



République Tunisienne



**Projet d'Ecotourisme  
et de la Biodiversité Désertique  
(P120561; Don FEM No. TF013636)**

**BILAN HYDRIQUE DES OASIS  
DES GOUVERNORATS DE KEBILI,  
TOZEUR, GAFSA ET GABES.**

**Omar LABIDI**

**Rapport définitif**

**27 Mai 2019**



## SOMMAIRE

### Table des matières

1	Introduction .....	8
2	Méthodologie.....	9
2.1	définition et Description des différents termes du bilan hydrique .....	9
3	Identification et caractérisation et cartographie des oasis .....	11
3.1	Les Oasis.....	11
3.2	Les ressources en eaux des oasis.....	17
3.3	Traditionnelles ou modernes ? .....	19
3.4	cartographie des oasis des gouvernorats de Kébili, Tozeur, Gafsa et Gabes.....	20
4	Les flux entrants .....	27
4.1	les précipitations .....	27
4.2	Eaux souterraines.....	30
4.3	les eaux directes.....	30
4.3.1	Les Nappes phréatiques .....	32
4.3.2	Les Nappes profondes .....	33
4.4	Les eaux usées traitées .....	34
4.5	Affectation des ressources en eau suivant les usages sectoriels.....	35
4.5.1	Les usages de l'eau.....	36
4.5.2	Usage Agricole .....	37
4.5.3	Usage pour l'eau potable.....	37
5	Les flux sortants.....	39
5.1	Évaluation de l'évapotranspiration.....	39

5.2	Les eaux de drainage (problèmes spécifiques aux oasis).....	43
6	Le Bilan hydrique .....	47
7	Projection, risques et recommandations .....	53
7.1	État des nappes profondes .....	53
7.1.1	Géochimie des solutions salines .....	53
7.1.2	Piézométrie des nappes profondes.....	53
7.2	Projection future.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
7.3	Les Risques .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
7.4	Recommandations .....	55
8	Conclusion .....	56

## Liste des figures

Figure 1. Évolution des débits des émergences naturelles de la nappe du CT à Kébili et Tozeur. Source : Aissa Agoune Thèse de Doctorat 2017, données des annuaires d'exploitation des nappes profondes (DGRE Et les données SAGESSE) .....	12
Figure 2. Evolution des points d'eau dans la zone SASS (1950- 2014) .....	13
Figure 3. Evolution en 46 ans dans les régions du Djérid et Nefzaoua .....	13
Figure 4. Evolution en 46 ans dans les régions du Djérid et Nefzaoua .....	14
Figure 5, échantillon de l'oasis de Gafsa montrant la densité des oliveraies. ....	15
Figure 6. Evolution de l'agglomération urbaine de Ghannouch en 47 ans .....	15
Figure 7 Répartition des oasis par gouvernorat et par typologie. Source : Extrait du rapport « caractérisation sommaire des oasis tunisiennes », Septembre 2015 .....	15
<b>Figure 10.</b> Répartition des oasis tunisiennes par Gouvernorat.....	17
<b>Figure 12.</b> <i>Évolution des superficies des Oasis dans le Sud de la Tunisie (Source : <a href="http://www.agridata.tn">www.agridata.tn</a>, 2019)</i> .....	18
<b>Figure 15.</b> Représente la pluviométrie moyenne annuelle de quelques stations de la Tunisie présaharienne. ....	27
<b>Figure 13.</b> Cheminement de l'eau mobilisée des nappes profondes.....	33
<b>Figure 19.</b> Ressources en eau non conventionnelle (Eau Usée Traitée) (Mm <sup>3</sup> /an)(Sources : ODS, 2017).....	35
<b>Figure 20.</b> Affectation des ressources en eau suivant les usages sectoriels dans la zone SASS Tunisie (%) (Année 2015) Sources : DGRE .....	36
<b>Figure 21.</b> Affectation des ressources en eau pour l'irrigation dans les gouvernorats oasiennes (Année 2016) .....	37
<b>Figure 22.</b> Affectation des ressources en eau pour l'alimentation en eau potable (AEP) dans les gouvernorats oasiens (Année 2016).....	38
<b>Figure 17.</b> Canal d'évacuation d'eau de drainage (Kébili Sud, avril 2019).....	45
<b>Figure 18.</b> Évolution du débit des drains dans le gouvernorat de Kébili (Source : CRDA Kébili) .....	45

<b>Figure 26.</b> Modèle conceptuel de cycle de l'eau dans une oasis type .....	49
<b>Figure 27.</b> Présentation schématique du bilan hydrique.....	50
<b>Figure 28.</b> Évolution annuelle de de la hauteur d'eau équivalente dans la région du Sud Tunisien .....	52
<b>Figure 29.</b> Évolution annuelle de de la hauteur d'eau équivalente par gouvernorat .....	52
<b>Figure 35.</b> Evolution de la piézométrie du CT à Redjem Maatoug (1987-2005).....	53
<b>Figure 36.</b> Évolution du Niveau statique de la nappe du CT au niveau du Djérid Tozeur .....	54

## Liste des Tableaux

<b>Tableau 1</b> : Répartition des oasis tunisiennes par Gouvernorat (source DGEDA agridata.tn 2017)....	16
<b>Tableau 3</b> . Pluviométrie saisonnière moyenne (%) à Kébili, Tozeur, Gabes et Gafsa (1988/2016) .....	28
<b>Tableau 4</b> . Répartition des ressources en eau mobilisées dans la zone des Oasis .....	30
<b>Tableau 5</b> . Situation de l'exploitation par forages non autorisées (Année, 2016).....	30
<b>Tableau 2</b> . Ressources en eau et exploitation des nappes phréatiques dans les oasis du Sud de la Tunisie.....	32
<b>Tableau 6</b> . Répartition de l'exploitation par usage.....	36
<b>Tableau 7</b> . Répartition annuelle de la consommation en eau par usage non agricole (103 m <sup>3</sup> ) .....	36

## Sigles et abréviations utilisés

MALE	: Ministère des affaires locales et de l'environnement
BM	: Banque mondiale.
CRDA	: Commissariat régional au développement agricole.
DGRE	: Direction Générale des Ressources en Eau
INM	: Institut National de Météorologie
FAO	: Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
GDA	: Groupement de Développement Agricole.
GIFruit	: Groupement Interprofessionnel des Fruits
ONAS	: Office National d'Assainissement
RFU	: Réserve en eau facilement Utilisable du sol
SONEDE	: Société Nationale d'Exploitation des eaux
STEG	: Société Tunisienne d'Electricité et du Gaz
GDEO	: Gestion durable des écosystèmes oasiens
DGEDA	: Direction Générale des études et du développement agricole
MODIS	: Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer
NASA	: National Space Agency

# 1 INTRODUCTION

---

Dans le cadre de la préparation du projet de « Gestion durable des paysages oasiens », conscients de la vulnérabilité des écosystèmes oasiens et du rôle primordial dans le développement économique et social de leurs régions, le ministère des affaires locales et de l'environnement avec le soutien de banque mondiale, a entrepris d'établir le bilan hydrique des oasis des gouvernorats de Kébili, Tozeur, Gafsa et Gabes.

L'eau, pilier de la vie et de l'économie, suscite un intérêt majeur plus particulièrement en milieu aride du fait de sa rareté. Il est certain que l'augmentation de son exploitation pour satisfaire les besoins croissants des différentes activités humaines accentuera les pressions sur cette ressource. Il est donc essentiel d'évaluer et d'analyser la quantité et la qualité des réserves en eau et de trouver le moyen de mieux gérer cette ressource pour en assurer la durabilité.

Le présent rapport est la partie analyse de l'étude du bilan hydrique des Oasis des gouvernorats de Kébili, Tozeur, Gafsa et Gabès. L'objectif étant de présenter une situation actualisée du secteur de l'eau dans la zone d'intérêt et d'en faire le bilan des ressources disponibles et de leur utilisation. L'objectif de cette mission est

- L'identification et la description des différents termes du bilan hydrique (Précipitation, infiltration, ruissellement, drainage)
- La collecte les données nécessaires à l'établissement du bilan hydrique
- La caractérisation des palmeraies (superficies, type de culture, etc.)
- L'identification des extensions éventuelles des palmeraies et l'évaluation de la part du pompage destinée aux extensions de l'oasis
- L'évaluation les entrées en irrigation dans les palmeraies
- le diagnostic des systèmes de drainage existants et l'évaluation les débits de drainage
- l'estimation de la contribution des eaux souterraines (nappe phréatique et nappe profonde) à la transpiration du palmier dattier
- la détermination de la réserve en eau du sol
- la détermination les consommations en eau des cultures
- la détermination les apports en eau (pluies et irrigations) sur les palmeraies

Ce rapport commencera par l'identification des oasis, suivra l'identification des besoins des et ressources en eau existantes. Il fera ensuite une description des flux entrants, de l'utilisation des ressources, et des flux sortants pour aboutir au bilan hydrique. Le rapport finira par faire le constat de la situation actuelle et fera une projection future de l'état des nappes profondes.

## 2 METHODOLOGIE

---

Nous décrivons ici des règles et la démarche adoptées pour conduire cette mission. Nous commencerons par la définition du bilan hydrique et de la description de ses différents termes. Ce qui permettra de déterminer le périmètre d'intervention et des données à rechercher dans la phase de collecte. L'établissement de la cartographie actualisée des oasis de la zone d'intérêt à partir de données de télédétection notamment les données Sentinel2. Cette étape sera importante pour déterminer les besoins en eau des oasis. Ayant identifié et caractérisé les oasis nous procéderons au bilan par la comparaison de l'estimation des flux entrants aux flux sortants pour ainsi établir le bilan hydrique des oasis dans chaque gouvernorat.

### 2.1 DEFINITION ET DESCRIPTION DES DIFFERENTS TERMES DU BILAN HYDRIQUE

*Le bilan hydrique est établi pour un lieu et une période donnés par comparaison entre les apports et les pertes en eau dans ce lieu et pour cette période. Il tient aussi compte de la constitution de réserves et des prélèvements ultérieurs sur ces réserves. Les apports d'eau sont effectués par les précipitations. Les pertes sont essentiellement dues à l'évapotranspiration.<sup>1</sup>*

Cette définition du bilan hydrique est subtile et générale. Pour le cas des oasis et notamment celles des gouvernorats de Kébili, Tozeur, Gafsa et Gabes, cette conception du bilan hydrique elle mérite d'être adaptée en considération du constat suivant :

1. La vie et le développement des oasis reposent sur les prélèvements des réserves en eau souterraines fossiles, non ou très peu renouvelables. Les précipitations sont négligeables et le taux de recharge l'est encore moins. La relation entre les précipitations et la constitution de réserves, si elle est établie, absente.
2. Contrairement à d'autres milieux, au sein des oasis qui nous intéressent, l'irrigation par submersion est générale et les pertes au niveau des drains sont ostensiblement importantes.
3. D'un point de vue hydrique, l'oasis est un système relativement clos. Une niche pourvue d'eau rare dans un milieu sec. Très souvent, l'enchevêtrement du milieu agricole avec une agglomération (urbaine ou pas) avec ses activités associées, (les ménages, le tourisme et l'industrie) ne pas être ignoré.

Pour le bilan hydrique des oasis des gouvernorats de Kébili, Tozeur, Gafsa et Gabes, nous considérons que les apports en eau sont représentés par les précipitations, les prélèvements des nappes souterraines (phréatiques et profondes) et des eaux non conventionnelles (les eaux usées traitées et les eaux de dessalement). Nous considérons aussi que les pertes sont représentées

---

<sup>1</sup> François Durand-Dastes, Bilan Hydrique, <http://www.hypergeo.eu/spip.php?article29>

par la combinaison de l'évaporation au niveau du sol et de la transpiration des plantes (l'évapotranspiration), les drains des oasis et les eaux usées des agglomérations.

Ainsi, La mise en équation simplifiée de ce bilan s'écrit :

$$R = P + (Pro + Phr)(1-Td) - ETr + Ed - Ass (1- Tr)$$

Où

*R* : désigne la ressource en eau utilisée pour la période considérée

*P* : désigne la Précipitation

*Pro* : Volume mobilisé des Nappes profondes

*Phr* : Volume mobilisé des Nappes phréatiques

*Td* : Taux de drainage

*ETr* : Évapotranspiration réelle

*Ed* : les eaux directes ; eau potable, eau industrielle et eau touristique

*Ass* : Volumes des eau usées

*Tr* : taux de recyclage des eaux usées

Considérer que les apports provenant des nappes souterraines profondes fossiles sont comparables aux apports des précipitations ou des nappes phréatiques est très discutable. Dans la conscience collective il n'y pas ou peu de différence.

- La Ressource en eau désigne la quantité d'eau dont dispose, ou peut disposer, un utilisateur ou un ensemble d'utilisateurs pour couvrir ses besoins.<sup>2</sup>
- La ressource hydrique, ou ressource en eau, comprend, au sens large, toutes les eaux accessibles comme ressources, c'est-à-dire utiles et disponibles pour l'Homme, les végétaux qu'il cultive, le bétail qu'il élève et les écosystèmes, à différents points du cycle de l'eau.<sup>3</sup>

Si nous ne pouvons pas considérer les eaux souterraines profondes fossiles comme étant des apports elles sont alors des pertes. Des pertes d'un système oasien qui était en équilibre avec ses réserves en eau.

Le choix de l'année est en rapport à la disponibilité des données notamment l'Annuaire de l'Exploitation des Nappes Profondes pour l'année 2017 (publié en juin 2019).

---

<sup>2</sup> [https://www.dictionnaire-environnement.com/ressource\\_en\\_eau\\_ID1607.html](https://www.dictionnaire-environnement.com/ressource_en_eau_ID1607.html)

<sup>3</sup> [https://fr.wikipedia.org/wiki/Ressource\\_hydrique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Ressource_hydrique)

### 3 IDENTIFICATION ET CARACTERISATION ET CARTOGRAPHIE DES OASIS

---

L'identification la caractérisation et la cartographie des oasis des gouvernorats ici concernés est une première étape du bilan hydrique.

Notre zone d'intérêt est caractérisée par une culture arboricole ancestrale basée sur les palmiers dattiers. Ces cultures se regroupent dans des superficies limitées spatialement ; les oasis.

La monographie<sup>4</sup> des oasis des gouvernorats de Kébili, Tozeur, Gafsa et Gabes, réalisée en 2015, dans le cadre du projet GDEO, a adopté les définitions suivantes selon différentes approches :

- un îlot de survie ou de prospérité dans un milieu aride
- un microclimat créé par l'homme en milieu aride et induit par l'étagement des cultures
- un agrosystème intensifié établi, dans un espace isolé situé en milieu désertique
- un lieu de sédentarisation et d'intenses activités économiques et socioculturelles dans un environnement désertique

Le dictionnaire encyclopédique des sciences de la nature et de la biodiversité (DUNOD-Paris, 2008) a quant à lui donné la définition suivante :

- **Oasis**, n. f. (oasis). Biotopes situés en zones désertiques autour d'un point d'eau ou dans des dépressions où les nappes phréatiques affleurent en surface. On rencontre aussi des oasis dans les parties inférieures de la plaine d'inondation de certains cours d'eau où peuvent parfois se former, même au Sahara, de petites zones humides situées dans des cuvettes où s'accumulent les eaux collectées sur de très vastes bassins versants. Ils présentent une grande importance comme escale pour diverses espèces d'oiseaux euro-sibériens qui hivernent en zone tropicale.

Les différentes définitions des oasis citées ci-dessus demeurent inter-liées et complémentaires. L'oasis, un écosystème isolé en milieu aride. Une « niche » qui s'est développé autour d'une source d'eau. Si l'eau venait à manquer ou à disparaître, tout l'écosystème associé devrait s'effondrer. L'eau est pour ainsi dire le pilier de l'écosystème oasien.

#### 3.1 LES OASIS

L'eau dans le milieu aride et désertique qui nous intéresse, où la pluviométrie est très faible et épisodique, puise principalement des nappes profondes fossiles. Entre l'utilisation du terme « ressources en eau » et « réserves en eau » nous allons choisir d'utiliser réserves en eau du

---

<sup>4</sup> Elaboration d'une monographie complète des oasis en Tunisie, (Consulting en Développement Communautaire et en Gestion d'Entreprises) <http://www.oasis.tn/sites/default/files/caract%C3%A9risation%20sommaire%20des%20oasis%20tunisiennes.pdf>

fait de son très faible taux de renouvellement. Afin de comprendre et évaluer la situation hydrique actuelle, et de pouvoir estimer sa possible évolution, il est important de connaître l'histoire et l'évolution des oasis du point de vue la pression sur les réserves en eau souterraines.

Au commencement on peut supposer qu'il y avait des émergences naturelles, autour desquelles se sont développées les oasis, ces sources naturelles, on le sait aujourd'hui, résultent des remontées des eaux du système aquifère profond (des remontées capillaires).

Vers le milieu du dix-neuvième siècle, avec la colonisation, l'avènement des forages artésiens, une technique jusque-là méconnue dans la région a apporté les premiers changements substantiels sur le paysage oasien de la région. Il fallait trouver de l'eau pour alimenter les troupes dans leur mouvement vers la conquête de l'Afrique, sédentariser une population nomade hostile en développant l'agriculture, traiter le minerai de phosphate... etc. Grâce à une eau plus abondante, les oasis ont probablement connue ainsi une importante évolution. Elles ont probablement aussi attiré et sédentarisé une population croissante. Le développement de l'exploitation minière du phosphate y a vraisemblablement aussi contribué. Il fallait pourvoir en eau le développement socio-économique de la région et à fortiori cela a engendré de nouvelles pressions et a imposé un nouvel équilibre entre l'offre et la demande.

Avec l'indépendance, dans le but de financer le développement du pays et d'assurer un flux d'exportation suffisant pour équilibrer la balance commerciale, la politique dans la région s'est orientée, entre autres, vers la modernisation et le développement de l'agriculture, l'industrie minière et le tourisme saharien.

Pour l'agriculture, un accent a été mis sur la phœniculture dans les régions du Djerid (Tozeur, Nafta, Dguehe) et de Nefzaoua (Kébili, Douz, SoukLahad). Vers les années soixante-dix il y a eu le développement des oasis modernes dans les gouvernorats de Tozeur et Kébili. Un peu plus tard vers les années 90, il y a eu le développement du tourisme saharien en périphérie des oasis. Tandis qu'à Gafsa le choix a porté sur le développement des mines de phosphates et à Gabes sur l'industrie chimique qui y est associée. Ces actions ont été menées à l'aide d'investissements de l'état et ont affecté les oasis et leurs évolutions, chacune dans sa région. Elles ont en toute évidence eu leurs impacts sociaux et environnementaux notamment pour ce qui nous intéresse le niveau de la pression sur les réserves en eau et leur mobilisation crescendo.

