

**CARACTERISATION GEOCHIMIQUES ET STATISTIQUE DES  
EAUX SOUTERRAINES DU PERIMETRES IRRIGUEE DU  
TADLA (MAROC)  
GEOCHEMICAL AND STATISTICAL CHARACTERIZATION OF  
GROUNDWATER IN TADLA IRRIGATED PERIMETER  
(MOROCCO)**

**Ouardi<sup>1</sup> J., ELGhmari<sup>1</sup> A., Valles<sup>2</sup> V., Benaabidate<sup>3</sup> L., EL Bouadili<sup>4</sup> A.  
benaabidate@yahoo.fr**

<sup>1</sup> Laboratoire de télédétection et de SIG appliquée aux géosciences de  
l'Environnement, FST de Béni Mellal, BP. 523 (Maroc)

<sup>2</sup> Laboratoire d'hydrogéologie, UAPV, 74 Rue Louis Pasteur F84000,  
Avignon, France

<sup>3</sup> Faculté des Sciences et Techniques Fès – Saïss, B.P. 2202, Fès, 30000  
Maroc

<sup>4</sup> UFR chimie appliquée aux sciences de l'Environnement, FST de Béni  
Mellal, BP 523. Maroc.

**RESUME**

Dans le périmètre irrigué du Tadla, l'utilisation accrue des ressources en eau souterraine et de surface couplée à l'intensification agricole conduit à la dégradation de la qualité de l'eau et du sol par la salinisation généralisée des sols et des nappes phréatiques.

Cette étude vise la caractérisation géochimique et statistique des eaux du périmètre irrigué de la plaine du Tadla.

Les diagrammes de concentration montre que les éléments chimiques : sulfate et calcite évoluent de façon incertaine à cause d'une alcalinité résiduelle calcite.

L'étude statistique met en évidence des similitudes mais aussi des différences significatives entre la composition des deux périmètres irrigués. Dans les deux périmètres le processus de salinisation est le processus majeur.

**Mots clés :** Géochimie, statistique, eaux souterraine, périmètre du Tadla

## **ABSTRACT**

In Tadla irrigated perimeter, the increased use of shallow and groundwater resources combined with agricultural intensification lead to deterioration of water and soil quality by the generalized salinisation of soils and shallow aquifer.

This study aims the geochemical and statistical characterization of the waters in Tadla plain irrigated perimeter.

Diagrams of concentration show that chemical elements; sulphate and calcite evolve in an uncertain way because of the calcite residual alkalinity.

Statistical study shows some likeness but also of meaningful differences between the composition of the two irrigated perimeters. In those two perimeters the salinisation is the major process.

**Key words:** Geochemistry, statistics, groundwater, shallow water, Tadla irrigated perimeter

## **INTRODUCTION**

La salinisation est un problème sérieux au Maroc comme ailleurs en Tunisie, en région méditerranéenne (Hamdy, 1995) et dans le Monde (Szabolcs, 1989 ; Cheverry, 1995 et 1996 ; Cheverry et al, 1996).

Habituellement dans une petite région naturelle à lithologie homogène, les eaux de sol et de nappe des différents secteurs évoluent dans un même schéma d'évolution géochimique (Valles, 1995 ; Pachepsky, 1995 ; Bourrie, 1995). Dans les zones arides, ce dernier est dicté par le signe de l'alcalinité résiduelle et des alcalinités résiduelles généralisées. Des exceptions notables peuvent être notées, qui découlent soit de l'action d'une eau de rivière d'origine lointaine avec une lithologie à l'amont du bassin versant très différente de celle de l'aval (exemple le Nil) ou bien d'une forte hétérogénéité lithologique à l'échelle locale rencontrée comme dans les zones du Sud Sahara (Cheverry, 1974).

