

# CONTRIBUTION À L'ÉTUDE DE LA POLLUTION DES EAUX SOUTERRAINES : CAS DE LA NAPPE ALLUVIALE DU HAUT CHELIFF.

Dahbia DJOUDAR-HALLAL\* et Ahmed Chérif TOUBAL\*\*

## RÉSUMÉ

La méthode proposée combine les données issues de la chimie de l'eau et les résultats obtenus par l'application du modèle DRASTIC pour approcher le degré de sensibilité à la pollution des aquifères (Pusalti et *al.*, 2009). L'indice de sensibilité de la nappe alluviale du Haut Cheliff est alors assimilé au produit de l'indice DRASTIC de vulnérabilité (IV) par l'indice de qualité chimique (IQ) des eaux. Ce dernier est calculé sur la base de la classification proposée par Pusalti et *al.* (2009), pour les eaux d'irrigation, et sur celle proposée par Neubert et Banabdellah (2003), pour les eaux destinées à l'alimentation en eau potable. Les cartes de sensibilité obtenues, révèlent des zones qui coïncident avec celles de fortes activités anthropiques.

**Mots-clés** - Sensibilité - Pollution de l'eau - Haut Cheliff - SIG - Algérie.

## CONTRIBUTION TO THE STUDY OF THE GROUND WATER POLLUTION : THE CASE OF THE HIGH CHELIFF ALLUVIAL AQUIFER

### ABSTRACT

The method suggested combines the data resulting from chemistry of water and the results obtained by the application from the DRASTIC model to approach the degree of sensitivity to the pollution of aquifers (Pusalti and *al.*, 2009). The sensibility index is calculated by taking the product of the DRASTIC vulnerability index (IV) and the chemical quality index (IQ) of waters. The IQ is calculated on the basis of the classification proposed by Pusalti and *al.* (2009), for irrigation waters, and on that proposed by Neubert and Benabdellah (2008), for those intended for drinkable water supply. The obtained maps of sensibility reveal zones that coincide almost perfectly with those of strong anthropological activities

**Keywords** - Sensitivity - Water Pollution - High Cheliff - GIS - Algeria.

---

\*\*Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique, Blida, Algérie. dalydz@yahoo.fr.

\*\*FSTGAT / USTHB, BP. 32, El Alia. Bab Ezzouar, Alger, Algérie.

- Manuscrit déposé le 08 Mars 2011, accepté après révision le 02 Juin 2011.

## I - INTRODUCTION

Les eaux souterraines et les eaux de surface constituent une ressource économique importante et un patrimoine écologique sensible qu'il importe de gérer et de préserver. La protection naturelle des eaux souterraines est assurée par un ensemble de conditions d'alimentation, de gisement et d'écoulement, définissant le degré de vulnérabilité de l'aquifère. Un grand nombre de modèles déterministes existe, permettant de suivre l'évolution et le comportement des polluants dans le milieu souterrain. Cependant, ces modèles sont peu utilisables, exigeant une masse importante d'informations fiables souvent non-disponibles. Ceci a contraint les chercheurs à travailler sur l'élaboration de nouvelles méthodes permettant de contourner ces lacunes. Parmi ces nouveautés, nous citons la vulnérabilité des eaux à la pollution, ce concept est assez récent, il présente l'avantage de combiner plusieurs paramètres, permettant aux chercheurs d'avancer dans leurs travaux car la méthode est encore perfectible et s'adapte à toutes les situations. Ce qui a eu pour effet de multiplier les approches de travail. À l'heure actuelle et dans le but de donner plus de crédibilité aux résultats obtenus, on essaye de combiner plusieurs méthodes. L'introduction du concept de vulnérabilité des eaux à la pollution, exprimant la sensibilité de la nappe aux différents agents pollueurs, peut pallier à l'insuffisance de l'information.

## II - MÉTHODOLOGIE

L'indice de sensibilité à la pollution de l'eau (IS) est le produit de l'indice DRASTIC de vulnérabilité (IV) et de l'indice de qualité des eaux (IQ) (Pusalti et al., 2009).

$$IS = (IV) * (IQ) \quad (1)$$

Le risque de dégradation de la qualité des eaux souterraines est mesuré par l'indice IV, obtenu par la méthode DRASTIC. Toutefois,

des hypothèses sont émises : (i) la méthode DRASTIC est applicable à l'échelle régionale; (ii) la source initiale de pollution se répand dans le milieu à partir de la surface; (iii) la qualité du contaminant n'intervient pas sur le degré de vulnérabilité. Il est à noter que l'estimation de l'indice final (IV) nécessite d'évaluer d'abord l'indice DRASTIC partiel pour chacun des sept paramètres (D, R, A, S, T, I et C). Cet indice partiel est assigné d'un poids et d'une côte allant, respectivement, de 1 à 5 et de 1 à 10, définissant le degré de vulnérabilité (Aller et al., 1987). L'indice DRASTIC (IV) correspond à la somme pondérée des poids par les côtes des sept paramètres propres à chaque région hydrogéologique.

L'indexation de la sensibilité de la qualité de l'eau tient compte de la classification des eaux en cinq groupes, en fonction de chaque concentration des ions pris en compte : **I** : eau très bonne, **II** : bonne, **III** : utilisable, **IV** : utilisable avec prudence et **V** : nocive. Les limites de chaque classe, utilisées pour les paramètres considérés, sont énumérées dans les tableaux I et II. L'indice de qualité ponctuelle est calculé selon la formulation (2) suivante :

$$IQ = \sum_i^n (C_i)^2 \quad (2)$$

La sommation est globalement considérée comme un paramètre de qualité (des ions).  $C_i$  est la classe du paramètre  $i$  (ion) ayant une valeur entière entre 1 et 5 à un endroit donné. L'utilisation du carré de la concentration  $C_i$  de chaque ion permet de renforcer l'effet des classes de mauvaise qualité.

L'indice de la qualité de l'eau d'irrigation (IQ irrigation) et l'indice de la qualité de l'eau destinée à l'AEP (IQ AEP) sont calculés, en utilisant les données des analyses chimiques en saison sèche (basses eaux, octobre 2007), période où la nappe est très sollicitée par les agriculteurs.