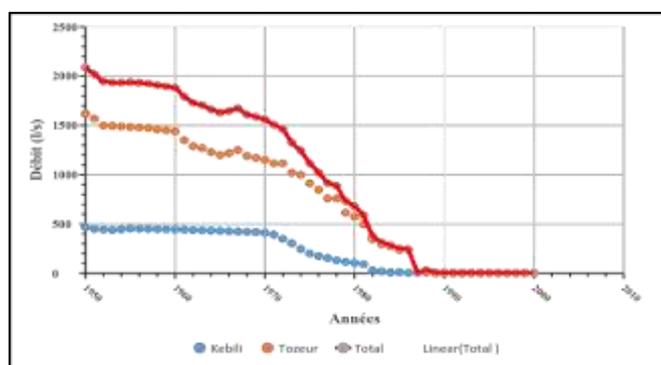


Figure 1. Évolution des débits des émergences naturelles de la nappe du CT à Kébili et Tozeur. Source : Aissa Agoune Thèse de Doctorat 2017, données des annuaires d'exploitation des nappes profondes (DGRE Et les données SAGESSE)

Soulignons le fait important que de l'autre côté de la frontière algérienne ou libyenne, on puise dans les mêmes réserves transfrontalières (le SASS et la Djéffara) et que l'histoire et les situations actuelles respectives sont assez semblables. Un esprit de concurrence s'est installé ; qui profitera le premier de ces réserves communes **avant leur tarissement**.

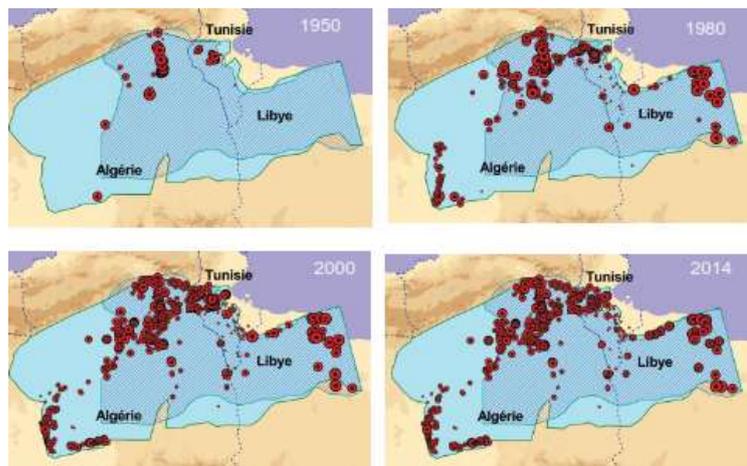


Figure 2. Evolution des points d'eau dans la zone SASS (1950- 2014)

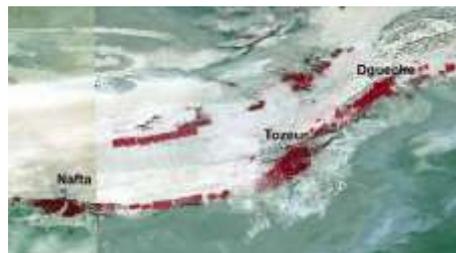
A Kébili et Tozeur une importante évolution ostensible des palmeraies « modernes » comme le montre les figures ci-dessous. Des palmeraies que l'on continue à considérer comme oasis.

Figure 3. Evolution en 46 ans dans les régions du Djérid et Nefzaoua

Le Djerid



Image Landsat1 MSS de 1972

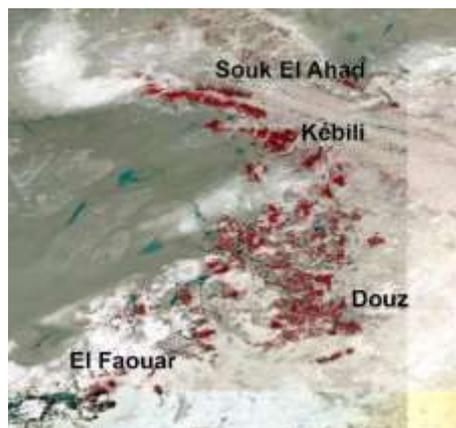


Images Sentinel 2 de 2019

Nefzaoua



Image Landsat1 MSS de 1973



Images Sentinel 2 de 2019

A contrario, à Gabes et Gafsa les oasis ne s'y sont pas autant développées, dans certains cas elles ont même régressé et ont été investies par l'extension de l'urbanisation (figures ci-dessous). Soutient

Figure 4. Evolution en 46 ans dans les régions du Djérid et Nefzaoua

Gafsa

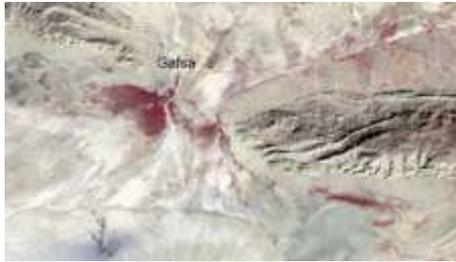
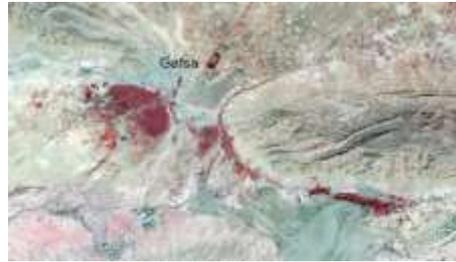


Image Landsat1 MSS de 1973



Images Sentinel 2 de 2019

Gabes



Image Landsat1 MSS de 1972



Images Sentinel 2 de 2019

Dans la région de Kébili, pendant les années 2000, Avec le désengagement de l'état de certaines activités économiques (la privatisation), et grâce à l'avènement de l'Internet et à l'accessibilité et à l'ouverture aux marchés mondiaux, à la qualité des dattes DegletNour et un prix à l'export attrayant dû à l'importante différence du niveau de vie entre la région et les pays de destination des produits, le concours de ces faits a probablement été à l'origine d'un engouement de la population à s'investir plus activement dans le développement et la production de ce produit phare. Cela a eu des conséquences sur l'augmentation de la demande en eau. L'accès à la nappe étant soumis à l'autorisation de l'état et une régulation par les Groupement de développement agricole, on a vu alors se multiplier les fraudes du fait que la nappe est à une profondeur accessible, de nouvelles parcelles de palmier Deglet Nour se développent autour de puits non autorisés et une exploitation en dehors de tout contrôle. Cette situation s'est gravement accentuée depuis 2011 d'autant plus qu'avec la démocratisation de l'énergie photovoltaïque le coût de du pompage ne dissuade plus les petits investisseurs. Au Djerid, la situation est semblable mais moins accentuée du fait que l'accès à la nappe demande beaucoup plus d'investissement à cause d'une profondeur locale importante.

Le lien de cause à effet entre l'augmentation de la différence du niveau de vie local avec les marchés cibles ou plus directement l'augmentation des prix de Deglet Nour à l'international et

l'augmentation du nombre de forages profonds dans la région ou la pression sur les réserves en eau, semble établi du fait que de tels investissements deviennent rentables.

À Gafsa, Contrairement à Kébili ou à Tozeur, les superficies n'ont pas beaucoup évolué, mais il est tout de même possible d'observer un changement notable dans le type de culture. La population se tourne de plus en plus vers l'oléiculture en remplacement de la phœniculture. Avec ce changement, lors des échanges au cours de la mission de collecte des données, une impression ressentie qu'il y a de moins en moins d'oasis dans la région du fait que les agriculteurs abandonnent les palmiers pour des oliviers. Aucune des définitions citées plus haut ne lie l'oasis à la palmeraie et pourtant dans la conception collective l'oasis y est exclusivement associée. Les oliviers ne sont pas cultivés en sec comme le montre bien cette image. Ils sont cultivés avec une équidistance de moins de 10m, au nord comme dans la région de Sfax, quand les oliviers sont cultivés en sec, l'équidistance séparant les pieds est de 25 m. ici, ils sont vraisemblablement irrigués. Avec l'abandon des palmiers, l'effet parasol qu'ils procuraient disparaît et l'évaporation devrait être plus importante.



Figure 5, échantillon de l'oasis de Gafsa montrant la densité des oliveraies.

A Gabes, La situation des oasis est semblable à celle de Gafsa du fait qu'il y a aussi tendance vers l'abandon de la phœniculture pour d'autres types de cultures arboricoles maraichères et fourragères. Mais notons surtout la pression de l'extension du tissu urbain en tache d'huile sur les oasis notamment celles de Gabes et Ghannouch comme le montre la figure ci-dessous.

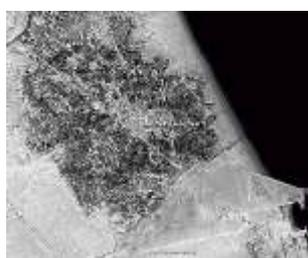


Image CORONA, 1972



Image Worldview 2004



Image Worldview 2019

Figure 6. Evolution de l'agglomération urbaine de Ghannouch en 47 ans

Les changements dans le type de culture des oasis de Gafsa et Gabes sont une forme d'adaptation à un contexte politique et socio-économique local et régional.

En 2015, La monographie des oasis des gouvernorats de Kébili, Tozeur, Gafsa et Gabes, (GDEO) a recensé 267 oasis. Ce travail a été mené avec le concours de l'administration et la société civile. L'ensemble des 267 oasis ont été classifiés en 141 oasis modernes et 126 oasis traditionnelles. Rappelons que le projet GDEO s'est intéressé aux oasis traditionnelles, elles ont donc été identifiées et cartographiées. Mais cela n'a pas été le cas des 141



Figure 7 Répartition des oasis par gouvernorat et par typologie. Source : Extrait du rapport « caractérisation sommaire des oasis tunisiennes », Septembre 2015

oasis Modernes. Rajoutons à cela le fait que sur l'ensemble des oasis modernes, la quasi-totalité se trouvent dans des gouvernorats de Kébili et Tozeur (135 oasis modernes sur les 141, seulement 6 oasis se trouvent dans le gouvernorat de Gafsa et aucune dans le gouvernorat Gabes). Connaissant la situation volatile dans ces deux régions nous imaginons bien la difficulté à cerner les oasis.

**Tableau 1** : Répartition des oasis tunisiennes par Gouvernorat (source DGEDA agridata.tn 2017)

Oasis	Kebili	Tozeur	Gafsa	Gabes	Total
Superficie (ha) DGEDA 2017	36 559	8 444	4 324	7 262	56 589
Superficie (ha) selon la monographie des Oasis Source : Enquête Oasis 2013. DGEDA	23 858	8 363	2 052	6 703	40 975
Différence des superficies	-12 701	-81	-2 272	-559	-15 614
Nombre (DGEDA 2017)	140	74	12	35	261
Nombre selon la monographie des Oasis (2013. DGEDA)	112	93	13	49	267
Différence de nombre	28	-19	-1	-14	-6

Le tableau ci-dessus compare les données de deux dates à 3 ans d'intervalle. Notons que pour le gouvernorat de Gafsa, les superficies des oasis ont plus que doublé elles sont passées de 2052 Ha à 4324 Ha, tandis que leur nombre a diminué elles sont passées de 13 oasis à 12. S'il ne s'agit pas d'une erreur, ceci est probablement dû à une reclassification de zone agricoles en oasis car il n'y a pas eu un projet d'envergure avec création d'autant d'oasis dans la région. Ceci est révélateur de l'absence d'une définition précise de l'oasis.

D'un autre côté Pour le gouvernorat de Kébili l'importante augmentation des superficies enregistrées est à priori bien réelle (12 700 Ha d'augmentation de 2013 à 2017) et elle est révélatrice de l'importante dynamique dans la création de nouvelles exploitations de palmier dattier.

Compte tenu des éléments sus cités, au vu (i) de l'importante dynamique incontrôlée observée dans la création de nouvelles parcelles dans les gouvernorats de Kébili et Tozeur, (ii) des changements des types de cultures dans les oasis de Gafsa et Gabes, (iii) de l'amalgame fait entre les oasis et la monoculture phœnicole intensive, (iv) de l'absence d'une définition et une identification claire et précise des oasis « tunisiennes », (v) de l'enchevêtrement géographique et hydrique des oasis et des agglomérations urbaines associées, **nous sommes attiré par deux idées importantes concernant les oasis (toujours du point de vue hydrique) :**

- Celle de considérer que toute activité arboricole (à fortiori irriguée) dans la zone aride et désertique qui nous intéresse, correspond à une oasis. Nous partons du fait que toutes les activités agricoles partagent les mêmes ressources hydriques souterraines, importantes et sensibles. Nous verrons dans la suite de ce rapport que ce raccourci n'est pas valable et que les oasis en Tunisie sont exclusivement associées à la phœniculture.
- Que l'ensemble des activités économiques et sociales relatives à une agglomération associée (sur le plan hydrique, l'eau potable, le tourisme et l'industrie) sont partie intégrante des oasis. Elles ont évolué avec les oasis associées, elles partagent le même

territoire, elles sont alimentées depuis les mêmes ressources en eau, les eaux usées traitées sont utilisées pour l'irrigation... de ce fait, elles doivent donc figurer dans la balance du bilan hydrique des oasis.

### 3.2 LES RESSOURCES EN EAUX DES OASIS

Les ressources en eaux souterraines dans ces régions sont de l'ordre de 747,6 Mm<sup>3</sup> soit environ 34 % des ressources souterraines du pays. Parmi ces oasis, certaines sont irriguées avec des eaux géothermales avant d'être refroidies et acheminées pour l'irrigation. Depuis les 3 dernières décennies ces eaux géothermales sont valorisées pour la pratique des cultures sous serres dont la superficie ne cesse de s'étendre et dont la production est destinée pour l'exportation. La tomate de diverses variétés dont la fameuse tomate cerise constitue la principale production et a pu acquérir une réputation pour sa bonne qualité gustative et pour sa précocité.

Les gouvernorats ici concernés occupent une surface de 91 000 km<sup>2</sup>, soit environ le quart de la superficie totale du pays avec une population de près d'un million de personnes.

Leurs oasis s'étendent depuis la côte méditerranéenne à l'Est jusqu'aux jalons de verdure les plus occidentaux des régions du Djérid (Hazoua, Mides, Tamerza) et du Nefzaoua (Redjem Maatoug et El Matrouha).

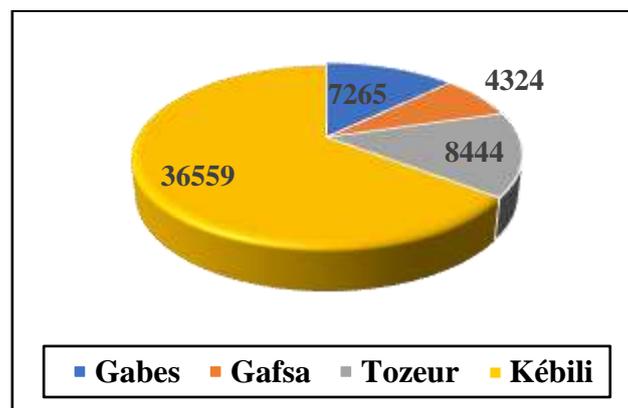


Figure 8. Répartition des oasis tunisiennes par Gouvernorat

La zone d'intérêt, de par sa situation géographique et son histoire, dispose de ressources en eau rares et fragiles. La politique de développement conduite depuis l'indépendance, basée sur l'agriculture et essentiellement la culture des palmiers dattiers, a permis une mobilisation quasi complète de ces ressources et se heurte actuellement à une problématique de durabilité qui risque de s'aggraver d'une année à une autre par la combinaison des implications du changement climatique. Toutefois, cette situation n'est pas uniforme à l'échelle de la ressource et de l'espace, elle comporte aussi des éléments de ressemblance avec les pays de la région qui partagent les mêmes aquifères et qui font face à des situations tendues en termes de gestion des ressources en eau.

Le système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS) est caractérisé par la présence de deux nappes profondes captives à semi-captives, sur une superficie en Tunisie de l'ordre de 80 000 Km<sup>2</sup>. Ce système aquifère qui dépasse les frontières tunisiennes pour rejoindre les Sahara algérien et libyen, présente une superficie globale de l'ordre de 1 million de km<sup>2</sup>. Ces nappes sont celle du Complexe terminal (CT) et du Continental Intercalaire (CI).

Le progrès technologique de captage des eaux souterraines par forages profonds et l'exploitation des grands aquifères du sous-sol saharien a abouti actuellement à la situation de déséquilibre entre les ressources et l'exploitation réelle.

Sur la base du développement de l'offre et la gestion de la demande des ressources en eau, est en passe d'atteindre ses limites. Cette situation a engendré un tarissement total des émergences naturelles qui étaient la principale source d'approvisionnement des eaux d'irrigation des Oasis du Sud de la Tunisie (Kébili, Tozeur, Gabes et Gafsa).

Les précipitations dans la zone d'intérêt sont connues par leur rareté et leur caractère sporadique et violent. La création des oasis n'a été rendue possible que grâce à une mobilisation ingénieuse des eaux des sources, élément central dans leur organisation. Au début, les agriculteurs n'exploitaient que la fraction renouvelable des eaux qui jaillissait spontanément à la surface du sol. pourtant, notre zone d'intérêt, se distingue par l'importance de l'activité agricole, et aussi par l'activité touristique et industrielle. Cependant, l'agriculture reste le secteur éminent à la fois en tant que secteur économique de par sa contribution à l'emploi, à la production nationale, notamment en certains produits, et enfin en tant que forme de mise en valeur des ressources naturelles (eau, sol et couvert végétal) et d'aménagement de l'espace. En effet, elle exploite plus que **80%** des ressources en eau mobilisées.

Si l'on considère la tendance observée pour les créations d'oasis par gouvernorat, on constate une augmentation remarquable. En effet, les superficies totales ont évalué de 17 500Ha en 1992 à 56 589 ha en 2017. À l'horizon 2050, l'augmentation est prévue essentiellement au gouvernorat de Kébili. Cette augmentation serait, en termes de besoins en eau d'irrigation, également envisageable.

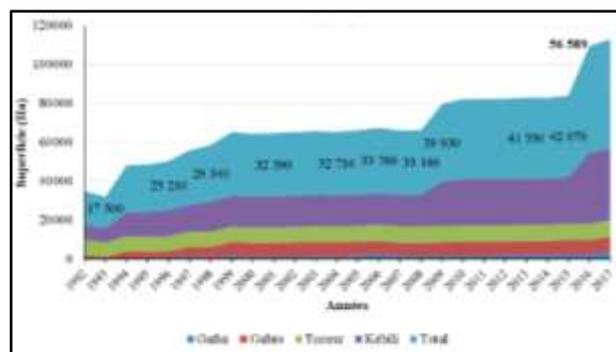


Figure 9. Évolution des superficies des Oasis dans le Sud de la Tunisie (Source : www.aridata.tn. 2019)

Le développement des périmètres irrigués privés est non maîtrisé au regard des ressources en eau disponible et à accessibilité facile. Leur superficie augmentera plus que prévu dans les études stratégiques.

Ainsi, le taux d'évolution des superficies des palmeraies augmentera conjointement le besoin en eau.

### 3.3 TRADITIONNELLES OU MODERNES ?

Les différentes définitions du système oasien demeurent sur le concept traditionnel ou moderne? nous pouvons différencier les oasis traditionnelles (exemple l'oasis de Jhim) des cultures phœnicoles intensives (exemple IbnChabbat) les plus importantes en superficies, elles datent de moins d'un siècle. Une oasis est-elle liée à la culture du palmier dattier.

A Gabes et Gafsa l'intérêt pour culture du palmier dattier est en déclin contrairement à Kébili et Tozeur où la culture du palmier dattier est en pleine expansion. A Gabes les anciennes palmeraies qualifiées d'oasis se transforment avec le temps vers la culture maraichère et fourragère. A Gafsa la phœniciculture est abandonnée pour l'oléiculture.

