Éléments sur l'effet de l'exploitation sur les eaux de la nappe du Continental Intercalaire, Cas de la région de Ghardaïa

Youcef HAKIMI(1), Philippe ORBAN(1), Mohamed CHETTIH(2), Serge BROUYERE(1)

(1) Université de Liège, Belgique, Département ArGEnCo, UR Urban and Environmental Engineering, Hydrogéologie et Géologie de l'Environnement.

(2) Université Amar Telidji – Laghouat, Faculté de technologie, Laboratoire Ressources en Eau, Sol et Environnement.

(3) Email: youcef.dedjell@doct.uliege.be

Résumé : Le Sahara septentrional renferme un des plus immenses systèmes aquifères dont le Continental Intercalaire (CI) qui constitue la principale réserve en eau pour les régions du Grand Erg Occidental et la dorsale du Mzab (Sahara septentrional algérien). Afin de comprendre les différents processus qui contrôlent l'acquisition et la modification de la minéralisation des eaux du CI, des différentes méthodes d'interprétation des données hydrochimiques ont été appliquées. Ceci nous a permet de décrire la variation spatiale des concentrations en éléments majeurs et mineurs.

Cette étude a montré que les eaux du CI sont, au nord de la zone d'étude (région de Laghouat), plutôt sulfatées calciques. Au sud de celui-ci (région de Ghardaïa), elles sont sulfatées à chlorurées sodiques avec un enrichissement en Cl par rapport au SO_4 vers l'est. Par ailleurs, en s'appuyant sur le calcul des rapports caractéristiques Na/Cl et Br/Cl ainsi que sur l'indice de saturation, l'origine de la salinité évaporitique non marine a pu être identifiée.

L'étude de cette variation spatiale a mis en évidence que les concentrations des ions sont contrôlées par des phénomènes naturels qui sont en relation avec les caractéristiques lithologiques de l'aquifère (dissolution du gypse et de la halite, échanges cationiques, …) mais également par l'intensité de l'exploitation qui a tendance à provoquer un mélange d'eau avec des niveaux aquifères plus profonds et plus salés.

Ainsi, on conclut que le fonctionnement hydrogéologique, et à fortiori hydrochimique, est significativement influencé par l'exploitation qui a tendance à augmenter la salinité.

Mots clés : Zones arides, Ressource en eau, Hydrochimie, Acquisition de la minéralisation, Salinité, Surexploitation, Système Aquifère de Sahara Septentrional, Continental Intercalaire, Dorsale du Mzab.

I. INTRODUCTION

L'eau était toujours l'enjeu principal de toute civilisation ; et les zones arides sont les endroits les plus en démunis au monde. Sa disponibilité en quantité et en qualité demeure un défi que les responsables soulèvent constamment et que tentent de résoudre.

Le Sahara est l'une des régions les plus arides au monde (<< 100 mm/an). Les conditions climatiques hostiles exigent une totale dépendance vis-à-vis des eaux souterraines pour l'approvisionnement en eau [1]. Le Système Aquifère de Sahara Septentrional y est, en effet, la principale ressource en eau pour la consommation humaine, l'agriculture et l'industrie. C'est un empilement d'aquifères transfrontaliers partagés entre l'Algérie, la Libye et la Tunisie. Il est composé principalement de deux aquifères : le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT) [2].

Le CI, sujet de cette étude, couvre une superficie de plus de 1 millions de km² et a une épaisseur moyenne de 350m [3]. En effet, ces caractéristiques varient énormément en fonction de l'emplacement [2]. Cet aquifère renferme un volume d'eau évalué à 20.000×10^9 m^3 [3]. Ces énormes réserves sont cependant quasi-fossiles [4], d'où la nécessité d'une parfaite connaissance pour assurer une gestion meilleure et durable de la ressource.

Depuis la fin du XIXème siècle où on a commencé à exploiter massivement ces nappes, leur état a considérablement évolué. Plusieurs travaux ont contribué à la caractérisation quantitative et qualitative du CI à échelle régionale [1], [5]–[25]. On en retenir deux conclusions majeures :

1- Le bassin du Grand Erg Occidental et le piémont sud de l'Atlas Saharien sont les principales aires de recharge du CI [23] avec une contribution de l'ordre de 50% [25].
2- L'aquifère du CI est fortement influencé par l'exploitation qu'on peut qualifier sans hésitation comme « une surexploitation » vu qu'elle a des effets néfastes considérables sur la nappe. Quantitativement, on assiste, ces dernières décennies, à un rabattement importants des niveaux piézométriques [23]. On a constaté également la disparition de l'artésianisme ainsi que le tarissement des sources à plusieurs régions du Sahara Septentrional [2]. La baisse du niveau piézométrique peut ainsi atteindre 2m par an en Algérie [2]. Qualitativement, une tendance à la salinisation a été signalée à différents endroits par plusieurs travaux dont les causes restent à investiguer [1], [2], [20].

