

Evaluation de la salinité des eaux souterraines utilisées en irrigation et risques de dégradation des sols : Exemple de la plaine de Meskiana, nord-est algérien.

Assessment of the groundwater salinity used for irrigation and risks of soil degradation: Example of the plain of Meskiana, Northeastern Algeria.

GOUAIDIA L.¹, GUEFAIFIA O.¹, BOUDOUKHA A.² & HEMILA ML.¹

Abstract : Most of applied irrigation methods are often accompanied by the appearance of sodification process, salinisation or alkalization of soils. This is caused by natural characteristics of the irrigated plain (soil and climate). In the plain of Meskiana (North-East of Algeria), enjoying a semi-arid climate characterized by high evapotranspiration estimated at 840 mm (GOUAIDIA, 2008), the use of irrigation for cultivation is inevitable. The study area had recorded in recent years some economic growth, particularly in agriculture. But the application of the National Development of Agriculture (NADP) in 2000 and the National Fund for the Development Control Agricultural (NFDCA) in 2001, has forced farmers to use groundwater for irrigation, with, as result, possibility of soils deterioration.

A hydrogeochemical analysis was carried out, focusing on the major elements of water from the aquifer. The sampling period was over two years (2007-2008), spreading over four seasons. The sixty wells analyzed were distributed throughout the plain of Meskiana.

The results of this analysis allowed the mapping of suitable water for irrigation. The interpretation of the maps revealed a large diversity of chemical compositions of samples from four main facies: calcium bicarbonate, calcium chloride, sodium chloride and calcium sulfate. Water salinity is generally high and carries a high risk of salinisation (Class C3) or a very high one (class C4) according to the classification of Riverside.

Keywords : Meskiana plain, Hydrogeology, Irrigation, Salinisation.

Résumé : La plupart des méthodes d'irrigation appliquées sont souvent accompagnées de l'apparition de processus de sodisation, de salinisation ou d'alcalinisation des sols. Ceci est dû aux caractéristiques naturelles de la plaine irriguée (sol et climat). Dans la plaine de Meskiana (Nord-Est de l'Algérie), bénéficiant d'un climat semi-aride caractérisé par une forte évapotranspiration évaluée à 840 mm (GOUAIDIA, 2008), le recours à l'irrigation pour la majorité des cultures est inévitable. Cette zone d'étude a connu durant ces dernières années une certaine expansion économique, particulièrement agricole. L'application du Programme National de Développement de l'Agriculture (PNDA) en 2000 et celui du Fonds National pour la Régulation du Développement Agricole (FNRDA) en 2001, y a contraint les agriculteurs à utiliser les eaux souterraines pour l'irrigation, non sans conséquences sur la qualité des sols.

Une analyse hydrogéochimique a été réalisée, elle s'est portée sur les éléments majeurs des eaux de la nappe phréatique. La période d'échantillonnage a été répartie sur deux ans (2007-2008), étalée sur quatre campagnes. Les soixante puits qui ont fait l'objet d'analyses étaient répartis sur l'ensemble de la plaine étudiée.

Les résultats des analyses ont permis l'établissement des cartes d'aptitude des eaux à l'irrigation. L'interprétation de ces derniers a révélé une importante diversité des compositions chimiques des échantillons représentant quatre principaux faciès : bicarbonaté calcique, chloruré calcique, chloruré sodique et sulfaté calcique. La salinité des eaux est généralement élevée et entraîne un risque élevé de salinisation (classe C3) ou très élevé (classe C4), selon la classification de Riverside.

Mots clés : Plaine de Meskiana, Hydrogéologie, Irrigation, Salinisation.

INTRODUCTION

L'irrigation avec des eaux riches en sels peut entraîner la fixation de sodium sur le milieu adsorbant du sol, donc un processus de salinisation, avec ses conséquences éventuelles pour les propriétés du sol : tendance à la dispersion des argiles, à la dégradation de la structure, à la perte de perméabilité et à l'asphyxie des plantes. L'intensité du processus de salinisation dépend des

¹Département des sciences de la terre, Université de Tébessa

²Laboratoire de recherche en hydraulique appliquée, Université de Batna

caractéristiques du sol que l'on veut irriguer, de la qualité des eaux utilisées, des conditions de leur emploi et en particulier l'efficacité du système de drainage. Cependant, ces pratiques d'irrigation ont engendré la modification du fonctionnement des sols et accru le risque de salinisation. En Algérie, plus de 20 % des sols irrigués sont concernés par le problème de salinité (DOUAOUI & HARTANI, 2007).

La plaine de Meskiana se caractérise par son climat semi-aride très sévère, avec une forte évapotranspiration et une salinisation des sols qui commence à prendre de l'ampleur. La sécheresse qui perdure depuis plus de deux décennies en plus de l'inexistence de captages des eaux de l'Oued Meskiana ont obligé les agriculteurs à utiliser les eaux souterraines comme source unique d'irrigation. Ces dernières sont de qualité médiocre et leur utilisation peut avoir des conséquences néfastes sur la qualité des sols. L'évaluation de la qualité de ces eaux souterraines utilisées dans l'irrigation et les risques éventuels de la dégradation des sols de la plaine de Meskiana constitue l'objectif de ce travail.

