

ÉTUDE DE LA QUALITÉ DES EAUX AU NORD-OUEST DE L'ALGÉRIE (Cas du bassin de Haut Cheliff) *

TOUHARI FADHILA **

École Nationale Supérieure d'Hydraulique Blida - ALGÉRIE

Résumé

Les eaux superficielles et souterraines sont des ressources importantes et essentielles dans de nombreux pays, et jouent souvent un rôle essentiel dans l'approvisionnement en eau à la fois pour la consommation et l'irrigation. Durant les dernières décennies, la demande en eau a considérablement augmenté, en particulier dans les pays en développement, sous l'effet de la croissance de la population, l'amélioration du niveau de vie, le développement de l'industrie et de l'agriculture et à l'urbanisation. Cela a conduit à des pressions croissantes sur les ressources en eau. Les prélèvements excessifs de l'eau souterraine au cours des dernières décennies pour satisfaire ces demandes ont donné lieu à des problèmes graves: diminution du niveau hydrostatique, dégradation de la qualité des eaux souterraines et détérioration des écosystèmes.

Il est donc essentiel de quantifier et d'analyser la quantité et la qualité des réserves en eau et de trouver le moyen de gérer cette ressource pour en assurer la durabilité.

L'objectif principal recherché dans ce contexte est d'arriver à étudier la qualité des eaux souterraines et superficielles dans la région du Haut Cheliff.

Les objectifs de notre étude sont comme suit :

- Donner un aperçu sur les paramètres de la qualité et sur la méthodologie d'étude d'une eau souterraine et de surface.
- Localisation et présentation de la région d'étude et de ses caractéristiques ainsi que l'analyse des conditions climatiques et hydrologiques essentielles.
- Mettre l'accent sur l'étude du cadre naturel géologique et hydrogéologique et de la piézométrie en relation avec la qualité chimique.
- Évaluer ensuite la qualité des eaux de surface à travers les fiches de qualité réalisées et leurs interprétations pour chaque barrage.
- Étude de l'évolution des paramètres chimiques dans le temps et dans l'espace en abordant les mécanismes d'acquisition de la minéralisation des eaux souterraines.
- Nos efforts porteront également sur les dépendances et relations entre les divers paramètres physico-chimiques de l'eau ainsi que leurs origines.
- Identification des sources de pollution et leurs impacts sur les eaux souterraines du haut Cheliff.

* Thèse de Doctorat ès Sciences.

** Directeur de thèse : M.MEDDI Mohamed, Professeur – E.N.S.H BLIDA.

Introduction

L'eau peut être rare dans certains endroits, comme les zones arides et semi-arides, ou peut tout simplement être d'une qualité médiocre dans d'autres endroits. Il est certain que l'augmentation de la demande en eau pour les activités humaines accentuera les contraintes sur cette ressource. En outre, les facteurs naturels, tels que la sécheresse ou les contraintes géologiques, ont un effet sur l'approvisionnement en eau potable et sur sa distribution.

Dans ce contexte, la présente étude s'ajoute à des travaux de recherche plus anciens, et ce pour donner un aperçu scientifique, du point de vue qualitatif et quantitatif, sur l'état actuel de la région du Haut Cheliff. La qualité des eaux de cette région a subi ces dernières années une certaine détérioration, à cause de rejets urbains non contrôlés, de l'utilisation intensive d'engrais chimiques et fertilisants dans l'agriculture ainsi que de son exploitation désordonnée. Ces éléments modifient le chimisme de l'eau et la rendent impropre aux usages souhaités.

C'est dans ce cadre que cette étude a été menée en vue d'analyser la qualité des eaux au niveau de ladite région.

I. Présentation de la région d'étude

La zone d'étude correspond au Bassin du Haut Chélif, elle est située à 110 km au Sud-ouest d'Alger et fait partie du bassin hydrographique de Cheliff. (Figure 01)

La région du Haut Cheliff a une vocation agricole nécessitant une irrigation par aspersion en raison d'un climat continental semi-aride avec des étés très secs (la température moyenne interannuelle oscille entre 13 et 19°C, avec un maximum mensuel de plus de 30°C enregistré au mois de juillet) et des épisodes pluvieux d'hiver provoquant parfois des inondations spectaculaires de l'Oued Cheliff. La construction des barrages Ghrib, Deurdeur, Harreza, Sidi M'hamed Ben Taiba et Ouled Mellouk a permis de régulariser les débits des oueds et de fournir de l'eau d'irrigation de avril à septembre.

La pluviométrie moyenne interannuelle varie entre 300 et 500 mm. Elle est plus concentrée dans les altitudes, sur les versants Sud du Zaccar et Nord de l'Ouarsenis. D'après la carte de l'évapotranspiration potentielle du Nord de l'Algérie, sur tout le bassin du Haut Cheliff, l'évapotranspiration annuelle varie de 1200 à 1500 mm.

