Géochimie et minéralogie des sols et des saumures des sebkhas dans l'écosystème désertique. Exemple de la cuvette de Ouargla, Sahara algérien

Belhadj HAMDI-AISSA[1 & 2], Vincent VALLES [3], Alain AVENTURIER [4], Olivier RIBOLZI [5]

[1] Laboratoire de Protection des Ecosystèmes en Zones Arides et Semi-Arides « ECO-SYS » & Laboratoire d'Analyses Physico-Chimiques, Dép. d'Agronomie, Université de Ouargla, BP. 511, Ouargla 30000, Algérie
[2] Laboratoire de Recherches Eau-Sol-Ecosystème, INA El-Harrache, Algérie
[3] Laboratoire de Chimie & Environnement, Université de Provence, Marseille, France
[4] Unité de Recherches et d'Analyses, CIRAD Montpellier, France
[5] IRD - Ouagadougou, Burkina Faso
Correspondances : *hamdi_30@yahoo.fr*

INTRODUCTION

L'intensité de l'aridité présente une forte hétérogénéité à l'échelle planétaire. Quelques écosystèmes comme le désert du Sahara représentent un terme extrême de la sécheresse (Le Houérou 2001). En dessous de cette limite les auteurs ont montrés qu'il y a une grande différence dans le milieu naturel, notamment les processus liés à la géochimie des eaux et des sols (Rognon, 1994 ; Goudie, 1997).

Les processus géochimiques responsables de l'acquisition du faciès salin dans ces régions pré saharienne a fait l'objet de divers travaux (Gueddari, 1984; Rezagui, 1993 ; Valles et al., 1997). Cependant les travaux les plus récents ont montre que la séquence de précipitation simple, connue depuis les années 1980, a savoir calcite, gypse, halite doit être revue. Il parait en particulier que des minéraux sulfates très solubles, tels que la mirabilite, puisse se former dans le milieu naturel, ce qui est important pour la connaissance du faciès chimique des saumures. De plus, les informations sur les minéraux impliquant des éléments mineurs sont extrêmement rares.

Par ailleurs, les régions hyper-aride telles que celle du desert du Sahara ont fait l'objet de peu d'études en comparaisons des zones arides.

Ainsi, l'objectif de ce travail consiste à étudier la nature des sels s'accumulant dans cette région saharienne et essayer d'apprécier l'impact du caractère hyper aride sur la minéralogie dans ces sols. Une attention particulière sera accordée à l'état d'hydratation des minéraux lors de la comparaison entre zones arides et hyper-arides. Le choix de la région de Ouargla est motivé par la simplicité du système hydrochimique; en effet, toute l'eau de cette dépression provient de remontées artésiennes; elle a une origine profonde unique (PNUD-UNESCO, 1972 ; Guendouz, 1985, Hamdi-Aïssa, 2004).

MATERIEL ET METHODES

Zone d'étude

Soumise à un climat désertique, la cuvette de Ouargla (coordonnées géographiques : de 31°54' à 32°1' N, et de 5°15' à 5°27' E, 134 m d'altitude) en Algérie présente des étendues de sols gypseux et de sols naturellement sales (Hamdi-Aïssa & Girard, 2000). La présence de zones dépressionnaires dans lesquelles affleure la nappe est à l'origine de phénomènes de salinisation très intense conduisant a la formation de saumures et de croûtes salines. En revanche, les zones les plus hautes du paysage, sont moins atteintes par les processus de salinisation.

Echantillonnage

A travers la cuvette de Ouargla nous avons sélectionné sept profils pédologiques représentatifs des différents pédopaysages de la sebkha et ses bordures. 42 échantillons d'eaux naturelles (saumures et nappe) ont été prélevés à partir des pièzomètres.

Analyses au laboratoire

Le température, le pH, le potentiel redox Eh et la conductivité électrique CE ont été mesurés sur le terrain pour les eaux de nappes et les saumures (échantillons non filtrés). Les analyses chimiques et physico-chimques ont été effectués au laboratoire pour les eaux et pour des extraits de pâtes saturées de sols : CO_3^{2-} et HCO_3^- par titrimétrie avec H_2SO_4 (Richards et al. 1954), Cl^-, SO_4^{2-} par chromatographie phase liquide (Waters ILC-2 ion/liquid chromatograph with IC-PAK anion column). Na^+ et K^+ par spectrophotomètre à flamme, Mg^{2+} et Ca^{2+} par spectrophotomètre d'absorption atomique, Sr^{2+} par IPC-AES. Les analyses chimiques des sols ont été combinées avec : i) des analyses minéralogiques aux rayons X sur poudres non orientées (i.e. Siemens D 5000 diffractometer with the Cu-Kα radiation, associated to a Ni filter working at 30 mA and 40 KV) et ii) des observations micromorphologiques au Microscope Electronique à Balayage (MEB avec microsonde) sur des échantillons de sols non perturbés.

