

Analyse de la qualité physico-chimique des eaux souterraines de la communauté des Mzamza, au voisinage des eaux usées

Jaouad El Asslouj ¹, Sanae Kholtei ^{1*}, Namira El Amrani ² et Abderraouf Hilali ³

¹ Laboratoire de chimie appliquée et environnement, Faculté des sciences et techniques, Université Hassan 1^{er}, Km 3, 5 route de Casablanca, BP 577 Settat, Maroc

² Département de géologie appliquée, Faculté des sciences et techniques, Université Hassan 1^{er}, Km 3, 5 route de Casablanca, BP 577 Settat, Maroc.

³ Laboratoire de cytogénétique et toxico génétique, Faculté des sciences et techniques, Université Hassan 1^{er}, Km 3, 5 route de Casablanca, BP 577 Settat, Maroc.

(Reçu le 23 Juin 2006, accepté le 11 Novembre 2006)

* Correspondance, courriel : skholtei@yahoo.fr

Résumé

Dans la communauté des Mzamza, caractérisée par une potentialité agricole importante surtout dans les périmètres irrigués par les eaux usées brutes domestiques et industrielles, les eaux de la nappe sont sujettes à plusieurs possibilités de contamination. Or dans cette zone, les eaux souterraines constituent une ressource importante en eau potable et en eau d'irrigation.

L'objectif de ce travail est, d'une part, d'évaluer l'influence de la réutilisation des eaux usées sur la qualité physico-chimique des eaux de puits du site d'étude et, d'autre part, de déterminer la qualité de ces eaux en référence aux normes de potabilité ou d'irrigation.

Les résultats obtenus ont montré que les concentrations des éléments considérés (principaux polluants et indicateurs de pollution) sont élevées dans les eaux usées et dans les eaux souterraines.

Le rapport d'adsorption du sodium (SAR) nous a permis de qualifier les eaux souterraines destinées à l'irrigation et les causes de salinisation du sol lors de l'utilisation de ces eaux dans ce domaine.

Plusieurs facteurs déterminants ont été mis en évidence dans la contamination des eaux souterraines par ces polluants, à savoir : l'apport en fertilisants azotés, la nature du sol, la lithologie, la perméabilité de l'aquifère et la distance du puits par rapport aux sources de pollution que sont les eaux usées.

Mots-clés : *Irrigation, eaux usées, eaux souterraines, qualité, contamination, Mzamza.*

Abstract

Analyze of the physicochemical quality of Mzamza's community of ground waters, around waste waters

In the Mzamza's community, characterized by an important agricultural potentiality especially in the perimeters irrigated by domestic and industrial water, ground waters are prone to several possibilities of contamination. However in this zone, the ground waters are considered as an important resource used to drink water and irrigation.

The objective of this study is, on the one hand, to try to evaluate the impact of the wastes water's re-use on the physicochemical quality of wells'water in the zone of study and, on the other hand, to determine its quality referring to the standards of potability or irrigation.

The results obtained showed that the concentrations of the elements considered (principal pollutants and indicators of pollution) are high in waste waters and ground waters.

The ratio of adsorption of sodium (SAR) enabled us to qualifie ground waters intended to the irrigation, and the causes of salinisation of the soil when using it in this domain.

Several determining factors were highlighted in the contamination of ground waters by these pollutants, namely: the contribution of nitrogenized fertilizers, the nature of soil, the lithology, the permeability of the aquifer and the outdistances well compared to the sources of pollution which are waste waters.

Keywords : *Irrigation, waste waters, ground waters, quality, contamination, Mzamza.*

1. Introduction

L'agriculture, de façon générale, est une grande consommatrice d'eau. Dans les conditions arides et semi arides, les exploitants agricoles sont amenés à utiliser différentes sources d'eaux pour l'arrosage de leurs cultures. Sur certains sites, ils utilisent des eaux usées non traitées, pouvant provenir aussi bien des ménages que des industries.