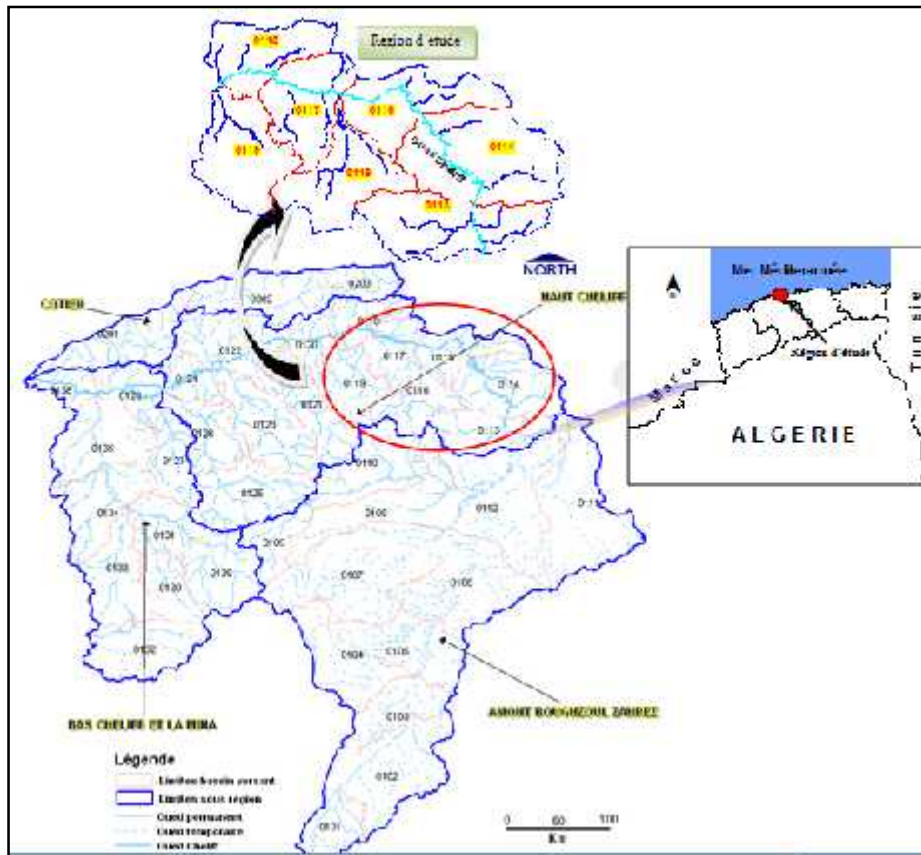


Figure 1: Carte de localisation du Bassin versant du Haut Cheliff.

II. Géologie et Hydrogéologie de la région du Haut Cheliff

La plaine du Haut Cheliff est située entre 36°12' et 36°30' de latitude Nord et 2°02' et 2°44' de longitude Est. Elle est limitée au Nord par les calcaires dolomitiques du djebel Zaccar (1 578 m d'altitude) et les grès de djebel Gantas, et au Sud par les premiers contreforts du massif de l'Ouarsenis marno-argilo-gréseux (figure 02). On y pénètre à l'Est par le seuil de Djendel à 308m d'altitude et on en sort à l'Ouest par le seuil de Doui à 248m (Mania 1990).

La plaine du Haut Cheliff correspond à une vaste zone déprimée subsidente d'orientation Est-Ouest où des sédiments Miocène, Pliocène et Quaternaire se sont accumulés. Les coupes lithologiques transversales effectuées dans la plaine du Haut Cheliff, font apparaître l'allure synclinale des différentes formations constituant le sous-sol.

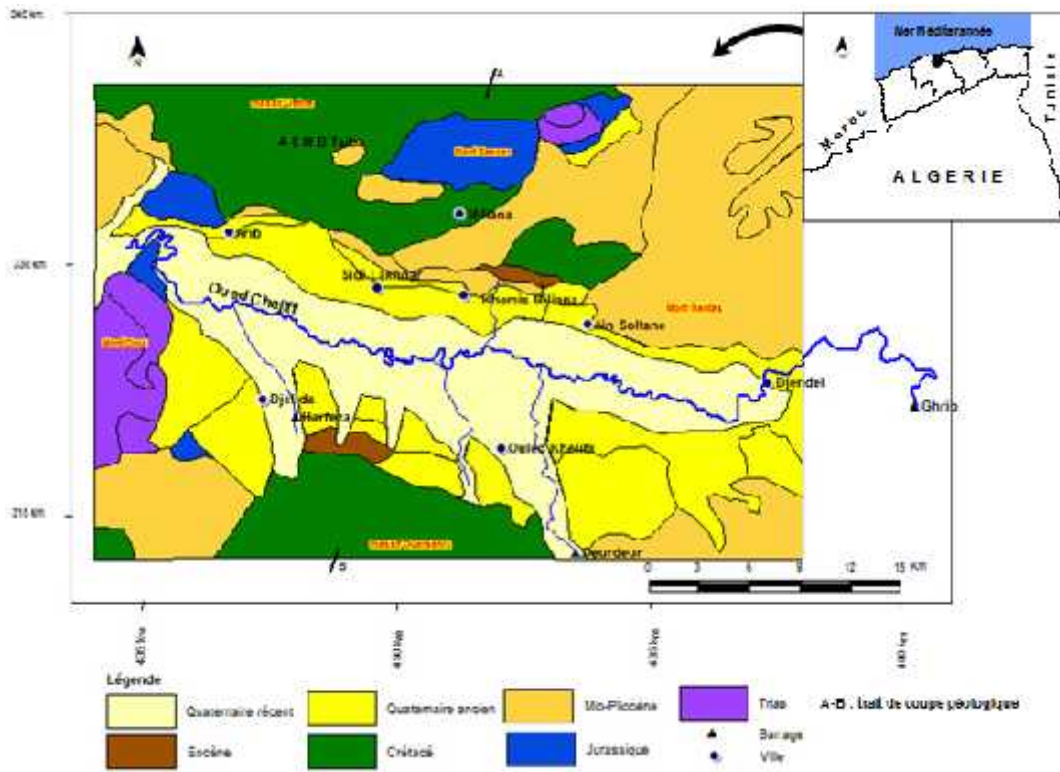


Figure 02 : Carte géologique simplifiée d'après le 1/50.000 de Miliana.

