



L'IRRIGATION ET LE RISQUE DE POLLUTION SALINE. EXEMPLE DES EAUX SOUTERRAINES DE L'AQUIFERE MIOCENE DE LA PLAINE D'EL MA EL ABIOD

ROUABHIA A.E.K.¹, DJABRI L.²

¹ Maître de Conférence, Hydrogéologue, Centre Universitaire de Tébessa. Algérie
BP. 34-A. 12004 Nahda-Poste. Tébessa. rouabhia22@yahoo.fr

² Professeur, Hydrogéologue, Université d'Annaba. Algérie
djabri_larbi@yahoo.fr

RESUME

Dans le sous bassin versant d'El Ma El Abiod (Est algérien), les activités anthropiques déployées dans la plaine ont d'importantes répercussions sur les équilibres hydrauliques, hydrochimiques et biologiques qui conditionnent l'avenir socio-économique de la région. La pollution dans le secteur d'étude est provoquée par les rejets thermiques, chimiques et organiques par voie humide ou atmosphérique. Les rejets contenus dans l'eau peuvent perturber le développement physique des plantes par l'absorption de l'eau qui agit sur le processus osmotique, ou chimiquement par des réactions métaboliques telles que celles causées par les constituants toxiques.

Une analyse hydrochimique a été réalisée dans 110 puits et forages répartis sur l'ensemble de la plaine d'El Ma El Abiod. Ces analyses ont concerné les concentrations en éléments majeurs dans les eaux de l'aquifère des sables miocènes; la période d'échantillonnage a été répartie sur quatre ans (2000-2004). L'interprétation de ces analyses permettra d'établir les cartes d'aptitude des eaux à l'irrigation de la région.

Mots clés : El Ma El Abiod, Pollution, Irrigation, Salinisation, hydrogéologie.

ABSTRACT

In El Ma El Abiod region (Algeria), the anthropic activities deployed in the plain have important effects on hydraulic, hydrochimic and biological balances which condition the socio-economic future of the area. Pollution in the sector of study is caused by the thermal, chemical and organic discharges by wet process

or atmospheric. The rejections contained in water can disturb the physical development of the plants by the absorption of the water which acts on the osmotic process, or chemically by metabolic reactions such as those caused by the components toxic. A hydrochimic analysis was carried out in 110 wells and drillings distributed on the whole of the plain of El Ma El Abiod. These analyses related to the concentrations in major elements in water of the aquifer of sands miocenes; the period of sampling was distributed over four years (2000- 2004). The interpretation of these analyses will make it possible to establish the charts of aptitude of water the irrigation of the area.

Keywords : El Ma El Abiod, Pollution, Irrigation, Salinisation, hydrogeology.

INTRODUCTION

Les activités anthropiques et particulièrement agricoles ont tendance à se développer de préférence à proximité des cours d'eau et mieux encore là où le plan d'eau est facile à atteindre. La plaine d'El Ma El Abiod, constitue un secteur privilégié en région semi aride, caractérisée par un remplissage sableux dont les niveaux piézométriques sont très proches de ceux d'un sol généralement très fertile.

Sur l'ensemble de la plaine, plusieurs modes d'irrigation sont pratiqués dont le plus utilisé est le gravitaire, avec un taux d'environ 90 %. Cette utilisation engendre des pertes appréciables d'eau pompée et une pollution des eaux souterraines par les retours d'eau d'irrigation concentrée par évaporation et lessivage (Rouabhia, 2006). L'irrigation par goutte à goutte est plutôt utilisée pour les cultures arboricoles. Ces eaux de retour vers la nappe transitent à travers des sols agricoles et une zone non saturée riches en sels. Ces derniers proviennent de sources différentes :

- i. Fertilisants agricoles.
- ii. Eau d'irrigation qui est une eau souterraine à salinité parfois importante.
- iii. Des éléments chimiques (chlorures, nitrates,...) sont apportés par l'eau dans le sol à chaque irrigation et leur concentration augmente après chaque cycle cultural et après chaque année.
- iv. Quantité des sels non utilisés par les plantes et qui augmente chaque année.
- v. Concentration des solutions de la zone non saturée par évaporation lors des périodes où le sol est nu.