La ville de Settât (Sud de Casablanca) est dotée d'un réseau d'assainissement de type unitaire. Le collecteur principal évacue les eaux usées domestiques et industrielles sans aucun traitement préalable vers l'oued Boumoussa. En période de hautes eaux et à l'occasion des rares crues, ce cours d'eau peut s'étaler sur une distance de 12km vers le Nord à partir du plateau de Settât. Le long de son passage, les agriculteurs riverains de la communauté rurale des Mzamza, objet de cette étude, l'utilisent pour l'irrigation des cultures céréalières et fourragères (**Figure 1**).

Cette étude entre dans le cadre du projet INRA/CRDI N° 100771-004, elle a porté tout d'abord sur la caractérisation physico-chimique des eaux usées réutilisées, puis sur l'identification des différents polluants [1] et enfin, ce présent travail, sur l'évaluation du degré de contamination des eaux souterraines de la nappe phréatique des champs d'épandage des eaux usées.

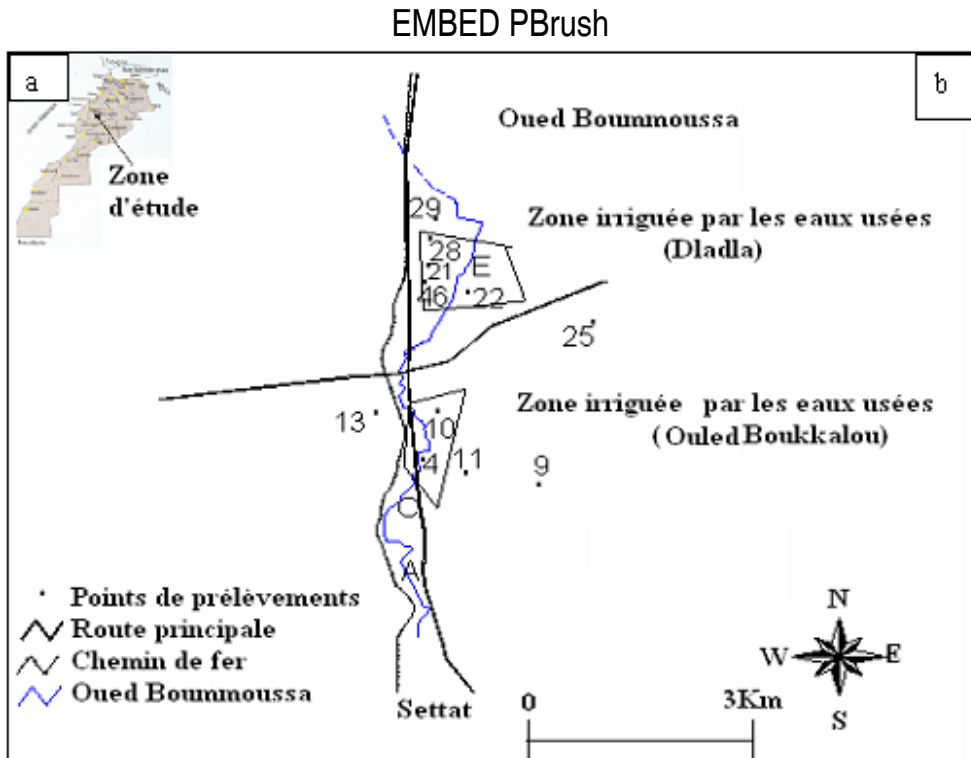


Figure 1 : (a) Carte du Maroc : la flèche indique la zone d'étude
 (b) Localisation géographique des sites de prélèvements.

2. Matériel et Méthodes

2-1. Milieu d'étude

La région d'étude, communauté des Mzamza située au Sud de Casablanca, est classée dans un domaine à climat semi-aride mésothermique (20°C en moyenne) avec une pluviométrie de l'ordre de 400 mm/an [2,3]. En ce qui concerne sa géomorphologie, l'analyse cartographique (cartes topographiques au 1/10000 et 1/5000) montre une région globalement aplatée avec une dénivelée de 50 à 70 m, et un maximum de 420 m. L'altitude moyenne est d'environ 360 m.