MATERIEL ET METHODES

Cadre physique de la zone d'étude

La plaine de Meskiana s'étend sur une superficie de 1700 km² et se localise au nord-est du territoire algérien, à mi-chemin entre la mer Méditerranée et le Sahara algérien (figure1) et fait partie du haut bassin de l'oued Mellègue. Elle constitue également une partie intégrante des hauts plateaux qui sont représentés par un réseau serré de montagnes de moyenne à forte altitude, plus ou moins séparées par des dépressions. Plusieurs agglomérations se localisent dans la plaine étudiée, à savoir Bellala, Dalâa, Meskiana, Rehia et Zebar, comptant plus de 48000 habitants selon un recensement fait en 2004. Vu sa situation géographique, la plaine de Meskiana bénéficie d'un climat semi-aride où les précipitations moyennes interannuelles enregistrées ne dépassent pas 340 mm, accompagnées d'une évapotranspiration réelle de l'ordre de 315 mm. Celle-ci conduira à des eaux concentrées en sels (LACHARME, 2001).

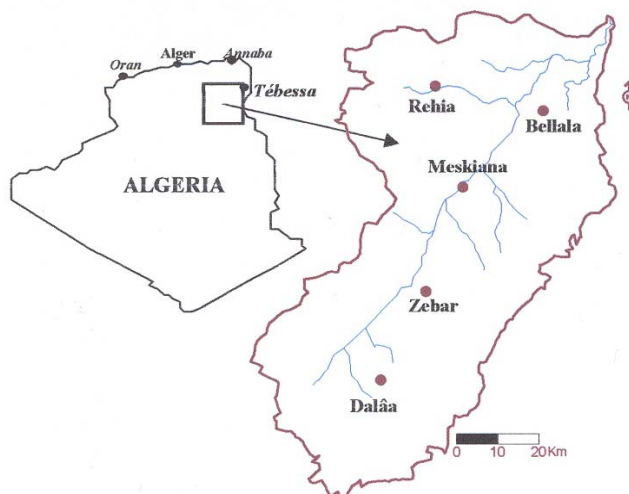


Figure 1 : Situation géographique de la plaine de Meskiana

Sur le plan géologique, le bassin de Meskiana est constitué de formations sédimentaires autochtones nord-aurésiennes qui se trouvent dans la partie orientale des hautes plaines constantinoises. Ces formations comprennent (KUSCER, 1985) :

- des terrains anciens représentés par le Trias apparaissant en diapirs ;
- d'importantes assises d'âge crétacé (Aptien et Maestrichtien) formées de marnes et de calcaires ;

- divers recouvrements continentaux représentés par des alluvions actuelles et récentes, des grès, des sables et de graviers, représentant le Mio-Plio-Quaternaire.

Dans le cadre hydrogéologique, l'état de la surface piézométrique au mois de juillet 2008 (figure 2) a permis de constater que l'écoulement souterrain se fait, en général, suivant une direction du Sud-Ouest vers le Nord-Est. L'axe de drainage des eaux souterraines coïncide sensiblement avec le parcours de l'oued Meskiana. La variation de l'espacement des courbes piézométriques est due, essentiellement, à l'hétérogénéité de la lithologie de l'aquifère. Les massifs calcaires bordant la plaine assurent l'alimentation de ce dernier. Au nord, l'élévation du substratum marneux jusqu'à la surface du sol constitue une limite imperméable.

Il est à signaler que la profondeur de la surface piézométrique est relativement importante à proximité des bordures et faible et parfois même nulle au centre de la plaine (GOUAIDIA, 2011), ce qui met en contact les eaux de surface avec les eaux souterraines et facilite la contamination de celles-ci.