Suite aux campagnes piézométriques effectuées en hautes et basses eaux de l'année 2002 et 2008, nous avons constaté que les cartes piézométriques présentent la même morphologie et la même allure des courbes piézométriques. Les écoulements de la nappe se font à partir des bordures vers l'axe central de la vallée avant de prendre une direction Est-Ouest parallèlement au cours d'eau principal de l'oued Cheliff, mais avec une certaine augmentation du niveau piézométrique due à la recharge de la nappe à la suite d'une forte pluviométrie annuelle durant l'année 2008. On remarque, néanmoins, une certaine perturbation locale au niveau de la zone centrale et Sud de la plaine en 2008, due à la surexploitation de la nappe pour assurer l'irrigation.

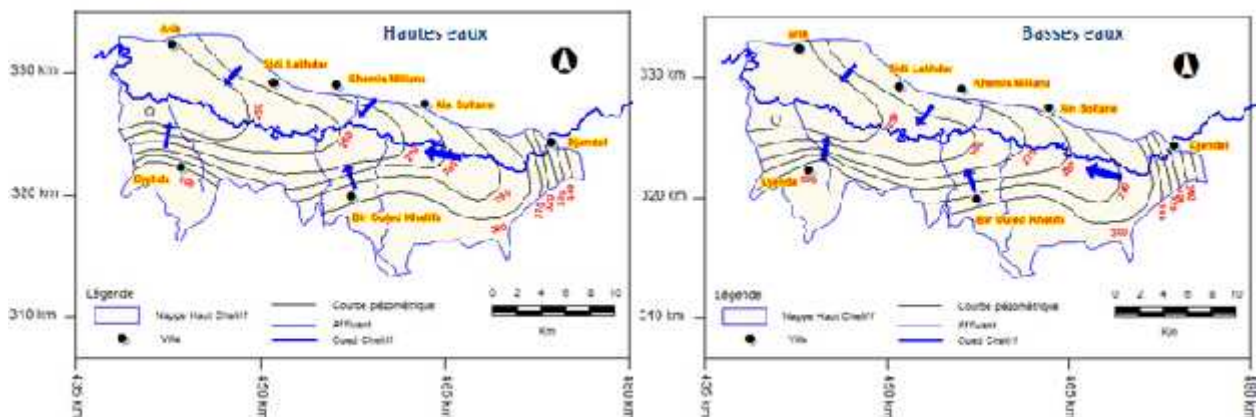


Figure 03: Carte piézométrique en période de Hautes eaux et basses eaux ,2002.

III. Qualité des eaux de surface

Ce travail fera l'objet d'une étude d'évaluation de la qualité des eaux des barrages sur la base du suivi des paramètres physico-chimiques, lequel suivi est assuré par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) pour une période de dix années (1999-2008).

Nous donnons d'abord, l'état de la qualité des eaux du barrage lorsque ce dernier est doté d'un réseau de surveillance, puis l'origine et la quantité des pollutions que reçoit chaque bassin versant du barrage.

La surveillance et l'évaluation de l'état qualitatif des eaux exigent un réseau de mesure de la qualité des eaux, des analyses régulières, une interprétation de ces analyses ainsi qu'une comparaison des résultats avec les normes de qualité admises.

L'étude de la qualité des eaux de barrage du Haut Cheliff portera sur les cinq (05) barrages en exploitation ; Ghrib, Deurdeur, Harreza et Ouled Mellouk. Ces barrages font l'objet d'un suivi de la qualité des eaux à travers l'existence des stations de surveillance relevant de l'ANRH.

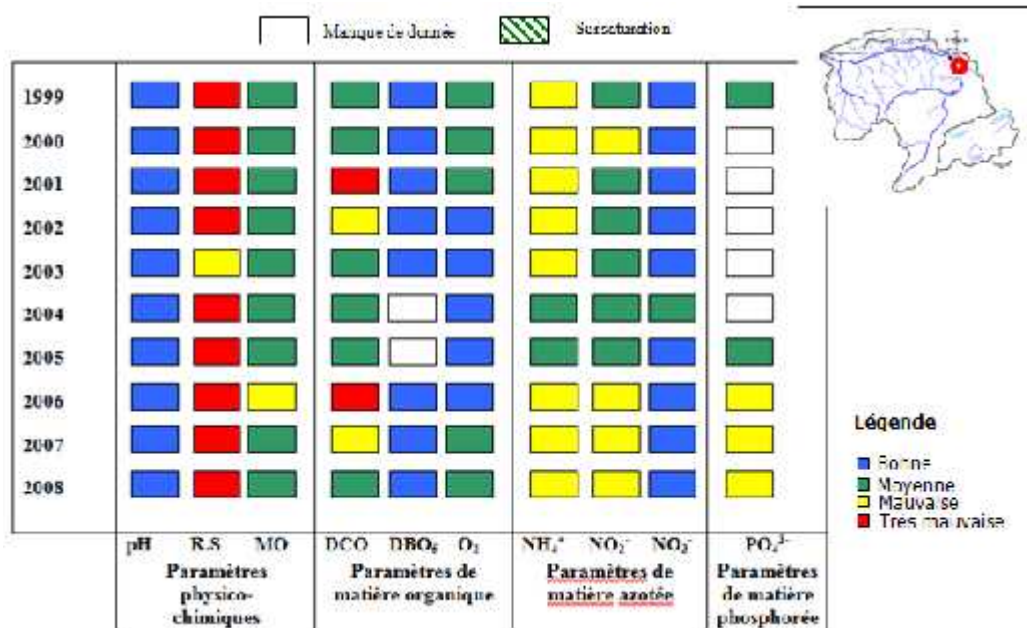


Figure 04 : Fiche de la qualité moyenne annuelle des eaux du barrage Ghrib (1999-2008)

L'importance et la gravité de cette pollution sont confirmées par les résultats constatés dans l'étude de la qualité des eaux superficielles dans la région du Haut Cheliff, à savoir :

