Quels traceurs utiliser pour l'identification des circulations dans le cas d'aquifères à fort taux de renouvellement ?

C. Chabault, F. Barbecot, L. Dever

F.R.E. 2566 Thème Physico-chimie des fluides "L.H.G.I.". Bâtiment 504, Université Paris-Sud, 91405 Orsay, France

Traceurs Chimiques

- Cations et Anions Majeurs : Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}, HCO_3^{-}, SO_4^{2-}, Cl^{-}, NO_3^{-}, SiO_2
- Paramètres Physico-chimiques (Conductivité électrique, Température, Eh, O_2 dissous...)

Traceurs Isotopiques

- Isotopes stables de l'eau : ^{18}O et D
- ^{18}O et ^{34}S des sulfates

Nature de l'aquifère

Origine de l'Eau de recharge

Modélisation conceptuelle des circulations souterraines

Quels sont les outils disponibles pour l'estimation des temps de résidence des EAUX ?

Tritium ($T_{1/2}$=12,33 a)

- Courte demi-vie → LIMITE de DETECTION
- Baisse de production après le pic de 1963

Carbone 14 ($T_{1/2}$=5730 a)

Moderne ou >1k ans et < 25 k ans

- Lacune de 50 à 1000 ans
- Distortion chronologique en fonction du modèle d'interaction Eau-Roche considéré

Nécessité de nouveaux traceurs de demi-vies complémentaires et de géochimies réactionnelles différentes !

ALCALINO - TERREUX

$^{230}Th \rightarrow ^{226}Ra$ (α ($T_{1/2}$=1620 a) [500-5000 a]) $\rightarrow ^{222}Rn$

Origine des teneurs :
- Mise en solution lors de la recharge
- In situ, ^{230}Th adsorbé et constitutif de la matrice

Propriété : Très soluble

- **Récents développements analytiques (Joffroy *et al.*, 1997)**
- **Possibilité de comparaison avec le ^{14}C**

Taux de production de la matrice

NON - METAUX

$^{40}Ar \rightarrow ^{32}Si$ (β ($T_{1/2}$=140±6 a) [100-1000 a]) $\rightarrow ^{32}P$

Origine des teneurs :
- Rayonnement cosmique
- Variation des teneurs :
  - Saison
  - Latitude
  - Précipitation
  - Activité solaire

(Morgenstern *et al.*, 1996)

Applications :
- Eaux souterraines
- Cycle biogéochimique
- Sédimentation lacustre et océanique
- Circulation océanique
- Paléoclimatologie
- Dynamique des glaciers
- Erosion

(Alburger *et al.*, 1986)

Réponse différente selon l'aquifère (solubilité / Interaction Eau-Roche)

- Sorption lors de la recharge
- Faible concentration

GAZ RARES

$^{40}Ar \rightarrow ^{37}Ar$ (β^- ($T_{1/2}$=35j)) $\rightarrow ^{37}Cl$

Origine des teneurs :
- Interactions Eau/Roche en Subsurface

Approche Interactions Eau-Roche : Comparaison des rapports $^{37}Ar/^{39}Ar$ et Ca/K

Estimation de la production en subsurface

$^{40}Ar \rightarrow ^{39}Ar$ (β^- ($T_{1/2}$=269 a)) $\rightarrow ^{39}Cl$

Origine des teneurs :
- Rayonnement cosmique (spallation)
- K matriciel

↳ Datation ~~Aquifère Cristallin~~

Applications :
- Estimation de proportions d'eaux récentes et correction des âges ^{14}C (Aquifère du Glattal, Suisse)
- Datation d'eau dans les aquifères sableux (Aquifère du trias East Midland, Angleterre) (Andrews *et al.*, 1984)

$^{85}Kr \rightarrow ^{85}Rb$ (β ($T_{1/2}$=10.8 a))

Origine des teneurs :
- Energie Nucléaire (Augmentation depuis 1955)

Application :
Combiné aux tritium et C.F.C.
↓
Datation d'eau d'aquifères de surface (Aquifère sableux Ontario, Canada) (Smethie *et al.*, 1992)

- **Traceurs inertes**
- **Reconstitution du parcours de l'eau au cours des mois, des années et des siècles (Purtschert *et al.*, 2001)**
- **Thermodépendance → reconstitutions paléoclimatiques (Aquifère du Glattal, Suisse) (Beyerle *et al.*, 1998)**

Nécessité de grande quantité d'échantillon

La datation d'eaux dans les aquifères à fort taux de renouvellement nécessite l'utilisation de traceurs de demi- vie complémentaire à celles du tritium et du carbone-14, et de géochimies réactionnelles différentes à celle du carbone-14 : Le Radium-226, le Silicium-32 et les Gaz rares répondent à ces caractéristiques.
Ces traceurs de temps seront étudiés dans différentes formations aquifères (les sables de Fontainebleau, les calcaires du Dogger de la région de Caen...), afin d'identifier les cinétiques d'interactions eau-roche propres à ces outils.
L'utilisation de ces méthodes devrait permettre de caractériser précisément les modes de circulation dans ces aquifères à fort taux de renouvellement, de plus en plus solicités pour l'alimentation en eau.

D.E. Alburger, G.Harbottle and E.F.Norton, 1986. Half-life of ^{32}Si. Earth and Planetary Science Letters, 78, 168-176; J.N.Andrews, W.Balderer, A.H.Bath, H.B.Clausen, G.V.Evans, T.Florkowski, J.E.Goldbrunner, M.Ivanovich, H.H.Loosli and H.Zojer, 1984. Environmental isotope studies in two aquifer systems : a comparison of groundwater dating methods. Isotope Hydrology 1983, I.A.E.A., Vienna, 535-576; U.Beyerle, R.Purtschert, W.Aeschbach-Hertig, D.M.Imboden, H.H.Loosli, R.Wieler et R.Kipfer, 1998. Climate and groundwater recharge during the last glaciation in an ice-covered region. Science, vol.282, 731-734; M.E.Joffroy, C.Hillaire-Marcel, B.Ghaled et L.Dever, 1997. Thermal ionization mass spectrometry measurements of ^{230}Ra and U isotopes in soils, surface and groundwaters. Isotopes techniques in the study of environmental changes, I.A.E.A., 727-743; U.Morgenstern, C.B.Taylor, V.Parrat, H.W.Gaggeler and B.Eichler, 1996. ^{32}Si in precipitation : evaluation of temporal and spatial variation and as a dating tool for glacial ice. Earth and Planetary Science Letters, 144, 289-296; R.Purtschert, B.E.Lehmann et H.H.Loosli, 2001. Groundwater dating and subsurface processes investigated by noble gas isotopes (^{81}Kr, ^{85}Kr, ^{222}Rn, ^{3}He). W.R.I. 2001, 1569-1572; W.M.Smethie, D.K.Solomon, S.L.Schiff and G.Mathieu, 1992. Tracing groundwater flow in the borden aquifer using krypton-85. J.Hydrol., 130, 279-297.