Dans la vallée du Tadla, deux périmètres irrigués sont situés dans la vallée de l'Oued Oum Er- Rabia. L'un d'eux est irrigué par l'eau du cours d'eau, alors que le second est alimenté par une eau nettement moins salée provenant d'une retenue. Des phénomènes de dégradation par salinisation et sodisation affectent la fertilité de ces périmètres de façon variable.

Le but de ce travail est l'étude des différences d'évolution de la composition chimique des eaux de nappe, entre les différents secteurs et d'essayer d'étudier l'origine de leur éventuelle variabilité. Aussi, nous étudierons et mesurerons le degré de similitude et de différence entre la composition chimique des eaux des deux périmètres grâce à une étude géochimique et une étude statistique factorielle.

## **MATERIEL ET METHODES**

### **Description de la zone d'étude**

Avec une superficie de 3600 km<sup>2</sup> et une altitude moyenne de 400 m, la plaine du Tadla se situe à environ 200 km au Sud-est de Casablanca. A son extrémité Est, la plaine se rétrécit suivant le fleuve de l'Oum Er-Rabia, ce dernier divise la plaine en deux parties de superficies différentes (Béni Amir et Béni Moussa) et présentant chacune des caractéristiques différentes.

### **Protocole expérimental**

Vingt-neuf (29) échantillons d'eau de nappe et de minéraux d'efflorescences ont été prélevés. Le pH, la conductivité électrique et la température ont été mesurés sur le terrain alors que les cations et les anions ont été dosés au laboratoire : K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> et CO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

- Le calcium et le sodium sont déterminés par la méthode titrimétrie à l'EDTA ;
- Les Chlorures sont déterminés par le nitrate d'argent ;
- Les sulfates sont mesurés par la méthode turbidimétrique à la gamme ;
- Les sodiums et potassium sont déterminés par photomètre à flamme ;
- Les nitrates par colorimétrie.

### **Les diagrammes de concentration**

Afin de préciser l'évolution de la composition chimique lors de processus de concentration ; des diagrammes peuvent être tracés. Le facteur de concentration (FC) égal au rapport entre le volume initial d'eau et le volume final après concentration ( $FC = V_i/V_f$ ) peut être estimé grâce à un traceur hydrochimique tels que le chlorure par le rapport des concentrations en Cl<sup>-</sup> de l'eau étudiée et de l'eau la moins concentrée servant de référence ( $FC = Cl/Cl_{min}$ ).

### **Le traitement statistique des données**

Une analyse en composante principale a été conduite à partir de la matrice des corrélations. Cette méthode permet de gommer l'effet du choix des unités ou des disparités liées aux comparaisons entre élément mineurs et éléments majeurs.

Elle consiste en la recherche des valeurs propres de la matrice des corrélations. Les valeurs propres permettent d'accéder aux axes présentant un maximum d'inertie, les axes factoriels. Habituellement chaque axe factoriel représente une source de variabilité indépendante de celle portée par les autres axes factoriels, car ces axes sont orthogonaux dans

l'hyperespace à n dimension si n paramètres sont mesurés. Cette méthode permet de hiérarchiser les sources de variabilité de la qualité des eaux.

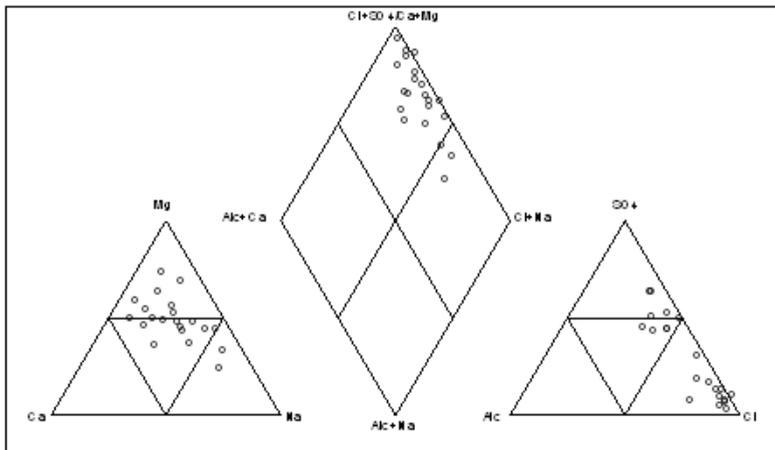
## RESULTATS ET DISCUSSION

### Etude géochimique

Les analyses d'eau ont été traités par le modèle « AQUOI » dérivé de gypsol (Vallès et al, 1992 ; Barbière et al, 1992)

