suivi de leur régime hydrogéologique a permis de s'assurer de leurs réactions en années pluvieuses ou sèches<sup>9</sup>. Celles dont les ressources sont renouvelables en fonction de la recharge naturelle qu'elles reçoivent, sont à considérer à **ressources en eau durables** dans la mesure où leur exploitation est assurée suivant un régime qui respecte le renouvellement annuel ou pluriannuel de leurs eaux. C'est le cas particulièrement des nappes phréatiques et des nappes profondes du Nord et du centre du pays. Les autres, principalement à **réserves géologiques peu ou pas renouvelables**, sont à **durabilité limitée** et elles sont exploitées dans une perspective de rentabilité économique, avec un coût d'exploitation supportable pour l'usage. Ceci est particulièrement le cas des grandes nappes du Sud tunisien: nappes du Continental Intercalaire (Kébili, Tozeur, Gabès et Tataouine), du Complexe Terminal (Kébili, Tozeur et Tataouine) et de la Djefara (Gabès et Médenine).

En dehors des principales nappes du Sud tunisien dont l'extension en dehors des frontières du pays leur permet des sources d'alimentation transfrontières, les autres nappes s'alimentent par infiltration des eaux de pluies et du ruissellement dans le réseau hydrographique. Elles sont ainsi à ressources complètement internes au pays et elles garantissent près de 70% des ressources en eaux souterraines indépendantes de tout apport transfrontalier. Ainsi, les 30% des ressources en eau souterraines restantes du pays sont non renouvelables et tributaires pour leur devenir à long terme, de l'exploitation des aquifères partagés qui les abritent, dans les deux pays voisins.

---

<sup>7</sup>Les reconnaissances par sondages font depuis 1994 l'objet d'une publication de la DGRE : annuaire de réalisation des forages.

<sup>8</sup>L'exploitation des nappes fait l'objet de deux principales publications :I- Annuaire de l'exploitation des nappes profondes de Tunisie (publié depuis 1973), II- Situation de l'exploitation des nappes phréatiques (publiée chaque ans)

<sup>9</sup>Ce suivi est assuré par le réseau national de piézomètres qui compte près de 2500 points d'eau (puits, forages et piézomètres) dont les données sont publiées depuis 1990 par la DGRE, sous forme d'un annuaire (annuaire piézométrique)

La plupart des nappes côtières s'estompent en mer et se vidangent ainsi le long de la ligne de rivage. Cet écoulement de base en mer est assez souvent commandé par l'équilibre hydrostatique entre la piézométrie de la nappe le long de la côte et le niveau marin. Les situations de surexploitation entraînent la rupture de cet équilibre hydrostatique naturel et l'appel vers la nappe de l'eau marine salée. C'est particulièrement le cas de la plupart des nappes phréatiques côtières dont leur forte surexploitation constitue une menace sérieuse pour leurs eaux dont l'invasion par l'eau de mer entraîne leur salinisation.

A la lumière du suivi des différentes nappes du pays, des études de modélisation numérique ont permis d'évaluer avec le plus de précision possible leurs ressources en eau exploitables et de mieux apprécier leur fonctionnement prévisionnel ainsi que les menaces associées à leur surexploitation. Toutefois cette évaluation doit être dynamique en fonction des changements introduits par l'exploitation et les variations climatiques.

Sur la base de ces différentes études hydrogéologiques couvrant l'ensemble des aquifères du pays, les ressources en eau souterraines susceptibles d'être mobilisées<sup>10</sup> de l'ensemble des nappes du pays, sont estimées à **2,1 milliards de m<sup>3</sup>** (DGRE, 1990) dont:

- 1486 millions de m<sup>3</sup> par an des ressources renouvelables soit 69,6%
- 650 millions de m<sup>3</sup> par an des ressources non ou peu renouvelables, soit 30,4%

Cette évaluation des potentialités en eau souterraines des nappes du pays (avec une précision de plus ou moins de 10%) donne de manière statique, les ressources en eau susceptibles d'en être mobilisées avec une qualité chimique acceptable (moins de 3 g/l). Cette évaluation faite à la lumière de l'état des connaissances du fonctionnement de ces nappes, est considérée comme le bilan quasi exhaustif de l'exploitabilité de ces eaux et il est peu probable que ce potentiel évolue dans une large mesure, vers l'augmentation, suite à de nouvelles découvertes de gisements en eau souterraine. Par contre, tenant compte de l'accroissement de l'exploitation des nappes du pays, ces ressources sont appelées à évoluer plutôt vers la baisse vu la dégradation de leur qualité chimique.

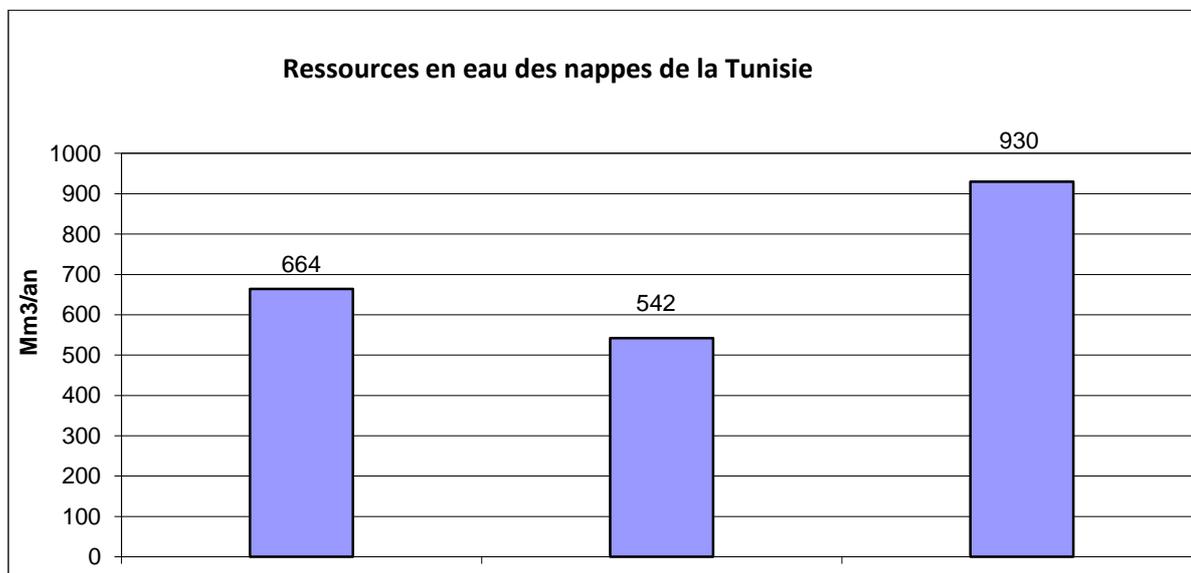
Ces ressources en eau souterraines se répartissent selon les trois principales régions naturelles du pays, comme suit :

---

<sup>10</sup> Ressources en eau souterraine dont la salinité n'excède pas 3 g/l

- **Le Nord** : 664 millions de m<sup>3</sup> par an
- **Le Centre** : 542 millions de m<sup>3</sup> par an
- **Le Sud** : 930 millions de m<sup>3</sup> par an

**Figure 8: Ressources en eaux des nappes de la Tunisie**



Source : DGRE, 1990

**DEMOGRAPHIE ET INDICATEURS HYDRAULIQUES  
CARACTERISTIQUES**

**I DEMOGRAPHIE**

L'évolution de la démographie de la Tunisie traduit un accroissement qui a été initié depuis le début du 20<sup>ème</sup> siècle. Après une période d'accroissement rapide, cette croissance démographique ne cesse de se réduire durant les 20 dernières années. Il est attendu que la population du pays atteigne d'ici 2025, l'équivalent de 12,2 millions d'individus, pour accuser par la suite, une certaine baisse et se stabiliser vers 2045, aux alentours de 11.5 millions. Les études démographiques existantes prévoient que la population en Tunisie évoluerait comme suit :

**Tableau 6 : Indicateurs sur l'évolution de la population en Tunisie**

<b>Indicateur</b>	<b>2004</b>	<b>2034</b>	<b>2049</b>	<b>2069</b>	<b>2089</b>	<b>2104</b>
<b>Nombre hab. (1000)</b>	9932	12742	13036	12273	11170	10296
<b>Naissances (1000)</b>	166.4	143.5	143.1	122.9	109.5	102.1
<b>Mortalités (1000)</b>	59.2	98.9	145.9	181.4	166.1	157.5
<b>% de naissances</b>	16.8	11.3	11.0	10.0	9.8	9.9
<b>% des mortalités</b>	6.0	7.8	11.2	14.8	14.9	15.3
<b>% de croissance net</b>	1.08	0.35	-0.02	-0.48	-0.51	-0.54

*Source :INS, Rapports statistiques*

La population du littoral Tunisien (Tabarka, Nefza, Bizerte, Sejnane, Bizerte, Grand Tunis, Cap Bon, Sahel de Sousse Sfax, Monastir, Mehdia, Gabes et Medenine) ;

représentant en 2009, l'équivalent de 62% de celle du pays, est appelée à atteindre en 2034, l'équivalent de 70% de la population globale. Elle intéresse 80% des activités industrielles du pays.

La dynamique démographique prévisionnelle de la population tunisienne traduit entre 2004 et 2024, tout en étant partout croissante, une différenciation suivant les différents gouvernorats du pays (Tableau 7). Cette évolution accuse un taux de croissance particulièrement sensible dans les gouvernorats de l'intérieur du pays (Kasserine, Kébili, Tozeur et Tataouine,...). C'est également le cas du Grand Tunis et du littoral entre Bizerte et Médenine. Cette situation met l'accent sur l'accroissement de la demande en eau pour l'alimentation potable, en premier lieu et pour l'irrigation par la suite.

Avec l'amélioration du niveau de vie, la demande en eau des grandes agglomérations est appelée à être plus importante. Ainsi, les eaux du Nord de la Tunisie seront appelées en 2030, à assurer l'approvisionnement en eau de près de 9 Millions d'individus. C'est le cas également de l'accroissement de la demande en eau d'irrigation sous l'effet des contrastes du climat et des besoins alimentaires du pays.

**Tableau 7: Evolution de la population par gouvernorat**

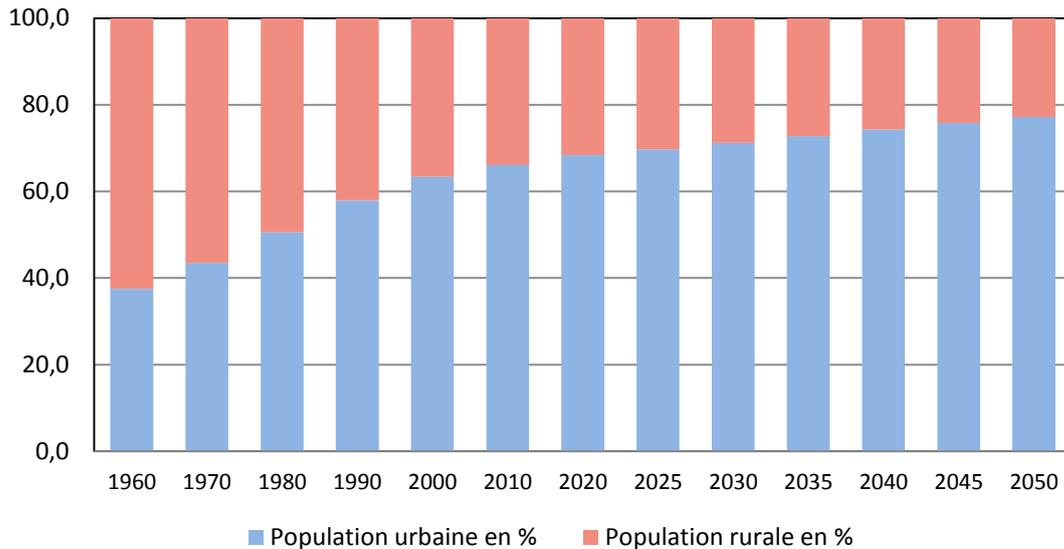
GOVERNORAT	2004	2009	2014	2019	2024
TUNIS	985,3	1004,1	1025,3	1042,7	1053,2
ARIANA	422,5	475,2	526,7	571,1	605,6
BEN AROUS	506,4	559,6	611,3	656,9	692,4
MANOUBA	336,6	360,3	384,7	407,2	425,3
<b>SECTEUR TUNIS</b>	<b>2250,8</b>	<b>2399,3</b>	<b>2548,1</b>	<b>2677,9</b>	<b>2776,6</b>
NABEUL	695,6	743,6	791,2	835,0	871,1
ZAGHOUANE	161,6	174,2	187,7	200,5	211,2
BIZERTE	525,2	547,4	572,0	595,0	613,6
<b>NORD EST</b>	<b>2250,8</b>	<b>1465,2</b>	<b>1550,9</b>	<b>1630,5</b>	<b>1695,9</b>
BEJA	305,0	307,2	311,0	314,8	317,7
JENDOUBA	417,7	423,5	432,6	443,1	452,5
KEF	259,5	258,9	260,0	262,1	264,3
SELIANA	234,7	235	137,9	241,7	245,1
<b>NORD OUEST</b>	<b>1217,0</b>	<b>1224,6</b>	<b>1141,5</b>	<b>1261,7</b>	<b>1279,6</b>
SOUSSE	545,8	602,2	658,6	710,8	755,1
MONASTIR	456,7	505,5	556,6	605,7	648,6
MAHDIA	378,8	398,7	421,5	444,6	465,8
SFAX	857,1	915,4	974,5	1029,7	1075,3
<b>CENTRE EST</b>	<b>2238,4</b>	<b>2421,8</b>	<b>2611,2</b>	<b>2790,8</b>	<b>2944,8</b>
KAIROUAN	547,4	561,5	581,2	1517,7	624,1
KASSERINE	413,6	426,7	445,8	468,3	490,6
SIDI BOUZID	396,6	409,3	426,7	446,3	464,7
<b>CENTRE OUEST</b>	<b>1357,6</b>	<b>1397,5</b>	<b>1453,8</b>	<b>2432,3</b>	<b>1579,5</b>
GABES	343,4	359,3	379,5	401,0	420,3
MEDNINE	433,4	455,4	481,5	508,3	531,7
TATAOUINE	143,8	146,6	152,5	160,1	167,8
<b>SUD EST</b>	<b>920,6</b>	<b>961,3</b>	<b>1013,4</b>	<b>1069,4</b>	<b>1119,8</b>
GAFSA	324,5	336,4	352,0	369,0	384,0
TOUZEUR	97,7	103,5	109,9	116,3	122,1
KBELLI	143,5	148,6	156,2	164,7	172,4
<b>SUD OUEST</b>	<b>565,6</b>	<b>588,5</b>	<b>618,1</b>	<b>650,1</b>	<b>678,4</b>
<b>TOTAL</b>	<b>10800,8</b>	<b>10458,2</b>	<b>10937,0</b>	<b>11598,2</b>	<b>12074,6</b>

Source :INS, Rapports statistiques

L'évolution de la répartition de la population entre les milieux urbain et rural a été depuis 1966 jusqu'en 2010, en nette réduction de la population rurale au profit de la population urbaine (Figure 9). Elle traduit les mutations profondes subies par la population tunisienne après l'indépendance du pays (1956) et dénote une tendance généralisée vers l'amélioration des conditions de vie et l'accroissement de la demande en eau potable.

Les projections de la banque jusqu'à l'horizon 2050 laisse présager d'une baisse moins significative.

**Figure 9: Population urbaine et rurale**



L'accroissement du pourcentage de la population urbaine au dépend de la population rurale, se traduit, quant à son incidence sur les ressources en eau, par des besoins en eau potable de plus en plus développés. Les quantités à transférer et la qualité requise pour cette eau sont de nature à poser au-delà de 2020, certains problèmes de disponibilité. Avec les 2/3 de la population du pays cantonnée au niveau des agglomérations urbaines dont la majorité s'alignent le long du littoral et de la frange intermédiaire, il est attendu que la demande en eau potable de cette population ne soit satisfaite, en partie du moins (surtout sur le plan qualitatif), qu'à partir du transfert inter-régions et du dessalement le long de la côte.

La frange frontalière correspondant à l'arrière-pays (zones montagneuses), exige quant à elle, avec une population de près de 2 millions d'individus, la mise en place de transfert locaux et régionaux à coûts d'investissement et de maintenance élevés.

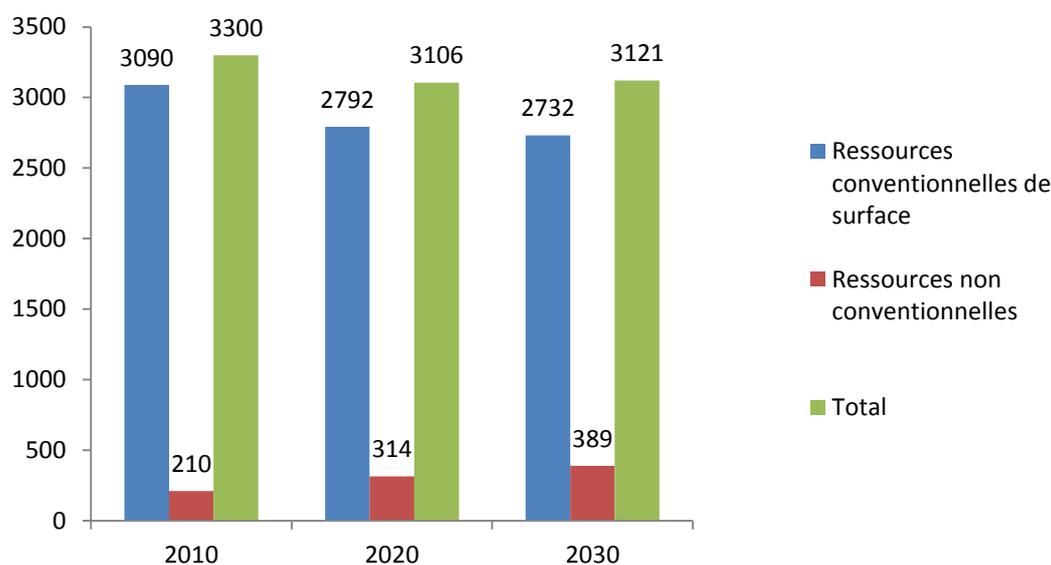
## I.1 Indicateurs hydrauliques spécifiques

### I.1.1 Ressources en eau et quota

Entre 2010 et 2030, l'évolution de la population tunisienne restera dans les limites du taux d'accroissement de 1% déjà enregistré durant la dernière décennie. Le développement du pays sera à l'image de l'évolution de Produit National Brut (PNB) qui est estimé en 2030, au double de sa valeur actuelle. Ceci se traduira dans le secteur des ressources en eau, par des demandes variées (AEP: alimentation en eau potable, agriculture et industrie) dont l'ampleur est nuancée par les marges des disponibilités et l'accessibilité à la concrétisation.

Il est déjà clair que les ressources conventionnelles totales (de surface et souterraines) du pays estimées actuellement à 4760 Mm<sup>3</sup>/an, seraient en l'an 2030, du même ordre de grandeur, avec éventuellement un pourcentage moindre en eau de bonne qualité, ce qui conditionne de près les domaines d'usage et entrainera un coût supplémentaire pour l'amélioration de la qualité<sup>11</sup>.

**Figure 10: Evolution des ressources en eau de surface potentiellement mobilisables**



Source : GEORE, 2004

### II.1.2 - Mobilisation

Il est attendu que les capacités de mobilisation permettraient de porter le volume mobilisé de 3100 Mm<sup>3</sup>/an en 2010, à près de 3800 Mm<sup>3</sup>/an en 2030 (accroissement de 22%). Les volumes

---

<sup>11</sup>Voir GEORE, 2004

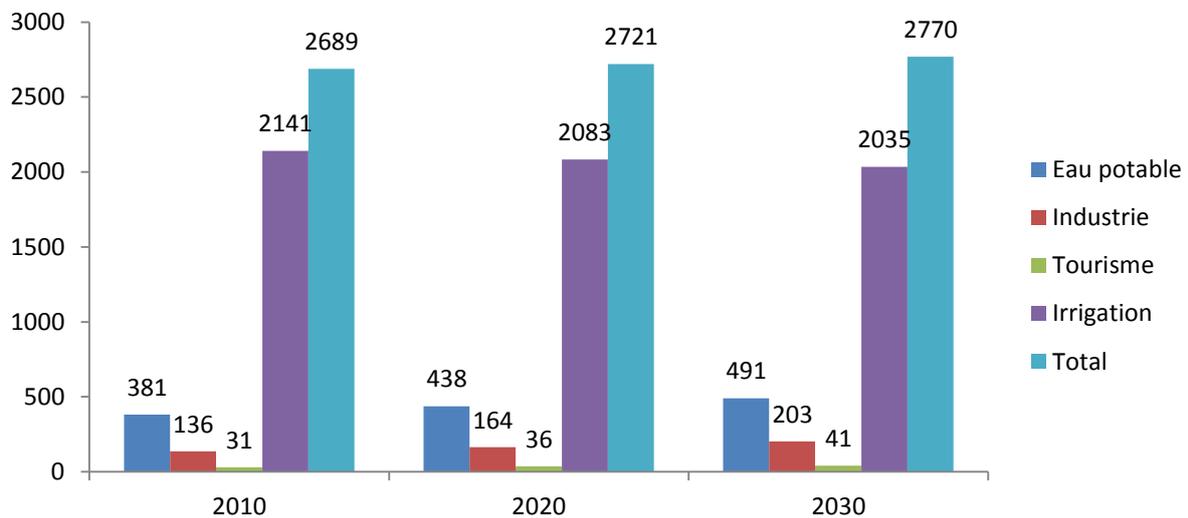
exploitables seraient de l'ordre de 2732 Mm<sup>3</sup>/an (contre 2647 Mm<sup>3</sup>/an en 2010). Cette mobilisation supplémentaire concerne particulièrement les eaux de surface dont l'infrastructure est appelée à se développer en conséquence. Celle des eaux souterraines étant déjà faite pour l'essentiel à travers l'infrastructure existante en puits et forages. L'effort sera porté dans ce secteur sur le renouvellement des ouvrages et leurs équipements.

### II.1.3 – Demande en eau

C'est particulièrement la demande prévisionnelle en eau, en 2030, qui nécessite une analyse sectorielle afin de saisir les principales orientations pour la planification de développement. Cette demande évoluera dans son ensemble, de 2689 Mm<sup>3</sup>/an en 2010, à 2760 Mm<sup>3</sup>/an en 2030 (Graphique ci-dessous).

Cette demande sera de plus en plus exigeante sur le plan qualité et nécessitera le recours à la mobilisation des réserves en eau de surface de l'Extrême-Nord du pays ainsi que celle du dessalement le long de la côte orientale du pays. C'est à ce titre que l'aménagement hydraulique portera principalement sur les grands barrages et les stations de dessalement. Des réseaux d'adduction et de transfert seront de plus en plus denses et ramifiés ainsi qu'interconnectés.

**Figure 11: Evolution de la demande en eau (Mm3)**



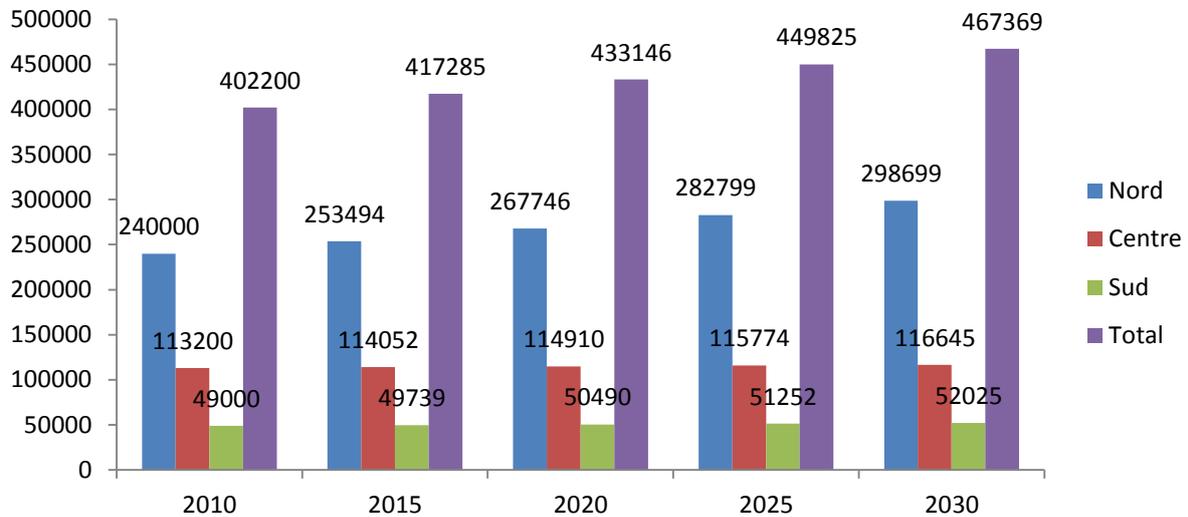
Source: GEORE, 2004

- **Demande en eau d'irrigation**

La demande en eau d'irrigation qui est quantitativement la plus importante, est supposée se stabiliser à environs 2000 Mm<sup>3</sup>/an, tout en garantissant le développement des superficies

irriguées de 402.200 ha en 2010, à 467.370 ha en 2030 et ce en accusant une nette amélioration dans l'économie d'eau et les nouvelles technologies d'irrigation.

**Figure 12: Evolution des superficies des périmètres irrigués**



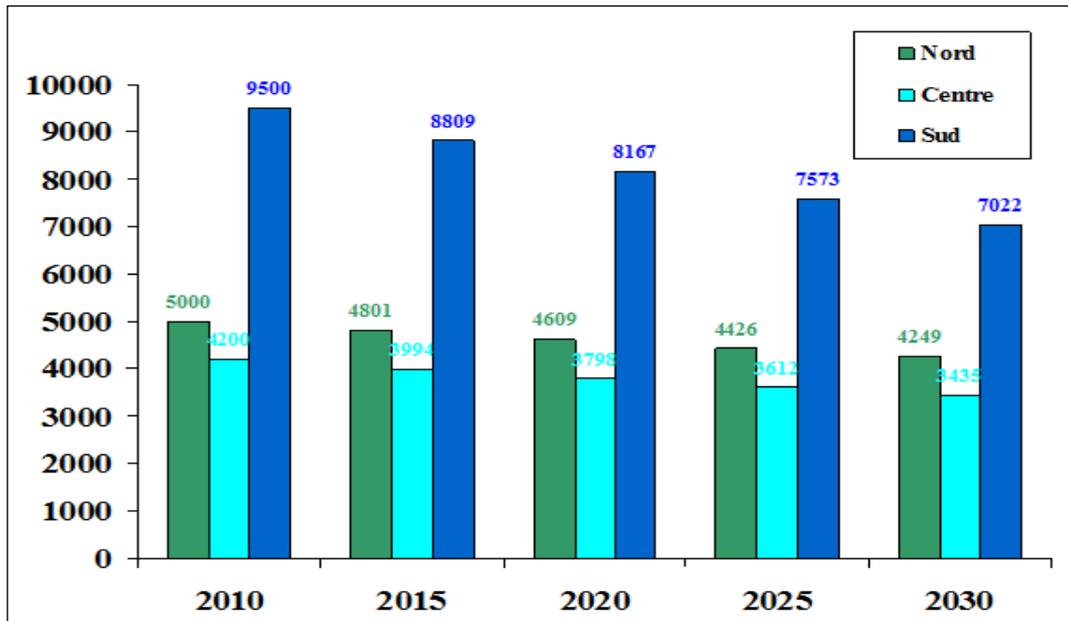
Source : GEORE, 2004

Le secteur agricole tout en concernant de nouvelles superficies, subira le plus de contraintes pour exploiter une eau à qualité chimique de plus en plus basse (salinisation des aquifères) et s'orientera vers la recharge des nappes pour combler son déficit.

Examinée à l'échelle des trois principales régions naturelles du pays, l'allocation en eau par hectare, subira une graduelle régression dans l'ensemble du pays, mais elle est la plus sensible dans le Sud tunisien. Ceci s'explique par :

- l'indisponibilité des eaux de surface dans cette région et la difficulté d'assurer un transfert répondant à cette demande,
- la forte proportion en eaux non renouvelables des régions des oasis (Gafsa, Tozeur, Kébili et Gabès),
- la faible contribution des nappes phréatiques dont la plupart sont à eau saumâtre.

**Figure 13: Evolution des allocations par hectare**



Source : GEORE, 2004

Tout en réussissant à stabiliser, en 2030, sa demande en eau agricole à travers l'amélioration de la gestion intégrée de ses ressources en eau, la Tunisie serait amenée à s'ingénier pour répondre à la demande en eau potable, du secteur industriel et du tourisme, avec des eaux à qualité adéquate. C'est dans cette perspective qu'est mieux saisi le recours graduel aux eaux non conventionnelles, suite à la mobilisation de la quasi-totalité des disponibilités en eaux conventionnelles.

- **Demande en eau potable**

La demande en eau potable est appelée à accuser une nette progression (de 381 Mm<sup>3</sup>/an en 2010, à 491 Mm<sup>3</sup>/an en 2030) et ce suite au développement socio-économique du pays et son urbanisation progressive.

#### **II.1.4 – Quotas par habitant**

A la lumière de cette prospective, le ratio (ressources conventionnelles/habitant) passerait de 467 m<sup>3</sup>/an/hab. en 2010, à 359 m<sup>3</sup>/an/hab. en 2030 (Eau 21, 1998). Cette situation qui traduit déjà un «stress hydrique» extrême, impliquera le recours graduel aux eaux non conventionnelles (dessalement, réutilisation des eaux traitées ou à qualité dégradée comme l'eau de drainage et recharge des nappes). Cette situation est d'autant plus critique que le ratio (volume effectivement mobilisé/habitant) passerait de 310 m<sup>3</sup>/an/hab. en 2010, à près de 290 m<sup>3</sup>/an/hab. en 2030 (Eau2050, 2011).

Cette évaluation prend en considération les nouveaux aménagements d'augmentation de la capacité de stockage en eau de surface.

Avec une telle pression sur les ressources en eau, la Tunisie sera de plus en plus poussée à se retourner aux eaux pluviales pour en faire un usage diversifié et intensif tant par le stockage (barrages et recharge des nappes) que l'utilisation directe en agriculture.



### MOBILISATION DES EAUX DE SURFACE ET SOUTERRAINES

---

Le développement des disponibilités en eau s'est fait en Tunisie, depuis l'indépendance du pays (1956), sur la base d'une planification qui prend en considération les besoins des différents secteurs et la complémentarité entre les différentes régions du pays. Cette orientation est censée se poursuivre, conformément à l'accroissement de la demande sectorielle, jusqu'à la mobilisation optimale des disponibilités en eaux conventionnelles, avec le recours croissant en parallèle, aux eaux non conventionnelles. Toutefois, une seule priorité d'affectation est accordée à l'alimentation en eau potable sur l'eau d'irrigation ou de l'industrie. Cette mobilisation spécifique répond à l'objectif d'assurer la durabilité de la ressource en eau ainsi qu'une certaine équité de répartition entre les différentes régions du pays.

L'exploitation des ressources en eau a toujours été axée en Tunisie sur les nappes et les barrages. Son évolution est tributaire du développement de la demande en eau et de l'aménagement de l'infrastructure hydraulique. Elle traduit depuis l'indépendance du pays (1956), un effort d'aménagement où l'état intervient pour mettre à la disposition des secteurs d'utilisation (alimentation en eau potable (AEP), irrigation, tourisme, industrie, ...), les principaux ouvrages de mobilisation ainsi que la connaissance nécessaire pour cette mobilisation et sa gestion.

La tendance générale de l'évolution de la mobilisation des eaux de surface et de l'exploitation des eaux souterraines traduit entre 1975 et 2010, une maîtrise croissante de ces ressources de manière à approcher cette mobilisation de la limite de 90% de leur valeur exploitable. Cette situation traduit déjà un certain «stress hydraulique» qui s'est manifesté sous forme de réduction de l'écoulement dans les oueds en aval des barrages, de la surexploitation de certaines nappes, particulièrement le long du littoral et d'une compétition plus poussée pour le partage de la ressource en eau entre l'AEP, l'irrigation et l'industrie. Le recours grandissant au dessalement pour corriger la qualité de l'eau potable ou industrielle constitue l'amorce de la généralisation de l'utilisation des eaux non conventionnelles qui englobent également les eaux usées traitées et les eaux de drainage agricole (pour l'irrigation).

**Figure 14: Exploitation des ressources en eau de Tunisie (1975-2010) et tendances d'évolution (2010-2030) (Mm<sup>3</sup>/an)**



La tendance de mobilisation des eaux de surface et des eaux souterraines du pays, fait apparaître que les eaux souterraines sont pratiquement mobilisées en totalité et que les eaux de surface le seraient vers 2025. A partir de 2020, il est pratiquement nécessaire de compter de plus en plus sur les ressources en eau non conventionnelles pour pouvoir répondre à la demande en eau aux quantités et qualité exigées.

L'infrastructure hydraulique existante de la Tunisie, a pu jusqu'à maintenant assurer l'approvisionnement en eau des différents secteurs, dans le cadre d'une gestion de la demande sans pénurie ni déficit structurel. Les perspectives de l'évolution démographique et des besoins du développement économique et social du pays préparent le secteur hydraulique à affronter une nouvelle étape de densification et de développement de cette infrastructure afin d'assurer une réponse adéquate à la demande variée (en quantités et qualité) et d'éviter toute perte en mer ou dans les sebkhas. Cette évolution de la structure hydraulique sera associée à la maîtrise de la gestion des ouvrages fonctionnels des eaux de surface en vue de limiter leur ensablement et de prolonger leur durée de vie. L'adoption de nouvelles technologies de mobilisation et de gestion adaptées à l'état de la ressource en eau, permettent de consolider cette infrastructure et de la renforcer par de nouveaux ouvrages, en vue de satisfaire les besoins.

## **I EAUX DE SURFACE :**

L'approche tunisienne dans la gestion des aménagements de stockage d'eau de surface est basée sur les principaux barrages du pays. Ces ouvrages sont entretenus dans des conditions acceptables afin de prolonger leur durée de vie de fonctionnement. Des travaux de

réaménagement (surélévation) et de maintenance (dévasement) sont entrepris sur certains ouvrages afin de retarder leur remplacement.

Les prochaines décennies seront caractérisées par la mise en place de la deuxième génération de barrages visant à mobiliser le maximum des disponibilités en eau de crues, de réduire l'apport en vase aux barrages situés en aval et de renforcer la capacité de stockage des eaux des grandes crues. Ces ouvrages sont prospectés de manière régulière pour identifier les interventions nécessaires.

Les principaux bassins versants ont été étudiés en vue d'établir un inventaire des meilleurs sites de barrages. Cet inventaire est appelé à être actualisé en vue de tenir compte des nouvelles performances techniques dans le domaine de la réalisation des barrages.

La durée de vie d'un barrage dépend de plusieurs paramètres, à savoir l'envasement, la fonctionnalité du matériel hydromécanique, la dégradation du béton, le colmatage des filtres et des drains, le système de décompression des fondations, l'évolution de la pression interstitielle et de la structure de la digue, etc.

Des valeurs limites concernant l'envasement des retenues permettent d'approximer les échéances de la durée de vie de chaque ouvrage en tenant compte seulement de ce phénomène.

Les barrages réalisés jusqu'à ce jour en Tunisie, ont été implantés sur des sites présentant le maximum d'avantages techniques et économiques. Ces conditions seraient de plus en plus difficiles à assurer à ceux qui vont les remplacer. C'est dans ce sens que le coût de mobilisation est appelé à devenir plus élevé.

## **I.1 Infrastructure de mobilisation**

L'infrastructure hydraulique actuelle permettant la mobilisation des eaux de surface du pays est constituée par: **33**grands barrages, **225** barrages collinaires et **800**lacs collinaires (Eau 2050, 2011). Elle permet la mobilisation des ressources suivantes:

**Tableau 8: Apports annuels des barrages par région (Millions de m<sup>3</sup>)**

<b>Sous-région</b>	<b>Apport moyen</b> (M m <sup>3</sup> /an)	<b>Apport minimum (M</b> m <sup>3</sup> /an)	<b>Apport maximum</b> (Mm <sup>3</sup> /an)
Extrême nord et l'Ichkeul	547	11	4357
Haute vallée de la Mejerda	601	28	9263
Basse vallée de la Mejerda et Cap Bon	107	0,16	1111
Tunisie centrale	390	0,06	5046
<b>Total</b>	<b>1645</b>	<b>39.22</b>	<b>19777</b>

Source : (Eau 2050, 2011)

L'écart énorme entre l'apport maximum en eau du réseau hydrographique tunisien maîtrisé judicieusement et économiquement par les grands barrages et son apport minimal soulignent la grande part aléatoire dans cet apport qui doit être maîtrisée par ces ouvrages. De même que l'écart de l'apport maximum par rapport à l'apport moyen (12 fois plus) exige un effort spécifiquement important pour la mise en place d'une infrastructure hydraulique permettant la régulation de la partie de ces apports qui échappe au stockage annuel ordinaire. Toutefois, la comparaison des apports moyens en eau actuellement mobilisés par les barrages du pays (1645 Mm<sup>3</sup>/an) avec la moyenne des volumes potentiellement mobilisables par la capacité nominale des barrages existants (2100 Mm<sup>3</sup>/an) indique un taux appréciable de maîtrise des écoulements de surface (78%). Néanmoins, un volume de 600 millions de m<sup>3</sup> demeure potentiellement mobilisable, grâce au progrès technique (traitement des fondations, béton compacté au rouleau, etc.).

De son côté, l'infrastructure hydraulique en barrages collinaires contribue à mobiliser une part non négligeable des apports en eau de surface à travers le réseau hydrographique du pays. Elle est souvent renforcée par des lacs collinaires et des ouvrages de rétention des eaux et des sols (CES) qui limitent l'érosion et l'envasement ainsi qu'ils protègent les zones agricoles situées en aval et intensifient la recharge naturelle des nappes souterraines.

**Tableau 9: Apports annuels aux sites des barrages collinaires par unité hydraulique (Mm3)**

Sous-région	Apports moyens (Mm <sup>3</sup> /an)	Capacité totale (Mm <sup>3</sup> /an)
Extrême Nord et Ichkeul	16	15
Haute vallée de la Mejerda	82	87
Basse vallée de la Mejerda et Cap Bon	54	78
Tunisie Centrale	59	77
Total	211	257

*Source : (Eau2050, 2011)*

Cette infrastructure de mobilisation des eaux de surface est appelée à être renforcée durant les prochaines décennies pour répondre à deux principaux objectifs :

- préserver la capacité de mobilisation des ouvrages existants afin de répondre à la demande et ce par leur entretien et la création de nouveaux ouvrages de remplacement,
- renforcer la mobilisation et le stockage en vue de maîtriser le maximum d'apport en eaux de crues tout en faisant évoluer le potentiel de rétention de **1,9 à 2,1 Milliards de m<sup>3</sup>/an.**

Les ouvrages de stockage existants ou planifiés à court terme (avant l'an 2020) sont présentés au tableau qui suit (Tableau 10).

La nouvelle vision de mobilisation évitant les pertes en mer, exige la maîtrise du régime d'écoulement des principaux oueds du pays par un réseau d'ouvrages de rétention bien répartis et interconnectés, ainsi que le traitement des bassins versants par d'autres ouvrages de CES (conservation des eaux et du sol) et de barrages collinaires.

Les barrages réalisés pendant la période coloniale et ceux des premières années de l'indépendance devront être réaménagés pour leur sécurité et le maintien d'une partie de leurs fonctionnalités (Mellègue/Nebeur, Beni Métir, el Aroussa, el Kébir-Méliane).

La construction de nouvelles infrastructures de barrages ou la surélévation des barrages existants permet d'augmenter la capacité des ouvrages existant suite à leur envasement

progressif d'une part et la mise à disposition d'un surplus de stockage utile pendant les années humides.

En années moyennes les apports en eau parvenant aux sites des nouveaux ouvrages sont déjà comptabilisés dans les apports aux droits des anciens ouvrages, situés en général en aval, alors que pendant les années humides (une année sur cinq), les apports provenant aux sites de ces ouvrages constituent une ressource additionnelle.

Les apports aux sites des barrages construits jusqu'à 2011 sont évalués à 2600 millions de m<sup>3</sup>/an, le volume régularisé par ces ouvrages est évalué à 2863 millions de m<sup>3</sup>/an.

**Tableau 10: Barrages existants et planifiés avant l'horizon 2020**

Unités hydrauliques	Nom barrage	Apport Annuel moyen Mm3	Volume à RN Mm3
Extrême Nord	Zerga_2005	22	24
	Kebir_2013	39	64,4
	Moula_2013	21	26,3
	Sidi Barrak_1999	168	255,34
	Ziatine_2010	24	33
	Gangoum_2013	9	18,3
	Harka_2013	25	30,3
	Sejnane	94	137,58
	Melah_2013	26	41
	Ghezala	9	10,73
	Joumine_83	117	123,85
	Tine_2013	18	34
	Melah amont_EE	65	40
	Douimis_EC	9	54,6
Haute Vallée de Mejerda	Mellila_P	47	25
	Zouitina_99	74	59,18
	Eddir_EE	8	13
	ben Metir_54	41	57,63
	Bouheurtma_76	118	109,8
	Kasseb_68	46	69,62
	Beja_EE	18	29
	Sidi Salem_81	666	674,5
	Khalled_EE	16	37,2
	Mellegue amont_EE	170	195
	Mellegue_54	179	44,4
	Tessa_EE	37	46
	Siliana_87	49	53
	Rmil_2002	58	4
	Sarrat_2013	26	21
	Lakhmess_66	11	7,22
	Bir Mcherga_71	33	45,8
Chafrou_EE	7	7	
Basse vallée de Mejerda et Cap Bon	Elhma_2002	5,357	12
	Masri_68	2,333	5,78
	Rmel_99	18,2	22
	douimis_EC	3,84	5,9
	Chiba_63	5,11	6,3
	Elabid_2002	4,48	10
	Lebna_86	21	22
	Hajar_99	4	5,36
Tunisie Centrale	Sidi Saad_81	128,4	115,5
	Elhouareb_89	29,67	37
	Nebhana_65	23	62,7
	Breck_2002	4,3	16
	Sficifa_2005	3,53	7,12
	Khanguet Zazia_EE	40	32
	Sidi Yaich_97	22,7	88
	Kebir-Gafsa_EC	34	24
	<b>TOTAL</b>	<b>2599,92</b>	<b>2863,41</b>

(Nom\_année)

EE: En cours d'étude

EC: En cours de construction

P: Planifié

Source : (Eau 2050, 2011)

D'autres ouvrages plus récents devront être réaménagés à cause de leur obsolescence et pour mieux être intégrés dans le système hydraulique (de 2020 à 2030). On améliore ainsi leur sécurité et performance. Par ailleurs, il sera proposé la surélévation de la côte de déversement de certains barrages afin d'améliorer leur capacité.

L'identification de ces ouvrages s'effectuera pour l'horizon 2030, au niveau de chaque unité hydraulique afin de tenir compte de la demande spécifique et des conditions particulières. Le tableau ci-après récapitule les principaux ouvrages à réaliser ou à réaménager d'ici 2030.

**Tableau 11: Barrages à surélever ou à réaliser vers l'horizon 2030**

	Bassin versant	Capacité lors de la mise en eau	Capacité utile en Mm3		
			2010	2020	2030
Mejerda Haute Vallée	Mellegue amont	195	195		
	Khol	30	30		
	Rmal	25	25		
	Zergal	35	35		
	Raghai	40	40		
	Mliz	13	13		
	Hjar	10	10		
	Hammam	8	8		
	Soufi	6	6		
	Surelevation de Bouheurtma	23	23		
	Magroun	15	15		
	Ghezala	15	15		
	Siliana1	69	69		
	Siliana 3	20	20		
	Ouzafa	45	45		
	Surelevation Ghezala		2,5		
	Ichkeul et Extrême Nord	Joumine amont	110	110	
Bellief aval		45	45		
Maaden1		112	112		
Bouzenna amont		33	33		
Kebir amont		50	50		
Zerga amont		33	33		
Mellila 2		20	20		
Ouediane		13	13		
Abida		10	10		
Surélévation					
Centre	Rmel	22	22		
	Surelevation				
	Sidi Saad	85	85		
<b>Total</b>			<b>242,5</b>	<b>842</b>	

Source : Eau 2000, 1993

Cette action permet de renforcer la mobilisation de surface en palliant aux phénomènes d'envasement des barrages. La mobilisation de récupération de capacité et d'augmentation de stockage serait de 242 millions de m<sup>3</sup> en 2020 et de 842 en 2030.

## **II EAUX SOUTERRAINES :**

### **II.1 Caractéristiques des aquifères de Tunisie**

Les nappes aquifères de Tunisie reflètent la structure et la géométrie des couches géologiques du pays largement dominées par les formations sédimentaires et la tectonique atlasique. Ceci a favorisé la formation de systèmes aquifères sédimentaires dont l'importance et les réserves permettent de les classer en «aquifères phréatiques» et « aquifères profonds » et dont l'état d'exploitation permet de distinguer ceux qui sont au stade de surexploitation avancée de ceux dont l'exploitation est encore à développer.

**Dans le Nord du pays** où les couches géologiques sont fortement plissées, on trouve de nombreuses nappes aquifères de faible envergure qui se développent dans les plaines alluviales notamment celles de Ghardimaou, Mornag, Grombalia. Les aquifères profonds (Kef, Siliana, Bizerte, Zaghouan et Jendouba) à plus fortes potentialités, constituent des réserves de sécurisation de l'exploitation en années sèches.

**La Tunisie centrale** quant à elle, est caractérisée par un important développement de bassins sédimentaires qui englobent des systèmes aquifères à plusieurs niveaux dont les réserves en eau sont beaucoup plus importantes et contribuent largement à répondre à la demande de ces régions ainsi qu'à celle de la zone littorale (Kairouan vers Sousse et Hajeb-Jelma-Sbeitla vers Sfax). Le Sahel de Sousse et de Sfax est moins doté en eaux souterraines et se trouve tributaire pour ses besoins des zones intérieures du pays.

**Le Sud de la Tunisie** largement dominé par le bassin saharien et l'Atlas saharien, est le domaine des grands aquifères débordant les limites des gouvernorats et les frontières du pays. La majorité des réserves en eau de ces aquifères est non renouvelable et son exploitation est minière, avec des perspectives de disparition prochaine de l'artésianisme et de l'altération graduelle de la qualité chimique de l'eau. L'exploitation de ces aquifères transfrontaliers se fait dans le cadre de coordination avec les deux pays voisins dans la perspective de leur durabilité.

### **II.2 Mobilisation et exploitation**

Les potentialités en eau des nappes aquifères du pays ont connu, à travers les différentes régions naturelles, particulièrement depuis les années 1970 (mise en place des trois plans

directeurs du Nord, Centre et Sud), une nette tendance vers l'intensification des prélèvements, de manière que la plupart des nappes phréatiques (exploitées par puits de surface) sont actuellement surexploitées et plusieurs des nappes profondes (exploitées par sondages) sont fortement sollicitées.

La mobilisation des eaux souterraines logées dans les nappes aquifères, est déjà largement entamée. Elle exigera durant les prochaines décennies, dans la perspective de la durabilité du fonctionnement de ces entités naturelles, la préservation de ces nappes contre la surexploitation excessive, à travers une plus grande maîtrise de leur régime hydrogéologique. Une réévaluation plus fine de leurs disponibilités en eau permettra de tenir compte de la dynamique de la salinisation graduelle de leurs eaux et la maîtrise des impacts négatifs liés à l'intensification de leur exploitation et ce à l'aide des données collectées sur le réseau de suivi dont les points de contrôle sont bien répartis et leurs mesures assez continues<sup>12</sup>.

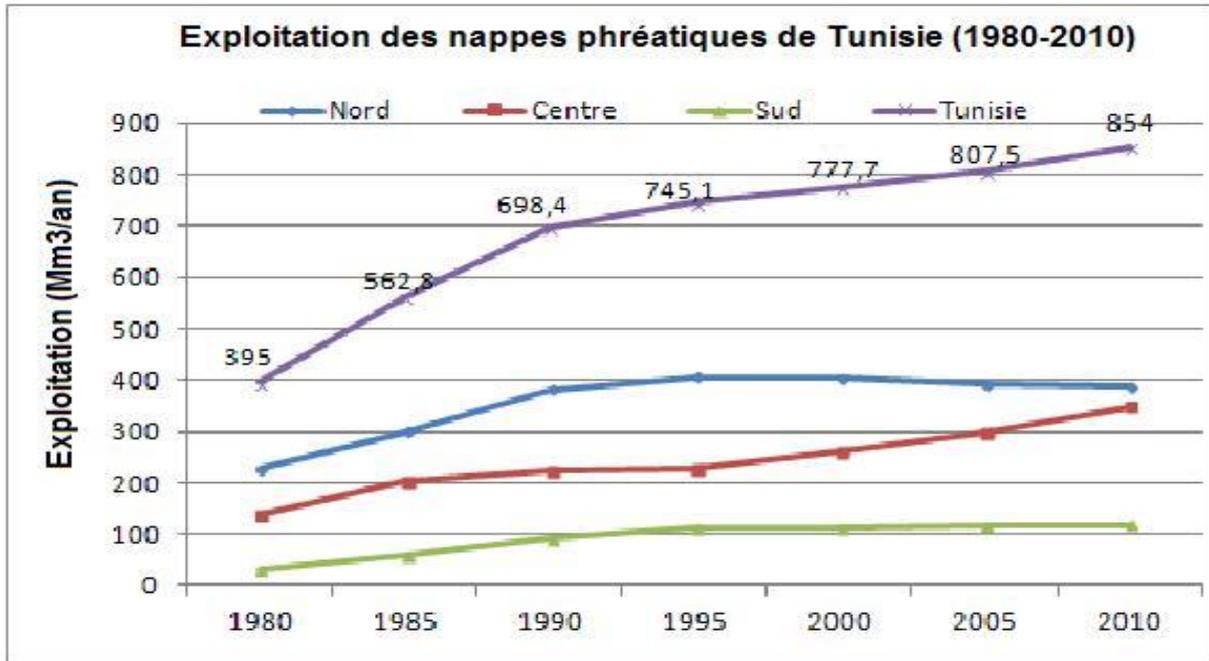
Ainsi, cette exploitation est passée de **710 Mm<sup>3</sup>/an** en 1970, à **2133 Mm<sup>3</sup>/an** en 2010 (DGRE-Annuaire d'exploitation des nappes, 2010). Elle a concerné autant les nappes phréatiques que profondes et elle s'est traduite par la création de **130 000 puits** de surface (dont 106 000 puits équipés) et **7180 forages** d'eau.

L'exploitation des nappes phréatiques qui a pratiquement doublé entre 1980 et 2010 s'est traduite par la surexploitation quasi-généralisée des aquifères côtiers et la réalisation de plus de 100 000 puits de surface (Source :DGRE, de 1980 à 2010).

