



Note sur l'apport du système d'information géographique à l'évaluation de la qualité des eaux de la nappe d'Oued Rmel (nord- est de la Tunisie) vis-a-vis des nitrates et de la salinité

Contribution of the geographic information system to evaluate the water quality of Oued Rmel aquifer (northeastern of Tunisia), with respect to nitrates and salinity

Meriem AMEUR, Fadoua HAMZAOUI- AZAZA & Moncef GUEDDARI

Abstract : Oued Rmel aquifer, which is located in the north-east of Tunisia, in the governorate of Zaghouan, is primarily used for irrigation and human consumption. Its water quality undergoes continuous degradation due to an excess intake of nitrates and to salinization. A total of 46 samples were subjected to *in situ* measurements and analyzes of nutrients. The results obtained show that salinity varies from 1g/l to the upstream of the groundwater to 6 g/l downstream. This increase is due to water - rock interaction tank, and the water exchange rate, which is relatively low in the downstream part, because of the aquifer burial under a thick layer of clay. Nitrate concentration ranges between 10 and 113 mg/l. The higher values are related to agricultural activity, especially the over fertilization of agricultural land and intensive farming. On the whole, 17 % of water samples of Rmel aquifer respect the maximum permissible limit of salinity and NO_3^- concentrations prescribed by WHO, which are respectively 50 mg/l and 1500 mg/l.

Keywords : Salinization, Nitrates pollution, GIS, Oued Rmel Aquifer, North-East of Tunisia.

Résumé : La nappe d'Oued Rmel, située dans le nord-est de la Tunisie, dans le gouvernorat de Zaghouan, est exploitée essentiellement pour l'irrigation et la consommation humaine. La qualité de ses eaux subit une dégradation continue, par un apport en excès de nitrates et par la salinisation. Au total, 46 échantillons ont fait l'objet de mesures *in situ* et d'analyses des éléments nutritifs. Les résultats obtenus montrent que la salinité varie de 1 g/l à l'amont de la nappe à 6 g/l vers l'aval. Cette augmentation est due à l'interaction eau - roche réservoir, et au taux de renouvellement des eaux, qui est relativement faible dans la partie inférieure, à cause de l'enfouissement de l'aquifère sous une épaisse couche argileuse. Les teneurs en nitrates s'échelonnent entre 10 et 113 mg / l. Les valeurs les plus élevées sont en relation avec l'activité agricole, notamment la surfertilisation des terres agricoles et l'élevage intensif. Dans l'ensemble, seulement 17% des eaux prélevées ont une salinité et des teneurs en NO_3^- qui respectent les normes de potabilité fixées par l'OMS, qui sont respectivement 50 mg/l et 1500 mg/l.

Mots-clés : Salinisation, Pollution par les nitrates, SIG, Nappe d'Oued Rmel, Nord-est de la Tunisie.

INTRODUCTION

En Tunisie, les risques majeurs de dégradation de la qualité des eaux souterraines sont la salinisation et la pollution par les nitrates. Ces deux problèmes sont liés à la demande croissante de l'eau, en relation avec le développement socio-économique et la généralisation de l'irrigation, alors que la ressource en eau souterraine diminue, puisque 36 % est non renouvelable.

Unité de recherche de Géochimie et de Géologie de l'Environnement,
Faculté des Sciences de Tunis (FST), Campus Universitaire de Farhat Hached, 2092, Tunis El Manar, TUNISIE.
meriem_ameur@yahoo.fr

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Le bassin versant de l'Oued Rmel se situe sur la côte orientale de la Tunisie, à environ 80 km au sud de Tunis. Il est limité à l'ouest par le Djebel Zaghouan (1295 m d'altitude), à l'est par la mer Méditerranée. Il assure une transition entre différentes régions : le nord de la dorsale tunisienne, le Sahel et le Cap-Bon (ATTIA *et al.*, 2005).

Le réservoir est formé par des dépôts détritiques continentaux d'âge villafranchien qui sont formés surtout de sable et d'argile.

L'alimentation de la nappe est liée principalement à l'infiltration directe sur les piémonts alors que l'évacuation se fait par évaporation, par l'oued Rmel et par écoulement souterrain vers la plaine de Bouficha. La mer constitue l'exutoire essentiel de la nappe (REKAYA, 1981).