Les études consacrées au Grand Erg Oriental et encore plus au Sud Tunisien sont assez nombreuses. Ceci contraste avec une méconnaissance du fonctionnement hydrodynamique et hydrochimique de l'aquifère, en particulier à **échelle local,** au niveau du Grand Erg Occidental et à la partie centrale correspondant à la Dorsale du Mzab où, à titre d'exemple, les eaux du CI assurent 88% des besoins en eau de la région de Ghardaïa [12], [15].

Partant de ce constat, une étude visant l'amélioration des connaissances concernant le CI est plus qu'indispensable. Dans cet optique, ce travail consiste, en première partie, à une synthèse bibliographique des travaux sur l'ensemble de l'aquifère ; une lecture plus attentive est consacrée à ceux qui ont touché le bassin occidental.

En 2ème partie, notre travail vise à contribuer à la caractérisation de l'hydrochimie du CI, d'expliquer les phénomènes qui contrôlent sa minéralisation et de discuter l'effet de la surexploitation sur sa qualité chimique dans la partie septentrionale de la Dorsale du Mzab. Cette partie est l'objet principal d'un article qui a été accepté pour publication [24].

II. Methodologie suivie pour la synthese bibliographique

Afin de structurer notre synthèse, nous l'avons partagée sur 3 thématiques, puis dans chacune d'entre eux, les travaux sont présentés par ordre chronologique croissant, depuis le plus ancien jusqu'au plus récent. Les thématiques sont :

A. Caractérisation géologique et hydrogéologique ;
B. Caractérisation hydrochimique et isotopique ;
C. Aspects gestion et modélisation.

N. B. : La liste risque de ne pas être exostive parce que nous avons repsis seulement les travaux publiés ou consultables au niveaux des bibliothèques universitaires.

III. Materiels et methodes

La zone d'étude se situe à 400km au sud d'Alger et couvre, partiellement, les wilayas de Laghouat au Nord et Ghardaïa au Sud. La campagne d'échantillonnage a eu lieu au mois d'avril 2015, elle compte 24 points.

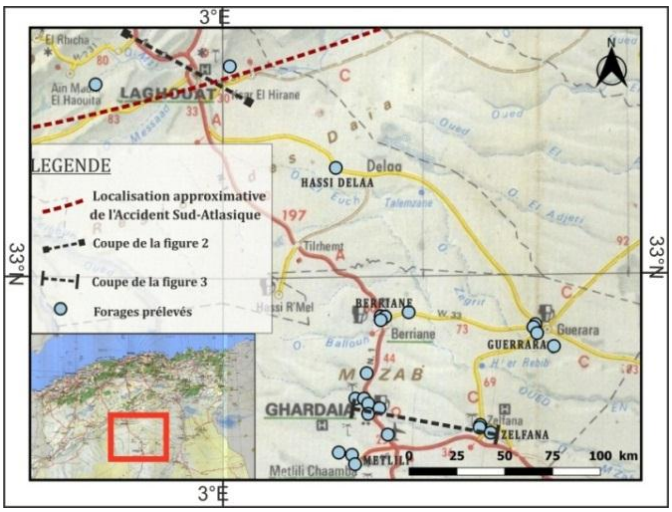

Figure 1 : Localisation géographique de la zone d'étude et des points de prélevements

L'échantillonnage a été effectué en respectant les mesures nécessaires pour assurer une bonne représentativité de l'échantillon prélevé. Les échantillons ont été conservés à l'abri de la lumière à 4°C de température.

L'eau prélevée a été stockés dans des flacons en polyéthylène recommandés pour une analyse ordinaire [26]. Deux flacons ont été remplis par point de prélèvement ; le premier d'un volume de 100 ml d'eau filtrée à 0.45µm puis acidifié pour le dosage de fer et de manganèse dissous, le second d'un volume de 150ml d'eau brute pour l'analyse des autres éléments majeurs et mineurs.