#### Les Oasis Traditionnelles

La superficie des oasis n'a cessé de s'étendre pour passer de **16 720 ha** en 1974 à **56 589 ha** en 2018 et est sur le point d'être multipliée (dont environ le tiers est formé d'oasis traditionnelles) qui représente **9 %** des périmètres irrigués et **0,8%** de la surface agricole du pays. Elles sont localisées principalement dans les quatre gouvernorats de **Tozeur, Kébili, Gabes et Gafsa**. Quelques oasis de faible superficie existent dans le gouvernorat de Médenine. On compte environ **210 oasis**. Les oasis comptent **5,5 millions** de palmiers dattiers. Malgré cette faible superficie ; les oasis jouent depuis longtemps un rôle important à divers niveaux ; économique, social, environnemental et patrimonial. Les périmètres irrigués des 4 gouvernorats oasiens de Gabes, Kébili, Tozeur et Gafsa participent au niveau du pays pour une superficie d'environ **13,7%** dans les périmètres irrigués, pour environ 30% dans les superficies arboricoles irriguées, pour **25 %** dans les cultures fourragères irriguées, et pour **10%** dans les cultures maraichères irriguées.

Les oasis anciennes, sont toujours associées à une agglomération d'habitation. La densité des palmiers est relativement importante. Elle est comprise entre 150 et 180 palmiers par hectare une culture à 3 étages. Ceci se traduit par la création d'un microclimat ou effet parasol,

#### Les Oasis modernes,

Peut-on les classer comme des oasis ? monoculture phœnicole intensive. Palmier dattier principalement de la variété Deglet Nour. Une densité moins importante que les oasis traditionnelles moins d'effet parasol, plus d'évaporation rarement une culture alternée.

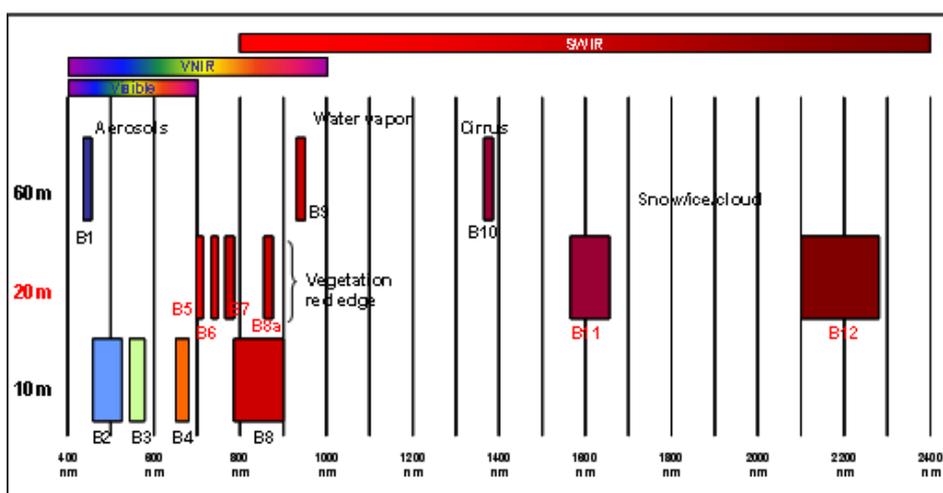
### 3.4 CARTOGRAPHIE DES OASIS DES GOUVERNORATS DE KEBILI, TOZEUR, GAFSA ET GABES

Pour la cartographier les oasis des gouvernorats de Kébili, Tozeur, Gafsa et Gabes, partons du recensement et de la cartographie réalisées en 2015 dans le cadre du projet GDEO. Rappelons que dans ce cadre, un important travail de terrain a été mené pour identifier les oasis traditionnelles. Nous nous baserons sur ces résultats et nous nous attèlerons ici à identifier et cartographier le reste des oasis, les oasis modernes et les éventuelles évolutions des oasis traditionnelles depuis l'année 2015.

Pour accomplir cette tâche, nous avons utilisé la spatio-cartographie et les données de télédétection. Notre choix s'est porté sur les données Sentinel 2 qui sont les mieux appropriées pour notre exercice.

Rappelons que Sentinel-2 est une série de satellites d'observation de la Terre de l'Agence spatiale européenne développée dans le cadre du programme Copernicus. Le premier satellite a été mis en orbite en 2015. L'objectif du programme est de mettre à la disposition des données actualisées permettant d'assurer le contrôle et la surveillance de l'environnement. A travers la fourniture d'imagerie optique haute résolution permettant l'observation des sols (utilisation des sols, végétation, zones côtières, fleuves, etc.). Les données sont accessibles à partir plusieurs serveurs sur internet notamment Copernicus Open Access Hub/ESA ou EarthExplorer/USGS.

Les données se présentent sous forme d'un ensemble de 13 fichiers correspondants à l'enregistrement des réflectances au sol dans différentes bandes du spectre électromagnétique. Les 4 premières bandes sont à 10 m de résolution au sol et sont dans les bandes passantes du visible et du proche infrarouge. 5 autres bandes à 20 m de résolution au sol et sont dans les bandes du proche infrarouge et de l'infrarouge à ondes courtes ainsi que 3 bandes à 60 m de résolution et sont réparties sur le visible le proche infrarouge et l'infrarouge à ondes courtes.



Nous nous intéresserons aux 4 premières bandes pour leurs résolutions spatiales (10m). pour améliorer la résolution spectrale nous utiliserons des données diachroniques ; plusieurs dates

pour la même zone, cela aura l'avantage d'exploiter la dynamique du couvert végétal en fonction des saisons, ou de l'activité agricole quand il s'agit de cultures saisonnières.

Les scènes Sentinel-2 couvrent la surface du globe terrestre avec une répétitivité de 5 jours. 9 scènes ont été nécessaires pour couvrir notre zone d'intérêt.

Pour l'identification des oasis de nous avons procédé par classification automatique d'images. Pour chaque scène, nous avons sélectionné des images sans couvert nuageux sur au moins 4 dates les plus récentes réparties sur une année. Un total de 42 scènes ont été récupérées pour notre cas. Un volume de 32 Go de données.



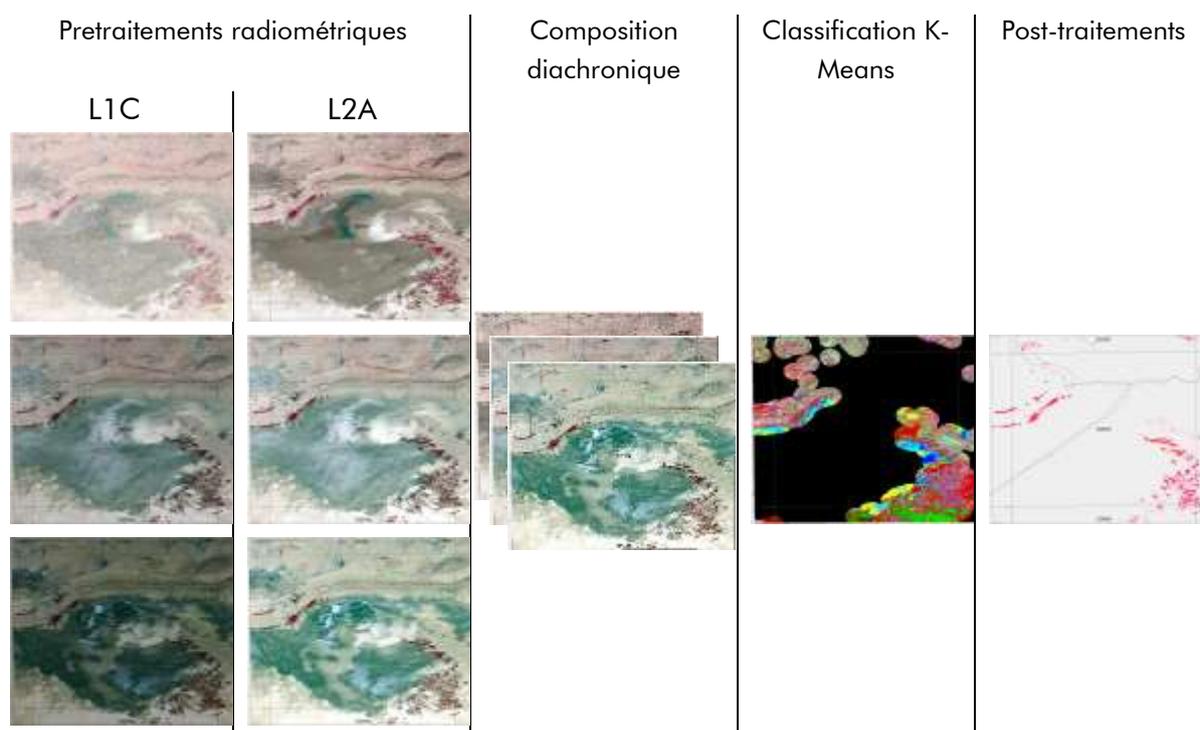
Ci-dessous un tableau récapitulatif des données utilisées

emprise	Granule	Date de prise de vue
MD	L1C_T32SMD_A007055_20180713T102054	13/07/2018
	L1C_T32SMD_A014605_20180409T101343	09/04/2018
	L1C_T32SMD_A014891_20180429T101859	29/04/2018
	L1C_T32SMD_A016178_20180728T101340	28/07/2018
	L1C_T32SMD_A017465_20181026T101940	26/10/2018
	L1C_T32SMD_A018609_20190114T102032	14/01/2019
LC	L1C_T32SLC_A009486_20181230T101429	30/12/2018
	L1C_T32SLC_A014891_20180429T101859	29/04/2018
	L1C_T32SLC_A016607_20180827T101808	27/08/2018
	L1C_T32SLC_A019467_20190315T101043	15/03/2019
	L1C_T32SLC_A019610_20190325T101055	25/03/2019
	L1C_T32SLC_A019896_20190414T101248	14/04/2019
MC	L1C_T32SMC_A007884_20161225T101625	25/12/2016
	L1C_T32SMC_A009343_20181220T101427	20/12/2018
	L1C_T32SMC_A014176_20180310T101020	10/03/2018
	L1C_T32SMC_A016607_20180827T101808	27/08/2018
	L1C_T32SMC_A018609_20190114T102032	14/01/2019
	L1C_T32SMC_A019324_20190305T101942	05/03/2019
	L1C_T32SMC_A019610_20190325T101055	25/03/2019
NC	L1C_T32SNC_A005439_20180322T100233	22/03/2018
	L1C_T32SNC_A010444_20190307T100932	07/03/2019
	L1C_T32SNC_A010587_20190317T100720	17/03/2019
	L1C_T32SNC_A016421_20180814T100026	14/08/2018
PC	L1C_T32SPC_A004009_20171212T100940	12/12/2017
	L1C_T32SPC_A005439_20180322T100233	22/03/2018
	L1C_T32SPC_A009300_20181217T101029	17/12/2018
	L1C_T32SPC_A010587_20190317T100720	17/03/2019
	L1C_T32SPC_A014562_20180406T100916	06/04/2018
	L1C_T32SPC_A016421_20180814T100026	14/08/2018
LB	L1C_T32SLB_A009486_20181230T101429	30/12/2018
	L1C_T32SLB_A014891_20180429T101859	29/04/2018
	L1C_T32SLB_A016607_20180827T101808	27/08/2018
	L1C_T32SLB_A019896_20190414T101248	14/04/2019

emprise	Granule	Date de prise de vue
MB	L1C_T32SMB_A009486_20181230T101429	30/12/2018
	L1C_T32SMB_A014891_20180429T101859	29/04/2018
	L1C_T32SMB_A016607_20180827T101808	27/08/2018
	L1C_T32SMB_A017465_20181026T101940	26/10/2018
	L1C_T32SMB_A019896_20190414T101248	14/04/2019
NB	L1C_T32SNB_A009300_20181217T101123	17/12/2018
	L1C_T32SNB_A014848_20180426T100155	26/04/2018
	L1C_T32SNB_A016421_20180814T100026	14/08/2018
	L1C_T32SNB_A019853_20190411T100650	11/04/2019

Les scènes récupérées sont à un niveau de prétraitement L1C. elles nécessitent un prétraitement pour corriger et éliminer les effets atmosphériques et les transformer au niveau L2A. à cet effet l'ESA propose une bibliothèque d'outils pour traiter les données Sentinel. L'outil Sen2Cro est conçu pour apporter ces corrections.

Avant le processus de classification d'images, pour chaque emprise, nous avons constitué un empilement de couches constitué des 4 bandes utiles (les bandes 2, 3, 4 et 8A) par date de prise de vue, et cela pour l'ensemble des dates choisies, de chacune des scènes sélectionnées ; nous avons constitué ainsi une donnée diachronique. Le but étant de créer la plus importante avec différenciation des pixels selon les dates en plus de celles spectrales. Pour la classification automatique nous avons choisi la classification automatique avec l'algorithme des K-moyennes. Nous avons aussi constitué un masque couvrant d'une manière assez large les zones des oasis ou les zones agricoles sur notre zone d'intérêt. Ce masque servira à limiter les traitements de classification automatique à la partie qui nous intéresse géographiquement et ainsi obtenir des résultats plus fins. Le résultat obtenu subit un posttraitement pour faire ressortir les classes correspondantes aux oasis sur nos données.



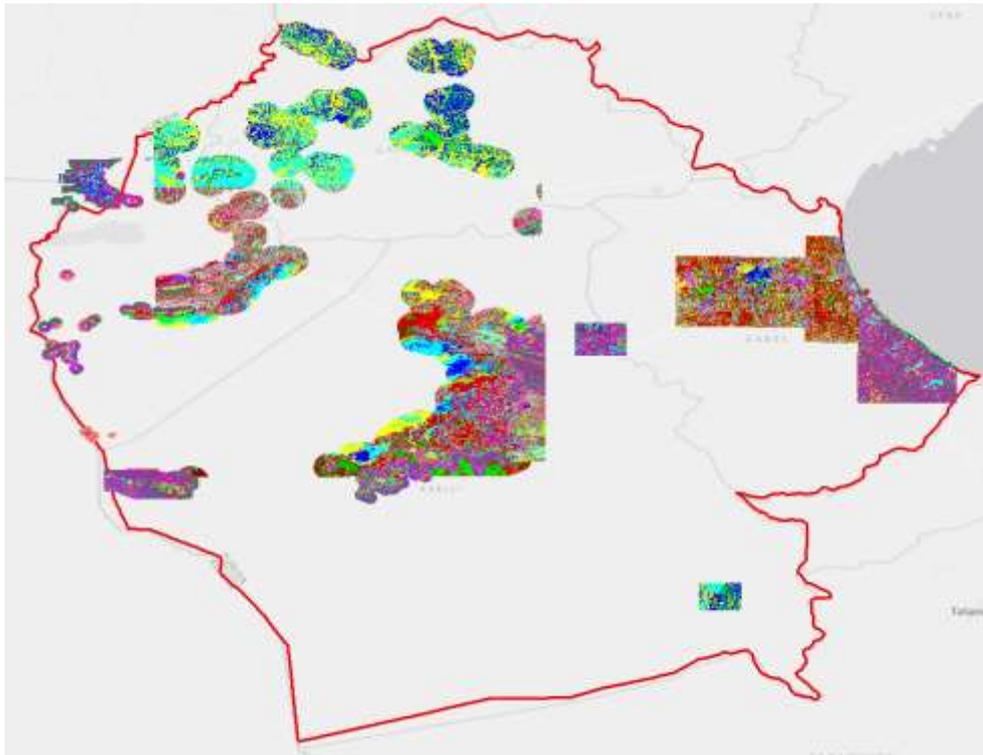


Figure 10. Résultat brut des classifications des données Sentinel-2.

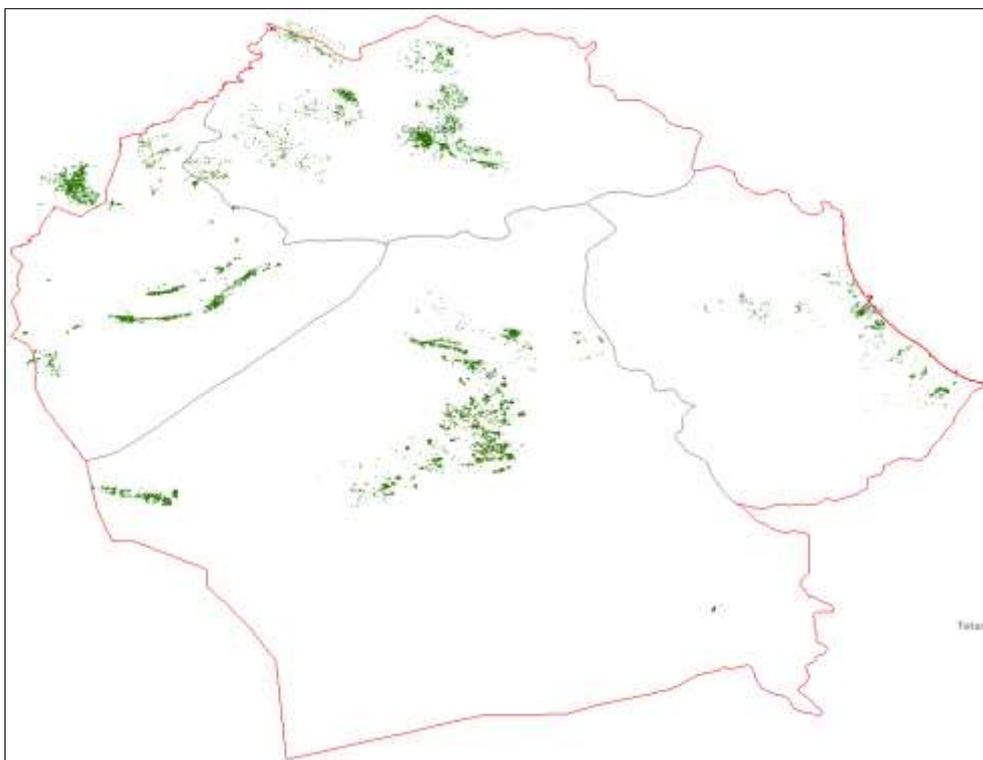
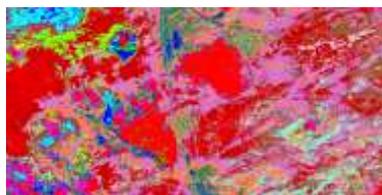


Figure 11. Post traitement des résultats des classifications.

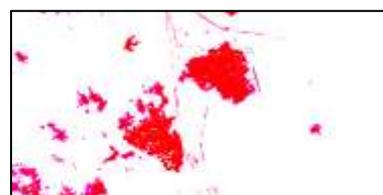
Résultat de l'identification de l'activité agricole dans les gouvernorats de Kébili, Tozeur, Gafsa, et Gabes.



Extrait de la composition en pseudo couleur de l'image de Sentinel-2 sur la région Bazma/Kébili

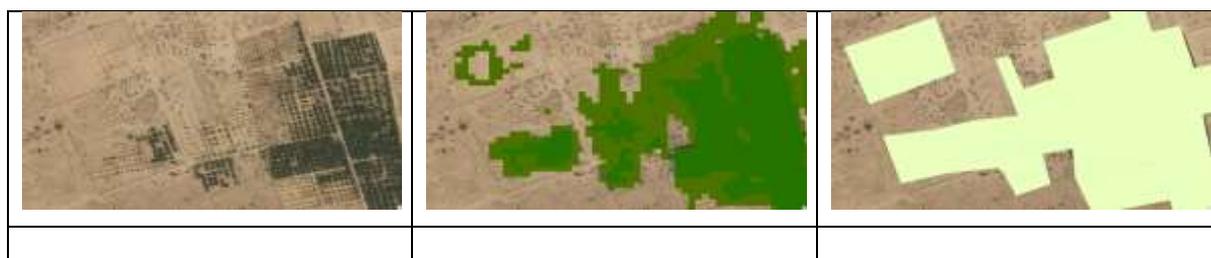


Résultat de la classification non supervisée avec l'algorithme K-Means.