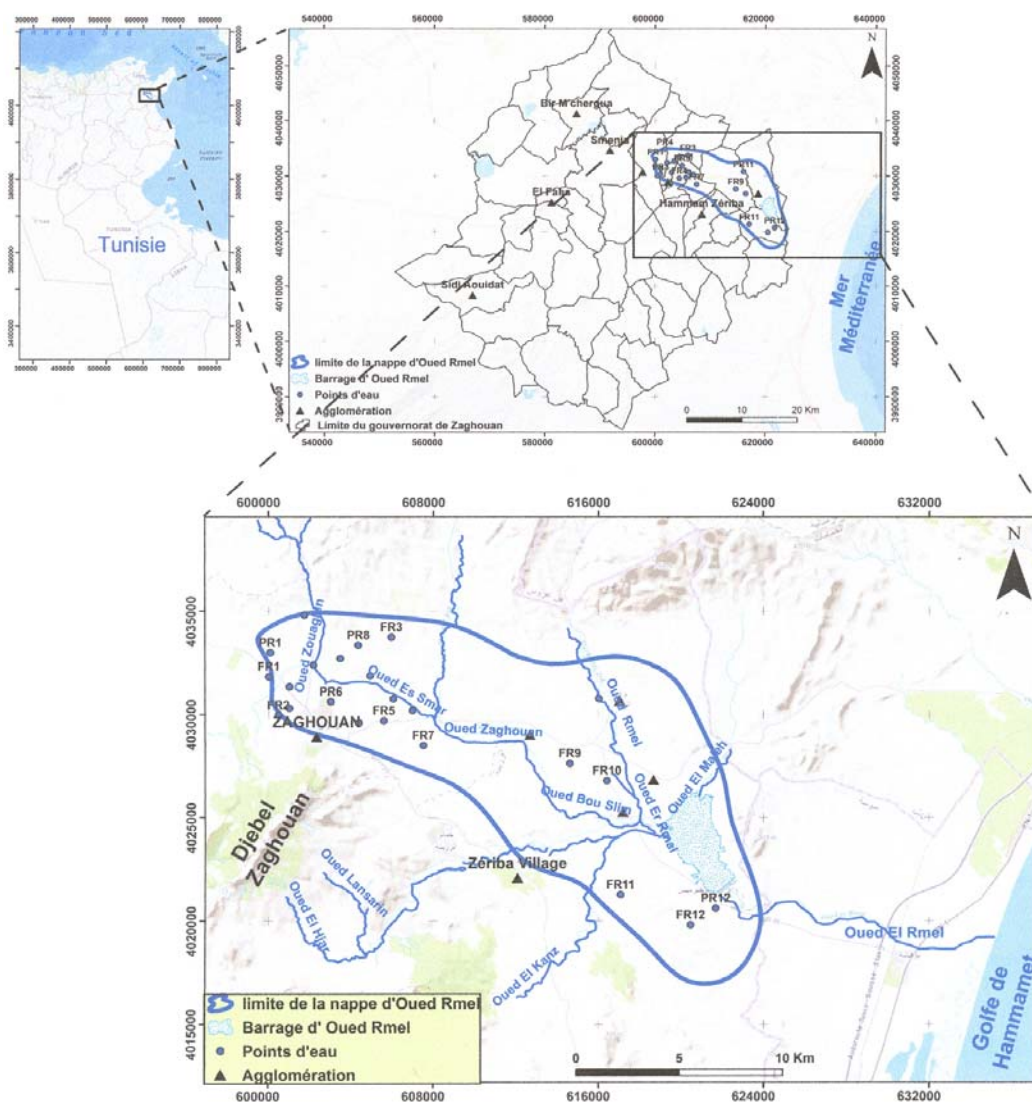


Figure 1 : Localisation géographique de la nappe d'Oued Rmel

MISE EN PLACE D'UN SIG POUR L'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DES EAUX DE LA NAPPE D'OUED RMEL VIS-A-VIS DES ÉLÉMENTS NUTRITIFS ET LA SALINISATION

L'étude géochimique couplée au Système d'Information Géographique (SIG), nous a permis d'évaluer la vulnérabilité et l'extension spatiale de la pollution (AMEUR *et al.* 2015) de la nappe d'Oued Rmel par les éléments nutritifs. Deux campagnes d'échantillonnage ont été effectuées en janvier et août 2013 et ont concerné 46 puits et forages bien répartis dans la zone d'étude. Nous

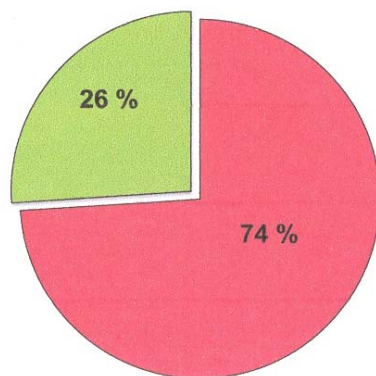
n'avons pas remarqué une grande variation au niveau des valeurs des différents paramètres analysés entre les deux saisons hivernale et estivale.

