



HAL
open science

Scénarios d'évolution de la consommation en eau et de gestion des eaux souterraines dans la Jeffara de Gabes (Tunisie)

Jean-François Vernoux, Faten Horriche

► **To cite this version:**

Jean-François Vernoux, Faten Horriche. Scénarios d'évolution de la consommation en eau et de gestion des eaux souterraines dans la Jeffara de Gabes (Tunisie). Colloque Sécheresses, étiages et déficit en eau, Dec 2019, Paris, France. hal-02352971

HAL Id: hal-02352971

<https://brgm.hal.science/hal-02352971>

Submitted on 7 Nov 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

SCENARIOS D'EVOLUTION DE LA CONSOMMATION EN EAU ET DE GESTION DES EAUX SOUTERRAINES DANS LA JEFFARA DE GABES (TUNISIE)

Jean-François VERNOUX¹, Faten HORRICHE²

¹ BRGM, BP 36009, 45060 Orléans Cedex 2 – France, jf.vernoux@brgm.fr

² CERTE, Technopole de Borj-Cédria - BP 273-8020 Soliman - Tunisie, faten.horriche@topnet.tn

Les oasis de Gabès, au sud-est de la Tunisie constituent un exemple unique d'écosystème littoral. Le développement de l'activité agricole ces dernières décennies, sous un climat semi-aride soumis à des sécheresses récurrentes, a entraîné une très forte sollicitation des nappes d'eau souterraine de la région provoquant le tarissement des sources alimentant ces oasis et la baisse du niveau des nappes, avec pour corollaire des intrusions salines et la dégradation des écosystèmes oasiens. Un modèle hydrodynamique a été développé pour une meilleure gestion de l'aquifère. Les résultats des simulations sans mesures de gestion mettent en évidence la situation critique des ressources en eau souterraine liée à la mise en exploitation des différentes nappes depuis les années 1950, puis de l'augmentation continue et considérable des prélèvements d'eau souterraine depuis 1970. Différents scénarios ont été testés avec le modèle, basés sur l'utilisation de ressources alternatives (dessalement d'eau de mer, augmentation de la capacité de traitement des eaux usées, traitement et utilisation des eaux de drainage des oasis), sur une amélioration des techniques d'irrigation et sur le renforcement de la recharge des nappes d'eau souterraine. Les résultats des simulations montrent qu'il faut impérativement réduire d'environ 2 m³/s les prélèvements d'eau souterraine par rapport à la situation 2014 et que cette réduction est possible en combinant l'ensemble des mesures proposées.

Mots-clefs : Gestion de l'eau souterraine, ressources alternatives, modélisation hydrodynamique, Jeffara de Gabès

Scenarios of evolution of water consumption and groundwater management in the Gabes Jeffara (Tunisia)

The oases of Gabès, in the south-east of Tunisia, constitute an unique example of coastal ecosystem. The development of agricultural activity in recent decades, in a semi-arid climate subject to recurring droughts, has led to a very strong demand on groundwater resources causing the drying of the springs supplying these oases and the lowering of the groundwater levels, with consequent salt intrusions and degradation of oases ecosystems. An hydrodynamic model has been developed for better management of the aquifer. The results of the simulations without management measures highlight the critical situation of groundwater resources related to the exploitation of the different aquifers since the 1950s, followed by the continuous and considerable increase in groundwater withdrawals since 1970. Different scenarios have been tested with the model, based on the use of alternative resources (desalination of seawater, increase of wastewater treatment capacity, treatment and use of oasis drainage water), on an improvement of irrigation techniques and on a reinforcement of groundwater recharge. The results of the simulations show that it is imperative to reduce groundwater withdrawals by around 2 m³/s compared to the 2014 situation and that this reduction is possible by combining all the proposed measures.