Résultat du posttraitement de la classification d'image multi chronique correspondant aux oasis.

En observant ces résultats obtenus de plus près, nous avons constaté, notamment dans la région de Nefzaoua qu'un nombre important de nouvelles extensions n'ont pas été décelées par cette méthode. L'explication est qu'à cause de la faible taille des jeunes plants de palmier, et à fortiori leur faible activité chlorophyllienne (comparée à une plantation de palmiers adultes) donne une faible réponse spectrale dans le proche infrarouge, le signal ainsi détecté sur les images n'est pas suffisamment fort pour être détecté. Il a fallu donc procéder à une délimitation manuelle de ces parcelles. Pour cette dernière étape nous avons exploité les données de très haute résolution de GoogleEarth.



Ci-dessous les résultats de cette cartographie des zones agricoles selon une répartition administrative par gouvernorat.

	Kébili	Tozeur	Gabes	Gafsa
Superficie (Ha)	38200	11542.0	9900	8814

En faisant la comparant les résultats des superficies des oasis ici obtenues aux données officielles de la DGEDA (agridata), on remarque que tous les résultats obtenus dépassent globalement les chiffres officiels de 21%.

Source	Kébili	Tozeur	Gabes	Gafsa	Zone d'intérêt
Occupation des sols 2019 (Ha)	38200	11542	9900	8814	68456
DGEDA 2017(Ha)	36559	8444	7262	4324	56589
Différence (Ha)	1641	3098	2638	4490	11867
(Différence)/( DGEDA 2017)	4%	37%	36%	104%	21%

Ce constat ne jette en rien le doute les données officielles, mais il y a lieu de chercher et comprendre les raisons de cette différence. Il est probable qu'une part de cette différence provient du décalage des dates d'observation (une année et demi de différence). Pour une autre part, il pourrait s'agir d'une différence dans les critères de classification des oasis par l'autorité. Ne disposant pas des limites cartographiques des oasis considérées par la DGEDA, il nous est impossible de déterminer la source de ces différences. Nous pouvons toutes fois avancer que le cas des gouvernorats de Kébili et Tozeur laisse peu de doute sur la justesse de nos résultats. L'identification des oasis y est simple car l'occupation du sol y est monotone. On y trouve essentiellement des palmeraies et elles sont considérées comme des oasis. Ce n'est pas le cas des gouvernorats de Gafsa et Gabes.

Plus haut, au sous chapitre 3.1 nous avons remarqué un flottement sur les données officielles DGEDA des superficies des oasis pour le gouvernorat de Gafsa où elles ont plus que doublé et sont passées de 2052 Ha en 2013 à 4324 Ha en 2017 et où l'oléiculture est entrain de remplacer la phœniculture. Aucune des définitions ne lie l'oasis au palmier et nous avons ainsi été tentés par l'idée de considérer que toute activité arboricole irriguée ici correspondrait à une oasis.

Considérons l'exemple de l'oasis du Guetar officiellement selon les chiffres du CRDA de Gafsa elle couvre une zone de 530 Ha. Le résultat de la classification des images Sentinel-2 donne une superficie de 352 Ha, le complètement manuel donne une unité de 1 252 Ha. Où se situe la limite de l'oasis ? nous nous trouvons devant l'ambiguïté de nous restreindre à associer l'oasis à la présence du palmier avec un système à trois étages ou bien d'étendre l'oasis à l'arboriculture. 352Ha ou 1252 Ha ? dans les deux cas de figures nous sommes loin du chiffre officiel de 580 Ha. En toute logique et du point de vue hydrique, nous sommes tentés, comme nous l'avons exprimé plus haut à étendre l'oasis à l'arboriculture, partant du principe que dans notre zone d'intérêt toute activité agricole en sec ne pourrait pas se développer à cause d'une très faible pluviométrie et que toute activité agricole est alimentée en eau à partir des nappes souterraines communes. Nous obtenons ainsi pour le gouvernorat de Gafsa une superficie totale de 38 343 Ha alors que les chiffres officiels sont de loin bien en dessous (2052 Ha en 2013 à 4324 Ha en 2017). Dans ce cas figure, nous mettrons loin de toute concordance ou rapprochement avec les chiffres et considérations de l'autorité. Bien que irriguées, les oliveraies ne sont pas considérées comme des oasis. Pour cette raison nous abandonnons cette idée et même les résultats obtenus par télédétection pour le gouvernorat de Gafsa pour nous rabattre sur les chiffres officiels. Rien ne nous permet de cartographier les limites des oasis si ce n'est les considérations de l'autorité.

Pour les oasis du gouvernorat de Gabes nous avons eu les mêmes contraintes et avons adopté la même solution.

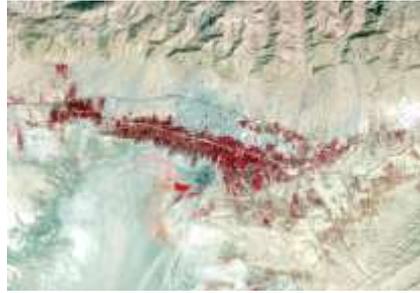
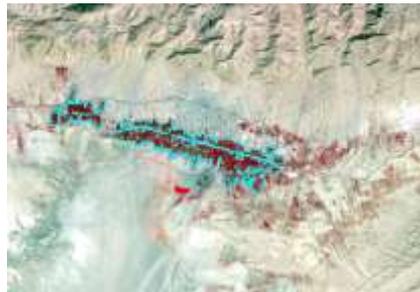


Image Sentinel-2 centrée sur l'oasis du Guetar



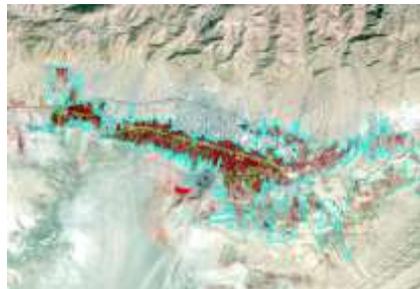
Échantillon à très haute résolution des zones ciblées par la classification



cartographie des zones de culture phœnicole étagées par classification de données de télédétection



Echantillon à très haute résolution des zones d'arboriculture



Délimitation manuelle des zones d'arboriculture dans la région du Guetar

Pour le bilan hydrique des oasis dans les gouvernorats de Kébili, Tozeur, Gafsa et Gabes nous adopterons les superficies totales suivantes.

	Kébili	Tozeur	Gafsa	Gabes
Superficie (Ha)	38200	11542.0	4324	7262

## 4 LES FLUX ENTRANTS

### 4.1 LES PRECIPITATIONS

La répartition saisonnière de la pluviométrie dans le Sud tunisien est beaucoup plus significative que celle interannuelle. Elle permet de distinguer deux principales saisons : une saison relativement pluvieuse et une autre franchement déficitaire.

- **La saison pluvieuse** correspond aux mois de septembre à mars. Elle présente près de 65% du total pluviométrique annuel. C'est la saison humide de l'année qui assure l'essentiel du ruissèlement observé. Les averses durant cette période, sont souvent orageuses, violentes et brèves.
- **La saison sèche** s'étend entre les mois d'avril et aout et elle est caractérisée par une aridité quasi générale. L'été est la saison la plus sèche avec une pluviométrie quasi-nulle ne dépassant guère les 3.45% du total pluviométrique annuel.

La répartition de la moyenne saisonnière des pluies à Kébili, Tozeur ; Gafsa et Gabes est reportée dans le tableau suivant :

La **pluviométrie** annuelle moyenne ne dépasse pas les **200m** et est **inégalement** répartie entre deux saisons : une saison humide et une saison sèche Cette pluviométrie ne contribue que sporadiquement dans la recharge des nappes phréatiques dans les aires de pâturages

Le climat de la Tunisie présaharienne se trouve dans l'aire isoclimatique méditerranéenne qui peut être définie, de point de vue écologique, comme un climat de zone tempérée, donc à photopériodisme saisonnier et quotidien et à pluviosité concentrée sur la saison froide ou relativement froide, l'été étant sec (Emberger, 1971). La Tunisie présaharienne est soumise, d'après Despois (1955), à deux centres d'action climatique totalement opposés : l'un, situé au Sud-Ouest, est le lieu d'un climat subtropical saharien sec et chaud, l'autre, situé à l'Est dans le golfe de Gabès, est sous l'influence d'un climat méditerranéen relativement tempéré. L'essentiel des précipitations est originaire soit du golfe de Gabès (pluies d'automne et début d'hiver), soit du bassin occidental de la Méditerranée (pluies de printemps et d'hiver) et rarement de l'Atlantique (Floret et Pontanier, 1982). D'après Ben Dakhli (1995),

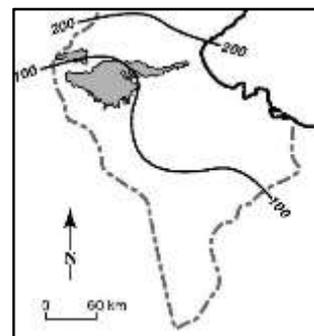


Figure 12. Représente la pluviométrie moyenne annuelle de quelques stations de la Tunisie présaharienne.

L'air chaud venant du Sahara, par suite de l'introduction de l'air froid, passe d'abord par la Méditerranée, s'humidifie, aborde de nouveau la terre plus chaude, se réchauffe à la base et devient instable. Il donne lieu à des développements pluvieux orageux assez importants.

**Tableau 2.** Pluviométrie saisonnière moyenne (%) à Kébili, Tozeur, Gabes et Gafsa (1988/2016)

Station	Automne	Hiver	Printemps	Été
Kébili	30.42	35.32	31.50	2.76
Tozeur	38.50	29.75	28.30	3.45
Gabes	39	51.2	16.7	0.4
Gafsa	30.5	29.6	9.8	2.7

La variabilité de la pluviométrie s'accroît dans la région d'étude à l'échelle mensuelle. L'hiver et l'automne contribuent fortement à la pluviométrie annuelle avec des maxima au mois de novembre et mars. La faible pluviométrie est enregistrée au mois de Juillet. Cette pluviométrie est caractérisée par une forte variabilité spatiale et temporelle et un caractère orageux et torrentiel.

Le trait général le plus remarquable ressortant de l'étude des précipitations en Tunisie présaharienne est, en plus de leur **faible quantité**, leur **variabilité mensuelle et annuelle**. Cette variabilité est tellement caractéristique qu'elle suffit à elle seule à caractériser le climat. La question qu'on pourrait se poser est dans quelle mesure ce régime pluviométrique pourrait influencer le bilan hydrique et contribue à apporter des modifications aux ressources en eau.

En effet, cette situation montre bien la quantité précipitée s'étale sur une longue période de l'année. La répartition des précipitations est plus intéressante à considérer que leurs quantités qui sont reprises rapidement par l'évaporation et un ruissèlement intense empêche l'infiltration des eaux pour rejoindre en totalité les réservoirs souterrains. Par conséquent, ce volume ne peut en aucun cas être comptabilisé efficacement dans le bilan hydrique.

L'apport pluviométrique annuel, dans la zone des oasis du Sud de la Tunisie, est défini comme la quantité d'eau précipitée dans le bassin hydrologique au cours d'un temps donné. Cet apport constitue le paramètre d'entrée de base pour la détermination du bilan hydrologique. Pour cela, une recherche bibliographique a permis d'exploiter l'une des très rares études, sinon la seule à l'échelle, portant sur l'apport pluviométrique de la Tunisie (Tixeront J., 1961).

Le résultat obtenu consiste en deux séries chronologiques de 95 années représentant l'évolution annuelle de l'apport pluviométrique de la zone d'étude de 1914/1915 à 2008/2009. Ces deux séries ont été comparées et critiquées puis soumises à une analyse fréquentielle pour déterminer les caractéristiques de position (moyennes, médianes, valeurs extrêmes),

Avec une pluviométrie faible, de l'ordre de 100 mm/an, les ruissèlements dans le bassin, lieu des oasis, ne sont observés que durant la période pluvieuse exceptionnelle. De ce fait, l'infiltration n'intéresse que les nappes phréatiques libres de la région.

Le volume d'eau de pluie récupérable est calculé grâce à la formule suivante :

$$V = P * S_{\text{captage}}$$

Où V est le volume d'eau de pluie récupérable par an (Litre)

P : Les précipitations moyennes annuelles (mm ou L/m<sup>2</sup>)

S<sub>captage</sub> : Surface de captage qui correspond à la Superficie des oasis (m<sup>2</sup>)

Pour le bilan hydrique, la précipitation ou le volume d'eau de pluie récupérables pour l'année de référence sur l'ensemble de la zone d'intérêt est sont résumés dans le tableau ci-dessous

Gouvernorat	Superficies irriguées	Pluviométrie moy/an.(mm)	Le volume d'eau de pluie (Mm <sup>3</sup> )
Kébili	38 200.00	101.00	38.58
Tozeur	11 542.00	155.00	17.89
Gafsa	4 324.00	170.00	7.35
Gabes	7 262.00	215.00	15.61
Total	61 328.00	641.00	79.44

29.6      143.5      456.9      345.5

## 4.2 EAUX SOUTERRAINES

### i. Exploitation contrôlée

Pour l'exploitation contrôlée, la répartition de l'exploitation des nappes profondes est :

**Tableau 3.** Répartition des ressources en eau mobilisées dans la zone des Oasis

Grnt	Ressources Mm3	Exploitat Mm3	Répartition par type de point d'eau						Nbre total
			Pompé		Artésien		Emergence		
			Mm3	Nbre	Mm3	Nbre	Mm3	Nbre	
GAFSA	82,8	107,08	107,08	585	0	0	0	0	585
TOZEUR	174,3	148,4	131,64	215	14,95	10	1,83	3	228
KEBILI	238	406,82	326,79	2848	79,07	714	0,96	13	3575
GABES	156,5	129	98,6	271	30,33	17	0,06	1	327
TOTAL	651,6	791,3	664,11	3919	124,35	741	2,85	17	4715

### ii. Exploitation par forages non contrôlée

Selon l'annuaire d'exploitation des nappes profondes de l'année 2016 (DGRE,2016), l'exploitation des eaux par les forages non contrôlés ou non autorisés est estimée comme suit :

**Tableau 4.** Situation de l'exploitation par forages non autorisés (Année, 2016)

Gouvernorat	Nbre de forage	Exploitation (Mm3)
Gafsa	36	0,38
Tozeur	20	0,002
Kébili	4549	210,3
Gabes	81	3,6
Total	4686	214,282

L'usage agricole se situe à 791,3 Mm3/an dont 406.82 Mm3/an, 148.4 Mm3/an et 156.5Mm3/an sont exploités respectivement dans les régions de Kébili, Tozeur et Gabès. À signaler que Kébili, toute seule, exploite plus que 52% de total des ressources mobilisées dans la zone.

NB/ Une estimation de **210.68Mm<sup>3</sup>** sont destinée à l'usage agricole par les forages non autorisés

## 4.3 LES EAUX DIRECTES

les eaux directes sont les eaux d'AEP, les eaux touristiques et industrielles, qui lorsque l'agglomération urbaine fait corps avec l'oasis, rentre dans le bilan hydrique. Les données de la population oasienne ont été récupérées du recensement démographique national de 2014.

Pour un taux d'accroissement national moyen, pour l'année 2016 évalué à **0.86%** ([www.indexmundi.com](http://www.indexmundi.com)). La région du Gabes présente un taux d'accroissement de **0.88%**. Alors que la région du Sud-Ouest (Gafsa, Tozeur et Kébili) le taux d'accroissement de la population pour la même période est de **0.64%** ([www.ins.tn](http://www.ins.tn)).

Gouvernorat	Population (1000hab) (Année :2017)	Eau potable (Mm <sup>3</sup> )	Eau industrielle (Mm <sup>3</sup> )	Eau touristique (Mm <sup>3</sup> )
<b>Gafsa</b>	346.074	28.27	16.23	0
<b>Gabes</b>	388.800	27.24	4.53	0
<b>Tozeur</b>	111.752	11.26	4.19	0.29
<b>Kébili</b>	163.300	9.00	0.52	0.58
<b>Total</b>	<b>1 009.926</b>	<b>75.77</b>	<b>25.47</b>	<b>0.87</b>

(Source : ODS, 2017)

Le changement annuel moyen en pourcentage de la population, d'une région bien déterminée, résultant d'un excédent (ou d'un déficit) des naissances par rapport aux décès et de l'équilibre des migrants entrant et sortant d'un pays. Ce taux d'accroissement est un facteur qui détermine le fardeau imposé à un pays par les besoins changeants de son peuple y compris en ressources naturelle et plus particulièrement en eau.

#### 4.3.1 Les Nappes phréatiques

La mobilisation des ressources en eau des nappes phréatiques est relativement forte et accuse dans la plupart des cas, une surexploitation de l'ordre de **123%**. Selon les gouvernorats concernés, la situation d'exploitation de ces nappes phréatiques se présentait en 2015 entre 85% à Tozeur et 157% à Gafsa, excepté celle de Kébili où l'exploitation est de l'ordre de 6.7%.

Ces nappes ont été à l'origine d'une mise en valeur de périmètres irrigués arboricoles et privés sur des terres collectives, Plusieurs des puits qui captent ces nappes ont subi l'approfondissement par sondage afin de capter des niveaux aquifères plus profonds (cas de Ghannouch, Oued El Akarit, Lymaoua, etc...).

À Gafsa, les nappes phréatiques associées à celles des oasis de Gafsa sont principalement celles de Gafsa-Sud, El Guettar, Segdoud et Oued Sehili. Elles subissent durant les trois dernières années, une surexploitation intensive.

*Tableau 5. Ressources en eau et exploitation des nappes phréatiques dans les oasis du Sud de la Tunisie*

	Ressources (Mm <sup>3</sup> /an)	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015
Gabès	23.7	8.3	11.7	16.6	23.4	24.7	28.3	25.1	24.7
Gafsa	33.3	9.8	14.0	29.5	37.6	35.2	34.3	42.3	52.25
Kébili	5.5	0.3	0.7	1.6	1.4	1.6	0.28	1.5	0.37
Tozeur	48.1	4.3	17.9	24.3	27.0	29.9	32.31	38.58	41.21
Total	96.1	22.7	44.3	72	89.4	91.4	95.19	107.48	118.53

A Tozeur, les nappes phréatiques des oasis de Tozeur s'étendent le long du Draa Djérid entre Deghoumes à l'Est et Hazoua à l'Ouest, ainsi que sur la rive Sud du Chott El Gharsa et dans les vallées montagneuses de la chaîne de Gafsa. Leurs eaux largement mobilisées par de nouveaux puits de surface, servent à de nouvelles extensions autour des oasis anciennes.

A Kébili, la nappe phréatique des oasis de Kébili est très peu sollicitée à cause de la mauvaise qualité de ses eaux. Les nouvelles mises en valeur agricole ont recours au captage de l'eau du Complexe terminal accessible par des sondages artisanaux d'une centaine de mètres de profondeur.