---

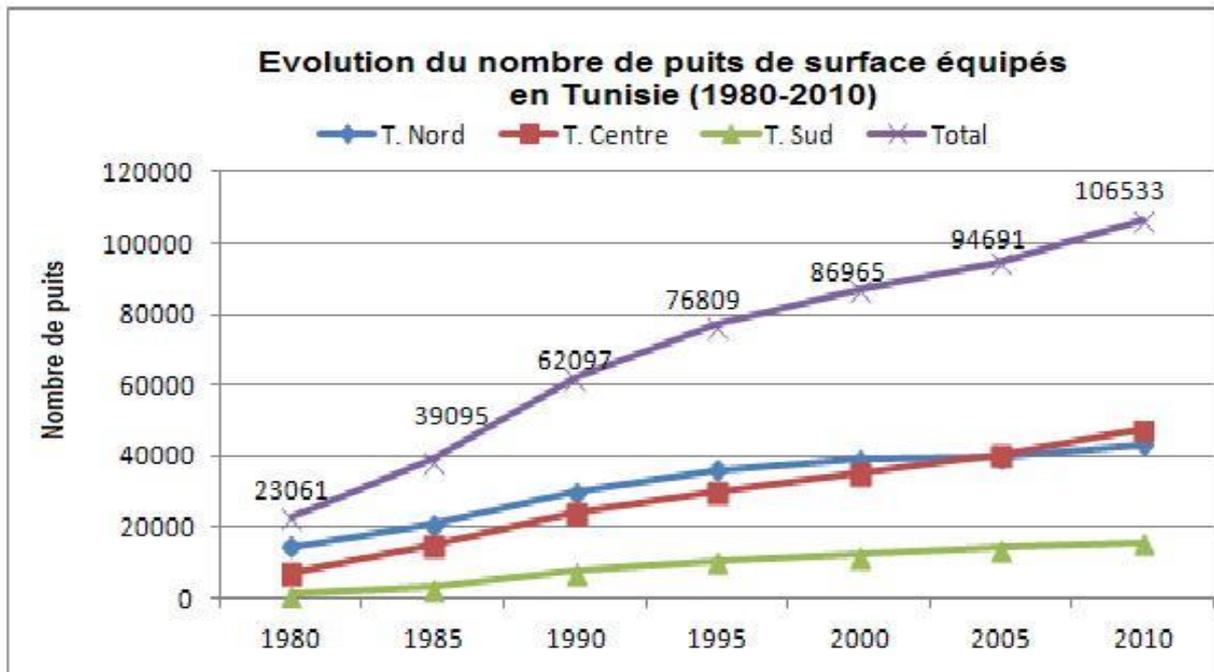
<sup>12</sup>Réseaux de la DGRE avec les annuaires publiés régulièrement..

**Figure 15: Exploitation des nappes phréatiques de Tunisie (1980-2010)**



Source : DGRE, de 1980 à 2010

**Figure 16 : Evolution de l'effectif des puits de surface équipés et exploitant les nappes phréatiques de Tunisie (1980-2010)**

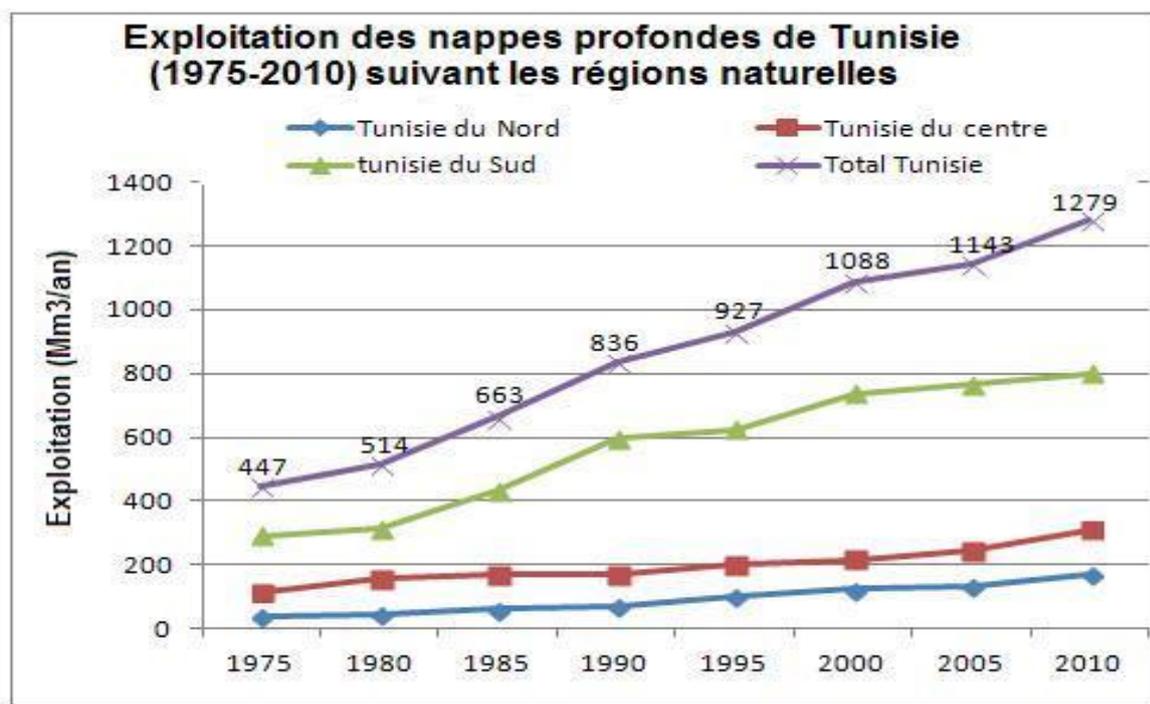


Source : DGRE, de 1980 à 2010

Cette infrastructure hydraulique a été particulièrement bénéfique pour le développement de l'irrigation et l'alimentation en eau potable (urbaine et rurale) à travers les différentes régions du pays. La tendance observée depuis les trois dernières décennies, tant pour la création des puits et forages que pour l'accroissement des volumes en eau souterraine exploitée, ne laisse aucun doute sur la pression grandissante subie par les nappes du pays pour faire face à la demande croissante des principaux secteurs économiques (irrigation, eau potable, tourisme et industrie). Cette situation reflète déjà une nette surexploitation de plusieurs nappes phréatiques et de plusieurs nappes profondes. Elle aboutira au cours des prochaines décennies, à la mise en état de stress hydraulique de la plupart des aquifères du pays.

L'exploitation des nappes profondes<sup>13</sup> du pays a également connu une intensification similaire (Figure 17 : Exploitation des nappes profondes de Tunisie (1975-2010) suivant les régions naturelles) qui a largement développé l'infrastructure en forages et les périmètres irrigués.

**Figure 17 : Exploitation des nappes profondes de Tunisie (1975-2010) suivant les régions naturelles**



Déjà mobilisées à un taux dépassant les 90% de leurs ressources en eau, les nappes aquifères souterraines de la Tunisie connaissent une forte pression qui se traduit par des baisses piézométriques de plus en plus fortes et une dégradation croissante de la qualité de leurs eaux. Ceci se traduira par un coût d'exploitation de plus en plus coûteux (en énergie) et des usages sélectifs par rapport à la qualité des eaux. On a tendance à réserver les eaux de bonne qualité

<sup>13</sup>DGRE : annuaires d'exploitation des nappes profondes de Tunisie (1973-2010).

en priorité pour l'alimentation en eau potable. Les eaux de moindre qualité sont utilisées pour l'irrigation et dans le dessalement.

**Les nappes surexploitées** (exploitation dépassant les 10% des ressources exploitables) : Dans le cas des 261 nappes phréatiques du pays, 56 nappes sont surexploitées et accusent des prélèvements de **193 Mm<sup>3</sup>/an** (26% des ressources exploitables à partir des nappes phréatiques). Ces nappes se localisent essentiellement dans le Nord (45%) et le centre du pays (45%) avec peu dans le Sud (10%).

L'exploitation des nappes profondes du pays est actuellement proche de 90% (1279 Mm<sup>3</sup>/an) de leurs ressources exploitables (1422 Mm<sup>3</sup>/an). Certaines de ces nappes (le Kef, Siliana, Zaghouan, Sfax, Cap Bon, Sbeïtla, Jilma, Gafsa, ...) sont à un stade d'exploitation proche de l'optimisation (100 % des ressources exploitées), mais comme elles présentent un régime pluri annuel de renouvellement de leurs ressources, leur surexploitation conjoncturelle (en années de sécheresse successives) est admissible et permet d'assurer une meilleure gestion de leurs ressources en eau.

La croissance des besoins, la disponibilité des moyens techniques plus performants, l'accès individuel aisé et libre à l'exploitation des nappes souterraines afin de disposer d'une eau de bonne qualité à des coûts faibles, ont tous, amené à la surexploitation de plusieurs nappes dans différentes régions du pays (Kebili, Besissi, Cap Bon, Sisseb, Sidi Mahmoud, Sidi Bouzid, Rgueb ).

Cette situation de surexploitation est appelée à se généraliser durant les prochaines décennies à la majorité des nappes phréatiques et profondes du pays et se traduira par des changements profonds dans les conditions de leur exploitation. Certains paramètres influenceront cette exploitation de manière significative. C'est particulièrement le cas du coût d'énergie (pour le pompage), de la dégradation de la qualité de l'eau (secteur d'usage) et du coût de l'eau dans la productivité économique du secteur d'usage (élasticité du coût de l'eau).

L'exploitation des eaux des grands systèmes aquifères du Sud tunisien qui sont pratiquement non renouvelables exigent une vision stratégique quant à leur exploitation future et à la préservation de leur qualité chimique. Ceci est déjà entrepris avec les deux partenaires voisins avec lesquels on se partage cette ressource, pour imposer une meilleure planification des prélèvements en harmonie avec les autres parties du bassin saharien.

Tout en admettant la surexploitation conjoncturelle saisonnière des nappes comme une option pour l'optimisation de la gestion des eaux souterraines (surexploitation en saisons et années déficitaires et recharge en périodes à pluviométrie excédentaire), le suivi de l'ensemble des

nappes du pays est un aspect fondamental dans leur gestion. Toutefois la gestion des nappes surexploitées nécessite le recours graduel à la gestion intégrée des ressources en eau au sein de laquelle les eaux non conventionnelles sont de plus en plus sollicitées. Ainsi, une planification contrôlée de la demande en eau s'impose et doit passer par des réformes institutionnelles profondes associant les exploitants et permettant de tirer profit de l'excédent pluviométrique des années humides de certaines régions du pays.

Le recours progressif à la recharge artificielle des nappes aquifères par la maîtrise de l'excédent en eau de surface et au dessalement des eaux marines afin de limiter la surexploitation de ces nappes et d'assurer une qualité chimique de l'eau répondant aux différentes demandes des secteurs économiques particulièrement l'alimentation en eau potable, constituent les principales orientations pour la gestion efficace des eaux souterraines en complémentarité avec les autres disponibilités en eau. Cette recharge est conçue pour deux options : la préservation de la ressource (contre la salinisation) et le stockage souterrain de l'excédent en eau de surface.

D'autre part, ces aquifères répondent à des fonctionnalités sociales et économiques à travers les systèmes d'exploitation individuels (puits privés : 130 000 puits exploités répartis à travers le pays) ou collectifs (forages et réseaux de distribution : 7180 forages groupés en associations ou privés). Il est impensable que l'économie du pays puisse s'en passer. C'est pour cette raison que la durabilité de ce système d'exploitation est une des options fondamentales à assurer. La recharge artificielle des aquifères surexploités est ainsi la seule option opérationnelle qui permet aux puits et forages de continuer à assurer leur rôle de mobilisation des ressources en eau souterraine.

### MOBILISATION DES EAUX NON CONVENTIONNELLES

---

L'exploration de l'évolution de la demande en eau en Tunisie d'ici 2030, met en évidence l'insuffisance des ressources conventionnelles pour répondre de manière satisfaisante à cette demande tant sur le plan quantitatif que celui de la qualité requise. En tenant compte de la spécificité de cette demande sectorielle à l'échelle des principales régions naturelles du pays, le recours aux eaux non conventionnelles s'impose à côté de tous les efforts à mobiliser pour le transfert inter-régions et l'amélioration de la gestion par l'économie dans les usages et l'intégration des disponibilités en eau.

Les eaux non conventionnelles de la Tunisie proviennent de trois sources: le dessalement (eaux saumâtres et eau de mer), les eaux usées traitées (et les eaux du drainage agricole) et la recharge des nappes aquifères.

#### I. DESSALEMENT

Le dessalement consiste en la séparation d'un débit d'eau brute chargé en sels en eau dessalée (faiblement chargé en sels) et en saumure (eau très chargée en sels). Les eaux traitées par dessalement, proviennent des eaux saumâtres ou des eaux de mer.

Les eaux saumâtres ( $RS > 5$  g/l) proviennent de l'écoulement de certains oueds (El Hatob, Ouadrane, Fessi, Melah ...) ainsi que des réserves de certaines nappes aquifères (particulièrement les nappes phréatiques du Sahel et du Sud du pays; ainsi que les nappes profondes dont la surexploitation a entraîné la salinisation de leurs eaux. On estime les eaux saumâtres souterraines à près de 614 Millions de  $m^3$ /an dont 340 M  $m^3$ /an à *partir* des nappes phréatiques et 274 M  $m^3$ /an à partir des nappes profondes (DGRE, 2006)<sup>14</sup>). Cette estimation du potentiel en eaux saumâtres est dynamique avec l'accroissement de l'exploitation des nappes et nécessite d'être périodiquement actualisée.

---

<sup>14</sup>DGRE (2006) Annuaire d'exploitation des nappes profondes de Tunisie.

Les eaux saumâtres deviennent, grâce au coût concurrentiel du dessalement par osmose inverse, un potentiel précieux et économiquement exploitable pour l'alimentation en eau et l'industrie, avant d'avoir recours à l'eau de mer dont la salinité au niveau du littoral tunisien est de l'ordre de 40 g/l.

Cette exploitation est spécifiquement envisagée dans les zones où les ressources en eau sont limitées (zones sahariennes et certaines îles : Jerba, Kerkennah et Jalta). Les eaux saumâtres des principaux aquifères côtiers du pays, acquièrent une certaine importance quand elles sont quantitativement appréciables et faciles à mobiliser (nappes de Sfax, Régueb, Souassi et du Trias de Médenine et Tataouine). Le potentiel en eau dessalée à partir des eaux saumâtres des aquifères est déjà appréciable dans le bilan global en eau du pays et il ne doit pas être recompté comme nouvelle ressource.

Quant à l'eau de mer, la Tunisie a l'avantage de disposer d'un littoral assez étendu (près de 1300 Km) qui lui procure un accès facile à cette ressource. Ceci est d'autant intéressant que les plus grandes concentrations des agglomérations et des activités économiques s'étendent le long du littoral.

Les progrès technologiques ont permis de rendre le coût du dessalement compétitif pour l'alimentation en eau potable des zones urbaines touristiques et industrielles.

Des unités de dessalement sont essentiellement proposées lorsque pour une unité hydraulique, le bilan en eau (disponibilités/demande) devient négatif en considérant la quantité ou la qualité. Ainsi, le dessalement constitue une alternative de plus en plus sollicitée pour la desserte en eau potable des zones à faibles potentialités en eau ou à ressources en eau ne répondant pas qualitativement à la demande. C'est le cas notamment dans le centre et le sud du pays. C'est particulièrement le cas quand le déficit en eau ne peut pas être comblé par des transferts compétitifs ou par le développement de nouvelles ressources (recharge des nappes).

Le dessalement est actuellement pratiqué en Tunisie pour l'alimentation en eau potable (SONEDE) et l'industrie (Groupe Chimique de Tunisie) avec des capacités appréciables, et à moindre importance dans certaines autres zones touristiques et industrielles. Ainsi, la capacité de dessalement installée est actuellement estimée à environ 138 000 m<sup>3</sup>/j. Elle se fait principalement, à partir du dessalement des eaux saumâtres comme précisé ci-dessous (Tableau n°12).

**Tableau 12: Capacités des stations de dessalement et salinités des eaux des stations de dessalement en Tunisie**

Station	Maitre d'ouvrage	Capacité (m3/j)	Salinité de l'eau (g/l)
Kerkenah	SONEDE	3 300	3.6
Gabès	SONEDE	34 000	3.2
Zarzis	SONEDE	15 000	6.0
Jerba	SONEDE	20 000	6.0
Skhira	GCT	10 000	9.0
Skhira	TIFERT	12 000	40.0 (eau de mer)
Autres	Secteurs touristique et industriel	43 500	Eaux saumâtres/eau de mer
<b>Total</b>		<b>137 800</b>	

### I.1 Technologies de dessalement

Les technologies de dessalement les plus couramment utilisées dans le monde, sont au nombre de cinq et peuvent être divisées en deux catégories :

- **les techniques membranaires** : la séparation entre les sels dissous et l'eau se fait à l'aide de membranes appropriées. On y distingue principalement : **l'Osmose Inverse** (RO : Reverse Osmosis) et **l'Electrodialyse Réversible** (EDR : Electro Dialysis Reversible).

**L'osmose inverse** trouve largement son application dans le domaine du dessalement des eaux saumâtres et de mer. Quant à **l'électrodialyse**, elle peut être compétitive pour le dessalement des eaux saumâtres peu chargées ( $\leq 3.0$  g/l) et pour des petites et moyennes capacités ( $\leq 5000$  m3/j). Toutefois, cette technique n'a pas connu un grand développement vu sa faible demande et le nombre limité des fabricants sur le marché international.

**Les techniques thermiques** basées sur une séparation entre les sels dissous et l'eau par changement de l'état de l'eau (évaporation puis condensation), se résument principalement au **multiflash** (MSF : Multi Stage Flashing), au **multiple effet** (MED : Multiple Effect Desalination) et la **compression de vapeur** (VC : Vapour Compression) qui peut être mécanique ou thermique. Ces techniques sont généralement utilisées pour le dessalement de l'eau de mer et occasionnellement, pour les eaux saumâtres dans le cadre d'applications solaires.

La consommation en énergie requise pour le dessalement et le contexte énergétique d'un pays demeurent les principaux facteurs conditionnant le choix de la source d'énergie (conventionnelle, solaire, éolienne, nucléaire, sources fatales, etc.) et par conséquent, la technique de dessalement appropriée. A titre d'exemple, l'utilisation de l'énergie thermique disponible au niveau d'une centrale électrique (dessalement par voie de cogénération), requiert généralement l'utilisation du dessalement thermique, ce qui est le cas de la majeure partie des unités de dessalement installées dans la région du Golfe Arabique. Cependant, le recours à l'énergie électrique (photovoltaïque ou éolienne) requiert généralement l'utilisation d'une technique de dessalement membranaire tel que l'osmose inverse et/ou l'électrodialyse réversible.

Pour les grands projets de dessalement d'eau de mer, la tendance actuelle est vers l'utilisation de l'Osmose Inverse (en Afrique, Europe, USA et Australie) ou les projets de cogénération faisant intervenir la production d'énergie électrique et le dessalement thermique (MSF ou MED) ainsi que le dessalement membranaire par Osmose Inverse (cas de la région du Golfe).

Mis à part la consommation en énergie, le process des techniques de dessalement requiert trois phases de traitement à savoir :

- **la phase de Prétraitement** qui consiste à préparer l'eau brute à dessaler à son passage à travers le système de dessalement proprement dit sans porter préjudice à ce dernier (colmatage ou détérioration des membranes pour les techniques membranaires et entartrage et corrosion pour les techniques thermiques). Cette phase est plus ou moins complexe pour certains systèmes tel que l'osmose inverse qui requiert un traitement amont assez poussé consistant à éliminer le maximum de matières en suspension et colloïdales de l'eau brute. Pour le dessalement d'eau de mer, l'indice de colmatage à l'entrée de la phase de dessalement doit être inférieur à 3. L'indice de colmatage appelé SDI (Silt Density Index) est le paramètre le plus utilisé pour juger de la quantité de matières en suspension se trouvant dans l'eau et par conséquent, les performances de la phase de traitement. L'Electrodialyse Réversible tolère mieux la matière en suspension se trouvant dans l'eau et il est par conséquent moins exigeant en prétraitement grâce à des membranes plus robustes. La réversibilité du système limite ainsi le colmatage des membranes, même avec un SDI relativement élevé. Quant aux systèmes thermiques, ils sont moins sensibles au colmatage par les matières en suspension et ils sont plus affectés par l'entartrage des enceintes d'évaporation et des systèmes d'échange de chaleur.

- **la phase de Dessalement** proprement dite qui consiste en la conversion d'une partie de l'eau brute en eau dessalée. Le taux de conversion est défini comme étant le rapport entre le débit d'eau dessalée et le débit d'eau brute entrant dans la phase de dessalement. Pour l'osmose inverse, cette conversion est assurée par le passage de l'eau à travers les membranes sous l'effet de la pression avec le rejet de la majeure partie des sels dissous. Pour l'Electrodialyse Réversible, la conversion est atteinte à travers la migration des sels dissous à travers les membranes cationiques et anioniques sous l'effet d'un champ électrique en courant continu. Quant aux techniques thermiques, la conversion est assurée à travers la production de vapeur d'eau à partir de la saumure grâce à une énergie thermique et sa condensation grâce à une source froide véhiculée à travers un système d'échange de chaleur. Les techniques thermiques requièrent aussi bien de l'énergie thermique que de l'énergie électrique.
- **la Phase de Post-traitement** permet de préparer l'eau dessalée à l'usage auquel elle est destinée. L'eau dessalée étant fortement déséquilibrée avec un Indice de Saturation de Langélier négatif, nécessite une ré-minéralisation partielle à travers l'ajout de calcium pouvant provenir de la chaux ou du calcaire en grains. Cette opération est toujours accompagnée par l'injection au préalable, de gaz carbonique pour la dissolution de la chaux ou le calcaire en grain. Lorsque l'eau dessalée est destinée à la boisson, elle subit un traitement de désinfection.

## **I.2 Dessalement par osmose inverse**

### **I.2.1 Aspects techniques majeurs**

La phase de **prétraitement** est une opération assez délicate qui bien réussie, rend l'exploitation de la station de dessalement moins compliquée et sa disponibilité plus grande. Cette phase peut être plus compliquée pour l'eau saumâtre, surtout lorsque celle-ci contient des composants solubles oxydables tels que le fer et les sulfures.

Lorsque la prise d'eau de mer est bien choisie, implantée dans le large à une profondeur à partir de 10 m et épargnée des éventuelles embouchures d'oueds, elle présente moins de matières en suspension ( $< 5 \text{ mg/l}$ ), ce qui simplifie largement la phase de prétraitement qui pourrait être basée sur une double filtration à travers des filtres à sable et une microfiltration de sécurité à travers de cartouches filtrantes. Quant aux réactifs chimiques, ils peuvent être limités à la simple utilisation d'un antitartre (séquestrant) dosé dans l'eau brute à 3 ppm environ.

Le phénomène de « biofouling » (colmatage par les bactéries) des membranes a été parfaitement résolu par l'élimination de la chloration continue des eaux brutes (saumâtre ou eau de mer). Celle-ci est opérée soit de manière discontinue ou occasionnellement à titre préventif.

Le dessalement par osmose inverse est assuré grâce au pompage de l'eau prétraitée à travers un système de membranes qui sont généralement enroulées en spirale à l'intérieur de coquilles en fibre de verre dite « module ». Les modules d'osmose inverse les plus utilisées dans des installations de capacité à partir de quelques centaines de  $m^3/j$ , sont d'une longueur de 40 pouces et d'un diamètre de 8 pouces. Ils peuvent contenir chacun, une quarantaine de  $m^2$  de surface membranaire. Pour les petites installations de quelques dizaines de  $m^3/j$  et moins, il est généralement fait appel à des modules de 40 pouces de longueur et de 4 pouces de diamètre. Ces membranes sont principalement à base de polyamide composite présentant les meilleures performances en termes de rejection en sel et de production. Les modules d'osmose inverse sont arrangés à l'intérieur de tube de pression, à raison généralement, de 6 ou 7 modules par tube de pression et ce en fonction du taux de conversion à atteindre. Ces tubes de pression peuvent être organisés :

- **en deux étages** de manière à ce que le rejet du premier étage sert d'alimentation pour le deuxième étage. Généralement, le nombre de tubes de pression au 1<sup>er</sup> étage est le double de celui du 2<sup>ème</sup> étage. Ce mode est utilisé pour le dessalement des eaux saumâtres où le taux de conversion peut atteindre 75 % et plus. C'est le cas des stations de dessalement de Kerkennah, Jerba et Zarzis (eaux saumâtres) ainsi que celle de Gabes.
- **en un seul étage**, il s'agit du cas du dessalement d'eau de mer avec un taux de conversion généralement de 45%

La pression requise pour le dessalement par osmose inverse, dépend des principaux facteurs suivants :

- **la salinité de l'eau à dessaler** : Plus la salinité est élevée, plus la pression osmotique de l'eau est importante et plus la pression requise est élevée. Cette pression osmotique est d'environ 2.1 bars pour une eau saumâtre de 3 g/l et de 28 bars pour une eau de mer à 40 g/l. Ainsi, la pression d'attaque des membranes pour une production membranaire optimale, est d'environ 12 bars pour l'eau saumâtre à 3 g/l et 65 bars pour l'eau de mer.

- **la surface membranaire disponible** pour une capacité donnée. Ainsi, le flux transmembranaire est défini comme étant le volume d'eau produit par  $m^2$  de surface membranaire et par heure. Il s'agit d'un paramètre de dimensionnement assez important en ce sens qu'une fois fixé et la capacité journalière à produire est arrêtée, la quantité de membranes est fixée en conséquence.
- **la température de l'eau**, plus elle est élevée, plus la pression requise pour produire la même quantité d'eau est moins importante.

Figure 18: Système de dessalement des eaux saumâtres à deux étages

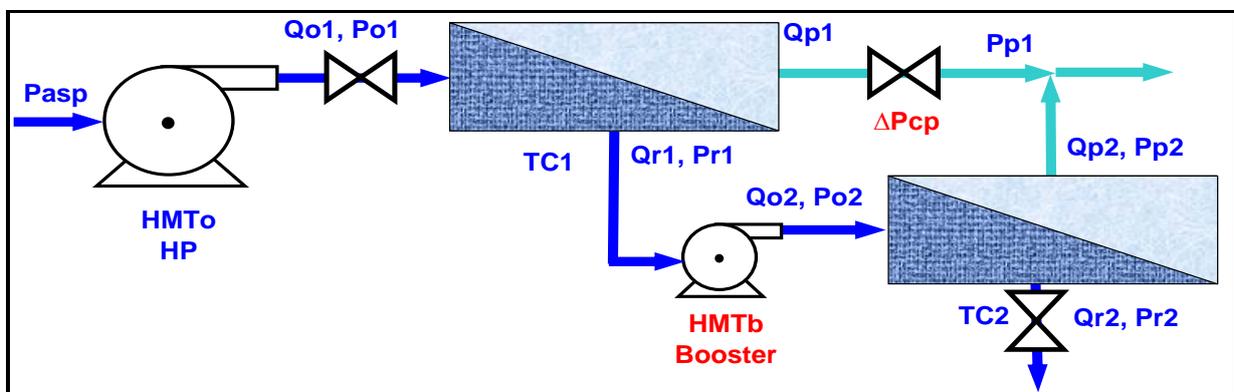
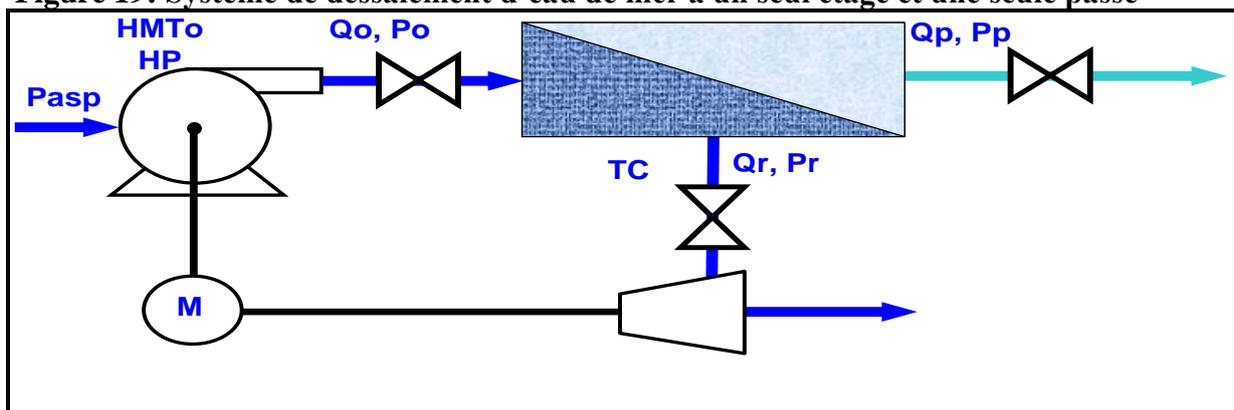


Figure 19: Système de dessalement d'eau de mer à un seul étage et une seule passe



## **I.2.2 - Consommation en énergie**

La production d'eau dessalée à travers une membrane d'osmose inverse est proportionnelle à la pression nette qui lui est appliquée. Cette pression nette est une résultante de deux effets antagonistes : la pression générée par la pompe refoulant l'eau brute à travers la membrane et la pression osmotique générée par les sels dissous et qui s'oppose au passage de l'eau à travers la membrane.

### **Cas des eaux saumâtres**

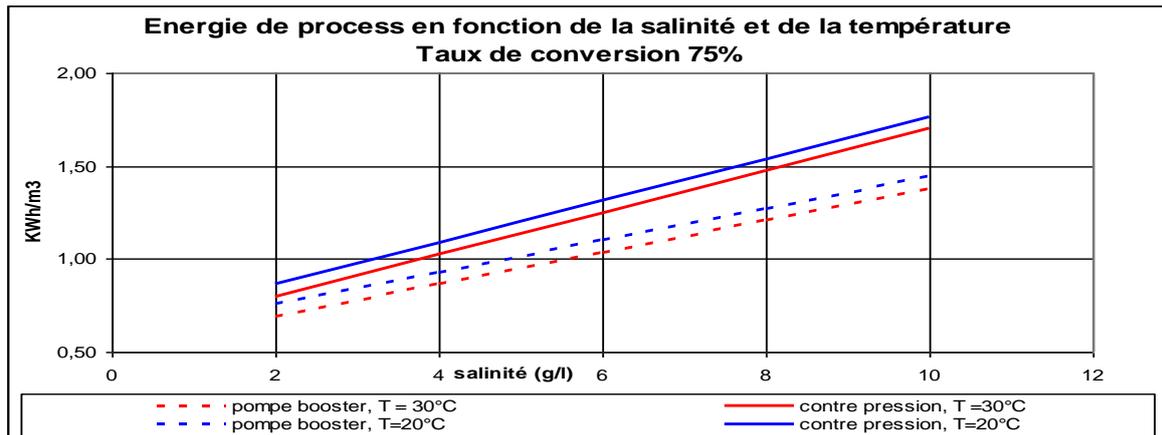
Comme indiqué dans la figure 18, l'eau saumâtre est généralement dessalée à travers deux étages assurant généralement un taux de conversion de 75%, ce qui dépend principalement, de la qualité de l'eau à dessaler. Le système de pompage assurant la pression nette requise sur les membranes se présente comme suit :

- **une mise en pression** ou **pompage de gavage** permettant d'assurer une pression résiduelle au niveau de l'aspiration des pompes HP d'au moins un bar et ce en fonction du NPSH de celle-ci.
- **le pompage à haute pression,**
- **l'équilibre de la production des étages** grâce à une pompe booster inter-étage ou une contre pression au niveau de la production d'eau du premier étage.

La Courbe de la consommation en énergie pour l'eau saumâtre en fonction de la salinité et de la température pour deux cas de figure (Figure n°20) montre :

- un équilibre d'étages avec pompe booster,
- un équilibre d'étage avec vanne de contre pression sur le perméat du 1er étage.

**Figure 20: Energie du procédé en fonction de la salinité et de la température**

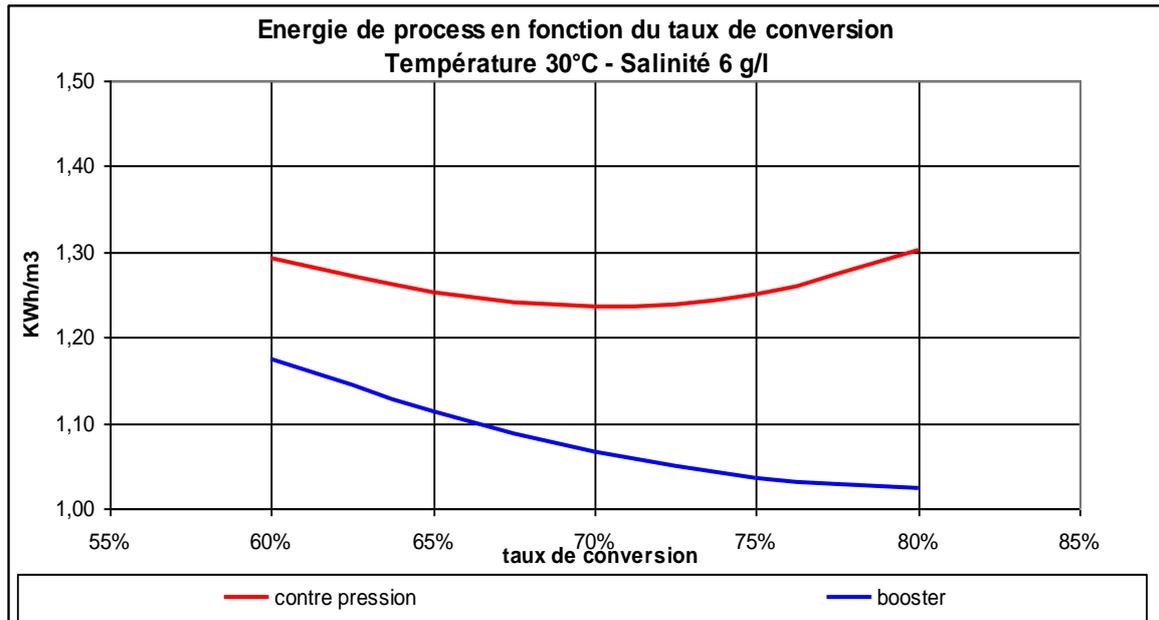


Il y a lieu de préciser que la consommation en énergie spécifique (KWh/m<sup>3</sup>) augmente avec la salinité de l'eau brute et diminue avec la température. Aussi, le recours à une pompe booster pour équilibrer les deux étages d'osmose inverse, procure une économie d'énergie d'environ 15 %.

Le taux de conversion représente un facteur clé dans le process. Plus celui est élevé, plus le débit d'eau brute requis pour une capacité de dessalement donnée, est moins important. Aussi, ce paramètre affecte sensiblement la consommation en énergie spécifique comme le montrent les courbes ci-dessous :

- dans le cas d'un équilibre d'étages avec une pompe booster, la consommation d'énergie baisse lorsque le taux de conversion augmente. Pour une eau brute à 6 g/l, le passage du taux de conversion de 70 à 75 %, procure une économie d'énergie d'environ 4 %
- dans le cas d'un équilibre d'étages avec une vanne de contre pression, il est constaté un taux de conversion optimal pour lequel la consommation d'énergie est minimale. Pour une eau brute à 6 g/l, le taux de conversion optimal est de 70 %.

**Figure 21: Energie de Procédé en fonction du taux de conversion**



Les courbes ci-dessus illustrent la consommation en énergie de pompage pour le process en cas du dessalement des eaux saumâtres et ce, en fonction de la salinité de l'eau et de sa température ainsi que du taux de conversion. Pour avoir la consommation globale par m<sup>3</sup> d'eau dessalé, il y a lieu d'ajouter 0.15 à 0.2 KWh/m<sup>3</sup> pour les services et équipements auxiliaires.

### Cas de l'eau de mer

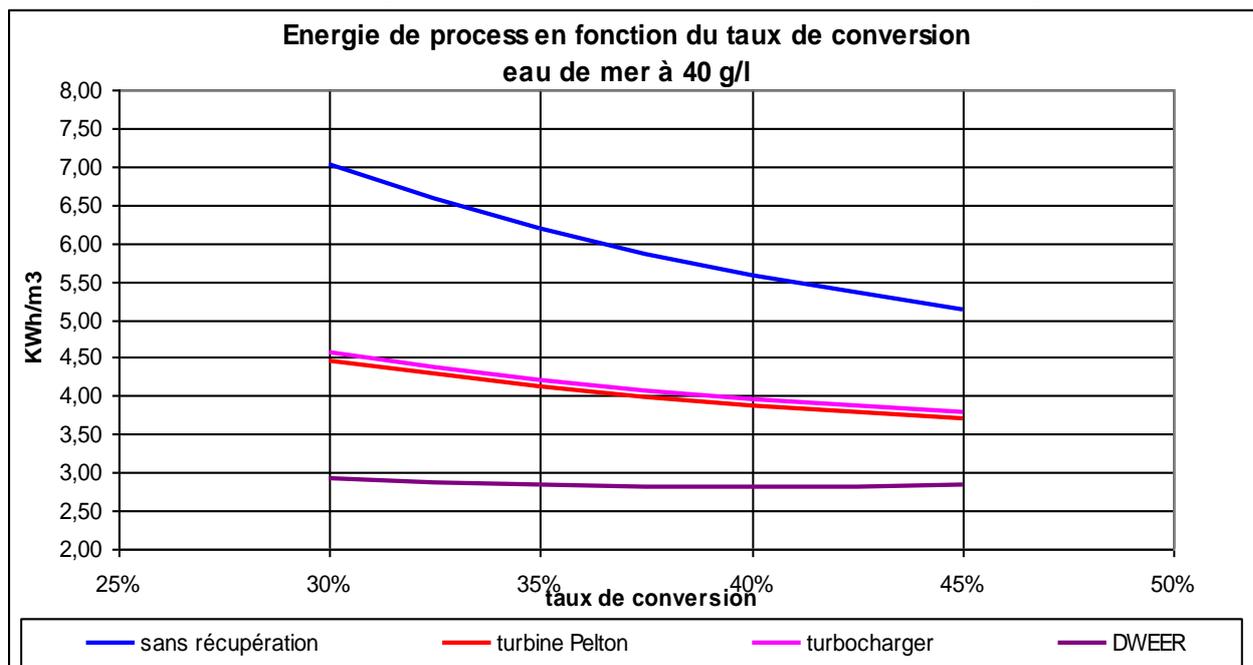
L'eau de mer est dessalée à travers un seul étage assurant généralement un taux de conversion de 45%. Le système de pompage assurant la pression nette requise sur les membranes, se présente comme suit :

- une mise en pression ou pompage de gavage similaire au cas des eaux saumâtres. Il s'agit d'un pompage à vitesse variable à une HMT maximale de l'ordre de 6 bars
- le pompage à haute pression (HP) : Il s'agit de pompe généralement à vitesse fixe permettant d'assurer une pression d'attaque des membranes de l'ordre de 65 bars.
- la récupération de l'énergie potentielle disponible au niveau de la saumure (eau de rejet). Cette récupération est opportune à double titre. Tout d'abord, l'énergie potentielle de pression est disponible au niveau de 65 % de l'eau initialement sur-pressée (100 % du taux de conversion) contrairement au cas de l'eau saumâtre où cette proportion est seulement de 25 %. En plus, la pression qui règne au niveau de l'eau de rejet est généralement supérieure à 60 bars, alors qu'elle est inférieure à 20 bars dans

le cas de l'eau saumâtre. Les systèmes de récupération d'énergie en dessalement d'eau de mer par osmose inverse peuvent être classés en deux types :

- les systèmes centrifuges, notamment le Turbocharger (pompe et turbine coaxiaux) et les turbines Pelton. Ce système de récupération peut atteindre un rendement de 80 % pour les grandes capacités (unités de dessalement à partir de 15 000 m<sup>3</sup>/j). Pour les petites capacités, le rendement se trouve altéré et peut descendre au-dessous de 60 %. L'installation d'un tel système de récupération d'énergie permet de réduire la HMT de la pompe HP, pratiquement de moitié, tout en gardant le même débit d'eau brute.
- les échangeurs de pression caractérisés par des rendements de récupération plus importants ayant permis de réduire la consommation d'énergie spécifique à environ 3 KWh/m<sup>3</sup> d'eau dessalée. Quoiqu'il y ait pas mal de systèmes ont été développés, deux ont pu être répandus à l'échelle industrielle : le **DWEER** (Dual Work Energy Exchange Recovery) adapté pour les grandes capacités de dessalement et l'**ERI** (Energy Recovery Incorporation) adapté aussi bien pour les petites que les grandes capacités tout en conservant le même rendement élevé de récupération de l'ordre de 95 %. L'installation d'un tel système permet de diviser pratiquement de moitié le débit de la pompe HP (45 % du débit d'eau brute) tout en gardant la même HMT. L'autre moitié de débit d'eau brute passe à travers le système de récupération d'énergie et une pompe booster permet de récupérer les pertes de rendement de ce système ainsi que les pertes de charge le long des tubes de pression. Il s'agit de pompe à vitesse variable avec une HMT maximale de l'ordre de 5 bars.

**Figure 22: Courbes de la consommation en énergie pour l'eau de mer en fonction du taux de conversion pour différent systèmes de récupération d'énergie**



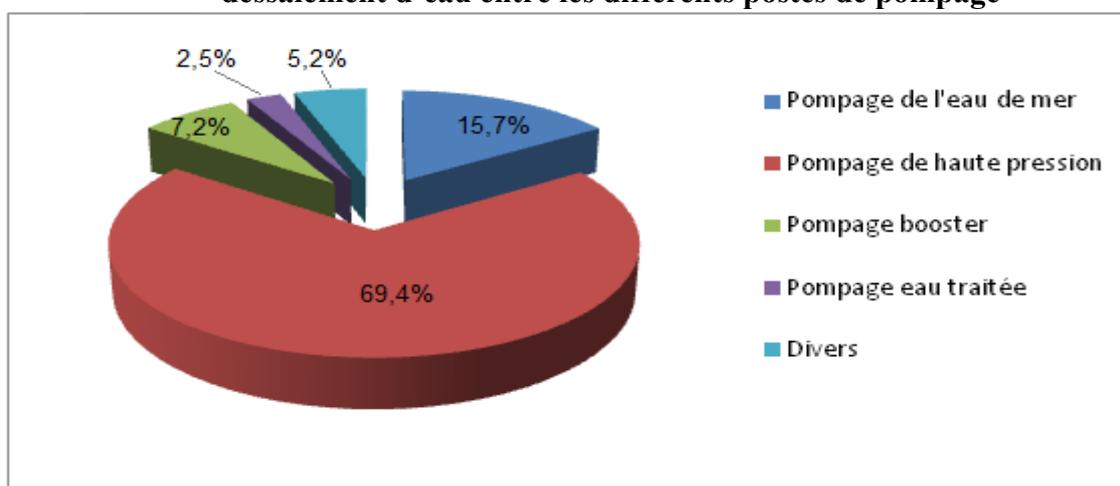
Sans l'installation d'aucun système de récupération, la consommation en énergie du process aurait été d'environ 5.5 KWh/m<sup>3</sup>. Avec le système de récupération à base de turbomachine (turbine Pelton ou turbocharger), cette consommation spécifique est réduite à environ 4 KWh/m<sup>3</sup>. Le développement des systèmes d'échange de pression (DWEER et ERI) a permis de limiter la consommation spécifique à un peu moins que 3 KWh/m<sup>3</sup>. En considérant un pompage de l'eau traitée produite à 5 bars, cette consommation spécifique est de l'ordre de 3.1 KWh/m<sup>3</sup> pour une eau de mer à 40 g/l et ce comme le montre le tableau et graphique suivant.

**Tableau 13: Ventilation de la consommation d'énergie pour une station de dessalement d'eau de mer de 50000 m3/j composé de deux unités de capacité unitaire 25000 m3/j**

Capacité (m3/j):	50000	Taux de conversion	45%		Taux de charge		90%		
Cos Fi	0.9	Nombre d'unités	2.0		Volume d'eau de mer prélevé		111111 m3/j		
Puissance totale installée	7046	Capacité/unité	25000.0	m3/j	Volume de rejet		61111 m3/j		
Transfo (MVA): réserve de 15 %	9.0	Consommation spécifique Tot	3.089	KWH/m3	salinité de rejet		73 g/l		
Poste de consommation	Item	Puissance installée KW	Q (m3/h)	HMT (bars)	Q hyd.	Q élect.	Q VF	Puissance consommée KW	Cons. Spécifique KWH/m3
<b>Pompage de l'eau de mer</b>		<b>1112</b>	<b>16%</b>						<b>0.485</b>
690 V	PEM 01/2	556	2315	6.0	83.0%	95.0%	95.0%	505	0.243
	PEM 02/2	556	2315	6.0	83.0%	95.0%	95.0%	505	0.243
<b>Pompage de haute pression</b>		<b>4910</b>	<b>70%</b>						<b>2.143</b>
11 KV	PHP 01/2	2455	1042	62.0	83.0%	95.0%	-	2232	1.071
	PHP 02/2	2455	1042	62.0	83.0%	95.0%	-	2232	1.071
<b>Pompage booster</b>		<b>509</b>	<b>7%</b>						<b>0.222</b>
400 V	PB 01/2	255	1273	5.0	83.0%	95.0%	95.0%	232	0.111
	PB 02/2	255	1273	5.0	83.0%	95.0%	95.0%	232	0.111
<b>Pompage eau traitée</b>		<b>179</b>	<b>3%</b>						<b>0.078</b>
690 V	PET 01/2	97	469	5.0	80.0%	95.0%	95.0%	89	0.042
	PET 02/2	82	469	5.0	95.0%	95.0%	95.0%	75	0.036
<b>Divers</b>		<b>336</b>	<b>5%</b>					<b>336</b>	<b>0.161</b>
<b>Production annuelle en eau dessalée sur la base d'un taux de charge de 90 % (millions de m3)</b>									<b>16.4</b>
<b>Consommation annuelle moyenne en énergie électrique (GWh)</b>									<b>50.7</b>

Sur la base d'un taux de charge de la station de dessalement de 90 %, la consommation en énergie annuelle est évaluée à environ 50 GWh pour une production de 16.4 millions de m<sup>3</sup> d'eau douce à une salinité inférieure à 500 mg/l.

**Figure 23: Ventilation de la consommation d'énergie pour une station de dessalement d'eau entre les différents postes de pompage**



### I.2.3 Aspects économiques

Le coût d'investissement requis pour les stations de dessalement par osmose inverse dépend de la capacité et de la qualité des eaux à dessaler. En effet l'osmose inverse peut être utilisée pour tout type de capacité allant de quelques  $m^3/j$  jusqu'à quelques centaines de milliers de  $m^3/j$  et également utilisé aussi bien pour le dessalement des eaux saumâtres que pour l'eau de mer.

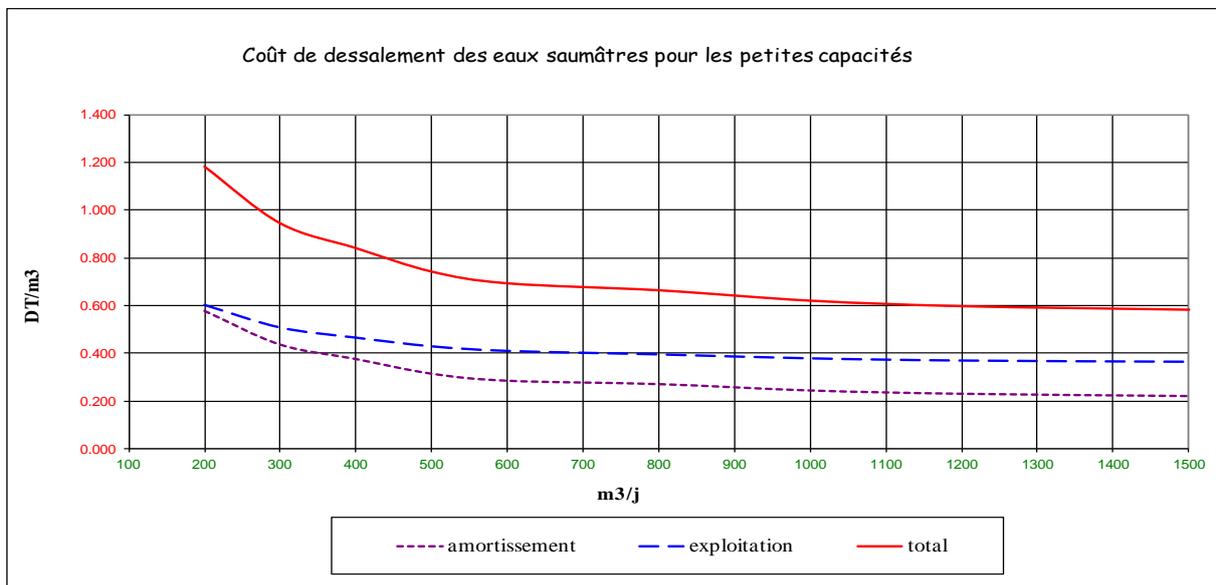
#### -Coût de dessalement des eaux saumâtres

- **Pour les stations de dessalement de faible capacité** allant jusqu'à  $1500 m^3/j$  :
  - les équipements sont généralement montés en usine sur des châssis métalliques ou à l'intérieur de conteneurs appropriés et par conséquent le temps d'installation sur site est largement réduit.
  - étant donné la capacité de la station de dessalement et par conséquent celle des pompes, les rendements des groupes électropompes se trouvent relativement limités de l'ordre de 65 % ce qui induit une consommation en énergie spécifique un peu plus élevée que les stations de dessalement de plus grande capacité.
  - pour une eau dessalée à une salinité inférieure à 500 mg/l et pour un taux d'actualisation de 10 % des différentes charges de production, le CMLT (Coût Marginal de Long Terme) se présente, pour des eaux saumâtres à 6 g/l, en fonction de la capacité, comme l'indique le tableau ci-dessous :
  - pour une capacité de  $500 m^3/j$  correspondant aux besoins d'une unité hôtelière de 1000 lits environ et qui requiert un investissement d'environ 400 000DT, le CMLT est de l'ordre de  $0,750 DT/m^3$  d'eau dessalée. Ce coût peut être réduit à  $0,620 DT/m^3$  pour une capacité de  $1000 m^3/j$ .

**Tableau 14: Ventilation du CMLT (Coût Marginal de Long terme) pour eau saumâtre à 6 g/l en fonction de la capacité**

Capacité	investissement	investiss spécifique	Amortissement	renouv . membranes	renouv. Autres	Entretien	Energie	Pr. Chimiques	Frais de fonctionnement	Frais d'exploitation	CMLT
m <sup>3</sup> /j	milliers de DT	DT/m <sup>3</sup> /j	DT/m <sup>3</sup>	DT/m <sup>3</sup>	DT/m <sup>3</sup>	DT/m <sup>3</sup>	DT/m <sup>3</sup>	DT/m <sup>3</sup>	DT/m <sup>3</sup>	DT/m <sup>3</sup>	DT/m <sup>3</sup>
200	287	1435	0.577	0.060	0.151	0.066	0.159	0.039	0.128	0.603	1.180
300	325	1083	0.436	0.060	0.114	0.051	0.159	0.039	0.086	0.508	0.943
400	373	933	0.375	0.060	0.098	0.044	0.159	0.039	0.064	0.464	0.839
500	390	780	0.314	0.060	0.081	0.037	0.159	0.039	0.051	0.428	0.741
600	424	707	0.284	0.060	0.074	0.034	0.159	0.039	0.043	0.408	0.692
800	537	671	0.270	0.060	0.071	0.033	0.159	0.039	0.032	0.393	0.663
1000	605	605	0.243	0.060	0.063	0.030	0.159	0.039	0.026	0.376	0.620
1200	685	571	0.230	0.060	0.060	0.029	0.159	0.039	0.021	0.367	0.597
1500	825	550	0.220	0.060	0.058	0.028	0.159	0.039	0.018	0.362	0.582

**Figure 24: Cout de dessalement des eaux saumâtres pour les petites capacités**



- Pour des stations de dessalement des eaux saumâtres de moyennes et grandes capacités :

- le coût d'inversement rapporté au m<sup>3</sup>/j installé est de l'ordre de 800 DT. Pour ce type de stations qui nécessitent plus de génie civil, le montage est plutôt fait sur site contrairement aux stations montées sur des châssis métalliques ou conteneurisées.
- lorsque la mobilisation des ressources en eaux saumâtres pour la station requiert plusieurs forages, le réseau de collecte de ces eaux y compris leur pompage jusqu'au site de la station de dessalement, devient une composante non négligeable avec un coût conséquent. A titre d'exemple, le réseau de collecte des stations de dessalement des eaux saumâtres de Jerba et Zarzis mises en service en l'an 2000, a coûté autant que les stations elles-mêmes. Le

CMLT (hors réseau de collecte) fut évalué à environ 0.6 DT/m<sup>3</sup> et à 0.8 DT/m<sup>3</sup> en tenant compte du réseau de collecte.