CONTRIBUTION À L'ÉTUDE DE LA POLLUTION DES EAUX SOUTERRAINES :  
CAS DE LA NAPPE ALLUVIALE DU HAUT CHÉLIFF

**Tableau I** - Classification de l'eau d'irrigation (Pusalti et al., 2009).

*Irrigation water classification (Pusalti et al., 2009).*

Paramètres	Classe I (très bonne)	Classe II (bonne)	Classe III (utilisable)	Classe IV (utilisable avec prudence)	Classe V (nocive)
EC ( $\mu\text{S/cm}$ ) (à 25°C)	0 - 250	250 - 750	750 - 2000	2000 - 3000	> 3000
Cl (mg/l)	0 - 142	142 - 249	249 - 426	426 - 710	> 710
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	0 - 10	oct-30	30 - 50	50 - 100	> 100
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	0 - 192	192 - 336	336 - 575	576 - 960	> 960
Na <sup>+</sup> (mg/l)	0 - 69	69 - 200	200 - 252		> 252

**Tableau II** - Classification de l'eau potable (Saïdi et al., 2009)

*Drinking water classification (Saidi et al., 2009)*

Paramètres	Classe I (très bonne)	Classe II (bonne)	Classe III (utilisable)	Classe IV (utilisable avec prudence)	Classe V (nocive)
EC ( $\mu\text{S/cm}$ ) (à 25°C)	0 - 180	180 - 400	400 - 2000	2000 - 3000	> 3000
Cl (mg/l)	0 - 25	25 - 200			> 200
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	0 - 10	oct-25	25 - 50		> 50
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	0 - 25	25 - 250			> 250
Na <sup>+</sup> (mg/l)	0 - 20	20 - 200			> 200

Seuls les éléments chimiques dont la concentration est élevée sont pris en considération, à savoir : chlorures, sodium, nitrates et les sulfates ainsi que la valeur de la conductivité électrique (CE).

Un nombre entier (1 à 5) est attribué à chaque concentration  $C_i$  d'un élément  $i$ , défini dans les tableaux I (eau d'irrigation) et II (eau potable AEP). L'indice de sensibilité de l'eau de chaque point d'eau est calculé en utilisant la formule (1). La valeur de l'indice DRASTIC, pour chaque point d'eau considéré, est multipliée par la valeur de l'indice de qualité de l'eau à la pollution obtenue par la formule (2) pour le même point d'eau pris en considération.

Deux cartes de sensibilité sont élaborées : la carte de l'indice de sensibilité de l'eau d'irrigation (fig. 8) et celle des eaux destinées à l'alimentation en eau potable (fig. 9).

### III - APPLICATION À LA NAPPE ALLUVIALE DU HAUT CHELIFF

Un climat aride, des ressources en eau très sollicitées

Située à 100 km au sud-ouest d'Alger, la zone d'étude correspond à la Haute vallée du Cheliff (fig. 1). La région est caractérisée par des étés très chauds et des hivers tièdes. La température moyenne est de 18,8°C. Les précipitations se caractérisent par une irrégularité interannuelle avec une sécheresse qui sévit depuis les années 1980. La lame d'eau précipitée est estimée à 434 mm en moyenne (Bouziane-Rahmani, 2006).

La dépression du Haut Cheliff est constituée, dans son ensemble, par des terrains d'âge mio-plio-quadernaire, représentés essentiellement par des dépôts alluvionnaires de l'oued Cheliff.

Le bassin versant du Haut Cheliff est traversé d'est en ouest par l'Oued Cheliff, où convergent les principaux affluents : Millet, Souffay et Boutaan au nord, Deurdeur, Massine et Harraza au sud. La plaine est à vocation agricole avec une diversité des cultures (arbres fruitiers, céréales, légumes,...). L'oued Cheliff joue un rôle prépondérant sur l'alimentation des eaux souterraines en compensant les déficits d'infiltration par les précipitations par une recharge automatique au niveau des berges (Mania et Djeda, 1990).

Le bassin du Cheliff contient trois aquifères principaux :

#### - Aquifère alluvionnaire quaternaire

Ce réservoir qui est le plus important, est composé de graviers, sables, galets et argiles. Il affleure au niveau des bordures de la plaine. Son

épaisseur varie de 70 à 90m en bordure de la plaine, elle augmente en allant vers le centre de la plaine jusqu'à atteindre 150m du côté de Khemis Méliana), de Sidi Lakhdar, par contre du côté des Aribis et de Bir ouled khelifa, elle ne dépasse pas les 50m.

#### - Aquifère gréseux mio-pliocène

Constitué de grès et poudingues, ce réservoir plonge sous les alluvions anciennes; réservoirs mio-pliocène et quaternaire sont séparés par un banc d'argile de cinq mètres d'épaisseur. Vers l'ouest les deux formations sont en contact direct.

#### - Aquifère gréseux du Tortonien (Miocène supérieur)

Constitué également de grès et poudingues, il affleure principalement à l'est de la région

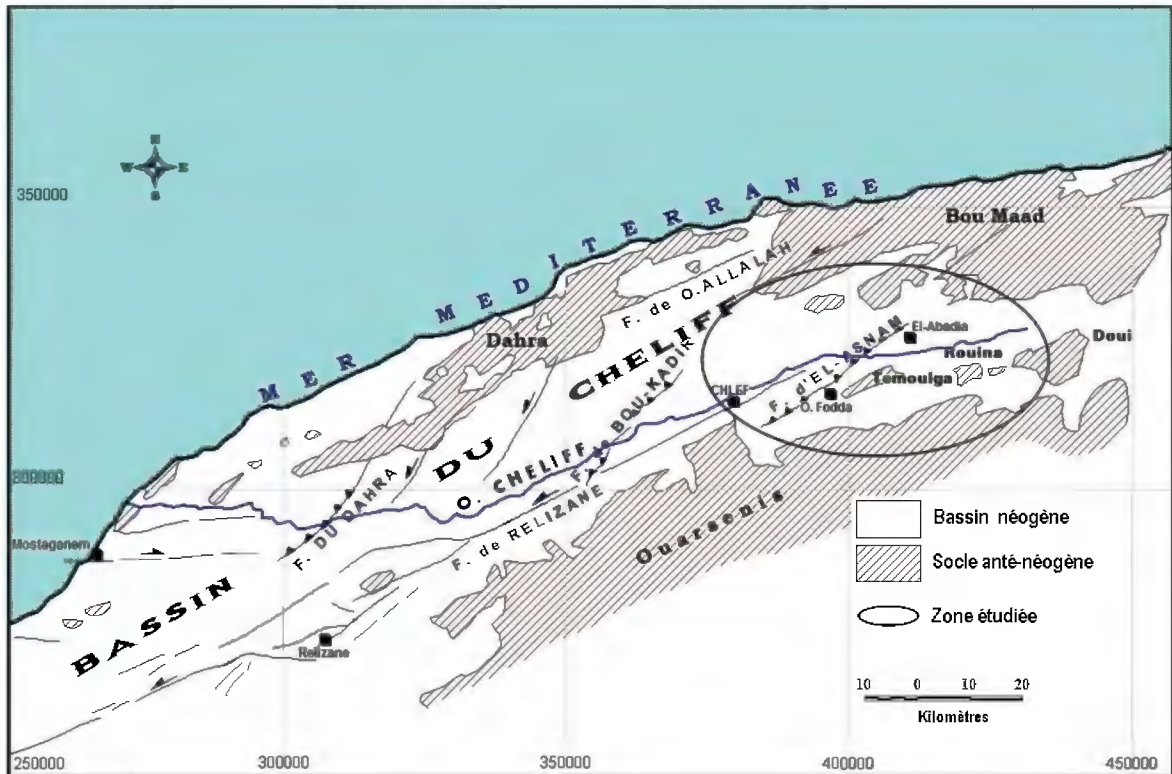


Fig. 1 - Localisation de la région d'étude.