C'est ainsi qu'on enregistre des baisses piézométriques annuelle de l'ordre de 1.0 à 1.5 m. Et que certaines zones proches des chotts (El Ouediane, El Guettar, Gabès-Nord et Gabès-Sud) affichent des accroissements notables en salinité de l'eau.

Les nappes phréatiques jouent un rôle secondaire dans le bilan hydrique de la zone du Sud de la Tunisie. En effet, les nappes phréatiques des oasis s'alimentent essentiellement par l'infiltration des eaux d'irrigation. Par contre, les nappes phréatiques du Sahara, s'alimentent sporadiquement par l'infiltration des eaux de ruissèlement descendant des monts du Sud tunisien. La contribution des eaux de ruissèlement à la recharge des nappes profondes est quasi négligeable.

#### 4.3.2 Les Nappes profondes

Les oasis tunisiennes connaissent une extension en superficie accompagnée d'une **mobilisation accrue et progressive des eaux** d'irrigation provenant des nappes profondes relativement non renouvelables. Dans les Gouvernorats cibles de cette étude, Actuellement, ces oasis sont irriguées principalement à partir des eaux de deux importantes nappes à ressources peu ou presque non renouvelables : la nappe du Complexe Terminal (CT) située entre 60 m et 500 m de profondeur et celle du complexe intercalaire (CI) située à plus de 2 000 m de profondeur, fortement artésienne et géothermale (70°C). La salinité varie d'environ 2,5 g/l pour les eaux de la nappe du CT et de l'ordre de 5 g/l pour celles du CI (Mamou, 1990).

Par ailleurs, certains exploitants de ces oasis ont recours à une réutilisation des eaux de drainage ou de la nappe phréatique par pompage en utilisant les énergies renouvelables de type solaire pour une irrigation complémentaire durant la période de forte demande en eau d'irrigation. Ces apports compensent les éventuels allongements du tour d'eau, les baisses de débit ou la diminution de la durée des irrigations. Ces stratégies sont principalement appliquées pour l'irrigation des extensions illicites qui se sont développées ces dernières décennies en bordure des oasis.

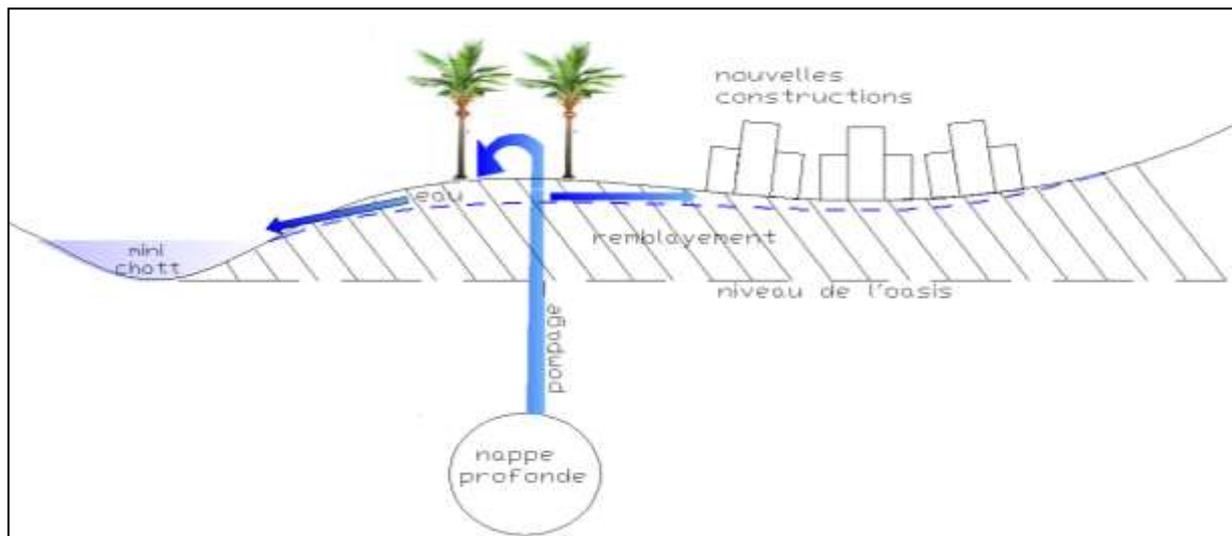


Figure 13. Cheminement de l'eau mobilisée des nappes profondes

Cette surexploitation se traduit non seulement par la dégradation de la qualité des eaux dans la zone d'étude, notamment dans les régions situées aux alentours des Chotts mais aussi par le rehaussement des coûts de l'exhaure dans les nappes dont le niveau piézométrique est en baisse continue. La situation est variable selon les régions, avec d'une part des régions où un potentiel mobilisable est encore disponible notamment les régions du Djérid, alors que d'autres sont en crise aigüe, au niveau des nappes peu renouvelables et notamment dans le gouvernorat de Kébili. Quoiqu'il en soit, l'alimentation actuelle des nappes profondes de la zone concernée est faible par rapport aux prélèvements actuels et prévus dans le futur et quel que soit les résultats d'études hydrologiques plus précises, celles-ci ne changent pas le caractère non renouvelable des ressources en eau du Sud.

Les quatre gouvernorats présentent des variabilités de réponse vis à vis le volume de prélèvement et de piézométrie qui enregistre une décompression continue. En effet, l'effet de la surexploitation se manifeste par la baisse de la charge artésienne des forages (1 à 1.5m/an) au niveau du sillon des chotts Djréréd et Fejjej et par conséquent la diminution graduelle des débits artésiens. Cette baisse chronique semble aller dans un sens critique inéluctable du plan d'eau dans les alentours des chotts par le renversement du sens d'écoulement.

La situation actuelle montre une forte pression exercée sur les nappes profondes dans les régions des oasis dans le Sud de la Tunisie. Ainsi la répartition géographique des forages dans la région est identifiée comme une **zone sensible** en termes de ressource en eau et de pression démographique. La région des chotts concentre les plus fortes densités de population, et constitue une unité géographique où la pression sur les ressources en eau est très forte.

Ainsi, le calcul du bilan hydrique permet de définir un modèle hydrique qui aide à définir des stratégies d'allocation d'eau d'irrigation selon le besoin de la plante.

Ce modèle prend en considération à la fois les variables spatiales et temporelles, de l'eau à la surface, les mouvements des eaux souterraines, le volume exploité, le volume d'eau d'irrigation, et leurs interactions avec le milieu ambiant. D'autre part, l'augmentation du nombre des paramètres de modèle conduit souvent à la complexité du calcul, qui accentue la difficulté d'analyser les résultats de des scénarios futurs.

#### 4.4 LES EAUX USEES TRAITEES

L'intérêt porté aux eaux usées traitées demeure à notre jour rudimentaire. En effet toutes les eaux usées traitées sont essentiellement d'origine urbaine. Par contre l'industrie phosphatée à Gabes (Groupe chimique) ou à Gafsa pour le lavage des phosphates brut n'est pas traitée et est rejetée directement dans les milieux récepteurs.

Les transformations économiques sont devenues un facteur de fragilisation du milieu naturel et de précarisation de la société locale. En effet, la croissance démographique est rapide, elle est passée à plus de 1 Million d'habitants en 2017 (ODS, 2017). Cette augmentation de la population s'est accompagnée d'une urbanisation accélérée. La population exerce de ce fait une pression de plus en plus forte sur un milieu naturel dont les ressources en eau s'avèrent d'autant plus insuffisantes que les modes de sa gestion sont peu efficaces.

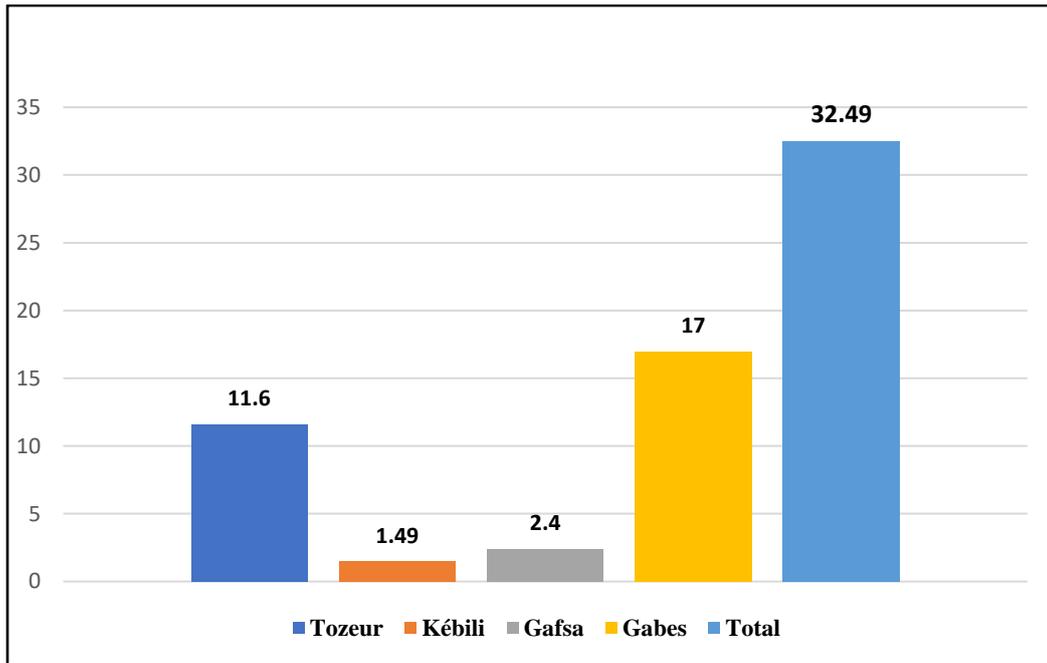


Figure 14. Ressources en eau non conventionnelle (Eau Usée Traitée) (Mm<sup>3</sup>/an) (Sources : ODS, 2017)

La consommation journalière en eau potable se situait en moyenne aux alentours de **400 l/hab./jour** (SONEDE, 2016), mais elle peut atteindre certains jours le volume impressionnant de 700 l/hab./jour. Ces eaux provenant des nappes profondes finissent par rejoindre le réseau d'assainissement et se termine dans les stations de traitement qui débitent un volume total annuel de **32.49Mm<sup>3</sup>/an**. L'exploitation de ces eaux est quasi nulle et le volume est rejeté dans le milieu naturel qui favorise son **évaporation**.

La zone des oasis ne compte actuellement que 10 STEP (4 à Gabès : 17Mm<sup>3</sup>, 2 à Kébili : 1.49Mm<sup>3</sup>/an à Tozeur : 11.6Mm<sup>3</sup>/an et 2 à Gafsa : 3.4Mm<sup>3</sup>. Soit un total de : 32.49Mm<sup>3</sup> = 89 013m<sup>3</sup>/j) dont le potentiel en EUT est de l'ordre de 1850 m<sup>3</sup>/an. Plusieurs cas d'oasis du Sud tunisien se prêtent à la réutilisation des EUT en irrigation. Cette application a été prise en compte dans l'élaboration des PDPO types à traiter en priorité dans le cadre de cette stratégie (cas de Zarat et d'el Guettar).

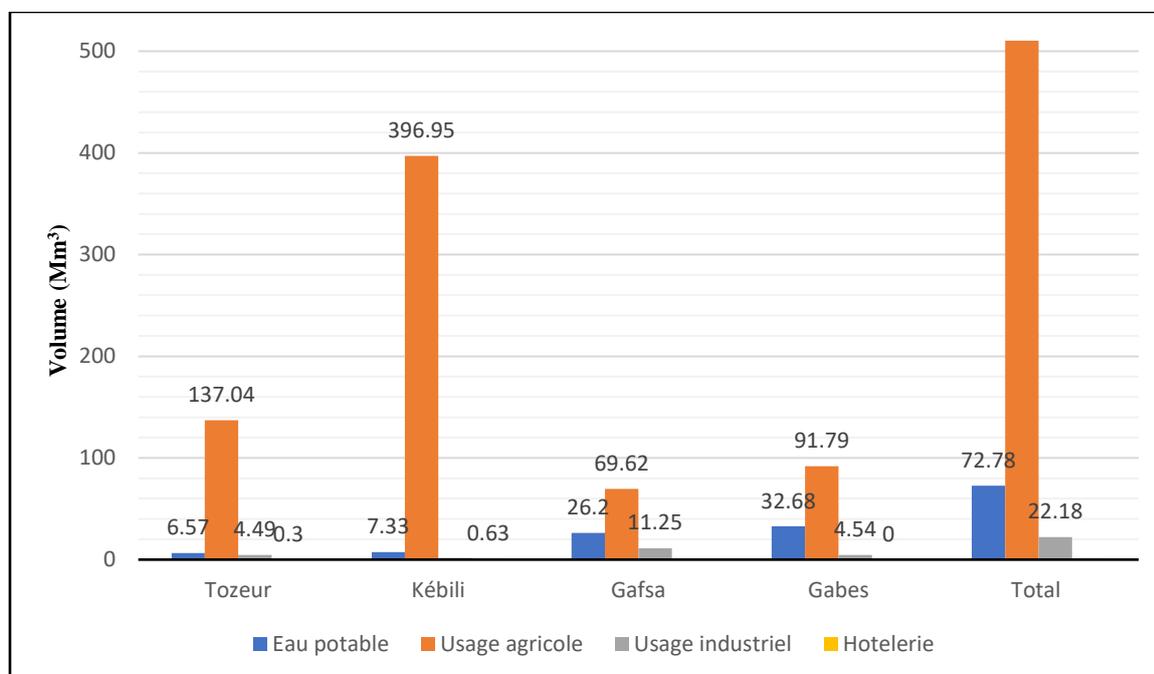
#### 4.5 AFFECTATION DES RESSOURCES EN EAU SUIVANT LES USAGES SECTORIELS

Les ressources en eau dans les gouvernorats oasiens de la Tunisie subissent une forte concurrence intersectorielle et intra sectorielle. Cette concurrence se traduit par des demandes sectorielles toujours croissantes. En effet, presque 80% des ressources sont valorisées par l'agriculture, l'eau domestique représente 3 % de la demande totale, alors que le tourisme et l'industrie ne représentent le reste de la demande totale.

La demande totale se situe dans la zone à 509,14Mm<sup>3</sup>/an. Des disparités régionales sont apparentes, les régions oasiennes de Kébili, Gafsa, Tozeur et de Gabès se distinguent avec des demandes respectives de 662.29, 107.07, 148.4 et de 129.02 Mm<sup>3</sup>/an à Gabes.

L'affectation des ressources mobilisées dans la région intéressée se caractérise par la prédominance de l'agriculture qui consomme aux environ **83 %** des ressources mobilisées, alors que les autres secteurs se partagent les **17 %** restants.

#### 4.5.1 Les usages de l'eau



**Figure 15.** Affection des ressources en eau suivant les usages sectoriels dans la zone SASS Tunisie (%) (Année 2015)  
Sources : DGRE

**Tableau 6.** Répartition de l'exploitation par usage

Grnt	Ressources Mm3	Exploitation Mm3	Répartition par usage			
			Agricole	Eau potable	Industriel	Tourisme
GAFSA	82,8	107,08	69,62	26,2	11,25	0
TOZEUR	174,3	148,4	137,04	6,57	4,49	0,3
KEBILI	238	406,82	396,95	7,33	1,9	0,63
GABES	156,5	129	91,76	32,68	4,54	0
TOTAL	651,6	791,3	814.29	72,78	22,18	0,93

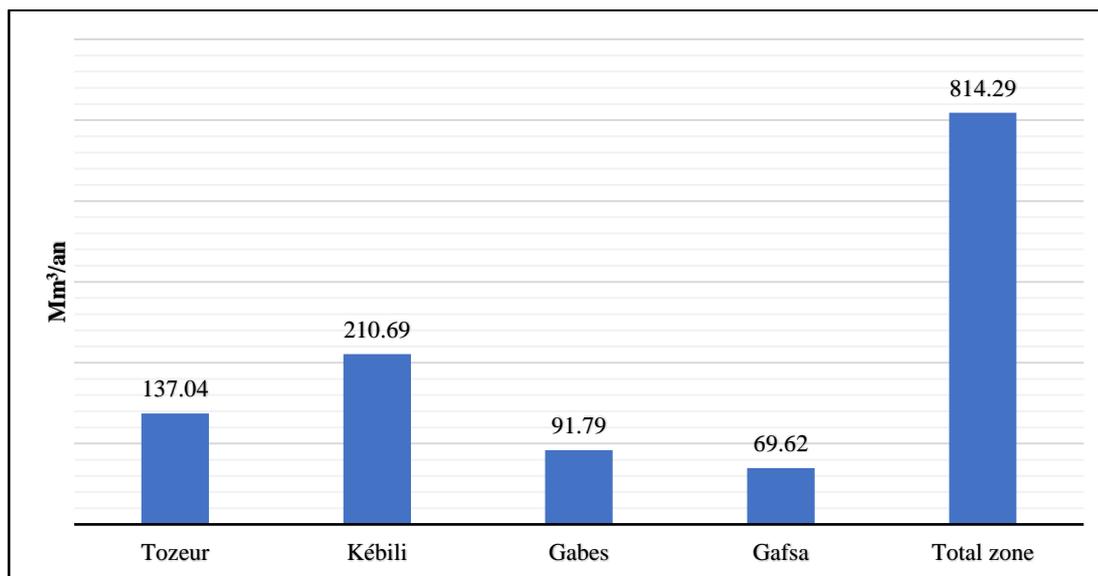
**Tableau 7.** Répartition annuelle de la consommation en eau par usage non agricole (103 m3)

Gouvernorat	Tozeur	Kebili	Gabes	Gafsa	Total
domestique	3808	6249	12226	8696	30979
Commerce	135	112	192	168	607
Administration	290	397	905	622	2214
Municipal	113	128	256	148	645
industrie	44	25	1781	88	1938
tourisme	57	28	36	15	136

divers	39	7	50	16	112
Totaux	4486	6946	15446	9753	36 631

#### 4.5.2 Usage Agricole

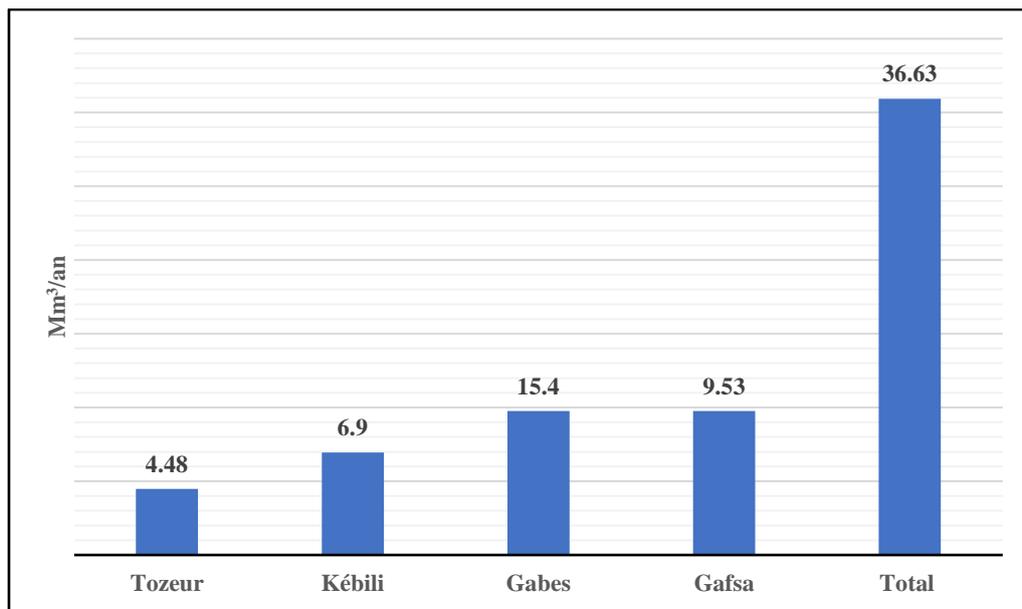
L'usage agricole se situe à 814.29Mm<sup>3</sup>/an dont 69.62 Mm<sup>3</sup>/an, 137.04 Mm<sup>3</sup>/an 91.79 Mm<sup>3</sup>/an, 136 Mm<sup>3</sup>/an, 91,79 Mm<sup>3</sup>/an et 210.69 Mm<sup>3</sup>/an sont exploités respectivement dans les régions de Gafsa, Tozeur, Gabès et Kébili. À signaler que Kébili exploite plus que 60% de total des ressources mobilisable.