Key words : Groundwater management, alternative resources, hydrodynamic modelling, Gabes Jeffara

I INTRODUCTION

De par sa situation géographique en bordure de mer et du désert ainsi qu'à l'exutoire du système aquifère saharien septentrional (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), la région de Gabès a développé de riches écosystèmes : les oasis côtières. Ces écosystèmes ont été valorisés depuis l'Antiquité, notamment par l'agriculture, constituant un patrimoine environnemental et culturel extraordinaire. Le développement socio-économique de ces dernières décennies a conduit à une forte exploitation des aquifères côtiers qui, sous un climat semi-aride soumis à des sécheresses récurrentes, s'est traduit par un tarissement des sources qui alimentaient les oasis, par des problèmes d'intrusion saline et par une dégradation des écosystèmes oasiens (Bayrem et al. 2015; Ben Alaya et al. 2014; Agoubi et al. 2013; Werner et al. 2013; Abdedaiem 2016; Mekki et al. 2013).

L'objectif de l'étude est l'amélioration de la gestion des ressources en eau souterraine de la région de Gabès en prenant en compte les besoins des activités socio-économiques et la préservation durable des écosystèmes oasiens côtiers. Pour cela, une part importante de l'étude a été consacrée à l'élaboration d'un modèle hydrodynamique de la nappe de la Jeffara de Gabès utilisé comme outil de gestion future de la nappe en considérant différents scénarios de recharge ou d'exploitation.



Figure 1 – Localisation de la zone d'étude montrant les limites de l'aquifère (en bleu) et les oasis (en vert)

II CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE

Le système aquifère de la Jeffara de Gabès est un aquifère multi-couche composé de formations sédimentaires d'âge jurassique, créacé et tertiaire. Le modèle géologique 3D développé dans le cadre de l'étude (Lasseur and Abbes, 2014) comporte 18 couches. Quatre de ces couches constituent des aquifères majeurs : les sables du Mio-pliocène, les calcaires du Sénonien, les calcaires du Turonien et les sables du Crétacé inférieur. Trois autres formations sont considérées comme des aquifères de moindre importance : les formations marno-gypseuses du Sénonien, les sables du Barrémien supérieur et les calcaires du Jurassique supérieur. Les autres couches sont constituées de formations peu ou pas aquifères.

Toutes ces formations constituent le système aquifère de la Jeffara de Gabès à l'exception des sables du Crétacé inférieur (Continental Intercalaire) rattachés au Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS).

Le modèle géologique a permis de restaurer les géométries du système aquifère de la plaine de la Jeffara et de l'exutoire du SASS ainsi que les modalités d'écoulement entre les deux systèmes aquifères. La révision de ce schéma structural, qui comprend un réseau de failles orientées NO-SE, permet de mieux appréhender les relations entre le SASS et la plaine de la Jeffara.

Sur le plan hydrogéologique, la plaine de la Jeffara est constituée de deux nappes, une nappe superficielle et une nappe profonde. La nappe superficielle circule essentiellement dans les formations du Plio-quaternaire tandis que la nappe profonde circule dans les formations décrites précédemment, dont l'importance varie selon les secteurs en fonction des conditions de dépôt et des failles.

L'alimentation du système aquifère de la Jeffara se fait essentiellement par apport d'eau souterraine à partir de la nappe profonde du Continental Intercalaire, grâce au réseau de failles présent dans le secteur d'El Hamma. Cet apport était estimé à 3.6 m³/s en 1970. A cette alimentation s'ajoutent la recharge directe des eaux de pluie au niveau des zones favorables à l'infiltration et la recharge des eaux de ruissellement au niveau des oueds.

Les nappes de la Jeffara de Gabès sont intensément exploitées depuis les années 1970, en particulier pour l'irrigation. L'exploitation des nappes profondes a doublé sur les 50 dernières années, de 53 Mm³ en 1970, à environ 110 Mm³ actuellement (figure 2). Cette surexploitation a conduit au quasi tarissement des sources alimentant les oasis (figure 3) et à la baisse des niveaux piézométriques.