- la prise en charge du rejet de la station de dessalement peut induire un coût non négligeable lorsque cette station se trouve éloignée de la mer. En effet dans ce cas, la saumure est envoyée vers un étang d'évaporation qui peut être soit naturel tel qu'une sebkha (dans quel cas il faut considérer le coût du transport) ou artificiel aménagé avec des digues en terre et étanchéisé avec un film en polyéthylène d'une épaisseur de 2 mm environ. A titre d'exemple, la station de dessalement pour eau saumâtre de Matmata de capacité 4000 m<sup>3</sup>/j (en cours de construction) a nécessité un étang d'évaporation de surface 12 hectares avec un coût de 1.5 millions de DT sur un coût total du projet de 5.0 millions de DT.

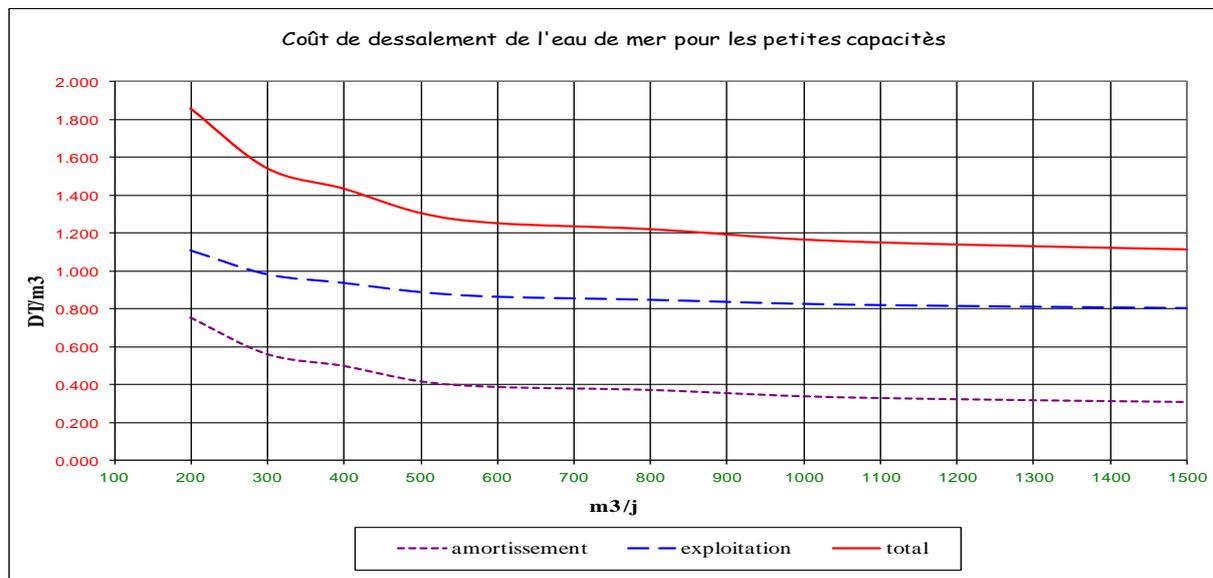
### **Coût de dessalement de l'eau de mer**

- Pour les stations de dessalement de faible capacité allant jusqu'à 1500 m<sup>3</sup>/j :
  - comme dans le cas des eaux saumâtres, les équipements sont généralement montés en usine sur des châssis métallique ou à l'intérieur de conteneurs appropriés ce qui permet de réduire le temps de montage sur site.
  - la consommation spécifique en énergie est relativement plus élevée que les stations de plus grande capacité et ce, à cause de la taille des pompes avec des rendements de l'ordre de 65 % et également du système de récupération d'énergie à base de turbine, caractérisé par un rendement relativement faible de l'ordre de 50 % à cause de la taille de turbine. Lorsque l'installation d'un échangeur de pression est possible (contrainte de capacité), la consommation spécifique est moins impactée. D'une manière générale, si la consommation spécifique en énergie pour le dessalement de l'eau de mer est de l'ordre de 3 KWh pour les grandes installations, celle-ci est de 4 KWh au minimum pour les petites installations conteneurisés ou installés sur des châssis métalliques.
  - Pour une eau de mer à une salinité de 40 g/l et pour un taux d'actualisation de 10 % des différentes charges de production, le CMLT (Coût Marginal de Long Terme) se présente comme suit en fonction de la capacité : pour une capacité de 500 m<sup>3</sup>/j correspondant aux besoins d'une unité hôtelière de 1000 lits environ et qui requiert un investissement d'environ 520 milles DT, le CMLT est de l'ordre de 1.300 DT/m<sup>3</sup> d'eau dessalée. Ce coût peut descendre à 1.160 DT/m<sup>3</sup> pour une capacité de 1000 m<sup>3</sup>/j.

**Tableau 15: Ventilation du CMLT (Coût Marginal de Long terme) pour eau de mer en fonction de la capacité**

Capacité	investissement	investiss spécifique	Amortissement	renouv. membranes	renouv. Autres	Entretien	Energie	Pr. Chimiques	Frais de fonctionnement	Frais d'exploitation	CMLT
m3/j	milliers de DT	DT/m3/J	DT/m3	DT/m3	DT/m3	DT/m3	DT/m3	DT/m3	DT/m3	DT/m3	DT/m3
200	374	1870	0.752	0.102	0.214	0.095	0.520	0.049	0.128	1.108	1.861
300	419	1395	0.561	0.100	0.157	0.071	0.520	0.049	0.086	0.983	1.544
400	496	1240	0.499	0.102	0.138	0.064	0.520	0.049	0.064	0.937	1.436
500	520	1040	0.418	0.101	0.114	0.054	0.520	0.049	0.051	0.889	1.308
600	580	967	0.389	0.100	0.103	0.049	0.520	0.049	0.043	0.865	1.254
800	742	928	0.373	0.101	0.099	0.047	0.520	0.049	0.032	0.849	1.222
1000	845	845	0.340	0.101	0.088	0.043	0.520	0.049	0.026	0.827	1.167
1200	968	807	0.324	0.100	0.084	0.041	0.520	0.049	0.021	0.816	1.141
1500	1170	780	0.310	0.100	0.080	0.038	0.520	0.049	0.018	0.805	1.115

**Figure 25: Cout de dessalement de l'eau de mer pour les petites capacités**



- Pour des stations de dessalement d'eau de mer de moyennes et grandes capacités :
  - o une station de dessalement d'eau de mer d'une certaine capacité est composée d'un certain nombre d'unités de conception et de capacité identiques. Généralement la phase de prise d'eau de mer et de prétraitement ainsi que celles de post-traitement et de pompage d'eau traitée, sont communes à toute la station de dessalement. Quant à la phase d'osmose inverse elle est divisée en plusieurs unités.
  - o La taille maximale d'une unité de dessalement par osmose inverse dépend de la taille de la pompe HP. La taille maximale réalisée à ce jour s'élève à 25000 m³/j en eau osmosée équipée avec une pompe HP entraînée par un moteur de puissance 2.4 MW.
  - o Le nombre d'unités dépend aussi de la capacité de la station. Il est clair qu'indépendamment des possibilités techniques, la capacité de la station ne

peut se confondre avec celle de l'unité pour des raisons de gestion de la demande. En effet, la demande varie avec les saisons et le fait de disposer de plusieurs unités permet plus de souplesse de fonctionnement. Toutefois, plus on a d'unités, plus les équipements sont dupliqués et plus le coût d'investissement est élevé. En plus, la multiplication des équipements affecte négativement la disponibilité de la station de dessalement. Il faut noter que les équipements de pompage sont de plus en plus performants et que la gestion de la production peut être assurée à travers un stockage de capacité appropriée des eaux traitées et également par l'arrêt/démarrage des unités de dessalement.

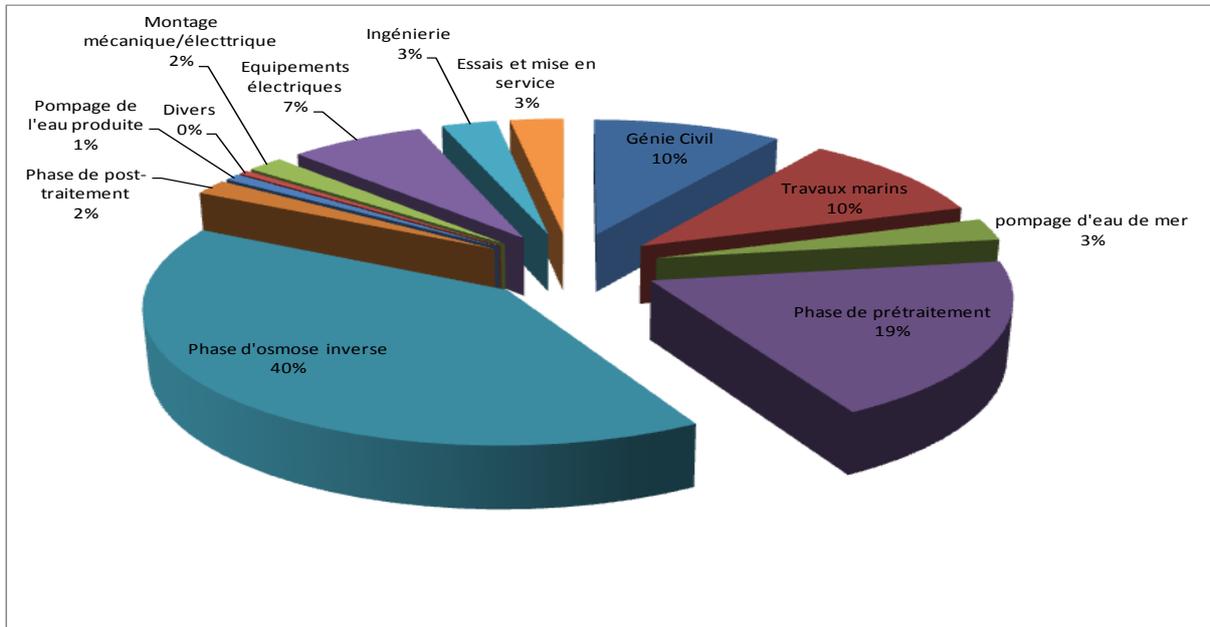
- Pour une station de dessalement d'une capacité de 50 000 m<sup>3</sup>/j, le nombre de deux unités de capacité de 25 000 m<sup>3</sup>/j chacune, semble être adéquat dans le domaine de l'eau potable. Ceci est d'autant plus intéressant que les futures stations de dessalement projetées en Tunisie sont des multiples de 50 000 m<sup>3</sup>/j. on pourrait imaginer que les stations projetées de dessalement d'eau de mer seront équipées d'unités de dessalement de capacité unitaire 50 000 m<sup>3</sup>/j.
- L'analyse économique d'un projet de dessalement typique de capacité 50 000 m<sup>3</sup>/j équipé de deux unités de dessalement de capacité unitaire de 25 000 m<sup>3</sup>/j se présente comme suit :

**Tableau 16: Ventilation des coûts des différents équipements et ouvrages de la station de dessalement**

Rubriques		Total
Génie Civil		9.7%
Travaux marins		10.4%
Equipements mécaniques	pompage d'eau de mer	2.6%
	Phase de prétraitement	19.2%
	Phase d'osmose inverse	40.6%
	Phase de post-traitement	1.8%
	Pompage de l'eau produite	0.8%
	Divers	0.5%
Montage mécanique/électrique		1.9%
Equipements électriques		7.0%
Ingénierie		2.8%
Essais et mise en service		2.7%
Total		100.0%

Les équipements mécaniques des unités de dessalement, ceux de la phase de prétraitement et les travaux de civil et travaux marins représentent les principaux postes de coût dans l'ensemble de l'investissement pour la station de dessalement.

**Figure 26: Principaux postes de coût dans l'investissement d'une station de dessalement**



Le tableau ci-dessous illustre la consommation des différents réactifs chimiques pour la production de l'eau dessalée. Les produits chimiques de prétraitement, mis à part l'antitartre, ne sont pas injectés de manière régulière. Leur injection dépend de la qualité de l'eau de mer et principalement la concentration en matières en suspension. Quant à l'antitartre permettant de garder la carbonate de calcium à l'état dissous même avec un Indice de Saturation de Langélier positif, il est dosé de manière continue et représente en terme de coût, environ 40 % de l'ensemble de réactifs chimiques. Les réactifs chimiques de la phase de post-traitement sont injectés de manière continue et représentent environ 50 % du coût de l'ensemble des réactifs chimiques.

**Tableau 17: Réactifs chimiques injectés dans le process de dessalement d'eau de mer**

Taux de charge de la station de dessalement:	90%		Taux de conversion:	45%				
Capacité de la station de dessalement (m3/j):	50 000		débit d'eau brute m3/j:	111 111				
Réactifs chimiques	Taux d'utilisation	Concentration	Dose injectée	Consommation			Prix des réactifs chimiques	
				Journalière de pointe (kg/j)	mensuelle de pointe (tonnes/mois)	annuelle moyenne (tonnes/an)	Prix unitaire DT/Kg	Coût annuel (1000 €/an)
<b>Réactifs chimiques de Prétraitement</b>								
Hypochlorite de sodium Prétraitement	20%	10%	30	667	20	267	0.4	107
Coagulant (FeCl3)	20%	40%	15	333	10	133	0.8	107
Floculant organique	10%	100%	0.7	8	0.2	3.1	2.0	6.2
Anti-tartre	100%	100%	3.0	333	10.0	133	5.0	667
Bisulfite de Sodium	50%	100%	0.75	42	1.3	17	2.0	33
<b>Réactifs chimiques de Post-traitement</b>								
Soude caustique de Post-traitement	100%	30%	3.3	165	4.95	66	0.5	33
Hypochlorite de sodium de post-traitement	100%	10%	7	350	10.5	140	0.4	56
gaz carbonique	100%	100%	39.6	1980	59.4	792	0.7	554
Calcaire en poudre	100%	98%	90	4500	135	1800	0.1	180
<b>Coût total des réactifs chimiques/an (1000 DT)</b>								<b>1 743</b>
<b>Production annuelle en eau dessalée sur la base d'un taux de charge de 90 % (millions de m3)</b>								<b>16.4</b>
<b>Coûts des réactifs chimiques / m3 d'eau produit (DT/m3)</b>								<b>0.106</b>

L'évaluation du CMLT du m<sup>3</sup> d'eau dessalée est faite sur la base des hypothèses suivantes :

- un coût d'investissement d'environ 105 millions de DT
- un financement par crédit avec un taux d'intérêt de 5% et une période de remboursement de 15 ans
- un taux d'actualisation des différentes charges et des volumes produits annuels de 5 %.
- un prix du KWh de 0,130 DT avec une évolution annuelle moyenne de 2 %.
- d'un taux de charge de la station de dessalement de 90 %. Les amortissements ainsi que le coût fixe d'exploitation et de maintenance rapporté au m<sup>3</sup> d'eau produit, dépendent de manière sensible de ce taux.

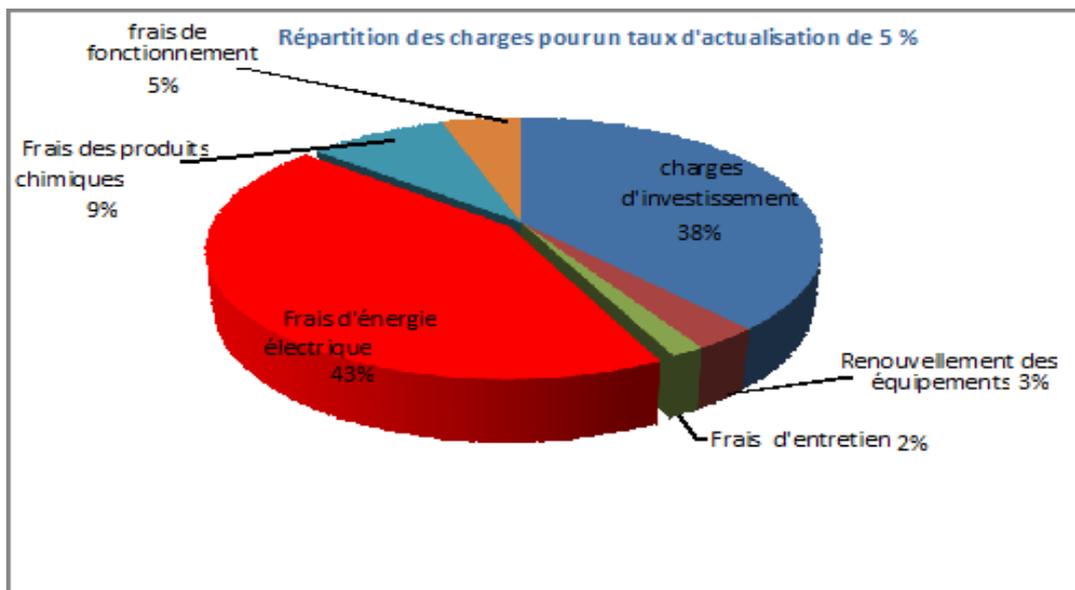
Comme le montre le tableau ci-dessous, le CMLT par m<sup>3</sup> d'eau dessalée est évalué à environ 1.13 DT

**Tableau 18: Cout marginal à long terme par m3 d'eau dessalée**

<b>Projet:</b>		<b>Station de dessalement d'eau de mer</b>				
<b>Capacité: m3/j</b>		<b>50000</b>				
<b>Année de référence/crédit/mise en service:</b>		2013	2014	2016		
Taux d'actualisation:		5%				
charges	Renouvellement	Frais	Frais	Frais des produits	frais de	CMLT
d'investissement	des équipements	d'entretien	d'énergie électrique	chimiques	fonctionnement	
(DT/m3)	(DT/m3)	(DT/m3)	(DT/m3)	(DT/m3)	(DT/m3)	(DT/m3)
0.409	0.031	0.016	0.516	0.106	0.054	<b>1.133</b>

La composante énergie électrique est la plus importante, représente 52 % du CMLT. Elle est suivie du composant amortissement (investissement), avec 34 % et les produits chimiques avec 11 % (Figure 28°).

**Figure 27: Répartition des charges pour un taux d'actualisation de 5%**



Pour un taux charge de la station de dessalement de 80 % au lieu de 90 %, le CMLT augmente de 1.13 DT/m<sup>3</sup> à 1.2 DT/m<sup>3</sup>, comme illustré dans le tableau suivant.

charges	Renouvellement	Frais	Frais	Frais des produits	frais de	CMLT
d'investissement	des équipements	d'entretien	d'énergie électrique	chimiques	fonctionnement	
(DT/m3)	(DT/m3)	(DT/m3)	(DT/m3)	(DT/m3)	(DT/m3)	(DT/m3)
0.460	0.035	0.018	0.516	0.106	0.061	<b>1.196</b>

Le tableau suivant illustre les principaux projets récemment réalisés en Algérie avec les coûts d'investissement associés

**Tableau 19: Principaux projets de dessalement réalisés en Algérie y compris les coûts d'investissement**

Projet	Capacité m3/j	Coût d'investissement millions de \$	Coût d'investissement spécifique \$/m3/j
Cap Djinet	100 000	125	1250
Tipaza	120 000	154	1283
Mostaganem	200 000	190	950
Tlemcen	200 000	220	1100
Tenes	200 000	220	1100
El Maktaa	500 000	460	920

Le tableau suivant illustre des prix de cession de l'eau de mer dessalée dans le cadre de projet de concession (BOT-BOO) à l'échelle mondiale. Pour les projets réalisés en Algérie, le prix du KWh adopté est de 0.04 US\$. Dans le contexte tunisien, le prix du KWh devrait être de 0.08 US\$. Sur la base d'une consommation moyenne de 3.5 KWh/m<sup>3</sup>, les prix de cession en Algérie devrait être augmenté de 0.14 US\$/m<sup>3</sup> pour avoir une comparaison sur la base d'un prix de l'énergie plus proche de la réalité.

**Tableau 20: Prix de cession de l'eau dessalée**

Project	Pays	Capacité de la station m3/j	US\$/m3
Trinidad	Trinidad- Tobago	120.000	0,71
Taweelah	Abu Dhabi.UAE	250.000	0,680
Hamma	Algérie	200.000	0,820
Fujairah	Fujairah .UAE	350.000	
Skikda	Algérie	100.000	0,739
Carboneras	Spain	120.000	0,284
Tampa Bay	Florida-USA	100.000	0,55
Campo Cartagena	Spain	145.000	0,35
Singapur	Singapur	130.000	0,52
Beni Saf	Algérie	150.000	0,6994
Mostaganem	Algérie	200.000	0,7257
Tlemcen	Algérie	200.000	0,7614
Cap Djinet	Algérie	100.000	0,7275
Tipaza	Algérie	120.000	0,713
Teness	Algérie	200.000	0,589
El Maktaa	Algérie	500.000	0,558

## **I.3 Développement futur du dessalement en Tunisie**

### **I.3.1 Développement et opportunité du dessalement d'eau de mer**

Grâce aux percées technologiques dans le domaine et le développement du nombre de constructeurs et de fabricants, le dessalement est devenu une ressource en eau alternative assez viable qui pourrait être envisagée à chaque fois que la ressource en eau conventionnelle n'est pas suffisante ou qu'elle est trop éloignée de la région d'utilisation. L'utilisation du dessalement et les ressources en eau conventionnelles devraient être complémentaires permettant ainsi une certaine diversification et par conséquent une meilleure sécurisation d'approvisionnement en eau potable.

Le dessalement d'eau de mer permet la création d'une nouvelle ressource caractérisée par une salinité relativement faible (inférieure à 500 ppm), d'où l'amélioration de la qualité de l'eau potable actuellement desservie caractérisée par une salinité relativement élevée par rapport aux standards internationaux.

La technique de dessalement par osmose inverse constitue une solution technique fortement indiquée dans le contexte tunisien puisqu'elle a atteint une certaine maturité, consommant le moins d'énergie par rapport aux autres techniques. En plus, il s'agit d'une technique dont l'utilisation a démarré depuis le début des années 80, d'où une certaine maîtrise des aspects de conception et d'exploitation par des ressources humaines locales qui ont pu développer une certaine expertise le long des années.

Le dessalement d'eau de mer devrait être considéré à chaque fois que sa viabilité économique est justifiée par rapport à la mobilisation des ressources conventionnelles qui peuvent être parfois éloignées des zones de déficit.

Parfois la mobilisation des ressources conventionnelles requiert des investissements lourds et un pompage non négligeable. En plus ces ressources, lorsqu'elles sont destinées à l'eau potable, elles sont généralement amputées à d'autres usages de type agricole ou éventuellement industriel comparée au dessalement d'eau de mer qui représente une ressource illimitée.

La considération d'un projet de mobilisation de nouvelles ressources en eaux, lorsque le dessalement d'eau de mer est envisageable, devrait être soumise à une rationalité économique tenant compte de tous les aspects financiers et également économiques et stratégiques permettant d'appuyer et justifier l'une ou l'autre alternative. Comme précisé auparavant, la diversification des ressources ne fait qu'assurer une meilleure sécurisation et souplesse de fonctionnement des systèmes de production et de desserte de l'eau potable.

Le dessalement d'eau de mer par voie d'osmose inverse a été largement utilisé en Espagne qui est classé premier producteur d'eau de mer dessalée par osmose inverse suivi de l'Algérie qui est en train d'achever un grand programme de dessalement d'eau de mer par voie d'osmose inverse de capacité cumulé environ 2.1 millions de m<sup>3</sup>/j. La réalisation du programme algérien a démarré en 2007 et serait achevé en 2014 regroupant des stations de dessalement relativement de grande capacité dont la plus grande au monde de capacité 500 000 m<sup>3</sup>/j implantée dans la région Magtaa (Wilaya d'Oran).

Le prochain programme d'envergure de dessalement d'eau de mer par voie d'osmose inverse dans la région semble être en Lybie avec une capacité d'environ 1 millions de m<sup>3</sup>/j dans sa première phase.

### **I.3.2 – Programme de dessalement futur en Tunisie**

La prochaine décennie verra la mise en œuvre d'un programme de dessalement d'eau de mer assez important en Tunisie de capacité cumulée estimée à 0.35 million de m<sup>3</sup>/j et ce, mis à part les stations de dessalement d'eau saumâtre pour l'amélioration de la qualité, tel que illustré par le tableau et graphique suivants.

Pour le programme futur de dessalement d'eau en Tunisie, il est attendu la mise en service des projets suivants :

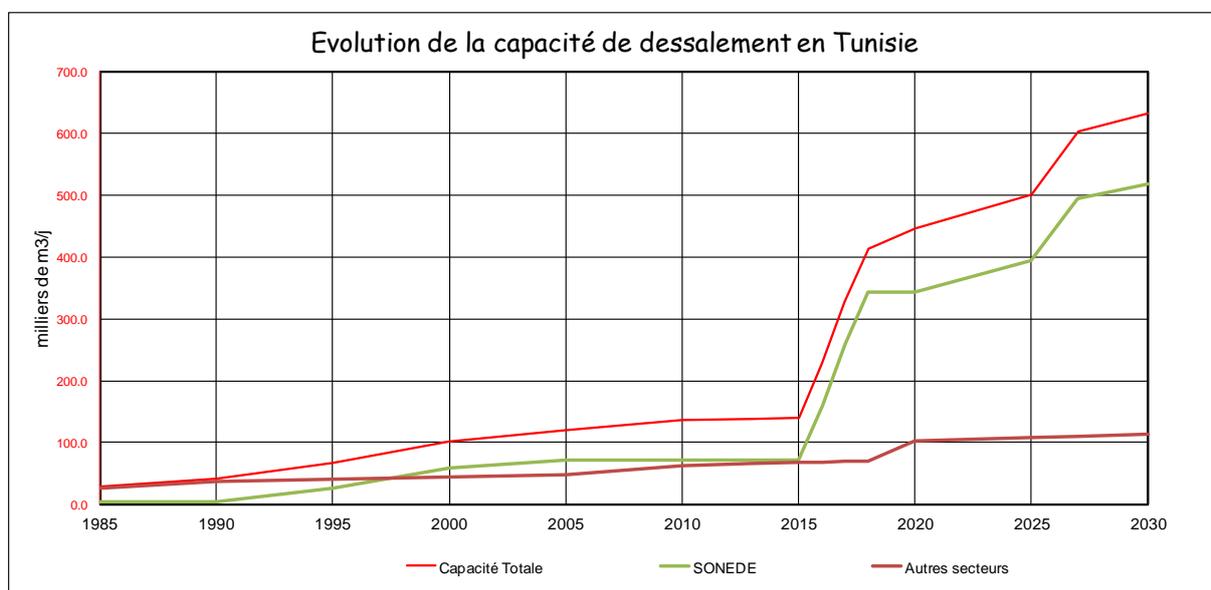
- En 2016, les stations de dessalement pour eaux saumâtres de la 1<sup>ère</sup> phase du programme national d'amélioration de qualité qui totalise une capacité de 36 200 m<sup>3</sup>/j
- En 2016, la station de dessalement d'eau de mer de Jerba de capacité 50 000 m<sup>3</sup>/j , extensible à 75 000 m<sup>3</sup>/j
- En 2017, la 1<sup>ère</sup> phase de la station de dessalement d'eau de mer de Sfax de capacité 100 000 m<sup>3</sup>/j
- En 2018, les stations de dessalement pour eaux saumâtres de la 2<sup>ème</sup> phase du programme national d'amélioration de qualité qui totalise une capacité de 35 200 m<sup>3</sup>/j
- En 2018, la station de dessalement d'eau de mer de Zarat de capacité 50 000 m<sup>3</sup>/j
- En 2020, la station de dessalement d'eau de mer du GCT à Gabès de capacité 30 000 m<sup>3</sup>/j
- En 2025, la troisième unité de la station de dessalement de Jerba de capacité 25 000 m<sup>3</sup>/j pour atteindre une capacité finale de 75 000 m<sup>3</sup>/j

- En 2027, la 2<sup>ème</sup> phase de la station de dessalement d'eau de mer de Sfax de capacité 100 000 m<sup>3</sup>/j pour atteindre une capacité finale de 200 000 m<sup>3</sup>/j

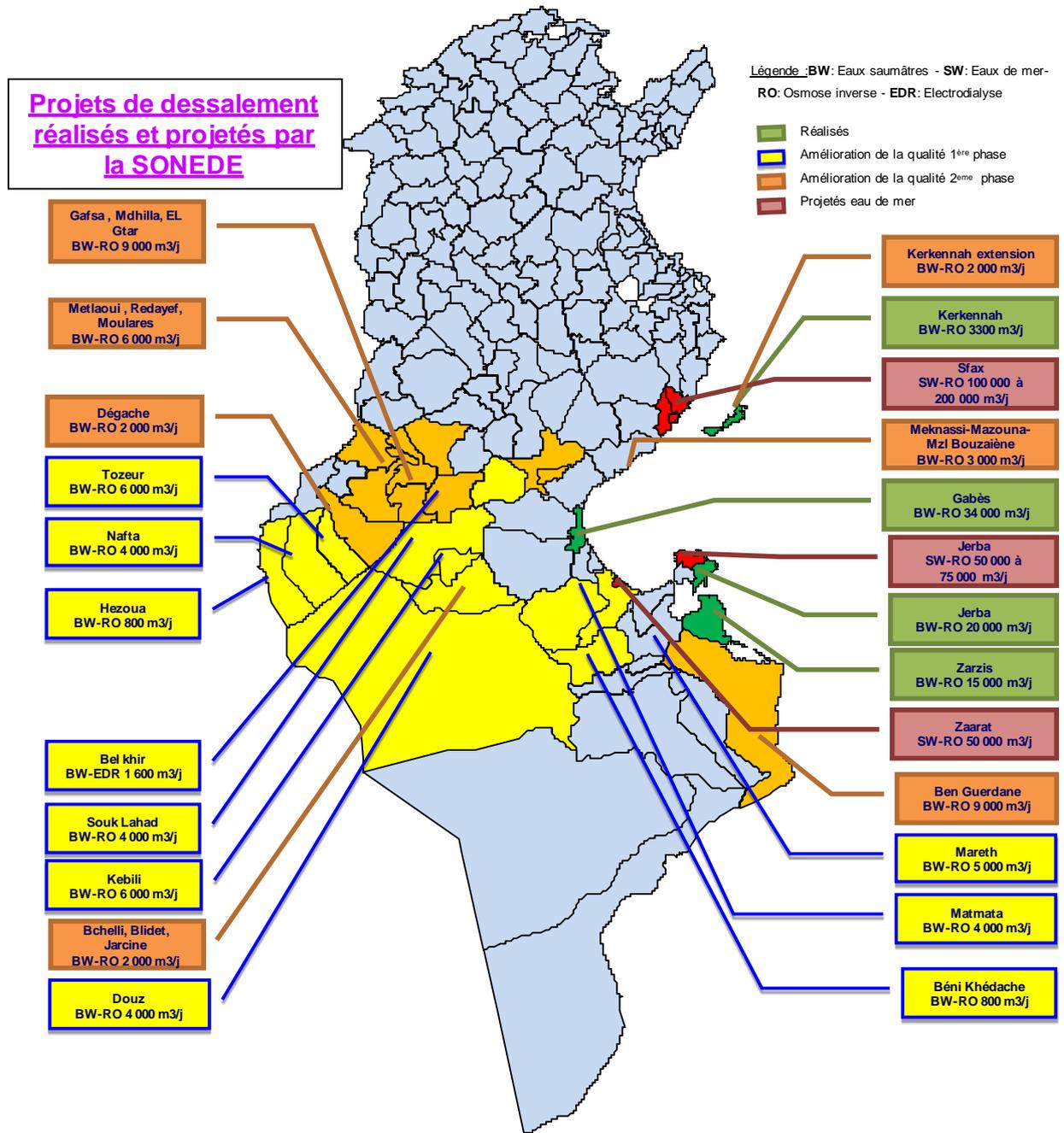
**Tableau 21: Tableau d'évolution de la capacité de dessalement installée et projetée en Tunisie**

Année	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2013	2015	2016	2017	2018	2020	2025	2027	2030
Capacité SONEDE (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /j)	3.3	3.3	25.8	58.8	72.3	72.3	72.3	72.3	158.5	258.5	343.7	343.7	393.7	493.7	518.7
Capacité autres secteurs (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /j)	25.0	37.6	40.5	43.6	47.1	63.0	65.5	67.3	68.2	69.1	70.1	102.0	107.2	109.4	112.9
Capacité Totale (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /j)	28.3	40.9	66.3	102.4	119.4	135.3	137.8	139.6	226.7	327.6	413.8	445.7	500.9	603.1	631.6
Production totale (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /an)	6	9	15	23	27	31	31	32	52	75	94	102	114	138	144

**Figure 28 :  
Graphique d'évolution de la capacité de dessalement installée en Tunisie**



**Figure 29: Carte des projets de dessalement existant et projetés dédiés à l'alimentation en eau potable**



## **Impact financier des projets de dessalement des eaux de mer futurs :**

L'investissement du programme futur de dessalement d'eau de mer d'élève à environ 750 millions de DT et ce, mis à part les investissements requis pour le transfert de l'eau dessalée produite vers les différents pôles de consommation. L'évaluation économique a été limitée à l'opération de dessalement d'eau de mer.

Sur la base d'un CMLT (Coût Marginal de Long Terme) du dessalement d'eau de mer évalué à 1.2 DT/m<sup>3</sup> (dont 43 % sont réservés à l'énergie en supposant que le tarif évolue à 2 % par an), d'un taux de charge de 80 % des stations de dessalement et d'une évolution du tarif moyen (estimé actuellement à 0.520 DT/m<sup>3</sup>) de la SONEDE de 2 % par an, l'impact financier des projets de dessalement rapporté au m<sup>3</sup> d'eau consommé sur tout le territoire tunisien serait de 50 millimes/m<sup>3</sup>. En supposant un tarif figé, cet impact serait de 61 millimes/m<sup>3</sup>.

Afin que les projets de dessalement futurs n'aient aucun impact financier sur les équilibres de la SONEDE, le tarif moyen devrait évoluer à un taux de 8 % pour atteindre environ 800 millimes/m<sup>3</sup> en 2030.

## **II EAUX USEES TRAITÉES**

L'ONAS a procédé à l'épuration des eaux usées brutes collectées des principales agglomérations urbaines du pays, en vue de les rendre conformes aux normes de rejet dans le milieu récepteur ou de les livrer à des utilisateurs potentiels. Cette opération concerne (en 2010) une centaine de stations de traitement. On estime qu'il reste encore 30 % du volume d'eau distribué par la SONEDE qui n'est pas encore concerné par cette épuration; ce qui est l'équivalent de 80 millions de m<sup>3</sup>/ an. Les stations d'épuration fonctionnelles sont saturées à 86%.

La qualité moyenne de l'eau épurée est avec une concentration de 43 mg/l en DBO5(Demande Biologique en Oxygène pendant cinq jours), alors que la norme de rejet de ce paramètre, est fixée à 30 mg/l.

Un volume de 135 millions de m<sup>3</sup> d'eau épurée présente une concentration en DBO5 supérieure à la norme; soit 63% du volume des eaux épurées qui ne sont pas conformes à la norme. Cette situation est supposée s'améliorer sensiblement, avec l'entrée prochainement en activité, des nouvelles unités d'épuration du Grand Tunis (Sud Méliane et Choutrana) et par l'amélioration des conditions de la collecte des eaux usées urbaines. Par ailleurs, le déshuilage et le dessablage à l'entrée des stations d'épuration, doivent être surdimensionnés afin d'obtenir une meilleure qualité des eaux traitées afin d'assurer leur utilisation en irrigation

Le tableau ci-après donne, pour l'année 2006,les qualités moyennes des eaux épurées en Tunisie. Il y a donc nécessité d'engager des programmes de réhabilitation, de renouvellement

et surtout d'augmentation de la capacité de traitement afin d'être conforme aux normes admises.

**Tableau 22 : Qualités moyennes des eaux épurées en Tunisie**

<b>Désignation</b>	<b>2006</b>
Nombre STEP en exploitation Unité	95
Capacité totale d'épuration (débit de dimensionnement) en Millions de m <sup>3</sup> /an	250
Taux de saturation global %	86%
Qualité moyenne des eaux épurées en mg/l de DBO5	43
Nombre de Stations d'épuration saturées hydrauliquement	20
Volumes d'eau rejetés par les stations saturées million de m <sup>3</sup> /an	131
% Eau épurées par des STEP saturées %	61%
Nombre de STEP ayant un rejet supérieur à 30mg/l DBO5 (norme TUN)	31
Volume d'eau rejeté de qualité > 30mg/l DBO <sub>5</sub> (norme TUN) en Million de m <sup>3</sup> /an	135
% volume d'eau épuré non-conforme à la norme de rejet (DBO5)	63%

En épurant les eaux usées, les STEP restituent trois principaux produits en quantités importantes posant problème pour l'environnement : les eaux épurées, les boues, et les gaz nauséabonds ; Accessoirement ces stations restituent des sables, des huiles et les refus de dégrillage.

### **II.1 - Utilisations des eaux épurées.**

Les eaux usées traitées constituent une ressource exploitable en irrigation et pour certains usages industriels. Elles peuvent être également utilisées, sous certaines conditions, pour la recharge des nappes souterraines. Plusieurs expériences réussies ont été réalisées de part le monde.

Actuellement, les eaux usées traitées en Tunisie au niveau secondaire, sont peu utilisées dans le Nord, le centre et le Sud du pays (Gabes, Sfax, Gafsa et Kasserine). En 2007, le volume

d'eau usée traité par une centaine de stations d'épuration, a atteint **225 millions de m<sup>3</sup>**. Le volume rejeté sans aucun traitement dans le milieu naturel, est de **65 millions de m<sup>3</sup>**, seulement 30% des eaux usées traitées ont servi pour irriguer 11.000 ha.

Il est prévu que le potentiel en eaux usées traitées atteindra en Tunisie, à l'horizon 2030, l'équivalent de **400 Mm<sup>3</sup>/an**. Ces eaux usées traitées seront affectées à l'irrigation des zones situées à proximité des stations d'épuration, afin de limiter le coût de transport. Ces eaux usées feront promouvoir principalement, le secteur irrigué intensif de l'olivier, des céréales et des fourrages.

Pour les mégapoles du Grand Tunis et du Grand Sousse principaux fournisseurs potentiels en eaux usées traitées, la disponibilité de grandes superficies avec du bon sol à irriguer, est nécessaire. Ceci ne peut être assuré qu'avec le transfert de ces eaux vers les plaines d'El Fahs, de Kairouan et de Msaken. En effet, dans ces zones, la ressource en eau est relativement rare (faible pluviométrie et forte demande) et la valorisation des eaux usées traitées peut être envisagée, malgré la charge élevée du coût du transfert.

**Tableau 23: Evolution de l'exploitation des ressources en eaux usées (1998-2007)  
en Mm<sup>3</sup>/an**

Année	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Production des eaux usées traitées	129	135	156	170	174	188	193	201	217	225
Quantités réutilisées en Périmètres publics	21	21	23,5	24,5	23,5	26	25,5	30	37	34
Quantités réutilisées en espaces verts	6,5	7	8,5	8,5	9	9	10	12	11	14
Recharge des nappes et zones humides	1,5	5	7	8	16,5	15	16,5	16	17	17
Total eaux usées réutilisées	29	33	39	41	49	50	52	58	65	65
Taux de réutilisation (%)	22,5	24,4	25	24,2	28,2	26,6	26,9	28,9	29,9	28,9

**Dans plusieurs zones touristiques**, des émissaires ont été construits en mer, afin d'évacuer les eaux épurées. Cette solution qui permet de se débarrasser de ces eaux épurées, pose deux principaux problèmes: la non-utilisation de cette eau comme ressource souvent convoitée et un coût de traitement qui n'est pas rentabilisé.

### II.1.1 Réutilisation des eaux épurées en irrigation

La réutilisation des eaux épurées en irrigation se heurte principalement au problème de la qualité chimique des eaux qui est non stable. En effet, la salinité des eaux épurées est souvent élevée, ce qui ne permet pas sa réutilisation en irrigation ; surtout que son coût est souvent alourdi par celui de son transfert entre les stations de traitement et les parcelles à irriguer.

La superficie actuellement (en 2011) équipée pour l'irrigation avec les eaux usées traitées, est de **8075 ha** dont seulement **3789 ha** sont effectivement irrigués avec **18 millions de m<sup>3</sup>/an**, sur un volume global produit d'eau traitée qui est de **144 millions de m<sup>3</sup>/an**.

Le principal périmètre irrigué avec les EUT (eaux usées traitées), est celui de Borj Touil (gouv. de l'Ariana) dont la superficie est de **3145 ha**. Ce périmètre n'est exploité qu'au taux de 38%, car la superficie irriguée se limite à **1201 ha**. Cette situation qui semble paradoxale, s'explique partiellement, par la variation de la qualité chimique des eaux traitées et par la préférence des grands agriculteurs aux cultures peu exigeantes en effort durant toute l'année, comme les céréales et les fourrages. Le manque de moyens financiers, d'organisation et d'encadrement des petits agriculteurs qui constituent les principaux utilisateurs potentiels de ces eaux, explique le peu d'enthousiasme pour la réutilisation de ces eaux.

Les périmètres irrigués par ces eaux usées traitées jugés comme étant exploités, présentent un taux d'occupation, compris entre 80 et 100%. Ce sont principalement ceux de: la Soukra, Dar Chabane, Souhil, Beni khiar, Siliana, Zauoiet Sousse, Msaken, Ouardanine, Kasserine, Sfax (el Hajeb), Gafsa, et Médenine. La superficie cultivée de ces périmètres est comprise entre 400 et 30 ha. On y pratique des cultures à bonne rentabilité économique comme les agrumes, les grenadiers, les oliviers, les fourrages et les semences de luzernes.

### II.1.2 Réutilisation des eaux usées traitées pour la recharge des nappes

Des expérimentations de recharge des nappes à l'aide des eaux usées traitées, ont été réalisées dans le Cap Bon (Nabeul- Oued Souhil), afin de mieux identifier la dynamique de la pollution et l'autoépuration par le sol. Il a été ainsi injecté dans la nappe de Oued Souhil, entre 1992 et 2006, près de six millions de mètre cube.

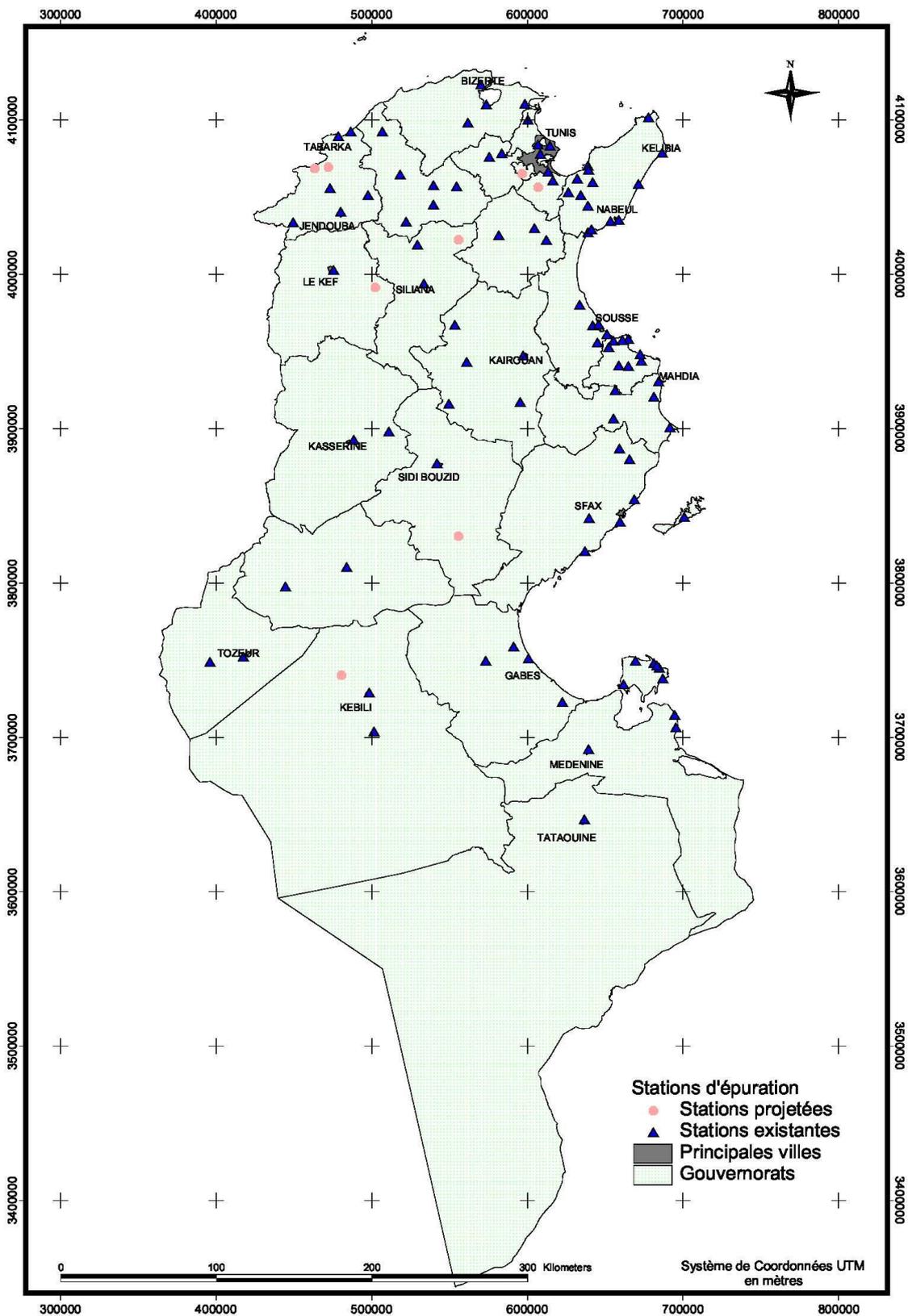
La mégapole du Grand-Tunis dispose d'un ensemble de stations d'épuration composé de quatre unités (el Allef, Choutrana, Sud-Meliane et el Attar) dont les eaux traitées destinées à l'irrigation, doivent être acheminées vers des régions agricoles proches où la demande en eau est importante. C'est ainsi que des études proposent le transfert de ces eaux traitées à Choutrana (produisant 63 M m<sup>3</sup>/an), vers la plaine de Kairouan (Sisseb). Les eaux traitées produites par la station de Sud Meliane (18,4 Mm<sup>3</sup>/ an) seront acheminées vers les plaines de

Mornag et de Grombalia. Les eaux de la station d'El Attar (27,5 Mm<sup>3</sup>/ an) seront destinées aux plaines de Tunis-Ouest et Boucha et les eaux d'El Allef ( 23,5Mm<sup>3</sup>/ an)seront destinées à Mornag et la plaine du Fahs.

En règle générale, les eaux usées traitées à réutiliser en irrigation, seront mieux acceptées par les agriculteurs si leur épuration est mieux maîtrisée et que la qualité de ces eaux traitées est plus stable et respecte les normes de rejet. Un encadrement technique rapproché des utilisateurs est nécessaire pour la réussite de ce type de projet.

Pour chaque unité de traitement des eaux usées, il faudra procéder à l'identification - notamment pour les mégapoles et les grandes cités urbaines- des zones où la demande en eau est importante et dont les disponibilités locales en eau sont limitées et ce afin de motiver l'optimisation de l'utilisation efficiente de ces eaux dans l'irrigation ou l'industrie.

**Figure 30: Stations d'épuration existantes et projetées**

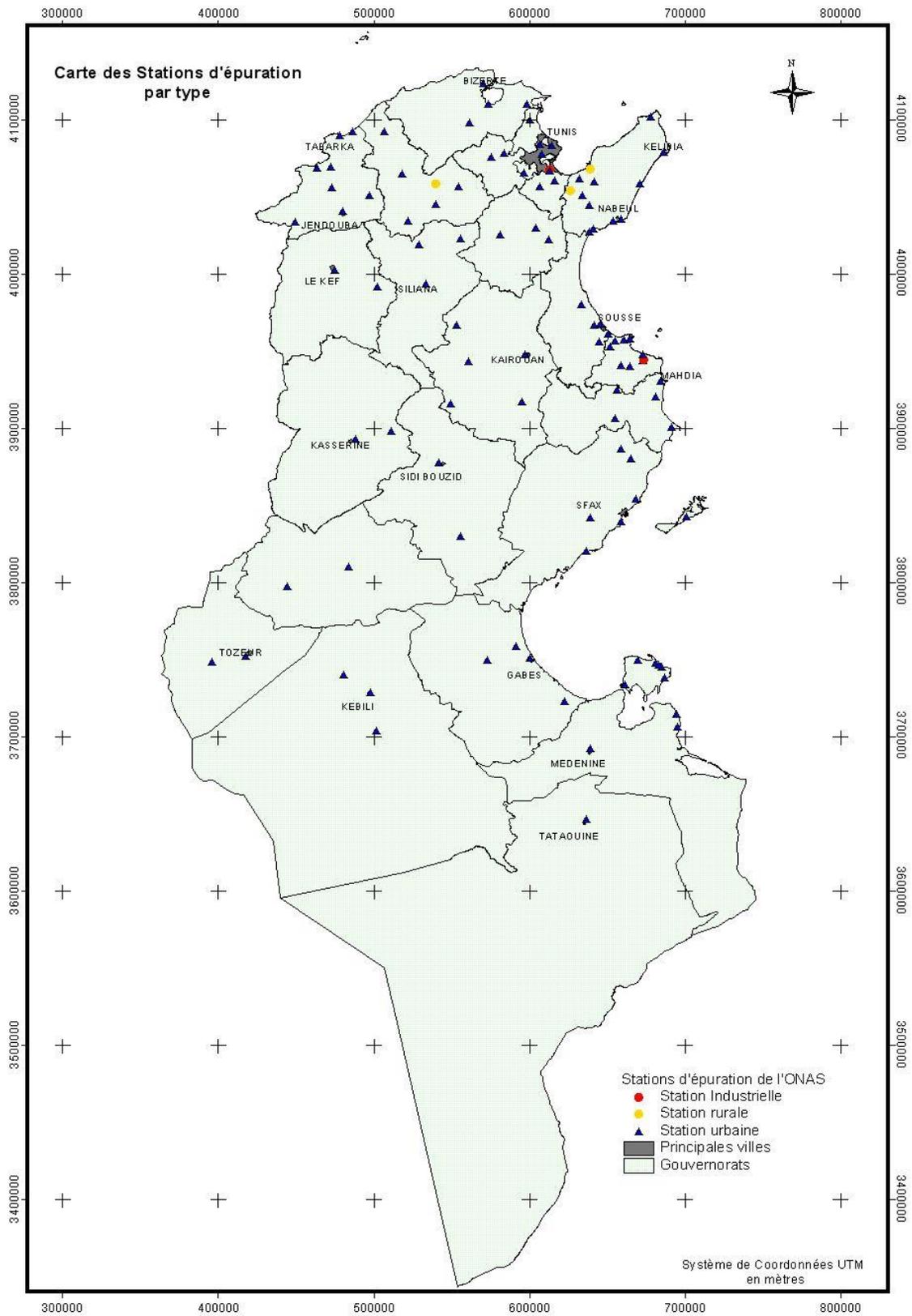


L'utilisation des eaux usées traitées est avant tout une question de maîtrise de technologies appropriées et de coût de revient depuis la station de collecte et de traitement jusqu'au site d'utilisation. A cet aspect économique, il y a lieu d'associer l'aspect environnemental lié aux risques de l'évacuation de ces eaux, sans traitement dans le milieu naturel.