*Location of the studied area.*

CONTRIBUTION À L'ÉTUDE DE LA POLLUTION DES EAUX SOUTERRAINES :  
CAS DE LA NAPPE ALLUVIALE DU HAUT CHÉLIFF

d'Aïn Sultane, formant le Djebel Gountas. Au nord, il apparaît sous forme de petits affleurements. Puissant de 139 m, le Miocène supérieur se trouve sous les alluvions anciennes à une profondeur de 78 m; le contact entre les deux formations existe.

L'étude piézométrique de la nappe alluviale, en période des hautes eaux 2007, fait ressortir une direction majeure de l'écoulement souterrain, sensiblement parallèle à l'axe de l'Oued Cheliff (fig. 2).

La zone ouest, au sud des Aribis, montre une dépression induite par les pompages intensifs exécutés dans les puits et les forages. Le gradient hydraulique y est particulièrement élevé, avec des valeurs de l'ordre de 1,75%.

Au nord-est de la plaine, on observe une in-

version locale du sens de l'écoulement, depuis l'oued vers le forage F4, avec toutefois un gradient hydraulique modéré, de l'ordre de 0.5% .

Les ressources en eau de la plaine sont assez importantes et sont constituées par les oueds régularisés (ouvrages de mobilisation des eaux) et non régularisés, drainant toutes les eaux vers l'Oued Cheliff. Les ressources souterraines annuelles constituent une réserve hydrique de l'ordre de 16 hm<sup>3</sup> et un volume exploitable de 23,419 hm<sup>3</sup> (Meddi, 2008). Quant aux ressources en eau superficielle, l'Office National de l'Irrigation et du Drainage (ONID) a alloué un volume d'eau de 43 hm<sup>3</sup> en 2007 et de 25 hm<sup>3</sup> en 2008, provenant des deux barrages de Ghrib et de Deurdeur pour une superficie irriguée de 2781 ha sur un total de 20200 ha de superficie équipée.

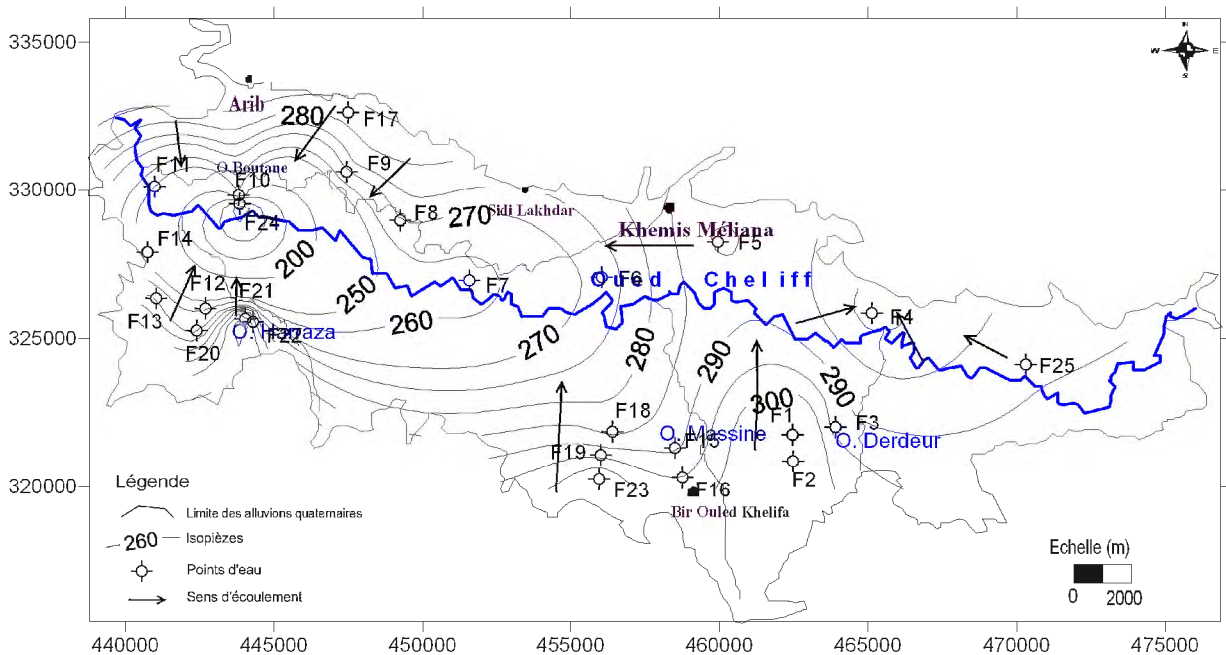


Fig. 2 - Carte piézométrique de la nappe alluviale du Haut Cheliff (Avril, 2007).

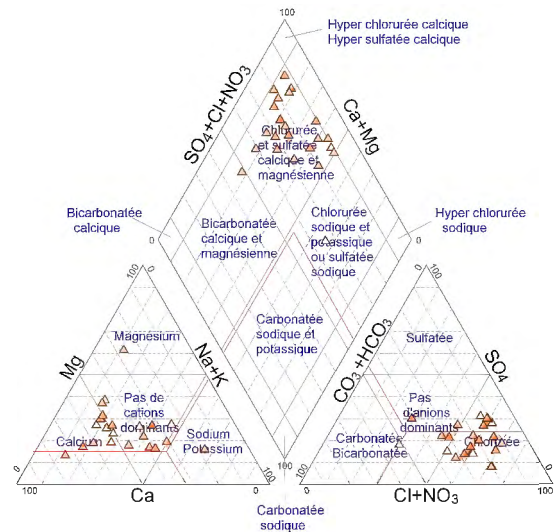
*Piezometric map of the High Cheliff alluvial aquifer (April, 2007).*

Une pollution naturelle avérée des eaux souterraines.