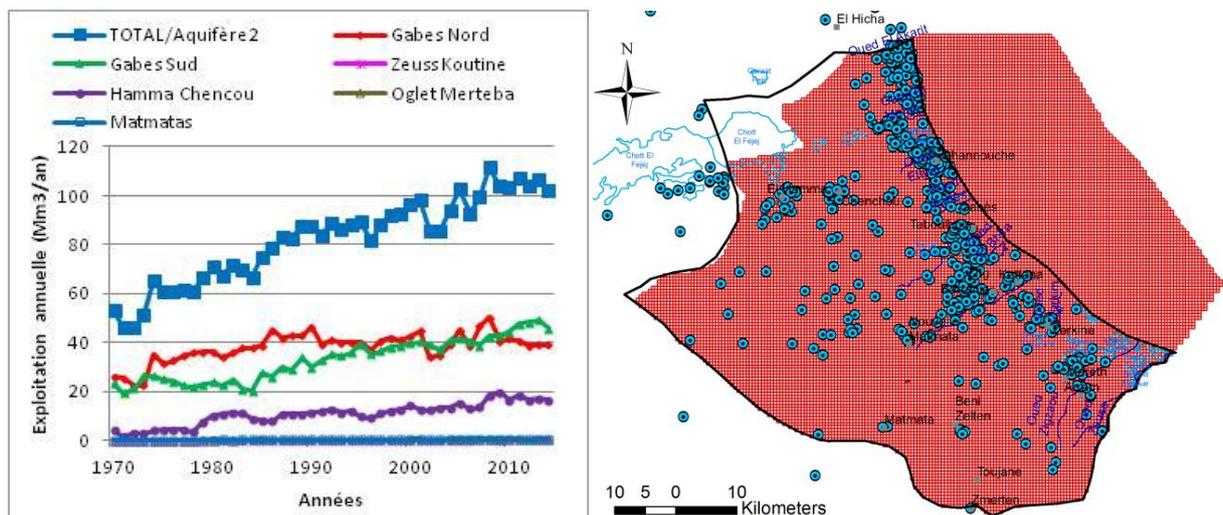


Figure 2 - Evolution de l'exploitation des nappes profondes et localisation des forages

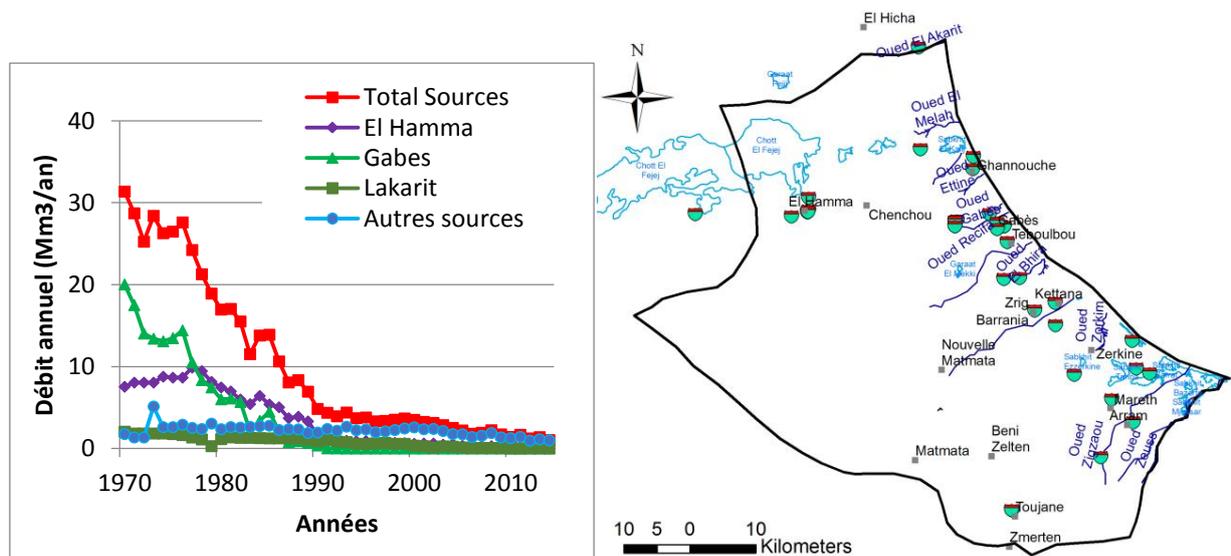


Figure 3 - Evolution des débits des sources et localisation

III DÉVELOPPEMENT DU MODÈLE HYDRODYNAMIQUE

Le modèle conceptuel du système aquifère de la Jeffara de Gabès a dû nécessairement être simplifié par rapport au modèle géologique ; il est composé de 3 couches (Figure 4) :