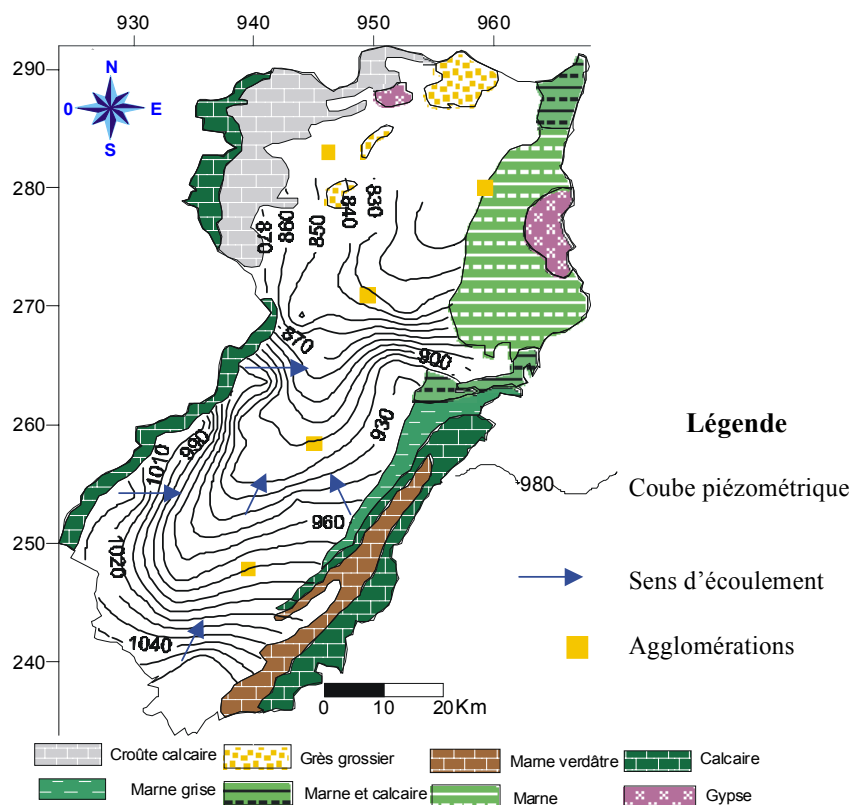


Figure 2 : Carte piézométrique de la nappe de Meskiana – juillet 2008

Echantillonnage et analyses

Un réseau d'échantillonnage a été choisi pour permettre d'acquérir des données représentatives sur la variabilité spatiale de la qualité des eaux souterraines de la nappe étudiée. Ce réseau se compose de quatre ensembles de points d'eau et couvre la totalité de la plaine de l'amont vers l'aval:

- Puits proches des bordures calcaires ;
- Puits proches des cours d'eau ;
- Puits se répartissant dans les sédiments mio-plio-quaternaires ;
- Puits se répartissant dans les terrains cultivés.

Les prélèvements ont été effectués selon une fréquence saisonnière, pendant quatre campagnes où des analyses complètes ont été effectuées. La conductivité électrique a été mesurée à l'aide d'une

valise multiparamètres de terrain de marque Multi340i (WTW) ; les cations et les anions ont été analysés en laboratoire, selon les normes AFNOR (1997).

Evaluation de la qualité des eaux

Les différentes pratiques agricoles et la mise en place de nombreux systèmes d'irrigation ont eu un effet sur la qualité des eaux souterraines, particulièrement celles qui regagnent la nappe après irrigation. Il est à noter que les sels minéraux contenus dans l'eau ont un impact sur le sol et les plantes. En effet, les sels peuvent causer des changements dans la structure du sol (sur sa perméabilité et son aération), affectant directement le développement des plantes (PERSON, 1978). Dans cette optique, nous avons mis en évidence l'évaluation de la qualité des eaux souterraines de la nappe de Meskiana pour des fins agricoles. Cette évaluation est basée sur le diagramme de Piper pour la détermination des faciès chimiques, et sur les diagrammes universels de Riverside et Wilcox pour évaluer le risque de salinisation et de sodisation des sols. Le concept de Résiduel Sodium Carbonates (RSC) a été inspiré du diagramme de Riverside et des travaux de EATON (1950). Il contribue également à cette évaluation, car il permet de déterminer la nature de l'alcalinité résiduelle (à dominances sulfatées ou chlorurées) par addition des sulfates. En effet, l'alcalinité résiduelle devient positive suite à l'addition des sulfates relatifs à la précipitation du gypse, c'est la voie saline neutre à dominances sulfatées ; lorsque l'alcalinité résiduelle devient négative même par addition des sulfates, on parle alors de la voie saline neutre à dominance chlorurée (MARLET & JOB, 2006).

Comparaison des classes issues des méthodes de Riverside et de Wilcox

Dans cette étude comparative, la méthode de classification de Riverside sera celle qui servira de référence pour déterminer l'évaluation des variations spatiales des classes. Deux méthodes statistiques seront utilisées pour la réalisation de cette comparaison :

- Le test de conformité de Kappa

Le coefficient de Kappa (K) représente l'indice statistique qui mesure le degré de concordance d'une évaluation faite par deux ou plusieurs méthodes. Un guide d'interprétation, proposé par LANDIS & KOCH (1977), permet l'appréciation du degré de conformité en fonction de la valeur observée du coefficient de Kappa (K).

- L'analyse statistique des surfaces des classes

Cette analyse permet de comparer les surfaces des différentes classes produites par les deux méthodes (Riverside et Wilcox), selon un maillage de 500 m x 500 m. La dite analyse se base sur les deux cartes et le nombre de mailles par classe.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Les résultats d'analyse physico-chimique des eaux de la nappe de Meskiana, pendant la période d'observation, ont fait sortir les paramètres utilisés habituellement pour l'estimation de la qualité d'une eau d'irrigation. Parmi ces paramètres, on dénombre la salinité exprimée par la Conductivité électrique (CE), le Carbonate de Sodium Résiduel (RSC), le % Na, le SAR (Sodium Absorption Ratio) et la toxicité des chlorures. Ces paramètres ont été reportés dans le tableau 1.

Les fortes valeurs de CE sont de l'ordre de 5000 ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), ce qui correspond à une forte salinité due aux conditions climatiques très arides produisant une forte évaporation qui concentre la solution du sol (CHEVERRY & ROBERT, 1998). La valeur moyenne de la conductivité est de l'ordre de 2620 ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) indiquant que les eaux souterraines de la nappe de Meskiana sont de qualité admissible à médiocre. Néanmoins un certain nombre de points d'eau sont de meilleure qualité avec une CE inférieure à 400 ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$). Cependant, la valeur moyenne du SAR, égale à 3.73 méq/l montre un risque de sodisation faible à moyen. Les chlorures pourraient provenir de la percolation à travers les terrains salés (BREMOND & PERREDON, 1979), leur toxicité est claire, du fait qu'on rencontre plus de la moitié (31.2 %) des puits ayant des

teneurs qui dépassent largement 10 méq/l représentant le seuil maximum admissible pour les plantes (AYERS & WESTCOT, 1988).