Ces sels d'origines diverses sont lessivés par les eaux d'irrigation qui sont déjà chargées en éléments chimiques et entraînées vers la nappe (problème qui constituât la base de la construction de l'indicateur de pollution dans les

perspectives du projet de recherche CNEPRU 2008, code G02920070001).

La ré-infiltration des eaux d'irrigation constitue une source potentielle de dégradation de la qualité des eaux souterraines, principalement dans les secteurs où la nappe circule à de faibles profondeurs de la surface du sol.

LE MILIEU PHYSIQUE

Situation géographique

La plaine d'El Ma El Abiod est située à 260 km de la mer Méditerranée, à la limite de la frontière Algéro-Tunisienne (figure.1), elle appartient entièrement au bassin versant saharien et fait partie intégrante des hauts plateaux qui constituent un réseau serré de montagnes de moyenne à forte altitude, plus ou moins séparées par des dépressions.

La limite Nord de la plaine d'El Ma El Abiod est formée par Djebel Doukkane, Djebel Anoual et Djebel Bouroumane. Ces reliefs, constituent une ligne de crêtes importante dans la géographie locale, puisqu'elle fait partie de la ligne de partage des eaux méditerranéenne et saharienne (Rouabhia and al., 2004). En effet, au nord de la région d'étude se trouve le bassin versant de l'oued Ksob qui draine les eaux vers la mer. La limite Est de la plaine s'approche du territoire tunisien dans la région de Koudiat sidi salah.

A l'Ouest, on trouve la plaine de Chéria, la plus haute des régions du Sud-Est constantinois, drainée par l'oued Chéria à écoulement saharien, et sur un tronçon de 15 km, parsemé de marécages en aval de la ville. Un peu plus vers le sud, on rencontre en limite de zone la plaine de Telidjen, caractérisée par un faible réseau hydrographique. La limite Sud est constituée par le synclinal de Bir Sbeikia d'âge Mio-Quaternaire.

Le couvert végétal

La végétation naturelle, à base de pin d'Alep, est développée au nord de la zone d'étude et devient de plus en plus rare vers le sud jusqu'à disparition en limite sud au Djebel Boudjelal. La végétation arbustive est presque totalement absente ne fait vraiment exception, que l'escarpement septentrional du bassin d'El Ma El Abiod, qui est recouvert d'une forêt de pins.

On peut également citer les Genévriers épais du Djebel Abiod et surtout des basses pentes méridionales du Djebel Arour. Partout ailleurs, la roche ou les sols affleurent entre les touffes d'une steppe basse où domine l'Alfa.

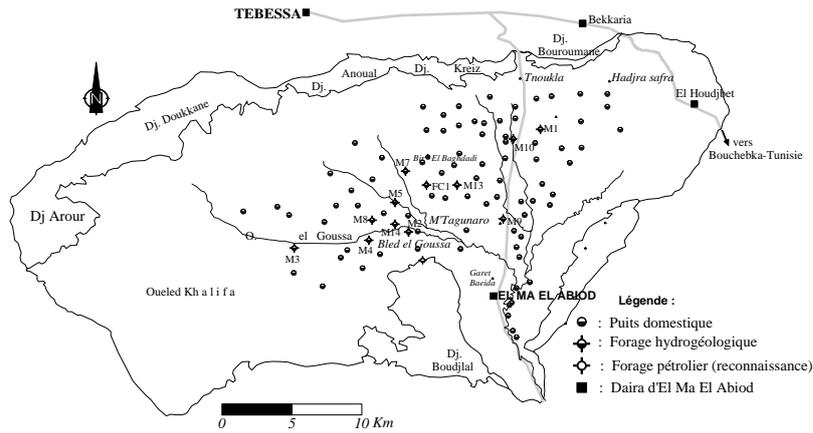


Figure 1 : Présentation de la plaine d'El Ma El Abiod

Géologie et hydrogéologie

La région fait partie de l'Atlas Saharien. Elle est limitée par des plis d'axes NE-SW au Nord et au Sud; il s'agit d'un haut plateau où l'on peut distinguer deux grands ensembles :

- i. Les affleurements de bordure d'âge Crétacé
- ii. Les formations d'âge Miocène et Quaternaire occupant la totalité de la plaine.