### Caractérisation du faciès chimique des eaux du périmètre irrigué

Les eaux du périmètre évoluent dans une voie saline neutre. Les pH sont proches de la neutralité et les concentrations peuvent être importantes pour des eaux de nappe. Le diagramme de Piper montre que globalement les eaux évoluent depuis un faciès mixte vers sulfaté mixte puis chloruré sodique (Fig.1).



**Fig.1** : Faciès chimique des eaux de nappe des deux périmètres irrigués

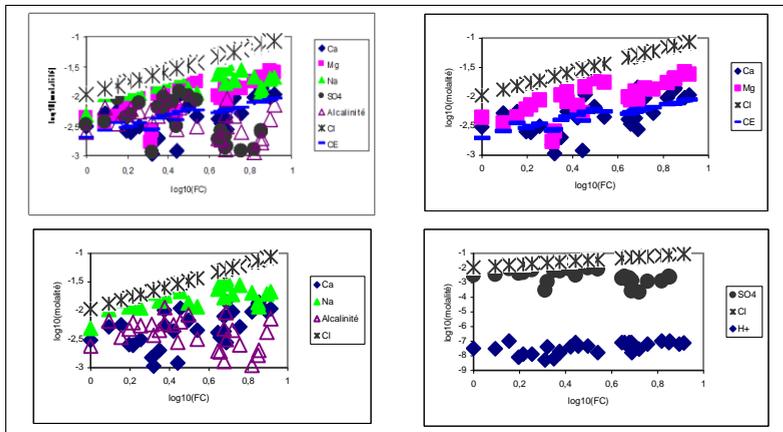
Cette évolution est conforme au signe négatif de l'alcalinité résiduelle calcite.

### Diagrammes de concentration

Le chlorure est un élément soluble et très abondant dans les deux périmètres étudiés. Il est donc possible de l'utiliser comme traceur hydrochimique.

Le facteur de concentration des eaux (FC) peut être estimé grâce au rapport entre la teneur en  $Cl^-$  d'une eau et la valeur minimale de teneur en  $Cl^-$  de la base de données. Ceci permet un classement relatif des échantillons les uns par rapport aux autres (Barbière et al, 1992).

Les diagrammes de concentration des eaux de nappe du périmètre irriguée, montre une forte dispersion des points. Ceci confirme qu'il y a deux systèmes hydrochimiques bien distincts (Fig.2).



**Fig.2** : Diagrammes de concentration des eaux de nappe des deux périmètres irrigués

Lorsque les eaux se concentrent, les teneurs en calcium augmentent, l'alcalinité (Alc) augmente puis diminue conformément à la loi de l'alcalinité résiduelle. Tant que les eaux sont sous saturées par rapport à la calcite,  $Ca^{++}$  et Alc peuvent augmenter simultanément. Lorsque l'équilibre avec ce minéral est atteint, la teneur en Ca augmente et l'alcalinité diminue car  $Ca^{++} > Alc$  (Alcalinité résiduelle calcite positive). Pour les échantillons les plus concentrés, les variations de concentration en Ca évoluent de façon incertaine.

La teneur en  $Mg^{++}$  augmente mais légèrement moins que le traceur. Ce résultat suggère une légère adsorption de Mg par le complexe argilo-humique et donc une augmentation du rapport Ca/Mg adsorbé.