Tableau 1 : Paramètres statistiques de quelques variables des eaux souterraines de la nappe de Meskiana, (2007-2008).

	CE	SAR	Cl	% Na
Unité	($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	még/l.	még/l.	még/l.
Min	380	0.75	1.08	14.25
Max	5020	8.2	26.73	6035
Moy	2616.5	4.73	12.86	41.45

Détermination des faciès hydrochimiques des eaux

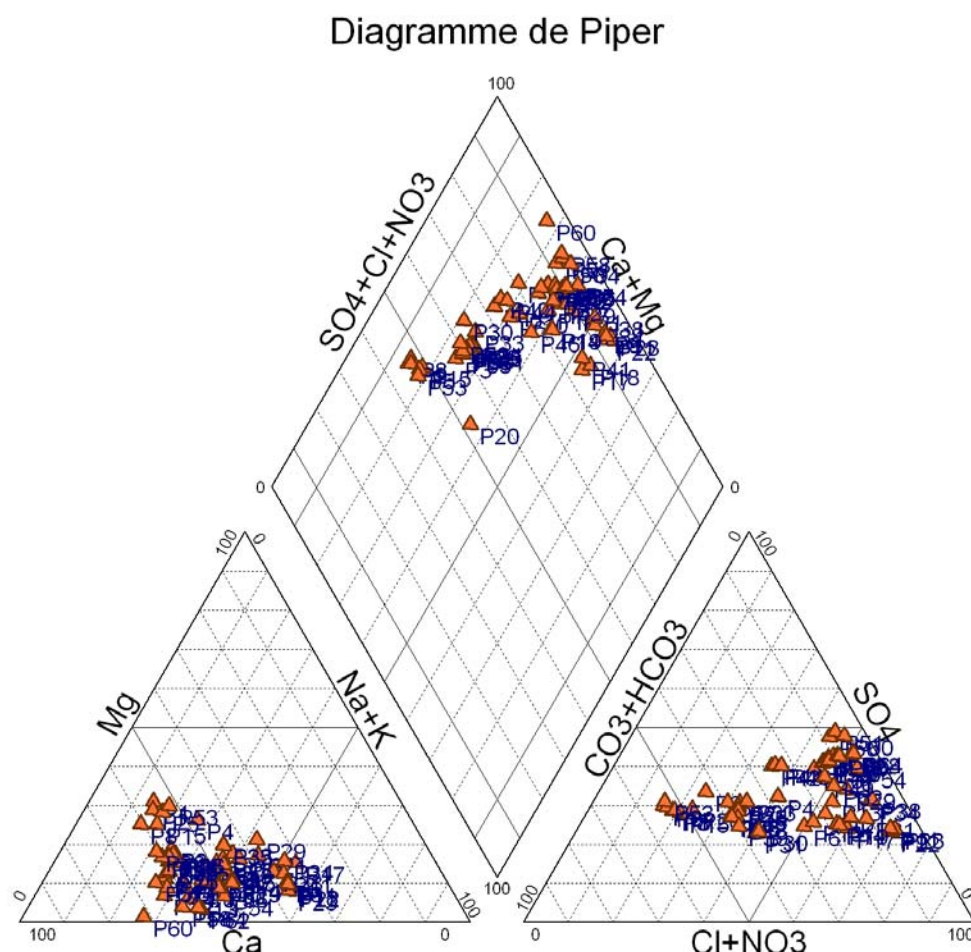


Figure 3 : Diagramme de Piper des eaux souterraines de la nappe de Meskiana, juillet 2008.

La représentation des échantillons sur le diagramme de Piper (figure 3) a montré l'existence de faciès chimiques dominants dont la répartition dépendait de la lithologie de la nappe aquifère durant toute la période d'observation :

- Le faciès bicarbonaté calcique (12 % des puits) apparaît à l'amont et tire son origine des formations carbonatées bordant la nappe.
- Le faciès chloruré-calcique est important (48 % des puits) et se répand à l'intérieur de la nappe. Il s'explique par la présence des formations alluvionnaires salées du Mio-Plio-Quaternaire et des marnes gypsifères du Santonien.
- Le faciès chloruré-sodique (21 % des puits) se développe au centre de la nappe. Son apparition coïncide avec une formation très conductrice (résistivité inférieure à 2 Ω .m), vraisemblablement les argiles gypsifères triasiques (HEMILA 1988). On le rencontre également à l'aval de la nappe ; ceci est dû probablement aux apports latéraux venant du Djebel Belkefif, qui est constitué de formations évaporitiques, et à la présence des marnes emschériennes et cénomaniennes, qui sont parfois gypsifères.
- Le faciès sulfaté-calcique (19 % des puits) n'apparaît qu'au nord-est de la nappe, à proximité du Djebel Belkefif où se localisent les formations évaporitiques qui sont à l'origine de ce faciès.

Etat de la qualité des eaux en vue d'un usage agricole

Lorsque la concentration des ions Na^+ à l'état soluble dans le sol est importante, ces ions remplacent le plus fréquemment les cations Ca^{2+} (échange de base) dans le complexe absorbant. Une eau chargée en sels peut provoquer cette action. Ce risque est déterminé à l'aide de la valeur du sodium absorbable (Sodium Absorption Ratio, SAR). Pour une même conductivité, le risque est d'autant plus grand que le coefficient est plus élevé. Le SAR est défini par la relation suivante:

$$\text{SAR} = \frac{(\text{Na}^+ + \text{K}^+)}{\sqrt{(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/2}} \quad (1)$$

Tous les ions sont exprimés en méq/l.