**Figure 16.** Affectation des ressources en eau pour l'irrigation dans les gouvernorats oasiennes (Année 2016)

#### 4.5.3 Usage pour l'eau potable

Le secteur en eau potable (AEP) exploite **36.63Mm<sup>3</sup>/an**. Les régions les plus consommatrices sont celles de Gabès (15.4Mm<sup>3</sup>/an) et Gafsa (9.53Mm<sup>3</sup>/an). Les autres régions ont une consommation relativement faible avec 6,9 et 4.48 Mm<sup>3</sup>/an, respectivement à Kébili et Tozeur.



**Figure 17.** Affectation des ressources en eau pour l'alimentation en eau potable (AEP) dans les gouvernorats oasiens (Année 2016)

## 5 LES FLUX SORTANTS

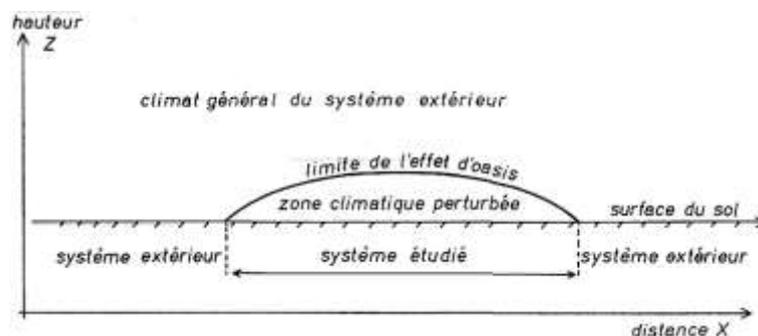
Toujours en rapport avec le modèle adopté du bilan hydrique nous décrivons ici les flux sortants. Il s'agit de l'évapotranspiration réelle, des eaux de drainage, et des eaux directes usées.

### 5.1 ÉVALUATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION

L'évapotranspiration est la quantité d'eau transférée vers l'atmosphère, par l'évaporation au niveau du sol et au niveau de l'interception des précipitations, et par la transpiration des plantes. Elle se définit par les transferts vers l'atmosphère de l'eau du sol, de l'eau interceptée par la canopée et des étendues d'eau. La transpiration se définit par les transferts d'eau dans la plante et les pertes de vapeur d'eau au niveau des stomates de ses feuilles.

L'évapotranspiration potentielle (ETp) est couramment opposée à l'évapotranspiration réelle (ETr). L'évapotranspiration réelle désigne la quantité exacte d'eau évapotranspirée par une couverture végétale réelle. À l'opposé, de l'évapotranspiration potentielle qui désigne la consommation potentielle en eau d'une couverture végétale. Elle est une valeur calculée par des formules mathématiques. Selon les auteurs et les méthodes de calcul employées, L'ETp a différentes définitions. Elle a été introduite par Thornthwaite en 1948, puis reprise par Howard Penman (1948). Ces deux notions ETr et ETp sont utiles et nécessaires pour étudier les bilans de circulation de l'eau et notamment pour déterminer les besoins en eau des cultures ou calculer l'effet oasis d'une zone où l'évapotranspiration est plus importante qui peut être aussi une zone urbaine. Les palmiers peuvent fortement réduire leur évapotranspiration quand elles manquent d'eau (Les plantes des zones pluvieuses au nord du pays ne le peuvent généralement pas).

On peut représenter schématiquement le phénomène de l'effet d'oasis de la manière suivante (Fig. 1). Si dans une zone plane et homogène, apparaît une hétérogénéité (caractéristiques du sol telles que conductibilité thermique, chaleur spécifique, humidité ou nature du couvert végétal, ETr différent, etc...), il se développe dans le sens de la circulation d'air une zone perturbée où les facteurs du milieu se trouvent modifiés par rapport au climat général du fait de l'hétérogénéité. L'effet d'oasis correspond donc à une intrusion du système extérieur sur le système étudié, non seulement par ses bords immédiats mais par l'ensemble de la limite de la zone perturbée.



Extrait de la publication « ÉVAPOTRANSPIRATION RÉELLE ET POTENTIELLE SIGNIFICATION CLIMATIQUE »  
R.J. BOUCHE T

## Les données MODIS

Modis désigne Le, ou Radiomètre spectral pour imagerie de résolution moyenne. C'est une série d'instruments d'observation scientifique lancé par la NASA à bord du satellite Terra en 1999, puis à bord du satellite Aqua ; deux satellites de l'EOS - *Earth Observing System*, un programme de la NASA destiné à l'observation à long terme des sols, biosphère, atmosphère et océans de la Terre.

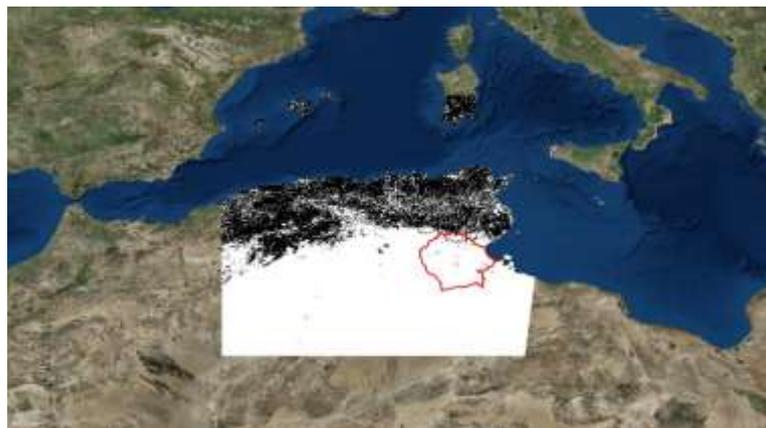
La NASA un produit dérivé de Modis, MOD16A2, pour le flux évapotranspiration / flux de chaleur latente. C'est un jeu de données composite de 8 jours produit à une résolution de 500 mètres. Chaque pixel correspond donc à une superficie de 25 Ha au sol. L'algorithme utilisé pour la collection des données MOD16 est basé sur la logique de l'équation de Penman-Monteith, qui inclut en entrée des données météorologique quotidiennes ainsi que des données télédéctées telles que la dynamique des propriétés de la végétation, l'albédo, et la couverture terrestre.

Le produit MOD16A2 contient des couches pour l'évapotranspiration composée (ET), le flux de chaleur latente (LE), le potentiel ET (PET) et le potentiel LE (PLE) ainsi qu'une couche de contrôle de la qualité. Deux images de basse résolution, ET et LE, sont également disponibles pour chaque granule de MOD16A2.

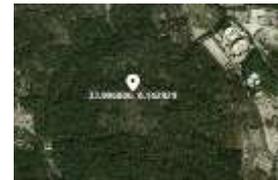
Les valeurs en pixels des deux couches d'évapotranspiration (ET et PET) sont la somme sur huit jours de la période composite et les valeurs en pixels des deux couches de chaleur latente (LE et PLE) sont la moyenne des huit jours de la période composite.

Nous pouvons ainsi disposer d'une archive depuis l'année 2001 jusqu'à présent.

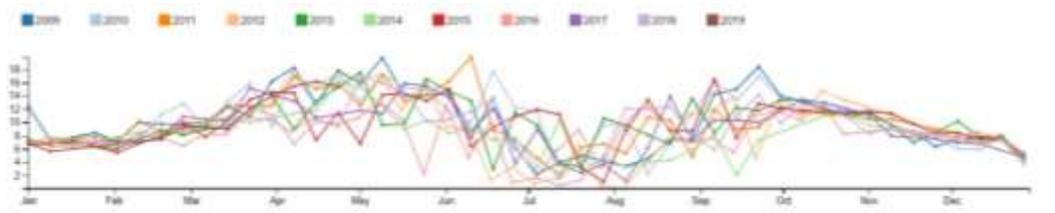
Les données sont disponibles entres autres sur les serveur de l'USGS à travers le site EarthExplorer. les données sont globales, découpées en tuiles couvrant environ 100 Degrés carrés (1 million de km<sup>2</sup>). Elles sont dans une projection sinusoidale sans rattachement géodésique, avec une couverture de 1200KmX1200Km. Elles sont au format HDFEOS, avec une taille moyenne de 7Mo. 46 granules couvrent la période d'une année.



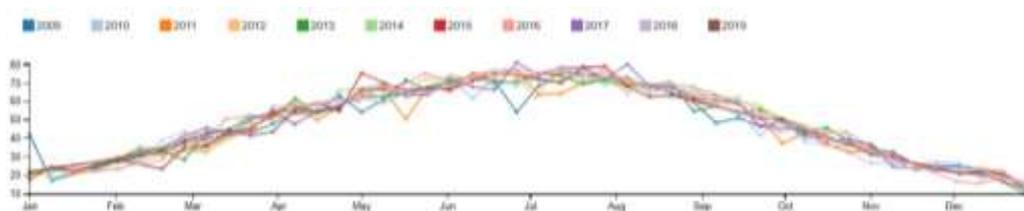
Ci après un échantillon de l'oasis de Jhim à Tozeur. nous avons cherché les enregistrements concernant l'évapotranspiration potentielle et réelle sur une décennie de du premier janvier 2009 jusqu'au 31 décembre 2018.



Evapotranspiration réelle en kg/m<sup>2</sup>/8jours à Jhim Tozeur

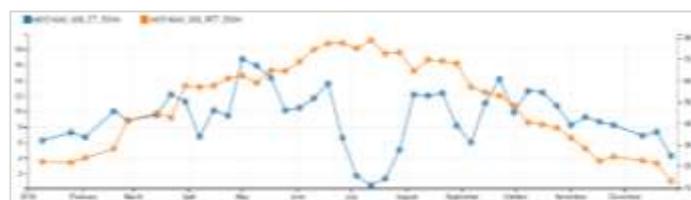


Evapotranspiration potentielle en kg/m<sup>2</sup>/8jours à Jhim Tozeur

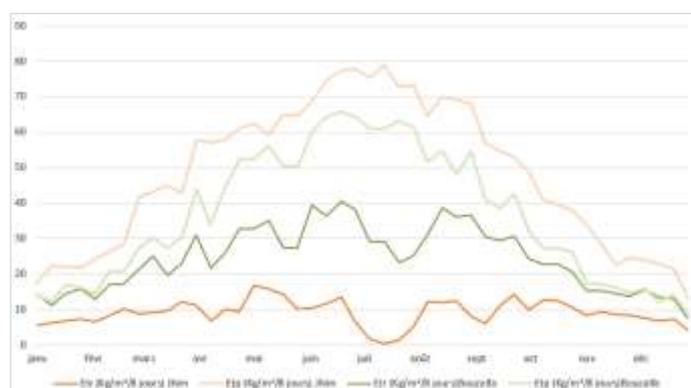


Nous pouvons constater que l'évapotranspiration réelle subie une baisse très importante périodique, chaque année vers le mois de juillet, la période la plus chaude. Cela ne correspond à priori pas à une variabilité dans le taux d'irrigation, car il est plus ou moins constant tout au long de l'année. Il s'agit là d'une réaction naturelle du le palmier qui arrête de transpirer en réponse au stress de la chaleur qu'i subit pour préserver l'eau qu'il reçoit.

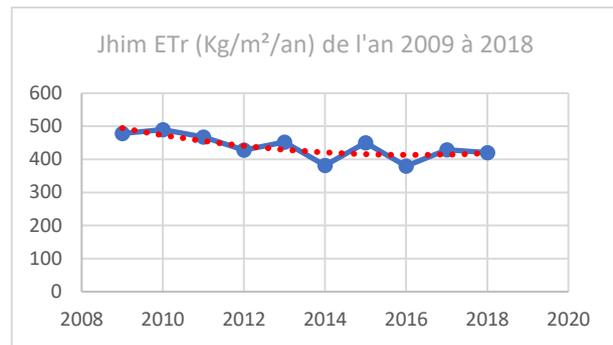
les courbes de l'évapotranspiration réelle et potentielle ont la même tendance en hivers avec des pics opposés en été. au mois de juillet, nous observons une dépression pour l'ETr et un pic pour l'ETp.



Notons toutes fois que l'évapotranspiration réelle est bien inférieure à l'évapotranspiration potentielle. Cet écart est moins accentué pour un paysage différent, ici nous avons pris comme référence un verger d'agrumes dans la zone de MenzelBouzelfa/Nabeul la différence est moins importante dans cette région mieux nanties (en eau bien entendu).



Nous pouvons aussi constater sur les dix dernière années une tendance à la baisse sur l'évapotranspiration réelle annuelle.



Nous ne cherchons pas ici les causes de cet effet, nous voulons seulement nous assurer de la cohérence des données d'évapotranspiration Modis.

Le travail mené ici pour estimer l'évapotranspiration des oasis des gouvernorats concernées a consisté à rassembler les données Modis de l'évapotranspiration réelle cumulée sur 8 pour l'année 2018. Les données dans la zone désertique ne couvrent pas totalement les oasis (l'effet oasis).

Quelques échantillons à une même échelle dans la region désertique



*Aucune couverture à Ksar Ghilane*



*Un point unique à R'jim Maatoug*



*Une série de point dans l'axe de la palmeraie d'Ibn Chabbat*



D'autres échantillons de palmeraies plus étendues



*Un extrait de la couverture Modis sur l'oasis de Teboulbou Gabes*



*Un autre extrait de l'oasis de Tozeur*

Pour le calcul de l'évapotranspiration annuelle des oasis, nous avons calculé une moyenne locale par zone que nous avons affecté à chaque zone pour ainsi aboutir à l'évapotranspiration annuelle des oasis par gouvernorat.

Pour les unités l'évapotranspiration est exprimée en Kg/m²/an, nous l'avons transformé en m³/Ha/an pour enfin obtenir l'évapotranspiration de nos zones d'intérêts en millions de m³ (Mm³).

	Kébili	Tozeur	Gafsa	Gabes	L'ensemble de la zone
ETr Mm <sup>3</sup>	80.84	26.07	9.55	15.18	131.64

## 5.2 LES EAUX DE DRAINAGE (PROBLEMES SPECIFIQUES AUX OASIS)

Les eaux de drainage sont des eaux excédentaires dans le sol, évacuées par gravité (drainage naturel) ou au moyen de drains ou de fossés. Il en résulte des conditions plus favorables à la croissance racinaire et à l'alimentation des plantes. Ainsi, l'infiltration de l'eau d'irrigation sera plus facile lorsque l'excès d'eau est évacué.

Le drainage contribue efficacement à la diminution de la salinité des sols et à éviter l'hydromorphie des terres agricoles irriguées. Le savoir-faire ancestral d'irrigation des oasis montre que les drains sous forme des fossés à ciel ouvert de profondeur de 1.5 à 2m avec un écartement de 150 à 200m est le plus adéquat et suffisant pour drainer l'excès d'eau d'irrigation. D'autre part, les besoins en eau de palmier varient en fonction du stade de croissance et de l'activité physiologique. Étant donné le volume écoulé dans les exutoires des drains est difficile à suivre. Cette difficulté résulte de la difficulté d'accès aux chotts comme exutoire principal des eaux des drains. Or, selon une étude menée par le Le **Cirad** (Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement) en 2006 sur le « Fonctionnement du drainage au sein d'une oasis modernisée du sud tunisien. Cas de l'oasis de Fatnassa Nord à Kébili, Tunisie ». Cette étude menée dans le cadre du projet SIRMA : Économie en eau dans les Systèmes IRrigués au MAgreb (SIRMA) a montré que le volume d'eau drainé est fonction des volumes d'eau utilisé pour l'irrigation. Ce rapport oscille entre **23.2 %** et **10.7%** (Source : <http://hal.cirad.fr/cirad-00271003>). Par conséquent, selon la diversité de la pente des canaux de drainage et la nature lithologique des sols des régions oasiennes, un rapport moyen de **20%** s'avère adéquat pour l'estimation du volume drainé des oasis.

Gouvernorat	Superficie irriguée	Irrigation (Mm <sup>3</sup> )	Taux d'irrigati° (m <sup>3</sup> /ha/an)	Drainage (Mm <sup>3</sup> )
<b>Gafsa</b>	4 324	76.18	17 617	15.236
<b>Gabes</b>	7 262	91.88	12 652	18.376
<b>Tozeur</b>	11 542	140.44	12 167	28.088
<b>Kébili</b>	37 759	408.17	10 809	81.634
<b>Total</b>	<b>60 887</b>	<b>716.68</b>	<b>Moy : 11 770</b>	<b>143.334</b>

Le taux d'irrigation des oasis est de l'ordre de 11 770m<sup>3</sup>/ha/an. Ce taux présente des particularités pour la région de Gafsa. En effet, l'agriculture des 3 étages et le développement des cultures fourragères dans les anciennes oasis de Gafsa et de Gabes, favorise le sur irrigation

**Le drainage de l'eau (D)** se situe au-dessous du plancher racinaire. Selon les caractéristiques hydrologiques du site auquel on s'intéresse, ce flux alimente nappes phréatiques et les plans d'eau comme les sebkhas et les chotts.

Ainsi, Parmi les précautions à prendre quand on irrigue est la surveillance de la nappe phréatique. Dans les oasis du Sud tunisien un drainage profond est indispensable pour assurer une production végétale convenable. La proximité de la nappe provoque en effet à la fois une asphyxie des plantes et une forte salure de surface due à la remontée capillaire. La profondeur du drainage varie pour chaque espèce végétale. Elle varie aussi en fonction des caractéristiques physiques et chimiques du sol. Elle doit être déterminée soigneusement dans chaque cas particulier.

L'aménagement hydraulique des oasis consiste en la création des points d'eau (forages), l'installation du réseau d'irrigation (avec canalisation et répartiteurs) et la mise en place d'un réseau de drainage permettant de récupérer l'excédent en eau d'irrigation dans le sous-sol afin d'éviter la remontée du niveau statique de la nappe phréatique et l'asphyxie des racines des cultures.

Vu l'importance des quantités d'eau employées pour l'irrigation des palmeraies (près de  $16.4\text{m}^3/\text{s}$ , ou **509.13 Mm<sup>3</sup>/an**), le volume d'eau de drainage total de toutes les oasis qui devait être évacué vers l'extérieur de chaque oasis est estimé à **20%** du volume total d'irrigation, représenterait ainsi près de **3.3 m<sup>3</sup>/s (102 Mm<sup>3</sup>/an)**. Ce volume subit des fluctuations en fonction des conditions climatiques (ETP et pluies), du volume fourni à l'oasis et de l'efficacité du réseau de drainage (**perméabilité et pente**).