Le coût additionnel résultant du transfert de ces eaux des stations de traitement vers les secteurs d'usage doit être évalué à sa juste valeur en y incluant le coût environnemental.

La Tunisie en mettant l'accent depuis une 30<sup>e</sup> d'années sur le traitement de ces eaux usées dans une vision environnementale, est de plus en plus poussée à faire de cette ressource en eau non conventionnelle, une option de développement d'usages adéquats et rentables.

**Figure 31: Stations d'épuration par type**



### TRANSFERTS D'EAU INTER REGIONS

---

#### **Le transfert moyen de partage du bien public**

Le transfert d'eau d'une région à une autre à l'intérieur d'un pays, a toujours été associé en Tunisie, à des valeurs qui mettent en évidence l'aspect national et l'équilibre entre les différentes régions du pays. La variabilité du régime climatique du pays, l'hétérogénéité de sa géologie et la variation de la densité démographique de sa population, associée à la spécificité économique de chacune de ses régions naturelles, imposent, dans la perspective de l'équité sociale, le transfert d'eau des zones excédentaires vers les zones déficitaires. Ces opérations de transfert seront entreprises en parfaite harmonie et en complémentarité intégrée avec les solutions locales pour la mobilisation des ressources en eau en situ, comme la recharge des nappes, le dessalement et la réutilisation des eaux usées traitées.

Les zones de la demande en eau ne coïncident pas toujours en Tunisie, avec les zones de production de la ressource. Le transfert entre les régions assure une plus grande flexibilité technique dans la satisfaction de la demande en eau, tout en garantissant un moindre coût de l'aménagement nécessaire, pour la communauté nationale. Ceci est particulièrement le cas de l'alimentation en eau potable qui est souvent une priorité nationale. Le transfert inter-régions met ainsi en évidence la notion de partage du bien public et diminue la frustration sociale et le déséquilibre entre les régions.

#### **Transfert vers le littoral**

Le développement économique et démographique semble accentuer, durant les prochaines décennies, ce déséquilibre entre les différentes sous-régions du pays. Ainsi le littoral restera la zone à forte demande en eau, même si le développement de la frange intermédiaire est en mesure de devenir plus demandeur en eau. Un réseau de transfert adéquat est dans ce cas nécessaire en vue d'assurer un certain rééquilibrage régional du développement économique ainsi qu'une équité dans la satisfaction de la demande des différents secteurs.

Un réseau d'interconnexion par canaux et conduites reliant les zones de production de l'eau (principalement l'extrême Nord et la Haute vallée de la Medjerda) aux zones de son

utilisation (littoral du Sahel-Sfax et basse vallée – Cap Bon), permet d'assurer une certaine souplesse dans la mobilité de la ressource en eau ainsi qu'un allègement de la pression sur les aquifères de Kasserine, Kairouan et Sidi Bouzid.

### **Le transfert : moyen de la gestion intégrée (eau de surface –eau souterraine- eau non conventionnelle)**

Un réseau de transfert interconnecté permet d'alléger la pression sur les nappes aquifères et de réduire la dépendance à l'égard de certaines sources d'approvisionnement en eau (pompage des eaux souterraines ou dessalement) et de mieux concrétiser la gestion intégrée. La structuration d'un tel réseau, rend l'ensemble du système hydraulique beaucoup moins vulnérable en cas de pénurie locale. Il permet de mieux intégrer et répartir sur l'ensemble du pays, les mobilisations additionnelles en eaux conventionnelles et non conventionnelles et de les gérer dans une vision d'optimisation et d'intégration exhaustive.

Il rend ainsi l'ensemble du territoire desservi solidaire, tant du point de vue de la production en eau que de celui de sa consommation (homogénéisation de la qualité et répartition des charges financières).

En effet, une source nouvelle d'approvisionnement en eau (dessalement par exemple) peut être bénéfique à l'ensemble du territoire, tant du point de vue au niveau de la desserte des nouveaux centres de consommation qui ne seront plus ainsi rattachés à une unique source d'approvisionnement, mais reliés de façon automatique, à l'ensemble du réseau.

La mise en place d'un réseau de transfert interconnecté permettra le développement équilibré des différentes régions du pays, indépendamment de leurs ressources hydrologiques propres.

Le système de transfert déjà initié en Tunisie entre le Nord-ouest et le littoral oriental, doit être continuellement étendu et densifié. Ceci est nécessaire pour combler le déficit et répondre à la demande.

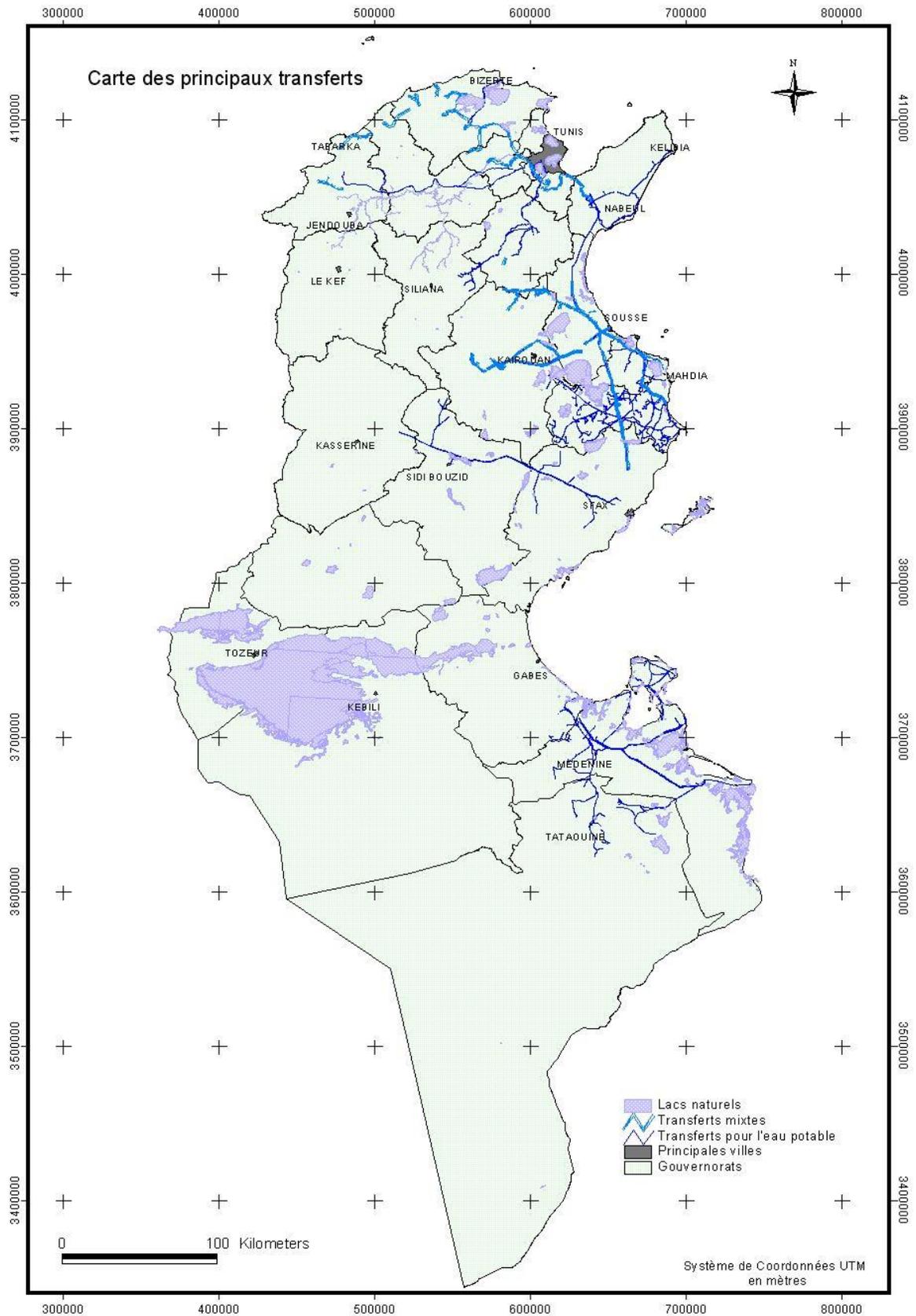
En général, la sécurité d'approvisionnement d'un système est d'autant plus grande que le nombre de réservoirs connectés est plus élevé, car ceci augmente les solutions disponibles pour satisfaire un besoin déclaré.

L'accroissement rapide de l'urbanisation du territoire tunisien change l'aspect rural de plusieurs zones ce qui ne saurait être possible sans un réseau du transfert permettant d'affecter l'eau avec plus de flexibilité.

Afin d'améliorer la distribution des disponibilités en eau à l'échelle des régions et à l'ensemble du pays, jusqu'à l'horizon 2030, il est nécessaire de préciser pour chaque unité hydraulique, les possibilités de créer de nouvelles options de transferts, comme l'interconnexion des barrages du centre au réseau des eaux du Nord, l'élargissement et la densification des réseaux de l'extrême Nord et du Nord, et enfin l'interconnexion de tous les réseaux du littoral.

Pour le sud du pays, la répartition des forages d'exploitation en champs captant, sera étudiée en fonction des spécificités des aquifères et de leurs réactions à l'intensification de l'exploitation, afin d'éviter l'effet des cônes du rabattement à grande échelle et le recours pour le comblement du déficit, au transfert sur des grandes distances. L'aménagement du territoire est une condition de base dans la conception de la répartition des champs captant. Elle doit inclure les réseaux hydrauliques et leurs interconnexions comme un moyen d'optimisation et de sécurisation de l'approvisionnement.

Figure 32: Carte des transferts



Source :GEORE, 2004

## I. CAUSES ET JUSTIFICATIONS DU TRANSFERT

La diversité de la géologie tunisienne ainsi que les variations du climat du pays du Nord au Sud, ont été depuis fort longtemps à l'origine des transferts d'eau, particulièrement pour subvenir aux besoins en eau potable. Les restes archéologiques des anciennes adductions et aqueducs en attestent. Le transfert est devenu impératif avec les objectifs du développement régional équilibré et de l'équité sociale. Dans cette perspective, le coût de l'opération est souvent le facteur limitant. Toutefois, un consensus sur le transfert est nécessaire afin d'éviter frustration et conflits.

La capacité financière de la population urbaine, la valeur économique produite par l'utilisation industrielle de l'eau et la valeur de quelques spéculations agricoles rémunératrices sont présentées comme arguments pour justifier le coût du transfert de l'eau qui provient d'une source éloignée. L'eau en tant que bien économique, a tendance à se faire diriger vers les endroits où elle est la mieux valorisée. Le transfert devient malgré son coût parfois élevé et certaines contestations, faisable et rentable.

L'eau sujette au transfert, est considérée comme disponible, car elle est surabondante dans son lieu d'origine et ne semble pas faire l'objet d'une éventuelle utilisation locale. Elle est donc transférée ailleurs suite à une demande pressante et justifiée, pour une autre utilisation nouvelle et immédiate ayant beaucoup plus de valeur. Cette situation est similaire - toute proportion gardée- à l'émigration de la main d'œuvre diplômée.

Les économistes tendent à ne pas empêcher le transfert de la ressource en eau par les moyens légaux, car ceci augmente son efficacité en maximisant sa valorisation.

Dans la perspective d'une vision intégrée et à long terme, le transfert de l'eau entre les différentes régions du pays, est une option qui doit répondre à plusieurs critères de rentabilité et d'utilité publique. Elle doit se faire dans le cadre de l'équité et de la solidarité, tout en revenant au moindre coût pour la communauté.

Il est important d'être en mesure de quantifier et d'identifier les mesures compensatoires de l'impact du transfert de l'eau d'une région à l'autre, et ce en vue de limiter la frustration sociale et les contestations.

Comme le transfert de l'eau est souvent associé à des projets d'envergure pour le pays, Il est important de comparer à l'échelle nationale, ses bénéfices attendus et les coûts des impacts subis par la région origine de la ressource. Un bilan exhaustif et détaillé du projet de transfert permet de mieux maîtriser à long terme, ses impacts complexes et multiples.

## II. LE TRANSFERT D'EAU INTER-REGIONS EN TUNISIE

Le transfert d'eau est pratiqué en Tunisie à grande échelle, d'une région à une autre, au point qu'il est devenu habituel et admis. En effet, réalisé à plusieurs reprises à travers l'histoire de la Tunisie, cette activité, a toujours permis une meilleure répartition et une utilisation efficace de la ressource en eau.

En l'an 125, l'empereur romain **Hadrien** alimenta Carthage par l'eau des sources de Zaghouan avec un aqueduc/canalisation sur plus de 85 km. Les Aglabites (800-909 ap.j) ont alimenté leur capitale Kairouan par les eaux de Cherichira (à plus de 30 km). Le développement démographique et urbain de Tunis a nécessité, depuis le XIX siècle la remise en état de l'adduction des eaux de Zaghouan-Jouggar, puis un transfert continu à partir du barrage Oued el Kebir (édifié en 1930) et par la suite, à partir des barrages Ben Metir (135km) en 1956, Kasseb (121km) en 1968, Sidi Salem en 1981, Joumine en 1983, Sejnane en 1994 et Sidi Barrak en 1999). Sfax a été également alimenté depuis 1903, à partir des eaux des sources de Sbeïtla (151km) et Sousse en 1916, à partir des eaux souterraines de Bouhafna. Djerba-Zarzis fut également alimentée en 1970, à partir de la nappe de Koutine (à plus de 50 Km).

Plusieurs projets de transfert d'eau ont été réalisés pour la satisfaction des besoins en eau potable, des cités urbaines du littoral, des agglomérations rurales, ainsi que pour les pôles industriels et les zones touristiques. Les besoins de l'agriculture irriguée dans la Vallée de la Medjerda, au Cap bon et au Sahel, n'ont pu être satisfaits qu'à partir des eaux des barrages de l'extrême Nord, de la Medjerda, du Nebhana et des grandes nappes de la Tunisie centrale et du Sud.

Le transfert de l'eau s'explique en Tunisie, par l'éloignement de la zone de la demande à grande consommation comprenant les cités urbaines, les zones touristique et les grands pôles industriels généralement située sur le littoral et à ressources en eau insuffisantes en quantité et/ou en qualité, de la zone de l'offre à disponibilités en eau dépassant les besoins locaux. Ainsi, la source en eau, origine du transfert est souvent située à l'intérieur du pays sur les hauts plateaux, le long de la dorsale, dans les nappes sahariennes. C'est le cas du Nord-Ouest considéré comme étant le château d'eau de la Tunisie, ou les grands systèmes aquifères de Kairouan, Sidi Bouzid, et Kasserine, périodiquement alimentés par les crues des principaux oueds de Nebhana, Merguellil, et Zeroud.

L'alimentation en eau potable a été considérée par le Code des eaux (1975), comme prioritaire parmi toutes des utilisations communautaires du pays. C'est à ce titre que se justifie le transfert de l'eau répondant à cet objectif, à partir des régions excédentaires après avoir satisfait en priorité, les besoins en eau potable de la zone d'origine.

Les besoins en eau agricole sont classés en deuxième priorité après l'eau potable, cependant les projets de sauvegarde des zones agricoles qui sont en production, permettent de répondre à la demande et de préserver le système de production. Ce système important et stratégique, est menacé par la dégradation, le manque ou le déficit en eau. Il a la même priorité que l'eau potable et justifie le transfert à partir d'une source éloignée.

Le littoral du pays est le lieu où s'effectue actuellement, une croissance économique soutenue et assure ainsi, plus de 80% de l'activité économique nationale. Cette zone connaît une forte pression croissante sur la ressource en eau dont une partie est transférée de loin à partir des régions de l'intérieure. La population des zones originaires du transfert, n'ayant pas profité directement et à temps, de cette richesse vitale durant des décennies, exige maintenant, la révision de l'allocation des ressources en eau entre les différentes régions du pays et le rééquilibrage du modèle de transfert adopté, afin de pouvoir se développer et créer plus d'emplois.

L'aspiration à un meilleur développement économique et à de meilleures conditions de vie dans les régions intérieures du pays durant les prochaines décennies, accroîtra la pression sur la ressource en eau et exigera la révision de l'allocation en vue du rééquilibrage de la répartition et de l'actualisation de la demande. Le réexamen du modèle de transfert adopté jusqu'à ce jour, s'impose afin de le rendre plus équitable et plus flexible. Il est ainsi nécessaire qu'une allocation tenant compte des demandes réelles en eau des différentes régions du pays, puisse couvrir également les régions les moins développées afin de les ramener à un niveau de développement similaire à celui du littoral, dans des conditions plus favorables qu'elles ne connaissent actuellement; d'autant plus que les solutions techniques semblent possibles.

Le littoral actuellement à forte demande en eau, restera pour longtemps, une zone à forte demande. Le transfert a pu, pour trois à quatre décennies, constituer une solution à la demande en eau du littoral, mais dans l'avenir, une partie de son alimentation, passe par le dessalement de l'eau de mer qui est devenu grâce au développement technologique, à coût économique accessible et présente moins de risques de gestion que les eaux conventionnelles. Ceci aura pour conséquence directe, l'allègement de la pression sur les ressources en eau des régions intérieures et frontalières qui disposeront plus librement de leurs ressources en eau et peuvent ainsi entreprendre une mise en valeur sécurisée.

La sécurité d'approvisionnement en eau d'un système est d'autant plus grande que le nombre des sources d'eau sont diversifiées et le nombre de réservoirs interconnectés est plus élevé. Cette sécurité augmente les solutions envisageables pour satisfaire un besoin déclaré. Ainsi

l'interconnexion à travers le pays, des barrages, des nappes aquifères et des stations de dessalement ne fait qu'augmenter la sécurité de l'approvisionnement et celle de la souplesse de sa gestion en situations conjoncturelles à forte demande spécifique. Cette interconnexion est d'autant plus exigée que les changements climatiques entraînent d'avantage de dérèglement dans la répartition de la pluviométrie et du ruissellement.

### **-Avantages et inconvénients du transfert**

Quand le transfert est particulièrement motivé par la satisfaction d'une demande en eau particulière d'une région, sans tenir compte du partage équitable de cette ressource, il est souvent violemment contesté et même combattu. Mais quand il est effectué dans le cadre d'une répartition équitable visant à assurer une gestion commune et optimisée qui allège les pressions, limite les pénuries et corrige les défauts de la répartition de la qualité de l'eau, il se transforme en un lien de solidarité. Dans ces conditions, les conflits diminuent d'ampleur et le consensus devient la base de l'acceptation de ce transfert.

## **II.1 Principaux axes de transfert en Tunisie et leur développement**

### **Les eaux du nord :**

Le principal axe de transfert des eaux en Tunisie, est celui qui relie les barrages de la Medjerda, de l'Ichkeul, et de l'extrême Nord au Grand Tunis, le Cap Bon et le littoral oriental du pays. Ce transfert sert pour satisfaire la demande croissante en eau potable et d'irrigation et pour améliorer la qualité de l'eau chargée en sel des barrages de la Medjerda (entre 3 -4g/l) et ce en la recoupant avec l'eau à plus faible salinité des barrages de l'Ichkeul et l'extrême Nord (1g/l).

Ce complexe hydraulique géré par la société étatique SECADENORD, s'étend sur 120 Km et couvre en partie, en plus des besoins en eau du Grand Tunis, ceux de Sousse, Monastir, Mahdia et Sfax par les adductions de la SONEDE. Il est prévu le renforcement de cet ensemble par la réalisation d'un barrage réservoir de régulation de 40 millions de m<sup>3</sup> de capacité à Kalaa Kebira. Ce barrage permettra d'assurer le fonctionnement du canal tout le long de l'année, excepté les périodes réservées à son entretien. Il dispose d'un stock de sécurité pendant les réparations et les diverses pannes. Un autre réservoir de régulation ayant la même fonction de sécurisation de la desserte de Sfax et Mahdia, est nécessaire à l'amont de Sfax. Ainsi, il devient possible d'alléger la surexploitation des nappes de Kairouan, Sidi Bouzid et Kasserine.

## II.2 La dorsale tunisienne obstacle pour les nuages et le transfert.

Elle est constituée d'une succession de groupes de massifs et de tells traversant la Tunisie en biais en s'élargissant. L'oued Medjera longe la dorsale et reçoit les affluents rive gauche drainant la dorsale qui sont le Mellègue, le Tessa, la Siliana, Lahmar et Chafrou . Les djebels de Takrouna, Melliz, Goraa, Chehid, Rihane, et les tells de Touiref, Sidi Khiar, Djebba, Thibar, Zeldou, Testour, Goubellat, Mnaga séparent les plaines de la vallée de la Medjerda de la Dorsale.

La dorsale constitue un barrage pour les nuages pluvieux du Nord Ouest, au nord de la dorsale dans la vallée de la Medjerda la pluviométrie moyenne varie entre 500 et 350 mm alors qu'elle varie juste au sud de la dorsale entre 350 et 200 mm , la différence des moyennes de la pluviométrie moyenne est estimée atteindre 150 mm , la dorsale constitue aussi un obstacle pour les réseaux routier et le réseau de transfert des ressources hydrauliques, à part le passage par Hammam Lif fort avantageux utilisé actuellement à partir d'une prise sur le barrage Aroussia avec un pompage total de l'ordre de 50 mètres géométriques entre Béjaoua et Fondouk Jedid, les autres passages envisageables nécessiteront plus que 200 mètres géométriques au minimum et éventuellement la construction de long tunnels pour traverser la dorsale.

Les groupes de massifs de la dorsale se présentent successivement comme suit :

- 1) Le groupe de massifs de Boukornine (576 m), Ressay, Ezzit ( 751) Behellil ( 556), Sidi Jedidi entourant les plaines de Grombaila Mornag, drainé par les oueds Meliane et oued Hma, sépare la vallée du Méliane du Cap Bon.
- 2) Le groupe de Zaghouan (1295), Dhraa ben Jouider, Fkirine (988 ), Mansour (688), Chrich (618), Saouaf entourant les plaines du Fahs de Tebika et Tarf Chna, drainé par les oueds Kebir Meliane et Belassoud Nebhana sépare la plaine de Bouficha Enfida des plaines de BouArada Fahs.
- 3) Le groupe de Bargou ( 1268), Serj (1357) et Ouslat ( 887) entourant les plaines de Siliana Robaa ( 600m) et Ouslatia, drainé par les oueds Maarouf Nebhana, Lakhmas et Ousafa Siliana, sépare les plaines de Siliana des plaines de Kairouan, comporte la plaine intérieure de Ouslatia.
- 4) Le groupe de Kesra ( 1174), Barbrou (1183 ), Oum Jeddour (1309) entourant les hauts plateaux de Makhtar (900 m) et Rouhia, drainé par les oueds drainé par marouf Nebhana, Kerd Marguellil, Zeroud amont, Tessa amont, et Mellègue amont, sépare les plaines des plaines de Dahmani des plaines de Hajeb aioun.
- 5) Le groupes de Tiouacha (1309), , Mrhila (1378) Trozza ( 996) entourant les haut plateaux de Sayada Haffouz Sbiba Gonna, Sbeitla et Jelma, drainé par les oueds Jedliane Hattab Zeroud Zarga Merguellil. Jelma de Dahmani et comporte les plaines de Jedliane Sbiba Gonna.
- 6) Le groupe de Bireno (1419), Semmama (1314), Selloum (1248) et Djebel Chambi (1544 m) entourant les plaines de Foussana, Kasserine, Sbeitla , drainé par Hattab , Drab, Sfisifa, Zeroud, et oued Hoggef et Roçoff de Baiech vers le sud, comporte plusieurs plaines

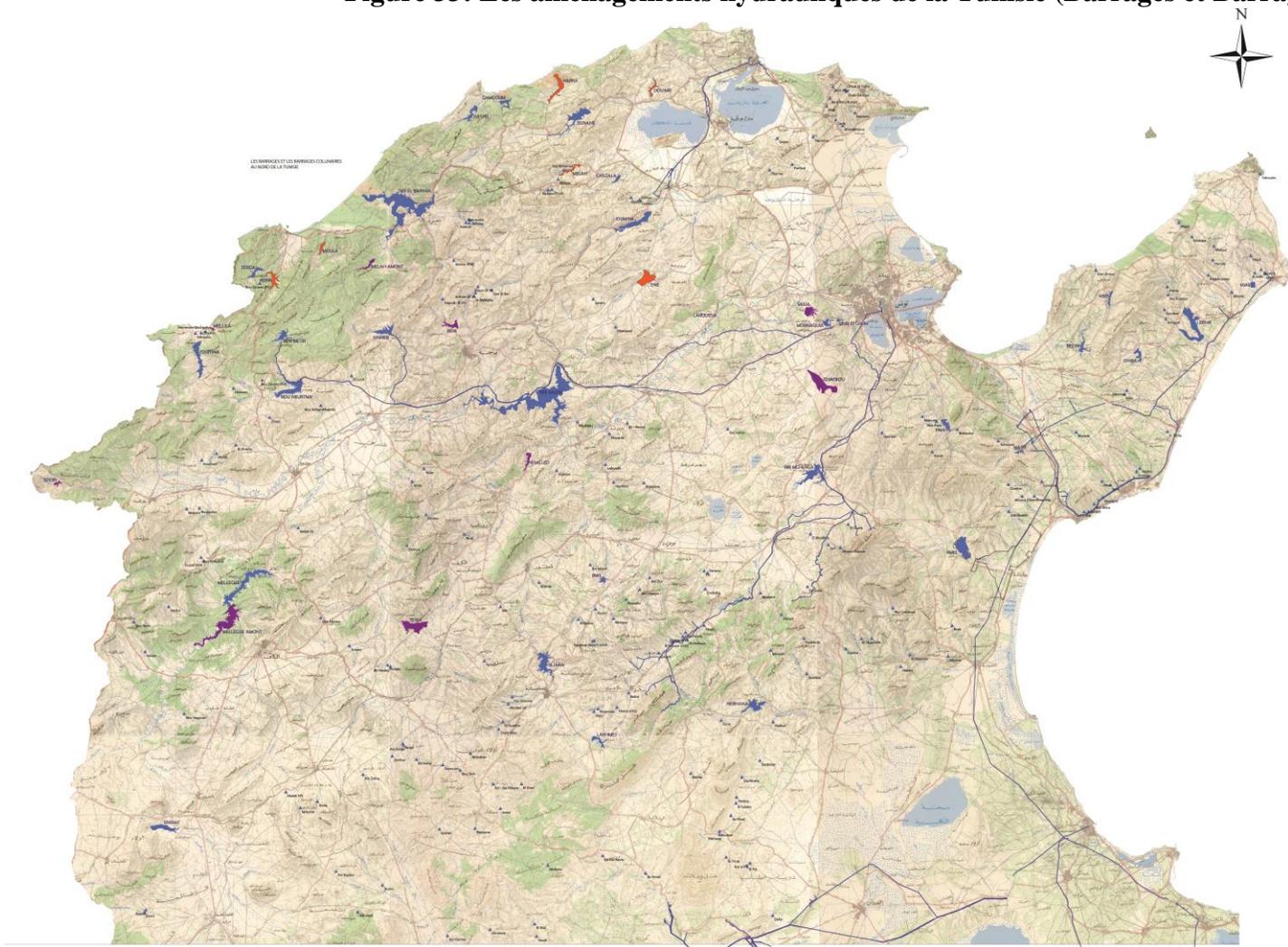
intérieures Foussana Kasserine Chraia Telepte et Feriana, sépare les hauts plateaux de la plaine de Gafsa Sidi Bouzid.

La dorsale comporte deux khanguets célèbres Khanguet Jazia emprunté par oued Hattab pour devenir oued Fekka dans la plaine de Sidi Bouzid elle est le site d'un barrage programmé, et khanguet Zegallas un étroit défilé entre djebel Mhrilla et Labaied longée par la branche nord oued Hatthob de Zeroud avant de rejoindre oued Nagadha.

La dorsale comporte plusieurs cols et defilés utilisés par les axes routiers tiers les plus importants sont les suivants : 1) Hammam-Lif, Fondouk Jedid, Belli 2) Mornag, Jebel Rerras, autoroute A1, Grombalia 3) Mornag Kanguet Hojjaj Bouficha 4) Jebel Oust Sminja, Zriba, Ain Mdhake 5) Fahs, Draa Ben Jouider, Ain Garci, Enfida 6) Fahs, Draa Ben Jouider, Sbikha, Kairouan 7) Goubellat, Fahs, Bir Chaouch 8) Oum Labouab, Ouslatia El Baten 9) Sers Makhtar Kesra, Haffouz 9) Sers, Makthar, Rouhia, Jedliane 10) Dahmani, El Ksour, Rouhia, Sbiba 11) Tajerouine, Kalaa Jerda, Thala, Kasserine .

Par ailleurs la dorsale est riche en site de lacs collinaires et barrages collinaires et comporte plusieurs zones dégradées par l'érosion et le surpâturage qui nécessitent des interventions.

**Figure 33: Les aménagements hydrauliques de la Tunisie (Barrages et Barrages collinaires)**



Source : Base de données GEORE, 2010

Le canal Medjerda-Cap Bon à ciel ouvert est à commande aval, est d'une capacité de 470 millions de m<sup>3</sup>/an susceptible d'être améliorée et augmentée afin de répondre au mieux à la demande de pointe et au remplissage des réservoirs de stockage et de régulation. Ce canal relie le barrage Arroussia à Belly au Cap Bon à travers les stations de pompage de Bejaoua (16m) et Fondouk Jedid (32m). Ces stations demandent à être renforcées par des groupes de pompage supplémentaires afin de répondre à la demande de la pointe et avoir une capacité suffisante pour le remplissage des réservoirs de régulation des barrages Masri et Kalaa Kbir. Le débit du canal varie de 16m<sup>3</sup>/s à son début, à 8,8 m<sup>3</sup>/s à son autre extrémité, après les services en route.

Les eaux de l'extrême Nord et de l'Ichkeul à bonne qualité chimique, sont transférées par trois adductions de diamètre Ø1800 mm et d'un débit total de 12 m<sup>3</sup>/s environ, pour se déverser à l'aval de la station de pompage de Bejoua (360 millions m<sup>3</sup>/an ) et adoucir ainsi les eaux salées de Sidi Salem dont la salinité atteint parfois en été (années déficitaires) les 3g/l. Cette salinité rend l'eau impropre à la consommation et diminue la qualité et le rendement de cultures, surtout les orangeries du Cap Bon qui sont très sensibles au sel.

#### **- Les eaux du Sud Est**

Les axes de transfert vers le Sud Est relient les nappes du Continental Intercalaire de Chott Fedjej et de la Djefra aux stations de dessalement (Gabès, Jerba et Zarzis) et les cités urbaines de Gabès, Médenine et Tataouine, ainsi que les zones touristiques de Djerba.

L'axe de transfert vers Gabes à partir de Chott Fedjej, reçoit également les eaux de la nappe de la Djefra et celles de la station de dessalement de Gabes gérée par la SONESDE. Le dessalement de l'eau de mer envisagé à Derba et à Zarat, est de nature à alléger particulièrement la surexploitation de la nappe de la Djefra et améliorera la qualité de l'eau distribuée dans les gouvernorats de Médenine et Tataouine.

#### **- Les eaux du Sud-Ouest**

L'axe de transfert alimentant la presqu'île de Kebili (PIK) à partir de la région de Guettaïa (Kébili) s'étend sur une trentaine de Km et permet de mieux équilibrer l'exploitation des nappes du CI et le CT dans le gouvernorat de Kébili. Ce transfert contribue à l'amélioration de la qualité de l'eau d'irrigation dans les oasis situées en bordure des chotts dans la délégation de Souk Lahad.

C'est également le cas de l'axe de transfert desservant les oasis d'El Oudiane (Tozeur). Il répartit judicieusement les disponibilités en eau et améliore leur qualité chimique à travers le mélange des eaux du CI relativement plus chargées en sel, avec celles de meilleure qualité, du CT. On assure ainsi, l'irrigation de Cédada, Kriz et Sebâa Biar.

#### - **Les eaux de la Tunisie Centrale**

Les axes de transfert traversant la Tunisie Centrale alimentent Sfax à partir de Sidi Bouzid et Kasserine et Sousse –Monastir- Mahdia, à partir de Kairouan. Ainsi, les périmètres irrigués du Sahel sont alimentés par les eaux du barrage Nebhana et de la nappe de Sisseb. L'eau potable de Sfax est principalement assurée à partir des eaux des nappes de Sbeitla et d'el Hajeb-Jilma.

Avec le développement économique et particulièrement l'irrigation dans les gouvernorats de Kairouan, Kasserine et Sidi Bouzid, ces transferts à partir de la Tunisie Centrale, sont de plus en plus contestés et les habitants des zones concernées demandent à réexaminer l'allocation en eau décidée il ya plus de 30 ans, en tenant compte de la nouvelle situation de la demande dans ces zones, afin d'alléger la pression sur leurs nappes dont la surexploitation s'est amplement accentuée et d'envisager des solutions de recharge.

#### - **Les eaux de Ben Metir et Kasseb**

Les premiers axes de transfert entrepris dans le Nord du pays, à partir de Zaghouan et Jouggar, fonctionnent depuis des époques immémoriales. Celui transférant les eaux des barrages de Beni Metir (depuis 1956) et Kasseb (depuis 1968), vers le Grand Tunis, permet l'approvisionnement en eau potable de ce grand pôle urbain. Ces eaux sont traitées à l'amont et le transfert à partir de Beni Metir, est diminué en cours de route, par la desserte de plusieurs cités urbaines dont Jendouba et Beja.

#### - **Les eaux des plaines de Jendouba et Bou Salem**

Un système de transfert d'eau a été installé dans les plaines de Jendouba et Bou Salem, pour irriguer **25 000 ha** et ce en mélangeant les eaux chargées du barrage Mellègue (plus de 3g/l), avec celles de la Medjerda chargées en sel en périodes d'étiage et les eaux douces de Bou Heurtma (1g/l). Ce système complexe se compose d'une adduction principale **A0** de 18km de long, amenant les eaux douces de Bou Heurtma à un réservoir **R1** où sont pompées les eaux de la Medjerda et du Mellègue puis distribuées à travers tout les périmètres avec des qualités différentes en fonction de la nature du sol jusqu'au réservoir aval de Ghedir El Kelba. Ce complexe valorisant les eaux salées du Mellègue et de la Medjerda, est géré par les services de l'Agriculture de Jendouba.

## - **Le transfert des eaux usées traitées**

Les mégapoles du Grand Tunis, de Sousse et de Sfax, ne disposent pas de terrains agricoles suffisants à proximité de leurs stations de traitement de leurs eaux usées afin de pouvoir recycler ces eaux et les traiter pour l'irrigation.

Les eaux usées du Grand Tunis sont traitées à Choutrana, Meliane-Sud, et les deux complexes de Sejoumi (el Attar et el Allef). Ces eaux doivent être transférées vers le sud, jusqu'à la plaine du Fahs en vue d'irriguer une superficie d'environ **40 000 ha**.

Les eaux usées traitées du grand Sousse seront transférées vers Msaken et celles de Sfax vers Hajeb el Ayoun. Ces transferts nécessiteront aussi la mise en place de plusieurs réservoirs de stockage, de régulation et de maturation afin d'améliorer la qualité de l'eau et de faciliter sa gestion en économisant l'énergie nécessaire.

### **II-3 Amélioration des avantages et des performances du transfert en eau**

Le transfert en eau assure une fonction stratégique, à travers la valorisation des eaux de crues stockées dans les barrages, et ce en leurs assurant une meilleure répartition à travers les différentes régions du pays. Ceci permet ainsi, d'améliorer la qualité de l'eau à travers la valorisation des eaux chargées en sel. Le mélange de l'eau en vue de diminuer sa salure qui est néfaste pour l'irrigation et insupportable pour l'eau potable, assure une meilleure gestion intégrée des eaux souterraines et de surface à travers cette possibilité de substitution. Le réseau national de transfert permet de soulager la pression sur les nappes pendant les périodes d'excédent de stocks en eaux de surface et leur stockage dans les aquifères afin de reconstituer leurs réserves souterraines, en prévision de leur surexploitation en années à pluviométrie et ruissellement déficitaires.

La gestion des ressources en eau de la Tunisie ne se conçoit que dans le cadre de l'intégration de l'ensemble des disponibilités en eau et à travers des interconnexions permettant de corriger les déficits locaux et la dégradation de la qualité chimique de l'eau. Ainsi, le transfert de l'eau d'une région à l'autre du pays est primordial dans cette gestion. Ce transfert offre une souplesse dans l'aménagement et une optimisation dans les usages. Il est important de relier les principales ressources en eau du pays, par l'extension du réseau de transfert et en le rendant de plus en plus dense et interconnecté. La réalisation de réservoirs de stockage le long du canal et des adductions de transfert permet de mieux faire fonctionner les infrastructures onéreuses du transfert le long de l'année et durant les heures creuses de la STEG afin de profiter ainsi, d'une tarification avantageuse de l'énergie.

Le transfert programmé dans le cadre d'une gestion intégrées des eaux de surface et souterraines, permet au pays de dépasser les périodes de forte demande en eau et allège la surexploitation des nappes. Ceci permet de valoriser les eaux des crues normales et exceptionnelles et d'assurer une répartition équitable de la richesse et de la pénurie.



### ALIMENTATION EN EAU POTABLE (URBAINE ET RURALE)

---

#### I LA SONEDE ET LA DESSERTE EN EAU POTABLE EN TUNISIE

En 2012, les taux de couverture de desserte en eau potable urbaine et rurale agglomérée ont atteint respectivement, les 100 % et 95 %. Le nombre d'abonnés à la SONEDE a dépassé les **deux millions** d'abonnés, alors que les AIC/GIC/GDA (entités ayant pour objet la gestion de l'eau en milieu rural: Association d'Intérêt Collectif, Groupement d'Intérêt Collectif, Groupement de Développement Agricole) ont pu étendre leurs services à plus de **2,55 millions d'habitants**. Cette large couverture a été facilitée par une structure tarifaire progressive permettant l'accès à l'eau potable pour les ménages à faibles revenus.

Le diagnostic de la situation a permis d'effectuer une analyse critique et l'identification des limites ainsi que les problèmes émergents ou latents afin que la SONEDE puisse poursuivre son action au cours des prochaines années et d'être en mesure de faire face aux défis à venir.

La SONEDE aura à faire face à des exigences de plus en plus sévères concernant l'amélioration de la qualité de service, la continuité et la durabilité de l'approvisionnement en eau potable. Ceci impose de lourds investissements pour la sécurisation de l'approvisionnement, particulièrement dans le cas des mégapoles.

Le savoir-faire de la SONEDE est un grand avantage. Il s'enrichit de plus en plus par la diversité de la matière, puisée dans le patrimoine national des connaissances et par l'apport de l'expérience des pays similaires disposant de traditions de gestion de la technologie dans les domaines de l'exploitation et de la distribution de l'eau potable et de l'assainissement. Ce savoir-faire couvre tout le circuit de l'eau depuis sa mobilisation à l'amont jusqu'à son traitement à l'aval.

Ce savoir-faire a été encore consolidé par son adaptation aux conditions spécifiques de chaque région du pays et par la capacité d'assimilation et de créativité des cadres et agents de l'entreprise. Le niveau de formation s'est beaucoup amélioré grâce aux relations établies par la SONEDE avec les institutions de la recherche.

La SONEDE doit assurer la couverture du service et le suivi du développement urbain et économique du pays, tout en assurant à temps, l'approvisionnement en eau potable à tous ceux qui en demandent et au moindre coût.

Une réduction du niveau de salinité de l'eau potable s'avère une priorité de plus en plus exigée. Dans une première étape, la SONEDE va devoir fournir sur l'ensemble de son réseau; une eau dont la salinité est inférieure à 2g/l, ce qui nécessitera une désalinisation coûteuse dans certaines zones.

La SONEDE doit assurer le renouvellement et l'extension de son réseau. Les ouvrages hérités de l'époque antérieure à sa création ainsi que les ouvrages réalisés par elle-même durant les premières années de son existence, accusent une certaine vétusté et certains parmi eux, sont déjà largement amortis et nécessitent le renouvellement et l'augmentation de capacité.

Ceci est particulièrement le cas pour les réseaux vétustes en fonte grise et les branchements en plomb dont sont équipés les réseaux des principales anciennes agglomérations urbaines. Toutes ces actions dont la tranche prioritaire constitue une urgence, nécessiteront des investissements conséquents. A titre d'exemple la SONEDE estime le besoin de renouvellement dans le Grand Tunis pour les 10 prochaines années à venir, à **52 millions de dinars** (dont 18 MDT pour la tranche prioritaire).

Des études approfondies sont nécessaires pour l'optimisation des choix techniques, la complexité des nouveaux problèmes inhérents à l'approvisionnement en eau (l'interconnexion enchevêtrée du réseau hydraulique national, la complexité et l'importance du comptage, le suivi et l'étude des fuites) et l'actualisation des plans directeurs. Ces études, tout en s'assurant de la qualité de l'analyse, doivent profiter au maximum des innovations technologiques.

La planification des projets ainsi que les bases nécessaires à leur dimensionnement, seront mieux optimisées lorsqu'elles sont basées sur des études de plans directeurs d'alimentation en eau potable. La SONEDE aura à doter toutes les villes (ou groupes de villes) du pays, de plans directeurs d'alimentation en eau potable.

La SONEDE doit également élaborer des études de réflexions stratégiques et des études relatives aux principaux aspects de la gestion des réseaux. En effet, la phase de réalisation des projets est en train de diminuer d'ampleur alors que les problèmes de gestion, de maintenance et la complexification des aspects financiers et techniques prennent de plus en plus d'importance. Ceci va amener la SONEDE à engager une réflexion sur sa structure elle-même et à tracer une nouvelle stratégie définissant les actions à mener et le degré de spécialisation qu'elle doit avoir.

Les gîtes où l'intervention est opportune sont multiples et diversifiés, mais souvent inter-liés, nécessitent des études laborieuses approfondies et précises et demandent un programme analytique avec de nombreuses actions. Une dynamique de rénovation motivante devrait être assurée à la SONEDE afin de permettre d'engager le processus et de réussir l'identification des gîtes les plus opportuns.

Afin de conserver la qualité reconnue dans la réalisation des projets de la SONEDE, il faudrait que la banque des études de la SONEDE soit toujours bien fournie avec des études de qualité réalisées à l'aide de données de base crédibles et suffisantes. La SONEDE veillera à la qualité et fixera les grands principes et les principales approches méthodologiques pour conserver un niveau répondant à sa tradition et traduisant la rareté et la valeur de l'eau en Tunisie.

La SONEDE doit donc élaborer plus d'études traitant des principaux aspects de la gestion pour disposer de plus de moyens pour pouvoir affronter les défis.

Au niveau des perspectives d'avenir, le niveau d'activité de la SONEDE assurant la charge d'alimenter l'ensemble du pays en eau potable, devient très élevé et le sera encore plus à l'avenir. En 2005, la consommation de l'eau potable qui était de 325 millions de m<sup>3</sup>/an et ne représentait que 10 % de l'ensemble des utilisations de l'eau. En 2010, 2020 et 2030, elle atteindra respectivement 380, 450 et 500 millions de m<sup>3</sup>/ an, ce qui correspond à des pourcentages respectifs de 14 %, 16 % et 18 % de la totalité des utilisations. Il est prévu, qu'à l'horizon 2030, le nombre d'abonnés de la SONEDE atteigne les 2,6 millions et le volume d'eau consommé dépasserait les 500 millions de m<sup>3</sup>. Depuis sa création, la SONEDE a multiplié par sept le nombre de ses abonnés pour dépasser maintenant le chiffre de deux millions et demi.

La ressource en eau qui était plus proche et accessible, est actuellement sujette à plus de traitement avec un transport plus long pouvant atteindre des centaines de km.

La façon de vivre des abonnés a subi une transformation radicale dans le monde urbain et le monde rural, imposant ainsi une consommation plus fournie et des exigences sur la qualité de l'eau.

Après avoir atteint les objectifs de quantité, la SONEDE doit dans les années à venir répondre aux besoins de qualité et de sécurité de l'approvisionnement de sorte que les défis les plus importants qui l'attendent sont les suivants :

- faire face à des coûts de ressources en eau de plus en plus élevés en raison de transferts plus longs;

- l'adoption du dessalement en vue d'augmenter les ressources mais aussi pour améliorer la qualité des eaux;
- assurer la sécurisation de l'approvisionnement, notamment pour les grands centres urbains;
- assurer le renouvellement, la réhabilitation et l'extension des capacités de l'infrastructure existante;
- assurer l'alimentation du milieu rural et des quartiers périurbains;
- répondre aux besoins de qualité qu'exige une clientèle de plus en plus avisée;
- régler les problèmes du sureffectif et la gestion des ressources humaines;
- assurer la gestion de la demande;
- moderniser la gestion de l'entreprise (SONEDE);
- assurer l'autonomie et les outils de gestion;
- assurer la résorption du retard enregistré dans la mise en place des nouvelles technologies de l'information (NTIC) et les nouveaux outils de gestion.
- offrir un service aux moindres coûts ;
- instaurer une tarification/recouvrement des coûts et leur mode de régulation ;
- garantir le financement du secteur à l'avenir;
- résorber les longs délais de réalisation de projets qui empêchent un phasage plus serré dans leur réalisation et par conséquent une meilleure utilisation des ressources financières;
- assurer la gestion des extrêmes climatiques du pays (sécheresse et inondations) ;

## **II. EAU POTABLE URBAINE**

Le secteur de l'eau potable en milieux urbain et rural et l'assainissement constitueront pour longtemps en Tunisie, une préoccupation majeure.

L'eau potable saine et l'assainissement sont essentiels pour le développement économique et social du pays et primordiaux pour la santé. C'est pourquoi ce secteur doit être toujours classé parmi les premières priorités de toute politique de développement économique..

Ainsi, l'accès à la desserte de façon permanente, d'une eau potable saine doit rester aisée à travers l'ensemble du pays et même dans les zones d'accès difficile et ne disposant pas de ressources en eau locales suffisantes comme les zones montagneuses ou sahariennes. Les services de l'eau potable doivent être fournis à la population malgré la rareté de la ressource en eau, l'aridité du climat, et la lourde charge des moyens financiers requis.

La maîtrise des extrêmes climatiques, sécheresses et inondations, nécessite la programmation des interventions à temps, dans les zones sensibles et vulnérables. Les solutions envisagées court terme, doivent s'intégrer dans une vision de long terme pour l'approvisionnement en eau potable. Cette approche une fois réussie, aidera à gérer les crises tout en permettant de disposer d'un temps suffisant pour optimiser le choix des meilleures solutions et de disposer - suite aux manifestations des extrêmes climatiques- de fonds nécessaires sans pour autant priver les bénéficiaires d'un service minimum durant la période des crises.

### **III. L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE DANS LE MILIEU RURAL**

La couverture de la zone rurale en Tunisie par la desserte en eau potable au taux de 91 %, a eu un impact très positif sur la santé de la population, ainsi que sur le développement intégré de l'espace rural. Autour de chaque point d'eau ainsi créé, s'est développé le noyau d'une agglomération. Par ailleurs, la participation à la gestion collective de la desserte en eau a renforcé dans ce milieu rural, l'esprit communautaire et a impulsé la création de micro-entreprises de maintenance et d'entretien.

L'alimentation en eau potable diffère dans le milieu rural, entre le milieu rural aggloméré et le milieu rural semi ou totalement dispersé. Le milieu rural aggloméré est traité comme l'espace urbain et il est alimenté par la SONEDE, même si cela constitue pour elle une charge de plus en plus lourde. Pour le milieu rural dispersé, une approche participative par la création d'associations à intérêt collectif «AIC», (groupées en Groupement d'Intérêt Collectif, GIC) a été mise en place. Ces associations sont connues actuellement sous la dénomination de Groupements de Développement Agricole (GDA). Même si ces structures présentent certaines faiblesses, elles ont le mérite d'avoir permis d'alimenter le milieu rural dispersé en eau potable, sans l'intervention directe de la SONEDE.

### III-1 Système spécifique pour le milieu rural

Avec le développement des projets de l'eau potable dans les zones rurales, il a été procédé à partir des années 80, à la multiplication des AIC/GIC/GDA pour assurer la pérennité du fonctionnement des infrastructures réalisées dans les zones rurales.

Les opérateurs qui réalisent les infrastructures d'alimentation en eau potable sont la SONEDE et la Direction Générale du Génie Rural et de l'Exploitation des Eaux (DGGREE). L'exploitation des ouvrages étant assurée par la SONEDE et les AIC/GIC/GDA. Le nombre des groupements AIC/GIC/GDA a évolué de 100 en 1987, à 2809 en 2005, dont 1610 pour l'eau potable, 1075 pour l'irrigation et 124 mixtes (eau potable et irrigation).

La réussite du secteur de l'AEP (Alimentation en Eau Potable) rurale, secteur complexe par la multitude de projets très diversifiés répartis à travers le pays et parfois dans des zones d'accès difficiles, est due à l'efficacité de la stratégie adoptée par le DGGREE. Cette stratégie a permis d'harmoniser et de synchroniser les activités des différents acteurs (bureaux d'études pour l'élaboration des études, entreprises pour la réalisation des travaux et les AIC/GIC/GDA pour l'exploitation). La DGGREE a joué un rôle clé dans la création, la mise en place et l'encadrement des AIC/GIC/GDA.

Plusieurs bureaux d'études, entrepreneurs et petites sociétés de services ont été encouragés par le DGGREE et se sont constitués à l'occasion du démarrage des projets d'approvisionnement en eau potable rurale. Ces acteurs ont contribué, dans une large mesure, à la réussite de cette action qui a permis d'améliorer les conditions de vie des populations dans le monde rural.

En 2005, le nombre des points d'eau alimentant les projets d'eau potable rurale a atteint **932 points** dont **284 forages profonds** et **114 puits de surface**. Les autres sont sous forme de piquages sur des réseaux SONEDE ou de la DGGREE et à partir de sources naturelles.

Les zones faiblement desservies se situent surtout dans les zones montagneuses du Nord-Ouest à cause de l'insuffisance du potentiel hydrique des nappes aquifères locales ou à cause du tarissement fréquent des sources locales pendant la période estivale et pendant les années de sécheresse. Cette situation nécessite l'utilisation d'importants réservoirs de stockage d'eau pendant la période hivernale ou l'amenée de l'eau par transfert et pompage sur de longues distances. Dans les deux cas, le traitement de la problématique s'avère obligatoire.

La SONEDE a procédé au démarrage de la réalisation de grands axes traversant les zones montagneuses du Nord entre Jendouba, Beja et Bizerte et reliant les barrages du Nord, pour assurer la desserte de l'ensemble d'une population rurale atteignant **un million** d'habitants

répartie dans les zones montagneuses du Nord et ne disposant pas de ressources hydrauliques suffisantes.