Dans les eaux d'une façon générale, l'azote inorganique dissous peut être présent sous trois formes : l'ion ammonium (NH_4^+) ou azote ammoniacal, l'ion nitrite (NO_2^-) ou azote nitreux et l'ion nitrate (NO_3^-) ou azote nitrique. Les teneurs en nitrates des eaux échantillonnées au niveau de la nappe d'Oued Rmel, sont comprises entre 10 et 113 mg/l. Les concentrations des nitrites varient de 0,03 à 0,14 mg/l. L'azote ammoniacal (NH_4) s'échelonne entre 0,5 et 3,25 mg/l.

Les normes nationales tunisiennes (NT 09-14) et internationales (OMS) fixent des limites pour les paramètres d'évaluation des eaux destinées à la consommation humaine. Parmi ces paramètres, on cite les éléments nutritifs et la salinité. Le Tableau 1 donne les valeurs limites qu'on ne doit jamais dépasser, si on veut protéger la santé humaine contre les maladies transmises de la consommation de l'eau (HAMZAOUI AZAZA *et al.* 2012 ; AMEUR *et al.*, 2015).

Tableau 1 : Normes internationales et nationales des éléments nutritifs et de la salinité

Paramètres (mg/l)	Normes (OMS, 2011)	Normes Tunisiennes (NT 09-14,2012)	% Pourcentages des points d'eau qui dépassent les normes	Les effets néfastes sur la santé humaine
Nitrates NO_3^-	50	45	83	Méthémoglobinémie (cyanose du nourrisson = bébé bleu)
Nitrites NO_2^-	0,1	*	13	Nitrosamines toxiques et cancérigènes en milieu acide dans l'estomac
Ion Ammonium NH_4^+	0,5	*	100	Vomissements et mal de gorge
Salinité	1500	1500	83	Artériosclérose et les maladies cardiovasculaires



■ % des échantillons qui dépassent les normes ■ % des échantillons qui respectent les normes

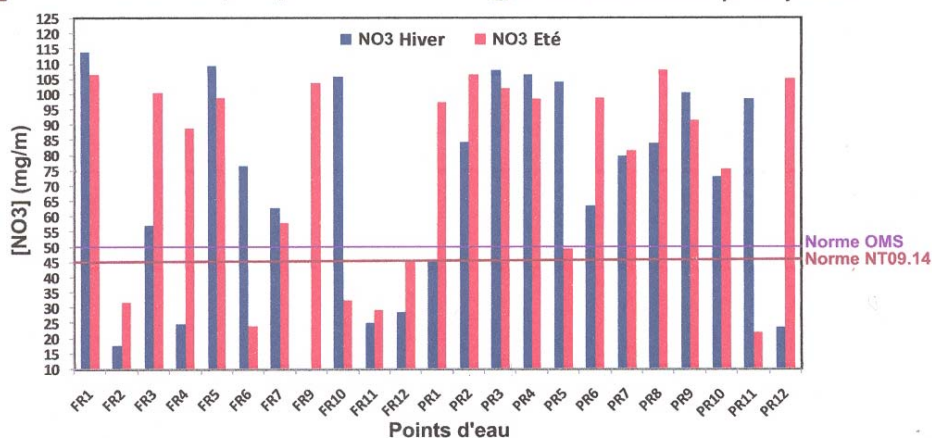


Figure 2 : Normes de l'OMS et NT 09-14 pour la teneur en nitrates des eaux

Seulement 26 % des échantillons d'eau d'Oued Rmel respectent la concentration maximale admissible des nitrates fixée par l'OMS et la NT 09-14 (Figure. 2), qui est respectivement de 50 et 45 mg/l. Les eaux échantillonnées dépassent de 100 % les normes Internationales et nationales vis-à-vis la salinité (Tableau. 1). Celle-ci est aux alentours de 3000 mg/l. Cette forte salinité pourrait être due à la lithologie de l'aquifère et/ou à l'évapotranspiration importante dans les parties affleurante ou sub-affleurante de la nappe.