La température et la conductivité électrique de l'eau ont été mesurées sur le terrain, le plus près de la tête du forage, à l'aide d'un thermomètre à mercure et d'un conductivimètre qui donne une valeur corrigée à 25°C.

Les analyses physico-chimiques ont été effectuées, au mois de mai 2015, au Laboratoire d'Analyse en Phase Aqueuse du groupe « Hydrogéologie et Géologie de l'Environnement » de l'Université de Liège. Les échantillons passent en premier lieu dans un passeur de potentiométrie (mesure du pH et conductivité) et de titrimétrie (TAC, Ca). Le bilan complet est obtenu avec un chromatographe ionique, et les teneurs en fer et manganèse dissous sont obtenues par un appareil d'absorption atomique.

IV. Resultats et discussion

Afin de décrire le chimisme de l'eau du CI et d'expliquer sa variation spatiale ainsi que l'origine de la minéralisation, différentes méthodes d'interprétation des données hydrochimiques ont été mises en œuvre, à savoir :

- La matrice de corrélation ;
- Le diagramme de Piper et de Stiff ;
- L'indice de saturation ;
- L'indice d'échanges cationiques (échange de base) ;
- Les diagrammes binaires ;
- Traitement des données par les méthode des SOMs .
- Plusieurs cartes d'iso-valeurs établies avec un SIG que nous avons construit.

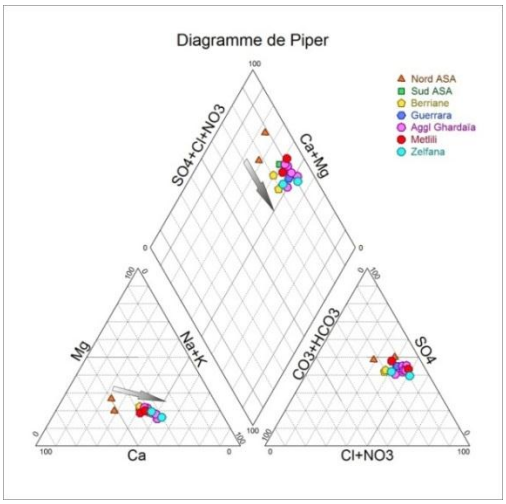

Figure 2 : Faciès chimiques des eaux du CI. La flèche montre la position des échantillons d'amont en aval

La minéralisation des eaux du CI est contrôlée par les ions : Ca, Na, Cl et SO_4. Il semble qu'elle provient de dissolution simultanée des minéraux évaporitiques (gypse/anhydrite et halite).

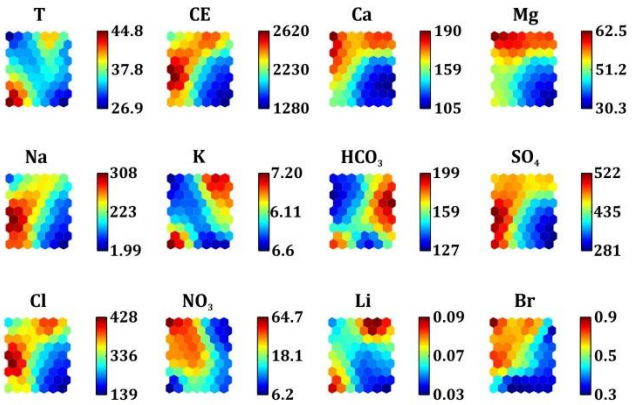

Figure 3 : Corrélations entre les paramètres physico-chimiques par la méthodes des SOMs

Au nord de l'Accident Sud-Atlasique les eaux du CI ont un facies chimique sulfaté calcique (PT01). Au sud de ce dernier, elles sont sulfatées à chlorurées sodiques (PT03, PT04) avec un rapport SO_4/Cl qui montre un enrichissement en chlorure vers l'est (PT19). Dans les foyers à forte exploitation, elles sont plus salées (PT13, PT23). Cette augmentation de la salinité a été provoquée très probablement par un mélange avec des

niveaux plus profonds et plus salés. Cette salinité est d'origine évaporitique non marine. Néanmoins, l'origine de NaCl dissout reste encore à investiguer.

