

Traçage et datation des eaux souterraines dans la région de Bécancour par les isotopes des gaz rares, radiogéniques et stables

Christine BOUCHER¹, Agnès SAMPER¹, Daniele L. PINTI¹, Bassam GHALEB¹, Florent BARBECOT²

¹ GEOTOP & Département des Sciences de la Terre et de l'Atmosphère, UQAM, QC

² UMR-IDES Université de Paris SUD XI, France

Problématique

Une gestion optimale de l'eau souterraine requiert une estimation précise i) des réserves existantes et ii) de la fraction renouvelable et exploitable à l'échelle de temps humaine. Le temps de résidence de l'eau (Fig. 1), l'un des paramètres les plus critiques, peut être estimé par la loi de Darcy (âge hydraulique) ou en mesurant la concentration en isotopes (âge radiométrique). La première méthodologie s'appuie sur la mesure des conductivités hydrauliques à l'échelle locale mais ne peut rendre compte des hétérogénéités de l'aquifère à l'échelle régionale. « L'âge radiométrique » intègre mieux ces hétérogénéités mais perd toute signification physique s'il correspond à des mélanges d'eaux d'âges distincts. Les isotopes sont essentiels pour discriminer les différentes masses d'eau impliquées et estimer correctement les temps de séjour de chacune d'elle.

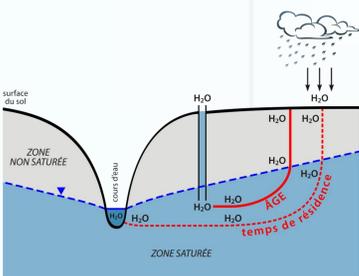


Fig. 1. Définition d'âge et temps de séjour de l'eau (d'après Kazemi et al., 2006)

Le projet en cours se dote d'une approche multi-isotopique afin de tracer les écoulements et estimer les temps de séjour de l'eau souterraine dans les aquifères de Bécancour. Les outils isotopiques privilégiés sont les gaz rares, le Radium-226 et le ¹⁴C.

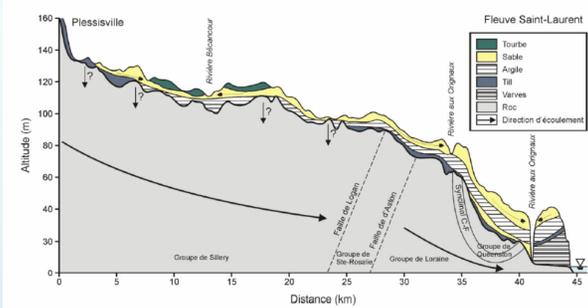
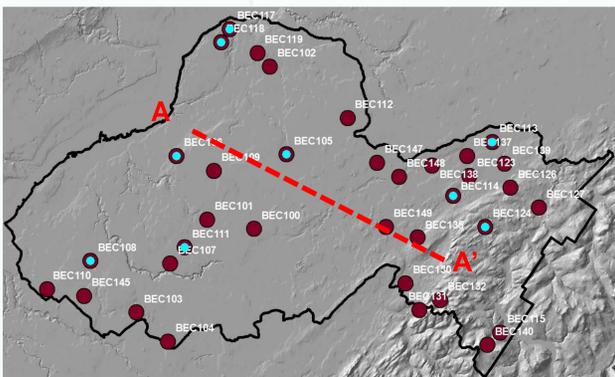


Fig. 2. Points d'échantillonnage dans le bassin de Bécancour (été 2010) et profil type des aquifères présents.

Echantillonnage de l'été 2010

Un échantillonnage des eaux souterraines dans le bassin de Bécancour a été réalisé à l'été 2010. Sur les 110 puits sélectionnés au départ par M. Larocque, nous avons fait un sub-échantillonnage de 45 puits pour les gaz rares (Fig. 2), le ¹⁴C et les isotopes radiogéniques (²²⁶Ra). L'échantillonnage se concentra principalement sur les puits profonds atteignant les aquifères localisés dans le roc. Quelques puits traversant uniquement les unités de surface (till, sables) ont aussi été échantillonnés. Les photos ci-dessous montrent l'échantillonnage d'eau pour les gaz rares réalisé avec des tubes en cuivre.



Les gaz rares, outils de datation et de traçage

Les gaz rares (He, Ne, Ar, Kr et Xe) sont des éléments chimiquement inertes, un avantage par rapport aux traceurs classiques de l'eau. La **composante radiogénique** des gaz rares (⁴He et ⁴⁰Ar*) correspond aux isotopes produits par décroissance radioactive de l'U, Th et K des roches. Leur concentration dans l'eau est proportionnelle au temps de séjour de l'eau en contact avec la roche de l'aquifère. La Fig. 3 montre la relation entre les âges du tritium ou CFC et les concentrations en ⁴He résultant d'une augmentation progressive avec le temps (Solomon et al. 1996).