- Les fiches de qualité des eaux montrent une dégradation de cette qualité pour l'ensemble des barrages (une pollution organique exprimée en DCO en MO) au cours du temps. En effet, la quantité enregistrée du DCO dépasse souvent 50 mg/l, et celle du MO aussi dépasse les 15 mg/l. Cette pollution est due aux rejets des eaux usées et au processus d'eutrophisation.
- Les eaux des barrages montrent une salinité très élevée (résidu sec =2 574 mg/ l en 2008 pour les eaux du barrage Ghrib, norme=1500mg/l). La teneur des eaux en matières azotées (NH₄⁺, NO₂⁻) est élevée en 2008 dans le barrage O. Mellouk. Cette pollution est due à l'oxydation de la matière organique azotée.
- La charge polluante arrivant aux bassins versants des barrages est caractérisée par la charge polluante des établissements d'élevage en premier lieu et par sa valeur élevée dans presque tous les bassins versants en deuxième lieu.

IV. Caractérisation hydrogéochimique des eaux souterraines

Le présent chapitre traite du chimisme des eaux souterraines, et nous permettra de tenter à expliquer le comportement, l'origine et l'évolution des éléments chimiques décrits pour l'explication du fonctionnement hydraulique du système aquifère.

L'étude se base principalement sur les informations de (04) quatre campagnes de prélèvement, réalisées à partir de 47 points d'eau en 2002, et de 50 points d'eau en 2008, tous répartis sur le terrain. Comme la plaine du Haut Cheliff est à vocation agricole, un intérêt particulier y sera accordé.

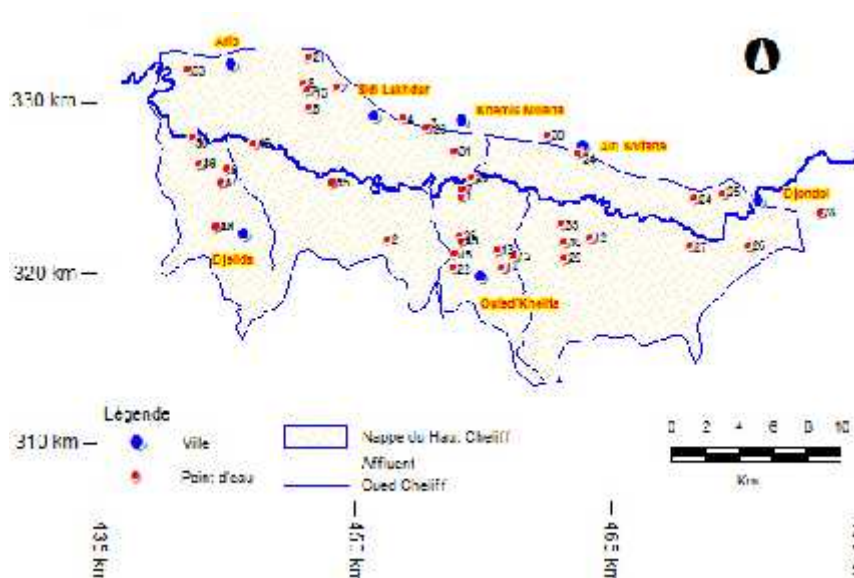


Figure 05 : Inventaire des points d'eaux de la plaine du Haut Cheliff.

La matrice de corrélation de Pearson (Swan et Sandilands 1995) a été utilisée pour trouver des relations entre deux ou plusieurs éléments. L'analyse de la matrice de corrélation (tableau 01) permet de retenir les éléments corrélés deux à deux avec un coefficient de corrélation (r) significatif. On remarque qu'en 2002, le R.sec est parfaitement corrélé au calcium ($R= 0,78$), au magnésium ($R= 0,75$), au sodium ($R= 0,85$), aux chlorures ($R= 0,94$) et aux sulfates ($R= 0,69$). Par ailleurs, on note une légère augmentation de coefficients de corrélation, en 2008, pour les ions calcium et magnésium.

Tableau 01 : Matrice de corrélation entre les variables en 2002.

Variables	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	R.Sec
Ca ²⁺	1							
Mg ²⁺	0,79	1						
Na ⁺ +K ⁺	0,33	0,43	1					
Cl ⁻	0,77	0,76	0,80	1				
SO ₄ ⁻²	0,38	0,57	0,61	0,46	1			
HCO ₃ ⁻	0,17	0,10	0,24	0,13	0,14	1		
NO ₃ ⁻	0,04	-0,06	-0,32	-0,16	-0,40	-0,09	1	
R.Sec	0,75	0,78	0,85	0,94	0,69	0,26	-0,20	1

Les plus fortes concentrations de ces éléments sont observées au sud de la plaine, sur la rive gauche de l'oued Cheliff, et près des villes de Djendel, Bir Ouled Khelifa et Djelida. En effet, le déversement des eaux usées domestiques provenant des agglomérations qui se situent dans la

plaine (17 points de rejets) et qui est estimé à 15 000 m³/j environ, sans que ces eaux soient traitées au préalable, nuit à la qualité des eaux souterraines. La localisation de fortes concentrations peut être liée, en quelque sorte, à ces déversements.