Les analyses chimiques effectuées en 2007 (tableau III) par l'Agence Nationale des Ressources Hydriques mettent en évidence un faciès chimique dominant de type chloruré calcique et sulfaté magnésien ainsi qu'un faciès de type chloruré sodique (fig.3).

**Fig. 3 - Diagramme de Piper des eaux de la nappe alluviale (Octobre 2007)**

**Piper diagram of the alluvial aquifer water (October 2007)**



**Tableau III - Résultats des analyses chimiques de la campagne d'Octobre 2007.**

**Chemical analysis results of the campaign in October 2007.**

N°	Point d'eau	Na mg/l	Cl mg/l	SO <sub>4</sub> mg/l	NO <sub>3</sub> mg/l	CE mmhos	R.Sec mg/l	pH
1	W084-129	75	299	254	68	1,96	1 295	7,7
2	W084-72	98	538	300	61	2,75	1 802	7,2
3	W084-166	93	271	90	60	1,42	910	7,2
4	W084-127	106	184	83	130	1,23	774	7
5	W084-139	236	553	258	46	2,63	1 844	7,2
6	W084-8	97	558	188	115	2,42	1 924	7,2
7	W084-155	530	1 130	423	74	5,17	3 414	7,2
8	W084-12	104	610	290	72	3,03	2 246	7,5
9	W084-14	123	375	117	6	1,78	1 175	7,2
10	W084-22	270	307	139	75	1,76	1 090	7,5
11	W084-39	50	391	65	70	1,8	1 188	7,3
12	W084-63	145	705	535	15	3,89	3 082	7,1
13	W084-92	58	167	139	77	1,27	904	7,2
14	W084-104	368	823	513	19	4,46	3 087	7,5
15	W084-131	37	143	47	46	1	758	7,7
16	W084-136	20	49	42	5	0,46	359	7,1
17	W084-143	256	515	88	110	2,29	1 573	7,3
18	W084-154	108	311	203	49	1,94	1 280	7,4
19	W084-170	61	241	92	63	1,25	825	7,4
20	W084-182	256	508	328	51	3,01	1 841	7,5
21	W084-196	48	124	178	8	1,12	876	7,4
22	W084-310	424	818	580	41	3,94	3 003	7,3
23	W084-311	463	1 230	840	9	6,27	4 823	7,2
24	W085-6	138	420	183	79	2,28	1 505	7,2



CONTRIBUTION À L'ÉTUDE DE LA POLLUTION DES EAUX SOUTERRAINES :  
CAS DE LA NAPPE ALLUVIALE DU HAUT CHÉLIFF

Une irrégularité entre les deux rives de l'Oued Cheliff est observée (fig. 4). Les eaux de la rive droite sont plus chargées en éléments chimiques avec un résidu sec supérieur à 1500 mg/l, seuil fixé par l'organisation mondiale de la santé O.M.S (Rodier, 1996). Elles atteignent 3000 à 4800 mg/l, dans la partie nord-ouest (Arib), à l'est dans la région de Djendel et au sud de la plaine entre l'axe de l'Oued Massine et Oued Deurdeur, près de la localité Bir Ouled Khelifa .

Le pH de ces eaux varie entre 7 et 8 mais les concentrations en nitrates (fig. 5) dépassent les normes de potabilité (50 mg/l), fixée par l'O.M.S (Rodier, 1996). Dans la majorité des points d'eau de la rive droite, la concentration oscille entre 51 et 320 mg/l pour les deux périodes; hautes et basses eaux de la campagne 2007.

Cette hausse des valeurs peut être expliquée soit par le lessivage des engrais azotés et des

produits phyto-sanitaires (vu la vocation essentiellement agricole de la région sur les deux rives), soit aux rejets d'eaux usées et la présence de fosses sceptiques qui produisent une contamination suite à la concentration des agglomérations en bordures nord, sud et est de la plaine; zones coïncidant parfaitement avec les plages de fortes concentrations en nitrates.

L'étude hydrochimique met en évidence une pollution des eaux par les chlorures en quantité importante. Il est à remarquer que l'ion chlorure possède des caractéristiques différentes de celles des autres éléments. Il n'est pas adsorbé par les formations géologiques, ne se combine pas facilement avec les éléments chimiques et reste très mobile. Il constitue un bon indicateur de la pollution (Gouaidia, 2008). La concentration en chlorures dépasse la norme de potabilité, fixée par l'O.M.S à 250 mg/l, dans 82 % des puits (fig. 6). Cet ion peut avoir plusieurs origines :