Les résultats des analyses chimiques des échantillons d'eau montrent une légère variation de la salinité et des éléments nutritifs durant les deux saisons de l'année 2013 (Tableau. 2).

Tableau 2. Teneurs de la salinité et des éléments nutritifs en mg/l de la nappe d'Oued Rmel (1 : campagne Janvier 2013) et (2 : campagne Août 2013)

N°	Salinité		NO ₃ ⁻		NO ₂ ⁻		NH ₄ ⁺	
	1	2	1	2	1	2	1	2
FR1	1872	1736	113,803	106,47	0,039	0,042	0,661	0,709
FR2	2615	1539	17,683	31,83	0,041	0,051	0,691	0,733
FR3	1448	2077	57,329	100,66	0,039	0,042	0,612	0,63
FR4	3138	2259	24,719	88,82	0,038	0,042	0,939	0,764
FR5	1819	1827	109,298	98,84	0,037	0,044	2,242	0,806
FR6	3070	2729	76,390	24,09	0,037	0,061	0,927	0,879
FR7	1493	1387	62,653	57,78	0,030	0,042	0,933	0,733
FR9	3525	3449	9,642	103,68	0,030	0,049	1,049	0,897
FR10	1865	1910	105,873	32,65	0,034	0,042	0,939	0,739
FR11	1489	1539	25,128	29,15	0,030	0,041	0,988	0,873
FR12	2706	2691	28,776	45,08	0,032	0,041	0,952	0,709
PR1	3987	3866	45,193	97,42	0,032	0,042	2,109	0,655
PR2	1334	1304	84,319	106,66	0,038	0,054	0,533	0,655
PR3	1228	1236	107,772	101,78	0,049	0,042	0,649	0,733
PR4	2471	2812	106,581	98,5	0,037	0,057	0,539	0,721
PR5	2964	2789	103,975	49,44	0,038	0,122	0,570	0,867
PR6	1804	1766	63,435	98,91	0,039	0,072	0,582	0,788
PR7	6109	6102	79,777	81,49	0,038	0,141	0,533	0,752
PR8	4275	4184	83,835	107,88	0,040	0,051	0,552	0,764
PR9	2964	2956	100,587	91,5	0,041	0,057	0,564	0,679
PR10	3964	3866	73,151	75,65	0,040	0,044	0,570	0,691
PR11	3350	3343	98,353	21,96	0,031	0,074	0,594	2,727
PR12	3691	3419	23,714	104,94	0,031	0,105	3,255	0,903

La carte de répartition spatiale des teneurs en nitrates (Figure.3) montre que les valeurs les plus élevées sont enregistrées dans les points d'eaux des parties orientale et occidentale de la nappe au niveau des arrondissements de Zaghouan qui ont probablement une origine agricole directe par infiltration des eaux de lessivage des terres fertilisées au niveau des périmètres irrigués (AMEUR *et al.*, 2016) . Toutes les eaux prélevées au niveau de ces zones sont assez oxygénées, ce qui explique la stabilité et la prédominance des nitrates par rapport aux autres formes de l'azote inorganique dissous. Les faibles taux de nitrates caractérisent les eaux des puits FR9 et FR11 où l'azote est présent plutôt sous forme de NO₂⁻ et / ou de NH₄⁺, et les eaux de forage FR2 qui ne sont pas affectées par la pollution azotée. La variation des teneurs de l'azote ammoniacal en fonction de celles des nitrites montre que la forme oxygénée de l'azote provient de l'oxydation, par nitratisation, de l'azote ammoniacal.

APTITUDE DES EAUX DE LA NAPPE D'OUED RMEL A L'IRRIGATION

Le SAR (Sodium Adsorption Ratio) est un paramètre déterminant pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation. Il est déterminé par la relation suivante (AMEUR *et al.* 2014) :

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{(Ca^{2+} + Mg^{2+})}{2}}}$$