- La nappe phréatique contenue dans les formations quaternaires au niveau de Gabès Nord, Gabès Sud, El Hamma Chenchou, Zeuss Koutine et Dkhilet Toujane. Cette nappe est exploitée par des puits de surface.
- La nappe profonde de la Jeffara proprement dite reconnue à Gabès Nord, Gabès Sud, Oglet Marteba, Matmatas et Hamma Chenchou. La nappe du Jurassique de Zeuss Koutine est rattachée à cette couche pour simplifier la conception du modèle. Ces nappes sont exploitées par des forages profonds.
- La nappe du Continental Intercalaire (CI) qui n'est pas exploitée au niveau de la zone d'étude. Cette nappe est utilisée pour le transfert d'eau du CI vers la nappe de la Jeffara.

Le modèle a été implémenté avec Processing Modflow. Il est constitué d'une grille régulière de 171 lignes et 212 colonnes avec des mailles de 500 m². La condition aux limites principale du modèle est l'apport d'eau profonde provenant du Continental Intercalaire (CI) a été modélisée en imposant des charges hydrauliques variables le long de la limite nord-occidentale de la couche. Le fait de remplacer les charges imposées le long de la limite du CI par des débits imposés permet de garantir que les débits d'apport provenant du CI sont identiques pour l'ensemble des simulations prévisionnelles.

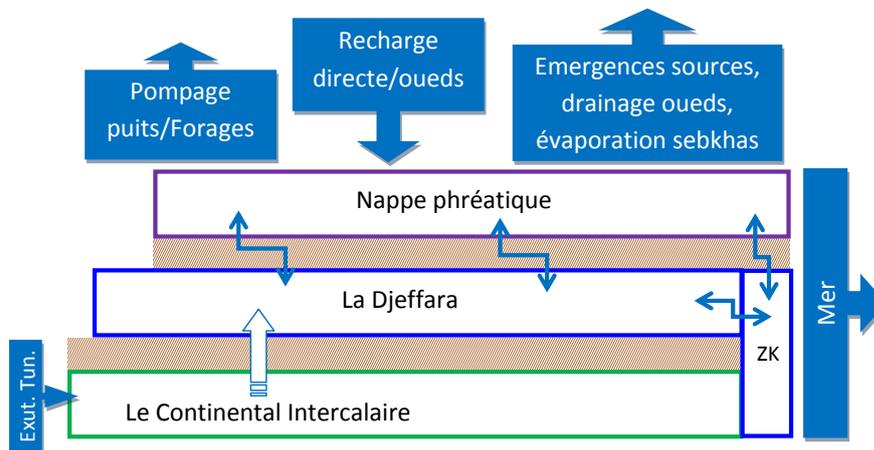


Figure 4 – Modèle conceptuel du système aquifère de la Jeffara de Gabès

Le modèle a été calé en régime permanent sur l'année 1970 (figure 5), correspondant à une période où les pompages, les débits des sources et les niveaux piézométriques étaient relativement stables. Le modèle a ensuite été calé en régime transitoire sur la période 1971-2014, sur plus de 200 points de suivi piézométrique et les débits de sources (figure 6) (Jarraya Horriche 2017).