La plaine se présente comme une cuvette dont le substratum crétacé, calcaireux et marneux, est séparé du Miocène par des éboulis très perméables. Le tableau 1 présente l'intérêt hydrogéologique et hydrochimique des formations décrites au présent chapitre.

Tableau 1 : Intérêt hydrogéologique et hydrochimique.

Formation	Epaisseur	Intérêt hydrogéologique	Intérêt hydrochimique
Calcaire	Plus de 100m	Alimentation du système aquifère	Eaux généralement bicarbonatées calciques
Marnes	Environ 50m	Aucun	A l'origine des sulfates
Grés	Plus de 50m	aquifère	Plusieurs faciès
sables	40-250m	aquifère	Plusieurs faciès

La structure générale de la plaine d'El MA EL Abiod montre deux familles d'unités aquifères de profondeurs différentes.

La première, de faible profondeur et très étendue, se rencontre dans les formations alluviales récentes, constituées d'argiles remaniées avec du sable et des cailloutis.

Localement, une formation de calcaires de faible profondeur (Oglat Chaachaa) été exploitée par deux puits actuellement à sec.

La deuxième se trouve dans les formations miocènes, grès, sables et graviers à plus grandes profondeurs; elle est exploitée par une dizaine de forages et une centaine de puits (*Rouabhia et al.*, 2008). Les deux nappes sont libres, mais la nappe miocène devient légèrement captive plus à l'Est, au niveau du forage AT1 (x : 994,00, y : 231,80).

APTITUDE DES EAUX DE LA PLAINE A L'IRRIGATION

Après la série de forages réalisés par les services de l'état, la région a pris une nouvelle tendance dans l'activité agricole et toutes sortes de cultures ont été pratiquées. L'intensité des pratiques agricoles et la mise en place de nombreux systèmes d'irrigation ont provoqué un impact sur la qualité des eaux souterraines, notamment celles de retour vers la nappe après irrigation.

Il est connu que les sels minéraux contenus dans l'eau ont des effets sur le sol et les plantes. Les sels peuvent perturber le développement physique des plantes. Du fait de l'absorption de l'eau, on peut observer des effets sur les processus osmotiques, ou du point de vue chimique par des réactions métaboliques, telles que celles causées par les constituants toxiques. En plus, les sels causent des changements dans la structure du sol (sur sa perméabilité et son aération), affectant directement le développement de la plante (*Person*, 1978).

Dans cette note nous allons mettre en évidence l'utilisation à des fins agricoles des eaux de la région. Sont prises en compte dans les calculs quatre périodes, à savoir octobre 2000, juin 2002, octobre 2003, et juin 2004. Les méthodes de *Richards* (1954) et *Wilcox* (1948), qui demeurent les plus fréquemment utilisées, seront développées.

Risque de sodicité et de salinité

La salinité peut entraîner des effets nocifs conséquents en raison de la fixation du sodium des sels de chlorures de sodium par les colloïdes du sol. Le sodium exerce alors une action néfaste sur la végétation, de façon indirecte, en dégradant les propriétés physiques du sol. De part cette action, les sols deviennent compacts et asphyxiants pour les plantes (*Todd*, 1980). Lorsque la concentration des ions Na^+ à l'état soluble dans le sol est importante, ces ions remplacent fréquemment les cations Ca^{2+} dans le complexe absorbant. Une eau

chargée en sels peut provoquée cet effet. Le risque est déterminé à partir 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.

L'aptitude de l'eau à l'irrigation peut être jugée non seulement à partir de la concentration totale en sels, mais aussi par le type de sels et les ions qui la constituent. Il est donc impératif d'étudier les paramètres qui définissent les caractéristiques des eaux destinées à l'irrigation.