Certaines zones situées dans le Sud, le Centre, et le Cap Bon, disposent de ressources en eau chargées en sel ou en fer et nécessitent un traitement spécifique pour diminuer la salure ou la quantité de fer. La SONEDE et le Génie rural ont réalisé plusieurs projets pilotes pour permettre la maîtrise du problème de la desserte en eau dans ces zones.

Les ressources en eau constituaient des contraintes dans les zones difficiles. Les études de prospection hydrogéologique menées par la DGRE ont contribué à identifier les nappes susceptibles d'être exploitées pour subvenir aux besoins des projets en question.

La révision à plusieurs reprises, du statut des AIC/GIC/GDA a permis de responsabiliser de plus en plus les comités de gestion de ces institutions et d'améliorer le taux de recouvrement et son efficacité dans le fonctionnement.

La prise en charge par l'Etat du coût des réparations majeures (remplacement du forage, remplacement des groupes électropompes etc...) a permis une perception positive des systèmes des AIC/GIC/GDA et l'adhésion des bénéficiaires. Par ailleurs, l'assistance et la tutelle du DGGREE largement représentée dans les régions par ses arrondissements au sein des CRDA, constitue pour les AIC, une assurance et une protection.

Le milieu rural aspire en définitif, à un service répondant aux standards de la SONEDE. Les groupements (GDA) rendent actuellement de grands services à travers leur gestion des projets d'alimentation en eau dans le milieu rural. Après la phase de desserte en eau potable par des bornes fontaines ayant permis d'atteindre un taux de 91% de couverture, le milieu rural aspire à avoir un service selon les standards de la SONEDE, notamment en ce qui concerne le raccordement individuel.

Actuellement, les investissements dans le domaine de l'approvisionnement en eau potable rurale sont pris en charge par l'Etat. La réhabilitation et surtout la mise à niveau selon les standards de la SONEDE des ouvrages gérés par les GDA avant intégration du réseau SONEDE, sont dans la majorité des cas, prises en charge par l'Etat. Malgré cela, l'intégration de ces systèmes dans le réseau de la SONEDE est de nature à augmenter le coût de revient de l'eau et risque d'être une lourde charge pour cette entreprise dans la mesure où des réajustements tarifaires n'accompagnent pas cette politique.

Une réflexion sur le devenir des Groupements et sur le rôle de la SONEDE en milieu rural à long terme, s'impose en corrélation avec le développement de l'urbanisation dans l'espace rural.

Une stratégie identifiant les programmes et les coûts doit être élaborée pour la prochaine décennie en vue d'assurer une intégration progressive et harmonieuse des GDA dans le réseau de la SONEDE.

L'approche participative a permis à la population, dans le domaine de l'eau potable rurale, de s'approprier le système mis en place. Cette appropriation s'est soldée par l'exploitation opérationnelle des systèmes mis en place et la fourniture d'eau potable à la population rurale concernée.

Le mode de gestion collectif de l'eau potable par les AIC/GIC/GDA dans le milieu rural, a consolidé la cohésion sociale ainsi que l'esprit communautaire associatif et a renforcé la mutualisation des infrastructures et des équipements. Les bénéficiaires sont directement impliqués dans la gestion des installations. Ils prennent en charge les frais d'exploitation et en partie les frais d'entretien. Toutefois, reste posé le problème de recouvrement des coûts de la maintenance et du renouvellement. Le taux de recouvrement s'améliore et la distribution par branchement particulier se pratique de plus en plus.

Le personnel d'exécution percevant un salaire, comme les pompistes, les techniciens et les comptables, travaille sous la responsabilité et le contrôle du comité du l'AIC/GIC/GDA élu par l'assemblée des bénéficiaires. Les opérations d'entretien de maintenance et de la réparation de l'équipement sont généralement confiées aux petites entreprises privées dont le nombre s'est multiplié suite à l'extension des projets d'eau potable dans le milieu rural.

Les bénéficiaires sont impliqués dans le projet dès sa conception, ils participent par le biais de leurs représentants, aux choix de l'implantation du réseau à la définition du système de distribution et à la fixation de quotas de participation ce qui consolide l'appropriation du système.

### **III-2 Limites et problèmes émergents du système actuel**

#### **- Alimentation rurale et standards de la SONEDE.**

Les GIC/GDA rendent de grands services pour l'AEP rurale. Après la phase de desserte en eau potable par des bornes fontaines ayant permis d'atteindre un taux élevé de 91% de couverture, le milieu rural aspire maintenant, à avoir un service répondant aux standards de la SONEDE, notamment en ce qui concerne le raccordement individuel.

- **Ressources insuffisantes.**

Les GIC/GDA sont généralement de très faible taille et ont de faibles ressources financières et humaines. On relève que 69% des GIC/GDA font un chiffre d'affaires inférieur à **6000 Dinars/an**; soit moins de 500 Dinars par mois. Ils fonctionnent surtout grâce au bénévolat. Les tarifs pratiqués - souvent plus élevés que dans l'urbain - ne sont pas en mesure de couvrir les frais d'entretien, de renouvellement et d'extension de capacité.

- **Eau potable rurale et tarification.**

Actuellement, les investissements en eau potable rurale sont pris en charge par l'Etat. L'intégration de ces systèmes à la SONEDE est de nature à augmenter le coût de revient de l'eau et risque, si les réajustements tarifaires n'accompagnent pas cette politique, d'être une lourde charge pour la SONEDE elle-même.

Une réflexion sur le devenir à long terme des GIC/GDA et le rôle de la SONEDE en milieu rural, s'impose en corrélation avec le développement de l'urbanisation de cet espace.

Une stratégie identifiant les programmes et les coûts doit être élaborée pour la prochaine décennie en vue d'assurer une intégration progressive et harmonieuse des GIC/GDA à la SONEDE.

- **Problème de l'assainissement rural**

Avec le développement des branchements individuels d'alimentation en eau potable, le problème d'assainissement va progressivement devenir sérieux en milieu rural, à l'instar de ce qui s'est passé en milieu urbain. Sur le plan institutionnel, l'assainissement rural ne relève pas des prérogatives de l'ONAS qui y intervient actuellement d'une façon ponctuelle pour le compte de l'Etat. L'ONAS a élaboré une étude sectorielle de la stratégie en assainissement rural (1999) qui a identifié une première tranche de 30 centres ruraux. Il a réalisé un projet pour 4 centres pilotes et envisage d'équiper 12 autres centres ruraux.

L'ONAS assure provisoirement, l'exploitation des ouvrages des 4 premiers sites. Son intervention est à titre pilote et une solution définitive doit être trouvée pour ne pas alourdir ses charges. En effet, l'ONAS ne peut facturer la redevance d'assainissement pour le milieu rural.

• **Consolidation de l'approche participative.**

La population concernée par l'alimentation en eau potable atteint dans le milieu rural, en 2006, les **3,2 millions** d'habitants dont la moitié est desservie par la SONEDE. L'autre moitié

opère à travers des groupements d'intérêts collectifs (GIC) dont le rôle s'affirme de plus en plus. Ces institutions demandent une consolidation permanente. On estime que le nombre de la population rurale desservie se maintiendra dans sa fourchette actuelle, au cours des vingt prochaines années.

La desserte en eau potable constitue dans le milieu rural, un facteur essentiel du développement économique et social. L'eau potable rurale se caractérise par le niveau élevé de l'investissement et par le risque du non pérennisation de ces investissements dans la mesure où ils ne répondent pas aux attentes et souhaits des bénéficiaires.

A cet effet, la stratégie adoptée dans ce domaine fut basée sur l'approche participative, ce qui a motivé la population à s'approprier les systèmes mis en place. Cette stratégie a permis de nettement améliorer le taux de desserte en milieu rural (91 % en 2006) sans trop alourdir les finances de la SONEDE. Il est par conséquent recommandé de maintenir cette approche et de la consolider en encourageant les groupements concernés à assurer, chaque fois que ceci est possible, la mutation du passage du mode de distribution collective vers une distribution individuelle.

L'approche participative reste cependant fragile et a besoin du soutien de la part des structures de l'Etat. A cet effet, il est recommandé que les réparations majeures (remplacement de forages et leur équipement, remplacement des équipements des stations de pompages...etc. ) restent à la charge de l'Etat ainsi que la formation et l'encadrement du personnel de gestion. Les structures de l'Etat (DGGREE et CRDA) continueront à aider à la création des nouvelles GIC/GDA pour les nouveaux systèmes d'alimentation en eau potable rurale.

**- Zones d'habitats très dispersées.**

Les zones d'habitat très dispersé et peu dense et dont le coût d'investissement pour la mise en place d'un système d'AEP, dépasse une certaine valeur fixée par habitant (ex : 600 DT/hab.) continueront à être desservies par les moyens individuels en utilisant directement les points d'eau individuels ainsi que les citernes individuelles fixes et tractées etc. Ces zones regroupent environ 5 % de la population rurale totale.

Pour cette population, il est toutefois recommandé de développer un système de subvention et d'incitation financière pour l'encourager à avoir à sa disposition une eau en quantité suffisante et de qualité satisfaisante pour subvenir à ses besoins propres et aux besoins de son cheptel. Les services du DGGREE assureront l'encadrement technique pour la réalisation de ces ouvrages.

- **Encadrement sanitaire.**

L'encadrement sanitaire des installations individuelles d'alimentation d'eau potable continue à être assuré par les services du Ministère de la Santé Publique. L'encadrement comporte les analyses de la qualité de l'eau et la détermination des sources de pollution ainsi que la vulgarisation des méthodes de protection de l'eau (javellisation, protection des citernes par la chaux, éducation sanitaire...etc.).

- **L'eau potable rurale noyau du développement rural intégré.**

La plupart des projets d'eau potable rurales sont réalisés comme composantes principales **de projets intégrés de développement afin de permettre l'amélioration des conditions de vie** de la population (irrigation, plantation, formation....etc. ), ce qui déclenche une urbanisation accélérée à partir des points d'eau et l'amélioration des revenus des bénéficiaires. Ceci les prépare ainsi à mieux consolider leur groupement, afin d'avoir une distribution d'eau individuelle ou de pouvoir intégrer le réseau de la SONEDE et avoir la capacité de supporter la tarification.



#### I. IMPORTANCE ECONOMIQUE DES PERIMETRES IRRIGUES.

L'irrigation constitue en milieux aride et semi-aride, un apport d'eau additionnel indispensable à la plante qui stabilise sa croissance et augmente son produit ainsi que sa rentabilité pour l'agriculteur. L'emploi de cette approche agricole est très ancien en Tunisie. Elle s'est particulièrement développée avec l'arrivée dans le pays, des moresques. Après l'indépendance, la pratique de l'irrigation est conçue comme un moyen d'assurer l'indépendance alimentaire et le développement économique.

L'irrigation était essentiellement pratiquée à partir de l'eau des sources naturelles, de puits de surface, de barrages, et de l'épandage des eaux des crues des oueds, Elle est considérée comme un moyen d'assurer une production régulière, à haut rendement, et à haute valeur ajoutée. Les agriculteurs des zones côtières procèdent au captage par adsorption, de l'humidité de la brise marine en procédant à un labour approprié de leurs oliveraies gagnant ainsi l'équivalent de 50 mm de pluie (pluie occulte) dans les régions de Sfax et de Médenine.

Les périmètres irrigués produisent essentiellement les maraîchages, les fruits, les fourrages, les dattes et certaines cultures industrielles comme la betterave à sucre.

Le rendement augmente dans les périmètres irrigués, d'une façon accélérée, avec l'utilisation du fumier, des engrais chimiques, des semences sélectionnées. L'application des résultats de la recherche technologique et scientifique permet d'optimiser le rendement de la production. Cette accélération effrénée visant l'augmentation du rendement, maximalise les gains, mais s'accompagne de sérieuses menaces de l'équilibre écologique, dans la mesure où elle est pratiquée sans contrôle.

Le secteur irrigué couvre en Tunisie, une superficie **470 000 ha**, ce qui représente près de 6% de l'ensemble de la superficie agricole. Il participe à raison de 35% de la production agricole nationale de la Tunisie. Ce pourcentage peut atteindre 50% en respectant la vocation des terres en adoptant une exploitation efficiente de la ressource en eau, en s'appuyant sur les

résultats de la recherche scientifique et par l'application du paquet technologique adéquat, en assurant une organisation moderne du secteur.

Actuellement, la tendance dans la production des périmètres irrigués en Tunisie, est vers la spécialisation régionale qui optimise l'avantage des valeurs différentielles saisonnières climatiques et pédologiques : primeurs dans le Sahel et le long du littoral et dans le Sud du pays, pommes et poires à Sbiba (Kasserine) et au Kef, agrumes, fraises tomates et pommes de terre à Nabeul, maraîchers d'hiver et tomate à Sidi Bouzid et à Kairouan, dattes et primeurs géothermiques à Tozeur, Gabes et Kebili , lait, viande, céréales et maraîcher d'hiver ou d'été dans le Nord.

Les projets d'irrigation demandent de lourds investissements et ne sont amortis que sur le long terme. Leurs bénéfices directs ou indirects revêtent un aspect stratégique, mais ces projets comportent des risques spécifiques.

L'irrigation est tributaire de nombreux paramètres dont un grand nombre est fluctuant, ce qui fait qu'elle reste toujours améliorable par l'intervention sur ces différents paramètres. Par ailleurs, la maîtrise de l'irrigation nécessite la connaissance et la maîtrise de tous ces paramètres, ce qui demande pour agir une riche banque de données. Or la collecte de l'information, l'analyse et la publication de données, ne s'effectuent que sur une longue période et nécessitent plusieurs années. L'acquisition de ces données est coûteuse, ce qui fait que pour beaucoup de régions et pour plusieurs spéculations, les données disponibles étant rares, ne permettent pas l'élaboration d'éléments d'appréciation suffisants pour la prise de décision. Il en résulte qu'on est amené à prendre des risques en se fondant sur des hypothèses élaborées, tout en adoptant afin de minimiser les risques, la voie d'une approche itérative.

Le secteur de l'irrigué couvre en Tunisie, une superficie de 465 000 ha et consomme **2,14 milliards de m<sup>3</sup> par an** (données de 2012), dont 74% proviennent des nappes souterraines, 24% des barrages et 1% des eaux usées traitées. Le secteur de l'irrigation s'appuie essentiellement sur l'exploitation familiale des nappes souterraines phréatiques par le biais d'un nombre de puits de surface qui avoisine les 120 000 puits irriguant 150 000 ha (données 2012). Cette situation est à l'origine de la surexploitation des nappes qui ne cesse de s'intensifier suite à l'électrification de leur système de pompage. On constate ainsi durant les années 2011-2012, la réalisation non contrôlée de quelque milliers de puits sans autorisation accordée par les services du Ministère de l'Agriculture..

Les risques liés aux situations extrêmes du climat du pays (sécheresses et inondations), imposent de disposer d'un plan préétabli de gestion des périmètres irrigués, lors des pénuries, particulièrement en années de sécheresse, afin de pouvoir sauvegarder la capacité de

production des priorités agricoles ; ainsi que d'un plan de redémarrage pour le relancement du système de production agricole. Les expériences des autres pays ainsi que celles vécues par le pays durant les périodes de sécheresse antérieures (de 87-88-89 et 96 et 2002), constituent une banque de données précieuse.

La consommation en eau par hectare, est variable suivant les régions naturelles, la nature du sol et la spéculation agricole pratiquée. Elle est de **4000 m<sup>3</sup>/ha/an** dans le Nord (irrigation d'appoint à la pluie) pour atteindre **15000 m<sup>3</sup>/ha/an** dans les oasis du Sud, où elle devient une irrigation totale (la pluie y est souvent faible et ne dépasse que rarement les 150 mm par an). Cette situation de recours croissant à l'irrigation est constatée à Sidi Bouzid, dans le Cap Bon, et plus au sud de Sfax, où cela s'est traduit par le rabattement du niveau des nappes et la détérioration de la qualité chimique de leurs eaux.

Dans certaines régions comme le littoral (Nabeul, Sousse, Mahdia, Sfax, Gabès, Medénine) ou la Tunisie centrale (Sidi Bouzid, Kairouan, Kasserine), la compétition entre l'irrigation et l'eau potable est vive pendant les périodes de pénuries et elle provoque des conflits nécessitant souvent un arbitrage difficile, entre deux droits légitimes et quasi-équivalents. La minimisation des dégâts de chaque partie constitue la solution de compromis le plus souvent adoptée et acceptée par l'ensemble des parties.

Le progrès de la technologie enregistré dans la fabrication du matériel de pompage, des conduites d'adduction et de distribution, du matériel de l'irrigation par aspersion ou localisée, a beaucoup accéléré l'extension des surfaces irriguées pour qu'elles atteignent en 2012, les **420 milles ha**, tout en réalisant une importante économie dans l'utilisation de l'eau dépassant les 35% des volumes exploités.

Le coût du mètre cube en eau d'irrigation est très variable d'une région à l'autre du pays et dépend d'une multitude de facteurs dont principalement : le coût de l'énergie, les conditions climatiques, le type de cultures, le mode d'irrigation utilisé, l'emplacement de la ressource en eau et ses caractéristiques, ainsi que de la quantité d'eau utilisée. Ainsi, le prix de revient diffère avec chaque périmètre et chaque Groupement de Développement agricole (GDA) pratique un prix de vente particulier intégrant l'ensemble de ces variables.

## **II. DEFIS ET MENACES DE L'IRRIGATION**

Les principales causes de l'abandon de l'irrigation dépendent de l'un des facteurs suivants : le tarissement de la ressource en eau, ou l'augmentation de sa salure, l'augmentation du prix au-delà d'une certaine valeur de rentabilité, le faible rendement des cultures ou l'effondrement

des prix agricoles, la proximité ou l'envahissement des parcelles agricoles par les zones urbaines.

L'augmentation du coût de l'eau due à l'accroissement du prix de l'énergie est souvent due au rabattement excessif du niveau des nappes souterraines. Cet aspect augmente le prix de l'eau de l'irrigation de 30% environ ainsi que les prix de plusieurs autres intrants. La capacité de remboursement des agriculteurs non performants qui obtiennent des rendements insuffisants, ne permet pas le maintien de l'exploitation et il en résulte un abandon progressif, notamment chez les petits agriculteurs des anciens périmètres de Mejerda, de la Tunisie centrale et des oasis localisées à proximité des zones urbaines.

Plusieurs périmètres irrigués du pays sont envahis par l'espace urbain ou industriel. Le coût spéculatif du terrain décourage l'activité agricole et tous les moyens sont cherchés pour changer la vocation des terres agricoles. Les zones les plus exposées à ce phénomène sont les périmètres de la Manouba, l'oasis de Gabes (parties médiane et inférieure), Chott Mariam de Sousse, le périmètre de Nabhana à Monastir, les oasis de Kebili, Tozeur et Gafsa, Oued Derb de Kasserine, Teboulba, Zaouiet Kontech de Jemmal, Lahouech de Nabeul et Menzel Jemil de Bizerte.

Le drainage et le lessivage des terres sont essentiels pour le maintien de la productivité des périmètres irrigués, d'autant plus que les eaux d'irrigation en Tunisie sont chargées en sel et souvent négligées dans les oasis et les grandes plaines du Nord (plaines de l'Ichkeul, Kallat al Andalus et Utique à Bizerte, les Mouroujs Brahmi à Jendouba, les Mouatis à Medjez el Bab et les oasis de Tozeur, Gabes et Kebili). Les agriculteurs ne sont pas souvent organisés pour prendre en charge les travaux collectifs de drainage ; ce qui oblige les services de l'Agriculture (CRDA), à intervenir afin d'éviter les catastrophes.

Le drainage et le lessivage comptent parmi les principales faiblesses des périmètres irrigués en Tunisie et leur font perdre une partie importante de leur production. Heureusement que la dégradation irréversible du sol reste encore très limitée, vu la périodicité des grandes pluies qui assurent un profond lessivage du sol des périmètres irrigués

Les superficies irriguées nécessitent de lourds investissements tant pour leur équipement que pour la maintenance de leur productivité. La moyenne pour l'équipement d'un hectare est d'environ 20000 Dinars, non compris la mobilisation de la ressource en eau par barrages, qui est prise en charge en grande partie par la fonction de l'eau potable. En effet, l'irrigation est considérée comme un produit secondaire dans les projets de mobilisation de l'eau.

Les superficies irriguées ne cessent d'augmenter lentement en Tunisie, mais d'une façon continue. Elles nécessitent un entretien et une maintenance coûteuse, avec fréquemment le renouvellement de leurs équipements, à cause de leur obsolescence et dégradation. La ressource en eau est souvent le facteur limitant de l'extension de l'irrigation. Les nouvelles technologies introduites sur le matériel d'irrigation ne cessent d'augmenter son efficacité, tout en diminuant la part de la main d'œuvre dans les travaux. Elles permettent ainsi, de mieux homogénéiser l'irrigation et l'application des engrais, ce qui améliore en conséquence, la qualité du produit agricole. Enfin, l'exploitation des superficies irriguées nécessite le plus souvent, une gestion collective autonome, commune, concertée et organisée dont la défaillance se répercute négativement directement et rapidement, sur le rendement.

Dans les périmètres irrigués, la réussite de la production dépend de plusieurs conditions et l'excellence nominale à grande échelle, y devient donc rare. Par ailleurs, il a été constaté que l'agriculteur est dans toutes les régions du pays, très perméable au progrès technique, ce qui résulte de la généralisation de l'enseignement. Ainsi, l'agriculteur est plus réaliste pour cibler une réussite moyenne. Il est toujours fort nécessaire de disposer de projets pilotes d'excellence afin d'identifier concrètement, les repères du progrès faisable.

### **III. LES GRANDS ENSEMBLES DES PERIMETRES IRRIGUES EN TUNISIE**

#### **III-1 Les périmètres de l'Extrême Nord et de l'Ichkeul.**

Les périmètres irrigués de l'Extrême Nord et de l'Ichkeul sont relativement nouveaux et pratiquent l'irrigation de complément et utilisent une petite partie des eaux de bonne qualité (1 g/l de sel) des 14 barrages de la région (Zerga, Kebir, Moula, Sidi El Barrak, Sejnane, Joumine, Rhezala, Ziatine, Gamgoum, Herka, Douimis, Melah et Tine), des barrages collinaires et des nappes souterraines de Mekna de Nefza, Ouchtata et Ras Ain à Mateur.

Les périmètres irrigués de l'extrême Nord et de l'Ichkeul sont d'une superficie actuelle de **30 000 ha**, susceptible d'être étendue en deuxième phase, jusqu'à **50000 ha**, sur les piémonts et les dunes fossiles de ces deux régions. Ces périmètres occupent les plaines de Tabarka, Mekna, Nefza, Jamila, Ouchtata, Sejnane, Teskraia, Rhézala et Mateur. Leur consommation en eau par hectare, reste modeste (entre de 4000 à 3000 m<sup>3</sup>/an), à cause de la bonne pluviométrie dans la région. Les spéculations agricoles pratiquées se basent sur les céréales, le fourrage, le maraîcher, les agrumes, les fraises, les olives et les primeurs. Les rendements sont encore faibles par manque de capacité financière, d'encadrement, et d'organisation professionnelle.

Ces périmètres dont la production est en sommeil, constituent un futur potentiel important pour la Tunisie, d'autant plus que leur demande en eau par hectare, est faible et la main d'œuvre disponible est nombreuse. Leurs conditions climatiques sont identiques à celles de l'Andalousie et de la Sicile qui constituent le jardin de l'Europe. Ces périmètres constitueront une réserve de production du lait, de la viande, des agrumes et de primeurs. Ils sont stratégiques pour le pays, dans une région qui manque d'un plan de développement intégré moderne et ambitieux (routes. agro-industries : laiteries, conserveries, usines de conditionnement. Instituts de recherche. etc .. ).

### **III-2 Les périmètres irrigués du Nord.**

Les périmètres irrigués du Nord sont d'une superficie de **88 000 ha**. Ils utilisent les eaux des barrages de la Medjerda et de ses affluents, celles des nappes de Gardimaou et de Bella Regia. Ces périmètres occupent les plaines de Gardimaou, oued Melliz, Saada, Jendouba, Bou Salem, Sidi Smail, Testour, Medjez el Bab et El Herri, Arrousa, Sarrath, Abida, Zouarine, Sers, Nebeur, Zafrane, Gaafour, Bouarada, Goubellat et Arroussia. Comme les eaux des affluents de la rive droite de la Medjerda sont relativement salées par rapport à celles de la rive gauche, le système d'irrigation procède au mélange de l'eau avec un système de réseaux de drainage des plaines plates de Mouroujs ,de Souk Essebt et de Brahmi. La création de la laiterie de Bou Salem a bien dynamisé le secteur, sans qu'il n'arrive à tourner à sa pleine capacité. A cause de la faiblesse de la capacité de financement, de l'absence de l'agro-industrie dans la région et du manque de l'innovation, plusieurs périmètres sont tout le temps menacés par les inondations et la remonté de la nappe.

### **III-3 Les périmètres irrigués de la basse vallée de la Mejerda**

Les périmètres irrigués de la basse vallée de la Mejerda étaient précédemment irrigués par le Mellègue dont les eaux sont chargées (salure moyenne de 3g/l). Après la construction du barrage de Sidi Salem, la situation s'est relativement améliorée avec des eaux dont la salure moyenne de 1,4 g/l. Le réseau de distribution des eaux vétuste est actuellement, en cours de réhabilitation par tranches. Cet important périmètre, situé à proximité de la mégapole du Grand Tunis, devra être modernisé et doit être protégé contre l'envahissement de l'urbanisme anarchique et les inondations au niveau de Djedaida, Tébourba et Utique

### **III-4 Les périmètres du Cap bon et Zaghouan**

Les périmètres irrigués de Nabeul, Mornag et Zaghouan ont une superficie de **64 000 ha**. Ils sont irrigués par des ressources en eau locales limitées et par le transfert des eaux du Nord. Leur production agricole est pratiquent polyculture intensive basée sur les agrumes les raisins,

l'arboriculture et les maraîchers alimentant le marché de gros de Bir Kassa (Tunis). Cette région participe pour la satisfaction de la demande nationale, par le plus grand pourcentage..

Les agriculteurs de cette région sont mieux organisés que ceux des autres régions et disposent de moyens financiers plus importants; ainsi qu'une plus grande concentration d'unités agro-industrielles, ce qui explique et justifie le rapide et continue développement agricole de cette région où l'eau est bien valorisée. Cette région accusant un développement sans cesse croissant, demande de plus en plus de transfert de ressources en eau en vue d'augmenter sa superficie irriguée et produire plus. Cependant, la zone intérieure de Zaghuan se développe moins vite, car les ressources de la plaine du Fahs sont limitées et un transfert des eaux usées du grand Tunis est en mesure d'y créer d'importantes zones d'irrigation le long du parcours de la canalisation entre Tunis et le Fahs.

### **III-5 Les périmètres du Sahel et Sfax**

Les périmètres irrigués du littoral sahélien utilisent des ressources en eau locales limitées et chargées en sel ainsi qu'un apport en eau extérieur à partir du barrage de Nebhana (Kairouan). Ils ont une superficie de **25 000 ha** et pratiquent des cultures intensives de primeurs particulièrement des maraîchers. Les cultures irrigués de primeurs sous serre pratiquées dans le Sahel et Sfax, ont été à l'origine du lancement et de la modernisation des cultures intensives et de primeurs en Tunisie.

Le cas particulier du développement agricole de Mahdia est exceptionnel ; car il a été créé sans terres, un élevage de vaches laitières productives dont le fourrage est acquis des autres régions du Nord. Le facteur limitant de ce développement était l'eau potable et pour l'abreuvement des animaux, car les nappes locales ont des eaux chargées en sel et non consommable. Il a fallu à la demande pressante de population, que la SONEDE réalise le calibrage de sa conduite, pour satisfaire la demande en eau de la population et du cheptel. C'est la composante qui a assuré la pérennité du projet de l'élevage laitier

### **III-6 Les périmètres irrigués du Centre (Kairouan, Sidi Bouzid et Kasserine)**

La superficie en périmètres irrigués en Tunisie centrale atteint **138 000 ha**. Son irrigation se fait à partir des eaux des nappes souterraines et celles des barrages. L'irrigation est stratégique dans cette région à population dense et où la rareté de l'eau est plus grande et plus sévère. Ainsi, l'irrigation est le seul moyen pour la survie des cultures quand le pluvial ne produit rien.

La maîtrise des techniques d'irrigation modernes par la population qui était plutôt spécialisée dans l'élevage et la transhumance, a été très rapide, La production des périmètres irrigués y est importante et elle est à l'origine de richesses permanentes.

Cette production participe actuellement à la satisfaction de la demande en produits agricoles des centres urbains et des zones touristiques. Ainsi, des petits camions partent la nuit avec leur production, de Kairouan, Sidi Bouzid et Kasserine pour arriver au petit matin, aux marchés de gros de Tunis Sousse et Sfax.

Ce développement de l'irrigation a amélioré les conditions de vie de la population rurale dans la Tunisie centrale, mais a également fortement augmenté la pression sur les nappes aquifères souterraines. Afin d'assurer la durabilité de fonctionnement de ces aquifères, il est important de diminuer le transfert à partir ces régions vers le littoral, le recours au dessalement ainsi qu'au transfert des eaux du Nord, l'intensification de la recharge artificielle des nappes de cette région et la maîtrise des eaux de crues et leur injection dans les aquifères souterrains. Ce sont particulièrement la modernisation de l'irrigation, le choix des cultures les plus rémunératrices et le plus adaptées aux conditions de la rareté de l'eau qui permettent de valoriser au maximum dans cette région, le mètre cube d'eau.

### **III-7 Les périmètres irrigués des Oasis de Gafsa, Tozeur Kebili**

La superficie des périmètres irrigués de Gafsa, Tozeur et Kebili est estimée à **54 000 ha**. Leur production est essentiellement orientée vers les dattes et les primeurs géothermiques. Plusieurs projets de sauvegarde et de rénovations sont périodiquement entrepris dans les oasis et plusieurs initiatives d'extension des superficies irriguées se réalisent par des privés en vue de produire plus de dattes « deglet ennour » qui se vend facilement et apporte au pays des devises. Cette situation est à l'origine d'une forte pression sur les nappes dont les eaux sont pour l'essentiel, fossiles (Complexe Terminal et Continental Intercalaire) ; ainsi que sur les aquifères phréatiques.

Ce phénomène est encore plus ressenti qu'il est également généralisé à l'Algérie et la Lybie, exploitant en commun les mêmes nappes.

La prolifération des puits illicites se fait plus généralisée et les enquêtes menées par les services du Ministère de l'Agriculture sont continuellement actualisées afin de mesurer l'ampleur des dégâts. L'actualisation de la délimitation des oasis et la poursuite du suivi des nappes des Oasis sont des actions urgentes, de même que les différentes actions de réaménagement des anciennes oasis où la consommation en eau précieuse et coûteuse ne donne qu'une production modeste.

### III-8 Les périmètres irrigués de Gabes Mednine et Tataouine

La superficie irriguée dans les gouvernorats de Gabes, Mednine et Tataouine est estimée à **25 000 ha**. Son irrigation se fait à partir des eaux des nappes de la Djeffara, du Complexe Terminal, du Continental Intercalaire et de plusieurs autres aquifères secondaires dont principalement les nappes phréatiques. Les projets de sauvegarde et de renouvellement, ainsi que de création de nouveaux périmètres irrigués permettront de dynamiser l'irrigation dans ces régions du Grand Sud afin d'assurer les besoins de la région en produits agricoles ; ainsi que des produits à forte valeur ajoutée comme les primeurs et les dattes ou les grenades. Une unité laitière implantée dans cette région (Medénine) a permis l'intensification de l'élevage des vaches laitières dans les oasis de Gabes et d'El Hamma par la culture de la luzerne.

Les périmètres irrigués implantés le long du flanc oriental du Dhahar (Selsoul entre Tataouine et Déhibat), se présentent comme un bande longeant le Dhahar et bien protégée contre les vents de l'Ouest. Ces périmètres entrecoupés par les centres et les agglomérations urbaines des plaines du Sud (Bir Lahmar, El Ferch, Tataouine, Ain Dkouk, Bir Amir, Nekrif, Remada et Dhiba ), pratiquent les fourrages d'hivers et les primeurs.

L'élevage est important dans le Grand Sud dans les immenses parcours d'el Ouara et du Dhahar. Les points d'eau y constituent une composante essentielle et un facteur limitant l'exploitation de cette importante richesse qui advient après les pluies. La multiplication de ces parcours avec des points d'eau et de ravitaillement assurés en situation de sécheresse, constitue un moyen d'occupation et de valorisation du Grand Sud.



### BILANS RESSOURCES - BESOINS

---

#### I. CONFRONTATION RESSOURCES – BESOINS

Pour établir le bilan ressources-demande, l'année 2010 a été prise comme année de référence. La projection a été basée sur l'évolution des ressources en fonction des réalisations de la stratégie de mobilisation et de l'évolution de la demande des différents secteurs. Plusieurs notions ont été utilisées pour l'élaboration de ce bilan, tels que le potentiel en eau, les ressources mobilisées et les ressources régularisées.

Le potentiel en eau est défini comme la moyenne annuelle des ressources totales en eau conventionnelle (eau de surface et eau souterraine) et en eau non conventionnelle (Eaux usées et eaux dessalées).

Les ressources mobilisées correspondent aux volumes moyens annuels d'eau mobilisés par les ouvrages existants (grands barrages, barrages collinaires, puits de surface, forages, stations de traitement des eaux usées et stations de dessalement).

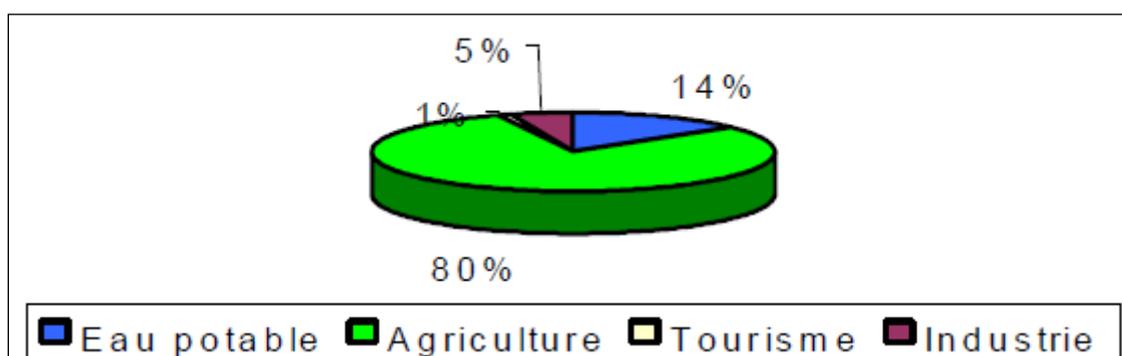
Les ressources régularisées correspondent aux ressources moyennes annuelles qui peuvent être exploitées pour répondre aux demandes des différents secteurs et tenant compte de la régularisation interannuelle des barrages et des ressources en eau souterraines exploitable, répondant à la demande en quantité et de qualité.

Le bilan des ressources/demandes en 2010 reste largement excédentaire avec une demande de **2689 millions** de mètres cube et des ressources conventionnelles exploitables de 3,09 milliards de mètres cubes, soit un excédent de 401 millions de mètres cube. Cependant, le recours au dessalement d'eau de mer ou d'eau saumâtre s'impose pour répondre aux besoins en eau potable du Sud Est du pays. En plus, la politique d'exploitation des eaux usées traitées devra se poursuivre, ainsi le volume d'eau exploité de cette ressource va passer de 2689 millions de mètres cube en 2010 à 2721 millions de mètres cube en 2020.

**Tableau 24: Bilan Ressources-Demandes en 2010**

RESSOURCE/ DEMANDE	Potentiel Mm <sup>3</sup>	Mobilisé Mm <sup>3</sup>	Exploitable Mm <sup>3</sup>	ANNEE 2010				
				BESOINS EN Mm <sup>3</sup>				
				Eau potable	Agriculture	Industrie	Tourisme	Total
Eaux conventionnelles	4670	3870	3090	372	2041	136	30	2579
Eaux non conventionnelles	400	210	210	9	100	0	1	110
<b>Total</b>	<b>5070</b>	<b>4080</b>	<b>3300</b>	<b>381</b>	<b>2141</b>	<b>136</b>	<b>31</b>	<b>2689</b>

**Figure 34: Structure de la demande en 2010**

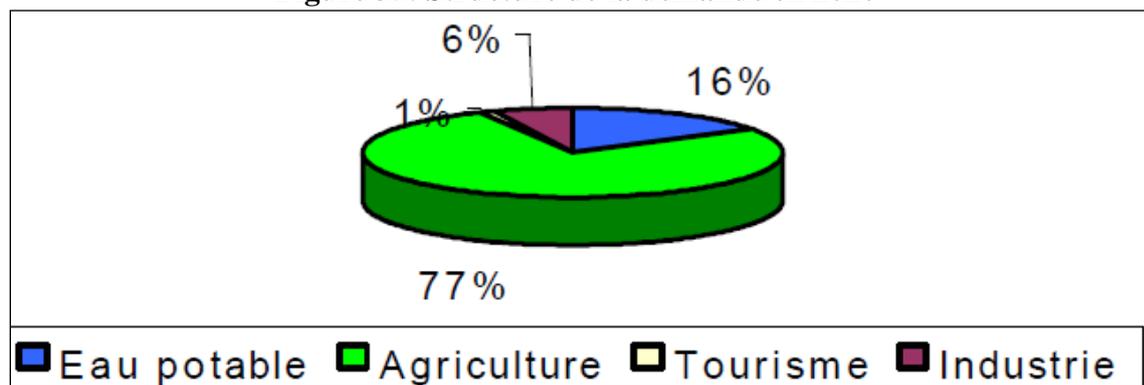


En 2020, la demande en eau reste encore inférieure aux ressources en eau conventionnelles exploitables. En effet, la demande totale sera de **2721** millions de mètre cube alors que la ressource exploitable n'est que de **2793** millions de mètres cube. Le dessalement des eaux de mer se développera pour atteindre **24** millions de mètre cube par an afin de répondre aux besoins en eau potable du sud-est du pays.

**Tableau 25 : Bilan Ressources – Besoins en 2020**

RESSOURCE/ DEMANDE	Potentiel Mm <sup>3</sup>	Mobilisé Mm <sup>3</sup>	Exploitable Mm <sup>3</sup>	ANNEE 2020				
				BESOINS EN Mm <sup>3</sup>				
				Eau potable	Agriculture	Industrie	Tourisme	Total
Eaux conventionnelles	4670	3790	2792	418	1953	164	32	2567
Eaux non conventionnelles	380	314	314	20	130	0	4	154
<b>Total</b>	<b>5050</b>	<b>4104</b>	<b>3106</b>	<b>438</b>	<b>2083</b>	<b>164</b>	<b>36</b>	<b>2721</b>

**Figure 35: Structure de la demande en 2020**



Au-delà de cette date, un déséquilibre va apparaître entre les ressources en eau conventionnelles régularisées et la demande en eau totale du pays, ce qui fait qu'à partir de cette date, le recours aux eaux non conventionnelles va prendre un rythme plus important.

En 2030, la demande sera supérieure aux ressources conventionnelles exploitables, cette demande est estimée à **2760** millions de mètres cube, alors que les ressources ne sont que de **2732** millions de mètres cube. Le dessalement d'eau de mer atteindra **46** millions de mètres cube et les eaux usées utilisées en agriculture s'élèveront à **140** millions de mètre cube.

**Tableau 26: Bilan Ressources- Besoins en 2030**

RESSOURCE/ DEMANDE				ANNEE 2030				
	Potentiel	Mobilisé	Exploitable	BESOINS EN Mm <sup>3</sup>				
	Mm <sup>3</sup>	Mm <sup>3</sup>	Mm <sup>3</sup>	Eau potable	Agriculture	Industrie	Tourisme	Total
Eaux conventionnelles	4670	3770	2732	451	1895	203	35	2574
Eaux non conventionnelles	440	389	389	40	140	0	6	186
<b>Total</b>	<b>5110</b>	<b>4159</b>	<b>3121</b>	<b>491</b>	<b>2035</b>	<b>203</b>	<b>41</b>	<b>2770</b>

L'évolution de la demande totale durant la période 2010-2030 est résumée dans le tableau suivant :

**Tableau 27: Evolution de la demande totale entre 2010 et 2030**

Années	2010	2020	2030
Eau potable	381	438	491
Eau d'irrigation	2141	2083	2035
Eau Touristique	31	36	41
Eau Industrielle	136	164	203
Total	2689	2721	2770

## **II. ACHEVEMENT DE LA MOBILISATION DE TOUTES LES RESSOURCES EN EAU DE SURFACE IDENTIFIEES MOBILISABLES**

La variabilité du potentiel en eau exige encore des investigations complémentaires afin de permettre une mobilisation additionnelle fiable.

Les conditions sont de plus en plus propices pour approfondir les connaissances sur les régimes en eau du pays (pluviométrie, eaux de surface et eaux souterraines), car les réseaux de mesures se sont densifiés et les données de base sont plus nombreuses et complètes. L'exploitation de la ressource en eau, tout en devenant plus sollicitée, est davantage sélective et la demande de plus en plus exigeante tant sur le plan de la qualité que celui des quantités, ce qui se répercute forcément sur le coût.

Cette situation a permis dans le cas de données initialement insuffisantes, de tester plusieurs hypothèses de départ, tout en faisant les projections plus fiables aux horizons 2030 et 2050, tant pour les conditions de mobilisation que celui de l'impact du changement climatique et de n'en retenir que les plus cohérentes avec les orientations du développement durable.

Pour l'horizon proche (2030) et dans le domaine de la mobilisation des ressources par de grands barrages, il y a lieu :

- d'achever dans les plus brefs délais les ouvrages en cours d'exécution ayant accusé un retard notable dans leur réalisation pour diverses raisons. (Sarrat, Melah, Douimis, Tine, El Kebir Gafsa) ;

- d'activer la poursuite des études d'exécution des barrages envisagés afin qu'ils soient opérationnels avant 2030 ; à savoir les barrages de Tessa, Mellegue amont, Beja, Eddir, Melah amont, Khanguet Zazia et Chafrou.
- d'accélérer l'achèvement des études de surélévation de certains barrages et d'engager leur réalisation au cours de la prochaine décennie. Ces barrages sont ceux de Bouheurtma, Ghezala, Sidi Saad et Nebhana (s'il est possible).
- lancer dorénavant et déjà, les études d'avant projets sommaires des nouveaux sites des barrages pour les générations futures qui seront opérationnels vers l'horizon 2050. Ces sites déjà inventoriés dans l'étude Eau 2050 (ITES, 2010), doivent être évalués et planifiés. Le tableau suivant donne l'évolution de la mobilisation :

Tableau 28: Barrages du Nord à l'échéance 2020

Région	Nom barrage	Gouvernorat	Sup. B.V. Km <sup>2</sup>	Apport annuel	Volumes régularisés	Apports minimums
Nord	Mellegue-54	Le Kef	10300,000	179,403	127,000	36,200
	Ben Metir-54	Jendouba	103,000	40,566	38,000	3,740
	Kasseb-68	Beja	101,000	45,548	34,000	7,840
	Sidi Salem-81	Beja	7950,000	666,605	348,000	94,288
	Bou Heurtma-76	Jendouba	390,000	118,408	75,000	8,388
	Joumine-83	Bizerte	418,000	117,044	74,000	10,865
	Ghezala-84	Bizerte	48,000	9,052	5,600	0,498
	Siliana-87	Siliana	1040,000	49,433	26,000	3,668
	Lakhmess-66	Siliana	127,000	10,959	4,600	0,860
	Sejnane-94	Bizerte	367,000	94,064	80,000	20,058
	Sidi El Barrak-99	Beja	865,000	168,500	166,580	38,870
	Zouitina-99	Jendouba	177,000	73,513	80,000	7,350
	Rmil-02	Siliana	232,000	58,000	7,000	1,610
	Zerga -05	Jendouba	59,700	22,000	16,000	2,700
	Kebir - (EC.)	Jendouba	85,200	39,900	24,000	3,900
	EL Moula- (EC.)	Jendouba	58,200	20,652	17,000	3,630
	Zatine-	Bizerte	95,000	23,600	16,000	6,580
	Gangoum- (EC)	Bizerte	35,500	9,000	6,000	2,310
	EL Harka- (EC)	Bizerte	76,900	25,000	7,000	2,590
	Douimis- (EC)	Bizerte	55,7	8,894	5	2,280
	Melah- (EC)	Bizerte	85,9	26	12	4,950
	Tine- (EC)	Bizerte	276,000	17,500	13,000	3,690
	Mellila- (P)	Bizerte	84,600	46,886	25,000	4,170
	Sarrat (EC)	Le Kef	1850,000	26,000	13,000	21,000
	Mellegue2(EE)	Le Kef	10100,000	170,000	107,000	195,000
	Tessa(EE)	Siliana	1420,000	37,250	24,000	46,000
	Beja(EE)	Beja	72,000	18,340	14,000	29,000
	Khalled(EE)	Beja	302,900	16,000	13,000	37,200
Eddir(EE)	Jendouba	20,600	7,500	8,000	13,000	
Chafrou(EE)	Manouba	217,000	7,000	5,000	7,000	
El Melah Amont(EE)	Beja	187,000	65,000	58,000	40,000	
<b>Total Nord</b>					<b>1448,780</b>	<b>659,235</b>
Cap Bon	Bezrik-59	Nabeul	75+11	3,843	3,400	0,179
	Chiba-63	Nabeul	64,000	5,111	3,700	0,159
	Masri-68	Nabeul	40+13	2,333	2,000	0,075
	Lebna-86	Nabeul	199,000	20,962	4,000	1,704
	Hajar	Nabeul	61,000	4,000	4,000	0,800
	Rmel-99	Sousse	675,000	18,194	16,000	2,230
	El Hma-02	Ben Arous	123,000	5,357	2,500	0,040
El Abid-02	Nabeul	54,000	4,479	2,500	0,500	
<b>Total Cap Bon</b>					<b>38,100</b>	<b>5,687</b>

Tableau 29: Barrages du centre à l'horizon 2020.

Région	Nom barrage	Gouvernorat	Sup. B.V. Km <sup>2</sup>	Apport annuel	Volumes régularisés	Apports minimums
<b>Centre</b>	Sidi Saad-81	Kairouan	8950,000	128,345	70,000	18,165
	El houareb-89	Kairouan	1120,000	29,671	34,000	4,270
	Sidi Yaich-97	Gafsa	1900,000	22,696	20,000	0,050
	El Breck-02	Kasserine	293,000	4,300	3,500	0,740
	Sficifa- 05	Kasserine	173,650	3,530	4,240	0,465
	Kebir-Gafsa (E	Gafsa	3100,000	34,000	14,000	24,000
	Kahguet Zazia	Kasserine	2182,000	40,000	22,000	32,000
<b>Total Centre</b>					<b>167,740</b>	<b>79,690</b>



#### I. SITUATION ACTUELLE

La création de l'ONAS en 1974, a permis l'établissement d'une nouvelle approche pour la gestion de l'assainissement en Tunisie. L'ONAS a enclenché un processus dynamique en créant un climat plus propice aux investissements et au développement continu d'un savoir-faire soutenu par les progrès de la technologie et par une gestion plus moderne ayant permis d'atteindre, en 2012, une couverture d'assainissement des cités urbaines du pays, d'un taux de 85%. L'ONAS a enrichi son savoir-faire dans le secteur de l'assainissement, en utilisant différentes techniques et plusieurs méthodes de gestion.

Suite au développement de la desserte en eau potable dans les milieux urbain et rural, le secteur de l'assainissement constitue en Tunisie, une préoccupation majeure. L'assainissement est primordial pour la santé, du fait que le recyclage des eaux usées est nécessaire pour la préservation du milieu. C'est pourquoi ce secteur a toujours été classé dans tous les plans nationaux de développement économique, parmi les priorités de la politique tunisienne.

L'accès à une eau saine et à des services d'assainissement adéquats sont parmi les besoins humains essentiels et indispensables au même titre que les médicaments et les vaccins. Les infections à transmission hydrique ont nettement baissé en Tunisie ces dernières années et l'Institut national de santé publique a montré qu'en 2001, les maladies infectieuses et parasitaires ne représentent pas plus que 3,5 % de l'ensemble des causes de décès. Il a été constaté une tendance à la baisse de la fréquence des diarrhées chez les enfants qui est passée de 15,6 % en 1987 à 3,6 % en 2002<sup>15</sup>. Le dernier cas de choléra déclaré en Tunisie remonte à 1986.

##### I-1 Couverture du pays par l'ONAS.

A la fin de 2012, sur une population urbaine totale de 6,7 millions d'habitants, le domaine d'activité de l'ONAS compte 5,8 millions d'habitants, soit 57,6% de la population totale et

87,8 de la population urbaine. Il est à rappeler que l'ONAS n'a pas vocation à prendre en charge les populations non urbaines. Une population de 813.000 hab. est encore sous la responsabilité des communes en matière d'assainissement.

Le taux de branchement est très fort dans les zones couvertes par les activités de l'ONAS (86,6%), alors que ce taux est relativement faible dans les zones communales qui ne sont pas inclus dans le réseau ONAS (4,9%). Environ 813.000 habitants en zone urbaine éparpillés entre 109 communes, ont un niveau d'assainissement très faible. L'organisation actuelle du secteur de l'assainissement montre bien qu'il se développe d'une façon très inégale dans les villes servies par l'ONAS et celles qui n'en sont pas servies. Ceci s'explique très bien puisque l'ONAS a été créé justement pour développer le secteur.

A l'échelle nationale, le taux de branchement à l'assainissement est de 80,9% dans les zones urbaines (ce qui est un taux assez fort) et il n'est que de 2% dans les zones rurales.

Ces dernières années, la situation financière de l'ONAS l'a amené à limiter ou plutôt à ralentir considérablement, sa politique de prise en charge de nouvelles agglomérations, surtout que les 109 communes restantes ont un coût élevé de service d'assainissement et procurent de faibles recettes de la redevance.

### **I-2 - Interventions urgentes**

Par ailleurs, l'ONAS devait suivre le rythme effréné de l'extension de la desserte de l'eau potable, maîtriser les situations de nuisances et d'insalubrité et protéger les écosystèmes sensibles. La programmation des interventions à temps dans les zones sensibles et vulnérables, a permis aux opérateurs d'envisager des solutions de court terme s'intégrant dans une vision à long pour la gestion de la pollution hydrique. Cette approche a permis de disposer d'un temps suffisant pour optimiser le choix de la solution finale et de disposer des fonds nécessaires, sans pour autant priver les bénéficiaires d'un service minimum.

## **II. ASSAINISSEMENT DU MILIEU RURAL**

Par contre, il existe un vide institutionnel pour assurer l'assainissement en milieu rural. Cet aspect de l'assainissement rural se pose avec beaucoup d'acuité et devient plus urgent à résoudre avec le développement de la desserte en eau en milieu rural aggloméré et l'augmentation de la consommation en eau.

### III. DEFIS ET PROBLEMES EMERGENTS DANS LE SECTEUR DE L'ASSAINISSEMENT

L'analyse de la situation actuelle de l'assainissement dans le pays, permet d'identifier plusieurs problèmes émergents ou en cours d'émergence pendant les prochaines années à venir, auxquels il faut faire face.