La zone d'étude est une zone charnière entre le plateau de Settat au Sud et la plaine de Berrechid au Nord. Cette limite plateau de Settat-plaine de Berrechid témoigne d'une tectonique plioquaternaire par l'existence de failles importantes.

Les deux ensembles qui constituent le plateau de Settat et la plaine de Berrechid sont formés de roches sédimentaires sur lesquelles vient se superposer la couverture quaternaire récente. La plaine de Berrechid se caractérise par des affleurements de limons argileux quaternaires ou de grès calcaires pliocènes. Le plateau de Settat se situe dans une cuvette d'âge cénomanien (**Figure 2**).

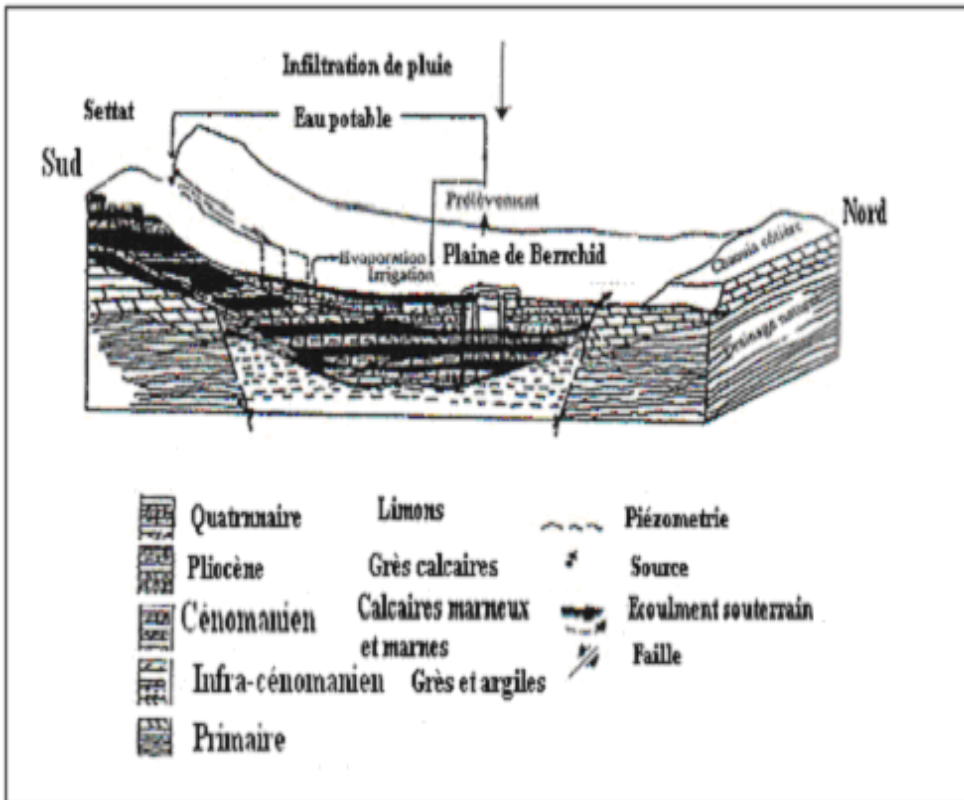


Figure 2 : Cycle hydrologique dans la zone d'étude [3]

Les formations marno-calcaires du cénomanien qui affleurent largement sur le plateau de Settat, disposent d'une nappe de faible extension

participant en partie à l'alimentation de la nappe plioquaternaire de Berrechid. Cette nappe se caractérise au fond de la cuvette de Settât par un faible niveau hydrostatique qui est à l'origine d'une pollution permanente [3,4].

Les limons forment la quasi-totalité du recouvrement de la région. Le rôle hydrogéologique des limons est donc très important, du fait qu'ils mettent en charge localement la nappe des formations sablo-gréseuses du plioquaternaire. Cependant l'existence d'une nappe libre dans une grande partie de la plaine de Berrechid implique une alimentation de celle-ci à partir des infiltrations du réseau de surface, voire localement une perméabilité verticale non négligeable des limons de recouvrement [3-5].