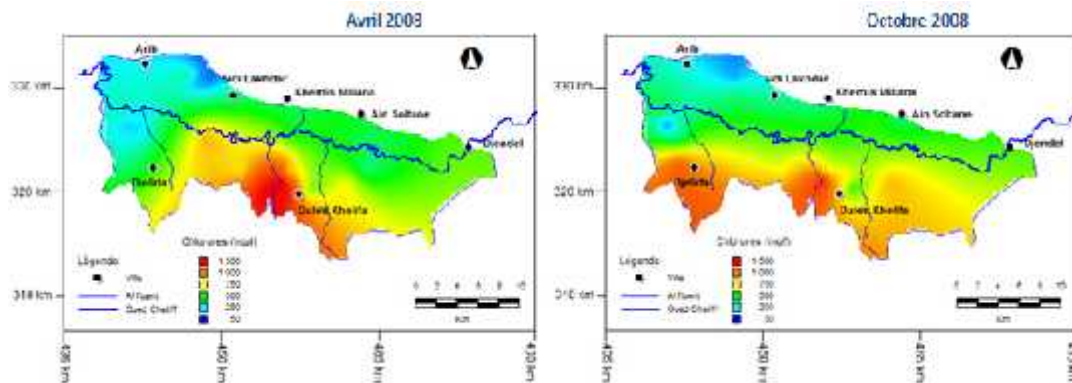


Figure 06: Carte de chlorures, périodes de hautes et de basses eaux 2002 et 2008 (mg/l).

La distribution de nitrate est très différente. Les plus fortes concentrations se trouvent à l'Est, près de Djendel, au sud près de Bir ouled Khelifa, au nord à Sidi lakhdar et à l'ouest au niveau de Djelida. Ces très fortes teneurs sont dues à l'activité des vergers, lesquels occupent une grande partie de la superficie et bénéficient de l'apport abusif en engrais, pesticides, fumiers ainsi qu'en rejets de collectivités.

La projection des individus sur le plan F1-F2 a révélé que (voir figure 07) :

- ✓ L'axe F1 montre l'opposition entre les eaux faiblement minéralisées (figure 07A) se trouvant au Nord-Ouest et à l'Ouest de l'aquifère (aux bordures du massif de Doui et Zaccar en particulier) et les eaux fortement minéralisées qui se trouvent au Sud de la nappe sur la rive gauche de l'oued Cheliff et cela pour les deux années 2002 et 2008.
- ✓ L'axe F2 montre également une opposition entre les eaux riches en bicarbonates (figure 07B) et les eaux faiblement chargées en cet élément. Les premières se localisent sur la rive droite de l'oued Cheliff au Nord et au Nord-ouest de la nappe à proximité des bordures des massifs du Zaccar et de Doui. Les secondes se situent au Sud de la nappe.

Les eaux fortement chargées en nitrates se localisent à l'Est et au Sud de la nappe, près des agglomérations de Djendel, Bir Ouled Khelifa et de Djelida.

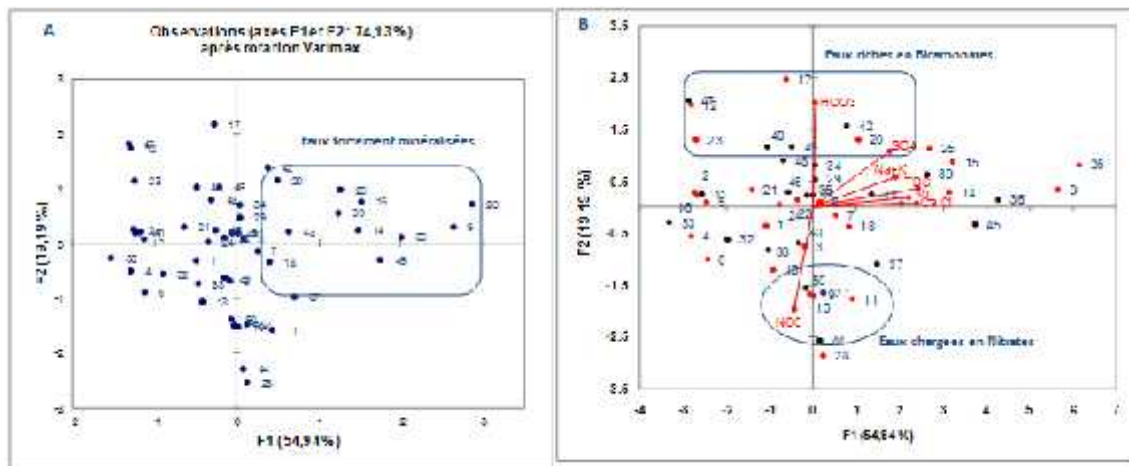


Figure 07 : Projection des individus sur le plan factoriel (F1-F2) en 2008

L'examen du tableau 2 montre que les faciès chimiques les plus répandus pour l'année 2002, sont de type Chloruré Calcique ; 17 échantillons sur 28, soit ; 61% en périodes de hautes eaux et 08 échantillons sur 19, soit ; 42% en périodes de basses eaux. S'en suit le faciès chloruré sodique avec 10 échantillons sur 28, soit ; 36% en hautes eaux et 6 échantillons sur 22, soit ; 27% en basses eaux. Le faciès bicarbonaté calcique représente 11% (3 échantillons) et 11% (2 échantillons), respectivement en hautes et basses eaux. Enfin, on signale la présence d'un faciès chloruré magnésien (4%) durant la campagne de hautes eaux et un faciès sulfaté-calcique (3 % et 10 % durant les campagnes de hautes et basses eaux).

Tableau 02: Faciès chimiques des eaux souterraines de l'aquifère du Haut Cheliff en 2002.

Campagne	Facile des eaux	Faciès chimique	(%)	(%)
Avril 2002	Chloruré	Chloruré calcique	61	169/104
		Chloruré sodique	21	155/84
		Chloruré magnésien	01	182/84
	Sulfaté	Sulfaté calcique	03	73/84
	Bicarbonaté	Bicarbonaté calcique	11	196/84
Septembre 2002	Chloruré	Chloruré calcique	42	169/104
		Chloruré sodique	37	154/84
	Sulfaté	Sulfaté calcique	10	69/101
	Bicarbonaté	Bicarbonaté calcique	11	127/84

Cependant, il existe une caractéristique notable de la nappe phréatique du Haut Cheliff ; l'enrichissement en Cl^- par rapport à Na^+ (figures 08d). Cet excès ne peut s'expliquer que par l'existence d'une autre origine de cet ion que la dissolution de la halite. Il peut également y avoir une origine anthropique. En effet, les eaux usées urbaines sont rejetées sans traitement dans l'environnement et peuvent atteindre les eaux souterraines par infiltration.