Après avoir reporté tous les points d'eau sur le diagramme de Riverside (RICHARDS, 1954) (figure 4), selon la conductivité électrique et la valeur de SAR, on a pu dégager la présence des classes suivantes :

- La classe C2S1 caractérise une eau bonne pour l'irrigation et pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation des plantes moyennement tolérantes aux sels. On la rencontre en amont de la nappe à proximité des bordures. Cette classe n'a paru qu'avec un faible pourcentage ne dépassant pas, durant toutes les campagnes, 7.5 %.
- Les classes C3S1, C3S2 désignent les eaux admissibles pour l'irrigation des cultures tolérantes aux sels, sur des sols bien drainés ou de bonne perméabilité dont la salinité doit être contrôlée. La classe C3S1 caractérise les puits qui se situent au Nord de la ville de Meskiana. Sa présence varie de 27.92 % à 36.5 % durant les quatre campagnes, alors que la classe C3S2 ne manifeste qu'un faible pourcentage oscillant entre 2.55 % et 4.65 %;
- Les classes C4S1, C4S2 indiquent les eaux médiocres fortement minéralisées, susceptibles de convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes aux sels et sur des sols bien drainés et lessivés. La majorité des puits appartenant à la classe C4S1 se situent entre Zebbar et Meskiana et atteignent 32.65 % des points d'eau analysés. La classe C4S2 est d'une sodicité plus importante

Tableau 2: Evolution des classes d'irrigation selon la méthode de Riverside.

Wilcox	Mars2007	Juillet 2007	Mars2008	Juillet 2008
C2S1	6.71 %	7.69 %	4.50 %	7.5 %
C3S1	27.92 %	28.20 %	31.21 %	36.5 %
C3S2	4.65 %	2.56 %	2.55 %	4.5 %
C4S1	32.65 %	17.94 %	30.50 %	31.2 %
C4S2	27.95 %	43.59 %	31.36 %	20.3 %

Tableau 3: Evolution des classes d'irrigation selon la méthode de Wilcox.

Wilcox	Mars2007	Juillet 2007	Mars2008	Juillet 2008
C2S1	8.5 %	10.3 %	9.2 %	10.5 %
C3S1	24.6 %	23.5 %	23.6 %	25.5 %
C3S2	4.7 %	5.5 %	6.8 %	5.2 %
C4S1	28.4 %	26.5 %	23.8 %	24.2 %
C4S2	33.8 %	34.3 %	36.6 %	34.5 %

que celle de la classe précédente. On la rencontre dans la région de Zebar et au Nord-Est de la plaine de Meskiana, avec un pourcentage pouvant dépasser 43 % (juillet 2008).

Les eaux de la nappe alluviale de la plaine de Meskiana conservent, en général, les mêmes qualités pour l'irrigation au cours de toute la période d'observation (tableau 2) pour les 4 campagnes. La dégradation observée traduit l'effet de la lithologie d'une part et l'effet de l'évaporation d'autre part.

Comme les plantes tiennent mal dans les sols saturés en sodium, on a réalisé la classification des points d'eau, selon le diagramme de Wilcox, fondée sur la conductivité électrique et la teneur en sodium dans l'eau exprimée en pourcentage (formule 2).

$$\%Na^+ = \frac{(Na^+ + K^+)}{(Ca^{+2} + Mg^{+2} + Na^+ + K^+)} \times 100 \quad (2)$$

Cette démarche a montré que les eaux souterraines de la nappe de Meskiana, selon la classification de Wilcox (figure 5) appartiennent aux classes illustrées dans le tableau 3 :

- La classe C2S1: Elle regroupe les eaux de bonne qualité qui sont faiblement minéralisées, on la rencontre à proximité des bordures dans les régions de Dalaâ et Zebar. Sa présence n'a pas dépassé 10 % pendant toutes les campagnes ;
- Les classes C3S1,C3S2 désignent les eaux de qualité médiocre, qui sont plus minéralisées que celles de la classe précédente. Elles se manifestent au centre, au sud-ouest et au nord-est de la plaine. La classe C3S1 représente 24.3 % des échantillons des quatre campagnes, alors que la classe C3S2 ne regroupe que 5.5 %.

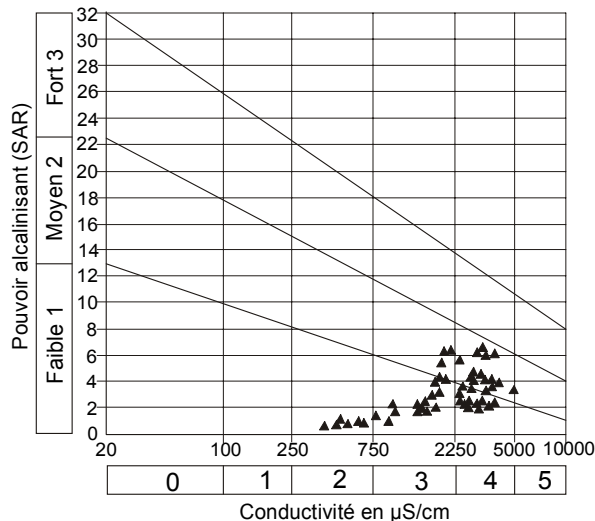


Figure 4 : Diagramme Riverside des eaux souterraines de la nappe de Meskiana (juillet 2008)