L'étude hydrologique du site de Settât a mis en évidence un oued à faible débit, c'est l'oued Boumoussa qui s'écoule sur un trajet de 25 km environ du Sud vers le Nord, il traverse la ville de Settât en longeant la route principale Casablanca-Marrakech. A la traversée de la ville, l'oued est couvert sur 3 km, il collecte les eaux d'orages, les eaux usées de la ville et de la zone industrielle. L'écoulement superficiel de l'oued disparaît à 7 km vers le Nord de la ville participant à la fois à l'alimentation et à la pollution de la nappe de Berrechid [3].

2-2. Sites d'étude

La zone sur laquelle porte cette étude correspond aux deux douars (Dladla et Ouled Boukallou) de la communauté des Mzamza. Onze puits ont été sélectionnés pour caractériser l'impact des rejets polluants sur la qualité physico-chimique des eaux souterraines de la région d'étude. Les puits témoins retenus sont les plus éloignés de l'oued (puits 9 et 25). Ils sont situés respectivement à 1,15 et 2,025 km de la source de pollution (**Figure 1**).

Pour la caractérisation des eaux usées, trois stations ont été suivies :

- Site A : station de référence en amont sur l'oued Boumoussa
- Site C : situé à 400m en aval de la confluence eaux usées de la ville de Settât- eaux de l'oued Boumoussa. Cette eau sert pour irriguer douar Ouled Boukallou.

- Site E : situé sur l'oued Boumoussa à 3,5 km en aval du rejet de la ville de Settat. Il sert pour irriguer douar Dladla.

La fréquence d'échantillonnage adoptée durant la période d'observation (novembre 2003-octobre 2004) était d'un prélèvement par mois. Quinze paramètres ont été mesurés. Trois de ces paramètres l'ont été sur le terrain : la température, la conductivité et le pH. Le prélèvement, le transport et la conservation des échantillons d'eau font référence au protocole défini par *l'Agence française de Normalisation AFNOR* (NF-T 90-10). Les méthodes utilisées sont : la volumétrie pour l'oxygène dissout, les bicarbonates, les chlorures, le calcium et le magnésium ; la spectrophotométrie d'absorption moléculaire pour les sulfates, les nitrates, les nitrites, les ions ammoniums et les orthophosphates et la spectrophotométrie d'absorption atomique pour le sodium et le potassium [6].

3. Résultats et discussion

Dans la communauté des Mzamza, les eaux souterraines constituent une ressource importante d'eau de boisson et d'eau d'irrigation. Il est donc impératif dans cette région d'évaluer l'effet des eaux usées sur la qualité physico-chimique des eaux de puits et de comparer la qualité de ces eaux aux normes de potabilité de l'eau de boisson et de l'eau pour l'irrigation de plusieurs cultures.

3-1. Etat de la qualité des eaux souterraines en vue d'un usage de potabilité

Les données hydrochimiques montrent une macro pollution intense dans les eaux de puits et les eaux de l'oued Boumoussa, collecteur des eaux usées domestiques et industrielles de la ville de Settat. L'étude évolutive des teneurs moyennes des principaux paramètres et indicateurs de pollution a montré que :

Les valeurs du pH et de la température des eaux de puits étudiés se

trouvent dans la zone normale, leurs valeurs moyennes varient de 6,65 à 8,62 pour le pH et de 18 à 22°C pour la température.

On note pour la conductivité électrique (CE) une large variation de la composition chimique des eaux, elle varie entre un minimum de 1547 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et un maximum de 4484 $\mu\text{S}/\text{cm}$. L'origine de cette minéralisation, attribuée à priori au retour des eaux d'irrigation, a été signalée par Kholtei en 2002 au niveau des eaux de puits de la même région en 1997 [7]. De l'amont vers l'aval hydraulique, on constate une minéralisation croissante de l'eau des puits (**Figure 3c**). En se référant aux normes marocaines de potabilité [8] seules les eaux de puits témoins (9 et 25) peuvent être considérées comme acceptables (**Figure 3c**).