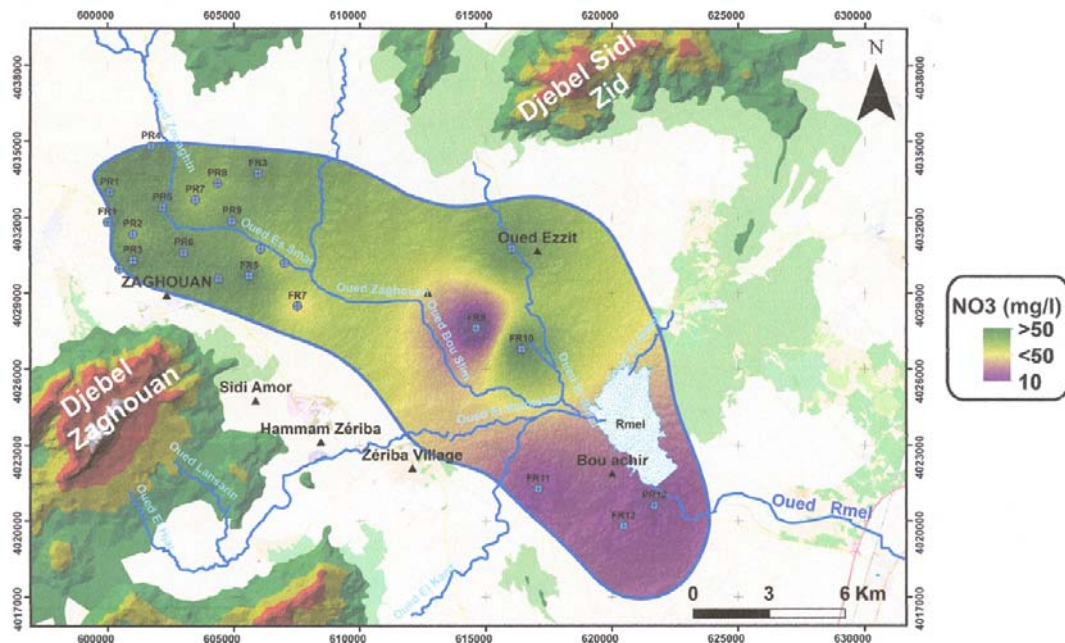


Figure 3 : Carte de répartition des teneurs en nitrates (mg/l) des eaux de la nappe d'Oued Rmel en hiver

Tableau 3 : La classification des eaux souterraines de la nappe d'Oued Rmel selon le SAR

Intervalle de SAR	Risque d'alcalinisation	% des eaux de la nappe d'Oued Rmel
2<SAR<10	Faible	56
10<SAR<26	Elevé	44
SAR>26	Très élevé	0

Le report des résultats d'analyses sur le diagramme de classification des eaux d'irrigation (Figure.4), montre que les eaux souterraines de la nappe d'Oued Rmel se répartissent principalement en 4 classes (RICHARDS, 1954) :

- Classe 1 (C3-S2) : eau de salinité élevée, ne peut être utilisée pour l'irrigation d'un sol à drainage restreint - eau de moyenne teneur en sodium, peut présenter un problème modéré du sodium pour les sols à texture fine (argile), à moins qu'il soit riche en gypse ;
- Classe 2 (C4-S2) : eau de salinité très élevée, ne convient pas en condition ordinaire mais on peut l'utiliser dans des conditions spéciales : sols perméables, drainage adéquat, application d'un excès d'eau pour les besoins du lessivage - eau de moyenne teneur en sodium ;
- Classe 3 (C4-S3) : eau de salinité très élevée - eau riche en sodium, peut avoir une incidence négative sur la stabilité du sol. Un bon drainage, un lessivage important et l'addition de matière organique est nécessaire;
- Classe 4 (C4-S4) : eau de salinité très élevée - eau très riche en sodium, n'est généralement pas recommandée pour l'irrigation, à moins qu'elle soit de faible à moyenne salinité.