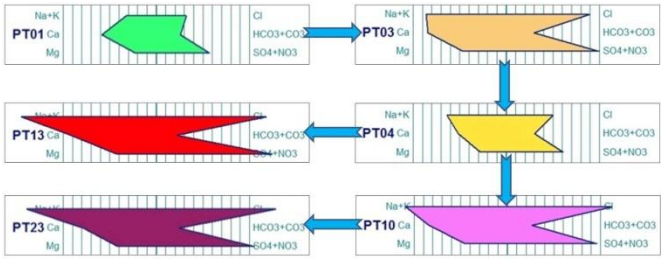

Figure 4 : Evolution de l'hydrochimie du CI

V. Conclusions et recommandations

Ce travail, nous a permis d'atteindre deux objectifs :

1- Retracer l'historique de l'évolution des connaissances concernant le CI, tout au moins dans la région de Ghrdaïa.
2- Dégager les problématiques qui ont besoin encore d'une investigation soit de la part des chercheurs ou même des administrateurs.

Ainsi, nous réalisons que le CI est un aquifère potentiel constituant le pilier de tout développement socio-économique des régions sahariennes, d'où la nécessité d'une gestion rationnelle et durable de cette précieuse ressource. La responsabilité est partagée entre la communauté scientifique et les services administratifs concernés et la coordination entre ces différents intervenants est indispensable.

L'application des différentes méthodes d'interprétation des analyses hydrochimiques a permis de réaliser des premières avancées sur les processus de l'acquisition et de la modification de la minéralisation des eaux du CI. Ils ont montré qu'il y aurait une tendance à la salinisation suite à la sollicitation croissante de l'aquifère du CI.

Pour bien affiner ces conclusions, on recommande un minutieux suivi de la nappe, à échelle **locale**, tant **piézométrique** qu'**hydrochimique,** depuis les zones de recharge en mettant en œuvre les techniques **isotopiques**.

Les résultats mis en évidence par ce travail sont inquiétants, et ils nous préviennent sur la fragilité de cette précieuse ressource ainsi que les difficultés qu'on va confronter dans l'avenir.

Ainsi, nous recommandons vivement le renforcement de l'adoption de l'approche « la gestion intégrée des ressources en eau » afin d'assurer un développement socio-économique durable dans ces régions sahariennes. A notre regard, il est indispensable, aux chercheurs et aux administrateurs, d'en contribuer en intervenant sur les trois axes suivants:

1- L'incitation des différents acteurs et usagers à s'adhérer aux pratiques et principes de l'économie de l'eau.
2- Une caractérisation plus approfondie de ce système aquifère ainsi que son comportement vis-à-vis les pressions anthropiques qu'il subit.
3- La valorisation des ressources superficielles renouvelables qui, malgré leur quantité pas si importante, présente un caractère très avantageux.

VI. Remerciements

Nous tenons à remercier « **Arlon Campus Environnement** » et « **l'Académie de Recherche et d'Enseignement supérieur – Commission de la Coopération au Développement (ex CUD)** » de nous avoir offert l'opportunité d'obtenir le « Master Complémentaire en Sciences et Gestion de l'Environnement dans les Pays en Développement, option : Gestion de l'eau » et de réaliser le présent travail.

References

[1] UNESCO. (1972a). Etude des Ressources en Eau du Sahara Septentrional, Rapport sur les résultats du projet, conclusions et recommandations. 66p.
[2] OSS. (2003). Le système aquifère du Sahara septentrional : une conscience de bassin, volume 2 : Hydrogéologie. 151p.
[3] Ould Baba Sy, M. (2005). Recharge et paléo recharge du système aquifère du Sahara Septentrional. Thèse de doctorat, Faculte des Sciences de Tunis, Departement de Geologie. 271p.
[4] Besbes, M., Babasy, M., Kadri, S., Latrech, D., Mamou, A., Pallas, P., & Zammouri, M. (2004). Conceptual framework of the North Western Sahara

Aquifer System. Proceedings of the International Workshop Shared Aquifer Resources, UNESCO, Tripoli, Libya, 2– 4 June 2002, 163–169.

[5] Savornin, J. (1930). Les Territoires du Sud de l'Algérie, Esquisse Géologique et Hydrologique. Ropprt pour le Gouvernement Général de l'Algérie, Alger. 67p.

[6] Savornin, J. (1947). Le plus grand appareil hydraulique du Sahara (Nappe artésienne dite de l'Albien). Travaux IRS, 5, 25–66.

[7] Guendouz, Abdelhamid. (1985). Contribution à l'étude géochimique et isotopique des nappes profondes du Sahara nord-est septentrional, Algérie. Thèse de Doctorat, Paris Sud. 228p.