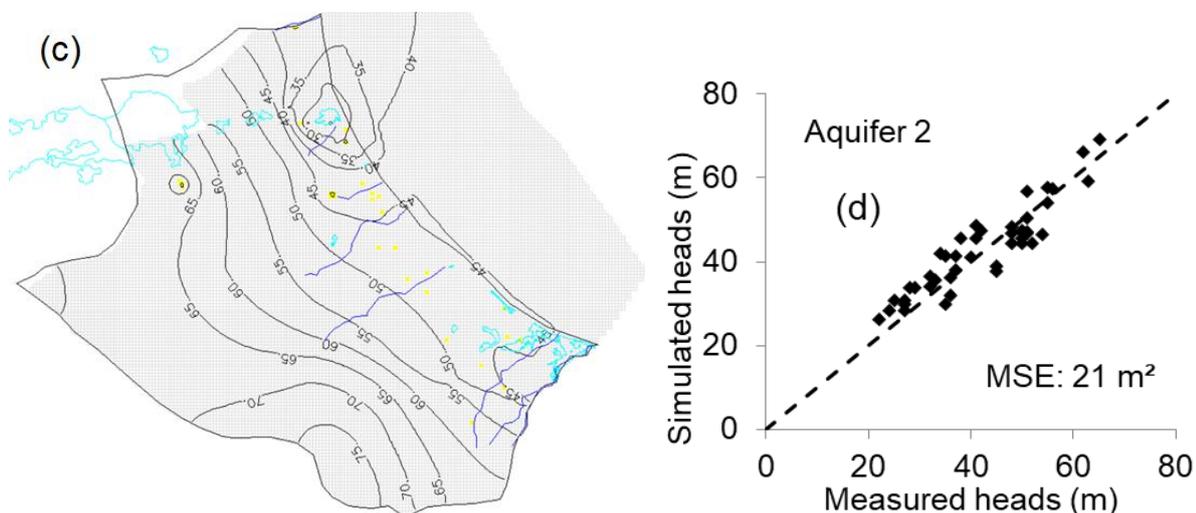


Figure 5 - Calage en régime permanent : Carte piézométrique simulée de la nappe profonde et comparaison des niveaux mesurés et simulés

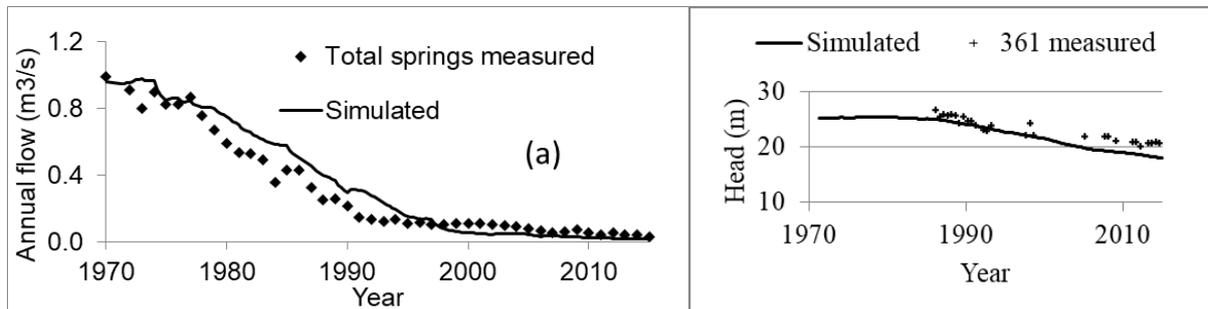


Figure 6 - Calage en régime transitoire : Simulation du débit des sources et des niveaux d'un piézomètre (361) de la nappe profonde

Le bilan hydrologique (figure 7) confirme l'importance de l'alimentation de la nappe de la Jeffara par la nappe du Continental Intercalaire (Besbes et al., 2005), qui représentait 60% des apports en 1970 et seulement 15% en 2014. La forte baisse de cette alimentation, observée actuellement, est liée aux pompages dans la nappe du CI elle-même. La diminution de l'apport du CI combinée à l'augmentation des prélèvements dans la nappe de la Jeffara induisent un déséquilibre et la baisse des niveaux piézométriques.

	1970		2014	
	Entrées (m ³ /s)	Sorties (m ³ /s)	Entrées (m ³ /s)	Sorties (m ³ /s)
Apport du Continental Intercalaire	2.93		0.74	
Echange avec la mer		0.19	0.00	0.13
Pompage		1.88		3.93
Puits		0.20		0.69
Forages		1.68		3.24
Drainage par les oueds et les sources		1.00		0.04
Oueds		0.04		0.02
Sources		0.96		0.02
Recharge	1.96		1.14	
Reprise évaporatoire en nappe		1.82		0.99
Déstockage des nappes			3.20	
TOTAL	4.89	4.89	5.09	5.09

