APPORT DES OUTILS CHIMIQUES A L'IDENTIFICATION DES SOURCES DE SALINITE ET DES PROCESSUS GEOCHIMIQUES DANS LA NAPPE DU SALOUM (SENEGAL)

SERIGNE FAYE
Département de Géologie
Faculté des Sciences et techniques
Universite Cheikh Anta Diop, Dakar, Senegal
(fayes@ucad.sn)

INTRODUCTION

Dans beaucoup de régions côtières du Sénégal, la présence deaux salé es dans les nappes est un phénomène commun qui peut souvent endommager de façon irréversible le devenir de ces ressources. La salinisation des eaux est particulièrement aigue dans les nappes en dessous des systèmes estuariens et deltaïques comme cest le cas du Saloum. Ce système caractérisé par un régime hydrologique inverse présente un gradient de salinité vers lamont du fleuve de 36 à 90‰ au niveau de Kaolack.

Du point de vu géologique, la zone est recouverte par les formations du Continental terminal qui constituent le réservoir de la nappe superficielle. Ce sont des formations cénozoïques, détritiques constituées de grains de quartz, dargiles (kaolinite principalement), de plages micritiques (10-20 µm) de calcite, doxydes et hydroxydes de fer (goethite et hématite). Les eaux sont généralement douces, par contre au niveau de la frange côtière et aux environs du fleuve la nappe devient salée. La présente étude vise à identifier les sources de salinité, les mécanismes et degré de salinisation en terme de processus directionnels et les processus géochimiques eau/encaissant responsable des changement de faciès des eaux a partir des digrammes binaires et des modèles binaires de mélange.

METHODES

En Novembre 2003, une campagne de mesure a été réalisée sur un réseau de 74 sites constitués de 71 points deau et de 3 sites le lo ng du fleuve Saloum. Au niveau de chaque point deau échantillonné le pH, la température, la conduc tivité électrique (CE), et lalcalinité de leau ont été mesurés in situ. Les ions majeurs (Ca, Mg, K, Na, Cl, SO_4, NO_3, Br) ont été analysés par chromatographie ionique sur des échantillons filtrés. Le bore a été analysé par ICP-AES sur des échantillons préalablement filtres et acidifiés.

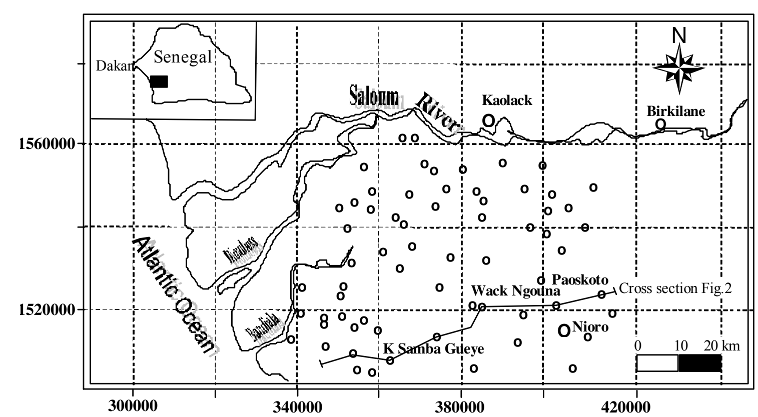

Figure 1 : Situation géographique et localisation des points de mesure

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Lutilisation des diagrammes binaires permet non seulement de différencier les types deau mais également didentifier le s processus géochimiques responsables des variations chimiques observées. Les figures 2 et 3 permettent de distinguer 3 types deau :

- Les eaux douces localisées essentiellement à l ouest de la région sont caractérisées par de faibles valeurs de CE (37–205 µS/cm) et de faibles concentrations en ions. Ces eaux de type Na-Cl et Ca-Cl ;
- Les eaux bicarbonatées calciques présentent une prédominance en ions HCO_3 (80–218 mg/L) et Ca (30–60 mg/L) comparés aux ions Na et Cl. Ces eaux sont caractérisées par un pH plus élevé et des valeurs de CE comprises entre 285 et 685 µS/cm. Dans le diagramme binaire (Fig.2), les points deau représentant ce faciès et situés pour la plupart à lest de la région détude vers Nioro sont di sposés proches de la droite théorique de dissolution de la calcite ;
- Les eaux salées localisées essentiellement au niveau de la zone côtière et de la bande longeant le fleuve Saloum sont caractérisées par de valeurs de CE comprises entre 700 et 11.180 µS/cm et des concentrations élevées en Na (100–1300 mg/L), et Cl (214–3195 mg/L). Cependant, dans la Figure 2, un gain net en [Ca+Mg] par rapport à la concentration [HCO_3+SO_4] est observé pour la plupart des eaux salées.