Calcul des paramètres des eaux à usage agricole

Les principaux facteurs qui peuvent dégrader la qualité des eaux destinées à l'irrigation se résument donc à la concentration en sels dissous, exprimés par le résidu sec ou la conductivité électrique, la salinité potentielle, la concentration relative en sodium et la quantité des éléments toxiques (Bore et Chlore) présents dans l'eau. Lorsque les sels sont concentrés dans les solutions de sol, chacun des facteurs dégradant la qualité a un effet sur la croissance de la plante et par conséquent sur sa production d'une part, et sur les propriétés physiques et chimiques d'autre part.

L'effet primordial de la salinité totale est de réduire la croissance des cultures et leur production. Elle est généralement exprimée par la minéralisation globale ou par la conductivité électrique (CE). Cette dernière est liée au résidu sec (RS) et à la pression osmotique π par les formules suivantes :

$$RS(mg / l) = 0,7CE (\mu S / cm)$$

$$\pi(atm.) = 0,00036 CE$$

La salinité du sol est constituée par tous les sels de chlorures de sodium et des sulfates de magnésium, par conséquent la salinité potentielle (Sp) pourrait être estimée par (Doneen, 1961) :

$$SP = Cl + \frac{1}{2}SO_4^{2-}$$

où tous les termes sont exprimés en milliéquivalent par litre.

Pour le sodium, il a été reconnu que sa concentration dans les eaux d'irrigation a une influence sur la perméabilité et l'infiltration des sols. La présence de Na^+ a des effets néfastes sur la structure des sols par défloculation de l'argile. Cet effet est interprété par différents auteurs en calculant plusieurs paramètres tels que le SAR :

$$SAR = \frac{N_a^{2+}}{\sqrt{\left(Ca^{2+} + Mg^{2+} \right) / 2}}$$

Le pourcentage en sodium est donné par :

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

Le pourcentage d'échange de sodium est :

$$ESP = 100 \times \frac{[b(SAR) - a]}{1 + [b(SAR) - a]}$$

où $a = 0,0126$ et $b = 0,01475$.

Dans les formules ci-dessus, tous les éléments sont exprimés en milliéquivalent par litre. De plus, des études récentes (Younsi, 2001; Debieche, 2002) ont indiqué que la perméabilité du sol dépend de plusieurs autres facteurs tels que la concentration totale de l'eau, la quantité de sodium, la concentration en bicarbonates et la nature du sol lui-même. Les trois premiers termes ont été combinés dans une seule formule donnant ce que l'on appelle l'indice de perméabilité (IP) défini par (Doneen, 1961) :

$$IP(\%) = 100 \times \frac{Na^+ + \sqrt{HCO_3}}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+}$$

où tous les termes sont en milliéquivalent par litre.

Parmi les éléments reconnus toxiques, on note les concentrations en bore et en chlore. Le bore est généralement présent dans certaines eaux d'irrigation en quantité indésirable mais pas tellement toxique. Quant au chlore, sa présence excessive dans le sol exerce des effets défavorables sur la végétation et la qualité de certaines cultures. Ces différents paramètres peuvent agir séparément ou de façon combinée dans la classification des eaux à usage agricole.

INTERPRETATION DES RESULTATS

Les facteurs les plus importants, intervenant dans la qualité de l'eau pour l'irrigation sont calculés pour mieux définir l'aptitude des eaux de la plaine d'El Ma El Abiod à l'irrigation, selon les classifications utilisées de nos jours.

Le report des différents paramètres des tableaux 2 et 3 sur les diagrammes de Richards (1954) et Wilcox (1948), permet une interprétation qui conduira à

localiser les types d'eau et par conséquence les diverses utilisations (variétés de cultures).