L'évolution de l'oxygène dissout dans les eaux souterraines traduit une nette dégradation de la qualité des eaux de puits situés à proximité des eaux usées et/ou dans la zone d'épandage. Le pourcentage moyen de saturation dans les eaux de puits témoins est dans les normes (**Figure 3g**). Ce déficit en oxygène dissout est le résultat des fortes charges organiques générées par les rejets liquides de la ville de Settat.

Les résultats de la demande biochimique en oxygène (DCO) montrent également que la charge en matières oxydables apportée par l'oued Boumoussa est considérable (**Figure 3f**). En effet, les charges maximales, exprimées en terme de DCO, ont atteint des teneurs de l'ordre de 342,33 mg d' O_2/L pour le puits 4, de 457,33 mg d' O_2/L pour le puits 11, de 336,66 mg d' O_2/L pour le puits 21, de 393,33 mg d' O_2/L pour le puits 28 et de 440 mg d' O_2/L pour le puits 46 durant les mois d'avril et de mars 2004.

Ces valeurs de la DCO dépassent largement la valeur guide fixée à 25 mg d' O_2/L par la Directive marocaine relative aux eaux destinées à la production d'eau potable [8].

Les nitrites croissent dans les eaux de puits situés à proximité des eaux usées (**Figure 3e**). Leur existence en quantité importante témoignerait d'une contamination récente résultant de l'infiltration des eaux usées et d'un déficit du milieu en oxygène [9-11].