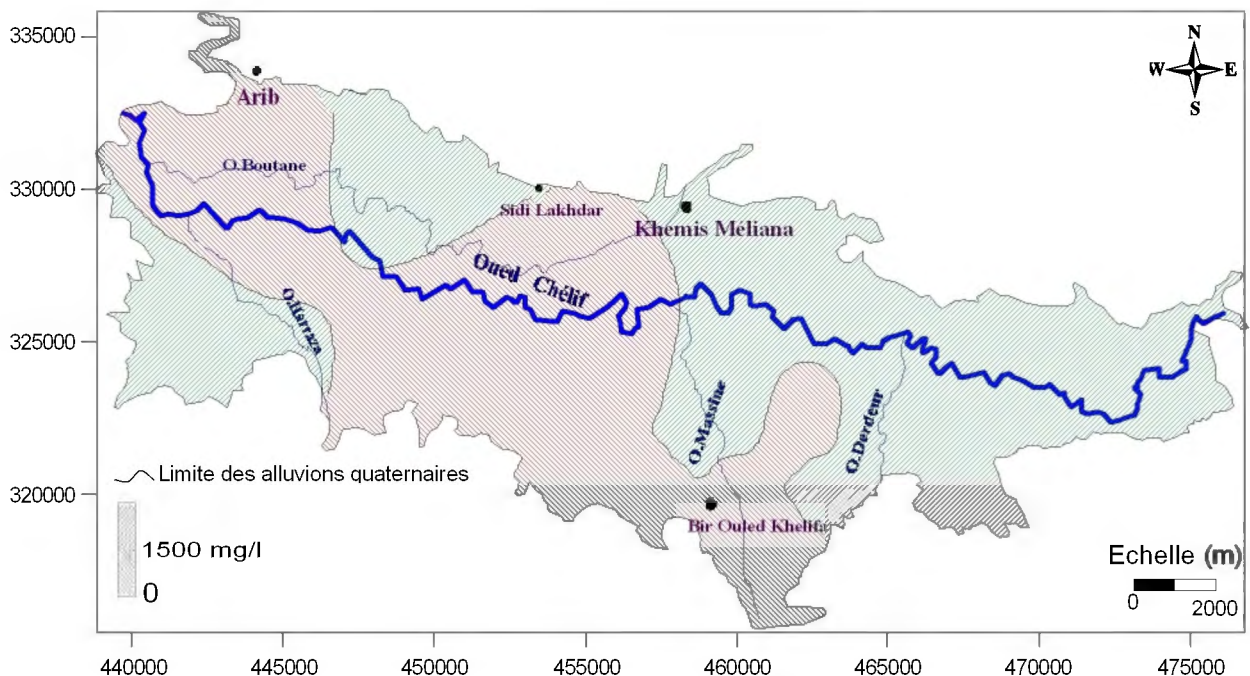


Fig. 4 - Carte du résidu sec des eaux de la nappe alluviale (Octobre 2007).

*Map of the dry residue of the alluvial aquifer water (October 2007).*

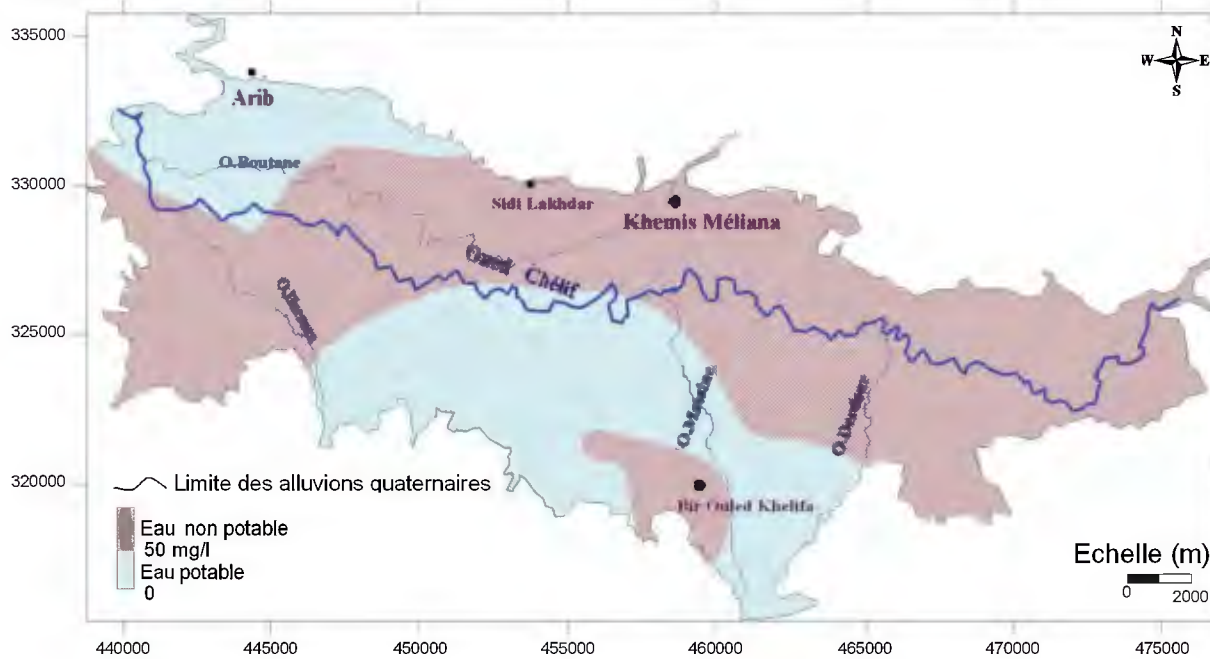


Fig. 5 - Carte des nitrates (Basses Eaux : Octobre 2007).

*Map of nitrates (Low Waters: October 2007).*

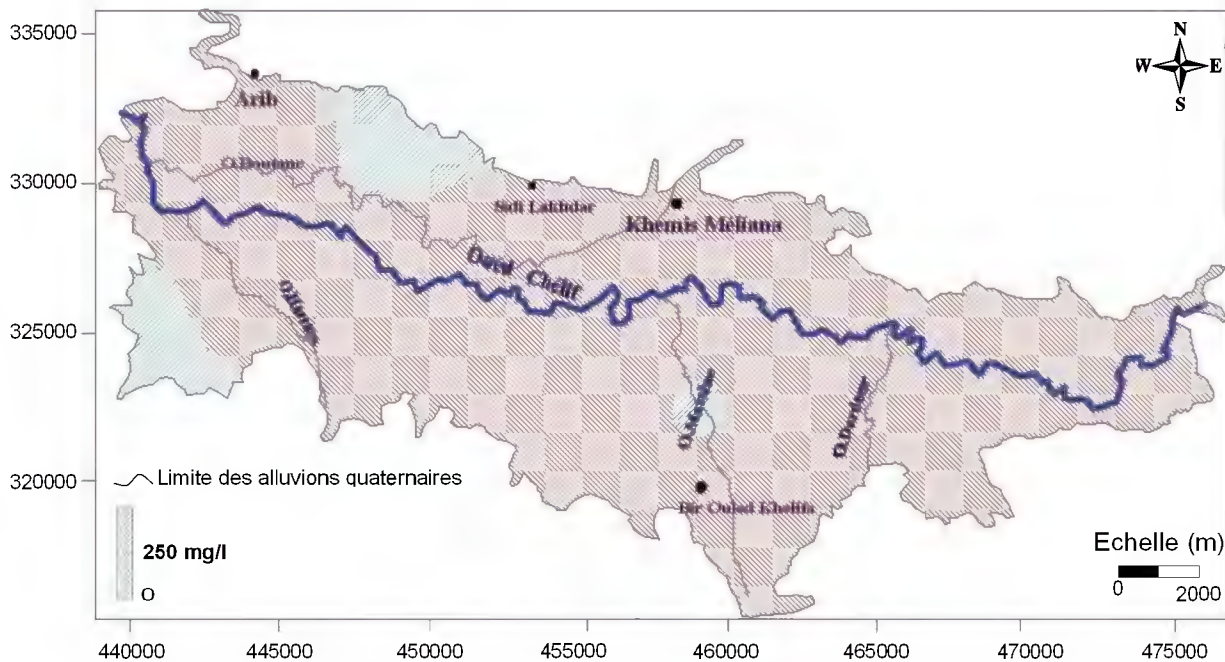


Fig. 6 - Carte des chlorures (Basses Eaux : Octobre 2007).