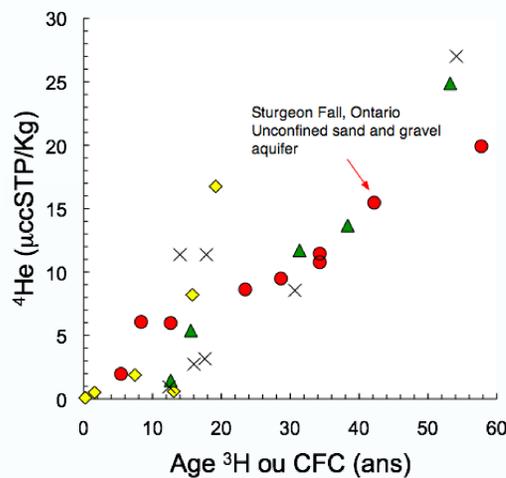


Fig. 3. Augmentation progressive de la concentration en ⁴He dans différents aquifères (données d'après Salomon et al., 1996). En rouge les données obtenues sur un aquifère fluvio-glaciaire en Ontario.

La **composante atmosphérique** des gaz rares correspond à des isotopes présents dans l'atmosphère qui s'introduisent dans le système à la faveur de la recharge (zone non saturée). La quantité de gaz rares atmosphériques dissous dans l'eau est proportionnelle à la température du sol (loi de Henry). Pour des eaux « anciennes » ces gaz enregistrent donc les conditions climatiques qui régnaient au moment de leur recharge, en particulier les paramètres de température (Mazor, 1972) et d'humidité (Mercury et al., 2004). Comparés aux isotopes stables, ces gaz peuvent avoir des applications intéressantes dans la compréhension du phénomène de recharge des aquifères. Dans la Fig. 4, l'excès de deutérium identifié est corrélé avec les paléotempératures des gaz rares enregistrés dans des eaux rechargées entre le 17^{ème} et le 20^{ème} siècle dans l'aquifère non confiné de Fontainebleau en France (Corcho-Alvarado et al., 2009).

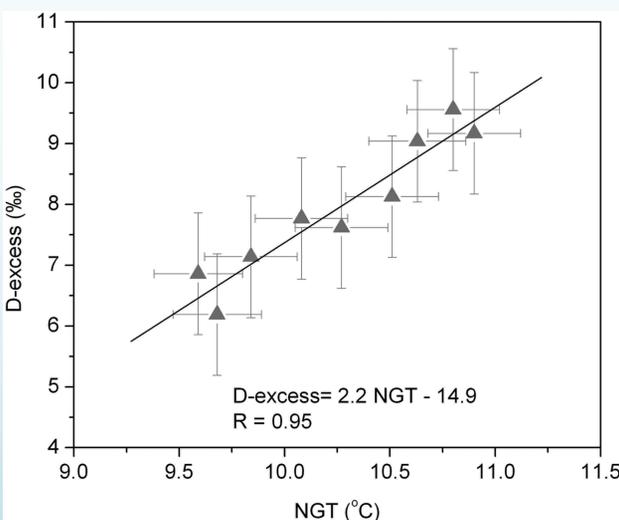


Fig. 4. Corrélation entre l'excès de deutérium et la température à la recharge de l'aquifère de Fontainebleau entre le 17^{ème} et le 20^{ème} siècle, ce dernier étant calculé à partir de la concentration des gaz rares atmosphériques dissous dans l'eau.

Cette relation s'explique par un contrôle saisonnier. Des températures élevées dans la zone de recharge provoquent des taux d'évaporation plus élevés; et cependant les excès sont réduits dans les zones rechargées (ou bien localement les excès sont plus élevés pour des températures plus basses).

Le Radium-226, un autre outil de datation

Le radium-226 est un produit de la chaîne de décroissance de l'²³⁸U et, au contraire de l'U lui-même, il est insensible à l'état redox du milieu. Le mécanisme d'entrée du ²²⁶Ra dans un aquifère est complexe mais plusieurs travaux montrent qu'il s'introduit dans un aquifère principalement lors de la recharge, par dissolution de la matrice et libération des produits de décroissance de l'U (Joffroy et al., 1998). Par conséquence, quand une eau « vieillit », l'activité du ²²⁶Ra diminue car il décroît en son élément fils, le ²²²Rn. Une étude réalisée dans les sables de l'Astien, dans le sud de la France montre le principe (Hillaire-Marcel et al., 2006). L'analyse du ²²⁶Ra dans les eaux de cet aquifère confiné montre bien une diminution en fonction de la distance à la recharge, i.e. une diminution pour les eaux plus âgées (Fig. 5).