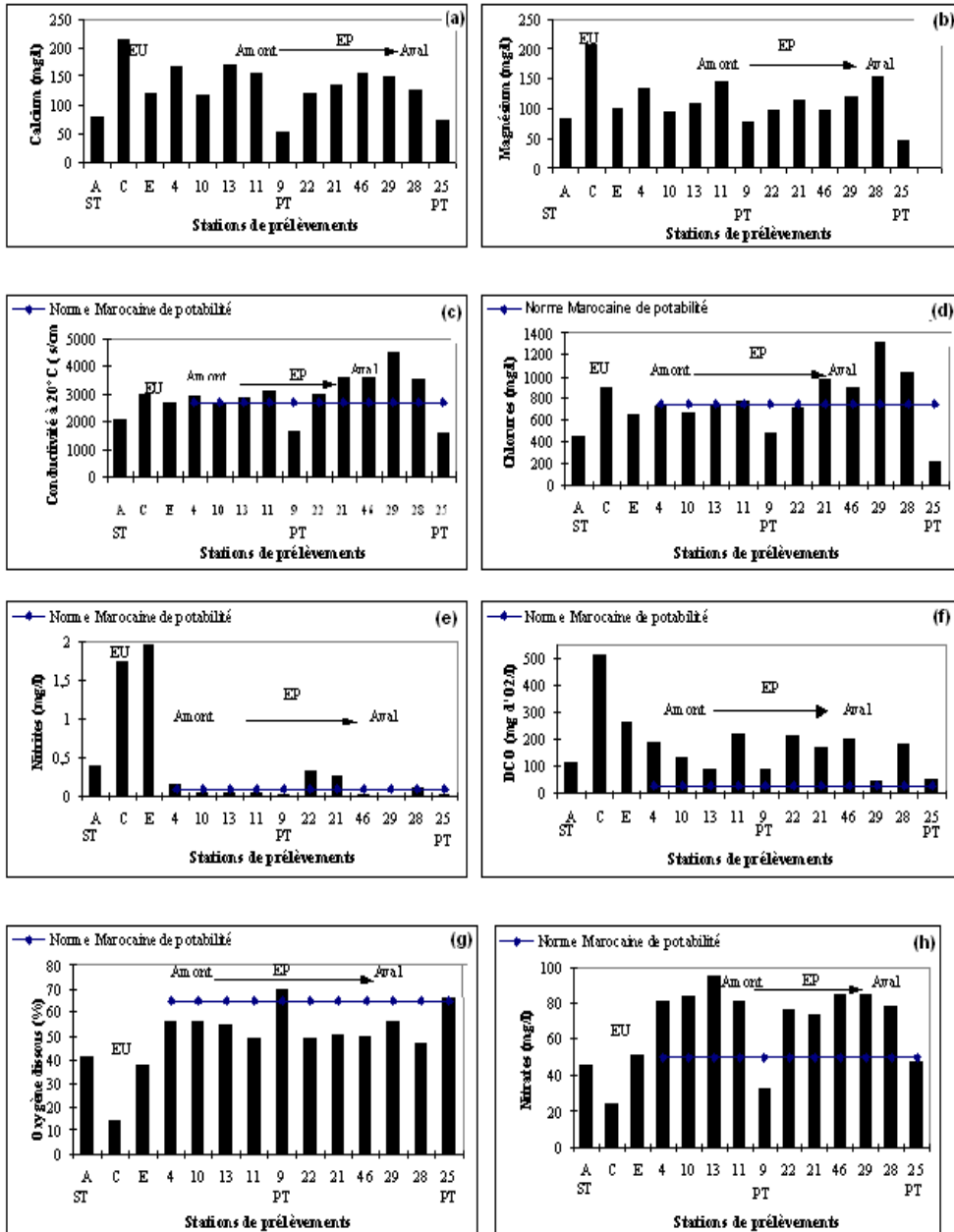


Figure 3 : Evolution des valeurs moyennes des principaux paramètres et indicateurs de pollution au niveau des eaux usées et des eaux de puits.

EU : Eaux usées EP : Eaux de puits ST : Station témoin PT : Puits témoins

De même, la qualité de l'eau est médiocre par rapport au paramètre nitrates puisque seuls les puits témoins 9 et 25 respectent les normes marocaines de 50 mg/L. La valeur moyenne maximale atteint 95mg/L dans le puits 13. Ce résultat montre une pollution par les nutriments, dont l'origine est probablement liée à l'oxydation des nitrites par les bactéries de la nitrification suite à l'infiltration des eaux usées [12].

Sur le plan hydrochimique, Les eaux sont fortement minéralisées, très dures (de 79,071 à 215,79 mg/L en calcium, de 55,33 à 201,28 mg/L en magnésium) et très chlorurées (de 560,12 à 1309,26 mg/L en chlorures).

En comparant ces résultats avec les normes de potabilité préconisées par le Maroc, seules les eaux de puits témoins 9 et 25 montrent des valeurs acceptables (**Figures 3a, b, d**).

Les valeurs moyennes en chlorures évoluent de la même manière que la conductivité pour l'ensemble des points de mesure. Les chlorures pourraient provenir des rejets industriels, de la percolation à travers les terrains salés [13,14] et à l'écoulement des eaux d'irrigation [7,15,16].

D'une façon générale et pour cette période d'étude, par comparaison aux normes marocaines adoptées par l'*Office National de l'Eau Potable*, l'eau de ces puits, à l'exception des puits 9 et 25, est non potable à cause des teneurs en chlorures, de la pollution par les sels azotés et des teneurs élevées de la DCO.

3-2. Etat de la qualité des eaux souterraines en vue d'un usage agricole

Dans la région étudiée, l'irrigation des cultures est assurée par le pompage des eaux de l'oued Boumoussa. Pour caractériser l'eau d'irrigation, nous utilisons les valeurs de la conductivité électrique à 25°C et celles du rapport d'adsorption du sodium (SAR).

$$S.A.R = \frac{[Na^+]}{\sqrt{\frac{([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}])}{2}}}$$