*Map of chloride (Low Waters: October 2007).*



CONTRIBUTION À L'ÉTUDE DE LA POLLUTION DES EAUX SOUTERRAINES :  
CAS DE LA NAPPE ALLUVIALE DU HAUT CHÉLIFF

- les argiles schisteuses du Néocomien au nord et à l'ouest du Zaccar;
- les flyschs de l'Albien qui se développent dans le massif de Boumaad à l'est et du Doui à l'ouest;
- les alluvions d'âge mio-plio-quaternaire de la dépression, qui sont à dominance argileuse et qui sont particulièrement développés au sud de la plaine;
- le déversement des eaux usées dans la plaine.

férentes échelles de vulnérabilité et déterminant chacune une unité hydrogéologique distincte :

- l'unité 1B, de faible vulnérabilité, s'étend selon une direction nord ouest-sud est, principalement en périphérie de la nappe alluviale;

- l'unité 1C, de moyenne vulnérabilité, s'étale parallèlement à la première unité. Elle est superposable aux axes des oueds de la zone d'étude, excepté la région de l'Arib et de Khemis Meliana au nord ainsi qu'une plage au sud-ouest en rive gauche de l'Oued Cheliff.

#### IV- RÉSULTATS ET DISCUSSION

##### - Carte DRASTIC

La carte DRASTIC (fig. 7) (Khenchlaoui, 2002) permet d'identifier deux zones ayant dif-

Selon cet auteur, l'unité hydrogéologique 1B individualise une zone de faible vulnérabilité avec un indice DRASTIC compris entre 94 et 112. Elle est caractérisée par la présence d'une couverture limono-argileuse reposant sur

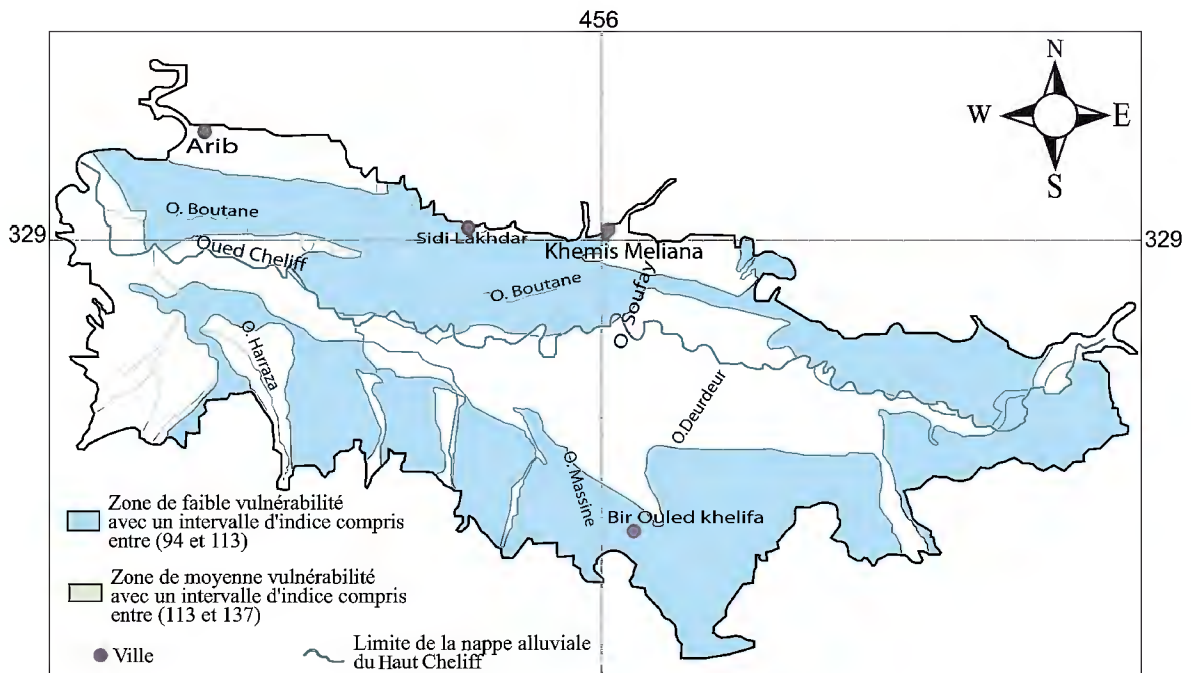


Fig. 7 - Carte de vulnérabilité des eaux de la nappe alluviale du Haut Cheliff (DRASTIC) (D.Khenchlaoui, 2002).

*Vulnerability map of the waters of the High Cheliff alluvial aquifer (DRASTIC) (D. Khenchlaoui, 2002).*

des limons et des argiles constituant le matériel de la zone vadose. L'aquifère saturé est constitué de galet, de gravier et parfois de sables. La prédominance de la fraction argileuse dans les terrains de couverture (sol et zone non saturée), influe sur la recharge et limite ainsi, les risques de propagation des polluants de la surface du sol jusqu'en profondeur.

L'unité hydrogéologique 1C est caractérisée par la présence d'une couverture argileuse et parfois limoneuse reposant sur des galets et des graviers. La profondeur de la nappe est relativement faible.

La lame d'eau infiltrée pour la période 1980-2004 est estimée à 35,8 mm (Bouziane-Rahmani, 2006), favorisée par la nature perméable du lit majeur de l'oued. C'est une zone identifiée de moyenne vulnérabilité avec un indice DRASTIC variant de 113 à 137.

### - Carte de l'indice de la sensibilité de l'eau d'irrigation

La figure 8 montre que l'eau est globalement de mauvaise qualité avec un indice de sensibilité supérieure à 2800, d'où une forte à très forte sensibilité dans la majeure partie (90%) de la zone d'étude. Ceci est confirmé par les cartes des nitrates (fig. 5) et des chlorures (fig. 6) qui mettent en exergue une pollution d'origine essentiellement anthropique associée au lessivage des formations en contact de l'eau souterraine.