[8] Moulla, A. S., Guendouz, A., & Cherchali, M. E. H. (2002). Contribution des isotopes à l'étude des ressources en eau souterraines transfrontalières en Algérie Méthodologie générale. Proceedings of the International Workshop, 55–67. Tripoli, Libya.

[9] Edmunds, W. M., Guendouz, A. H., Mamou, A., Moulla, A., Shand, P., & Zouari, K. (2003). Groundwater evolution in the Continental Intercalaire aquifer of southern Algeria and Tunisia: trace element and isotopic indicators. Applied Geochemistry, 18(6), 805–822.

[11] Guendouz, A., & Michelot, J. L. (2006). Chlorine-36 dating of deep groundwater from northern Sahara. Journal of Hydrology, 328(3–4), 572–580.

[12] Achour, M. (2010). Premières mesures piézométriques en utilisant les nouveaux piézomètres captant la nappe du CI dans la wilaya de Ghardaïa. Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH), Ouargla. Rapport intérieur. 14p.

[13] Moulla, A. S., Guendouz, A., Cherchali, M. E.-H., Chaid, Z., & Ouarezki, S. (2012). Updated geochemical and isotopic data from the Continental Intercalaire aquifer in the Great Occidental Erg sub-basin (south-western Algeria). Quaternary International, 257, 64–73.

[14] Gonçalvès, J., Petersen, J., Deschamps, P., Hamelin, B., & Baba-Sy, O. (2013). Quantifying the modern recharge of the "fossil" Sahara aquifers. Geophysical Research Letters, 40(11), 2673–2678.

[15] Benkenzou, D. (2014). Monographie de la wilaya de Ghardaïa. Rapport de la direction de la programmation et du suivi budgétaires. 178p.

[16] Petersen, J. O., Deschamps, P., Hamelin, B., Fourré, E., Gonçalvès, J., Zouari, K., Guendouz, A., et al. (2018). Groundwater flowpaths and residence times inferred by 14C, 36Cl and4He isotopes in the Continental Intercalaire aquifer (North-Western Africa). Journal of Hydrology, 560, 11–23.

[17] Cornet, A., & Gouskov, N. (1952). Données sur l'hydrogéologie algérienne, Les eaux du Crétacé inférieur continental dans le Sahara Algérien. XIXème Congrès Géologique International, La géologie et les problèmes de l'eau en Algérie, 11, 144–171.

[18] Cornet, A. (1964). Introduction à l'hydrogéologie saharienne. Revue de géographie physique et de géologie dynamique, 5(1), 5–72.

[19] Busson, G. (1970). Le Mesozoique Saharien 2ème partie: Essai de synthèse des données des sondages Algero-Tunisiens, Tome 2. Ser. Geol. CNRS Paris. pp. 483–602.

[20] UNESCO. (1972b). Etude des Ressources en Eau du Sahara Septentrional, Plaquette 2 : La nappe du Continental Intercalaire – Modele mathematique. 44p.

[21] Gonfiantini, R., Conrad, G., Fontes, J. C., Sauzay, G., & Payne, B. R. (1974). Etude isotopique de la nappe du Continental Intercalaire et de ses relations avec les autres nappes du Sahara septentrional. In IAEA (Ed.), Isotope techniques in groundwater hydrology, 227–241.

[22] Conrad, G., & Fontes, J. C. (1970). Hydrologie isotopique du Sahara nord-occidental. In IAEA (Ed.), Isotope Hydrology, 405–419.

[23] Castany, G. (1982). Bassin sedimentaire du Sahara septentrional (Algerie, Tunisie). Aquiferes du Continental intercalaire et du complexe terminal. Bull. BRGM, 2(2), 127–147.

[24] Hakimi-Dedjell, Y., Orban, P., Chettih, M., Brouyère, S. (2018). Pour une exploitation raisonnée des ressources eau souterraines du Sahara algérien, région de Ghardaïa : État des lieux et recommandations. Geo-Eco-Trop. Accepté en cours d'impression.

[25] Petersen, J. O. (2014). Traçage isotopique (36CI, 4He, 234U) et modélisation hydrogéologique du Système Aquifère du Sahara Septentrional. Application à la recharge Quaternaire du Continental Intercalaire. Thèse de doctorat Geosciences de l'environnement. Aix-Marseille. 286p.

[26] Rodier, J., Legube, B., Merlet, N., & Brunet, R. (2009). L'analyse de l'eau-9e éd.: Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. Dunod.