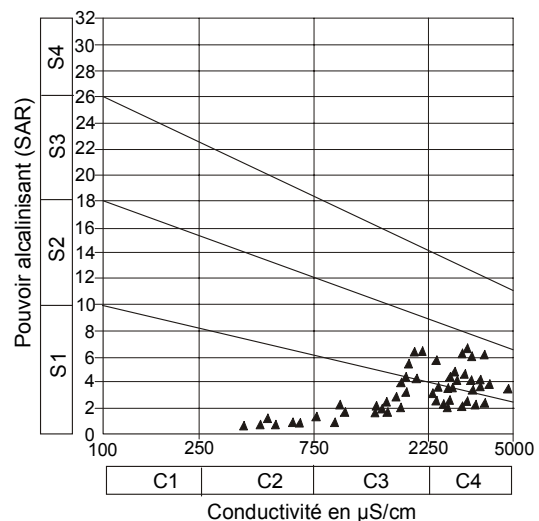


Figure 5 : Diagramme Wilcox des eaux souterraines de la nappe de Meskiana (juillet 2008)

- Les classes C4S1,C4S2 représentent les eaux de mauvaise qualité qui se situent au centre et au nord de la plaine. Elles sont les plus répandues dans la nappe (60.5 %).

Alcalinité résiduelle des eaux

Il a été constaté que, dans le cas où le faciès chimique des eaux à usage agricole est chloruré, le SAR minimise fréquemment le risque de sodisation et d'alcalinisation de ces eaux. C'est pourquoi on a opté pour la détermination du Carbonate de Sodium Résiduel (RSC) comme un autre moyen pour évaluer la qualité des eaux d'irrigation.

La détermination du RSC se fait selon la relation suivante :

$$\text{RSC} = (\text{CO}_3^- + \text{HCO}_3^-) - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{+2}) \quad (3)$$

L'interprétation des résultats de calcul mentionnés dans le tableau 4 a révélé que les eaux de la nappe de Meskiana possèdent des puits de type 01(RSC1>0) ; ceci indique la présence seulement de la voie saline neutre. Après l'addition des sulfates, on a constaté la présence des classes suivantes:

- les eaux de type 01(RSC1>0), avec un pourcentage de 12 %. Elles présentent un risque majeur de dégradation des propriétés physiques des sols par sodisation.
- Les eaux de type 02 (RSC 2>0) avec un pourcentage de 26.5 %. Elles présentent un risque de dégradation des propriétés physiques des sols par sodisation.
- Les eaux de type 03 (RSC 3<0) avec un pourcentage de 61.5 %. Elles présentent un risque de dégradation faible par rapport à la classe précédente (SUMNER, 1993 ; MARLET & JOB, 2006).

Tableau 4 : Les différents types d'eau, selon le Carbonate du Sodium Résiduel (RSC).

	RSC1>0 méq/l	RSC2>0 méq/l	RSC 3<0 méq/l
Min	0.2	0.03	-15.8
Max	2.7	1.6	-2.8
Moy	1.2	0.5	-5.75
%	12	26.5	61.5

Cartographie des classes d'aptitude des eaux à l'irrigation.

Ayant pour objectif de mettre en relief l'effet de la lithologie sur la qualité des eaux à usage agricole, nous avons cartographié les valeurs respectives du SAR (Riverside) et du %Na (Wilcox) pour la campagne de juillet 2008, qui inclut le maximum de puits.

L'interprétation des deux cartes manifeste la présence de 3 classes (figures 6 et 7) :

- Bonne (C2S1): elle se localise dans la région de Dalâa à l'amont de la nappe et représente les eaux de faible minéralisation qui sont issues des formations carbonatées de bordures ;
- Admissible (C3S1-C3S2) : elle englobe généralement les eaux moyennement minéralisées avec des risques de salinisation moyens et de faible alcalisation ;
- Médiocre (C4S1-C4S2) : cette classe se caractérise par les eaux de forte minéralisation, présentant des risques de salinisation des sols importants, mais à alcalisation moyenne. On la rencontre au centre et au Nord de la plaine.

Comparaison des classes issues des méthodes de Riverside et de Wilcox.

La cartographie d'aptitude des eaux à l'irrigation par les deux méthodes (Riverside et Wilcox), selon un maillage de 500 m x 500 m, appliquée à la campagne de juillet 2008, a donné la répartition des surfaces par classes qu'on illustre dans le tableau 5.