L'augmentation des teneurs en Cl^- et qui a accompagné les faibles teneurs en Na^+ est due au phénomène d'échange de base, car les argiles du substratum peuvent libérer des ions Ca^{2+} après avoir fixé le Na^+ .

Les rapports Ca^{2+} vs SO_4^{2-} (Fig. 08a), Ca^{2+} vs HCO_3^- (Fig. 08b) et Ca^{2+} vs Mg^{2+} (Fig. 08c) montrent, cependant, un excès important de Ca^{2+} , et ceci indique que l'origine de Ca^{2+} n'est pas dû au seul fait de la dissolution de la calcite et de gypse, et confirme ainsi l'hypothèse d'une contribution de Ca^{2+} par échange d'ions.

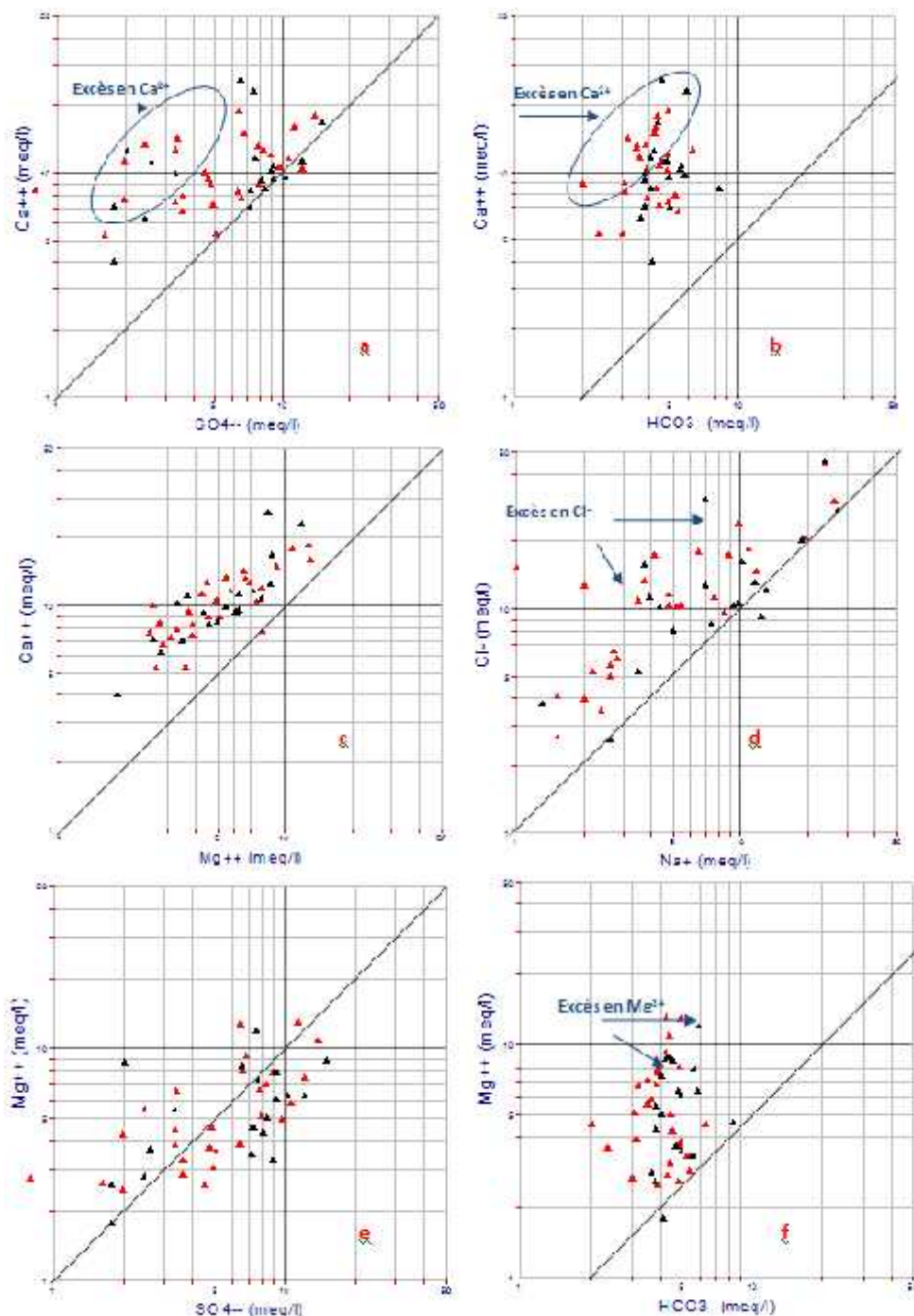


Figure 08 : Relations entre les principaux éléments majeurs 2002.

Dans cette étude, la plupart des points se trouvent du côté $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ (Fig. 09), ce qui suggère que l'échange de base est le processus hydrogéochimique majeur fonctionnant dans cet aquifère.