La carte de la **Figure 4** qui présente la distribution spatiale des moyennes des SAR selon la méthode du *krigeage* [17], montre que les fortes valeurs du SAR sont observées dans la zone Dladla. Dans cette région le SAR est supérieur à 5 et les eaux peuvent provoquer un danger d'alcalinisation du sol [18,19]. Le report des puits étudiés placés sur le diagramme (SAR/CE à 25 °C) de la classification des eaux d'irrigation montre que suivant le SAR, les eaux se situent entre la classe bonne (S1) et la classe moyenne (S2) où le danger d'alcalinisation du sol est appréciable dans les sols à texture fine et à forte capacité d'échange. Les ions Na^+ échangeable peuvent se substituer aux ions alcalino-terreux (Ca^{2+} et Mg^{2+}) des argiles, engendrant ainsi l'obturation des pores du sol et donc son imperméabilisation.

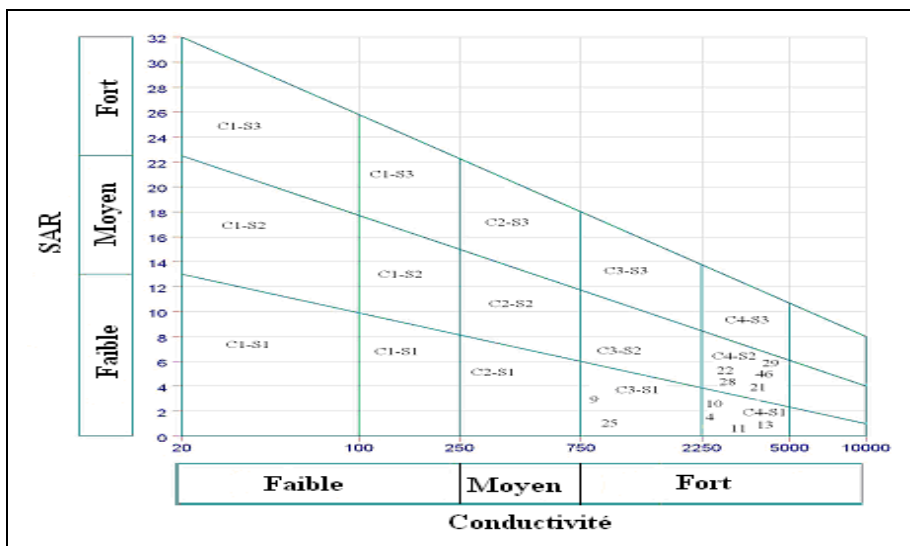


Figure 4 : Diagramme pour la classification des eaux d'irrigation en fonction du SAR [16].

SAR : Rapport d'adsorption du sodium (méq/L).

CE : Conductivité électrique à 25 °C ($\mu S/cm$).

Pour une CE à 25 °C, les eaux se distribuent entre la classe (C3) où les eaux peuvent être utilisées sans contrôle particulier pour l'irrigation des

plantes moyennement tolérantes au sel ayant une bonne perméabilité (puits témoins 9 et 25) et la classe (C4) où les eaux ne conviennent généralement pas à l'irrigation mais peuvent être utilisées sous certaines conditions: sols très perméables, bien lessivés et des plantes très tolérantes aux sels.

L'apport en nitrates des eaux souterraines que nous avons étudiées est excessif à l'exception des eaux de puits témoins et par conséquent la réduction du nombre de leur application s'impose.

4. Conclusion

Dans l'ensemble, l'analyse hydrochimique a montré la mauvaise qualité des eaux et l'existence d'une pollution anthropique se traduisant par des valeurs importantes en chlorures, en sels azotés et en matières organiques (DCO).

Tous nos résultats nous poussent à émettre l'hypothèse fort plausible que l'utilisation des eaux usées brutes à des fins agricoles peut entraîner une toxicité chez le consommateur.