Tableau 2 : Paramètres de la qualité de l'eau d'irrigation (Juin 2002)

Puits	CE	P. Osmo.	% Na ⁺	SAR	IP%	ESP	SP	RS
P02	590	0,21	54,85	0,55	9,48	-0,44	3,30	413
P51	669	0,24	28,58	0,42	7,05	-0,63	3,94	468,3
P11	539	0,19	25,04	0,46	7,83	-0,58	3,77	377,3
P05	1280	0,46	23,67	0,82	11,87	-0,04	6,97	896
P07	1859	0,66	42,29	1,54	19,17	1,00	12,94	1301
P30	766	0,27	22,49	0,58	9,43	-0,39	4,67	536,2
P01	652	0,23	34,60	0,97	17,86	0,17	4,63	456,4
P13	986	0,35	28,46	0,86	13,54	0,01	5,88	690,2
P10	1539	0,55	30,68	1,27	16,81	0,62	7,67	1077
P12	833	0,30	24,91	0,76	11,29	-0,13	4,87	583,1
P32	802	0,28	32,24	0,90	15,7	0,07	5,18	561,4

Tableau 3 : Paramètres de la qualité de l'eau d'irrigation (Juin 2004).

Puits	CE	P. Osmo.	% Na ⁺	SAR	IP%	ESP	SP	RS
P39	1100	0,39	79,23	1,15	41,91	0,44	5,02	770
P09	1800	0,64	80,18	2,98	55,07	3,04	9,31	1260
P08	800	0,28	84,30	0,74	43,82	-0,16	2,90	560
P52	1300	0,46	84,31	2,47	59,92	2,33	6,38	910
P44	900	0,32	85,13	1,25	55,56	0,59	3,66	630
P14	800	0,28	84,97	0,90	49,81	0,08	3,22	560
P03	800	0,28	85,55	1,00	46,61	0,21	4,75	560
P07	600	0,21	87,77	0,43	57,51	-0,62	1,55	420
P53	400	0,14	90,07	0,27	65,11	-0,86	1,24	280
M8	900	0,32	78,90	1,11	51,17	0,38	3,42	630

*L'irrigation et le risque de pollution saline.
Exemple des eaux souterraines de l'aquifère miocène de la plaine d'El Ma El Abiod*

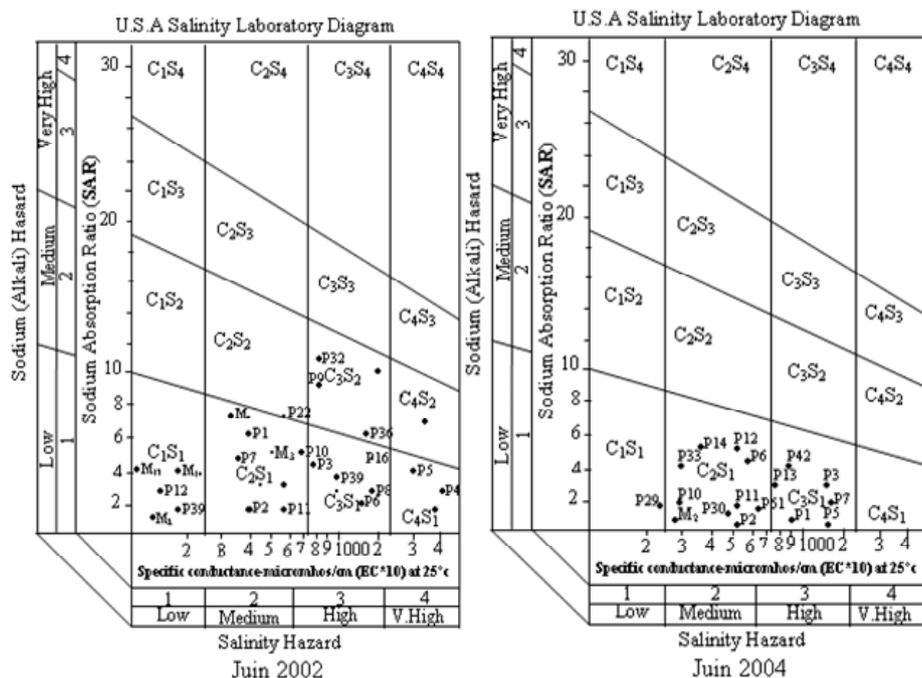


Figure 2 : Diagrammes de Richards (1954). Périodes 2002 et 2004.