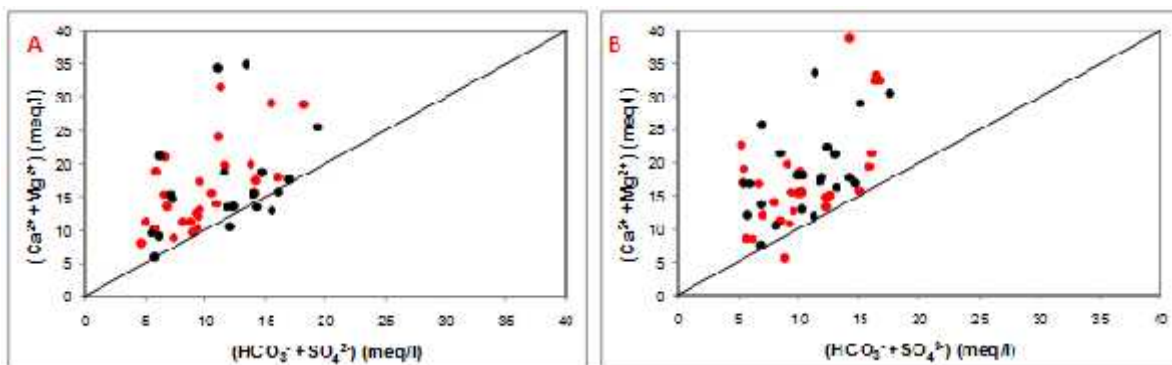


Figure 09: Relation entre $(Ca^{2+} + Mg^{2+})$ et $(HCO_3^- + SO_4^{2-})$ en 2002 (A) et 2008(B).

Le calcul de l'indice de saturation des minéraux carbonatés et gypsifères a montré que les premiers ont tendance à précipiter avant les seconds, ceci a permis aux éléments chimiques provenant de la dissolution des gypses d'acquérir des teneurs importantes.

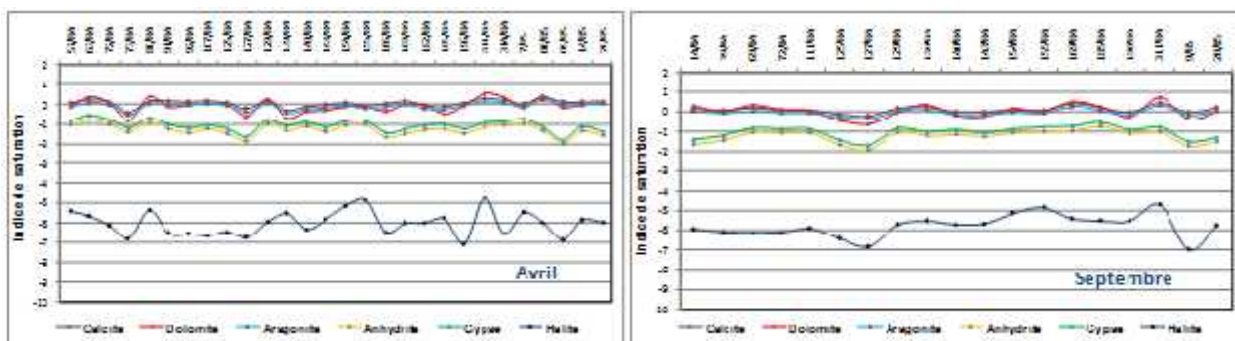


Figure 10: Variation de l'indice de saturation des minéraux, avril et septembre 2002.

Le tableau 3 montre que la quasi-totalité des eaux analysées sont très dures pour les deux périodes, avec un D.H.T supérieur à 54 °F. De fortes teneurs en magnésium et en calcium dépassant le seuil fixé par l'OMS font que ces eaux soient très dures.

Tableau 3 : Classification des eaux selon leurs DHT.

D.H.T (en °F)		0-7	7-14	14-22	22-32	32-54	>54	
Qualification de l'eau		Très douce	Douce	Modérément douce	Assez douce	Dure	Très dure	
(% des échantillons)	2002	Avril	-	-	-	18	82	
		Septembre	-	-	-	05	16	79
	2008	Avril	-	-	-	04	07	89
		Octobre	-	-	-	-	09	91
Usage Domestique		Bonne Potabilité		Potabilité passable		Potabilité médiocre à mauvaise		

Les résultats de cette étude ont permis d'améliorer considérablement la compréhension de l'aquifère qui est une ressource importante pour le développement de cette région. Des mesures urgentes doivent être prises rapidement par les autorités pour faire face à la grave dégradation de cette ressource.

V. Sources de pollution dans la nappe

La nappe du haut Cheliff englobe plusieurs communes : Djendel, Khemis Miliana, Sidi Lakhdar, Bir Ouled Khelifa, Ain Soltane, Djelida et Arib. Les sources de pollution qui libèrent plus de charge polluante sont principalement les rejets domestiques et industriels, l'élevage, et

les décharges publiques non contrôlées. Il en est de même pour les abattoirs et les décharges hospitalières mais avec des charges moins importantes.

La figure (07) montre que les diverses pollutions en fortes charges se concentrent dans la commune de Khemis Miliana, avec 678 903 Eq hab., suivie par la commune de Ain Soltane avec 403 578 Eq hab. et celle de Sidi Lakhdar avec 203 541 Eq hab. et enfin la commune de Djelida, Djendel et de Bir Ouled Khelifa.