Références

- [1] - J. El Asslouj, S. Kholtei, N. El Amrani-Paaza et A. Hilali, « Impact des activités anthropiques sur la qualité des eaux souterraines de la communauté Mzamza » (Chaouia, Maroc). *Rev. Science de l'eau*. (Accepté en décembre 2006).
- [2] - B. El Mansouri, M. Dzikowski, F. Delay, E. Carlier, et N. Crampon, « Calage d'un modèle mathématique en régime permanent appliqué à la nappe de Berrechid (Maroc) ». *Ann. Soc. Géol. du Nord*. T.1 (2^{ème} série), (1992) 189-193.
- [3] - K. El Bouqdaoui, « Etude géologique et géotechnique de la ville de Settat. Cartographie géotechnique et substances utiles de la province de Settat ». *Doctorat de 3^{ème} cycle*, Settat, Maroc (1995).

- [4] - Office National de l'Eau Potable *ONEP* (Maroc), « Etude du schéma directeur d'assainissement liquide de la ville de Berrechid », (1997) (rapport interne).
- [5] - H. Akeskouss, « Classement des terres en vue de la conservation de l'eau et du sol dans une zone semi aride, application à la région de Ben Ahmed (province de Settat) ». *Mémoire de 3^{ème} cycle Agronomie*, (1985) I. A. V. Rabat.
- [6] - *Afnor, Agence française de Normalisation*. « Qualité de l'eau. Tome 1: Terminologie, échantillonnage et évaluation des méthodes », 3^{ème} édition, (1997). Paris, France.
- [7] - S. Kholtei, « Caractérisation physico-chimique des eaux usées des villes de Settat et de Berrechid et évaluation de leur impact sur la qualité des eaux souterraines ». Thèse d'état (2003). Université Hassan II-Mohammedia, Faculté des Sciences BenM'Sik. Casablanca, Maroc.
- [8] - Normes marocaines, Bulletin officiel du Maroc, N° 5062 du 30 ramadan 1423 (2002).
- [9] - G. Martin, « Le problème de l'azote dans les eaux ». *Techniques et documentation*, (1979) 279p.
- [10] - S. Lyakhloufi, N. Ouazzani, S. Er Rouane, L. Hassani et A. EL Hebil, « Impact de l'utilisation des eaux usées urbaines brutes sur la qualité de l'eau d'une nappe alluviale près de Marrakech. (Maroc) ». *Bull. Soc. Hist. Nat.* Toulouse, France, 135 (1999) 59-70.
- [11] - R. Hakou, « La décharge publique de Marrakech : caractérisation des lixiviats, étude de leurs impact sur les ressources en eau et essai de traitement ». Thèse d'état, (2001). Université cadi Ayad de Marrakech, Maroc.
- [12] - N. Aghzar, H. Bellouti et B. Soudi, « Pollution nitrique des eaux souterraines au Tadla (Maroc) ». *Rev. Sci. Eau*, 15(2) (2001) 459-492.
- [13] - R. Bremond et C. Perredon. « Paramètres de la qualité des eaux ». Ministère de l'environnement Paris, (1979) 259p.
- [14] - S. Kholtei, A. Bouzidi, M. Bonin, M. Fekhaoui, R. Anane, K. Sbai, E. Creppy, « Contamination des eaux souterraines de la plaine de Berrechid dans la région de la Chaouia au Maroc par les métaux lourds dans les eaux usées : effets de la pluviométrie ». *Vecteur Environnement.*, Vol. 36(5) (2003) 68-80.

- [15] - R.G. Bond, et C.P. Straud., "Handbook of environmental control", *Revue Chemical Rubber Co.* Cleveland, OH Vol.3 (1973).
- [16] - E.K. Lhadi, M. Mountadar, et A. Tounsi, « Pollution par les nitrates des eaux souterraines de la zone littorale de la province d'el Jadida. (Maroc) ». *Hydrogéologie*, 3 (1996) 21-23.
- [17] - L. A. Richards, "Diagnosis and improvement of saline and alkali soils". *US salinity laboratory staff. Agro. Handbook*, (1969) 60.
- [18] - E. V. Maas et G. B. Homan, « Tolérance des cultures au sel ». *Riverside, USA.* (1976).
- [19] - J. H. Durand, « Les sols irrigables ». *Agence de coopération culturelle et technique. Presses universitaires de France*, (1983).