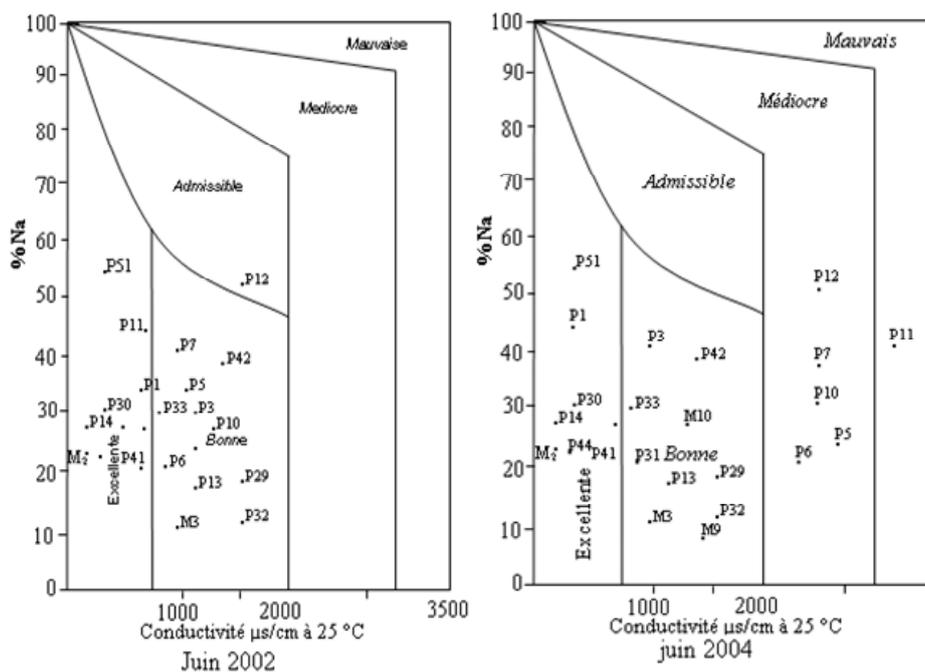


Figure 3 : Diagrammes de Wilcox (1948). Périodes 2002 et 2004.

Le diagramme de Richards fait que Quatre classes apparaissent : excellente, bonne, admissible et médiocre. Chacune de ces classes présente ses propres caractéristiques. Le tableau 4 donne les résultats d'interprétation des diagrammes.

Tableau 4 : Résultats obtenus après interprétation des diagrammes de Richards

Région	El Ma El Abiod (tous secteurs)			
	Période			
classe	Octobre 2000	Juin 2002	Octobre 2003	Juin 2004
Excellente	05	10	08	06
Bonne	10	12	10	08
Admissible	01	01	00	02
Médiocre	07	00	05	06
Mauvaise	05	01	03	02

Le diagramme de Wilcox montre que les eaux de la plaine présentent les mêmes qualités au cours du temps (Tableau 5). La dégradation observée traduit un changement dans la qualité de l'eau.

Tableau 5 : Résultats obtenus après interprétation des diagrammes de Wilcox

Région	El Ma El Abiod (tous secteurs)			
	Période			
classe	Octobre 2000	Juin 2002	Octobre 2003	Juin 2004
Excellente	C ₁ S ₁			
Bonne	C ₂ S ₁	C ₂ S ₁	C ₂ S ₁	C ₂ S ₁
Admissible	C ₃ S ₁ - C ₃ S ₂	C ₃ S ₁ - C ₃ S ₂	C ₂ S ₁ - C ₃ S ₁	C ₃ S ₂
Médiocre	C ₃ S ₁ C ₃ S ₃	C ₃ S ₂	C ₂ S ₁ C ₂ S ₁	C ₃ S ₁
Mauvaise				
Caractéristiques				
C ₂ S ₁	Eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation			
C ₃ S ₁ - C ₃ S ₂	Eau convenant à l'irrigation des cultures tolérantes au sel sur sol ayant une bonne perméabilité			
C ₃ S ₃ - C ₄ S ₄	Eau ne convenant pas à l'irrigation			

Cartographie de l'aptitude des eaux à l'irrigation

Pour que l'interprétation ait un sens pratique, nous avons cartographié l'aptitude de ces eaux à l'irrigation, nous présenterons les cartes qui se rapportent au début de la période d'observation, sachant que l'ensemble des cartes présente la même répartition.