Figure 7 : Bilans hydrologiques simulés en 1970 et 2014 (année de référence)

IV SIMULATIONS DE SCÉNARIOS DE GESTION DE LA RESSOURCE EN EAU

Une fois calé, le modèle a été utilisé pour tester six scénarios prévisionnels basés sur des projections d'évolution de la demande en eau, avec et sans mesures de gestion. Les scénarios d'évolution de la demande en eau sont issus d'une étude socio-économique (Bouzit et al., 2017) et d'une évaluation des besoins en eau pour l'irrigation (Vernoux et al., 2017b). La prise en compte du changement climatique, envisagée dans un premier temps, n'a finalement pas été retenue dans la mesure où son influence sur les niveaux piézométriques est négligeable par rapport à celle de l'évolution de la demande en eau et des prélèvements. L'étude des séries pluviométriques disponibles sur la région de Gabès ne montre en effet pas de tendance significative à la baisse (Vernoux et al., 2017a).

Les scénarios testés prennent en compte à la fois une augmentation de la demande en eau telle qu'on l'observe déjà depuis de nombreuses années et des mesures de gestion de la ressource en eau susceptibles de limiter la baisse de niveau des nappes.

Les six scénarios simulés avec le modèle sont les suivants :

- le scénario 1 considère que les débits d'exploitation de la nappe profonde sont maintenus identiques à ceux de 2014 ;
- Le scénario 2 considère que les débits d'exploitation de la nappe profonde sont extrapolés de manière linéaire ;
- Le scénario 3 est basé sur une augmentation tendancielle de la demande en eau ;
- Le scénario 4 est basé sur une augmentation raisonnable de la demande en eau ;
- Le scénario 5 consiste à introduire une série de mesures de gestion de la ressource en eau et à les appliquer aux débits d'exploitation retenus pour le scénario 3.
- Le scénario 6 consiste à introduire une série de mesures de gestion de la ressource en eau, et à les appliquer aux débits d'exploitation retenus pour le scénario 4.

Les deux premiers scénarios sont théoriques. Le scénario 3 "tendanciel" repose sur l'hypothèse d'une poursuite des tendances passées, en termes d'évolution des principaux facteurs de changement identifiés sur le territoire de Gabès : augmentation des superficies irriguées privées, création de nouveaux périmètres irrigués publics, poursuite de la croissance démographique et de l'urbanisation... Ces hypothèses d'évolution conduisent à prévoir une augmentation considérable de la demande en eau, laquelle atteindrait 176 Mm³/an en 2020, 217 Mm³/an en 2030, et 286 Mm³/an à l'horizon 2040, à comparer aux 124 Mm³/an prélevés en 2014. Le scénario 4 suppose que les pressions actuelles et futures exercées sur la ressource en eau souterraine seront maîtrisées et évolueront positivement. Ce scénario suppose la planification d'un programme de mesures coordonné sur l'ensemble du territoire de Gabès, plus ambitieux que les mesures individuelles qui sont déjà planifiées ou en cours de réalisation, associé à une évolution maîtrisée du taux de croissance démographique, de l'urbanisation et de la consommation d'eau en général. Ces hypothèses d'évolution conduisent à prévoir une demande en eau atteignant 135 Mm³/an en 2020, 163 Mm³/an en 2030 et 215 Mm³/an à l'horizon 2040.

Les mesures de gestion testées dans les scénarios 5 et 6 peuvent être regroupées en trois classes : la réduction des prélèvements, le renforcement de la recharge et l'utilisation de ressources en eau alternatives, en particulier le dessalement d'eau de mer. Ces mesures ont été spatialisées en fonction de leur nature, des nappes ciblées et des délégations administratives concernées.

