

## Exemples d'interprétation de données hydrochimiques basée sur la conductivité électrique des solutions.

V. Rabemanana, Y. Albouy, J.-M. Wackermann

IRD, Unité de recherche R 27 "Geovast", 32 avenue H. Varagnat, 93143 Bondy Cedex, France.

**Abstract:** Among the applications of the model based on electric conductivity, the identification of the rain contributions by the chlorine concentrations, the estimation of the partial pressure of the carbon dioxide from the concentrations in ionic bicarbonate and the highlighting of mixtures of waters are likely to provide interesting data for the study of the dynamics of surface and underground waters. The model also brings a new methodology of hydrochemical prospecting of buried mineralisations.

---

### Introduction

Un modèle empirique, basé sur une relation entre la teneur des cations et anions dissous et la conductivité électrique des eaux permet d'identifier les composés (minéraux, gaz, etc) dont sont issus ces ions (Wackermann 1989, 2001a). Le diagnostic est basé sur le calcul des paramètres  $b_i$  à partir de la concentration  $c_i$  d'un élément  $i$  donné et de la conductivité  $\sigma$  de la solution :  $b_i = c_i \sigma^{-a_i}$ , l'exposant  $a_i$  est spécifique de l'élément  $i$  et le paramètre  $b_i$  exprime la teneur de l'élément  $i$  dans l'eau au contact d'un composé hôte de l'élément (minéral), pour une conductivité égale à la valeur de référence 1 de l'unité de mesure ( $1 \mu\text{S cm}^{-1}$ ).

Ces valeurs sont comparées aux paramètres de référence  $b_i$  de composés, classés selon une échelle de valeurs décroissantes, dans une fourchette de variation de  $\pm 10\%$ . Sur des diagrammes à coordonnées logarithmiques, les points figuratifs du couple de valeurs concernant la teneur d'un élément dans la solution et sa conductivité électrique sont repérés par rapport à une famille de droites parallèles qui possèdent les propriétés suivantes :

- le coefficient angulaire  $a_i$  des droites, est positif.
- pour un élément donné, les droites correspondant à la dissolution de différents composés hôtes de l'élément sont disposées dans l'ordre de la solubilité des composés pour l'élément concerné.

Des logiciels (*Nommo*, cf. Wackermann 2001b) d'aide à l'interprétation permettent des représentations graphiques et des diagnostics minéralogiques. La détermination des composés dissous permet généralement de définir la composition minéralogique des terrains aquifères. Elle donne accès également à des informations utiles pour l'étude de la dynamique des eaux superficielles et souterraines (alimentation, mélange) ou pour la prospection de minéralisations. Cette note se propose de présenter des exemples de ces dernières applications.

## Le chlore, indicateur d'apports pluviaux

L'étude d'inventaires régionaux et de synthèses globales (comme celles de Appelo et Postma, 1993; Berner et Berner, 1987) montre que les éléments majeurs dissous présentent des spectres de teneurs distincts selon l'origine des précipitations :

- éléments dont le paramètre  $b_i$  est élevé dans les pluies océaniques (îles et zones littorales): Cl, Mg et Na. Les concentrations de ces éléments sont liées à leur forte teneur dans l'eau de mer et dans les aérosols aqueux.

- éléments dont le paramètre  $b_i$  est élevé dans les pluies continentales:  $\text{SO}_4$ ,  $\text{NO}_3$ , Ca, K,  $\text{NH}_4$ . L'accroissement de leur concentration est due aux apports continentaux sous la forme d'aérosols solides émanant de la surface des sols.

En l'absence de chlorures primaires, l'analyse des concentrations en chlore et la mesure de la conductivité électrique des eaux, permettant le calcul du paramètre  $b_{\text{Cl}}$ , fournit une méthode pour diagnostiquer l'origine des pluies (avec  $a_{\text{Cl}} = 1,15$ ) :

- pluies à influence océanique dominante:  $b_{\text{Cl}} = 3,11 \cdot 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$

- pluies à influence continentale dominante:  $b_{\text{Cl}} = 1,13 \cdot 10^{-6} \pm 10\% \text{ mol L}^{-1}$

## L'ion bicarbonate, indicateur de la pression partielle de $\text{CO}_2$

L'ion bicarbonate  $\text{HCO}_3^-$  en solution est lié à la dissolution de carbonates, bicarbonates, composés organiques et du  $\text{CO}_2$  sous forme gazeuse. Le coefficient angulaire  $a_c$  est égal à 1,26 ; les paramètres  $b_{\text{HCO}_3^-}$  expérimentaux, décroissent depuis les carbonates jusqu'aux bicarbonates en voie de dissolution, soit pour les valeurs extrêmes :