Les zones de moyenne et faible sensibilité (inférieure à 2800), sont très peu représentées dans la nappe, elles occupent une faible superficie et sont localisées au Nord de Sidi Lakhdar à l'ouest de Khemis Meliana et à l'est des Aribis. Une faible étendue de ces deux zones est observée du côté de la rive gauche au sud-est de la région d'étude, à l'est de la localité de Bir Ouled

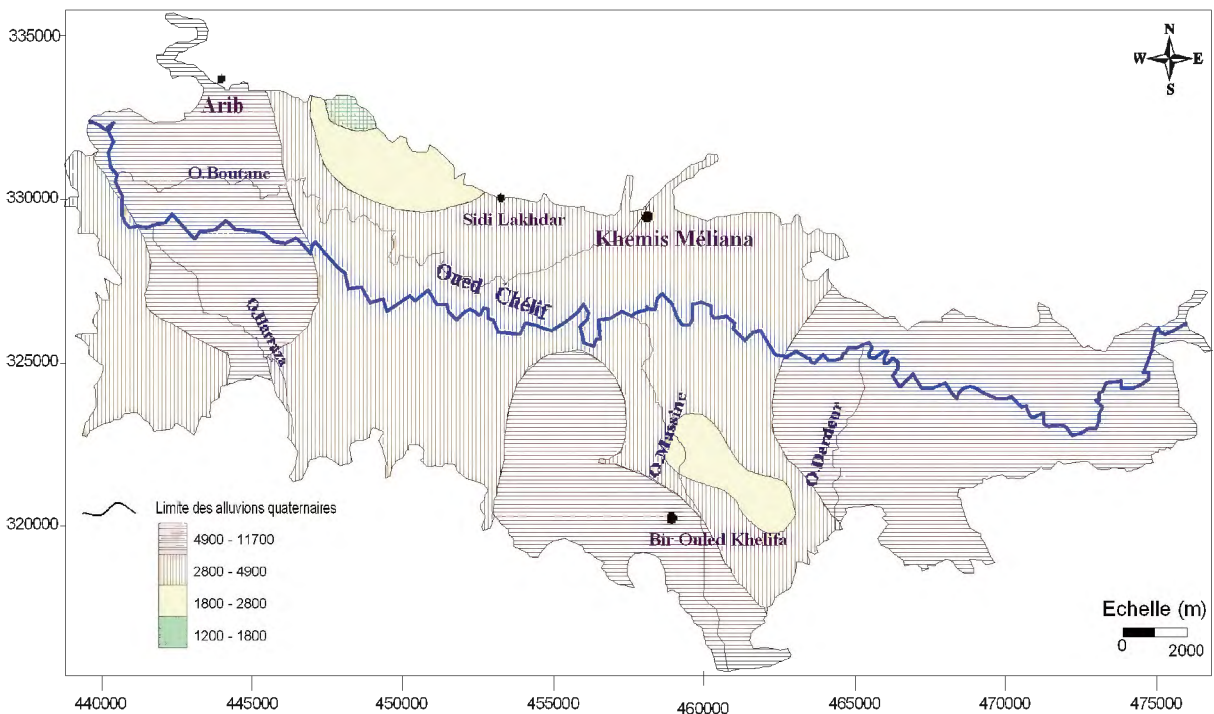


Fig. 8 - Carte de l'indice de sensibilité de l'eau d'irrigation de la nappe alluviale du Haut Cheliff.

*Map of the sensitivity index of the High Cheliff alluvial aquifer irrigation water.*

CONTRIBUTION À L'ÉTUDE DE LA POLLUTION DES EAUX SOUTERRAINES :  
CAS DE LA NAPPE ALLUVIALE DU HAUT CHÉLIFF

Khelifa. Ces secteurs sont généralement caractérisés par une faible vulnérabilité, selon DRASTIC, car ils sont favorisés par la profondeur du niveau de la nappe, la nature lithologique du matériel de la zone vadose ainsi que le type de sol à dominance argileuse qui empêchent la progression rapide d'une substance polluante vers la nappe.

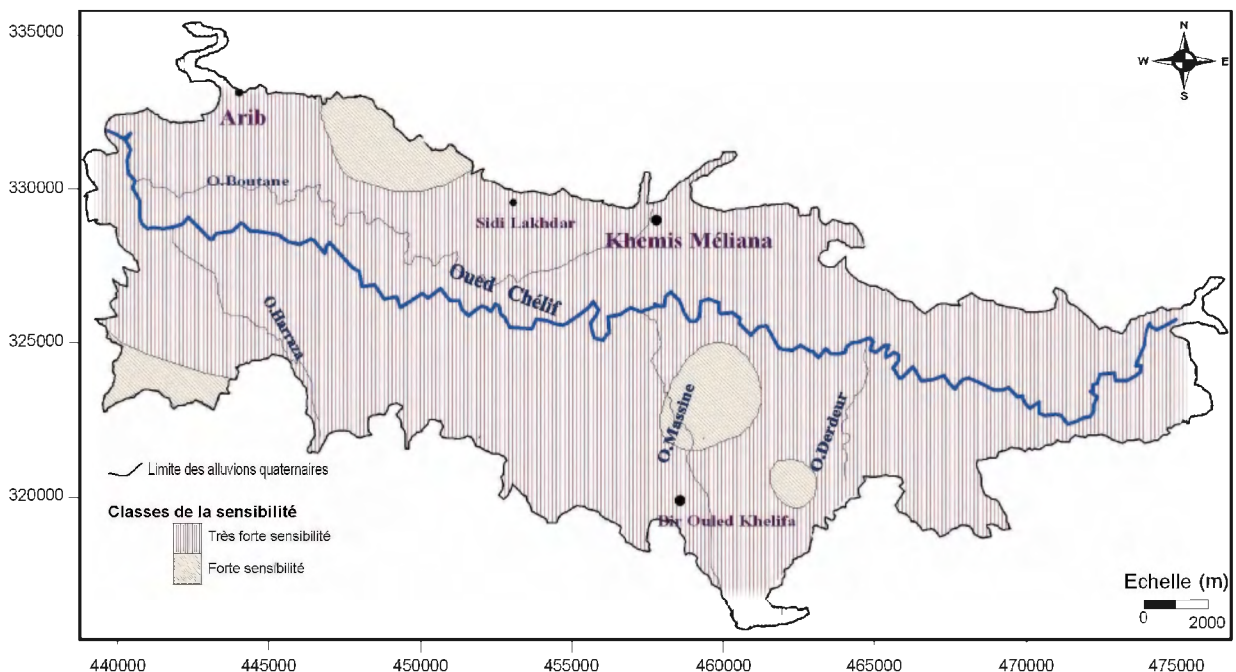
**- Carte de l'indice de sensibilité de l'eau destinée à l'alimentation en eau potable**

D'après la figure 9, les eaux destinées à l'AEP sont caractérisées par une sensibilité très forte. Les zones indiquant une forte sensibilité se résument à une petite surface au nord-ouest vers les Arib, au sud-ouest de l'Oued Harraza, au sud-est de la région d'étude et à l'est de Bir Ouled Khelifa entre l'axe des Oueds Massine et Deurdeur où s'individualisent deux petites pla-

ges. Ces résultats sont superposables à ceux obtenus par les cartes des nitrates (fig. 5) et des chlorures (fig. 6), renforçant ainsi l'hypothèse d'une pollution par les nitrates et les chlorures en excès dans l'eau souterraine de la zone d'étude.