Carte d'aptitude des eaux à l'irrigation selon le diagramme de Richard

La carte fait ressortir trois catégories d'eaux :

Les eaux de bonne qualité sont celles issues des sables qui reposent sur les grès, se localisant au Nord-Est du terrain. Les eaux de qualité admissible à médiocre occupent l'Ouest du terrain. Les eaux de mauvaise qualité se localisent au centre du terrain au lieu dit M'Taguinaro et au sud (fig.4). Elles s'expliquent par la nature des formations en ces deux endroits.

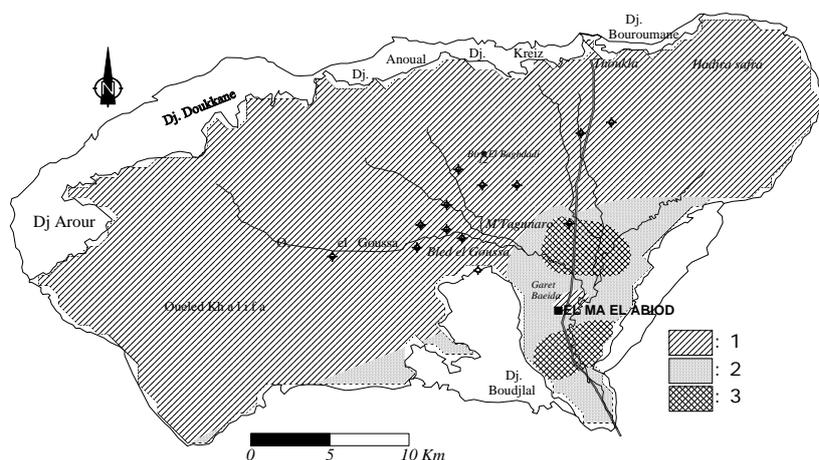


Figure 4 : Carte d'aptitude (Octobre 2002) des eaux à l'irrigation selon le diagramme de *Richard* (1954).

Carte d'aptitude des eaux à l'irrigation selon le diagramme de Wilcox

La carte représentée par la figure 5 a été établie selon l'interprétation du diagramme de *Wilcox* (1948). Elle confirme les constatations issues de l'interprétation de la carte de la figure 4. Les eaux de mauvaise qualité se localisent au centre à M'Taguinaro où les conductivités sont élevées, puisque les eaux en cet endroit sont salées et chargées (forage M6). Au sud et à l'ouest d'El Goussa les eaux sont de qualité admissible, et sur le reste du terrain les eaux présentent une bonne qualité.

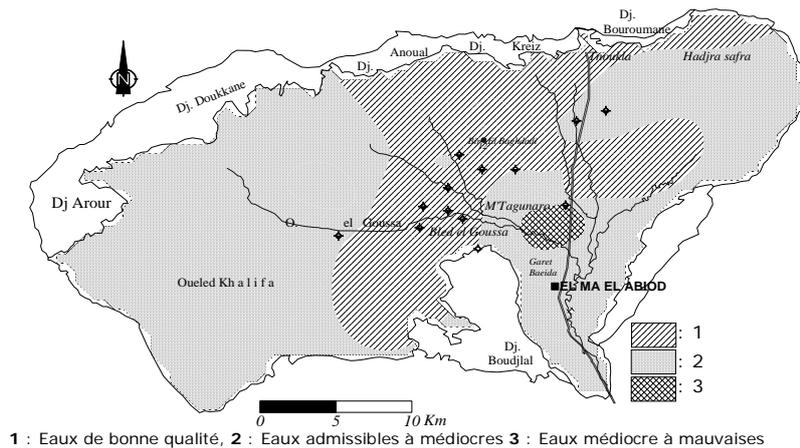


Figure 5 : Carte d’aptitude (Octobre 2002) des eaux à l’irrigation selon le diagramme de *Wilcox* (1948).