$b_{\text{HCO}_3^-} = 1,37 \cdot 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$  (magnésite) et  $b_{\text{HCO}_3^-} = 3,33 \cdot 10^{-7} \text{ mol L}^{-1}$  (trona), à  $25^\circ\text{C}$

Les concentrations en  $\text{HCO}_3^-$  dans les eaux de surface (cours d'eau, surface de lacs, nappes sub-affleurantes) ou de pluie, en contact avec le gaz carbonique sous une pression partielle de  $10^{-3,5} \text{ atm}$ , au niveau moyen de la mer, correspondent à une valeur de référence:

$b_{\text{HCO}_3^-} = 2,63 \cdot 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$ . D'où la relation entre la teneur de  $\text{HCO}_3^-$  ( $\text{mol L}^{-1}$ ) et la conductivité  $\sigma$  ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) :  $\log_{10}(\text{HCO}_3^-) = 1,26 \log_{10}(\sigma) - 5,58$ . Dans les sols, la teneur dans l'eau est liée à la pression partielle de  $\text{CO}_2$  dans l'atmosphère des pores, en l'absence de néogénèse de carbonates ou bicarbonates susceptible d'abaisser la teneur en  $\text{HCO}_3^-$  dans la solution. Des analyses effectuées sur des solutions de sol sous forêt, sur un massif dolomitique, et des mesures de pression partielle de  $\text{CO}_2$  dans les niveaux aquifères correspondants (Appelo and Postma, 1993) permettent de préciser cette relation :

$\log_{10}(\text{PCO}_2) = -11,48 \log_{10}(\text{HCO}_3^-) + 14,46 \log_{10}(\sigma) - 67,17$ , avec  $\text{HCO}_3^-$  et  $b_{\text{HCO}_3^-}$  en  $\text{mol L}^{-1}$ ,  $\sigma$  en  $\mu\text{S cm}^{-1}$  (à  $25^\circ\text{C}$ ). La figure 1 illustre ce couplage entre les paramètres  $b_{\text{HCO}_3^-}$  et la pression  $\text{PCO}_2$ , linéaire avec des coordonnées logarithmiques.

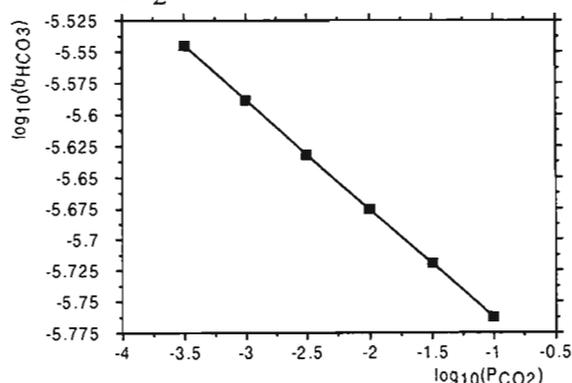


Fig. 1 : Variation de  $\log_{10}(\text{HCO}_3^-)$  en fonction de  $\log_{10}(\text{PCO}_2)$ , (Appelo and Postma, 1993)

La connaissance de la concentration en  $\text{HCO}_3^-$  d'une solution et de sa conductivité électrique permet ainsi d'identifier les eaux provenant de la surface, en équilibre avec le dioxyde de carbone atmosphérique. Pour les eaux de surface d'altitude importante le paramètre  $b\text{HCO}_3^-$  est inférieur à la valeur de référence du niveau moyen de la mer (Orange, 1990).

## Les mélanges d'eaux

Dans le cas d'un aquifère comportant un mélange, selon des taux variables, de deux eaux à minéralisation très contrastée, les points figuratifs, sur les diagrammes logarithmiques concernant les ions dominants, sont disposés selon un arc, à concavité dirigée vers le bas, entre les deux points extrêmes. Cette propriété a été mise en évidence grâce à des aquifères, dont l'étude hydrogéologique a révélé l'existence de dilutions.