**V - CONCLUSION**

La combinaison du modèle DRASTIC et de la méthode d'indexation de la qualité des eaux a permis de compiler les données hydrogéologiques et hydrochimiques en se basant sur une cotation numérique, intégrant le SIG. Deux cartes de sensibilité sont élaborées, résultat du croisement des deux méthodes : la carte de sensibilité des eaux d'irrigation et celle des eaux destinées à l'alimentation en eau potable. L'application de cette combinaison, proposée par Pusalti en 2009, a permis d'identifier l'existence d'une pollution



**Fig. 9 - Carte de l'indice de sensibilité de l'eau destinée à l'AEP de la nappe alluviale du Haut Cheliff.**  
**Map of the sensitivity index of the High Cheliff alluvial aquifer water for the AEP.**

des eaux. La comparaison des résultats obtenus montre que la méthode d'indexation constitue aussi un outil appréciable d'aide à la décision dans les domaines de l'hydraulique et de l'environnement. De surcroît, elle complète l'étude de vulnérabilité DRASTIC déjà établie par khenchlaoui en 2002 et apporte une amélioration de cette dernière et une précision sur la ressource en eau étudiée, concernant la sensibilité de l'eau destinée à l'alimentation en eau potable et l'eau d'irrigation.

**Remerciements** : Nous tenons à remercier vivement le Professeur Touaibia Benina (de l'Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique de Blida) ainsi que le Professeur Lehtihet Abdelhalim pour leurs conseils et critiques.

#### BIBLIOGRAPHIE

- ALLER, I., BENETT, T., LEHR, J.-H., PETTY, R.-J. AND HACKET, G. 1987.** DRASTIC a standardized system for evaluation of ground water pollution, potential using hydrogeology setting. *Rapport EPA, NWWA. Ohio. USA.* 455 p., 22 cartes.
- BOUZIANE-RAHMANI, A. 2006.** Vulnérabilité à la pollution de la nappe alluviale du Haut Cheliff. Application de la méthode DRASTIC assistée par le SIG. *Mémoire d'ingénieur, ENSH.* 118p.
- CAUSAPÉ, J., QUILEZ, D. AND ARAGUÉS, R. 2006.** Ground water quality in CR-V irrigation district (Bardenas I, Spain): Alternative scenarios to reduce off-site salt and nitrate contamination. *Agricultural Water Management*, 84, pp. 281-289.
- DJOU DAR-HALLAL, D. ET TOUBAL, A.C. 2009.** Vulnérabilité à la pollution de la nappe alluviale de la Mitidja orientale, Algérie. *4<sup>ème</sup> Congrès européen sur les lagunes côtières*, 22, p. 222.
- GOUAIDIA, L. 2008.** Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico-chimiques des eaux d'une nappe en zone semi aride, cas de la nappe de Meskiana. Nord-Est algérien. *Thèse de Doctorat en Sciences. Univ. Badji Mokhtar, Annaba*, 130p.
- IDRES, M., LEFORT, J.-P. ET AÏFA, T. 1998.** Modélisations gravimétriques et magnétiques des structures profondes du bassin du Cheliff (Algérie). *Bull. du Serv. Géol. de l'Alg.*, vol. 9, n°1, pp.21-32.
- KHENCHLAOUI, D. 2002.** Cartographie de la vulnérabilité à la pollution. Application à l'aquifère plio-quaternaire du Haut et Moyen Chélif oriental. *Mémoire d'ingénieur, IST / USTHB / ALGER*, 140p.
- MANIA, J. ET DJEDA, F. 1990.** Hydrogéologie de la plaine alluviale du Haut Cheliff de la région de khemis-Miliana (Algérie) *Bull. Soc. Géol. France*, 1990, (8), t. VI, n°3, pp. 505-513.
- MATTAUER, M. 1958.** Étude géologique de l'Ouarsenis oriental. Algérie. *Publ. Serv. Carte Algérie, 17; Thèse Université Franche Comté, Besançon (France)*, 534p.
- MEDDI, M. 2008.** Impact des changements climatiques sur les eaux souterraines (cas du bassin hydrographique chefs-gardes) groundwater and climate in Africa, Kampala Uganda. *Communication à la Conférence Internationale "Ground water and climate in Africa" du 24 au 28 Juin 2008.*
- MEGHRAOUI, M., CISTERNAS, A. AND PHILIP, H. 1986.** Seismo-tectonics of the lower Cheliff basin: structural background of the El Esnam (Algeria) Earthquake. *Tectonics*, 5, 6, pp. 809-836.
- NEUBERT, S. ET BENABDELLAH, S. 2003.** La réutilisation des eaux usées en Tunisie. *Étude et rapport d'expertise 11/2003*, 96p.
- PERRODON, A. 1957.** Etude géologique des bassins néogènes sub-littoraux de l'Algérie nord occidentale. *Publ. Serv. Carte Algérie*, 12; *Thèse Université de Paris VI (France)*.
- PUSATLI TOLGA, O., ZEKI CAMUR, M. AND YAZICIGIL, H. 2009.** Susceptibility indexing method for irrigation water management planning: Applications to K. Menderes river basin, Turkey. Department of Geological Engineering, Middle East Technical University, 06531 Ankara, Turkey. *Journal of Environmental Management*, volume 90, issue 1, pp. 341-347.

CONTRIBUTION À L'ÉTUDE DE LA POLLUTION DES EAUX SOUTERRAINES :  
CAS DE LA NAPPE ALLUVIALE DU HAUT CHÉLIFF

- RODIER, J. 1996.** L'analyse de l'eau. Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. *8<sup>ème</sup> édition*, Dunod, Paris, 1383p.
- SAIDI, S., BOURI, S., BENDHIA, H. AND ANSELEM, B. 2009.** A GIS based susceptibility indexing method for irrigation and drinking water management planning : Application to Chebba - Meloulouch aquifer. Tunisia, *Agricultural Water Management*, 96, pp. 1683-1690.
- SERVICE DU GÉNIE RURALE ET DE L'HYDRAULIQUE AGRICOLE (R.A.D.P.). 1969.** Arrondissement d'El Asnam. Prospection géophysique dans la vallée du Cheliff, Zone I, plaine d'El Khemis (21 Octobre-5 Avril 1969).