Les activités des ions ont été estimées à partir des analyses chimiques grâce au modèle d'association ionique AQUA (Valles et De Cockborne, 1992). Ce modèle a été spécialement adapté pour traiter le cas de solutions très concentrées telles que les saumures d'Afrique du Nord.

RESULTATS ET DISCUSSION

Caractérisation de la famille chimique des eaux et solutions du sol.

Le diagramme de Piper montre un seul nuage de point, ce qui suggère une seule famille géochimique. En revanche, le faciès chimique varie de façon notable. Le faciès des eaux les moins concentrées est sulfaté calcique puis sulfaté sodique/magnésien et enfin chloruré sodique pour les échantillons les plus concentrés.

Cette évolution est comparable à d'autres cas décrits en Afrique du Nord, notamment dans la région voisine de Chott Merouan et Melrhir (Rezagui, 1993 ; Valles et al., 1997). La différence est qu'ici, les eaux les moins concentrées sont déjà relativement chargées en éléments dissous et le faciès est déjà sulfaté calcique, alors qu'il peut être carbonaté/sulfaté calcique dans le cas d'eaux moins concentrées. Cette évolution traduit l'appartenance à la voie saline neutre (Rieu & Cheverry, 1976).

Diagrammes de concentration

La molalité en sulfate plus l'alcalinité est supérieure à celles du calcium. L'alcalinité résiduelle calcite plus gypse est positive. Lorsque les eaux se concentrent et précipitent du gypse, la molalité en sulfate augmente, de même que l'alcalinité alors que la molalité en calcium est stable (l'activité du calcium diminue). Du fait des précipitations, la molalité en sulfate augmente moins vite que celle du chlorure et du sodium, notamment pour les eaux très concentrées ce qui suggère la précipitations de minéraux sulfatés autres que le gypse. Enfin, les eaux les plus concentrées sont chlorurées sodiques et évoluent probablement vers la précipitation de halite.

Il convient de remarquer que la molalité en sodium comme celle potassium ne semblent pas subir de phénomènes de contrôle comme c'est le cas dans d'autres systèmes nord africains impliquant le complexe d'échange cationique du sol. Ce résultat rappelle ceux obtenus dans les Chotts El-Jerid par Gueddari (1984) ou dans les Chotts Melghir et Merouane par Rezagui (1993) et Valles et al. (1997). Ceci suggère une évaporation de nappe à l'air libre,

comme dans les Chotts, avec une faible influence des argiles et des phénomènes d'échange cationiques.
Cependant, la dispersion assez foret des points autour de la tendance moyenne, surtout pour le magnésium, le calcium et le sulfate suggère plusieurs origines des eaux, la nappe et probablement une origine plus superficielle. L'origine profonde semble dominer.

Diagrammes d'équilibre

Calcite, gypse, anhydrite, halite et sylvite

Les résultats montrent que toutes les eaux sont en équilibre avec la calcite et en équilibre ou proche de l'équilibre avec le gypse. Cependant, pour les points les plus concentrés, une légère sur saturation par rapport au gypse peut être observée. Ce résultat pourrait être attribuée à la précipitation de formes de sulfate de calcium moins hydratées que le gypse dans le cas des saumures. L'équilibre avec l'anhydrite est d'ailleurs atteint pour quelques solutions très concentrées.

Mirabilite, Bloedite et glauberite

Les calculs montrent que l'équilibre entre solution et mirabilite est atteint pour les saumures. Une fois l'équilibre atteint, les solutions évoluent vers la branche Na dominant, ce qui permet d'envisager la précipitation ultérieure de la halite. L'équilibre avec la Bloedite et la glauberite est aussi atteint dans le cas des saumures, mais pour la Bloedite, l'équilibre est moins évident que pour la glauberite. Cet équilibre ne concerne que quelques échantillons et semble donc moins fréquent que pour la glauberite et surtout que pour la mirabilite.
Ce résultat est important car il confirme la présence des sulfates de sodium (mirabilite évoluant en thénardite à l'air) pour ces zones nord sahariennes. La présence de ce minéral n'a été mentionné que lors d'essais d'évaporation en bac par Gueddari (1984), mais a été trouvé en abondance dans ces milieux naturels (Rezagui, 1993). En revanche, la possible formation de glaubérite et de Bloedite complètent les connaissances que l'on a sur ces milieux; il s'agit d'un point original s'il était confirmé par la diffraction de rayons X ou autre technique. En revanche, les eaux sont nettement sous-saturées par rapport à la syngénite, l'epsomite.