Les résultats de simulation des scénarios 1 à 4 (sans mesures de gestion) mettent en évidence la situation critique des nappes d'eau souterraine de la région de Gabès. En effet, quel que soit le scénario considéré, la baisse des niveaux piézométriques des nappes de la Jeffara est appelée à se poursuivre, entraînant le dénoyage des pompes dans de nombreux forages, des risques d'intrusion saline et de disparition des zones humides (chotts et sebkras) et le tarissement complet des sources. L'intensité de la baisse varie d'un scénario à l'autre mais les résultats de simulation du scénario 1 montrent que, même avec une hypothèse irréaliste de maintien des prélèvements à leur valeur de 2014, les baisses de nappe se poursuivront sous l'effet de débits d'exploitation excédant la recharge et d'une diminution inexorable des apports du Continental Intercalaire.

La mise en œuvre simultanée de toutes les mesures de gestion envisagées pour mieux exploiter les ressources existantes et apporter de nouvelles ressources, combinée à une maîtrise de l'évolution de la demande en eau (scénario 6) par rapport à une situation de type « laisser-faire » (scénario 3) permet d'atténuer très sensiblement le déstockage des nappes (figure 8), la baisse des niveaux piézométriques de la nappe profonde (figure 9), et même d'améliorer ponctuellement ceux de la nappe phréatique. Cela implique de réduire d'environ 2 m³/s les prélèvements d'eau souterraine par rapport à la situation de référence de 2014.

2040 - Scénario 3

2040 - Scénario 6

	Entrées (m ³ /s)	Sorties (m ³ /s)	Entrées (m ³ /s)	Sorties (m ³ /s)
Apport du Continental Intercalaire	0.32		0.32	
Echange avec la mer	0.08	0.04	0.003	0.169
Pompage		8.91		4.00
<i>Puits</i>		0.876		0.08
<i>Forages</i>		8.037		3.92
Drainage par les oueds et les sources		0.002		0.02
<i>Oueds</i>		0.002		0.020
<i>Sources</i>		0.000		0.006
Recharge	2.47		2.47	
Reprise évaporatoire en nappe		0.36		0.95
Déstockage des nappes	6.45		2.83	
TOTAL	9.32	9.32	5.63	5.63

Figure 8 : Bilans hydrologiques simulés en 2040 pour les scénarios 3 et 6

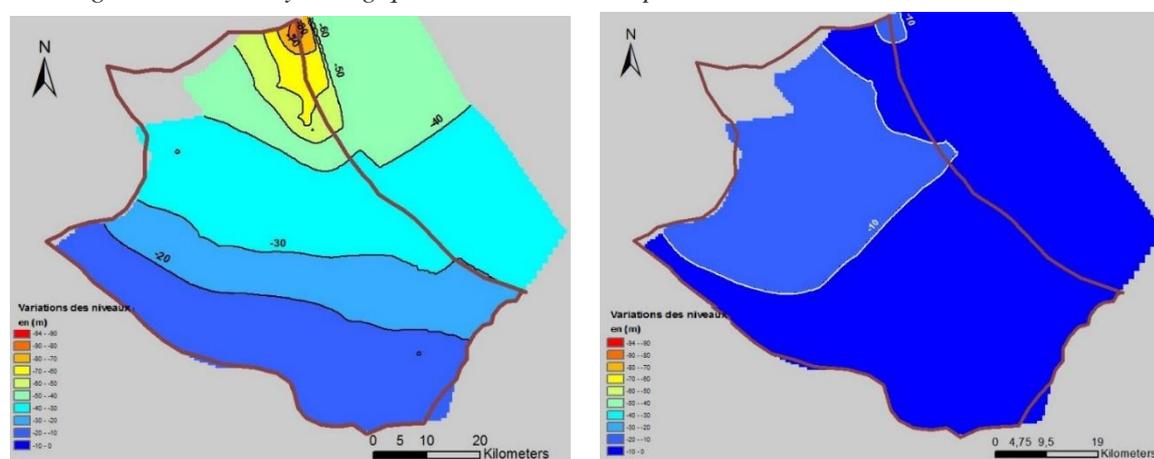


Figure 9 : Variations de la charge hydraulique de la nappe profonde nette 2014 et 2040 pour le scénario 3 (à gauche) et le scénario 6 (à droite)

V CONCLUSIONS

Cette étude a permis de mettre en évidence la surexploitation des nappes d'eau souterraine dans la Jeffara de Gabès, lié à une forte augmentation des périmètres irrigués, en particulier des périmètres privés, hors oasis (Vernoux et al., 2017b). L'impact de la surexploitation des nappes apparaît actuellement beaucoup plus important que celui du changement climatique.