Dans le but dexpliquer ces différences dans la composition chimique des eaux salées et les réactions géochimiques qui accompagnent lintrusi on saline, le diagramme de la Figure 3 a été construit. Lintérêt dun tel diagramme cest qu   il soustrait les apports d ions provenant de la dissolution des minéraux (calcite, gypse, dolomite, halite). Certains points se positionnent très proches de la droite théorique de mélange avec une faible déviation par apport supplémentaire de [Ca+Mg] mais Na demeure toujours le cation dominant et le faciès Na-Cl reste inchangé. Par contre, les autres puits salés montrent un net gain en [Ca+Mg]; et leur rapports ioniques Na/Cl et SO_4/Cl proches de ceux de leau de mer et le rapport Ca/Cl plus élevé décrivent le processus déchange de base inverse (Howard et Lloyd, 1983 ; Appelo et Postma, 1993) où Na remplace graduellement Ca au niveau des sites négatifs des argiles. Comme conséquence à ces modifications chimiques, le faciès chimique montre une gradation de Na-Cl, Na-Ca-Cl à Ca-Cl.

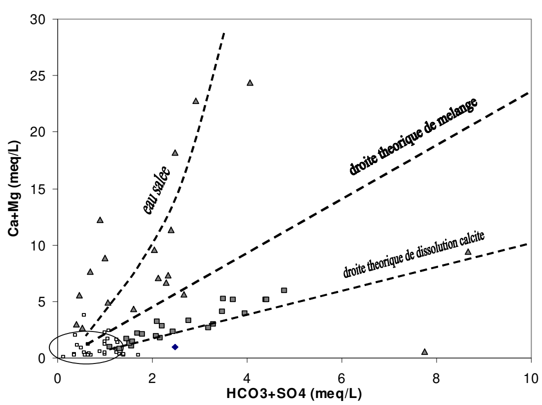

Figure 2: (HCO_3+SO_4) *vs.* (Ca+Mg)

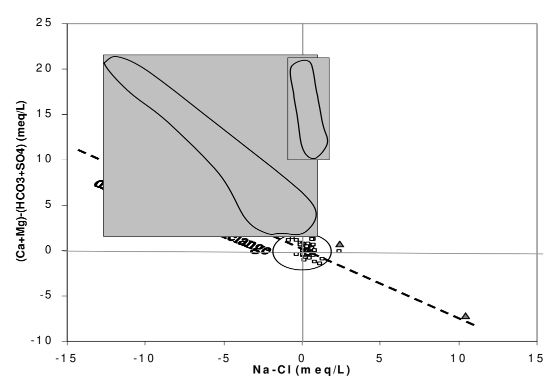

Figure 3 : (Na-Cl) vs. (Ca+Mg)-HCO_3+SO_4)

Les concentrations en Br dans les eaux douces varient de 4 à 840 µg/L, tandis celles des eaux salées varient de 253 à 4750 µg/L. Reportées dans le diagramme Cl vs. Br (Fig. 4), la majorité des eaux (salées et douces) sont très proches de la droite de mélange avec un coefficient de corrélation de r^2 : 0,94. Cette linéarité met en évidence lorigine commune de ces ions conservatifs Br et Cl. Cependant, on note quelques points deau douce qui séloignent de   la droite de mélange. Ces déviations peuvent provenir de la pollution anthropique, de leffet de mélange avec des eaux de concentrations différentes, des eaux dinfiltration à travers les horizons organiques du sol, qui stockent les bromures (Gerritse et George, 1997).