La teneur en  $SO_4^{-}$  augmente puis évolue de façon incertaine. Cette différence d'évolution géochimique est liée au concept d'alcalinité résiduelle calcite. Il convient d'affiner en étudiant séparément les deux périmètres c'est l'objectif de l'étude statistique.

## Etude statistique

### **Beni Moussa**

Les résultats obtenus pour le périmètre de Beni Moussa sont tout à fait comparables à ceux obtenus pour l'ensemble des échantillons (Fig.3).

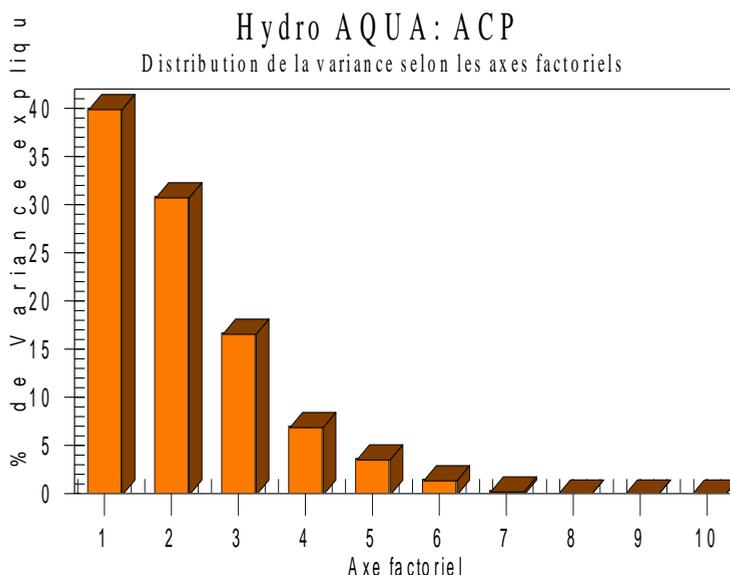


Fig.3 : Traitement statistiques des échantillons de Beni Moussa

Le premier axe factoriel, qui représente 40% de la variance est ici aussi un axe de concentration globale des eaux, processus majeur.

En revanche, le poids du second axe augmente nettement lorsque l'on ne considère que le périmètre de Beni Moussa et atteint 31% de la variance. Ce second axe oppose Na et K à Ca et Mg, c'est-à-dire les cations monovalents aux cations divalents. Ces résultats semblent donc confirmer que le second axe est un axe d'échanges ioniques entre solution et le complexe adsorbant. Il s'agit d'un axe de « sodisation » qui est donc le processus de seconde importance.

Enfin, le troisième axe, avec 17% de la variance, oppose Alcalinité et sulfates. Cet axe pourrait donc représenter des phénomènes d'oxydoréduction du soufre. Lors de la sulfato-réduction, même discrète, la teneur en sulfate diminue et l'alcalinité augmente fortement.

En résumé, le calcul séparé de l'ACP pour le périmètre de Beni Moussa réduit fortement la dispersion de la variance sur le second et troisième axe. Il est donc très probable qu'il existe une hétérogénéité spatiale non négligeable entre les deux périmètres. Ainsi, hormis le processus de salinisation qui est dans tous les cas le processus principal, il existe une différence de comportement chimique entre les deux périmètres.

## Beni Amir

Pour Beni Amir (Fig.4), le premier axe, qui oppose éléments solubles aux éléments peu solubles, traduit ici aussi le phénomène de salinisation, mais son poids est plus important (52% de la variance). Ainsi, ce processus est encore plus dominant dans ce périmètre. Le second axe qui oppose  $SO_4$  à l'alcalinité est fort avec 22% de la variance. Il s'agirait ici de l'axe d'oxydoréduction. Enfin le troisième axe représente 10% de la variance. Il est important de remarquer que la variance résiduelle ( $100 - 52 - 22 - 10 = 18\%$ ) est extrêmement faible.

Pris séparément, les deux périmètres présente une moindre dispersion de la variance, ce qui confirmerait que ces deux entités naturelles ont un comportement sensiblement différent.