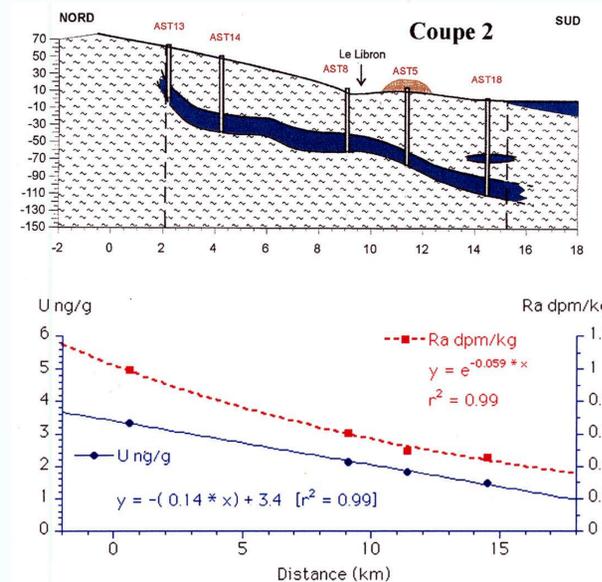


Fig. 5. Diminution progressive de la concentration en ²²⁶Ra par décroissance en ²²²Rn dans des puits s'éloignant de la recharge des sables de l'Astien, au sud de la France.

Dans une autre étude des eaux de l'aquifère de la craie dans le Bassin Parisien (Fig. 6), les modèles d'âge U-Ra et les modèles d'âge par radiocarbone (¹⁴C) sont comparables, et valident le ²²⁶Ra comme outil de datation (Barbecot, 1999). L'âge observés sont à relier aux mécanismes d'entrée du Ra dans le système qui sont plus complexes que via une simple dissolution de la matrice.

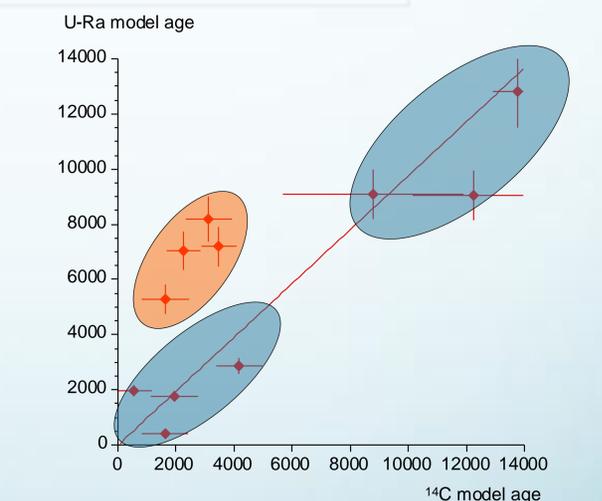


Fig. 6. Comparaison des âges d'eau souterraine provenant de l'aquifère de la Craie dans la région parisienne obtenus par mesures du ²²⁶Ra et ¹⁴C.

Références

- Barbecot F. (1999). Approche géochimique des mécanismes de salinisation des aquifères côtiers : chronologies ¹⁴C-²²⁶Ra. Thèse doctorat Un. Paris Sud, 277 pp.
- Hillaire-Marcel, C.; Ghaieb, B.; Pons-Branchu, E. (2006). Ra-excess dating: Hopes and limitations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Volume 70, Issue 18, p. A251-A251.
- Joffroy, M. E., Hillaire-Marcel, C., Ghaieb, B., and Dever, L., (1998). Thermal ionization mass spectrometry measurements of Ra-226 and U isotopes in soils, surface and groundwaters. *SM-349/49*, IAEA, Wien pp. 727-743.
- Mazor, E., (1972). Paleotemperatures and other hydrological parameters deduced from noble gases dissolved in groundwaters: Jordan Rift Valley, Israel. *Geochim. Cosmochim. Acta* 36, 1321-1336.
- Mercury, L., Pinti, D.L., Zeyen, H. (2004). The effect of negative pressure of water on the atmospheric noble gas solubility in ground water and palaeotemperature reconstruction. *Earth Planet. Sci. Lett.* 223, 147-161.
- Solomon, D. K., Hunt, A., and Poreda, R. J., (1996). Source of radiogenic helium 4 in shallow aquifers: Implications for dating young groundwater. *Water Resour. Res.* 32, 1805-1813.