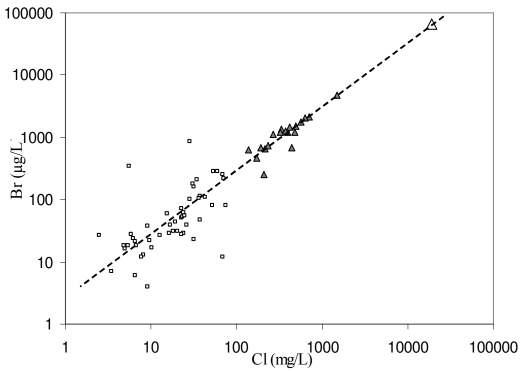

Figure 4 : Cl vs. Br

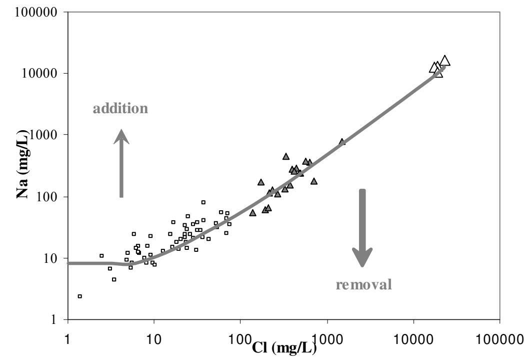

Figure 5 : Modle binaire Cl vs. Na

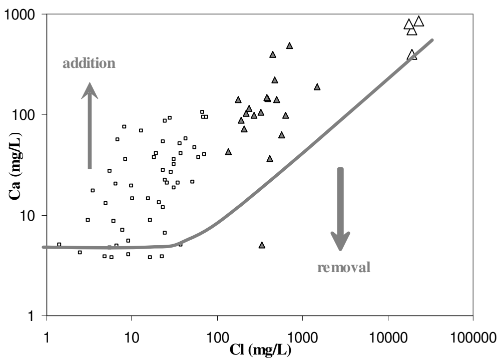

Figure 6 : Modèle binaire Cl vs. Ca

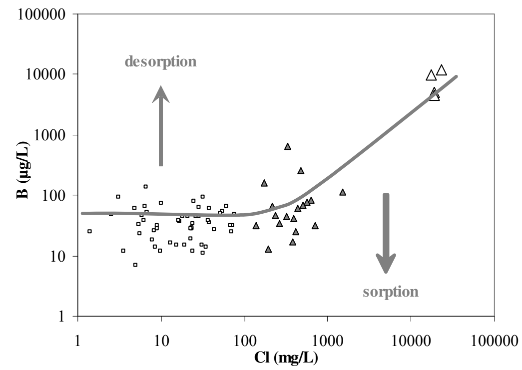

Figure 7: Modle binaire Cl vs. B

Dans les eaux souterraines, le B est prsent na turellement à des concentrations trs faibles. Les sources en concentrations leves peuvent provenir de la pollution anthropique, de lvaporation des eaux dir rigation, de la dissolution des vaporites, de la prsence deau de mer rsiduelle et de laltra tion des minraux. Toutefois, les proce ssus dadsorption et de dsorption du B à la surface des minraux ont un effet considrable sur sa teneur dans les eaux. Dans la nappe du Saloum, les teneurs en B varient de 7 à 139 µg/L dans le groupe des eaux douces et de 13 à 650 µg/L dans le groupe des eaux sales . Les fortes teneurs en B dans les eaux sales sont gnralement associes à des concentrations leves en Na et par consquent indiquent la contamination par intrusion saline. Dans lhypothse que les enrichi ssements/appauvrissements en ions B, Na et Ca sont en rapport avec les processus de dsorption/adsorption, et dchange de bases, les concentrations de ces lments sont reportes av ec le Cl dans les modles binaires de mlange (Jones et al. 1998). Ces modeles partent du principe que si un mlange conservatif entre deux types deau de concentrations différentes seffectue, leau résultant du mélange aura une composition chimique intermédiaire qui sera fonction des proportions de mélange entre les deux ples. Les ples sont représentés respectivement par leau douce et leau de mer.