#### - L'épuration des eaux usées.

L'ONAS a également pour mission, en plus de la collecter les eaux usées, d'épurer ces eaux usées brutes en vue de les rendre conformes aux normes admises avant leur restitution au milieu récepteur ou de les livrer à un ré-utilisateur potentiel.

Un important volume d'eaux usées est ainsi traité par les stations d'épuration de l'ONAS en gestion directe ou en sous-traitance par des privés. En 2006, ce volume était de **216 millions de m<sup>3</sup>**, ce qui correspond à 95% du volume d'eau consommée par les abonnés ONAS (**337 millions de m<sup>3</sup>**). Par conséquent, environ 88 millions de m<sup>3</sup> d'eau ont été rejetés dans le milieu naturel sans épuration, donc ils sont non conformes aux normes de rejet.

En 2006, 95 stations d'épuration sont en exploitation par l'ONAS avec une capacité totale d'épuration de 250 millions de m<sup>3</sup>/an. Le taux de saturation global du réseau ONAS est donc de 86%.

Un volume de 135 millions de m<sup>3</sup> d'eau épurée avait une **DBO5** supérieure à la norme, soit 63% du volume des eaux épurées n'étaient pas conformes à la norme. Cette situation est supposée être sensiblement en amélioration avec l'entrée **très prochainement**, des deux nouvelles unités d'épuration (Sud Méliane et Choutrana. Ceci montre bien la nécessité d'engager rapidement de nouveaux programmes d'extension des stations d'épuration existantes.

Un besoin important de réhabilitation, de renouvellement et surtout d'augmentation de capacité des stations de traitement s'impose.

#### - Le problème des eaux épurées

Dans certaines zones sensibles à la pollution comme les zones touristiques, on a construit des émissaires en mer afin d'évacuer les eaux épurées. Cette solution si elle permet de se débarrasser de ces eaux épurées, pose deux principaux problèmes qui sont ceux de la préservation de la ressource en eau non conventionnelle et du coût du traitement global.

Dans certaines zones, la réutilisation des eaux épurées s'est heurtée au problème de la qualité de ces eaux, aux restrictions culturelles, à la salinité des eaux épurées ainsi qu'aux coûts élevés de transfert. Actuellement, seuls 29% des volumes sont réutilisés (irrigation de 9000 hectares répartis entre 760 pour irriguer les golf et 340 pour les espaces verts).

### **- Les eaux usées industrielles**

Environ 20% des eaux usées aux stations d'épuration et susceptibles d'être polluantes, proviennent des industries. Dans certains cas, cette pollution a largement contribué à la saturation des STEP (Station de traitement des eaux polluées). Les eaux industrielles ont également parfois conduit au refus de la réutilisation des eaux épurées en agriculture (couleur de l'eau, produits chimiques incompatibles avec la réutilisation etc.). Sur le plan réglementaire, les industries doivent prétraiter leurs eaux usées avant de les rejeter dans le réseau d'égout, mais en pratique et malgré la politique incitative mise en place (FODEP) et les actions coercitives de l'ANPE, les industriels continuent à rejeter leurs eaux usées brutes dans le réseau d'assainissement et elles aboutissent ainsi aux stations d'épuration. Une nouvelle politique doit être adoptée pour résoudre ce problème.

Pour résoudre le problème de rejet en milieu naturel des eaux épurées au niveau secondaire, l'ONAS a recours à la mise en place d'un certain nombre d'émissaires en mer. Dans d'autres pays, les eaux rejetées par un émissaire en mer sont traitées au préalable, dans le meilleur des cas, au niveau primaire (parfois même avec seulement le traitement physique). Une réflexion à ce sujet permettrait éventuellement, de faire des économies dans ce domaine.

Les techniques de lagunage naturel sont très peu utilisées en Tunisie (en 2006, il existe 6 sur les 95 STEP existantes), alors qu'elles sont économes en énergie et même en maintenance. Pour des villes de petite taille voire même de taille moyenne, ce procédé peut être bénéfique, à condition de disposer de terrain bon marché (ex : étatique), de moyens d'imperméabilisation à proximité et de faire une bonne conception des lagunes et surtout d'assurer leur exploitation rationnellement et avec régularité et ce en faisant les vidanges des boues à des intervalles de temps réguliers.

### **Principaux Problèmes de l'assainissement**

Avec le développement des branchements individuels d'alimentation en eau potable, le problème d'assainissement va progressivement en se développant en milieu rural à l'instar de ce qui s'est passé en milieu urbain. Sur le plan institutionnel, l'assainissement rural ne relève pas des prérogatives de l'ONAS et même si cette institution y intervient actuellement, elle le fait d'une façon ponctuelle pour le compte de l'Etat. L'ONAS a élaboré une étude sectorielle

de la stratégie en assainissement rural (1999) qui a identifié une première tranche de 30 centres ruraux. L'ONAS a réalisé le projet pour 4 centres pilotes et envisage d'équiper 12 autres centres ruraux.

L'ONAS a pour mission à sa création, de s'occuper de l'assainissement dans l'ensemble du milieu urbain. Malgré le bon score de couverture du service assainissement dans les villes prises en charge (87,8%), le taux de service de l'ONAS pour la population urbaine totale n'est que de 76%. L'ONAS n'a pas encore pris en charge les villes de petite taille (une centaine) qui constituent une charge de nature à aggraver la situation précaire des finances de l'ONAS.

L'ONAS va devoir renforcer sa présence dans les quartiers périurbains et d'une façon générale, dans les quartiers populaires. Ces quartiers nécessitent des dépenses d'exploitation plus importantes que la moyenne (faible consommation d'eau et donc mauvaise condition d'auto-curage) et génèrent de recettes plus faibles que la moyenne.

En plus du rattrapage du retard cumulé en matière d'assainissement, l'ONAS doit accompagner le développement urbain, industriel et touristique généré par le développement économique du pays. Ceci nécessite des investissements qui dans le schéma actuel sont pris en charge par l'Etat.

La qualité des eaux épurées est souvent mauvaise à cause des rejets dans les réseaux des eaux usées industrielles non conformes aux normes. Souvent les industriels ne font pas le prétraitement. Même quand les installations nécessaires sont disponibles, elles ne fonctionnent pas correctement. Les mécanismes incitatifs (FODEP) pour que les industries s'équipent de système de prétraitement n'ont réglé que partiellement ce problème. L'amélioration de la qualité des eaux usées épurées ne peut se faire que par une politique adéquate et efficace qui résoudrait le problème des rejets industriels. Un autre défi est ainsi à relever par les autorités de tutelle et l'ONAS.

Le volume d'activité de l'ONAS va sans cesse en croissance et il s'étend sur l'ensemble du territoire. Les clients de la SONEDE sont des potentiels clients de l'ONAS. En 2006, l'ONAS compte 1,34 millions de clients contre 2 millions pour la SONEDE.

Les rejets en eaux usées sont de plus en plus volumineux et nombreux entraînant ainsi une pollution plus complexe qui agresse le milieu récepteur de plus en plus exigu et vulnérable. Cette pollution menace sérieusement la ressource en eaux souterraines et de surface ainsi que les plages et les milieux hydriques.

A l'horizon 2030 le volume d'eau traitée et recyclée dans le domaine agricole est estimé à **300 millions de m<sup>3</sup> par an**. Ce volume demande à être transporté et stocké, ce qui nécessite des investissements en conséquence ainsi qu'une claire vision pour la réutilisation de ces eaux.

Parmi les problématiques que pose cet assainissement, nous citons:

- L'extension de la couverture de l'assainissement à des villes de petites tailles pour lesquels les frais qu'elles génèrent sont nettement supérieurs aux recettes correspondantes ;
- La réhabilitation et l'extension des ouvrages d'assainissement notamment les stations d'épuration et les stations de pompage ;
- La tarification/recouvrement des coûts et leur mode de régulation ;
- La pollution industrielle saturant les stations d'épuration (STEP) et gênant leur fonctionnement
- L'augmentation du taux de réutilisation des eaux épurées,
- L'évacuation pour des raisons sanitaires, la protection du milieu récepteur et des activités économique (tourisme), de l'excédent en eaux épurées au moindre coût ;
- L'élaboration de solutions techniques à l'escamotage des sous-produits de l'épuration des eaux usées traitées (boues, gaz etc.) ;
- la poursuite du développement de l'infrastructure d'assainissement dans les zones qui n'en sont pas encore pourvues et le suivi du développement urbain ;
- la gestion des situations climatiques extrêmes (particulièrement les inondations) ;

### LUTTE CONTRE L'ÉROSION

---

#### I. PRINCIPAUX FACTEURS DE L'ÉROSION

L'érosion est un phénomène naturel qui provoque à la fois, d'énormes pertes de sol et réduit l'infiltration de l'eau dans le sol. Ce fléau est aggravé par la nature fragile du sol, les pluies torrentielles, le ruissellement dévastateur, le labour le long de la pente, la surexploitation des pâturages, et l'absence de travaux d'aménagement et de conservation de l'eau et du sol consolidés au sein des plantations.

L'érosion dégrade le sol et réduit les volumes d'eau stockée dans les retenues des barrages et dans les nappes. La lutte contre l'érosion doit être fondée sur des aménagements intégrés adéquats incluant des considérations techniques ainsi que sur des considérations à caractères socioéconomiques. Cependant, l'approche de conservation des eaux et des sols doit être toujours réexaminée, enrichie et améliorée par l'analyse des résultats obtenus sur le terrain, les résultats de la recherche et l'échange d'expériences avec les pays ayant fait face à des problèmes similaires.

La lutte contre l'érosion doit rester en Tunisie, une action prioritaire et intensive pendant les prochaines décennies afin de préserver le potentiel hydraulique du pays, maintenir les performances des ouvrages hydrauliques, et protéger le sol contre la dégradation.

#### II. ÉROSION ET BARRAGES

Le transport des sédiments lors des crues le long du réseau hydrographique des bassins versants jusqu'aux retenues des barrages, réduit au fur et à mesure, la capacité de stockage de ces ouvrages et obstrue les prises par l'accumulation des boues et des sédiments. Ce phénomène concerne également, les adductions de desserte quand les vannes de prise sont laissées ouvertes pendant les crues.

L'envasement des retenues de barrages constitue l'un des problèmes les plus préoccupant en Tunisie dont le climat aride est caractérisé par des pluies torrentielles d'automne, alors que le sol est sec et non couvert par la végétation. Le relief accentue cette érosion avec sa pente et

devient encore plus vulnérable quand il est facilement friable (marneux ou argileux) et avec une faible densité du couvert végétal.

L'envasement des retenues des barrages est une menace permanente pour le fonctionnement des équipements situés en aval et réduit leur durée de vie. En effet, la capacité de stockage des retenues des barrages est continuellement diminuée par l'ampleur de l'envasement jusqu'à leur occupation par les sédiments et leur mise hors service.

L'envasement des retenues des barrages en Tunisie est suivi périodiquement par des relevés bathymétriques. A partir de la forme géométrique des dépôts, l'analyse de leurs densités, nature et épaisseur, on détermine leur dynamique et origine.

Le taux d'envasement annuel des retenues des barrages est estimé être d'une cadence de 1mm à 0,5 mm/an du bassin versant. La Medjerda apporte une charge solide moyenne annuelle qui est de 21,5 millions de tonnes de sédiments. Avec une concentration moyenne en particules qui est de 30 g/l, le taux moyen d'érosion sur le bassin versant correspondant, est de l'ordre de 1020 t/km<sup>2</sup> par an.

L'envasement du barrage de Sidi Salem se fait à raison de 5,62 millions de m<sup>3</sup> par an. Celui de Bir Méchargua est de 0,4 millions de m<sup>3</sup> par an.

Avec les mêmes conditions climatiques que celles régnant actuellement, la capacité du barrage de Sidi Salem sera en 2030 réduite de 40% et de 57% en 2050. Dans les mêmes conditions, celle de Sidi Saad, sera réduite de 67% en 2030 et 95% en 2050.

## **II-1 Lutte contre l'envasement des retenues**

Une bonne connaissance du mécanisme de l'érosion et sa dynamique est nécessaire pour identifier les moyens adéquats permettant de réduire l'ampleur de ce phénomène et de faire prolonger le fonctionnement des ouvrages hydrauliques.

L'approche adoptée en Tunisie, pour protéger les barrages, se base sur l'étude détaillée du bassin versant afin de déterminer la nature géologique de son sous-sol, sa morphologie, le fonctionnement de son réseau hydrologique. L'occupation et le mode d'exploitation du bassin versant permet de définir les meilleurs moyens techniques d'intervention qui seront acceptés par les habitants.

Les zones les plus sensibles à l'érosion et qui montre une fragilité extrême, sont celles qui fournissent le plus de matériaux d'envasement à l'exutoire. En procédant à leur identification et classement, on arrête les priorités d'intervention.

Plusieurs projets de lutte contre l'érosion ont été réalisés en Tunisie, dans les zones les plus vulnérables et menacées. Il s'avère que les zones les plus dégradées par l'érosion sont celles qui sont les plus proches des retenues des barrages de Sidi Salem, Zeroud et Merguellil.

Les programmes d'études et travaux pour lutter contre l'érosion hydrique, doivent être actualisés et menés au long de l'exploitation des barrages. Les interventions prioritaires doivent être exécutées sans retard, dans les zones les plus vulnérables. Des examens périodiques de terrain à l'aide de l'imagerie satellite, photos aériennes et prospection de terrain, particulièrement à la suite des grandes crues, permettent de localiser ces zones et d'envisager l'approche adéquate pour l'intervention.

### **III. LES OUVRAGES DE CONSERVATION DES EAUX ET DU SOL**

Les travaux de conservation des eaux et du sol constituent des préliminaires pour la valorisation de l'eau de la pluie souvent longtemps attendue. Ces travaux se présentent sous forme de plusieurs ouvrages dont principalement : les lacs collinaires, les barrages collinaires, les ouvrages d'épandage des crues et les banquettes. Ces ouvrages contrôlent des superficies plus ou moins importantes qui peuvent être de plusieurs milliers d'hectares et constituent un ensemble d'aménagements répondant à plusieurs fonctions dont : la recharge des nappes, la protection de infrastructure de base et les habitations contre les inondations, l'irrigation des petites parcelles, l'approvisionnement en eau des habitants et du cheptel dans les zones d'accès difficile.

Les techniques adoptées en Tunisie, par les spécialistes de la conservation des eaux et du sol sont variées et adaptées aux conditions propres du pays. La pratique de cette activité depuis plusieurs décennies à travers les différentes régions du pays, a permis l'accumulation d'une expérience riche et opérationnelle. Elle offre un large choix d'approches d'intervention et permet de disposer d'une large gamme de procédés mécaniques et de techniques culturales. Cette expérience vise généralement la réussite de la conservation de l'eau et du sol, en atténuant l'effet érosif du ruissellement, tout en assurant une certaine production agricole de fourrages et de cultures variées bien adaptées aux conditions propres du milieu. Cette approche permet au sol de se régénérer naturellement et d'assurer sa conservation sans dégradation ni destruction. Cette approche est acceptée et même appréciée par la population qui occupe le bassin versant, car elle permet de conserver la terre et ses fonctions et augmente la production et les revenus.

Le traitement des bassins versants pentus par des diguettes qui retiennent l'eau, est ainsi souvent consolidé par des plantations d'oliviers, de figuiers, de cactus, d'acacias ou d'autres arbustes fourragers, ce qui permet d'augmenter la production agricole, de favoriser la

recharge des nappes aquifères et de conserver le sol tout en augmentant la durée de vie des barrages.

### **III-1 Les barrages et lacs collinaires**

Sur un nombre total de sites identifiés de **1500 barrages collinaires** couvrant les différentes régions du pays, **800 unités** ont été réalisées principalement durant les deux dernières décennies. Ces ouvrages constituent une composante importante dans les travaux de conservation des eaux et du sol. Ils sont principalement conçus pour réduire l'érosion et augmenter l'infiltration de l'eau pluviale jusqu'aux nappes aquifères.

Les barrages collinaires sont d'une capacité de rétention qui varie entre 10 000 m<sup>3</sup> et un million de m<sup>3</sup> d'eau. Ces ouvrages maîtrisent souvent un bassin versant de quelques hectares à quelques dizaines de Km<sup>2</sup>. Ils sont parfaitement intégrés dans le paysage et capables de laminar les crues en réduisant le débit de pointe, ce qui favorise la recharge des nappes. Ces ouvrages servent comme points d'eau disséminés dans des régions difficiles, ce qui est à l'origine de petits projets de développement agricole dans un environnement aride.

Les lacs collinaires aménagés dans les bassins versants constituent une source d'eau précieuse permettant la réussite des plantations de consolidation des travaux de lutte contre l'érosion et assurent aussi la protection des grands ouvrages hydrauliques par le laminage des eaux des crues et la rétention d'une grande partie des sédiments charriés.

La présence d'un point d'eau dans un environnement aride incite la population locale à différentes activités basées sur l'utilisation de l'eau stockée, comme l'abreuvement du cheptel, l'irrigation des plantations et des cultures. Ces activités sont souvent initiées en se référant au stock d'eau accumulé à la suite de la période des pluies, ce qui donne une fausse idée sur la durabilité de ce stock. En effet, le volume d'eau mobilisé par le lac collinaire est fortement soumis, en période de fortes chaleurs à l'évaporation intense et se réduit rapidement par évaporation. Ainsi, les activités d'irrigation se trouvent privées de leur source d'eau. La réalisation des lacs collinaires dans les zones montagneuses et dépourvues de ressources locales en eau souterraine, est une opération qui doit répondre à une étude relativement approfondie des conditions climatiques (pluviométrie, ruissellement et évaporation) et des différents usages auxquels est destinée l'eau du lac collinaire.

### **III-2 Les banquettes**

Les banquettes sont des talus en terre qui constitue obstacle au ruissellement. Elles sont d'une longueur de 100m avec des extrémités ouvertes et permettent de retenir plus de 200 m<sup>3</sup>. Ces ouvrages à rétention totale ou partielle, retardent l'écoulement et favorisent l'infiltration tout

en réduisant considérablement le ruissellement sur l'ensemble du bassin versant. Derrière ces ouvrages de rétention, l'effet de l'épisode pluvieux est amplifié jusqu'à huit fois. Afin de profiter de cet effet, les agriculteurs plantent des légumes à rotation rapide comme les petits pois bien appréciés ; ainsi que des arbustes fourragers, des oliviers, des pistachiers, et des figuiers qu'ils irriguent la première année pendant l'été, à l'aide des citernes tractées, à partir des points d'eau situés à proximité (lac collinaires, puits ou citernes maçonnées) . Le taux de réussite ainsi obtenu est acceptable et revient à moindre coût.

### **III-3 Intervention sur les grands barrages**

Il est évident que la majeure partie du ruissellement se produit sur les principaux cours d'eau et c'est pour cette raison que sont sélectionnées les meilleures sections de ruissellement pour l'édification des grands barrages. Ces retenues tout en cumulant derrière elles les apports en eau de crues, piègent également des parties solides transportées avec l'eau et provenant de l'érosion dans la partie supérieure du bassin versant. La lutte contre l'érosion pratiquée au niveau des retenues des barrages consiste en plusieurs opérations techniques visant à réduire l'accumulation des sédiments dans les retenues et son écoulement dans les conduites avec l'eau.

Parmi les principales opérations effectuées dans ce sens, il y a lieu de retenir : **la maîtrise des courants de densité**, le dragage des réservoirs et en extrême, le remplacement des barrages.

### **III-4 Maîtrise des courants de densité**

Il a été constaté que pendant les crues un courant d'eau boueuse de densité plus grande que l'unité, rampe sur le fond de la retenue en suivant le lit de l'oued. Ce courant traverse l'ensemble de la retenue et butte contre le barrage pour remonter à la surface. Dès qu'une crue est annoncée par les stations de surveillance, les gestionnaires guettent son arrivée dans la retenue et dès qu'elle se manifeste par la remontée en surface des eaux boueuses, on procède à l'ouverture des vannes de vidange en vue d'évacuer le courant de turbidité avant sa dispersion dans l'ensemble de la retenue. Dès que la densité de l'eau redevient normale, on procède à la fermeture des vannes de vidange et de dévasement. Il est ainsi possible, à l'occasion de chaque crue, de dégager une grande quantité de boue transportée par l'eau à travers les courants de densité.

Ce procédé utilisé en Tunisie et maîtrisé par les techniciens gestionnaires des barrages permet d'évacuer les matériaux solides en suspension dans les eaux des crues et de soutirer un grand pourcentage (40% au barrage du Mellègue) de son transport solide.

L'ensemble des barrages tunisiens disposent de ce système d'atténuation de l'envasement qui fut amélioré par une meilleure disposition des vannes de vidange et dévasement sur les nouveaux barrages, afin de recevoir frontalement le courant de densité en vue d'assurer ainsi, un meilleur rendement pour l'évacuation des boues avec la moindre perte d'eau.

### **III-5 Dragage des réservoirs de barrages**

Le dragage des barrages envasés reste une solution onéreuse qui comporte une difficulté majeure concernant l'emplacement des vases draguées, l'enlèvement de ces vases et leur évacuation. En effet, la décharge des vases des barrages est une opération délicate et onéreuse qui nécessite une grande superficie pour le dépôt de la boue évacuée. Cette opération impose souvent, durant les travaux du dragage, la mise hors de fonction de la retenue.

Cependant, le dégagement des ouvrages du barrage comme les prises d'eau et les vannes de vidange par dragage, devient avec le temps, une opération nécessaire comme c'est le cas actuellement pour le barrage de Nebhana.

Certain pays choisissent, pour les retenues d'eau potable stratégiques, d'y installer en permanence, une drague suceuse qui dégage la retenue d'une façon continue.

### **III-6 Remplacement des barrages envasés**

Comme l'envasement des réservoirs est à l'origine de la réduction de leur capacité de stockage d'eau, la durée de vie de la retenue à partir des relevés bathymétriques et l'évolution de l'envasement ne peuvent se faire qu'à partir des estimations qui induisent des imprécisions sur l'évaluation du stock de l'eau ; d'où la nécessité d'exécuter les différents travaux de protection contre l'envasement et d'assurer avec vigilance pendant les crues, le dévasement au temps opportun, par les manœuvres nécessaires.

Le suivi de la vitesse de l'envasement après la réalisation des travaux de protection sur le bassin versant, permet d'évaluer leur efficacité. A un stade avancé de l'envasement au point de menacer sa capacité de stockage, on envisage, dans certains cas, la surélévation de la cote de déversement du barrage en vue d'augmenter sa durée de vie pour une certaine période supplémentaire. En phase finale d'envasement d'un barrage, il est fort important de programmer à temps, la construction de nouvelles retenues de remplacement avant la mise hors fonction de l'ancienne retenue.

Les barrages construits dans les pays arides comme la Tunisie, à la fin du XIX<sup>e</sup> et au début du XX<sup>e</sup> siècle, le dix-neuvième et début du vingtième siècle constituent une référence utile pour juger à juste et réelle échelle, le développement de l'envasement, et l'efficacité des

modes de réaménagement des ouvrages menacés par l'envasement. En Tunisie, le cas du barrage de l'Oued Kébir (région du Fahs) construit en 1927 et mis hors d'exploitation au cours des années 1980, est un bon exemple dans ce sens.

Comme plusieurs barrages du pays présentent actuellement plus de 50 ans de fonctionnement et que l'envasement de quelques uns est relativement notable pour limiter sa capacité de stockage, il est indiqué de préparer les études détaillées pour les barrages de remplacement, principalement sur la Medjerda et ses affluents, ainsi que sur les oueds de la Tunisie Centrale. Il est donc temps de procéder à la remise en état du barrage de l'Oued Kébir du Fahs et d'engager les études de la remise en état du Mellègue dès que le nouveau Mellègue sera mis en eau.

#### **IV. LUTTE CONTRE L'ÉROSION ET L'ENVASEMENT**

L'apport en sédiments des eaux de crues, à travers le réseau hydrographique des bassins versants et son dépôt derrière les retenues des barrages, réduit au fur et à mesure du temps, la capacité de rétention de ces ouvrages et obstrue les prises d'eau. C'est également le cas des adductions de desserte quand les vannes de prise sont laissées ouvertes pendant les crues.

Un grand nombre d'indices historiques montrent qu'à travers l'histoire de la Tunisie, l'importance des aménagements hydrauliques pour maîtriser les crues et lutter contre l'érosion.

Les conditions agro-écologiques relativement difficiles en Tunisie – particulièrement au Centre et Sud du pays – font que les superficies agricoles sont limitées et vulnérables. En effet, sur un territoire de 16,4 millions d'ha, la Surface Agricole Utile (SAU) est estimée à 5,4 millions, soit un 1/3 seulement de la superficie totale.

L'origine de l'érosion des sols est essentiellement due en Tunisie, à sa situation géographique, à ses sols, à ses conditions climatiques et aux modes de vie des populations rurales.

Cependant, l'érosion revêt d'année en année, une intensité plus inquiétante. En quatre-vingt-dix ans, l'espace rural tunisien a subi des bouleversements considérables. Les terrains mis en culture étaient estimés en 1920, à **1,2 millions d'hectares** ; ils dépassent actuellement **5 millions d'hectares**. Ceci résulte d'un effort soutenu de préservation des sols et de plantation de terrains agricoles.

Une étude de l'érosion réalisée en 1980, a montré que plus de **4 millions d'ha** étaient menacés par l'érosion. A ceux-ci, s'ajoutent dans le sud du pays, **3 millions d'ha** menacés par l'érosion éolienne.

C'est dans cette optique et à l'instar des autres ressources naturelles, que la première stratégie de Conservation des Eaux et du Sol (CES) a été mise en place et exécutée pendant la période 1990-2001.

Les techniques de CES, qui durant les années soixante-dix et quatre-vingt ne comprenaient que quelques travaux de conservation des eaux comme la construction et la sauvegarde des jessours dans le Sud et les terrassements manuels et mécaniques dans le Centre et le Nord du pays, ont connu pendant les années quatre-vingt-dix, une évolution importante basée sur la mécanisation renforcée.

Les techniques les plus utilisées sont regroupées comme suit :

- Techniques d'aménagement intégré des bassins versants ;
- Techniques d'aménagement des voies d'eau par la construction des lacs collinaires, des ouvrages de recharge des nappes, des ouvrages d'épandage des eaux de crues, et des épis de correction des méandres, etc.

La réalisation des aménagements hydrauliques sur les cours d'eau dépend des estimations de plusieurs caractéristiques hydrologiques dont particulièrement le transport solide qui conditionne entre autres, la durée de vie de ces ouvrages.

La mobilisation et l'exploitation des eaux de surface relativement anciennes en Tunisie, ont connu, au cours du 20<sup>ème</sup> siècle, une sérieuse densification d'ouvrages qui se trouvent actuellement exposés à un alluvionnement plus ou moins accéléré. La capacité de stockage des retenues des barrages est sujette au cours du temps, à une réduction progressive. Cette perte de capacité, parfois élevée, dépasse les prévisions de l'alluvionnement de la retenue.

La quantification des sédiments piégés se fait, soit sur la base des bilans en matériaux solides accumulés derrière une retenue, soit sur des levés bathymétriques ou topographiques évaluant la réduction du volume de la retenue. Les Modèles Numériques de Terrain (MNT) réalisés au niveau des retenues, sont de plus en plus généralisés. Les différentes évaluations sont entachées d'une certaine incertitude.

Les retenues des barrages tunisiens perdent annuellement par l'alluvionnement, de 0,5% à 1% de leur capacité. Les résultats de mesures montrent que l'alluvionnement est lié au régime hydrologique du cours d'eau, à la gestion de la réserve en eau de la retenue et aux manœuvres de dévasement. La comparaison des résultats de mesures de l'alluvionnement aux prévisions des projets, met en évidence des différences parfois relativement importantes qui sont principalement dues à la mauvaise maîtrise du régime hydrologique des cours d'eau.

En effet, une crue exceptionnelle peut provoquer un alluvionnement nettement supérieur à la moyenne annuelle en régime hydrologique normal. Les retenues méandriformes sont comblées rapidement alors que les retenues linéaires offrent la possibilité de soutirage de quantités importantes de sédiments.

Les volumes des tranches mortes des barrages en exploitation en 2009, sont évalués à 140 M m<sup>3</sup> ; soit 5.4% de leur capacité totale initiale. Les volumes de sédiments à cette date sont de l'ordre de 480 M m<sup>3</sup> ; soit 18% de leur capacité initiale globale. Ils sont répartis par barrage comme suit :

**Tableau 30 : Evolution de l'envasement des barrages en Tunisie**

Barrage	Date de mise en eau	Capacité Dés la 1 <sup>ère</sup> exploitation (Mm3)	volume de la tranche Morte (Mm3)	Volume de vase à la dernière mesure (Mm3)	% d'envasement
Mellègue	1954	306.60	31.00	159.06	51.88%
Beni M'tir	1954	61.63	13	4	6.49%
Kesseb	1966	81.09	9.7	2.8	3.45%
Zouitina	1999	74.82	15.64		
Sidi Salem	1981	674.48	45	170.88	25.34%
Bou Hertma	1976	117.50	15	5.5	4.68%
Joumine	1983	134.70	8.7	6.05	4.49%
Gh'zela	1984	11.70	2.6	0.19	1.62%
Sejnane	1994	137.50	4.2		
Sidi El Barrak	1999	264.50	51.5		
Siliana	1987	70.00	8.5	16.96	24.23%
Lakhmes	1966	8.22	4.5	1	12.17%
Erremil	2002	4.00	0		
Zarga	2008	23.00	2		
<b>Total des barrages du Nord</b>		<b>1 969.74</b>	131.34	366.44	18.60%
Bir M'Chergua	1971	52.90	28.8	11.4	21.55%
R'Mel	1999	22.00	0		
Nebhana	1965	66.50	4.6	23.8	35.79%
Sidi Sàad	1981	209.00	88.5	55.2	26.41%
El Houareb	1989	95.30	5	13.3	13.96%
Sidi Yaïch	1997	88.00	0		
El Brek	2002	16.00	3.5		
<b>Total des barrages du Centre</b>		<b>549.70</b>	5	103.7	18.86%
Bezigh	1959	6.50	3.5	0.6	9.23%
Chiba	1963	6.30	4.2	1.89	30.00%
Mesri	1968	6.90	3	0.88	12.75%
Lebna	1986	30.10	5.4	6.22	20.66%
El H'ma	2002	12.10	4.1		
El Abid	2002	10.00	1.8		
El Hjar	1996	5.00	0.5		
<b>Total des barrages du Cap Bon</b>		<b>76.90</b>	3	9.59	12.47%
<b>TOTAL</b>		<b>2 596.34</b>	<b>139.34</b>	<b>479.73</b>	

Dans ce tableau, il n'a pas été tenu compte de la mise hors fonction des ouvrages de prises.

La situation de l'envasement des barrages est préoccupante en Tunisie, du fait que les pluies sont violentes et le sol est souvent sans couvert végétal. Le barrage Kebir, mis en eau en 1930,

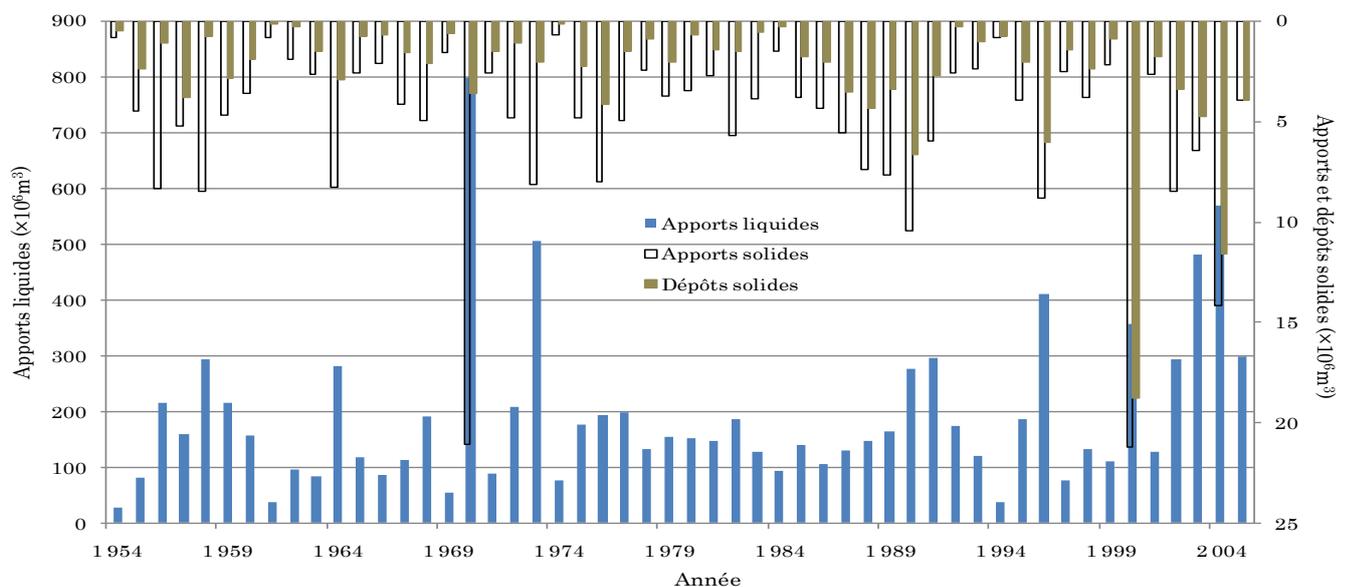
avec ses ouvrages de dévasement rudimentaires, s'est envasé en trente ans. Le barrage du Mellègue, mis en eau en 1954, avec une capacité initiale est de  $306 \text{ M m}^3$ , s'est envasé avec un rythme relativement élevé, pour ne disposer en 2010, que d'une capacité de  $147 \text{ M m}^3$ , et ce malgré une gestion de suivi de dévasement ayant permis de dégager par les courants de densité, 40% des apports solides.

Les apports liquides et solides ainsi que les dépôts dans la retenue varient de la même manière, mettant en évidence l'importance de l'alluvionnement pendant les écoulements à volumes substantiels correspondant généralement aux périodes de crues (Figure 28). En effet, les volumes des sédiments transportés et ceux piégés dans la retenue sont plus faibles en années sèches.

Les volumes des sédiments piégés dans la retenue du barrage sont proportionnels aux apports liquides. Depuis sa mise en eau, le barrage Nebeur, sur l'Oued Mellegue, a connu plusieurs crues importantes dont principalement les crues de 1970, de 1973, de l'an 2000 et de l'an 2003. En effet, durant ces crues exceptionnelles, les apports liquides sont élevés et varient entre  $355 \text{ Mm}^3$  pour l'an 2000 et  $798 \text{ Mm}^3$  pour 1970. Il s'en suit des apports solides relativement élevés, ayant atteint  $23 \text{ M m}^3$  pour 1970.

On note également que durant les années de sécheresse, les volumes liquides et solides sont en baisse. C'est le cas en 1961 dont les apports liquides sont de  $37 \text{ M m}^3$  et de  $0,8 \text{ M m}^3$  d'apport solide.

**Figure 36: Variation des apports liquides et solides annuels au niveau du barrage de Mellegue entre 1954 et 2005**



En se référant au taux d'envasement accumulé durant leurs périodes de fonctionnement, les barrages de Beni Metir, Kasseb, Bouheurtma, Ghezala, Bezirk et Joumine sont supposés rester fonctionnels jusqu'à l'horizon 2050. Leurs bassins versants partiellement couverts par la forêt, présentent un taux d'envasement qui ne dépasse pas les 0,3%.

Le barrage de Sidi Salem pièce maîtresse du système hydraulique tunisien, s'envase avec un taux de 6,84%. Ce barrage perdra en 2050, l'équivalent de 57% de sa capacité de rétention. Il sera encore mieux protégé contre l'envasement par la réalisation de Mèllègue amont de Serrat, de Tessa, et de Mèllègue réaménagé qui sont actuellement en cours de réalisation.

La protection de ce barrage contre l'envasement, demanderait une surélévation de sa côte de déversement en vue d'augmenter sa capacité (de 250 M m<sup>3</sup>) et de sécuriser ses organes d'évacuation. Le renforcement de sa rétention par des barrages en amont sur tous les affluents de la Medjerda (Sidi Meskine, Khol, Rmel, etc.), permettront de mobiliser l'équivalent de **200 M m<sup>3</sup>** supplémentaires. Ce Barrage assure en fait plusieurs fonctions: il régularise toutes les crues, protège l'aval contre les inondations et les sécheresses et mobilise l'apport des grandes crues.

Le barrage du Nebhana est appelé à perdre en 2050, l'équivalent de 62 % de sa capacité. Le Siliana perdra 94%, Sidi Saad 95%, El Houareb 84%, Chiba 82% et Lebna 77%. La majorité de ces ouvrages sont surélevables et la plupart d'entre eux seront remplacés par des barrages amont dont les sites sont identifiés. Une action de dévasement limitée permettra de dégager les organes de vidange et de prise.

Un site d'un barrage actuellement complètement envasé, est en mesure d'être remplacé par un ou plusieurs sites. Les critères de choix sont variés, mais l'objectif primordial reste d'assurer le stockage équivalent en eau.

Les déversées d'un barrage lors des crues, peuvent être valorisées par la construction en amont, de plusieurs barrages moyens sur les affluents.

Les sites de remplacement de la première génération des barrages du pays exigeront un travail de longue haleine à démarrer le plus rapidement possible car cette activité nécessite un délai assez long et des études et des prospections détaillées avec plusieurs spécialités.

Les sites des barrages identifiés sur la base des connaissances existantes, pour être construits au cours de la période 2020-2050, sont représentés sur la carte ci après. Ils sont au nombre de **quarante**. Certains de ces sites ont été étudiés auparavant, dans le cadre de choix de variantes alternatives de barrages déjà réalisés et serviront de remplacement de certains de ces barrages dont la durée de vie dépassera la cinquantaine d'années.

Certes, les coûts de ces ouvrages ont été jugés à l'époque, relativement élevés. Cependant ces sites de barrages seront d'une grande utilité à l'avenir et leurs coûts seraient pleinement justifiés. Mis à part les barrages techniquement sur-élevables, pour lesquels des alternatives de rehaussement ont été déjà programmées avant l'horizon 2020. Le reste de ces barrages qui seraient soit envasés soit présentant des insuffisances au niveau de leur stabilité, seront appelés à être remplacés par de nouveaux sites. La capacité de rétention de certains parmi eux, sont déjà connues. Il reste à détailler les études relatives aux autres pour déterminer leur capacité exacte

En 2030, la perte de capacité de stockage des barrages actuellement en exploitation, pourrait s'abaisser jusqu'à 37% et en 2050 à 43% de leur capacité initiale. Les aménagements amont, par des barrages de substitution et des travaux de conservation des eaux et des sols permettent de réduire le taux d'alluvionnement et de prolonger la durée de vie des grands réservoirs édifiés.

Les ouvrages déjà réalisés dans le cadre de la stratégie 1990-2010 (10 barrages), sur la trentaine existant, conserveront leurs performances jusqu'à 2050. Par ailleurs, il ya lieu de noter que les travaux de conservation des eaux et de sol dans les zones les plus vulnérables à l'érosion, retardent l'ampleur de l'envasement comme cela fut constaté sur les bassins versants du Nebhana et de Sidi Saad. Il est attendu que la capacité de rétention des barrages existants évoluera, suite à leur envasement, comme suit :

**Tableau 31 : Evolution de la capacité des barrages existants jusqu'à l'horizon 2050**  
Capacité utile des barrages 2030-2050

Nom du barrage et Date bathymétrie	Date mise en eau	capacité mise en eau (Mm3)	envasement/an (Mm3)	capacité utile 2010 (Mm3)	Envasement 2030 (Mm3)	Zenvasement 2030	capacité utile 2030 (Mm3)	Envasement 2050 (Mm3)	capacité utile 2050 (Mm3)	% envasement 2050
<b>Mellègue(2000)</b>	1954	182.2	2.81	22	envasé	100	0	envasé	0	100
<b>Ben Metir</b>	1954	61.6	0.2	51	15	24	47	19	43	31
<b>Kasseb</b>	1968	81.8	0.2	74	12	14	70	16	66	20
<b>Sidi Salem (2006)</b>	1981	814	6.84	623	328	40	486	465	349	57
<b>Bouheurtma</b>	1976	117.5	0.2	111	11	10	107	15	103	12
<b>Joumine (2000)</b>	1983	130	0.36	121	17	13	113	24	106	18
<b>Ghezala</b>	1984	11.7	0.02	11	1	8	11	1	10	11
<b>Siliana (2003)</b>	1987	70	1.06	47	45	64	25	66	4	94
<b>Lakhmess (2000)</b>	1966	8.22	0.03	7	2	25	6	2	5	30
<b>Bir Mcherga (2002)</b>	1971	53	0.36	39	21	40	32	28	25	53
<b>Nebhana (2002)</b>	1965	86.5	0.64	58	41	48	46	54	33	62
<b>Sidi Saad (2000)</b>	1981	209	2.91	89	140	67	69	198	11	95
<b>Haoureb(2002)</b>	1989	95.3	1.33	73	53	56	42	80	16	84
<b>Bezirk</b>	1959	6.5	0.02	6	1	15	5	2	4	28
<b>Chiba(2008)</b>	1963	6.3	0.06	6	4	63	2	5	1	82
Masri	1968	6.9	0.04	5	2	30	4	3	3	47
Lebina(2003)	1986	30.1	0.37	20	16	53	14	23	7	77

La quantification de l'alluvionnement des réservoirs des barrages s'appuie sur le bilan des apports et des soutirages de la charge solide (cas du barrage de Mellegue), les levés bathymétriques par échosondeur et les levés topographiques. Ces deux dernières méthodes permettent d'élaborer des modèles numériques de terrain (MNT) de la retenue.

La première méthode les réfère à des mesures au niveau des stations hydrologiques situées à l'amont des retenues (station k13 pour l'oued Mellegue) de la charge solide dans les eaux et sur le suivi de la concentration des eaux au cours des manœuvres de soutirage (barrage Mellegue). Cette méthode doit tenir compte du volume des sédiments charriés déduit indirectement par défaut, des mesures.

Les levés bathymétriques n'ont pas été menés de façon systématique et régulière (G.E.O.R.E. ,2001) sur les retenues des 29 barrages en service. En 2010, les retenues de 24 barrages ont fait l'objet d'au moins une campagne de mesure de l'alluvionnement. Le tableau suivant récapitule les dates de levés bathymétriques dans les diverses retenues de barrages :

**Tableau 32 : Dates des différentes campagnes de mesures bathymétriques**

Barrage	Date de mise en eau	Retenue normale		Mesure d'envasement			
		Côte en m	Capacité millions m <sup>3</sup>	Date	Equipe	Capacité résiduelle	Vol Vase
<b>Bassin de la Mejerda:</b>							
Mellegue	1954	265		1991	Bath Dg/bgth		148
		262		200	Géomètre		167
		269	306	2009	Bath Dg/bgth	117,61	188,39
Sidi Salem	1981	115	814,0	1989	Bath Dg/bgth	767	47
				1991	Bath Dg/bgth	762	52
				1998	Bath Dg/bgth	727	87
				2002	Géomètre	675	139
				2006	Géomètre	643	169
Bouherma	1976	221	117,5	1993	Bath Dg/bgth	115,5	2
				2004	Géomètre	112	5,5
Barbara	1999	182	74,8	2009	Bath Dg/bgth		
Siliana	1987	389	70,0	1994	Bath Dg/bgth	65,9	4,1
				2003	Géomètre	53	17,0
Lakhmess	1966	517	8	1975	DG/BGTH ORSTOM	6	2
				1991	DG/BGTH	6,8	1,2
				2000	Géomètre	7	1
<b>Ichkel:</b>							
Sidi El Barrak	1999	27	265,0	2009	Géomètre		
Sejnene	1994	86,5	138,0	2003	Géomètre	135,3	2,7
Joumine	1983	90	130,0	2000	Géomètre	123,8	6,2
Ghezala	1984	82,5	11,7	1993	DG/BGTH	11,5	0,2
<b>Centre:</b>							
Sidi Saad	1981	270	209,0	1988	DG/BGTH	202	6,98
				1993	DG/BGTH	180,1	28,9
				2000	Géomètre	153,8	55,2
Nebhana	1965	230	87,2	2000	DG/BGTH	63,2	24
				2010	DG/BGTH	58,7	28,4
El Houereb	1989	210	37,0		DG/BGTH	75,5	19,8
Bir Mchergua	1971	123	53	1994	DG/BGTH	45,9	7,1
				2002	Géomètre	41,7	11,33
<b>Cap-Bon:</b>							
Lebna	1986	18	30,1	2003	Géomètre	23,58	6,52
Bezirk	1959	54,6	6,6	1975	DG/BGTH ORSTOM	4,82	1,68
				1993	DG/BGTH	6,09	0,55
				2004	Géomètre	4,99	1,66
Masri	1968	163	6,9	1991		6,04	0,86
Chiba	1963	77,9	8,0	1975	DG/BGTH ORSTOM	5,35	2,65
				1981	DG/BGTH	6,85	1,15
				1992	DG/BGTH	6,1	1,9
				1995	DG/BGTH	6,358	1,642

Les levés topographiques ont été réalisés sur des retenues entièrement sèches (El Houareb et Bir M'Cherga), ou dans les parties situées en amont des retenues afin de compléter les levés bathymétriques (GARETTA et OUERGHEMMI, 1998). La quantification par MNT a été utilisée lors des campagnes de 2002, menées sur les retenues des barrages Mellegue, Sejnane et Sidi Salem. La précision des volumes de sédiments piégés par cette méthode dépend de l'échelle de travail, ainsi que de la disponibilité d'information topographique sur les fonds des retenues avant leur mise en eau.

Ces différentes méthodes d'évaluation de l'envasement, permettent de quantifier les volumes de sédiments piégés dans un intervalle de temps, de déterminer les pertes de la capacité des retenues des barrages, de localiser les zones les plus comblées et de tracer les profils en long du fond des retenues.

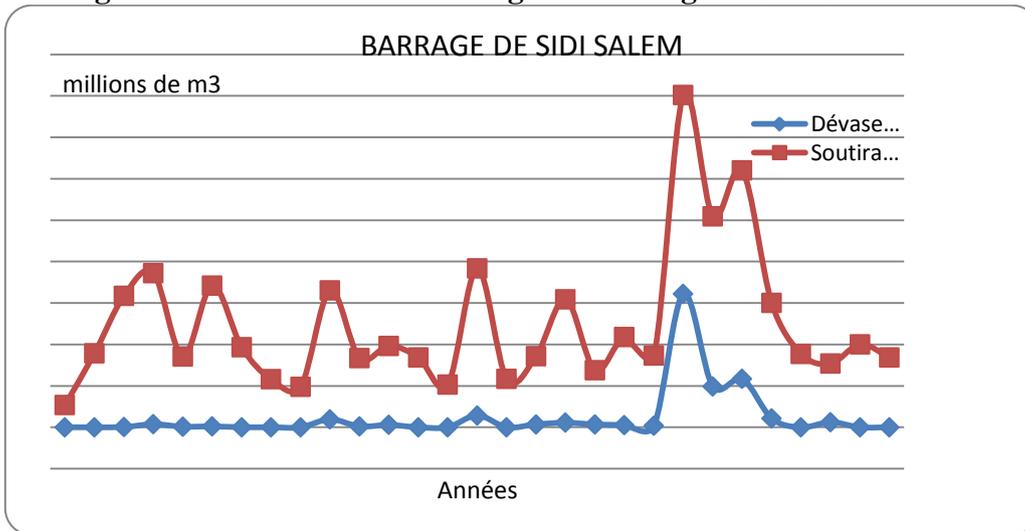
Les connaissances acquises dans les domaines de l'alluvionnement permettent de formuler un certain nombre de recommandations pour la maîtrise de l'alluvionnement des retenues. Celles-ci portent sur la réduction de l'érosion du bassin versant et sur l'évacuation des sédiments des retenues durant les crues.

Pour réduire l'érosion des sols sur un bassin versant, l'identification des zones les plus sensibles à l'érosion s'impose et elle se traduit par une carte de vulnérabilité à l'érosion. Des actions de protection et de conservation des sols doivent être entreprises à l'échelle des zones les plus vulnérables à l'érosion. Elles doivent être menées en parallèle avec la construction de l'ouvrage. Les lacs collinaires et les travaux de CES (conservation des eaux et du sol) dans les parties amont des bassins versants vulnérables, permettent de protéger les grandes retenues d'eau contre l'alluvionnement rapide. Ces deux techniques sont pratiquées en Tunisie depuis le début des années 1990. Une évaluation de leur efficacité doit être effectuée afin de les généraliser à l'ensemble des bassins hydrologiques du pays.

Afin de réduire l'alluvionnement des retenues des barrages, le soutirage des sédiments par les ouvrages de dévasement, constitue un moyen efficace. Mais par souci de disposer d'une importante réserve d'eau, les manœuvres de soutirage sont généralement effectuées au cours des périodes de crues. L'efficacité de ces manœuvres est liée à la morphologie du fond de la retenue et au maintien du courant de turbidité jusqu'à l'ouvrage de dévasement. Afin d'améliorer le transit des sédiments à travers la retenue, des travaux modifiant la morphologie du fond de la retenue sont parfois nécessaires, de telle sorte que le courant de turbidité se propage jusqu'à l'ouvrage de dévasement.

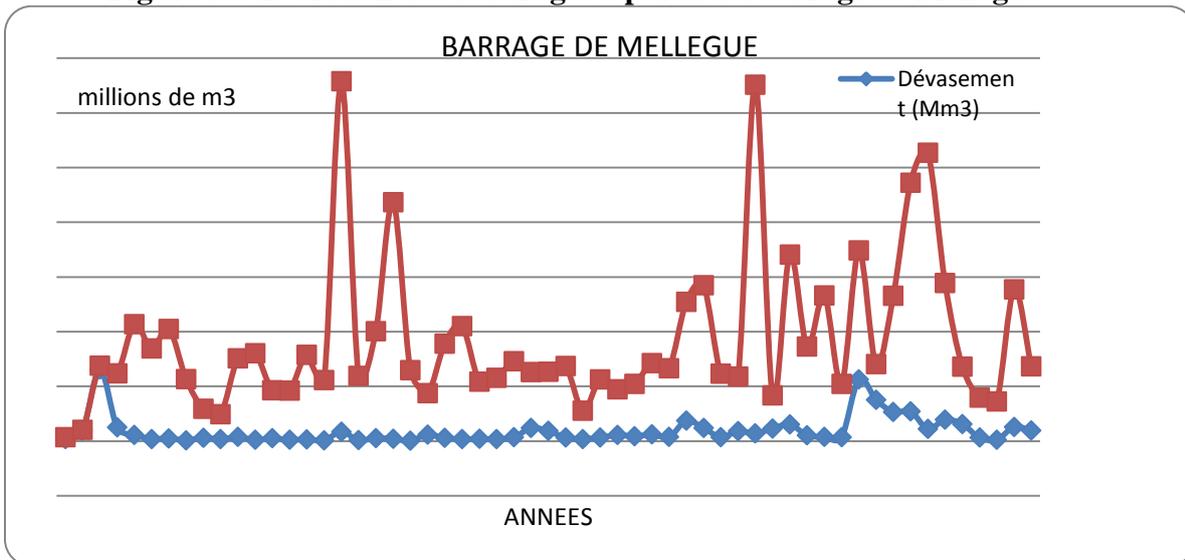
L'évolution des soutirages de dévasement est comparée, dans les figures ci-après, aux soutirages globaux depuis leur mise en eau dans le cas de quatre barrages représentatifs des divers modes d'alluvionnements en Tunisie (Sidi Salem, Mellègue, Bou Heurtma et Lakhmess).