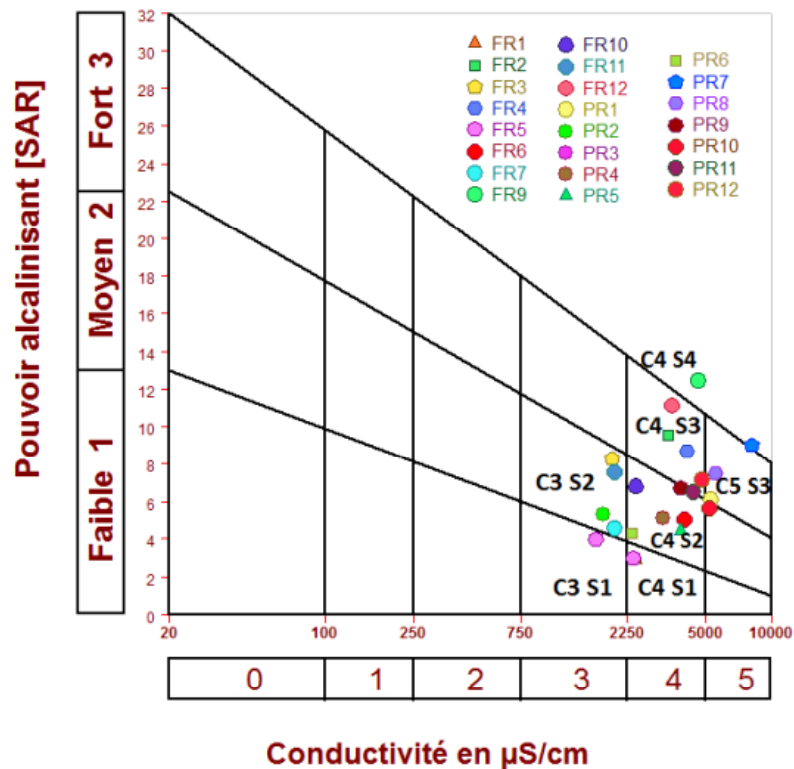


Figure 4 : Diagramme de RIVERSIDE des eaux de la nappe d'Oued Rmel en hiver

CONCLUSION

La nappe d'Oued Rmel, d'une surface de 198 Km², sert une population importante du Gouvernorat de Zaghouan en eau potable et en irrigation. A propos des composés inorganiques dissous de l'azote, on note que les eaux les plus riches en nitrates sont, pour l'essentiel, celles prélevées au niveau des périmètres irrigués surfertilisés par des engrais azotés. Ces eaux sont les plus oxygénées, ce qui justifie leur stabilité et leur prédominance. La comparaison des teneurs de salinité et en éléments nutritifs (NO₃, NO₂ et NH₄) des eaux de la nappe d'Oued Rmel avec les normes nationales et internationales, indiquent que la majorité de ces eaux ne répondent pas aux critères de potabilité. Le SAR traduit le danger de dégradation des propriétés physiques des sols par le remplacement des ions calcium et magnésium par l'ion sodium et indique le risque d'alcalinisation du sol. 56% des eaux de la nappe d'Oued Rmel représentent un faible risque d'alcalinisation dont le 2<SAR<10 alors que 44% ont des risques élevés de déstabilisation du sol (10<SAR<26). Les eaux des forages destinées à l'irrigation représentent un risque moyen à élevé de sodicité et d'alcalinisation. L'utilisation intensive des engrais chimiques et des pesticides pour améliorer la rentabilité des récoltes a conduit à une pollution d'origine agricole des eaux de la nappe d'Oued Rmel.

REFERENCES

- AMEUR, M. HAMZAOUI-AZAZA, F & GUEDDARI, M. 2015. Suitability for human consumption and agriculture purposes of Sminja aquifer groundwater in Zaghouan (north-east of Tunisia) using GIS and geochemistry techniques. *Environmental Geochemistry and Health*. Vol. 35, 6: 21p.
- AMEUR, M. HAMZAOUI-AZAZA, F & GUEDDARI, M. 2016. Nitrate contamination of Sminja aquifer groundwater in Zaghouan, northeast Tunisia: WQI and GIS assessments. *Desalination and Water Treatment*. 11p. <http://dx.doi.org/10.1080/19443994.2015.1137495>
- ATTIA R, AGREBAOUI S & HAMROUNI H. 2005. Application des Directives CAR/PAP pour la formulation d'un programme de gestion de contrôle de l'érosion et de la désertification. Cas du bassin versant de l'Oued Rmel. Rapport final. Programme d'Actions Prioritaires (PNUE). 78p.

HAMZAOUI-AZAZA F, AMEUR M, BOUHLILA R & GUEDDARI M. 2012. Geochemical Characterization of Groundwater in a Miocene Aquifer, Southeastern Tunisia. *Environnemental and Engineering Geoscience* 18: 159-174.

WHO, 2011. Guidelines for drinking-water quality. 4th ed., Geneva, p 541.

REKAYA M. 1981. Contribution à l'étude hydrogéologique du bassin versant de l'Oued Rmel. Thèse de 3ème cycle, Université Pierre et Marie Curie Paris VI, 122 p.

RICHARDS, L. A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soil. Agricultural Handbook 60. USDA, Washington, USA.