CONCLUSION

Durant la période d’observation (2002-2004), une dégradation de la qualité des eaux a été très remarquable au sud et au centre du terrain. Elle est due essentiellement aux facteurs suivants qui peuvent engendrer l’évolution constatée :

- i. La géologie : la description lithologique a montré une hétérogénéité dans les formations (alluvions, argiles, sables, grès et les évaporites riches en Cl, Na, SO₄, et Ca) composant l’aquifère de la région d’El Ma EL Abiod qui favorise la minéralisation.
- ii. Les facteurs climatiques : les régions semi-arides sont généralement caractérisées par l’irrégularité de la pluviométrie, ce qui ne favorise pas le phénomène de dilution. Les fortes températures qui sévissent provoquent une forte évapotranspiration et par conséquent une augmentation de la salinité qui peut expliquer la dégradation de la qualité des eaux.

Un autre facteur qui peut expliquer la mauvaise qualité des eaux rencontrées au centre, à M’Taguinaro, est le rejet de l’usine de ciment (poussières atmosphériques) au même endroit. Cette pollution nécessiterait une étude plus approfondie confirmant ou infirmant ses risques sur la qualité des eaux. Il a été constaté, lors des campagnes de terrain, une dégradation du couvert végétale aux alentours immédiats de ce secteur (M’Taguinaro).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 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. Thèse de doctorat. Univ. de franche comté. 199p.
- DONEEN L.D (1962) The influence of crop and soil on percolating water. Proc. 1961 Biennial Conf. on groundwater recharge. P10.
- PERSON J. (1978) Irrigation et drainage en Tunisie problème posé par la salinité des sols et des eaux. Bull. BRGM (2^{ème} série) section III, n°2 : 143-151.
- ROUABHIA A., BAALI F., KHERICI N., DJABRI L. (2004). Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraines de la nappe des sables miocènes de la plaine d'El MA EL Abiod (Algérie), *Revue Sécheresse* Vol.15, n°4.
- ROUABHIA A. (2006) Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraines de la nappe des sables miocène de la plaine d'El Ma El Abiod. N.E Algérie. Thèse de doctorat en sciences, 210p, Université d'Annaba, Algérie.
- ROUABHIA A., BAALI F., FEHDI Ch., KHERICI N., DJABRI L. (2008) : Hydrochemical and isotopic investigation of a sandstone aquifer groundwater in a semi arid region, El Ma El Abiod, Algeria. *Journal of environmental geology* (Springer) Environ Geol. n°254. DOI:10.1007/s00254-008-1451-5
- ROUABHIA A. BAALI F. GOUDJIL T. BOUBAAIA Dj (2008) Systèmes d'irrigation et risques de pollution saline et azote. Construction d'un indicateur de risque et application sur les plaines de Tébessa, (El Ma El Abiod, La Merdja et Chéria) Algérie. Projet de recherche CNEPRU, code G02920070001. MESRS.
- RICHARDS L. A. (1954) Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Agric. Handbook 60, USDA, Washington D.C, p160.
- TODD K. (1980). Groundwater hydrology, J. Wiley & Sons, 2nd Edition, New York, USA.
- YOUNSI A. (2001). Méthodologie de mise en évidence des mécanismes de salures des eaux souterraines côtières en zone semi-aride irriguée. Chaouia côtière, Maroc. Thèse de doctorat d'état, Université Chouaib Doukkali, El Jadida, Maroc.
- Wilcox L.V (1948) The quality of water for agricultural use. US Dept Agriculture Tech. Bull. 1962, Washington DC

Ce travail a été réalisé dans le cadre de deux projets de recherche CNPRU MESRS codés respectivement : G02920060020 (2007) et G02920070001 (2008).