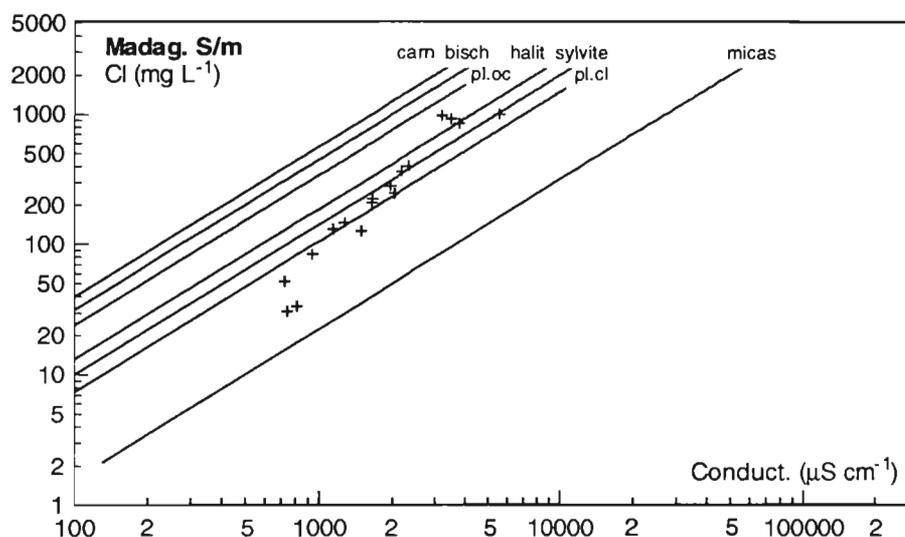


Figure 2 : Disposition en arc des points figuratifs du logarithme des teneurs en  $\text{Cl}^-$ , en fonction du logarithme des conductivités électriques, pour des eaux de nappe du Sud de Madagascar  
 pl.oc = pluies d'origine océanique ; pl.cl = pluies d'origine continentale

Inversement, la mise en évidence d'une disposition en arc des points relatifs aux données analytiques d'une série d'échantillons d'eaux, prélevés sur un aquifère, constitue un élément de diagnostic de mélange d'au moins deux solutions : l'une douce, l'autre nettement plus minéralisée.

Ainsi, les données hydrochimiques relatives à des recherches, en cours, effectuées sur les aquifères du socle du Sud de Madagascar en octobre 1998, révèlent une telle disposition en arc pour les ions  $\text{Cl}^-$  (figure 2) et  $\text{SO}_4^{2-}$ . Les points d'eau concernés sont donc susceptibles de résulter de la dilution d'une eau salée par une eau moins chargée en ions. Les teneurs de ces deux solutions correspondent aux échantillons dont les points figuratifs sont situés aux extrémités des arcs sur les diagrammes logarithmiques. Les taux des mélanges peuvent être estimés par l'interprétation des courbes obtenues grâce à une simulation de dilution progressive de la solution salée par la solution peu chargée.

## Les indicateurs de minéralisations

Pour un même minéral hôte d'un élément, les teneurs de cet élément dans la solution au contact du minéral augmentent avec la conductivité électrique (charge totale dissoute). Il en résulte que la comparaison des valeurs brutes des teneurs ne peut servir de base à une prospection hydrochimique. Celle-ci peut faire appel, par contre au paramètre  $b_j$ , indépendant de la conductivité (ou de la charge totale dissoute). De plus, pour les minéraux porteurs de minéralisation d'intérêt économique le paramètre  $b_j$  est généralement nettement supérieur à celui des minéraux hôtes communs, et constituant

le fond géochimique. Cette propriété permet d'identifier les eaux qui sont au contact de minéralisations et, le cas échéant, de distinguer différents minéraux hôtes.

## Conclusion

L'identification des apports pluviaux par les concentrations en chlore, l'estimation de la pression partielle du dioxyde de carbone à partir des concentrations en ion bicarbonate et la mise en évidence de mélanges d'eaux sont susceptibles de fournir des données intéressantes pour l'étude de la dynamique des eaux superficielles et souterraines. Le modèle apporte également une nouvelle méthodologie de prospection hydrochimique de minéralisations non affleurantes.

## Références

- Appelo C.A.J. and Postma D., 1993 - *Geochemistry, groundwater and pollution*. Balkema, Rotterdam, 536 p.
- Berner E.K. and Berner R.A., 1987 - *The global water cycle. Geochemistry and Environment*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, 397 p.
- Orange D., 1990 - Hydroclimatologie du Fouta Djallon et dynamique actuelle d'un vieux paysage latéritique (Afrique de l'Ouest). *Thèse*, Univ. L.P. Strasbourg, 220 p.
- Wackermann J.-M. (1989) - Propriétés électroniques des solutions aqueuses. Application aux phénomènes de dissolution. *C.R. Acad. Sci. Paris*, t. 309, Série II, 1301-1307.
- Wackermann J.-M. (2001a) - Caractérisation et modélisation des dissolutions et des néoformations basées sur la conductivité électrique des solutions. 3<sup>o</sup> *Colloque GEOFCAN*, 25-26 septembre 2001, Orléans.
- Wackermann J.-M. (2001b) - Site internet <http://www.bondy.ird.fr/geophy/geochimie/geochim.html>