La classification de Riverside met en évidence les 3 classes, « bonne », « admissible » et « médiocre », avec une domination de la classe « médiocre » (51.50 %), suivie de la classe

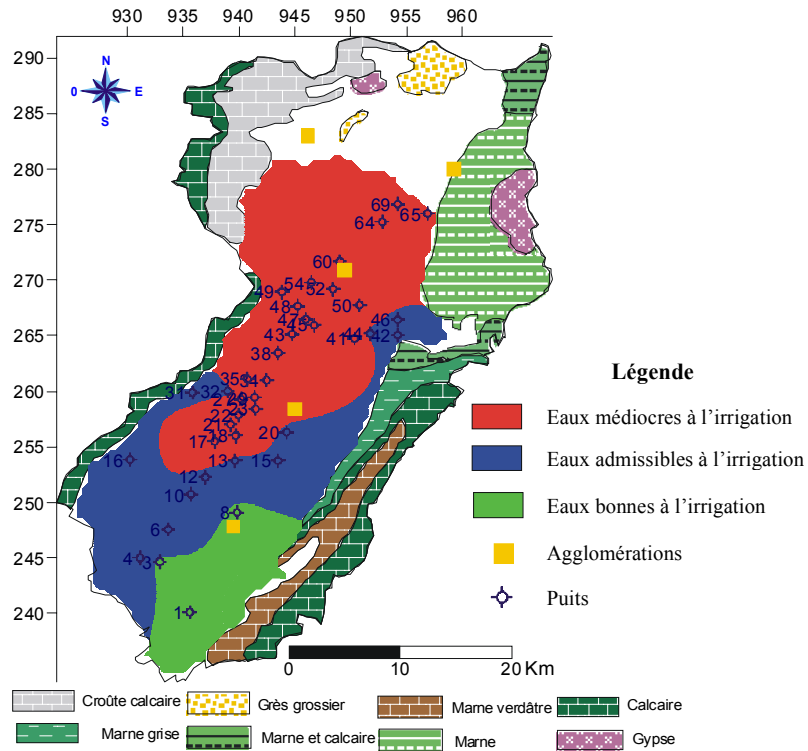


Figure 6 : Classes d'aptitudes eaux à l'irrigation selon la classification de Riverside (Nappe de Meskiana – juillet 2008)

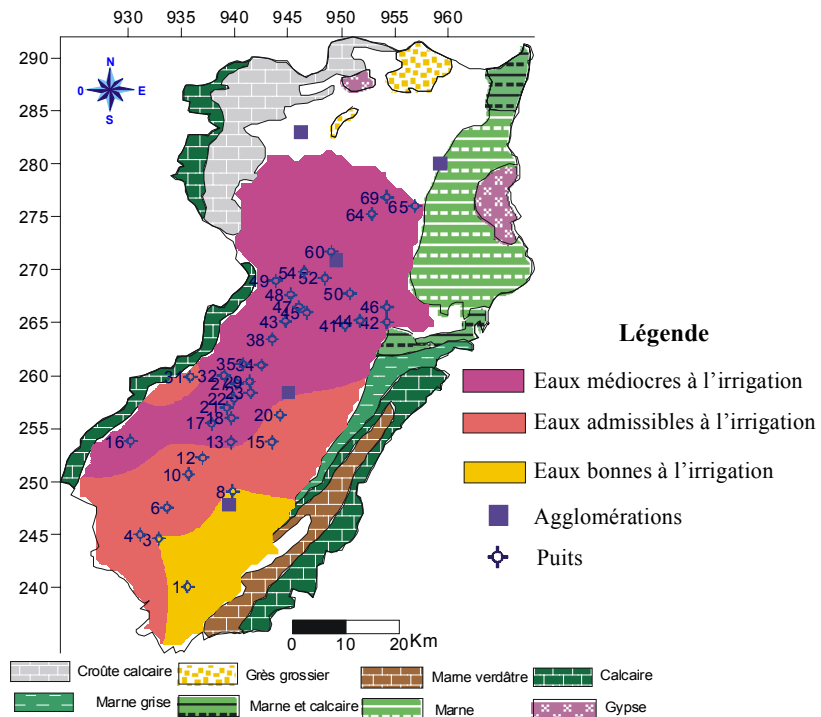


Figure 7 : Classes d'aptitude des eaux à l'irrigation selon la classification de Wilcox (Nappe de Meskiana – juillet 2008)

« admissible » (41 %) et enfin de la classe « bonne » (7.50 %). La classification de Wilcox a, également, fait ressortir les trois classes précédentes, « bonne », « admissible » et « médiocre ». La classe « médiocre » est dominante (58.74 %), suivie de la classe « admissible » (30.75 %) et enfin la classe « bonne » (10.50 %). On constate donc que les eaux souterraines subissent une dégradation selon le sens de l'écoulement, montrant ainsi l'effet de la lithologie sur leur qualité.

Tableau 5 : Pourcentage des surfaces des classes produites par les méthodes de Riverside et de Wilcox, juillet 2005.

	Riverside		Wilcox		Nombre de mailles Communes	%
	Nombre de mailles	%	Nombre de mailles	%		
Classe bonne	435	07.50	609	10.50	410	07.00
Classe admissible	2378	41.00	1786	30.75	1690	29.13
Classe médiocre	2987	51.50	3405	58.74	2714	46.80
Total	5800	100	5800	100	4814	82.91

L'analyse statistique des surfaces par classe a permis la comparaison des mailles (pixels) par classes et a fait sortir les mailles qui se présentent dans les mêmes classes des deux cartes. Le total des mailles communes, toutes classes confondues, a été évalué à 4814 mailles ce qui correspond à 82.91 % de la surface globale.