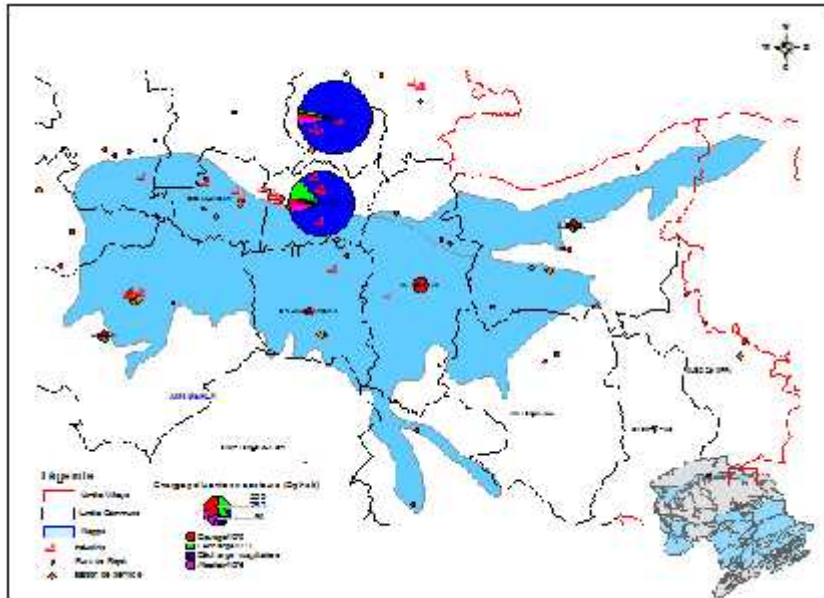


Figure 1: Charge polluante dans la nappe du Haut Cheliff

Conclusion

- La répartition spatiale des éléments chimiques montre que le chimisme est fortement lié à la lithologie de la nappe, conséquence de la dissolution des formations carbonatées et des formations évaporitiques;
- Le suivi de la qualité des eaux dans le temps a montré l'effet des précipitations et de l'évaporation sur la minéralisation des eaux souterraines;
- Dans la plaine du Haut Cheliff, la majorité des éléments chimiques analysés dépassent les normes fixées par l'OMS. En effet, les fortes teneurs en calcium et magnésium font que ces eaux soient très dures (91 % des points d'eau sont très durs en période des basses eaux 2008).

Comprendre l'hydrochimie et la qualité des eaux souterraines est essentiel pour préserver cette ressource et afin qu'elle puisse répondre aux besoins en eau, actuels et futurs, dans de nombreux pays. Dans le Nord-ouest de l'Algérie, les ressources en eaux souterraines de la plaine du Haut Cheliff jouent un rôle essentiel pour l'approvisionnement en eau potable et l'utilisation de l'eau à des fins agricoles. Cependant, la dégradation de cette ressource précieuse s'accroît, ce qui reflète un manque de connaissance des processus de minéralisation des eaux souterraines et une absence de gestion rationnelle.

Perspectives d'application

Pour protéger ces ressources en eau contre la pollution, et pour mener à bien les nouveaux projets d'aménagements, il est recommandé de respecter la carte de vulnérabilité des eaux à la pollution.

Proposer une modélisation de l'écoulement des eaux souterraines et un transfert des polluants chimiques au niveau de la plaine sera utile pour connaître leur dispersion sur l'ensemble de la plaine.

Références bibliographiques

- Abderamane H. Razack M. & Vassolo S. (2012):** hydrogeochemical and isotopic characterization of the groundwater in the chari-baguirmi depression. Republic of Tchad. Journal of Environmental Earth Sciences. ENGE-D-12-00567R1
- Aboubaker M, Jalludin M, Razack M (2013):** Hydrochemistry study of a volcano-sedimentary aquifer using major ion and environmental isotope data. Dalha basalts aquifer, southwest of Republic of Djibouti. Environ Earth Sci 70(7):3335–3349.
- Agence du Bassin Hydrographique Cheliff- Zahrez, (2008):** Résultats du rapport de l'élaboration de la carte des sources de pollution du bassin du Cheliff aval.55 p.
- Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (2004) :** Annuaire Hydrogéologique de la nappe alluviale du Haut et Moyen Cheliff
- Boulaine J. (1957):** Étude des sols des plaines du Cheliff. Thèse université d'Alger. Algérie 582p
- Debieche T. H, (2002):** Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. (Application à la basse plaine de la Seybouse - Nord-est Algérien). Thèse Doctorat; université de Franche-Comté. France. 199 pages.
- Dégrémont, (1984):** Mémento Technique de l'eau. 9ème Edition. 1984, Tome 1.
- Djeda F., (1987) :** Étude hydrogéologique et simulation par modèles mathématiques de la nappe de Khemis Miliana (bassin du haut Cheliff, Algérie).thèse doctorat. Université de franche-comté. France.173p.
- Gouaidia L., et al. (2011) :** Évaluation de la vulnérabilité d'une nappe en milieu semi-aride et comparaison des méthodes appliquées : cas de la nappe de Meskiana (Est Algérien). Article de recherche : Revue Sécheresse 2011 ; vol. 22, N° 1 : 35–42.
- Guillemin C et Roux J, (1991):** Pollution des eaux souterraines en France. Manuels et Méthodes.
- Gupta S, Mahato A, Roy P, Datta JK, Saha RN (2008):** Geochemistry of groundwater, Burdwan District, West Bengal, India. Environ Geol 53:1271–1282.
- 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.
- Mattaeur (1958) :** Etude géologique de l'Ouarsenis oriental (Algérie) bulletin N°17- publication du service de la carte géologique de l'Algérie.
- PDARE (2009):** Plan Directeur d'Aménagement des Ressources en Eau. Rapport de synthèse de la région hydrographique du Cheliff, 266 pages.
- Razack M. & Dazy J., (1990):** Hydrochemical characterization of groundwater mixing in sedimentary and metamorphic reservoirs with combined used of Piper's principle and factor analysis. J. Hydrol., 114, 371-393.
- Swan ARH, Sandilands M (1995):** Introduction to geological data analysis. Blackwell, Oxford.
- Touhari F., Meddi M., Mehaiguen M. & Razack M. (2014):** Hydrogeochemical assessment of the Upper Cheliff groundwater (North West Algeria). Environ Earth Sci ISSN 1866-6280 DOI 10.1007/s12665-014-3598-6. 21p.