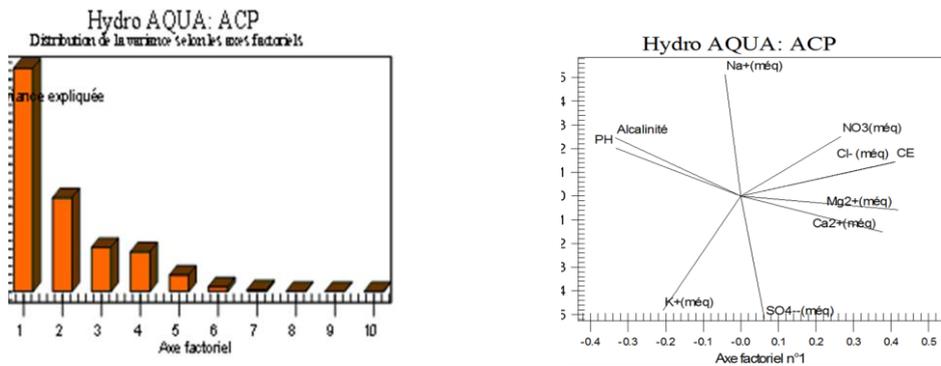


Fig.4 : Traitement statistiques des échantillons de Beni Amir

## CONCLUSION

Les eaux du périmètre évoluent dans une voie saline neutre. Elles évoluent depuis un faciès mixte vers sulfaté mixte puis chloruré sodique.

L'étude statistique met en évidence des similitudes mais aussi des différences significatives entre la composition des deux périmètres irrigués.

Le processus de salinisation est le processus principal. Les processus de second ordre seraient le phénomène d'échange ionique et donc de sodisation et les processus d'oxydoréduction. Le recours à l'étude de l'évolution de l'alcalinité résiduelle calcite et calcite + gypse ainsi que les diagrammes d'équilibre entre minéraux et solution lors de la concentration des eaux sont nécessaires.

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- Barbière L, Vallès V. 1992. Aspects géochimiques de l'alcalinisation des sols dans la vallée du Dallol Bosso. Cah. Orstom, sér, Pédol, vol XXVII, n° 2, p. 143-152.
- Cheverry C. 1974. Contribution à l'étude pédologique des polders du Lac Tchad. Dynamique des sels en milieu continental subaride dans les sédiments argileux et organiques. Thèse Science, Université de Strasbourg, 257p.
- Cheverry C. 1995. Comportement des plantes et milieu salé. Compte rendu de l'Académie d'Agriculture de France. Vol.81n°2, pp. 42-46.
- Cheverry C. 1996. Contraints environnementales et disponibilités en ressources naturelles. Ministère de l'Agriculture, de la pêche et de l'Alimentation. Groupe prospective. Séance du 19 juin 1996. 16 p.
- Cheverry C, Bourrié 1996. La salinisation des sols. In « sols : interfaces fragiles » 3<sup>e</sup> partie. Conséquences de l'utilisation des sols par l'homme. Coédition INRA/NATHAN. A paraître. 17pages.
- Hamdy A, Lasram M. 1995. Les problèmes de salinité dans la zone méditerranéenne. Comptes rendus de l'Académie d'Agriculture de France. Vol.81n°2, p. 47-60.
- Szabolcs J. 1989. Salt affected soils. CPR press. Boca Raton FL. USDA, 1954 - Handbook n° 60, 160 p. Vallès V, Cockborne A M. 1992. Elaboration d'un logiciel de géochimie appliquée à l'étude de la qualité des eaux. Colloque « Altération et restauration de la qualité des eaux continentales ». Ports leucate, 1<sup>er</sup> et 2oct, p. 27-30.
- Valles V, Pachepsky La, Bourrie G. 1995. Caractéristiques agronomiques des sels salés méditerranéens. Représentativité par rapport aux sols salsodiques mondiaux. Colloque de l'I