Les simulations réalisées sur la période 2015-2040, à l'aide du modèle hydrodynamique mis au point dans le cadre du projet, montrent que la situation va rapidement devenir critique si aucune mesure n'est prise : dénoyage des pompes, intrusion saline, disparition des zones humides, tarissement complet des sources. La mise en œuvre d'un ensemble de mesures de gestion adaptées (réduction des prélèvements, renforcement de la recharge et utilisation de ressources en eau alternatives) est néanmoins susceptible d'enrayer la baisse des niveaux piézométriques.

VI REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le FFEM et l'AFD pour leur contribution financière au projet ainsi que le CRDA de Gabès pour son appui technique.

VII REFERENCES

- Abdedaiem S. (2016) Gestion des Aquifères côtiers des Oasis de Gabès – Analyse des écosystèmes oasiens de Gabès et de leurs relations avec les aquifères [Management of coastal aquifers in Gables Oases - Analysis of oasis ecosystems in Gables and their relationship with aquifers]. Report BRGM/RC-67032-FR, 85 p.
- Agoubi B., Kharroubi A., Abichou t., Abida H. (2013) Hydrochemical and geoelectrical investigation of Marine Jeffara Aquifer, southeastern Tunisia. *Applied Water Science*, 3(2): 415-429, <https://doi.org/10.1007/s13201-013-0091-4>
- Bayrem N., Moussa M., Rejeb H. (2015) The water Resources Challenges in Gables Oasis. *Int. Res.J. Earth Sci*, 3(3) : 15-19
- Ben Alaya M., Saidi S, Zemni T, Zargouni F (2013) Suitability assessment of deep groundwater for drinking and irrigation use in the Jeffara aquifers (Northern Gables, south-eastern Tunisia). *Environ Earth Sci*. 71: 3387. <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2729-9>
- Besbes, M., Bouhlila R., Pallas, P., Pizzi, G., Ayoub, A., Babasy, M., El Barouni, S. et Horriche, F. (2005) Etude sur modèles mathématiques de la Jeffara tuniso-libyenne [Study on mathematical models of Tunisian-Libyan Jeffara]. OSS report.
- Jarraya Horriche F. (2017) Gestion des Aquifères côtiers des Oasis de Gabès – Modèle hydrodynamique de la Jeffara de Gabès [Management of coastal aquifers in Gables Oasis – Hydrodynamic model of Gables Jeffara]. Report BRGM/RC-67031-FR, 139 p.
- Lasseur E., Abbes C. (2014) Projet de gestion des aquifères côtiers des oasis de Gabès – Modélisation géologique 3D de la Jeffara de Gabès [Management of coastal aquifers in Gables Oases - 3D geological modeling of the Gables Jeffara. Report BRGM/RC-64626-FR, 94 p.
- Mekki I, Jacob F, Marlet S, Ghazouani W (2013) Management of groundwater resources in relation to oasis sustainability: the case of the Nefzawa region in Tunisia. *J Environ Manage* 121:142–151. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.02.041>
- Vernoux J.F., Machard de Gramont H., Barthélemy Y., Croiset N., Gourcy L., Stollsteiner P. (2017a) Gestion des Aquifères côtiers des Oasis de Gabès - Synthèse hydrogéologique [Management of coastal aquifers in Gables Oases – Hydrogeological synthesis]. Report BRGM/RC-64953-FR, 200 p.
- Vernoux J.F., Bouzit M., Desprats J.F., Ben Salah M., Sghair M., Abdeadhim M. (2017b) Gestion des Aquifères côtiers des Oasis de Gabès – Analyse des systèmes de production agricole irriguée [Management of coastal aquifers in Gables Oases - Analysis of irrigated agricultural production systems]. Report BRGM/RC-65740-FR, 77 p.
- Werner AD, Simmons CT (2009) Impact of sea-level rise on sea water intrusion in coastal aquifers. *Ground Water* 47:197–204. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2008.00535x>