Le calcul du coefficient de Kappa a été fait par le logiciel SPSS version 13.0 et a révélé que le test de Kappa est fiable puisque sa valeur (K) est positive donc interprétable (LANDIS & KOCH, 1977). L'accord des deux méthodes est bon avec la valeur de 0,83. Nous pouvons donc noter qu'il y a une bonne concordance des classes par les deux méthodes utilisées pour l'évaluation de la salinité.

CONCLUSION

Au terme de ce travail, nous avons essayé d'évaluer la qualité des eaux souterraines utilisées en irrigation dans la plaine de Meskiana, durant la période d'observation 2007-2008. La nécessité de cette recherche est due aux problèmes que vit la région comme la sécheresse et la non disponibilité des eaux superficielles ainsi que la forte demande en eau résultant des activités agricoles. L'analyse de tous les paramètres caractérisant la salinité, pendant toute la période d'observation, a permis d'évaluer la qualité de ces eaux par des méthodes classiques. Cette évaluation a révélé que les eaux sont d'une salinité moyenne à élevée, notamment au centre et au nord de la plaine. Néanmoins, elle reste modérée pour la plupart des points d'eau qui se situent en amont de la nappe phréatique, d'où la possibilité de leur utilisation pour l'irrigation.

Divers facteurs ont engendré cette salinité à savoir :

- Le matériau de l'aquifère où on rencontre une lithologie hétérogène composée essentiellement d'alluvions, d'argiles, de marnes gypsifères et d'évaporites riches en Cl, Na, SO₄, et Ca.
- Les conditions climatiques caractérisées par une pluviométrie importante en hiver provoquent la dissolution des évaporites et des calcaires bordant la plaine ; par ailleurs, les fortes températures qui sévissent durant l'été sont la cause d'une importante évapotranspiration responsable d'une augmentation de la salinité.

Selon la valeur moyenne du SAR qui reste inférieur à 5 méq/l, les eaux souterraines présentent un faible danger d'alcalinisation et pourraient être utilisées en irrigation. La comparaison des deux cartes de répartition du SAR et du %Na a montré une distribution semblable des classes d'aptitude à l'irrigation.

L'approche « alcalinité résiduelle » a manifesté l'existence de trois types d'eaux dont l'impact sur la dégradation des sols pourrait être marquant notamment au nord de la plaine.

REFERENCES

- AFNOR, 1997. Agence française de Normalisation. « Qualité de l'eau. Tome 1: Terminologie, échantillonnage et évaluation des méthodes », 3ème édition, Paris, France.
- AYERS, R.,S. & WESTCOT, D.W. 1988. La qualité de l'eau en agriculture. *Bulletin FAO d'irrigation et de drainage*, 29, 1 : 165, FAO, Rome.
- BREMOND R. & PERREDON,C. 1979.Paramètres de la qualité des eaux. Ministère de l'environnement Paris, 259 p.
- CHEVERRY, CL. & ROBERT, M., 1998. La dégradation des sols irrigués et de la ressource en eau : une menace pour l'avenir de l'agriculture et pour l'environnement des pays au sud de la méditerranée. *Etude et Gestion des Sols*, 5, 4 : 217-226.
- DOUAOUI, A. & HARTANI, T.,2007. Impact de l'irrigation par les eaux souterraines sur la dégradation des sols de la plaine du Bas-Chélif. Actes de l'atelier régional SIRMA. Tunis.
- EATON, F. M., 1950. Significance of carbonates in irrigation waters, *Soil Sci.*, 69: 123-133.
- GOUAIDIA, L., 2008. Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines d'une nappe en zone semi-aride, cas de la nappe de Meskiana, nord-est algérien. Thèse de doctorat en sciences, université d'Annaba. 129 p.
- GOUAIDIA, L. 2011. Evaluation de la vulnérabilité d'une nappe en milieu semi-aride et comparaison des méthodes appliquées : cas de la nappe de Meskiana (Est algérien). *Sécheresse* 22, 35-42.
- HEMILA, M.L., 1988. Hydrogéologie, modélisation et gestion des ressources en eau de la plaine alluviale du bassin de la Meskiana, Haut Mellègue, Est algérien. Thèse de doctorat d'Université de Besançon. 198 p.
- KUSCER, D., 1985. Carte géologique de Meskiana au 1/50 000. (Feuille n° 177). Alger direction des Mines et de la Géologie, sous-direction de la géologie.
- LACHARME, M. 2001.Le contrôle de la salinité dans les rizières. Mémento Technique de Riziculture. 20 p.
- LANDIS, J. R. & KOCH, G. G., 1977. The measurement of observer for categorical data, *Biometrics*. 159-179.
- LANDIS, J. R. & KOCH, G.G., 1977. An application of hierarchical kappa-type statistics in the assessment of majority agreement among multiple observers. *Biometrics*. 363-74.
- MARLET, S. & JOB, J.O., 2006. Processus et gestion de la salinité des sols. In : Tiercelin, J.R. : *Traité d'irrigation*, seconde édition. Tec & Doc., Lavoisier. 822 p.
- PERSON, J., 1978. Irrigation et drainage en Tunisie : problème posé par la salinité des sols et des eaux. *Bull. BRGM* (2ème série) section III, 2 : 143-151.
- RICHARDS,L. A., 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *Agric.Handbook* 60, USDA, Washington D.C. 160 p.
- SUMNER, M.E., 1993. Sodic soils- new perspectives. *Australian Journal of Soil Research*, 31: 683-750.