**Figure 37: Evolution des soutirages du barrage de Sidi Salem**



Le soutirage de dévasement varie de zéro à 40% des soutirages globaux. C'est au cours des années 2003, 2004 et 2005 (années à pluviométrie excédentaire) que le taux de restitution à partir des organes de dévasement, a varié entre 20 et 40%.

**Figure 38: Evolution des soutirages à partir du barrage de Mellegue**



Durant les cinquante-sept années de son fonctionnement, le barrage de Mellegue a permis de soutirer **10 milliards de m<sup>3</sup>** de ses apports (déversées non comprises) dont **1 milliard de m<sup>3</sup>** restitué à partir des organes de dévasement; soit un taux de dévasement de 10%.

Figure 39: Evolution des soutirages à partir du barrage de Bou Heurtma

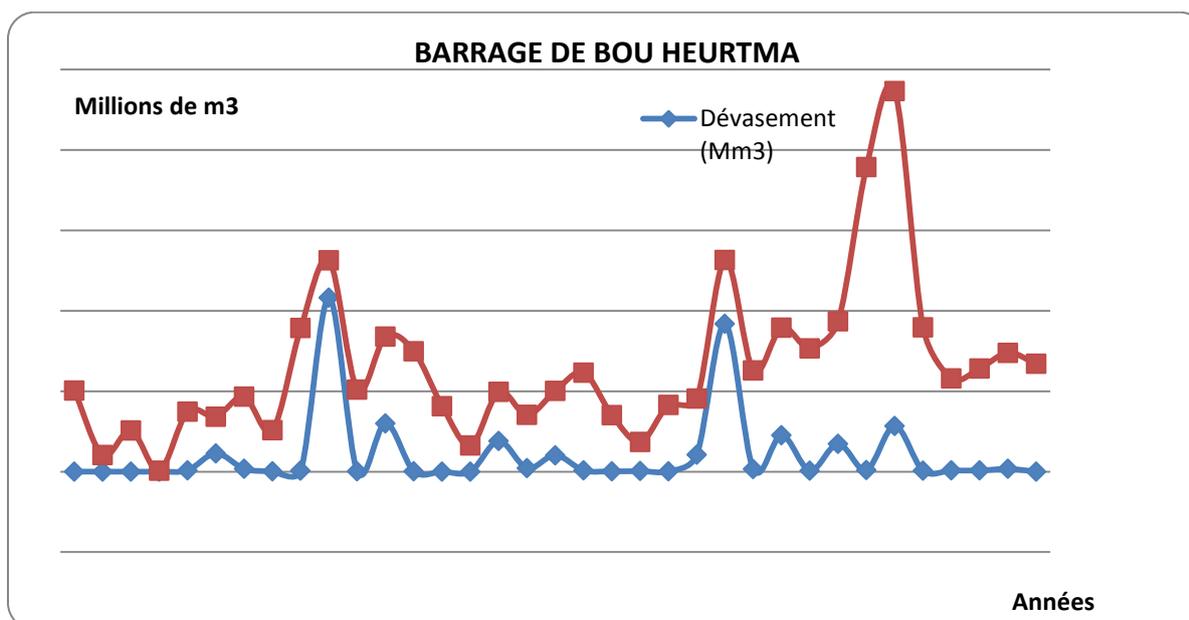
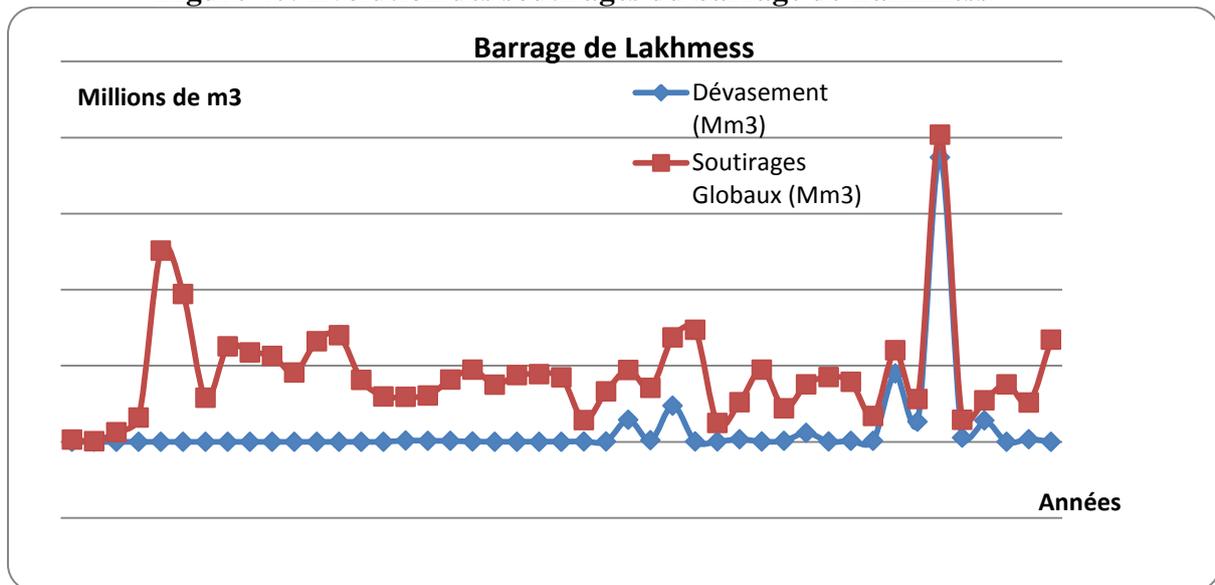


Tableau 33: Bilans annuels de la retenue du barrage de Bou Heurtma

Année	(1)								(9)	(9)/(1)
	Dévasement (Mm3)	déversées (Mm3)	Apports (Mm3)	irrig pompage	lachure	exploitation	perte	Fuites		
1976	0	0	46.355		0	50.369		0	50.369	0.00%
1977	0	0	60.427		0	10.377		0	10.377	0.00%
1978	0	0	75.236		0	25.504		0.051	25.555	0.00%
1979	0.062	30.376	52.98		0.518	0		0.126	0.706	8.78%
1980	0.825	61.755	76.349		25.721	10.626		0.129	37.301	2.21%
1981	11.395	15.417	78.027		7.83	14.919		0.099	34.243	33.28%
1982	1.81	4.644	73.473		29.597	14.926		0.258	46.591	3.88%
1983	0.228	56.072	87.728		7.697	17.667		0.264	25.856	0.88%
1984	0.574	21.213	125.896		73.11	15.354		0.283	89.321	0.64%
1985	108.214	15.014	157.314		0	23.105		0.18	131.499	82.29%
1986	0.21	0	46.129		0	50.603		0.309	51.122	0.41%
1987	30.086	133.686	245.319		0	53.755		0.238	84.079	35.78%
1988	0.24	0	53.674		0	74.385		0.229	74.854	0.32%
1989	0.074	0	23.115		0	40.643		0.063	40.78	0.18%
1990	0.065	0	9.388		0	16.217		0.064	16.346	0.40%
1991	19.065	42.995	164.142		0	30.464		0.041	49.57	38.46%
1992	2.196	1.277	57.158		0	31.213		1.865	35.274	6.23%
1993	10.223	3.69	52.483		0.786	39.092		0.059	50.16	20.38%
1994	0.817	0	54.297	60.663	0			0.06	61.54	1.33%
1995	0.219	0	22.134	34.646	0			0.325	35.19	0.62%
1996	0.329	0.624	77.151	17.493	0.55			0.104	18.476	1.78%
1997	0.269	0	27.456	39.868	0			1.323	41.46	0.65%
1998	10.507	49.344	113.245	28.651	0			6.287	45.445	23.12%
1999	91.988	14.092	145.394	33.763	0			5.893	131.644	69.88%
2000	1.596	0	38.995	53.799	0			7.473	62.868	2.54%
2001	22.629	16.059	86.148		16.369	50.357		0.09	89.445	25.30%
2002	0.663	0	22.055	62.029	10.818	3.109		0.107	76.726	0.86%
2003	17.346	231.749	281.083	43.964	25.154	6.863	1.096	0.114	93.441	18.56%
2004	1.04	0	130.381	44.073	111.127	33.107	1.247	0.099	189.446	0.55%
2005	28.402	28.461	214.147	45.489	114.134	48.452	4.551	0.109	236.586	12.00%
2006	0.612	0	67.285	55.785	0	14.831	4.219	18.483	89.711	0.68%
2007	0.759	0	47.385	52.465	0	4.299	4.788	0.526	58.049	1.31%
2008	0.742	0	32.978	60.807	1.06	0.987	5.894	0.525	64.121	1.16%
2009	1.725	78.62	179.423	51.622	0.3	19.712	8.88	0.527	73.886	2.33%
2010	0.072	0	34.165	63.462	0.134	2.74	6.949	0.757	67.165	0.11%

**Figure 40: Evolution des soutirages du barrage de Lakhmess**



Depuis sa mise en eau en 1966 et jusqu'à 1980, le taux de dévasement n'a pas dépassé sur le barrage de Lakhmess, les 0.1% des soutirages globaux. C'est à partir de l'année 2000 que ce dévasement est devenu plus fréquent, pour atteindre en 2003, un taux de 75% et de 95% en 2005.

Afin de limiter la réduction de la capacité de stockage des barrages en Tunisie, la surélévation des seuils des déversoirs est conçue en parallèle avec la construction de nouveaux barrages dans les bassins des retenues ayant atteint un taux d'alluvionnement important, comme moyen de préserver la capacité de rétention globale de l'ensemble des barrages.

La surélévation du seuil du barrage Sidi Salem a entraîné l'augmentation l'alluvionnement comme ce fut le cas pour les barrages algériens surélevés (REMINE et al., 1997). Des actions antiérosives sont entreprises pour préserver, le plus longtemps possible, la capacité de stockage des retenues. Toutefois, les travaux de CES réduisent les volumes d'eau ruisselés (NASRI et al., 2004 ; YAHYAOUÏ et al., 2002) . En effet, le suivi des écoulements avant et après les travaux de CES à l'échelle d'un petit bassin de 18,1 km<sup>2</sup> contrôlé par un lac collinaire (El Gouazine) a montré une réduction du coefficient d'écoulement global initial d'environ 25% pour des précipitations supérieures à 20mm et à 2%, pour des pluies de 30 à 50mm (NASRI et al., 2004).

Actuellement, la capacité de stockage des barrages tunisiens est de l'ordre 2050 M m<sup>3</sup>/an. Elle atteindra en 2016, l'équivalent de 2640 M m<sup>3</sup>/an, soit un taux de régularisation global entre 60 et 77% et un taux de stockage entre 134 et 139%.

En effet la plupart des barrages du Nord Tunisien ont une capacité de régularisation de l'ordre de l'apport moyen annuel (0,8 à 1); soit un module<sup>16</sup>.

**Tableau 34: Capacités de régularisation et de stockage par les barrages en Tunisie**

Unité hydrauliques	Etat actuel (en millions de m3/an)					
	Apport moyen	Volume régularisé	Volume à Retenue normale	(Volume régularisé /volume à RN)	(Volume régularisé /Apport moyen)	(Volume RN /Apport moyen)
Extrême Nord	646.21	500.18	893.40	0.56	0.77	1.38
Haute vallée de Mejerda	931.762	682.920	1275.740	0.535	0.733	1.369
Basse vallée et Cap Bon	64.279	38.100	89.410	0.426	0.593	1.391
Tunisie Centrale	285.556	182.740	382.340	0.478	0.640	1.339
<b>Total</b>	<b>1927.80</b>	<b>1403.94</b>	<b>2640.89</b>			

Il est attendu d'ici 2050, de renforcer cette capacité dans les zones les humides du pays (Extrême-Nord et Medjerda) et de renforcer le taux de régularisation de ces ouvrages (actuellement compris entre 0,6 et 0,77), pour atteindre un taux de régularisation global de 95%. Il sera ainsi possible de régulariser les apports des grandes crues et de maîtriser un volume additionnel de 470 Mm<sup>3</sup>/an par l'amélioration du taux de régularisation des barrages, l'augmentation de leur capacité de stockage et la réduction de l'envasement.

Enfin, la meilleure gestion des ressources en eau de surface doit être envisagée durant les périodes excédentaires et non durant les périodes déficitaires.

Cette gestion exige la réalisation de plusieurs études telles que l'élaboration de cartes de vulnérabilité à l'érosion aux échelles permettant l'appréciation des volumes érodés, la réalisation de cartes de sensibilité à la salinisation des périmètres irrigués, le contrôle de la fertilité des sols par des recherches et études en matière de fertilisation, la consolidation des laboratoires d'analyse et des programmes de recherche en CES. Une attention particulière devra être accordée à la nécessité d'introduire une CES productive au niveau des parcelles et d'adopter des techniques antiérosives qui s'intègrent en toute synergie avec les composantes classiques des systèmes de production (cas du semis direct). La rentabilité économique de ces techniques simples devra être perceptible à court et moyen terme, une condition qui séduira les bénéficiaires et les incitera à l'appropriation et à la reproductibilité futures de ces techniques de CES au niveau des parcelles.

**La réduction de l'envasement des barrages** permet la conservation de la performance de ces ouvrages afin de ne pas diminuer le volume mobilisé. Les barrages s'ensavent à un rythme variable qui dépend essentiellement du couvert végétal du bassin versant et de la nature du sol dans le bassin versant situé en amont.

<sup>16</sup> Module : apport moyen annuel

Tenant compte de la durée de vie des barrages (50-70 ans) en Tunisie, la réhabilitation et la modernisation de ces ouvrages hydrauliques s'impose à terme. En effet, les barrages réalisés avant l'indépendance et durant les premiers plans de développement seront susceptibles d'être remplacés ou réhabilités durant les prochaines décennies. C'est également le cas tous les ouvrages de génie civil dont l'âge dépasse 50 ans (équipements des barrages Mellègue, Beni Métir, El Aroussia et les adductions du Beni Métir et du Kasseb).

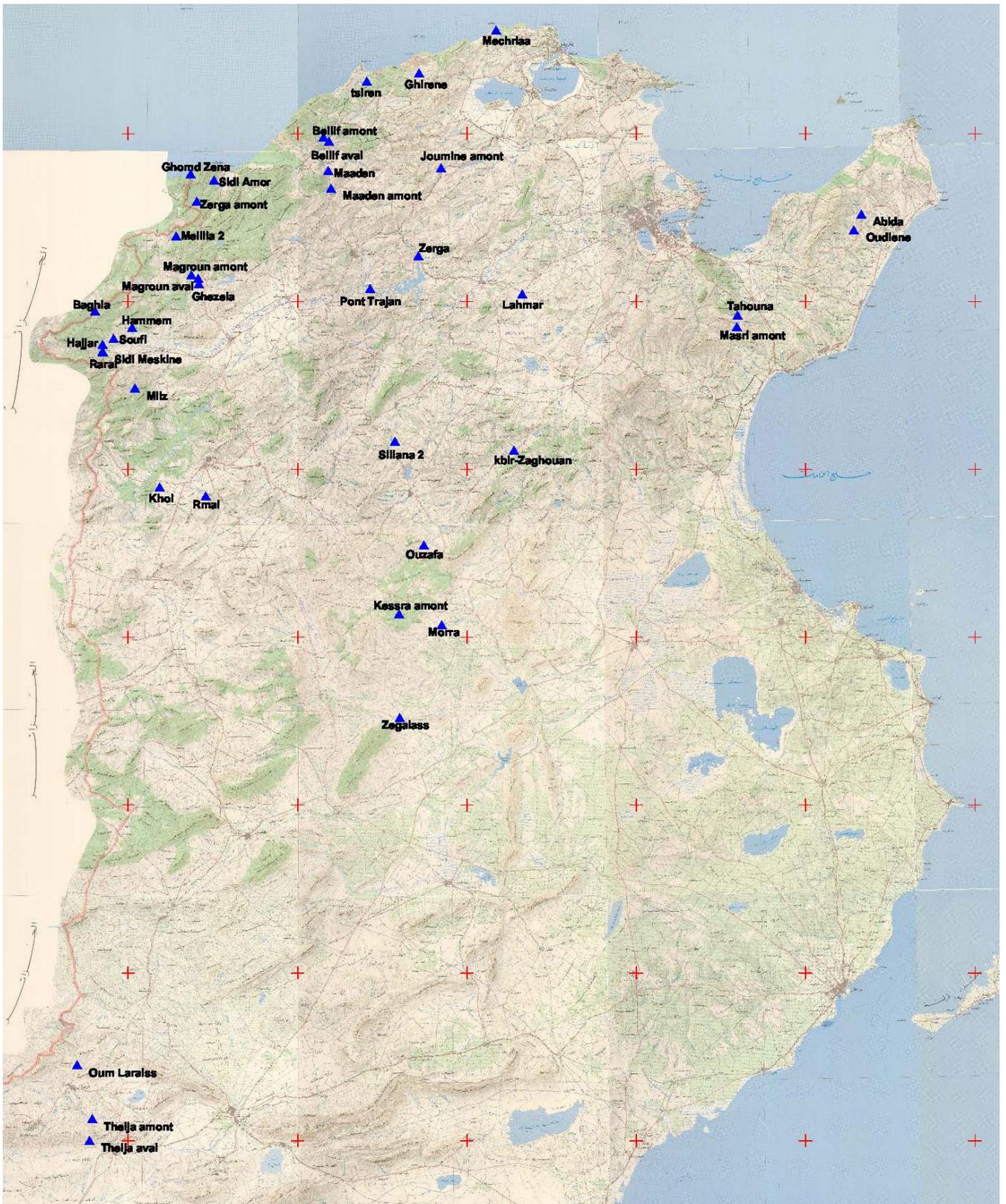
L'ensemble de ces aménagements seront remplacés ou réhabilités, au fur et à mesure, sur la base d'un diagnostic de leur état et d'un plan détaillé. Le renouvellement et le remplacement de ces ouvrages ont tendance à se réaliser avec la même dynamique que la première installation. Assez souvent, la réhabilitation des ouvrages hydrauliques est associée à une nouvelle conception du développement sur la base des nouvelles technologies. Ainsi, tout changement dans l'infrastructure hydraulique, s'accompagne de changements substantiels dans les procédures de leur gestion et équipement; d'où la nécessité de préparer les capacités humaines qualifiées à ces nouvelles tâches.

Les objectifs assignés à la nouvelle génération des projets de gestion des ressources naturelles dont particulièrement les projets de conservation des eaux, se résument dans la promotion d'une gestion durable par un processus de développement participatif intégré à l'échelle des bassins versants afin de permettre une croissance soutenue, une meilleure production agricole, l'amélioration des conditions de vie des populations, la sécurisation de l'approvisionnement en eau du pays et la protection des infrastructures socioéconomiques menacées par l'érosion, les inondations et les envasements.

La durabilité du système hydraulique est tributaire de l'effort déployé pour assurer le maintien de ses performances et la préservation de ses fonctionnalités. Elle est conçue à travers des actions qui visent :

- le maintien et le renforcement de l'infrastructure hydraulique par des ouvrages additionnels,
- la préservation des fonctions du système contre l'altération et la réduction des performances,
- le renforcement de la ressource disponible par l'apport des eaux non conventionnelles (recyclage, dessalement, ...).

Figure 41: Sites de barrages identifiés pour être réalisés au cours de 2020-2050



### MOBILISATION DES EAUX DES CRUES ET GESTION DE LA SÉCHERESSE

---

La mobilisation des eaux des crues est capitale en Tunisie dont l'essentiel de ses eaux de surface en résulte. La maîtrise des eaux de crues permet de protéger les cultures et les infrastructures, de stocker une partie de l'apport des principaux cours d'eau pour en faire des réserves pour des utilisations différées et de modeler le ruissellement afin d'en faire profiter au maximum pour l'infiltration et la recharge des aquifères souterrains.

A ce titre la mobilisation des eaux des crues exige une connaissance approfondie et spécifique de la répartition de la pluviométrie (localisation, durée et intensité), du régime d'écoulement de surface (temps de concentration et de vidange) et de l'aptitude du sol (nature, pente et perméabilité) à assurer le ruissellement ou l'infiltration. C'est donc en se référant à la maîtrise des régimes pluviométrique et hydrométrique qu'il est possible de bien maîtriser la mobilisation des eaux de crues.

La mobilisation des eaux de crues se conçoit par stockage et transfert ; ainsi que par changement du régime d'écoulement et déviation. Elle exige une infrastructure conséquente et des aménagements adaptés qui prennent en considération la réponse de l'ensemble du bassin versant afin de limiter les dégâts et d'assurer l'efficacité du stockage ou de l'infiltration de l'eau dans le sous-sol.

Les contraintes topographiques, géologiques, techniques, et souvent financières conditionnent de près, la capacité de la retenue des barrages conçues pour le stockage de l'essentiel des eaux des crues.,

Durant les soixante dernières années, successivement et indépendamment les uns des autres, en vue de répondre à l'objectif d'assurer la mobilisation des eaux de surface, le barrage de Beni Metir a été réalisé pour fournir un volume de 38 millions de m<sup>3</sup> par an à Tunis, celui du

Mellègue a été également conçu pour protéger les plaines de Jendouba et Bousalem contre les crues dévastatrices, car, dans cette zone, les besoins étaient limités et la mobilisation du maximum des ressources n'était pas à l'ordre du jour. C'est seulement à partir du démarrage du plan directeur des eaux du Nord (années 1970-75), que la recherche d'une maximalisation de la mobilisation de la ressource d'eau a été prise en considération afin de répondre aux besoins du développement du pays. C'est ainsi que l'infrastructure de mobilisation des eaux de surface du pays compte aujourd'hui, 37 grands barrages, 210 barrages collinaires, 800 lacs collinaires et 1000 ouvrages de déviation des eaux de ruissellement.

Avec le temps, s'est avérée la nécessité du réexamen des performances des barrages ainsi réalisés, en vue de l'augmentation de leur capacité de rétention et d'améliorer leur taux de régularisation. Leur interconnexion s'est avérée également nécessaire en vue de maximiser leur stockage et de valoriser les apports de crues, particulièrement leurs eaux de bonne qualité chimique qui permet d'améliorer celle de l'ensemble du stock. Les solutions à adopter sont étudiées à l'aide de la modélisation qui permet de comparer plusieurs options dont les critères techniques et économiques sont arrêtés sur la base des observations réelles.

La capacité actuelle de retenue des barrages est en général de l'ordre de leur apport annuel moyen. Elle ne permet de mobiliser qu'une partie des apports des crues qui adviennent la plupart du temps, d'une façon successive et sous forme d'ondes de courte durée (1 à 6 jours). Ces crues sont souvent, à fort débit (100 à 1000 m<sup>3</sup>/s) et concentrées en automne et au printemps.

Les crues du printemps adviennent à un moment où les barrages sont le plus souvent pleins. Dans ces conditions, le taux de régularisation des grandes crues est faible pour des barrages dont la capacité est de l'ordre d'un module (Sidi Salem: capacité: 1,22 module et taux de régularisation: 52% de la capacité de stockage). Ce taux est en fait encore plus faible, à cause des consignes imposées par la protection contre les inondations du débordement en aval. Plusieurs crues de l'hiver et du printemps sont évacuées vers la mer, en vue de limiter le débit aval et d'éviter le débordement.

L'augmentation de la capacité du stockage des barrages du pays et l'intégration de ces barrages par des interconnexions, permettra une meilleure mobilisation des eaux de crues dont le coût économique contribue à une amélioration de la mobilisation et assure une plus large distribution.

Actuellement, la capacité de stockage disponible dans les barrages de Tunisie est relativement faible et ne participe pas efficacement à la mobilisation des grandes crues. Elle est de l'ordre de 1,8 milliards de m<sup>3</sup>, pour un module mobilisé de 1,7 milliard m<sup>3</sup> par an; soit 1,05% du module, alors que s'il devait être de l'ordre de 2 modules, la mobilisation serait de l'ordre de 2,4 milliards m<sup>3</sup>/an. Cette situation explique l'importance des déversements lors des grandes crues à la mer ; surtout sur le bassin de la Medjerda.

Il est attendu de renforcer, durant les prochaines décennies, la capacité des barrages du Nord du pays, particulièrement dans la vallée de la Medjerda et en Extrême Nord où se concentre près de 80% en eau de surface du pays.

En effet, l'édification durant la prochaine décennie, des barrages du Mellègue amont, du Serrat, et ceux sur les affluents de la Medjrda à Gardimaou, à Tessa, Zerga, Beja et Chaffrou est de nature à améliorer la capacité de stockage de cet ensemble et d'assurer un stock additionnel de 470 millions m<sup>3</sup>/an. Cette eau de bonne qualité chimique, est de nature à mieux valoriser les disponibilités en eau de surface en permettant d'avoir un stock en eau de meilleure qualité chimique.

L'excédent en eau mobilisé à partir des crues exceptionnelles par les retenues des barrages permettra de disposer d'un volume en eau supplémentaire pour la recharge artificielle des nappes qui constitue également un stockage de sécurité permettant de remédier aux méfaits de la surexploitation

## **I. RECHARGE DES NAPPES A PARTIR DES EAUX DE CRUES**

La recharge des nappes est un moyen d'assurer le stockage souterrain de l'excédent en eau de crues. Cette opération permet également de réduire le coût du pompage à partir des puits et forages et d'éviter l'accroissement de la salinité de l'eau de la nappe suite à l'intensification de son exploitation. Pour ceci, des ouvrages spécifiques sont utilisés. Ils permettent d'infiltrer et de stocker dans le sol des quantités appréciables en eau de barrages et de crues.

La recharge artificielle des nappes aquifères intéresse actuellement **25 nappes** avec **35 stations** de recharge (autres que les 50 ouvrages de recharges précédemment mentionnés). Cette recharge est assurée à l'aide d'ouvrages aménagés dans les lits et sur les berges des oueds, des bassins spécifiques, des puits, des barrages souterrains.

Les quantités d'eau actuellement utilisées pour la recharge artificielle des nappes souterraines s'élèvent, en fonction des disponibilités en eaux de surface, entre **30 et 70 Millions** de m<sup>3</sup>/an. L'expérimentation de la recharge artificielle des nappes entamée en Tunisie en 1992, a permis de stocker dans le sous-sol, jusqu'en 2005, l'équivalent de **415 Millions** de m<sup>3</sup>.

Entreprise jusqu'à ce jour, essentiellement à titre expérimental, la recharge artificielle des nappes est en train de devenir une option fondamentale dans la mobilisation des eaux des aquifères du pays. Cette situation permet de faire face à la forte pression que subissent ces nappes tout en leurs garantissant une durabilité plus grande. Elle est associée, à ce titre à la maîtrise de l'apport en eau des grandes crues et à une infrastructure spécifique à mettre en place.

D'autre part, en valorisant de plus en plus par la réutilisation, les eaux usées traitées (stades 2 et 3), la recharge des nappes disposerait d'une ressource en eau supplémentaire dont la gestion sera mieux assurée par sa mise en réserve dans le sous-sol.

L'expérience acquise dans ce domaine depuis près de trente ans d'expérimentation, a mis en évidence les possibilités techniques de l'opération et les opportunités d'en faire une option opérationnelle pour le développement des eaux souterraines ainsi que pour la préservation de leur qualité chimique.

Après une phase expérimentale ayant concerné les méthodes opérationnelles et techniques appropriées, il a été possible de définir, pour chaque région du pays, les procédés les mieux adaptés du point de vue du coût et de l'efficacité.

Ainsi, pour **le Nord du pays** où les eaux des crues sont plus fréquentes, la maîtrise de ces eaux à l'aide des barrages et barrages collinaires, constitue la source d'eau la mieux indiquée pour la recharge des aquifères. Différentes techniques sont pratiquées pour la recharge en passant des lits d'oueds et des terrains filtrants aux ouvrages adaptés comme les bassins, les tranchées, les puits et les forages. Déjà entreprise sur l'Oued Joumine, à Ras Jebel, à Morneg, à Menzel Bouzelfa, à El Kobba (Grombalia) et à Oued Souhil, cette recharge a dépassé le stade de l'expérimentation pour contribuer au renforcement du stock souterrain en eau des nappes concernées.

**Dans le centre du pays** où les crues sont violentes et relativement fréquentes (10 à 15 par an), la recharge des nappes est associée aux aménagements de conservation des eaux et des

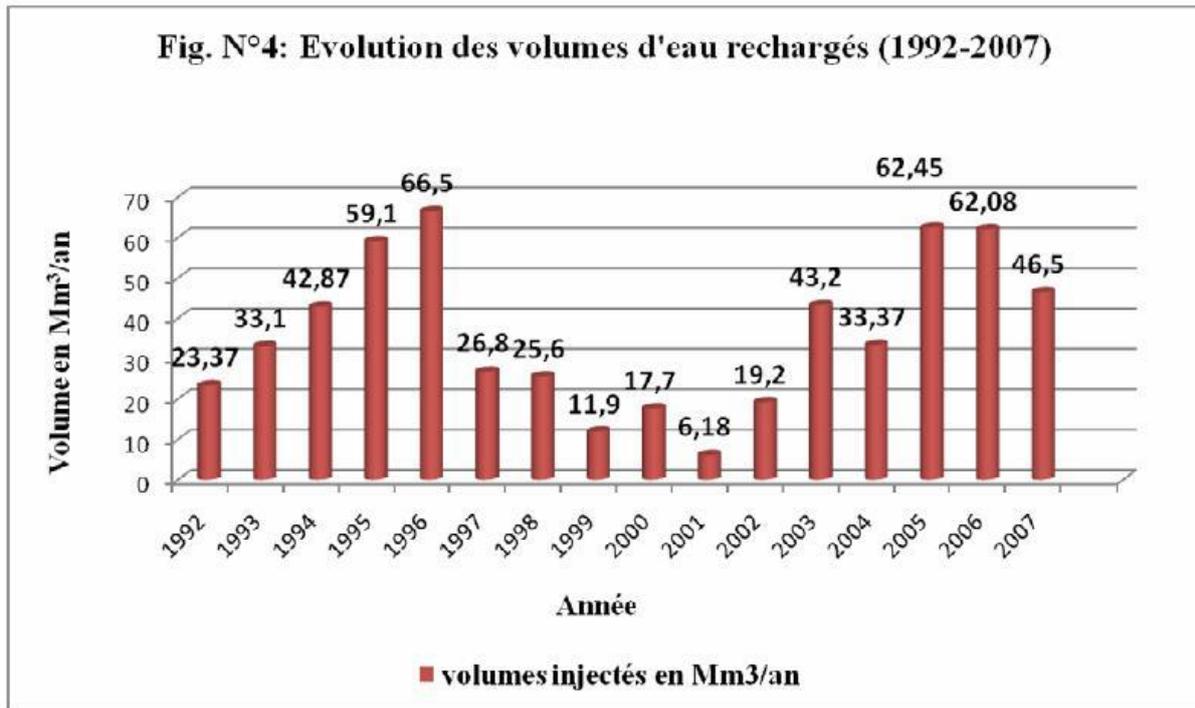
sols en vue d'assurer le stockage souterrain du maximum d'eau. C'est au niveau des lits d'oued que cette recharge est la plus rentabilisée. Les opérations de recharge entreprises sur les oueds Zéroud et Merguellil, ainsi que sur les oueds El Fekka et Sbiba ont montré que les volumes en eau ainsi stockés dans les nappes sont relativement appréciables et contribuent efficacement à atténuer l'effet de la surexploitation.

**Dans le Sud du pays**, c'est plus spécifiquement la maîtrise des eaux des crues par les différents ouvrages de CES qui s'avère la plus efficace. C'est le cas particulièrement sur les oueds Sidi Aïch (Gafsa), Koutine (Gabès-Médenine), Métameur (Médenine) et Tataouine (Tataouine) que les ouvrages de conservation des eaux et des sols ont montré leur efficacité dans la maîtrise des eaux des crues et la recharge des nappes phréatiques et profondes.

Un seul aspect demande à être évalué avec plus de rigueur. Il concerne le coût économique de l'opération dont les principales composantes sont les aménagements hydrauliques nécessaires (barrages de stockage, canalisations d'adduction, ouvrages d'infiltration de l'eau et équipement de pompage). Ce coût doit être évalué sur la base des impacts économiques, environnementaux et sociaux associés à la dégradation des nappes et à l'amenuisement de leurs disponibilités en eau. Ce coût sera dans les prochaines décennies évalué sur la base des solutions plausibles de recharge pour la préservation de la nappe. Actuellement, il est à comparer au coût du dessalement qui reste dans tous les cas, la solution de recharge la plus accessible.

Il est attendu au cours des prochaines décennies, que l'effort déployé dans la recharge soit intensifié et étendu à plusieurs autres nappes dont l'exploitation est de plus en plus intensive. Basées sur une connaissance exhaustive des nappes tunisiennes et de leur état d'exploitation actuelle, et tout en supposant une tendance d'exploitation confirmée, les perspectives de cette recharge concerneraient la majeure partie des nappes phréatiques et certaines des nappes profondes dont les capacités de stockage souterrain est important. Il est attendu d'atteindre un volume en eau de 200 – 250 Millions de m<sup>3</sup>/an qu'on arriverait à stocker dans les nappes les plus performantes et dont l'exploitation est stratégique.

**Figure 42: Quantités d'eau employées pour la recharge des nappes**



## II. GESTION DES SECHERESSES

La sécheresse est fréquente en Tunisie et cause des dégâts matériels et économiques. La variabilité des cycles climatiques provoque d'une façon erratique, des modifications du niveau de la production qui acculent les agriculteurs à des situations difficiles, et affecte les stocks en eau des retenues des barrages et les réserves en eau souterraine des nappes destinées pour répondre aux besoins en eau potable. Les dernières sécheresses ayant causé les dégâts importants en Tunisie, sont celles des années soixante, des années quatre-vingt et des années deux mille.

On est amené à distinguer la sécheresse pluviométrique de la sécheresse hydrologique. La première se traduit par la perturbation du régime des pluies tant dans leur répartition saisonnière que dans leurs quantités enregistrées. La sécheresse hydrologique est plus particulière et concerne plutôt l'apport en eau du réseau hydrographique du pays. Avec les changements climatiques dont les impacts sont de plus en plus nets, ces deux types de sécheresse seront, au cours des prochaines décennies, plus aigus.

Les secteurs de l'élevage, des céréales et de l'irrigation, ainsi que l'alimentation en eau potable, sont les premiers, dans les zones rurales, à subir les effets de la sécheresse. En plus, la sécheresse dégrade la qualité de l'eau et fait augmenter le taux des sels dissous. L'eau du

barrage de Sidi Salem accuse en années de sécheresse, une salinité qui dépasse les trois grammes par litre ; ce qui la rend inutilisable pour l'alimentation en eau potable et pour l'irrigation de plusieurs catégories de cultures. Le rabattement des nappes phréatiques devient excessif avec une dégradation de la qualité de l'eau comme dans le cas des nappes du Cap Bon, du Sisseb, de Kairouan, de Sidi Bouzid et des hauts plateaux.

La sécheresse ravage dans certains cas, l'ensemble du pays. Elle se limite, dans d'autres cas à une ou plusieurs régions, comme elle peut être saisonnière, annuelle ou pluriannuelle et sa persistance peut s'étendre sur deux ou trois années successives. Les années sèches dont le déficit pluviométrique est compris entre 30% et 50% sont prédominantes. Celles présentant un déficit supérieur à 50% de la pluie moyenne annuelle, sont considérées comme sévères. Elles sont rares dans le Nord, mais plus fréquentes dans le Centre et le Sud du pays. Durant les cent dernières années, 70% de cas de sécheresse montrent une relation très étroite entre la réduction de la pluviométrie de l'automne et celle de toute l'année. Si l'automne est sec, il y a 70% de chance d'avoir une année sèche.

La Tunisie a acquis de l'expérience dans la gestion de la sécheresse et l'atténuation de ses effets négatifs directs ou indirects. La méthode appliquée et les outils utilisés ont montré leur efficacité, mais des situations similaires durant les prochaines décennies, exigent une actualisation permanente du mode de gestion de la sécheresse et la mise en place de nouveaux outils d'intervention, à la lumière d'une compréhension des mécanismes de la sécheresse, de l'accumulation de l'information climatique et de l'amplification des risques avec le développement économique.

Au cours des prochaines décennies et à l'horizon 2050, la capacité du pays en mesures de protection contre la sécheresse, est appelée à s'améliorer suite à la densification de son équipement en infrastructures de mobilisation; mais l'efficacité des moyens mis en place dépendra essentiellement de la disponibilité de l'information hydrologique et hydrogéologique, de son traitement rapide en vue de la prise de décision pour la gestion des stocks en eau et de la planification optimale de l'affectation de la ressource afin de répondre aux priorités des besoins en eau.

L'économie dans l'utilisation de l'eau, son stockage dans les retenues, son emploi pour la recharge des nappes souterraines, son recyclage, son dessalement, ou son transfert dense, constituent des moyens pratiques pour sa protection contre les méfaits de la sécheresse.

### **a. - Gestion des crues**

Les crues permettent de reconstituer le stock en eau des barrages et la recharge des nappes souterraines. Quand elles sont violentes, ces crues causent de graves dégâts matériels et des pertes en vies humaines. Les crues de 1969 et 1973 ont concerné de vastes régions couvrant plusieurs gouvernorats de la Tunisie centrale et dans la vallée de la Merjerda et elles ont causé plusieurs morts, tout en détruisant une grande partie de l'infrastructure du pays. D'autres crues d'une ampleur plus limitée dans l'espace, ont provoqué de pertes en vies humaines et d'énormes dégâts. C'est le cas des crues enregistrées à Gabès, Tatouine, Tozeur, Gafsa, Redeyef, Sidi Bouzid, Souassi, Enfida, Zaghouan, Radès, Jedaida, Mjez el Bab et Jendouba. En diminuant les vitesses de l'écoulement et la pointe des apports en eau des crues, on diminue leurs impacts destructifs.

La protection de l'aval se pratique à grande échelle par la réalisation de grandes retenues de barrages comme ceux de Sidi Saad sur le Zeroud et d'el Houareb sur le Merguellil. Ces deux retenues, disposant d'une tranche importante d'amortissement toujours vide de la retenue, assurent la protection de l'aval : plaine et ville de Kairouan. Le Barrage de Bir Mcherga sur le Miliane protège la banlieue Sud de Tunis (Rades, Megrine, ez Zahra et la cité sportive). Le Barrage de Sidi Salem protège efficacement la basse vallée de la Medjerda.

Le développement de différentes zones du pays s'est accéléré suite à leur protection par une mise en valeur intensive agricole, urbaine et industrielle. Cette nouvelle situation nécessite, en vue de conserver un niveau de protection proportionnel à la valeur changeante de l'aval objet de la protection, la révision des normes initiales de protection adoptées, ainsi que la revue du mode de protection des projets complémentaires envisagés durant les prochaines décennies. Par exemple, le projet de protection de Bir Mchergua et des digues à édifier sur l'oued Méliane, a pris en considération le fait que la zone de la cité olympique est une zone agricole comportant maintenant, des équipements dont la valeur nécessite la révision du fonctionnement du Barrage de Bir Mchergua et le dimensionnement des digues sur l'Oued Melaine. le problème de protection contre les crues se pose de façon similaire, pour tous les projets de protection à réaliser. La révision du niveau de protection doit être réexaminée tous les dix ans, à la lumière des changements subits par le milieu naturel et l'infrastructure urbaine.

La protection rapprochée contre les inondations assure la protection directe des cités urbaines. Elle se pratique par l'édification de barrages collinaires, des digues et des canaux à ciel ouvert afin d'assurer la dérivation des eaux des crues. Ceci a été le cas de plusieurs projets réalisés pour la protection des villes menacées par les crues comme Gabès, Gafsa, Kairouan, Sfax, Jebniana, Souassi, Meknassy, Sidi Bouzid, etc... Durant les prochaines décennies, la plupart de ces ouvrages se trouveront engloutis dans le tissu urbain et risquent de perdre une partie de leur efficacité, comme c'est le cas du barrage de l'oued Menez localisé en l'aval du Campus Universitaire et protégeant Jebel Lahmar et certains quartiers de Tunis.

Durant les prochaines décennies, l'urbanisation progressive et les changements du milieu rural seront à l'origine de la densification des équipements dans les zones protégées et concerneront des zones vulnérables directement exposées aux menaces des crues. Ceci nécessitera la révision des normes ainsi que les hypothèses adoptées par les projets de protection en ce qui concerne la fréquence de l'avènement des crues, l'ampleur du ruissellement, le débit de pointe, la capacité de transit des oueds, etc... Ainsi, les caractéristiques physiques des oueds et de leur écoulement sont appelées à changer suite à la construction de nouveaux barrages, à l'acquisition de nouvelles données et à l'impact des changements climatiques.

Le coût de protection des zones inondables est déjà élevé. L'intensification du développement de ces zones doit être évité afin de ne pas exposer les vies humaines et l'infrastructure aux dangers et à la destruction. L'identification de ces zones, l'estimation du coût de leur protection et des risques qui les menacent, doit être effectuée par les aménageurs du territoire, pour en tenir compte lors de l'établissement des plans d'aménagement et de l'implantation des infrastructures.

### **III. MESURES D'ACCOMPAGNEMENT**

#### **Recherche et nouvelles technologies**

Le secteur hydraulique se caractérise en Tunisie par la rareté de la ressource en eau ainsi que par la modestie des quantités mobilisées et la diversité de leur origine. A l'exception des débits de crues qui peuvent atteindre des records mondiaux comme c'est le cas du débit du Zéroud en 1969, ayant atteint  $17.000 \text{ m}^3/\text{s}$  et de la Medjerda ayant dépassé  $3.000 \text{ m}^3/\text{s}$  en 1973, les volumes en eau mobilisés sont souvent maîtrisables, mais sa qualité souffre de la charge en sels élevée.

Le pays dispose d'une centaine d'oueds et de près de 500 nappes en eaux souterraines. Les ressources en eau de cet ensemble sont exploitées par 250 grands et petits barrages, 4500 forages profonds et 120.000 puits de surface. A ceci, s'ajoutent 120 stations de traitement de l'eau sous toutes ses formes.

La diversité de la ressource en eau en Tunisie, explique la diversité des technologies utilisées pour sa mobilisation, son adduction et sa distribution. Elle impose le suivi de son évolution et le profit des produits de la recherche et de l'innovation, en vue d'assurer sa gestion intégrée dans le cadre de la complémentarité des secteurs et de l'optimisation de l'usage. Les technologies adoptées et les innovations technologiques à maîtriser sont fortement employées pour la préservation de la ressource en eau, la rationalisation de son exploitation et l'économie de son utilisation.

Plusieurs études ont été réalisées en Tunisie, portant sur les impacts des changements climatiques sur le secteur hydraulique. Toutes les prévisions sont concordantes sur les menaces et les dommages susceptibles d'affecter de manière grave et irréversible les ressources en eau. Elles mettent l'accent sur un dérèglement poussé de l'avènement des pluies et la perturbation de leurs quantités. Cependant la marge de l'incertitude sur les causes, l'ampleur des effets et leur inertie ne permettent pas la prise de décision précise et définitive sur les projets, leurs caractéristiques et leur dimensionnement. Il est recommandé de disposer davantage d'éléments plus précis et de méthodes plus explicites et mieux détaillées afin de pouvoir quantifier les impacts du changement climatique sur les projets en fonctionnement et ceux à mettre en place.

La pression sans cesse croissante sur les ressources en eau suite à une demande d'expansion et des besoins de développement des différents secteurs économiques et sociaux, pousse les différentes catégories de ressources en eau à des limites de stress qui frôlent dans certains cas, la pénurie. Cette situation exige afin de faire face aux défis d'assurer le développement du pays et sa sécurité alimentaire et en eau, la maîtrise de la gouvernance de ce secteur, ce qui ne peut être assuré sans une veille technologique de haut niveau répondant aux besoins suivants :

- Une connaissance approfondie des régimes climatiques, hydrologiques et hydrogéologiques du territoire national basée sur des investigations appropriées et un suivi adéquat des différents aspects relatifs à la ressource en eau, à sa mobilisation et à sa gestion intégrée

- Une maîtrise parfaite des nouvelles recherches scientifiques et technologies nouvelles relatives aux ressources en eau dont celles qui sont non conventionnelles, à la prévision de la demande en eau et à sa gouvernance en situations de pénurie,
- Une vision stratégique perpétuellement actualisée sur la base d'éléments d'aide à la décision qui prend en considération les situations de compétition et conflits sectoriels pour répondre à la demande.

### **Législation**

La législation relative à l'hydraulique trouve dans le code des eaux ses principaux textes ayant permis d'assurer leur préservation et leur gestion. Ce code des eaux mis en application en 1975, nécessite une nouvelle orientation répondant aux profondes mutations subies par l'hydraulique du pays suite à l'intensification de leur mobilisation et au développement des différents secteurs économiques du pays. Il sera adapté dans ses orientations et les conditions de son application, après concertation entre toutes les parties agissantes dans le secteur de l'eau, en vue de mieux préserver la ressource en eau, valoriser à l'optimum son utilisation, et assurer l'équité de sa répartition. L'aspect institutionnel intimement lié à l'aspect législatif, fera également l'objet d'une réflexion approfondie en échos aux préoccupations des différents partenaires concernés par l'eau.

Les opérateurs constituent les acteurs responsables directs de la réussite et de l'échec de toutes les actions. Ils ont des rôles complexes, enchevêtrés et chevauchants, nécessitant la définition précise des responsabilités et des charges de chaque opérateur. Il est important de légiférer pour harmoniser les interventions, améliorer l'efficacité, et répartir les charges dans la perspective d'assurer la pérennité de la ressource en eau et le développement du pays.



### SÉCURITÉ DES SYSTÈMES HYDRAULIQUES

---

#### I. LA SECURITE HYDRAULIQUE PREOCCUPATION PERMANENTE

La rareté de la ressource d'eau en Tunisie, a contraint le pays, tout au long de son histoire, à être toujours préoccupée par sa sécurité hydraulique. Les vestiges hydrauliques laissés par les civilisations des diverses périodes historiques à travers les différentes contrées du pays, attestent de l'ingéniosité de l'homme sur cette terre et de ses tentatives entreprises sans relâche, pour garantir ses besoins d'eau potable ainsi que le développement de ses activités agricoles et industrielles. Certains aménagements <sup>(17)</sup> dénotent une aisance dans l'agrémentation et le savoir vivre.

Cette rareté est d'autant plus accentuée aujourd'hui, que la diversification des usages et la densité démographique élevée exercent sur les ressources en eau du pays, une forte pression jamais auparavant égalée. Dans une perspective de **durabilité à long terme**, il est parfaitement légitime d'avoir une vision en vue de sécuriser la demande et de pouvoir lui répondre à temps, tant avec les quantités exigées que par la qualité requise.

C'est dans cette perspective que la sécurité hydraulique passe avant la sécurité alimentaire et oriente de près, les options de développement, l'équité sociale et entre les générations.

Dans ce cadre de rareté de la ressource, de l'aridité du climat et de son irrégularité, la principale opportunité pour la Tunisie pour le devenir de ses ressources en eau, est de disposer de la mer à proximité. Tout le reste est question de bonne gouvernance et de maîtrise des régimes naturels tant pour la pluviométrie que pour l'écoulement de surface ou la baisse piézométrique des aquifères. Déjà, en se plaçant dans le cadre de la gestion intégrée des

---

<sup>17</sup>Les bassins des Aghlabites à Kairouan, le bassin d'Abou Feher à Tunis des Hafsides et différents thermes à Carthage, Dougga, Zaghuan, Gafsa, el Hamma, ...

disponibilités en eau, le pays conjugue ses efforts pour corriger les clivages naturels et assurer la complémentarité dans la bonne distribution de la ressource en eau disponible.

## **II. PRINCIPAUX THEMES DE LA SECURITE HYDRAULIQUE EN TUNISIE**

Une revue rapide des évènements hydrauliques saillants du XX<sup>e</sup> siècle, donne une idée d'ensemble sur les principaux thèmes de la sécurité hydraulique propre à la Tunisie. Ces thèmes sont inter-liés et interactifs. Le traitement des problèmes des zones assoiffées, la gestion des sécheresses et des crues, la forte demande en eau des principales agglomérations urbaines sans cesse croissante, les exigences de l'irrigation, le développement des pôles touristiques et industriels, constituent des actions souvent prioritaires pour la mobilisation et l'aménagement et nécessitant la planification, le suivi de la programmation et la procuration des financements nécessaires. La réalisation des projets de mobilisation ne fait qu'accentuer les fortes pressions de la demande en eau sur les ressources disponibles. Elle fait apparaître de nouveaux besoins pour la gestion de la pollution hydrique. C'est ainsi que des problèmes relatifs aux institutions, à la réglementation, et à la gestion participative prennent de plus en plus d'ampleur, au point qu'il est souvent question d'assurer la sécurité de l'approvisionnement ou de la durabilité de la ressource en eau elle-même en ayant recours à de nouvelles options d'aménagement de plus en plus complexes et inter-liées. L'émergence enfin de l'irrégularité du climat et de ses changements saisonniers et pluriannuels, l'augmentation du coût de l'énergie, et les défis associés au renouvellement technologique, ne font que rendre la problématique de la sécurité hydraulique d'une acuité pressante et parfois déconcertante.

### **II-1 Durabilité à long terme de la ressource en eau du pays**

La durabilité à long terme de la ressource en eau conventionnelle de la Tunisie se pose plus spécifiquement pour les eaux de surface transfrontalières qui intègrent le territoire national à partir des deux pays voisins ; ainsi que pour les eaux souterraines dont une partie est logée dans les grands systèmes aquifères sahariens à réserves non renouvelables.

- **eaux de surface transfrontalières** : les eaux de surface transfrontalières intégrant le territoire tunisien à partir des pays limitrophes se localisent principalement le long de la frontière occidentale du pays et proviennent des quelques bassins versants qui s'étendent en partie, en Algérie : bassin de l'Extreme-Nord (Oueds Mellila, Barbar, Bou Gouss e Dir Melkhir), bassin de la Medjerda-Ennamra, bassin de Mellegue et bassin du centre-ouest (Oueds Safsaf-el Kébir et Horchan-el Aouedj). Ces bassins

totalisent un apport moyen en Tunisie qui est de 290 Millions de m<sup>3</sup>/an dont l'essentiel est dans les bassins versants de la Medjerda et du Mellègue (250 Mm<sup>3</sup>/an). Ainsi, la dépendance de la Tunisie vis-à-vis de l'apport en eau de surface transfrontalier est relativement faible et ne constitue que 10% de ses potentialités en eau de surface. Sa privation de cet apport n'affecte que partiellement ses ressources en eau, vu que la contribution transfrontière à l'apport de la Medjerda et du Mellègue influence positivement la qualité de l'eau piégée par les premiers barrages édifiés sur ces deux principaux oueds.

- **eaux souterraines transfrontières:** les principaux aquifères profonds du sud tunisien (continental intercalaire, complexe terminal et Djeffara) s'étendent au-delà des frontières du pays dans le bassin saharien. Ces aquifères dont les ressources en eau exploitables en Tunisie sont estimées à près de **800 Millions** de m<sup>3</sup>/an, constituent la part non renouvelable des potentialités en eau des nappes profondes du pays. Ce potentiel largement entamé actuellement, par l'exploitation (710 Millions de m<sup>3</sup>/an en 2010), correspond à près de **55%** du potentiel en eau des nappes profondes du pays. Ce potentiel en eau non renouvelable subit actuellement une forte pression et affiche des signes de surexploitation qui vont se traduire avec le temps, par la dégradation de la qualité de ces eaux. De ce fait, Les eaux souterraines de la Tunisie dont la durabilité ne sera pas affectée avec le temps, sont celles des nappes phréatiques (750 Millions de m<sup>3</sup>/an) et des nappes profondes à ressources renouvelables (600 Millions de m<sup>3</sup>/an). En effet, les nappes sahariennes à réserves en eau non renouvelables accuseront à l'horizon de 2050 un coût de mobilisation plus élevé suite à l'approfondissement des pompages et à l'altération de la qualité chimique de l'eau.