Halite et sylvite

Les calculs montrent que l'équilibre avec la halite est quasiment atteint contrairement à celui avec la sylvite. La précipitation de chlorure de calcium semble être le terme ultime de la série des précipitations observées dans ce milieu naturel. ceci confirme les travaux précédents sur les chotts El Jerid et Melghir et Mérouane.

CONCLUSION

L'étude minéralogique de cette région saharienne met en évidence des analogies mais surtout des particularités par rapports aux travaux conduits sur les régions voisines moins arides. A la séquence de précipitation calcite/gypse/mirabilite-halite habituelle des régions méditerranéennes aux régions arides prés-sahariennes, il convient d'ajouter des semis hydrates de calcium (basanite), de l'hexahydrite et des sulfates mixtes (glaubérite, bloedite, eugstérite) pour ces sols de contrées désertiques.
La présence de ces minéraux mise en évidence par rayons X et le MEB confirme avec les calculs géochimiques réalisés sur les solutions avec une coïncidence remarquable compte tenu de la forte salinité de ce milieu.
Les analyses ont mise en évidence des formes déshydratées du gypse qui ont été attribuées à l'effet conjoint des fortes température de la surface et de la salinité liée à l'extrême aridité, la transformation entre formes hydratées et partiellement déshydratées pouvant être rapide.
En dépit de la faible disponibilité en eau, ce milieu hyper aride présente une remarquable réactivité chimique et minéralogique. Ceci est du en particulier aux fortes solubilités des

minéraux et à la diversité des niveau d'hydratation des minéraux. Le premier processus permet une remobilisation de quantités chimiques importantes pour une faible variation des teneurs en eau. Le second favorise les phénomènes alternatifs de dissolution et précipitation liées aux changement de l'état d'hydratation.

BIBLIOGRAPHIE

1. Goudie, A.S. 1997. Weathering processes, pp. 25-39, in D.S.G. Thomas, ed., *Arid zone geomorphology : processes, form, and change*. Draylands, Wiley, Chichester.

2. Gueddari, M. 1984. Géochimie et thermodynamique des évaporites continentales. Etude du lac natron en Tanzanie et du Chott El-Jerid en Tunisie. *Mémoire des Sciences Géologiques* 76:1-143

3. Guendouz, A.1985. Contribution à l'étude géochimique et isotopique des nappes profondes du Sahara nord-est septentrional, Algérie. Thèse Université Paris-Sud, Orsay.

4. Hamdi-Aïssa, B., V. Valles, A. Aventurier & O. Ribolzi. 2004. Soils and brines geochemistry and mineralogy of hyper arid desert playa, Ouargla basin, Algerian Sahara. *Arid Land Research and Management*, 18, 103-126

5. Hamdi-Aïssa, B., and M.C. Girard. 2000. Utilisation de la télédétection en régions sahariennes, pour l'analyse et l'extrapolation spatiale des pédopaysages. *Sècheresse* 3: 179-188.

6. Le Houérou, H.N. 2001. Biogeography of the arid steppeland North of the Sahara. *Journal of Arid Environments* 48: 103-128.

7. PNUD-UNESCO, 1972. Projet Reg 100. *Etude des ressources en eau du Sahara septentrional. Rapport sur les résultats du projet*, UNESCO, Paris.

8. Rezagui, M. 1993. Dynamique des sels dans les eaux et les plantes halophytes (Salicornia L.) dans deux régions arides (Algérie et Espagne). Thèse de magitère, Université d'Annaba.

9. Richards, L. A. 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alcali soils*. U.S.S. Laboratory. USDA Handbook. 60.

10. Rieu, M. and C. Cheverry. 1976. Mise au point bibliographique sur quelques recherches récentes en matière des sols salés. *Cahier de l'ORSTOM, série Pédololgie* 14: 39-61.

11. Rognon P. 1994. Les conséquences de la sécheresse sur la pédogenèse. *Sécheresse,* 5 : pp.
173-184

12. Valles, V. and A.M. De Cockborne. 1992. Elaboration d'un logiciel de géochimie appliqué à l'étude de la qualité des eaux, pp. 27-30, *in Colloque "Altération et restauration de la qualité des eaux continentales"*, Port Leucate.

13. Valles, V., M. Rezagui, L. Auque, A. Semadi, L. Roger, and H. Zouggari. 1997. Geochemistry of saline soils in two arid zones of the mediterranean basin. I. Geochemistry of the Chott Melghir-Mehrouane watershed in Algeria. *Arid Soil Research and Rehabilitation* 11: 71-84