Le drainage des eaux d'irrigation tributaire de la dose d'irrigation fournie, devait être spécifiquement à volume élevé en période estivale allant de mai à septembre et réduite le reste de l'année. Durant ces mois d'été caractérisés par un important volume d'eau fourni à la parcelle, on devait s'attendre à l'augmentation du débit recueilli dans les drains. Mais cette période est également celle de l'augmentation des pertes par évapotranspiration. C'est pour cette raison que le suivi du volume drainé est nécessaire pour s'assurer de la variation de son régime. En réalité, les lacunes d'observation dues principalement aux arrêts fréquents du pompage des forages pour l'irrigation, perturbent l'analyse des données du drainage.

Ainsi, le volume de drainage estimé dans toutes les oasis du Gouvernorat de Kébili toute seule, est estimé à **39.25Mm<sup>3</sup>/an (1 244l/s)**.

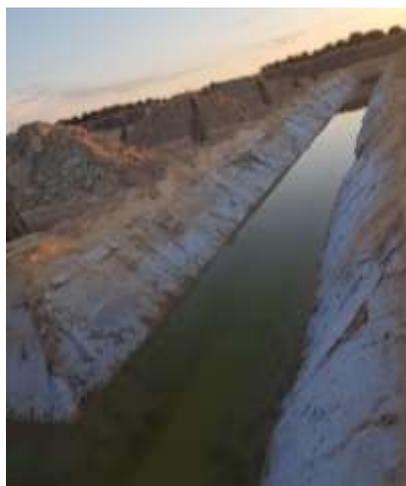


Figure 18. Canal d'évacuation d'eau de drainage (Kébili Sud, avril 2019)

La consommation en eau d'irrigation (à partir des aquifères profonds) dans les 4 gouvernorats où se situent les oasis du Sud tunisien, est estimée en 2016 à de **791,3 Mm<sup>3</sup>/an**. En estimant la part de cette eau qui aboutit aux drains après irrigation, à près de **20%**, on peut considérer qu'un volume de près de **158 Mm<sup>3</sup>/an** est un potentiel exploitable à partir des eaux de drainage. Toutefois, les conditions locales de mobilisation de ces eaux sont à examiner.

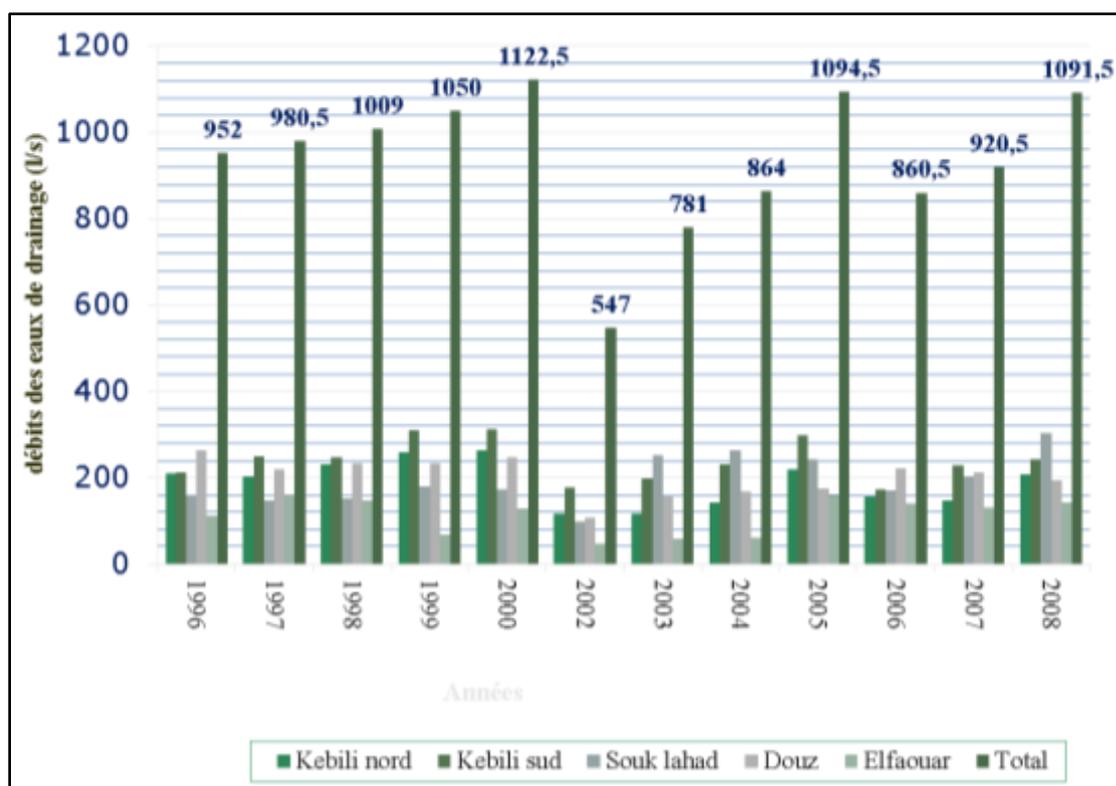


Figure 19. Évolution du débit des drains dans le gouvernorat de Kébili (Source : CRDA Kébili)



## 6 LE BILAN HYDRIQUE

Le bilan hydrique des oasis des gouvernorats de Kébili, Tozeur, Gafsa et Gabes, est la différence entre les flux entrants et les flux sortants des oasis pour l'année 2017. Le modèle adopté tient compte des de la précipitation des prélèvements des nappes profondes des prélèvements des nappes phréatique des eaux directes et des eaux usées traitées. En sortie nous estimons l'évapotranspiration, les eaux de drainage et les eaux d'assainissement. Rappelons ci-dessous le modèle adopté pour l'établissement du bilan hydrique des oasis.

$$R = P + (Pro + Phr)(1-Td) - ETr + Ed - Ass (1- Tr)$$

Où

*R* : désigne la ressource en eau utilisée pour la période considérée

*P* : désigne la Précipitation

*Pro* : Volume mobilisé des Nappes profondes

*Phr* : Volume mobilisé des Nappes phréatiques

*Td* : Taux de drainage

*ETr* : Évapotranspiration réelle

*Ed* : les eaux directes ; eau potable, eau industrielle et eau touristique

*Ass* : Volumes des eau usées

*Tr* : taux de recyclage des eaux usées

		Kébili	Tozeur	Gafsa	Gabes	L'ensemble de la zone
Volume des précipitations	P	37.12	17.89	7.35	15.61	77.97
Volume mobilisé des Nappes profondes	Pro	408.17	140.44	76.18	91.88	716.67
Volume mobilisé des Nappe phréatique	Phr	0.37	41.21	52.25	24.70	118.53
Volume des eaux directes	Ed	10.10	15.74	44.50	31.77	102.11
Total des flux entrants		455.76	455.76	215.28	180.28	163.96
Volume de L'évapotranspiration	ETr	80.84	26.07	9.55	15.18	131.64
Volumes des eaux d'assainissement	Ass	1.49	11.60	2.40	17.00	32.49
Volume des eaux de drainage		81.63	28.09	15.24	18.38	143.33
Total des flux sortants		82.33	163.96	65.76	27.19	50.56
<b>Volumes des eaux utiles pour l'année de référence (2017)</b>	<b>R</b>	<b>291.80</b>	<b>149.52</b>	<b>153.09</b>	<b>113.40</b>	<b>707.82</b>

## 6.1 BILAN POSITIF ?

Le bilan des oasis des gouvernorats de Kébili, Tozeur, Gafsa et Gabes ainsi établi et décrit ci-dessus est positif. Mais ce résultat reste contestable, car considérer que les apports provenant des nappes souterraines profondes fossiles sont comparables aux apports des précipitations qui devraient être normalement la base d'un bilan hydrique ou même des nappes phréatiques est très discutable. Dans la conscience collective un amalgame est fait entre ressources en eau et réserve, surtout pour notre cas. il n'y pas ou peu de différence.

Le terme ressource en eau peut-il englober l'eau des nappes souterraines profondes ?

- *La Ressource en eau désigne la quantité d'eau dont dispose, ou peut disposer, un utilisateur ou un ensemble d'utilisateurs pour couvrir ses besoins.*<sup>5</sup>
- *La ressource hydrique, ou ressource en eau, comprend, au sens large, toutes les eaux accessibles comme ressources, c'est-à-dire utiles et disponibles pour l'Homme, les végétaux qu'il cultive, le bétail qu'il élève et les écosystèmes, à différents points du cycle de l'eau.*<sup>6</sup>

D'après ces deux définitions générales, les eaux souterraines profondes sont des ressources. D'un autre côté le mot ressource, Etymologiquement, vient du latin *resurgere* « se relever », « se rétablir, se ranimer », « ressusciter ». <sup>7</sup> Ce qui laisserai croire que cette eau peu ressusciter ou se renouveler. De ce point de vue il n'est pas judicieux de confondre ces deux eaux car elles ne font pas partie du même cycle. Si les eaux de surface s'évaporent, se condensent et précipitent pour encore s'évaporer... ont un cycle sur une échelle de durée de l'ordre de quelques jours à quelques années (ou à la limite même à quelques millénaires). Les eaux fossiles, de l'albien par exemple, ont un âge d'environ 100 millions d'années et une durée de renouvellement de 70.000 ans environ (un taux de renouvellement autour de  $10^{-5}$  ; avec un flux moyen annuel de recharge naturelle de  $0,296 \times 10^9$  m<sup>3</sup> /an)<sup>8</sup>. Une toute autre échelle du temps. A notre échelle et à la cadence à laquelle évolue l'exploitation minière de cette eau, il est illusoire de penser que cette eau se renouvelle.

---

<sup>5</sup> [https://www.dictionnaire-environnement.com/ressource\\_en\\_eau\\_ID1607.html](https://www.dictionnaire-environnement.com/ressource_en_eau_ID1607.html)

<sup>6</sup> [https://fr.wikipedia.org/wiki/Ressource\\_hydrique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Ressource_hydrique)

<sup>7</sup> <https://www.cnrtl.fr/etymologie/ressources>

<sup>8</sup> RECHARGE ET PALEORECHARGE DU SYSTEME AQUIFERE DU SAHARA SEPTENTRIONAL ; Mohamedou OULD BABA SY, 2005

Si nous ne pouvons pas considérer les eaux souterraines profondes fossiles comme étant des apports, sont-elles alors des pertes ? Des pertes d'un système oasien qui était en équilibre avec ses réserves en eau souterraine ? dans un tel cas de figure notre bilan deviendrait négatif.

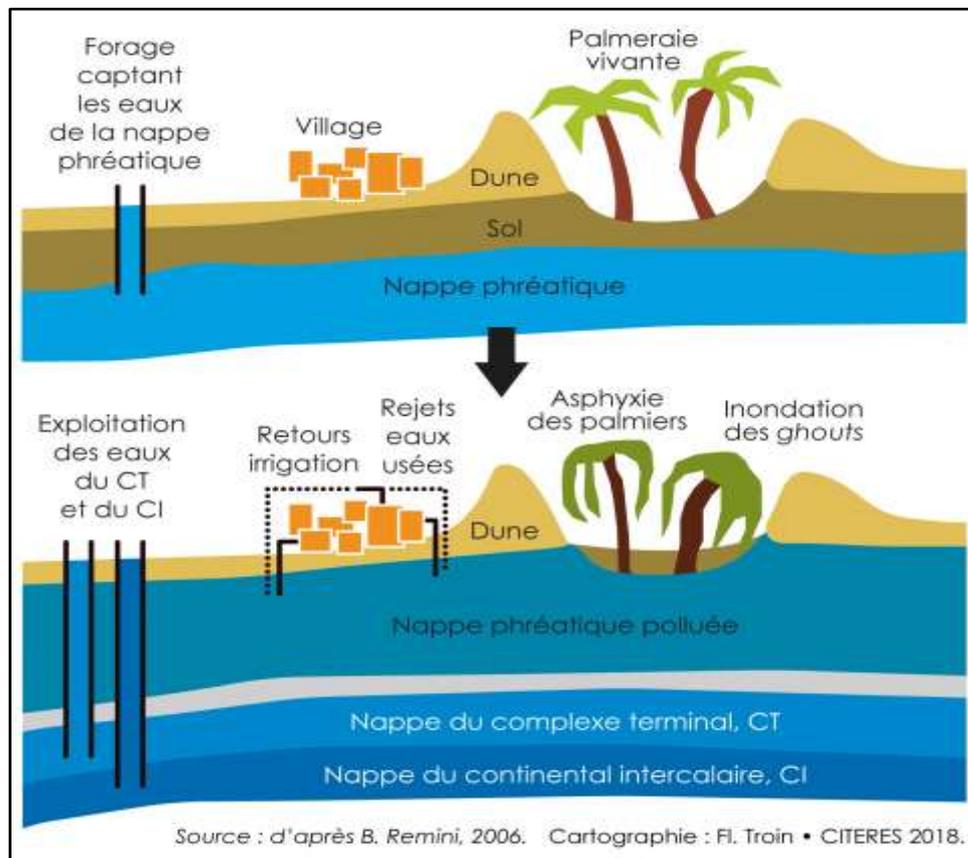


Figure 20. Modèle conceptuel de cycle de l'eau dans une oasis type

Généralement, les eaux des précipitations sont les principaux moteurs de l'alimentation en eau pour la recharge du system hydraulique. Or, la fraction de ruissellement des précipitations n'a, à peine ou presque, d'influence sur le modèle du bilan hydrique comme a été précisé dans la section précipitation, car les précipitations agrégées sont négligeables dans cette région aride.

La qualité de l'eau est également exclue en raison du caractère de l'impact insignifiant sur l'équilibre du bilan de l'eau.

Ceci peut être affecté principalement par l'évapotranspiration, les percolations des eaux de drainage des zones irriguées, (ii) la Distribution des eaux de ruissellement entre les différentes composantes des eaux de ruissellement (écoulement terrestre, intercirculation, écoulement de base). Cela peut être influencé par infiltration et captage d'eau d'irrigation des eaux souterraines.

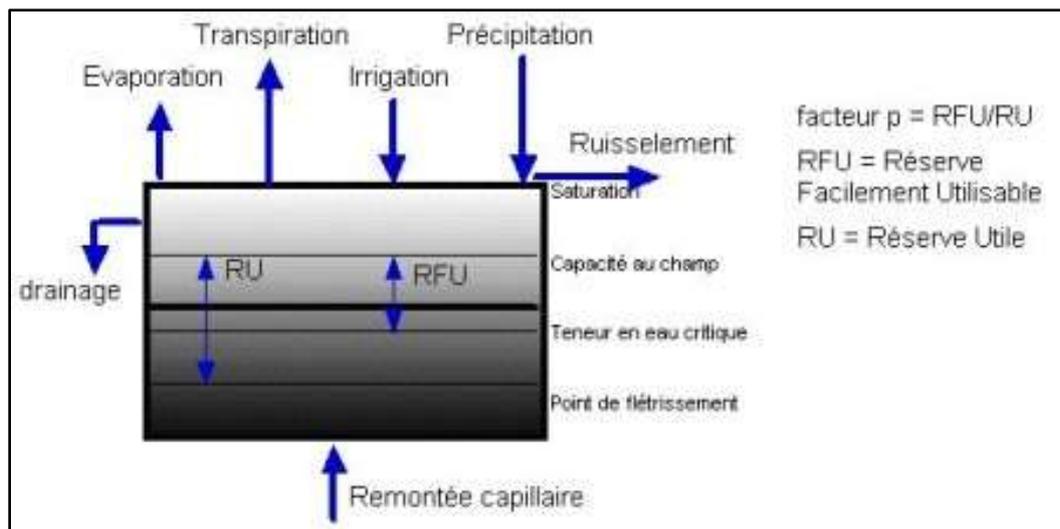


Figure 21. Présentation schématique du bilan hydrique

Une partie de l'eau de pluie ou d'irrigation qui atteint la surface du sol au cours d'une période donnée de temps s'infiltré dans le sol, une autre s'accumule temporairement en surface ou ruisselle le long de la pente. Une partie de l'eau infiltrée alimente la réserve utile, une autre s'évapore directement de la surface du sol, une autre est transpirée par les plantes et rejetée vers l'atmosphère, une autre percole au-delà de la profondeur considérée.

Les cuvettes des Chotts (Gharsa, Djérid et Fejje) fonctionnent par l'intermédiaire de la nappe phréatique comme un système hydrologique concentrateur de sels avec un déséquilibre entre le volume d'eau apporté et celui évacué.

Les ressources mobilisables disponibles sont celles affectées aux zones des oasis par un développement durable. Ces valeurs de RM, sont celles estimées par les études hydrogéologiques antérieures et validées par des simulations mathématiques.

Ainsi, pour l'année de référence 2016, le volume total destiné à l'usage agricole qui est de **509.14Mm<sup>3</sup>** pour l'an 2016, le volume estimé des drains est ainsi de l'ordre de **101.8 Mm<sup>3</sup>**.

- ✓ RM est au total de 651,6Mm<sup>3</sup>
- ✓ IRR est de **814.29Mm<sup>3</sup>**
- ✓ DP est alors de l'ordre de **162.8Mm<sup>3</sup>**
- ✓ Pour la précipitation **P**, l'apport est défini comme négligeable dans le contexte climatique de la zone des oasis à savoir aride.
- ✓ EUT, ce volume correspond à la production des stations de traitement des eaux usées traitées et qui est évalué à **32,49Mm<sup>3</sup>/an**
- ✓ Le volume d'eau destiné à l'usage domestique (WC), qui est évalué à **36.63Mm<sup>3</sup>**.

De ce fait, le Bilan hydrique dans la zone du Sud de la Tunisie caractérisé par la culture des palmiers dattier est de :

846.89Mm<sup>3</sup> - (36.63+814.29) - ETP

Ainsi, le bilan est négatif de **4.03Mm<sup>3</sup>** pour l'année 2016 sans compter les pertes par évapotranspiration.

Les besoins futurs en eau d'irrigation sont estimés à partir du bilan hydrique actuel et selon des hypothèses de l'évolution des superficies oasiennes irriguées et des besoins unitaires annuelles (exprimés en **m<sup>3</sup>/ha/an** ou en **mm/ha/an**). Les hypothèses en termes de besoins unitaires en eau d'irrigation ont été définies à partir des résultats des enquêtes techniques socioéconomiques des différents projets antérieurs. En effet, la fourchette des besoins unitaires en eau d'irrigation varie entre 5000 m<sup>3</sup> /ha/an et 18 000 m<sup>3</sup> /ha/an, selon le type de l'oasis. Ce modèle permet de **comprendre**, de **prévoir** et d'**intervenir**.

Une évaluation du bilan hydrique pourrait ultérieurement être réalisée pour chaque Oasis.

Ce **bilan** est difficile à établir avec précision compte tenu de l'indisponibilité des données récentes et leurs irrégularités. Cependant il apparaît que l'apport sous forme d'eau de drainage et d'eaux usées urbaines (DP et EUT) ainsi que les transferts, sont tellement puissants et continus dans le temps que le niveau s'élève et fini par être proche de la surface du sol menaçant agriculture et environnement.