A la lumière de l'état actuel des connaissances sur les ressources en eau du pays, les potentialités sont déjà à un stade avancé de leur mobilisation et un apport en eau de dessalement ou de recharge des nappes est fort nécessaire durant la prochaine décennie, en vue d'assurer une qualité chimique de l'eau répondant aux différents types d'utilisations, particulièrement pour l'eau potable.

### **III. CARACTERISTIQUES DU SYSTEME HYDRAULIQUE TUNISIEN**

Le système hydraulique tunisien englobe des ressources en eau conventionnelles globalement quasi mobilisées et d'autres non conventionnelles de plus en plus importantes dans leur

contribution à satisfaire la demande. Ce système est ainsi composé d'unités hydrauliques non homogènes et mises en place graduellement en fonction de l'accroissement de la demande et au grès des moyens technologiques et financiers disponibles. C'est ainsi que ces unités couvrant les principales régions du pays, mobilisent des ressources d'origines diverses et de qualités variées, mais subissant de plus en plus de pression tant pour les quantités demandées que pour la qualité requise. L'anachronisme ainsi enregistré dans la mise en place de ces unités hydrauliques répond de nos jours à de nouvelles exigences et réalités qui imposent la revue de l'allocation des ressources mobilisées à la lumière des nouvelles priorités de la demande.

L'étape de la mise en place des «plans directeurs des eaux» du Nord, du centre et du Sud du pays (années 1970) a constitué une date marquante dans la mobilisation des ressources en eau du pays. Cette mobilisation a répondu au cours des quarante dernières années, à une demande en eau des régions à développement rapide, mais de nos jours c'est l'ensemble du pays qui est exigeant pour son développement. Ceci implique l'extension du système hydraulique et sa densification.

Ce système s'étend, se complexifie davantage, et s'interconnecte à l'échelle des régions et du pays, tout en intégrant des technologies diversifiées et plus au moins performantes.

En se développant, ce système devient de plus en plus performant, mais entaché d'une certaine vulnérabilité immanente de sa complexité. Il exige de plus en plus d'entretien et de maintenance rigoureuse et des capacités humaines de gestion qualifiées et expérimentées qui sont en mesure de desservir la demande d'une façon permanente, continue, sans risque. Cette demande exige de plus en plus une eau en quantités plus élevées, de bonne qualité pour l'eau potable et à coût acceptable répondant aux besoins du développement économique. Cet état du système et de ses exigences pose en premier lieu, la question de sa sécurisation vis-à-vis des défaillances technologiques (dysfonctionnement) et de l'incapacité de répondre à la demande conformément aux exigences et en second lieu, la question de la durabilité de la ressource elle-même.

#### **IV. SECURITE D'APPROVISIONNEMENT EN EAU**

Une sécurité d'approvisionnement absolue dans la couverture des besoins en eau ne peut être jamais complètement garantie. Trop de facteurs influençant les besoins et la disponibilité de la

ressource sont de nature stochastique. On se réfère en général, à des cas de « charge critique » qui découlent du taux de sécurité d'approvisionnement que l'on s'est fixé.

Cette sécurité d'approvisionnement fut fixée en Tunisie, en se basant sur l'expérience et la nature du régime hydrologique. Elle répond, pour une planification annuelle de la plupart des projets réalisés, à un taux de satisfaction égal à 95 %, pour l'eau potable et à un taux égal à 80%, pour le secteur agricole.

Cette sécurité globale est de plus en plus nuancée par les situations de la demande de pointe qui exigent conjonctuellement, des performances du système relativement coûteuses, ce qui pousse de plus en plus à l'interconnexion du système afin d'assurer à temps, des interventions localisées. Ceci est particulièrement le cas du système des eaux du Nord qui dessert en même temps l'eau potable (Grand Tunis, Sousse, Mahdia et Sfax) et l'irrigation (Mornag et Cap Bon) et dont les ouvrages de stockage à Ghedir el Goulla et à el Kalaa sont primordiaux pour son bon fonctionnement. De même que son interconnexion avec les conduites à partir du barrage el Mesri et de certains autres aquifères, est à la base de son bon fonctionnement.

## **V. SECURITE DES GRANDS ENSEMBLES HYDRAULIQUES ET MEGAPOLES**

Chaque grande unité hydraulique du pays, a sa propre configuration particulière et ses exigences. Les risques liés au dysfonctionnement de chaque unité seront identifiés avec des moyens permettant de minimiser les principaux impacts négatifs. Ainsi, le dysfonctionnement d'une prise à partir d'un barrage ou d'une station de pompage, la rupture d'une adduction importante ou d'un canal de transfert; l'apparition d'un changement notable et non désirable dans la qualité des eaux, nécessitent des programmes appropriés préétablis, des ouvrages adaptés, une procédure de gestion particulière et des plans d'intervention d'urgence adaptés ainsi que des solutions pré informées pour faire face aux diverses situations critiques.

L'exemple le plus représentatif de cette situation, est donné par les retenues de sécurité installées à proximité des grands centres de consommation comme celles de Ghedir el Goulla, le barrage réservoir d'el Mornaguia et le futur barrage réservoir de Saïda permettant d'assurer la sécurisation de l'approvisionnement du Grand Tunis. Ces ouvrages entrent en fonction durant les périodes de coupure des adductions de transfert et les heures de pointe ou en cas d'accidents de qualité de l'eau.

Les mégapoles comme le Sahel de Sousse, le grand Sfax et la région de Bizerte, doivent disposer d'une réserve en eau de sécurité semblable à celle assurée à Ghédir el Goulla à Tunis. Cette réserve sera utilisée en cas d'une importante vacance des adductions de transfert et durant les heures de pointe. Le barrage réservoir projeté à Kalaa Kebira, sera d'une grande utilité pour le Sahel et Sfax et permettra d'assurer un meilleur fonctionnement du transfert des eaux du Nord et une meilleure sécurité de cette canalisation, particulièrement en heures de pointe.

Les grands périmètres d'irrigués installés le long de la Medjerda (Haute, Moyenne et la Basse Vallée de la Medjerda) nécessitent, pour se protéger contre la défaillance de leur approvisionnement en eau, à multiplier les points d'alimentation et les interconnexions. Ceci permettra de limiter les dégâts suite aux coupures et d'éviter les grandes casses des adductions et les vacances des stations de pompage. Les moyennes et petites unités de desserte en eau potable et d'irrigation disposent souvent d'au moins deux sources d'approvisionnement indépendantes ainsi que des interconnexions chaque fois que ceci est possible.

La sécurisation des systèmes d'approvisionnement en eau (eau potable et irrigation) est une option technique dont le coût est souvent le facteur limitant. L'enjeu qui est derrière le dysfonctionnement du système est à la base de la décision pour la réalisation de cette sécurisation. Une bonne étude des possibilités de connexion contribue efficacement à réduire ce coût et assurer plus de souplesse dans la gestion du système.

## **VI. REHABILITATION ET MODERNISATION DES GRANDS OUVRAGES HYDRAULIQUES**

Les grands ouvrages hydrauliques réalisés avant l'indépendance du pays et les premiers plans de développement qui l'ont suivi, atteindront au cours des prochaines décennies, la limite de leur âge théorique ; ce qui impose leurs remplacement ou réhabilitation. C'est également le cas des ouvrages de génie civil et adductions dont l'âge dépasse les 60 ans et qui affichent des signes d'altération et de fatigue. Ceci est également le cas des milliers des forages captant les différents aquifères du pays et dont l'âge théorique moyen est fixé à 25-30 ans.

La réhabilitation de ces ouvrages ne signifie pas toujours leur abandon ou remplacement intégral, mais passe par plusieurs opérations de maintenance et de remplacement partiel. Les ouvrages considérés «hors d'usage» comme les barrages complètement envasés et les

adductions à fort taux d'éléments défectueux, doivent faire l'objet d'une évaluation économique pour leur remplacement. C'est ainsi que le coût d'aménagement pour les futurs principaux ouvrages hydrauliques, doit inclure – dans la perspective de le réduire- la remise en état de certains anciens ouvrages récupérables.

Des plans et programmes de renouvellement et de réhabilitation seront ainsi établis. Ils concernent principalement, les anciens équipements et matériels dont l'âge dépasse 20ans environ. C'est le cas par exemple des équipements des barrages du Mellègue, de Ben Métir, d'el Aroussia, ainsi que de plusieurs tronçons des adductions (Ben Métir et du Kasseb), des premières stations de traitement d'eau potable (Fernana et de Ghédir el Goulla), des stations de traitement (la Charguia), des anciennes stations de pompage, des réseaux de distributions d'eau pour plusieurs villes (réseaux secondaire et tertiaire), des réseaux d'irrigation de la basse vallée de la Medjerda et du Nebhana, ainsi que plusieurs forages profonds des périmètres irrigués des oasis de Gabès, Kébili et Tozeur ...etc

La réhabilitation de ces ouvrages hydrauliques est l'occasion pour introduire de nouvelles technologies permettant de rendre le système plus efficace et de gestion plus souple.

## **VII. VEILLE TECHNOLOGIQUE**

Le secteur hydraulique se caractérise en Tunisie par la rareté de la ressource en eau et sa répartition entre plusieurs sources modestes de nature diverse. Le taux de mobilisation des eaux conventionnelles du pays atteint, pour les eaux de surface, près de 95% et elle se fait principalement par : 37 barrages 210 barrages collinaires et 800 lacs collinaires. Pour les eaux souterraines, cette mobilisation se fait au taux de 90% à l'aide de 7000 forages et 120 000 puits de surface.

Ainsi, le pays dispose d'un parc d'équipement hydraulique gigantesque, mais qui est hétérogène. Cet équipement ayant demandé un lourd investissement public et privé, nécessite de plus en plus de la maintenance et du renouvellement pour être en mesure de mobiliser ces ressources en eau. C'est un savoir-faire local et des capacités humaines performantes dans ces domaines spécifiques qui sont nécessaires au pays pour assurer ces tâches.

La diversité de la ressource en eau en Tunisie, explique la diversité des technologies utilisées pour sa mobilisation, son transfert, son traitement et sa distribution. Cette situation impose pour profiter de la production de la recherche et de l'innovation dans ces domaines, le suivi de

l'évolution de la technologie à l'échelle mondiale dans les domaines des barrages, du pompage, des conduites, des forages, du traitement, du dessalement ...etc.

### COMPOSANTES DE LA VISION STRATEGIQUE 2030

---

#### I. INTRODUCTION

Les études prospectives sont la base d'une planification dynamique de la gestion des ressources en eau à l'horizon 2030. Les activités programmées par la planification dynamique, permettent d'atteindre les objectifs de la vision élaborés à partir du diagnostic de la situation actuelle. Cette vision fixe un choix réalisable dans le futur.

Le choix fixé par cette vision doit être, pour qu'il soit faisable, en parfaite correspondance avec les ressources techniques, humaines, matérielles, financières et institutionnelles que le pays est en mesure de déployer avec méthode pour faire face à la rareté et à l'accroissement de la demande en eau.

**On rappelle que** la Tunisie reçoit en moyenne, 230 mm/an de pluie, soit 36 milliards de m<sup>3</sup> par an. Ce volume se réduit, en années de sécheresse, à 11 milliards et peut atteindre, en années fortement pluvieuses, les 90 milliards de m<sup>3</sup> ; soit un rapport de 1 à 8.

En 2012, le potentiel en ressources en eau de surface mobilisées, a été de **2.4 milliards de m<sup>3</sup>/an**, répartis à raison de **2080 millions de m<sup>3</sup>** au niveau des barrages, **190 millions de m<sup>3</sup>** dans les barrages collinaires et **130 millions de m<sup>3</sup>** dans les lacs collinaires. Il est attendu que ce potentiel atteigne en 2015, un volume mobilisé de l'ordre de **2.5 milliards de m<sup>3</sup>**, sur un potentiel global de **2.7 milliards de m<sup>3</sup>**. Il reste donc **200 millions** à mobiliser de l'apport annuel moyen.

Les ressources en eau souterraine mobilisées atteignent, en 2012, les **2.0 milliards de m<sup>3</sup>** dont **1.19 milliards de m<sup>3</sup>** à partir des nappes profondes sur un potentiel de **1.4 milliards de m<sup>3</sup>** (soit un taux d'exploitation de 85%) et **0.85 milliards de m<sup>3</sup>** à partir des nappes phréatiques (soit un taux d'exploitation de 108%).

## **II. COMPOSANTES PRINCIPALES DE LA STRATEGIE HORIZON 2030.**

L'étude propose de fonder la politique de l'eau sur différentes approches qui permettent une gestion durable et intégrée des ressources en eau par l'achèvement de la mobilisation de toutes les ressources en eaux de surface identifiées mobilisables des apports moyens et des apports des crues économiquement exploitables de différentes fréquences utilisables, et de l'exploitation rationnelle de l'ensemble des ressources en eau souterraines jusqu'à la limite que permet la capacité propre de renouvellement de chaque nappe.

L'étude propose, par le développement du réseau national d'interconnexion et de transfert, par le développement du dessalement et du recyclage des eaux usées, d'assurer la compensation des zones et des régions déficitaires pour satisfaire les besoins en eau potable urbaine, rurale, industrielle, et touristique, et pour assurer la maîtrise de la surexploitation et la recharge des nappes, l'extension et la modernisation des périmètres irrigués et l'amélioration de la qualité des eaux.

L'étude propose des actions pour assurer la protection contre la pollution hydrique des ressources de surface et souterraines et milieu rural ainsi que les actions pour la protection contre les inondations, l'érosion et l'envasement des barrages.

Toutes les actions préconisées par l'étude doivent être appuyées par la recherche scientifique et le renforcement des organismes et des institutions chargées de la gestion de la mobilisation de l'exploitation et de la distribution de l'eau. Les projets identifiés par l'étude se présentent comme suit :

### **II-1 Eau de surface : les barrages**

#### ***La Medjerda***

La mobilisation et la maîtrise des eaux de la Medjerda qui comporte Sidi Salem, le plus grand barrage de la Tunisie, pièce maîtresse du Plan directeur des eaux du Nord, dont la capacité atteint 674 millions de m<sup>3</sup>, constitue le programme principal de mobilisation des eaux de surface pendant la prochaine décennie. Le programme de barrages de la Medjerda a plusieurs objectifs. Il compense les apports retenus par les trois barrages programmés en Algérie sur l'oued Ghannem et le Mellègue. Il protège la vallée contre les crues (Jendouba, Bousalem, Medjez El Bab, Tebourba, Djedeida, Utique, Henchir Tobias, Zoghba, et Khoucha).

- La première partie du programme de la Medjerda comporte les barrages sur les oueds : Mellila, Mellègue amont, Tessa, Khalled, Chaffrou.
- La deuxième partie du programme des barrages de la Medjerda comporte les barrages sur les oueds de la région de Ghardimaou ( Raghäi, Mliz, Hjar, Hammam, Soufi), les oueds amont du Mellègue (Khol, Rmel), les barrages de Siliana (Siliana1, Sliana3, Ousafa), et les barrages sur les affluents de l'oued Bouheurtma (Ghezala, Magroun )
- La troisième partie comporte la surélévation et le réaménagement des barrages de Sidi Salem, de Bouheurtma, Mellègue, et Bouheurtma.

### ***L'extrême Nord et l'Ichkeul***

L'extrême Nord et l'Ichkeul constituent le château d'eau de bonne qualité dont le régime est le plus régulier de la Tunisie. L'eau de cette région est précieuse car elle permet d'améliorer la qualité des eaux de la Medjerda qui sont chargées en sel surtout pendant les années déficitaires. Un suivi du comportement des barrages nouvellement réalisés est nécessaire pour approfondir les connaissances sur le régime des oueds de cette région et pour mieux préciser et quantifier les déversés des évacuateurs et vidanges des barrages afin de définir les moyens pour minimiser les évacuations en mer. Le programme des barrages dans cette région comporte la réalisation des barrages de Melah amont, Bellif amont, Maden amont, Bouzenna amont en plus de la surélévation du barrage de Joumine.

### ***Le Cap Bon***

Les barrages du Cap Bon sur l'oued Abida et l'oued Oudiane permettent de valoriser les eaux des crues pour charger les nappes et peuvent servir de réservoirs de stockage pendant les années excédentaires.

### ***La Tunisie Centrale***

Les barrages de Sidi Aïch, Sficifa, Bouhaya, El Breck , les barrages collinaires des piedmonts de Sbikha Aïn Jeloula et Foussana ont rechargé efficacement respectivement les nappes de Gafsa, Sbeïtla Jelma, Feriana, Sbiba et Kasserine. Ce modèle s'est avéré adapté aux conditions de la Tunisie et il est utile de l'utiliser chaque fois que les conditions le permettent pour injecter les eaux de crues dans les nappes de la Tunisie Centrale. Ainsi les barrages de tout type sur les oueds de Kairouan, de Sidi Bouzid, Kasserine, Gafsa, et le Grand Sud

serviront essentiellement à la valorisation des eaux de crues pour la recharge des nappes et constituent le seul moyen pour la sauvegarde et la préservation des nappes souterraines. Les barrages seront réalisés sur les affluents des oueds Merguellil, Cherichira, Hathob, Hatab, Fekka, Zeroud, Baïech, Leben, les oueds de l'Aradh, l'oued Fessi et les Oueds du Dhahar.

Par ailleurs, plusieurs formations géologiques des lits et des *underflows* des oueds de la Tunisie Centrale permettent la réalisation de barrages souterrains comme celui de Oum Laksab , les barrages souterrains sont constitués par des écrans étanches en argile barrant le lit et permettant de stocker les eaux à l'amont dans les lits perméable de l'oued.

Le tableau ci-dessous met en avant les caractéristiques des barrages existants et à réaliser dans les bassins de la Medjerda et de la Tunisie centrale.

**Tableau 35 :Les caractéristiques des barrages existants et à réaliser dans les bassins de la Medjerda et de la Tunisie centrale.**

Unités hydrauliques	Nom barrage	Apport Annuel moyen Mm <sup>3</sup>	Volume à RN Mm <sup>3</sup>
de Mejerda	Melah amont (en cours d'étude)	65	40
	Mellila_(Programmé)	47	25
	Eddir (en cours d'étude)	8	13
	Beja (en cours d'étude)	18	29
	Sidi Salem (existant)	666	674,5
	Khalled (en cours d'étude)	16	37,2
	Mellegue amont (en cours d'étude)	170	195
	Mellegue (existant)	179	44,4
	Tessa (en cours d'étude)	37	46
	Siliana (existant)	49	53
	Chafrou (en cours d'étude)	7	7
Tunisie Centrale	Sidi Saad (existant)	128,4	115,5
	Elhouareb (existant)	29,67	37
	Breck (existant)	4,3	16
	Sficifa (existant)	3,53	7,12
	Khanguet Zazia (en cours d'étude)	40	32
	Sidi Yaich (existant)	22,7	88
	Kebir-Gafsa (en cours de construction)	34	24

Le tableau ci-dessous nous renseigne sur les barrages à réaliser en amont du Mellègue, dans la région de Ghardimaou , de l'Ichkeul, de l'extrême Nord et du Cap bon :

**Tableau 36 : Les barrages à réaliser en amont du Mellègue, dans la région de Ghardimaou , de l'Ichkeul, de l'extrême Nord et du Cap bon**

	<b>Bassin versant</b>	<b>Capacité lors de la mise en eau</b>	<b>Capacité utile en Mm3 Horizon 2030</b>
Mejerda Haute Vallée	Mellegue amont	195	
	Khol	30	30
	Rmal	25	25
	Zerga1	35	35
	Raghai	40	40
	Mliz	13	13
	Hjar	10	10
	Hammam	8	8
	Soufi	6	6
	Surelevation de Bouheurtma	23	
	Magroun	15	15
	Ghezala	15	15
	Siliana1	69	69
	Siliana 3	20	20
	Ouzafa	45	45
	Surelevation Ghezala		
Ichkeul et Extrême Nord	Joumine amont	110	110
	Bellief aval	45	45
	Maaden1	112	112
	Bouzenna amont	33	33
	Kebir amont	50	50
	Zerga amont	33	33
	Mellila 2	20	20
	Ouediane	13	13
	Abida	10	10

## II-2 Eaux souterraines

### II-2.1 – Nappes phréatiques.

La dégradation excessive de la qualité chimique de l'eau par augmentation de la salinité ou/et l'approfondissement démesuré du niveau piézométrique dans les puits exploités réduisent l'exploitation et conduisent même à l'abandon.

Sur cette base, l'accroissement de l'exploitation de ces nappes est conçu jusqu'en 2030, suivant les trois taux de 30%, 60% et 90% du taux moyen.

Tableau 37 : Evolution prévisionnelle de l'exploitation des nappes phréatiques de Tunisie (2010-2030)

Région	2010			2015			2020			2025			2030		
	30%	60%	90%	30%	60%	90%	30%	60%	90%	30%	60%	90%	30%	60%	90%
T. Nord	388	400	424	449	411	447	510	423	470	571	435	493	632		
T centre	349	360	382	404	370	402	459	380	422	514	390	442	569		
T sud	118	122	129	137	125	136	155	128	143	174	132	150	193		
<b>Total Tunisie</b>	<b>854</b>	<b>882</b>	<b>935</b>	<b>989</b>	<b>907</b>	<b>985</b>	<b>1124</b>	<b>932</b>	<b>1035</b>	<b>1259</b>	<b>957</b>	<b>1085</b>	<b>1394</b>		

En millions de m<sup>3</sup>/an

En conclusion, les nappes phréatiques du pays sont déjà actuellement en état de surexploitation de près de 114% de leurs ressources jugées durablement exploitables, avec des prélèvements qui sont de l'ordre de **854 Mm<sup>3</sup>/an**. Dans les meilleurs des cas, les disponibilités en eau exploitables à partir de ces aquifères sont appelées à se situer entre 960 et 1400 Mm<sup>3</sup>/an. Tenant compte des impacts négatifs générés par leur surexploitation et du rythme de la généralisation la recharge artificielle de ces aquifères, il n'est pas attendu qu'ils soient en mesure de fournir en 2030, plus que 1000 Mm<sup>3</sup>/an. Le contrôle en plus de la maîtrise de leur exploitation et l'intensification de la réalisation d'ouvrages de recharge artificielle (banquettes, barrages et lacs collinaires) constituent des actions primordiales pour maintenir leur pérennité.

### II.2.2 – Les Nappes profondes

Les nappes profondes de Tunisie présentent des ressources en eau exploitables évaluées à 1422 Mm<sup>3</sup>/an. Leur exploitation (2010) a atteint l'équivalent de 1279 Mm<sup>3</sup>/an. Cette exploitation est à près de 90% des ressources exploitables,.

En considérant que la même tendance de sollicitation actuelle des nappes profondes soit **24.64 Mm<sup>3</sup>/an** sera maintenue au cours des prochaines années (2010-2030), la demande globale en eau, à partir des aquifères profonds est estimée à **1772 Mm<sup>3</sup>/an en 2030**. Cette demande entraînera une surexploitation des nappes profondes estimée à **650 Mm<sup>3</sup>/an**, ce qui correspond à un taux de surexploitation de **46%** des ressources exploitables. Une telle surexploitation est physiquement élevée et risque d'entraîner des réactions irréversibles au sein des aquifères. Cette surexploitation ne peut être freinée que par un contrôle et une maîtrise de l'exploitation et par une recharge artificielle intensive et par le recours au dessalement et le transfert pour alléger la pression de l'exploitation de ces nappes menacées par la déplétion.

**Tableau 38 : Evolution prévisionnelle de la demande en eau à partir des aquifères profonds de Tunisie (2010-2030) en Mm<sup>3</sup>/an**

Secteur	2010	2015	2020	2025	2030
<b>A.E.P</b>	258,5	283,4	308,3	333,4	358,1
<b>Irrigation</b>	978,9	1073,2	1167,5	1262,7	1356,2
<b>Industrie</b>	41,8	45,8	49,8	53,9	57,9
<b>Total</b>	<b>1279</b>	<b>1402</b>	<b>1526</b>	<b>1650</b>	<b>1772</b>

On estime que la mobilisation additionnelle des eaux souterraines jusqu'à l'horizon 2030 nécessitera la réalisation de 30 000 puits de surface et 500 forages profonds.

### **Alimentation en eau potable**

Afin de satisfaire les besoins en eau des mégapoles du littoral : l Grand Tunis, le Sahel : Sousse Monastir Mahdia, le Grand Sfax, du Grand Gabes et le complexe Djerba Zarsis et les grandes cités urbaine des régions intérieures et les Zones rurales en plein développement la Sonede doit engager au plus vite de grands projets de réseaux de transfert, d'adduction, de distribution, des réservoirs de régulations des stations de traitement et des usines de dessalement. Les projets les plus urgents sont actuellement en cours de démarrage et concernent le Sahel Sfax le Kairouannais et les antennes desservant les zones rurales du

Nord-Ouest pour éviter les coupures d'eau, alléger la pression sur les nappes de Kairouan et Sidi Bouzid, et pour pouvoir desservir les zones rurales ne disposant de ressources locales.

Le plus urgent du programme 2030 est de fixer les lignes de transfert des eaux du Nord à travers la dorsale pour le littoral et les régions frontalières et centrales, les programmes définitifs des projets de dessalement, et les grandes antennes de desserte de l'eau potable pour le Nord-Ouest le Kairouannais Gafsa et Sfax Sud .Ces lourds investissements en plus des investissements pour le renouvellement et les extensions ordinaires auront un impact important sur le cout de l'eau potable et mettront à l'épreuve les capacités financières de la Sonede.

### **Irrigation**

La rareté de l'eau et le coût croissant de l'énergie exigent la modernisation des périmètres irrigués et la valorisation de la production agricoles des périmètres irrigués par l'intégration de l'élevage et l'agro-industrie. La modernisation des périmètres irrigués est une action lourde et demande la participation financière et active des utilisateurs qui devront mieux s'organiser pour améliorer la gestion de l'eau d'irrigation. Par ailleurs l'extension des périmètres irrigués à l'horizon 2030 sera lente et s'effectuera surtout dans la vallée de la Medjerda, dans les régions de l'extrême nord, les plaines de l'Ichkeul et le Cap Bon car les besoins en eau à l'hectare sont moins élevés que les autres régions et les ressources des eaux de surface restent encore disponibles. Dans les autres régions les ressources en eau seront limitées et atteindront leur limite naturelle. Les extensions nouvelles de l'irrigation menaceront les ressources souterraines par les effets de la surexploitation.

On estime que l'extension de l'irrigation sera limitée pour le Sud et la Tunisie Centrale. Le total des surfaces additionnelles irriguées intensives jusqu'à l'horizon 2030 est estimé entre 20 000 et 40 000 ha. Toutefois, il ya lieu en plus, d'encourager l'irrigation de complément des céréales pour surpasser le seuil des 150.000 hectares, dont la consommation en eau équivaut à 50 mm, soit 75 millions de m<sup>3</sup>

### **Développement du réseau national d'interconnexions et transfert**

Il est important de développer le réseau national de transfert entre régions pour pouvoir répartir équitablement la ressource en eau , mieux gérer la sécheresse, valoriser les eaux de crues et réussir une gestion intégrée des eaux de surface et des eaux souterraines. Il est

important de noter que la dorsale constitue une barrière pour le transfert. Le passage le plus économique est celui emprunté par le canal Medjerda Cap Bon qui relie Aroussia cote 36,7 , Bejaoua dont la hauteur de refoulement est de 16m, Mornag , Hamam Lif, Fondouk Jedid dont la hauteur de refoulement est de 32m, les autres passages possible comportent des cotes qui varient entre 200m, 300m, 500m, il se situent le long des routes qui traversent la dorsale. Le long de l' autoroute Tunis Sousse la cote maximale est 200m. Le long de la route de Jendouba Nebeur Tessa Sra Ourtane Rouhia, la cote maximale est de 500 m.

Il est primordial de pousser les études pour identifier les meilleurs tracés et surtout d'identifier les moyens pour augmenter le transit du canal Medjerda - Cap Bon et des conduites de transfert à partir de sidi Barrak, et de réaliser les réservoirs de stockage le long et à l'extrémité des axes de transfert comme celui de Kalaa.

### **Développement de l'action de recharge de nappes**

Les nappes susceptibles de subir la recharge artificielle doivent répondre à certaines conditions naturelles adéquates dont principalement la proximité d'une source en eau et des conditions favorables à l'infiltration de l'eau jusqu'à la surface de la nappe.

- La **majeure partie des nappes phréatiques** d'une certaine importance dans l'économie de la région sont les plaines des régions frontalières et centrales et celles de la frange littorale depuis Tabarka et Bizerte au Nord, jusqu'à Médenine au Sud. Leur recharge répond au double objectif de la préservation de la ressource en eau contre la dégradation et à celui de l'augmentation de la réserve en eau souterraine et surtout le maintien en production du secteur de l'irrigué par les puits de surface.
- **Les principales nappes profondes** des plaines alluviales présentent des caractéristiques favorables au stockage souterrain et constituent la principale ressources en eau de la Tunisie du Sud et du Centre.

**Les principales nappes phréatiques** destinées à subir durant les prochaines décennies, la recharge artificielle, sont :

- **dans le nord du pays** : Ras el Ain à Mateur, de Oued el Graa, de Ras Djebel, de Oued Guennich, de Bled Abida, de Ghar Dimaou des Zouarines de Kalaa Khasba, de l'Oued Siliana, de Ouzafa, de Morneg, de Grombalia, de la côte orientale du Cap Bon, d'El Haouaria, de Takelsa,

- **dans le centre du pays** : les nappes phréatiques du Sahel de Sousse-Monastir-Mahdia (Oued Laya, Téboulba, Mahdia-Ksour es Sef, Chebba-Ghedhabna), du sahel de Sfax (Djebiniana, Sidi Salah, Ech Chaffar, Mahres, Oudrane-Bir Ali- Es Sékhira), ainsi que les nappes profondes de Zarmidine-Beni Hassen, Kairouan, Sisseb-el Alem, Feriana Foussana Kasserine-Sbeitla Sbiba, Sidi Bouzid et Gafsa-nord.
- **dans le Sud du pays** : les nappes phréatiques côtières de Gabès (Gabès Nord et Sud), Médenine (Jerba, Métameur, Djorf et Zarzis) et Tataouine (Oued tataouine, Ghmrassen et Bir Lahmar) et les nappes profondes de Moulares-Rédayef, El Guettar, Zeus-Koutine, CT de Kébili et grès du Trias de Médenine).

Le tableau ci-après rassemble les principales nappes dont l'état d'exploitation actuel et leurs caractéristiques hydrogéologiques les prédisposent, dans les prochaines décennies, à la recharge artificielle

**Tableau 39: Les principales nappes rechargeables**

Région	Nappe	Ressources exploitables (Mm <sup>3</sup> /an)	Apport de la recharge (Mm <sup>3</sup> /an)
<b>Nord - Ouest (Extrême Nord et Haute vallée)</b>	Ghar Dimaou	1.9	0.2
	Dunes de Nefza- Mekna	11.5	2.5
	Plaine de Tabarka	0.5	0.2
	Zouarines	5.0	0.2
	Kalla Khasba	1.6	0.3
	Bled Abida	1.0	0.2
	Oued Siliana	0.5	0.2
	Ras el Ma	1.7	0.5
	Ras El Aïn (Mateur)	8.0	2.0
	Oued El Graa	7.0	1.5
	Ras Jebel	8.5	2.0
	Oued Ghennich	7.5	1.5
	Moyenne vallée	6.5	1.5
	Plaine de Sers	7.0	1.5
		<b>Sous-total</b>	<b>72.7</b>
<b>Nord - Est (Basse Vallée et Cap Bon)</b>	Morneg	7.0	1.5
	Grombalia	51	5.0
	Côte orientale	50	5.0
	El Haouaria	33	5.0
	Takelsa	12	4.0
	Basse vallée	5.8	2.0
	Nabeul – Hammamet	25	5.0

	<b>Sous-total</b>	<b>183.8</b>	<b>27.5</b>
<b>Sahel de Sousse-Monastir- Mahdia-Sfax</b>	Sidi Bou Ali	2.8	0.5
	Enfidha	2.5	0.5
	Oued laya	4.0	0.5
	Téboulba-Békalta	2.5	0.5
	Mahdia-Ksour Es Sef	3.0	0.5
	Chebba-El Ghadhabna	2.5	1.0
	Zarmedine –Beni hassen	3.5	1.5
	Djebiniana-Sidi Salah	6.0	1.5
	Chaffar-Aguareb	9.5	1.5
	Mahres	3.0	0.5
	Bir Ali - Ouedrane	7.0	1.0
	Shékhira	4.5	1.0
		<b>Sous-total</b>	<b>50.3</b>
<b>Tunisie centrale (Kairouan- Kasserine- Sidi Bou Zid- Gafsa)</b>	Nadhour Saouef	2.5	0.5
	Sisseb –El Alem	15.0	3.5
	-Kairouan	28.0	5.0
	Kasserine - Sbeitla	25.0	5.0
	Aïn Jeloula	2.5	0.5
	Chougafia	3.5	0.5
	Sidi Bouzid	19.5	5.0
	Haffouz-Bou Hafna	3.0	2.0
	Aïn El Beidha	7.0	2.5
	Feriana-Telepte	5.8	
	Foussana	20	5.0
	Sebiba-Ouled marzouk	8.5	3.5
	Oum El Kesseub	2.0	1.0
	Gafsa-Nord	33.0	5.0
		<b>Sous-total</b>	<b>173.3</b>
<b>Tunisie du Sud (Gafsa-Tozeur- Kébili-Gabès-Medénine- Tataouine)</b>	Gabès-Nord	56.0	5.0
	Gabès-Sud	46.0	5.0
	Jerba-Djorf-Zarzis	27.0	5.0
	Métameur-El Ababsa	21.0	3.0
	Zeus-Koutine	11.0	5.0
	CT de Kébili	142.0	10.0
	Moulares-Redayef	10.5	2.5
	Gafsa-Sud –El Guettar	9.5	1.5
	Ghomrassen-Bir lahmer	3.5	0.5
	Oued Tataouine	2.5	0.5
	Oueds du Dahar	4.5	1.5
		<b>Sous-total</b>	<b>324.0</b>
<b>Total Général</b>		<b>803.6</b>	<b>130.7</b>

### Consolidation de l'alimentation en eau potable dans le milieu rural.

On estime que le nombre de la population rurale desservie se maintiendra pendant les vingt prochaines années en devenant plus regroupée mais plus exigeante sur la qualité des services.

L'approche participative reste cependant fragile et a besoin du soutien de la part des structures de l'Etat. A cet effet, il est recommandé que les réparations importantes (remplacement de forages et leur équipement, remplacement des équipements des stations de pompes...etc. ) restent à la charge de l'Etat ainsi que la formation et l'encadrement du personnel de gestion.

### **Assainissement dans le milieu rural**

Avec le développement d'alimentation en eau potable dans le milieu rural, le rejet des eaux usées se pratique actuellement dans la rue dans des fossés à ciel ouvert. Sur le plan institutionnel, l'assainissement rural ne relève pas des prérogatives de l'ONAS qui intervient actuellement d'une façon ponctuelle pour le compte de l'Etat pour régler les problèmes les plus urgents qui menacent la santé publique. L'ONAS doit approfondir et compléter l'étude sectorielle de la stratégie en assainissement rural qu'elle a élaborée pour la mise en place d'une stratégie nationale pour la maîtrise de la pollution induite par le développement de l'eau rurale.

### **Développement de l'utilisation des eaux usées traitées**

Les mégapoles du Grand Tunis et du Grand Sousse sont les principales sources d'eaux usées traitées qui peuvent affecter une partie des eaux usées traitées pour l'usage industriel et transférer l'autre partie pour l'irrigation dans les plaines avoisinantes : le transfert vers les plaines de Zaghouan, d'El Fahs, de Kairouan pour Tunis et les plaines de Msaken pour Sousse. En effet dans ces zones la ressource en eau est plus rare car la pluviométrie est plus faible et la demande plus importante, donc la valorisation des eaux usées traitées est plus garantie malgré la charge élevée du coût du transfert.

Des études ont proposé le transfert des eaux traitées de Choutrana qui produit 63 millions par an vers la plaine de Zaghouan, du Fahs, de Kairouan et du Sisseb, les eaux de Sud Meliane qui produit 18,4 millions par an vers la plaine de Mornag et la plaine de Grombalia, les eaux d'El Attar qui produit 27,5 millions par an vers les plaines de Tunis Ouest et Boucha et les eaux d'El Allef qui produit 23,5 millions par an vers Mornag et la plaine du Fahs. Ces projets doivent être approfondis car il semble qu'ils représentent la seule issue pour la valorisation des eaux usées traitées et éviter le rejet de cette ressource à la mer sans réutilisation par les émissaires loin des côtes et des plages.

On estime possible la réalisation de 30 000 ha de périmètres irrigués par les eaux usées traitées à l'horizon 2030.

### **Promotion du dessalement des eaux saumâtres et de l'eau de mer**

D'une manière générale le dessalement des eaux est une opération ponctuelle dans l'espace qui permet d'améliorer la qualité de la ressource dans le cas des eaux saumâtres faiblement chargées ou la création d'une nouvelle ressource à partir des eaux saumâtres fortement chargées ou l'eau de mer. L'opération de dessalement permet généralement de répondre à un besoin d'amélioration de qualité ou de renforcement de ressource sans avoir besoin de mettre en œuvre de longues canalisations de transfert. Il s'agit d'une solution qui se greffe sur les infrastructures de production et de distribution d'eau existantes. Il n'est pas exclu qu'une eau dessalée soit transférée vers les régions de l'intérieur lorsque la viabilité économique est prouvée par rapport à d'autres solutions de transfert des eaux conventionnelles pouvant venir de très loin.

Depuis une vingtaine d'années, le dessalement par osmose inverse a connu un grand développement grâce à la maîtrise des coûts des membranes et l'introduction des nouveaux systèmes de récupération d'énergie qui ont permis à ce jour de limiter la consommation en énergie électrique pour le dessalement d'eau de mer à environ 3.0 KWh/m<sup>3</sup> après avoir été de plus que 5 KWh/m<sup>3</sup>.

Le dessalement en Tunisie a toujours été utilisé plutôt dans le Sud Tunisien où les ressources sont assez rares et la salinité de l'eau relativement élevée. Cette activité a démarré très tôt avec le dessalement des eaux saumâtres en 1983 par le projet de Kerkennah puis à plus grande envergure à partir de 1995 dans les Gouvernorats de Gabès et Médenine grâce aux stations de dessalement de Gabès, Jerba et Zarzis totalisant une capacité d'environ 70 000 m<sup>3</sup>/j qui ont permis l'amélioration la qualité de l'eau desservie et le renforcement des ressources en eau. Ensuite cette activité de dessalement des eaux saumâtres s'est étendue au Sud-Ouest et principalement les gouvernorats de Tozeur et Kébili avec la mise en œuvre de la première phase d'amélioration de la qualité portant sur 10 projets totalisant une capacité de 36200 m<sup>3</sup>/j. Ces projets sont actuellement en cours de réalisation. La deuxième phase du même programme d'amélioration de la qualité portant sur 6 projets totalisant une capacité de 31 000 m<sup>3</sup>/j. Ces projets intéressent principalement les Gouvernorats de Gafsa, Sidi Bouzid et

Médenine (Ben Guerdane). Il est prévu que cette deuxième phase soit mise en service en 2018.

Face aux besoins croissants en eau potable de la région du Sud Tunisien et la limitation de ses ressources, le dessalement d'eau de mer est devenu incontournable pour répondre à ces besoins et sécuriser l'alimentation en eau potable future de la région. D'ores et déjà un ensemble de projets ont été identifiés et qui sont entrés dans une logique de réalisation. Ces projets se présentent comme suit :

La station de dessalement d'eau de mer de Jerba de capacité 50 000 m<sup>3</sup>/j extensible à 75 000 m<sup>3</sup>/j. Ce projet, avec la station de dessalement des eaux saumâtres existante et l'apport en eau à partir de Zeuss Koutine révisé à la baisse, permettra de subvenir aux besoins en eau de l'île de Jerba jusqu'à l'échéance 2030. L'appel d'offres relatif à ce projet est déjà lancé et il est attendu qu'il soit mis service en 2018.

La station de dessalement d'eau de mer de Zaarat de capacité 50 000 m<sup>3</sup>/j extensible à 100 000 permettra de renforcer les ressources en eau des régions de Gabès et Médenine et répondre à leurs besoins futurs jusqu'à l'échéance 2035. Ce projet est phase d'étude de faisabilité.

La station de dessalement de Sfax de capacité 100 000 m<sup>3</sup>/j extensible à 200 000 m<sup>3</sup>/j permettra de répondre aux besoins en eau de la région de Sfax jusqu'à l'échéance 2030. Ce projet permettra également d'alléger les apports à partir des nappes de Jelma et Sbeitla et également à partir du Sahel. Ce projet est en phase d'études préliminaires engagées par le bailleur de fonds JAICA qui a manifesté une prédisposition pour le financement du projet.

La région du Sahel représente actuellement un pôle de consommation important dont les ressources proviennent principalement par voie de transfert à partir des eaux du nord et également de Kairouan. La SONEDE envisage le renforcement de l'apport en eaux du Nord comme expliqué ci-dessus ce qui permettra de sécuriser la région et d'améliorer également la qualité de l'eau desservie puisque le nouveau apport sera transféré à partir de l'extrême Nord caractérisé par des eaux de faible salinité comparée à celle de la Medjerda. Il est fortement indiqué d'examiner la possibilité d'un dessalement d'eau de mer dans la région de Sousse à travers l'engagement d'études technico-économiques comparatives avec le transfert des eaux du Nord. Une production locale d'eau de mer dans la région du Sahel devrait permettre une diversification des ressources et une meilleure sécurité d'approvisionnement en eau potable.

L'investissement du programme futur de dessalement d'eau de mer d'élève à environ 750 millions de DT et ce, mis à part les investissements requis pour le transfert de l'eau dessalée produite vers les différents pôles de consommation. L'évaluation économique a été limitée à l'opération de dessalement d'eau de mer.

Sur la base d'un CMLT (Coût Marginal de Long Terme) du dessalement d'eau de mer évalué à 1.2 DT/m<sup>3</sup> (dont 43 % sont réservés à l'énergie en supposant que le tarif évolue à 2 % par an), d'un taux de charge de 80 % des stations de dessalement et d'une évolution du tarif moyen (estimé actuellement à 0.520 DT/m<sup>3</sup>) de la SONEDE de 2 % par an, l'impact financier des projets de dessalement rapporté au m<sup>3</sup> d'eau consommé sur tout le territoire tunisien serait de 50 millimes/m<sup>3</sup>. En supposant un tarif figé, cet impact serait de 61 millimes/m<sup>3</sup>.

Afin que les projets de dessalement futurs n'aient aucun impact financier sur les équilibres de la SONEDE, le tarif moyen devrait évoluer à un taux de 8 % pour atteindre environ 800 millimes/m<sup>3</sup> en 2030.

### **Lutte contre l'érosion**

La lutte contre les effets négatifs de l'érosion qui dégrade le sol et réduit les volumes retenus au niveau des barrages et les volumes infiltrés dans les nappes, doit être fondée sur des aménagements intégrés.

La lutte contre l'érosion doit rester une action prioritaire et intensive pendant les prochaines décennies pour préserver le potentiel hydraulique du pays, maintenir les performances des ouvrages hydrauliques, et protéger le sol contre la dégradation.

Le programme de lutte contre l'érosion doit s'identifier à l'échelle locale, régionale et nationale et doit intégrer des actions complémentaires d'infrastructures de base comme l'électrification, les routes, les plantations arbustives et fourragères, les périmètres irrigués à l'horizon 2030. Il comprend les actions suivantes : le traitement d'un millions de hectares de bassin versant, la construction de 8000 ouvrages d'épandage et de recharge et la réalisation de 1500 lacs collinaires.

### **Renforcement de la participation de la recherche scientifique**

L'hydraulique tunisienne est un produit de la recherche scientifique. Les instituts de la recherche, les écoles d'ingénieurs avec des moyens limités, par leur production scientifique,

ont permis plusieurs avancées dans le secteur hydraulique en Tunisie essentiellement dans les domaines de la mobilisation de la ressource en eau, la protection contre les crues, la lutte contre l'érosion et la pollution, l'irrigation avec les eaux douces et les eaux chargées en sels et les eaux usées traitées. Cet effort doit être consolidé et mieux coordonné à travers les différentes institutions régionales pour pouvoir disposer de meilleurs moyens pour affronter l'avenir.

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES:**

AHT-COB& CNEA, 1993 : ETUDE DE L'ECONOMIE DE L'EAU 2000- ETUDE ELABOREE POUR LE COMPTE DE LA DGBGTH ;

ANME, 2001 : (AGENCE NATIONALE DE MAITRISE DE L'ENERGIE) ETUDE SUR LE DEVELOPPEMENT DE LA MAITRISE DE L'ENERGIE DANS LE SECTEUR DE L'AGRICULTURE ET DE LA PECHE.

DGRE : (DIRECTION GENERALE DES RESSOURCES EN EAU) BASES DE DONNEES ET FICHIERS PLUVIOMETRIQUES

DGRE, DEPUIS 1970 : ANNUAIRES HYDROLOGIQUES TUNISIE ;

DGRE, 1978 : CARTE DES ISOHYETES DE LA TUNISIE

DGRE, DE 1970 A 2010 : BASES DE DONNEES PLUVIOMETRIQUES ET HYDROLOGIQUES

DGRE, DEPUIS 1973 : ANNUAIRES DE L'EXPLOITATION DES NAPPES PROFONDES ;

DGRE, DE 1980 A 2010 : SITUATION DE L'EXPLOITATION DES NAPPES PHREATIQUES

DGRE, 1990 : ANNUAIRES PIEZOMETRIQUES ;

DGRE, 1990 : RESSOURCES EN EAU DE LA TUNISIE BULLETIN N°11 ;

DGRE, DEPUIS 1994: ANNUAIRES DE LA REALISATION DES FORAGES ;

DGGREE (DIRECTION GENERALE DU GENIE RURAL ET DE L'EXPLOITATION DES EAUX), 2007 : RAPPORT DE SYNTHESE DE LA SITUATION DES PPI EN 2007.

DGGREE, 2012 : DONNEES RELATIVES A L'EXPLOITATION DES EAUX DANS LES PERIMETRES PUBLICS IRRIGUES A TRAVERS LES GDA, RESULTATS D'ENQUETES DE 2009 A 2010.

EGTH, DEPUIS 1980 : SITUATION HYDRAULIQUE DES BARRAGES EN TUNISIE ;

GEORE, 2004 : GESTION OPTIMALE DES RESSOURCES EN EAU – PLAN GUIDE DE GESTION DES RESSOURCES EN EAU EN TEMPS REEL - PROJET DE COOPERATION TECHNIQUE TUNISO ALLEMANDE AVEC LE MINISTERE DE L'AGRICULTURE ;

GIZ, 2011 : ETUDE SUR LE DEVELOPPEMENT DE LA MAITRISE DE L'ENERGIE DANS LE SECTEUR DE L'AGRICULTURE ET DE LA PECHE EN TUNISIE.

GIZ, 2012 : ETUDE STRATEGIQUE DU MIX ENERGETIQUE POUR LA PRODUCTION DE L'ELECTRICITE EN TUNISIE.

INS, DE 2000 A 2010 : RAPPORTS STATISTIQUES

ITES, 2011 : EAU 2050 – ETUDE REALISEE PAR UN GROUPE D’EXPERTS (HORCHANI A., LOUATI M.H. ET MAMOU A.) ;

KALLEL M.R, 1996 : LA SITUATION PLUVIOMETRIQUE ET HYDROLOGIQUE EN TUNISIE ;

LOUATI M.H. ET AL. , 1998 : EAU 21- STRATEGIE DU SECTEUR DE L’EAU EN TUNISIE A LONG TERME – HORIZON 2030 – MINISTERE DE L’AGRICULTURE- TUNISIE ;

LOUATI M.H. ET AL., 1999 : GUIDE PRATIQUE DE GESTION DE LA SECHERESSE EN TUNISIE ;

LOUATI M.H. , 2010: CONCEPTION ET GESTION DURABLE DES BARRAGES EN MEDITERRANEE, RAPPORT NATIONAL DE LA TUNISIE. VISION GLOBALE SUR LES EVOLUTIONS PASSES ET FUTURES DES CAPACITES DES RESERVOIRS DE BARRAGES AU MAGHREB, NOTAMMENT SOUS L’INCIDENCE DE LA SEDIMENTATION.

MAMMOU A., 1993 : ETUDE QUANTITATIVE ET QUALITATIVE DES RESSOURCES EN EAU EN TUNISIE- DIRECTION GENERALE DES RESSOURCES EN EAU ;

MARH, 2007 : (MINISTERE DE L’AGRICULTURE ET DES RESSOURCES HYDRAULIQUE) STRATEGIE NATIONALE DE L’ADAPTATION DE L’AGRICULTURE TUNISIENNE ET DES ECOSYSTEMES (ETUDE ELABOREE PAR COPA ET EX-CONSULT-TUNISIE) ;

MINISTERE DE L’ENVIRONNEMENT ET DE L’AMENAGEMENT DU TERRITOIRE NATIONAL, 1997 : SCHEMA DIRECTEUR D’AMENAGEMENT DU TERRITOIRE NATIONAL ;

NIPPON KOEI- JICA, 2009 : ETUDE DE LA GESTION INTEGREE SUR LA REGULATION DES INONDATIONS DANS LE BASSIN DE MEJERDA EN TUNISIE

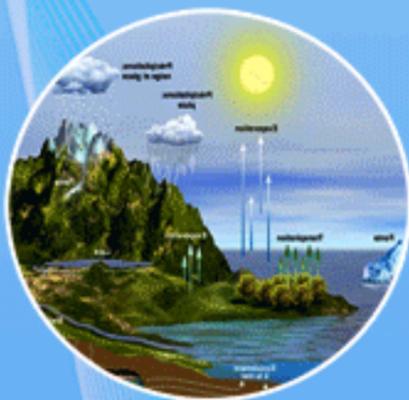
SONEDE, 2003 : ETUDE DE LA FAISABILITE DU PROJET D’ALIMENTATION EN EAU POTABLE JUSQU’A 2030 DU CAP BON, SAHEL, SFAX, GABES, MEDENINE ET TATAOUINE.

SONEDE, DE 2000 A 2010: RAPPORTS STATISTIQUES DE CHAQUE ANNEE, DIRECTION CENTRALE DE LA PLANIFICATION ET DES ETUDES GENERALES- DIRECTION DES STATISTIQUES ET DE LA PLANIFICATION ;DES REGIONS DU CAP BON, KAIROUAN, SAHEL ET SIDI BOUZID.

SONEDE, 2013 : ETUDE STRATEGIQUE DE RENFORCEMENT DES SYSTEMES D’ALIMENTATION EN EAU POTABLE DES REG

ZEBIDI H., 1990 : CARTE DES RESSOURCES EN EAU DE LA TUNISIE ;





# SYSTEME HYDRAULIQUE DE LA TUNISIE A L'HORIZON 2030

Institut Tunisien des Etudes Stratégiques - Janvier 2014