Dans le modle Na *vs*. Cl (Fig. 5), la plupart des eaux salées se positionnent proche ou légrement en dessous de la droite théorique de mélange, indiquant ainsi un faible appauvrissement en Na qui accompagne les processus de salinisation de la nappe aux abords des sources. Dans le groupe des eaux douces, les enrichissements /appauvrissements en Na sont trs probablement le fait de réactions déchange de bases qui responsable de la gradation des facis de Ca-Cl ou Na-Cl ou Ca-HCO_3 à Na-Cl ou Na-HCO_3 (Faye et al., 2003). Les concentrations élevées en Ca observées dans le groupe des eaux douces (Fig. 6) résulteraient de la dissolution de la calcite dans la zone Est de la région (vers Nioro). Dans le groupe des eaux salées par contre, les réactions déchange inverse seraient responsables du changement de facis au niveau de certains puits de Na-Cl, Na-Ca-Cl à Ca-Cl.

Dans le modèle Cl vs.B, la plupart des eaux sales se situent en dessous de la droite thorique indiquant ainsi un appauvrissement en B. Les puits de ce groupe sont tous localiss dans la zone au voisinage du fleuve Saloum. Par contre, 3 puits à eau sale se positionnent au dessus de la droite thorique de mlange, indiquant ainsi un enrichissement en B. Ces processus de dsorption de B sont dcrits dans le modèle de mlange comme leau douce de la nappe repoussant par coulement le front sal vers la so urce. Deux des puits sont localiss à louest au niveau de la zone côtière ; ils subissent leffet de lécoulement à pa rtir du dôme piezométrique qui repousse le front salé vers le Bandiala. Dautre part, les eaux douces enrichies en B comparées à la moyenne sont exclusivement localisées a louest de la région (zone de dôme piezométrique) où Ca de la solution est graduellement remplace par Na par processus déchange de bases. Ce processus saccompagne dun enrichissement par désorption du B. Dap rès Rowe (1999), la désorption du B commence quand la chlorinité des eaux est aux environs de 100 mg/l et ce procédé pourrait augmenter la concentration en B jusquà des valeurs supérieu res à 10 mg/L. Lorsque leau de mer envahit la nappe par intrusion saline (salinisation), Na et B sont libérés des sites négatifs et Ca est retenu. Ceci conduit à un caractère enrichi en Ca et appauvri en Na et B. A partir de ces observations, il sen suit que les phénomènes denrichissement et dappauvr issement des ions dans les eaux souterraines fournissent un outil « indicateur » de direction découlement des nappes côtières qui peut être soit vers une « salinisation » (appauvrissement en Na et B, enrichissement en Ca), soit vers un « adoucissement » (appauvrissement en Ca et enrichissement en Na et B). Ladsorption de B, lappauvrissement en Na au dépend de Ca et le s processus responsables sont particulièrement dominants dans cette partie de laquifère du fait que la direction découlem ent de la nappe est essentiellement à partir du fleuve Saloum vers lintérieu r de laquifère où les charges hydrauliques sont négatives.

CONCLUSION

L'utilisation des ions majeurs et mineurs calibres sur l'ion conservateur Cl a permis de révéler des réactions hydrogéochimiques importantes qui accompagnent la salinisation des eaux du Saloum. Parmi les processus identifies, les réactions d'échange de bases, d'adsoption et de désorption sont principalement responsables de la typologie des facies qui montrent une gradation suivant l'écoulement de la nappe, mais également les réactions en terme directionnel de salinisation (intrusion) et d'adoucissement (extrusion) des eaux déjà contaminées.

BIBLIOGRAHIE

1. Appelo CAJ, Postma D (1993). Geochemistry, groundwater, and pollution. *A.A. Balkema, Rotterdam*
2. Faye S, Cissé Faye S, Ndoye S, Faye A (2003). Hydrogeochemistry of the Saloum (Senegal) superficial coastal aquifer. *Environmental Geology; 44: 127-136.*
3. Gerritse RG, George RJ (1988). The role of soil organic matter in the geochemical cycling of chloride and bromide. *Journal of Hydrology 1988; 101: 83-85.*
4. Howard KWF, Lloyd JW (1983). Major ion characterization of coastal saline ground waters. *Groundwater 1983; 21: 429-437.*
5. Jones BF, Vengosh A, Rosenthal E, Yechieli Y (1988). Geochemical investigations. *In: Bear J, Cheng AHD, Sorek S, Ouazar D, Hererra I (Eds) Seawater Intrusion in coastal Aquifers: Concepts, Methods and Pactices. Kluwer Academic Publishers.*
6. Rowe G (1999). Surveying boron and naturally soft groundwater with a computer database. *Environmental Health 1999; 14-18.*