Estimation des changements du stockage d'eau souterraine par la technologie spatiale

À l'échelle régionale, les données obtenues par la mission spatiale Global Recovery And Climate Experiment (GRACE) concernent les variations spatiotemporelles du **stock d'eau total verticalement intégré** (Total Water Storage) (TWS) sous toutes ses formes : eau de surface, humidité des sols, eaux souterraines Ces variations sont exprimées en hauteur d'eau équivalente déduites des hauteurs de géoïde sous l'hypothèse de redistribution des masses superficielles (Rodell et al., 2007). D'autre part, (Rodell et al., 2007), (Famiglietti, 2002), (Yeh et al., 2006), (Rodell et al., 2007, 2009), (Strassburg et al., 2007), (Tiwari et al., 2009), (Famiglietti et al., 2011b), et d'autres auteurs ont tous démontrés que les résultats sont exprimés en hauteur d'eau équivalente déduites des hauteurs de géoïde sous l'hypothèse de redistribution des masses superficielles.

**NOTE.** Le volume total de l'eau, peut être défini par la formule suivante :

$$VTE = HEE \times S \quad \text{Où :}$$

VTE : Volume total de l'eau (Mm<sup>3</sup>)

HEE : Hauteur d'eau équivalente (cm)

S : Superficie de la zone (Km<sup>2</sup>)

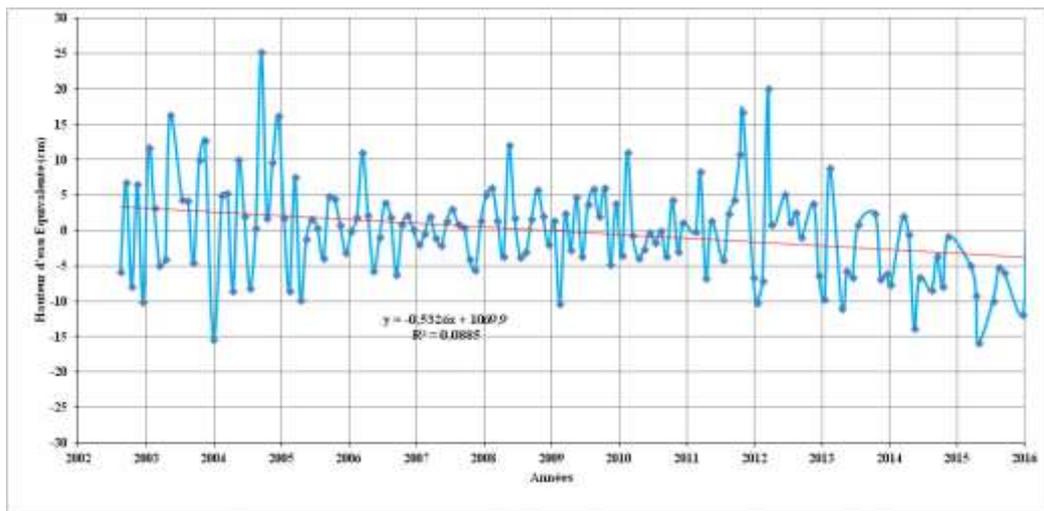


Figure 22. Évolution annuelle de de la hauteur d'eau équivalente dans la région du Sud Tunisien

La figure 26, illustre les anomalies gravitationnelles enregistrées dans la totalité de la zone du SASS Tunisie. Ces anomalies sont transformées en hauteur d'eau équivalente mesurées en centimètre. En effet, l'évolution temporelle de la hauteur d'eau équivalente, dans la zone d'étude, présente une baisse moyenne continue de l'ordre de **0.31 cm/an**. Cette baisse moyenne est calculée entre 2002 et 2015. Cette baisse est devenue relativement importante durant la dernière décennie. Cette perte de la hauteur d'eau est variable d'une région à une autre en fonction de son degré d'exploitation.

Ainsi les résultats de cette variation du Stock d'eau par gouvernorat sont :

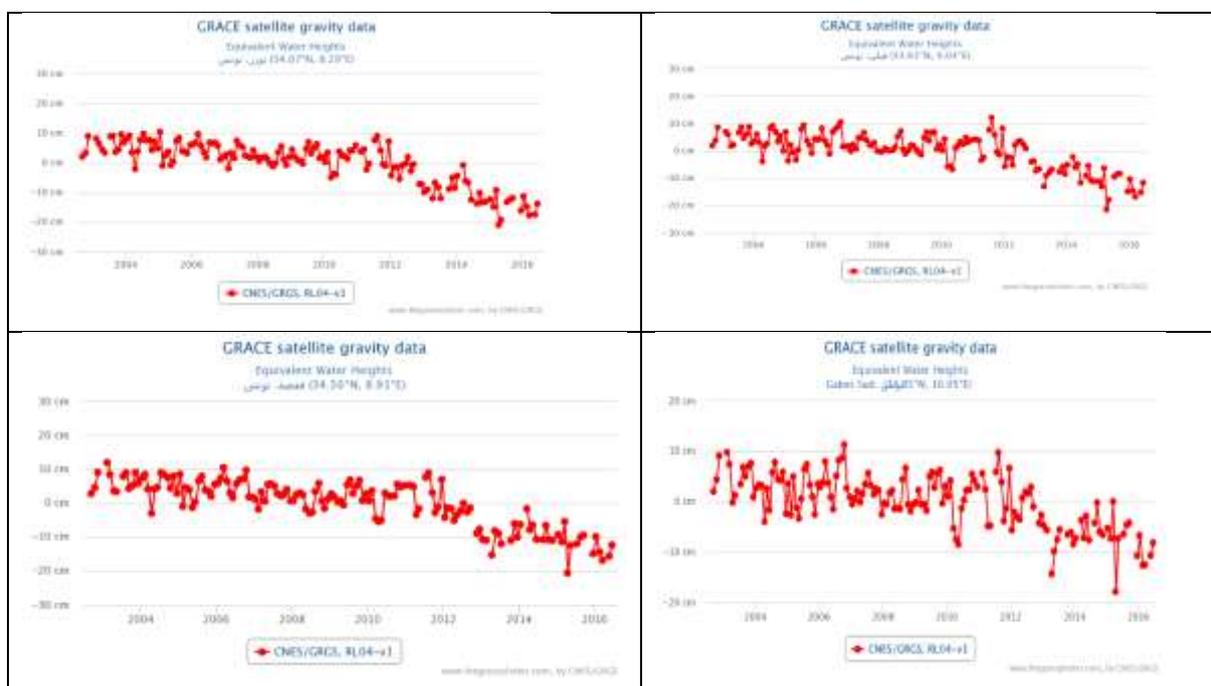


Figure 23. Évolution annuelle de de la hauteur d'eau équivalente par gouvernorat

## 7 PROJECTION, RISQUES ET RECOMMANDATIONS

### 7.1 ÉTAT DES NAPPES PROFONDES

#### 7.1.1 Géochimie des solutions salines

Les analyses chimiques effectuées au niveau de la cuvette des (**oasis et chott**) indiquent que toutes les eaux et les solutions du sol sont salées à très salées avec une conductivité électrique qui varie de 1,97 à 195,7 dS.m<sup>-1</sup>. Le diagramme de Piper montre un seul nuage de points, ce qui suggère une seule famille géochimique même si le faciès chimique varie de façon notable. Le faciès des eaux les moins concentrées (CI, CT) est sulfaté-sodique/calcique ou chloruré-sodique /calcique puis chloruré-sodique/magnésien pour les échantillons les plus concentrés (solutions du sol et nappe phréatique) avec un rapport Cl/SO<sub>4</sub> >5. Les eaux de nappe phréatique ont une salinité supérieure à 32,27 dS.m<sup>-1</sup> avec un faciès chimique chloruré-sulfaté (Zohra K., *et al.*, 2013). Ainsi donc la non maîtrise de la ressource **hydrique** s'est traduite par une remontée de la nappe qui a induit à son tour par évaporation une salinisation des sols dans l'ensemble de l'écosystème oasien

#### 7.1.2 Piézométrie des nappes profondes

La piézométrie des nappes profondes et phréatiques est régulièrement suivie dans le Sud tunisien. Elle a commencé à être bien analysée depuis 1962. Placée dans son contexte régional, la région des Chotts constitue, dans le Sud tunisien, l'exutoire de la nappe du Complexe Termina et Continental Intercalaire, avec un écoulement de l'Extrême-Sud tunisien, vers le centre du Chott Djérid.

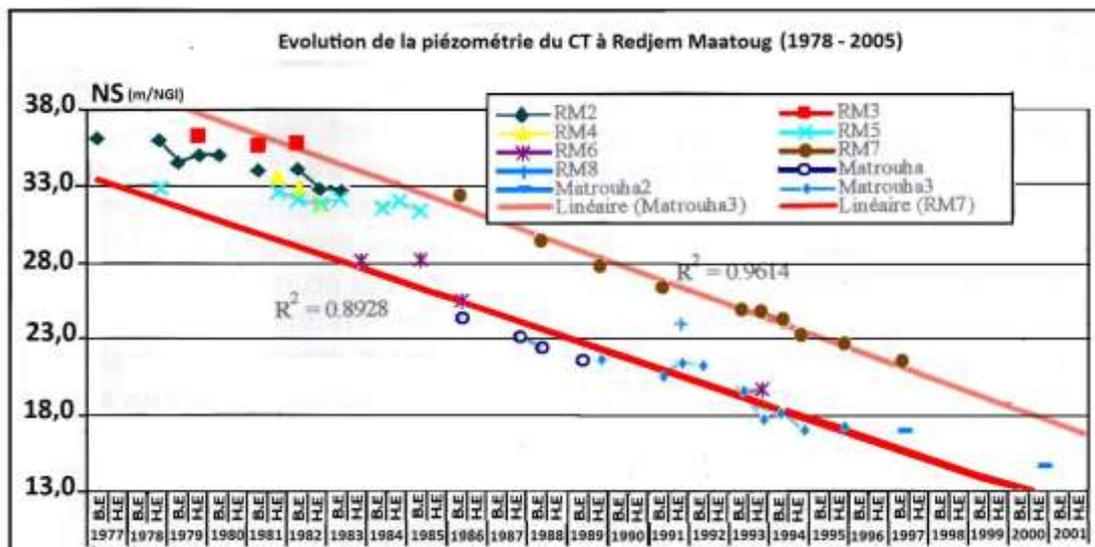


Figure 24. Evolution de la piézométrie du CT à Redjem Maatoug (1987-2005)

A titre indicatif, le dernier bastion d'une nappe captive jaillissante et celle Rjim Maatoug, dont la mobilisation de ses ressources en eau est basée dès son début sur une optimisation. Cette nappe présente une baisse piézométrique entre 1977 et 2016 (39 ans) est de l'ordre de 35 m ; ce qui fait un rabattement moyen de l'ordre de **0.9 m/an**. Cette baisse s'est particulièrement

accentuée à partir de 1995, suite à l'augmentation de l'exploitation dans l'ensemble de la région oasiennes (Kébili et Tozeur). Elle est actuellement de l'ordre de 1 m/an. Les simulations de son évolution durant les années à venir, laissent envisager des rabattements de l'ordre de 1.5 m/an (A. Aïssa, 2005). Le suivi piézométrique des nappes du Sud de Tunisie du Djérid a intéressé seulement la nappe du CT. Le suivi effectué de 2000 à 2014, montre une baisse annuelle continue de l'ordre de **1m/an**. On constate des oscillations inter saisonnières des niveaux statique de la nappe en relation avec les précipitations et l'infiltration dans les sables Mio-Pliocène.

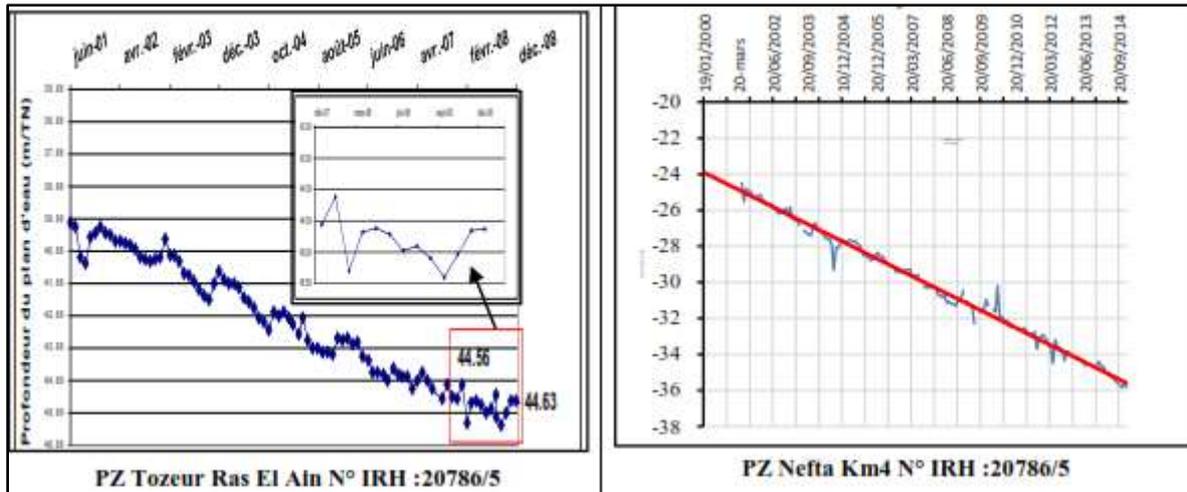
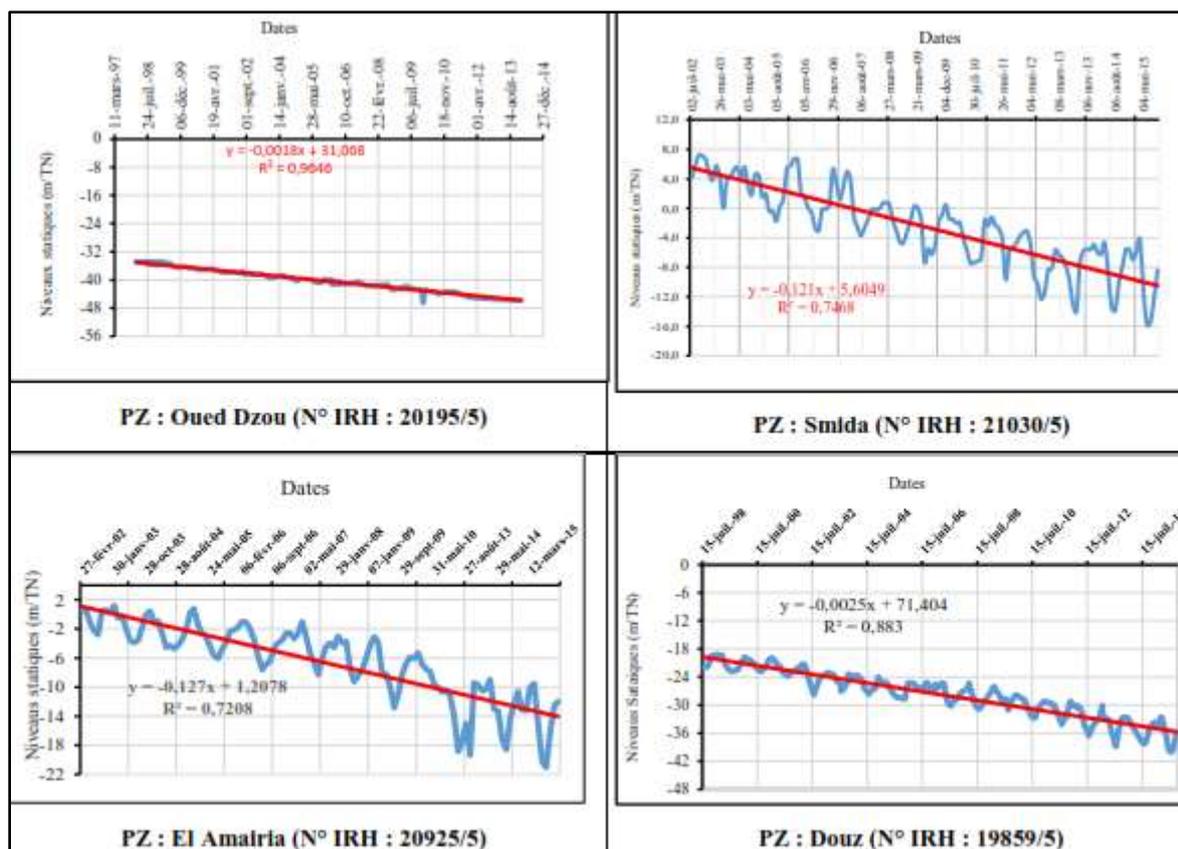


Figure 25.Évolution du Niveau statique de la nappe du CT au niveau du Djérid Tozeur

Les ressources de ces aquifères sont largement exploitées et le système aquifère est de plus en plus sollicitée. Ceci a pour effet la disparition de l'artésianisme. Avec une tendance vers la baisse continue et régulière de **0.3 m/an** dans la zone amont (plateforme saharienne) et de 1 à

**1.5m/an** dans la partie avale (Djérid), qui dépend étroitement de l'exploitation.



## 7.2 RECOMMANDATIONS

Le principal défi pour les zones oasiennes est de réduire la surexploitation des nappes profondes. De ce fait et à titre d'urgence les actions à entreprendre sont :

- Mettre à profit les nouvelles technologies par le suivi en temps réel des paramètres du bilan hydrique comme le volume mensuels des drains, l'exploitation des eaux souterraines, le suivi piézométrique etc...afin d'assurer la mise en disponibilité et en temps voulu les quantités nécessaires en adéquation avec les besoins et qui permettra de diminuer les quantités des rejets des surplus des eaux d'irrigation dans les drains.
- Voir impérativement les méthodes d'irrigation utilisées actuellement et qui ont favorisé le surdosage lors de l'irrigation. Ce volet nécessite une évaluation et étude des éventuelles techniques permettant d'améliorer la situation du bilan d'eau dans les zones oasiennes.
- Amélioration des protocoles de traitement des eaux usées traitées afin de les réutiliser dans l'irrigation complémentaires. Par contre, à Gabes et Gafsa, les eaux usées traitées peuvent être un déclin pour pallier les besoins en eau pour l'industrie chimique des phosphates.
- Diversifier le produit agricole de la monoculture de palmier dattier pourrait être sujet à risque phytosanitaire (charançon rouge déjà présent au Nord du pays gagnera probablement du terrain).

- Traiter les eaux usées des agglomérations concernées et les réutiliser pour l'irrigation.
- L'efficacité des irrigations et réutiliser les eaux de drainage en cultivant des plantes tolérantes aux sels et à l'hydromorphie.
- Boucher le maximum de forages perdus
- Installer des réseaux de valorisation des eaux de drainage et si nécessaire, pomper et rejeter les eaux loin de l'**oasis** pour éviter tout retour à la nappe phréatique, les réutiliser par des plantes tolérantes ou les rejeter dans des bassins d'évaporation.

Diversifier les cultures en Encourageant le développement d'une agriculture à haute valeur marchande, les plantes médicinales, la spiruline,

## 8 CONCLUSION

---

Réduire la surexploitation des nappes sans altérer le système oasien

Malgré un **bilan hydraulique très déficitaire**, les questions de la gestion de la demande en eau ne sont pas encore une priorité au niveau de tous les acteurs et constituent un **défi pour l'avenir**.

Cependant une mauvaise gestion du stock d'eau non renouvelable et son exploitation abusive a mis à jour des problèmes d'environnement et de durabilité de l'agriculture dans les Oasis. Les débits importants des forages, les rejets des agglomérations accélère irréversiblement la dégradation du bilan