

Quantification de la recharge des aquifères à l'aide des isotopes de la molécule d'eau ($\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$)

Florent Barbecot¹, Eric Pili²

¹ Univ Paris-Sud, florent.barbecot@u-psud.fr, Laboratoire IDES, UMR8148, Orsay, F-91405, France ;
² Commissariat à l'Énergie Atomique, eric.pili@cea.fr, CEA, DAM, DIF, F-91297 Arpajon, France



La modélisation du régime d'écoulement des masses d'eau souterraines repose sur une connaissance des flux aux interfaces. Dans le meilleur des cas, les bilans sont réalisés à des échelles pour lesquelles la fonction de recharge naturelle des aquifères reste mal définie.

Une investigation du processus de recharge à l'échelle de la parcelle permet de proposer un couplage entre bilans hydriques et isotopiques, solution originale qui apparaît comme un outil performant de détermination du flux de recharge sous certaines conditions.

Description du profil de zone non saturée



Les 3 premiers mètres de la zone non saturée (ZNS) développée en zone de recharge de l'aquifère d'importance régionale des Sables de Fontainebleau (Bassin de Paris) ont été reconnus lors d'un sondage réalisé à la pelle mécanique (Schneider, 2005). Un échantillonnage systématique a été réalisé, avec une moyenne d'un échantillon tous les 2,5 cm de 0 à 137 cm, puis un échantillon tous les 10 cm environ de 140 à 280 cm (Jeanpert et al, 2007).

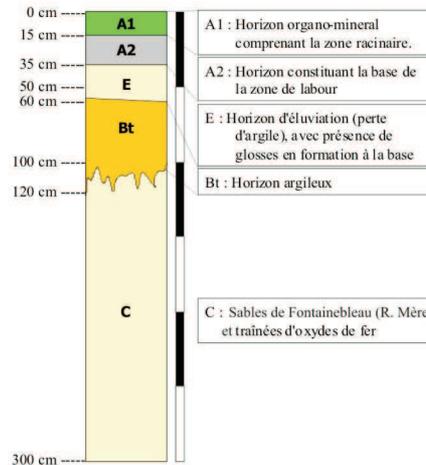
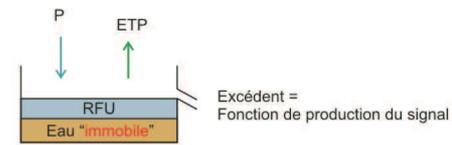
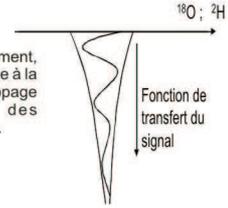


Schéma conceptuel du fonctionnement hydrique

A 50 cm de profondeur, un horizon plus argileux (Bt) forme une barrière semi-perméable. C'est le substratum d'une zone ou l'engorgement temporaire rend compte d'un fonctionnement hydrique schématisé par le réservoir ci-dessous (Schneider et al, 2006).

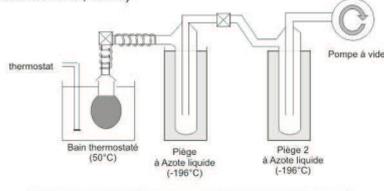


En l'absence de ruissellement, l'excédent hydrique participe à la recharge de la nappe et propage le signal isotopique des précipitations vers la nappe.

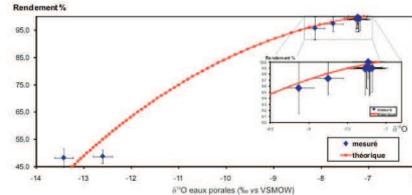


Extraction du signal isotopique de la ZNS

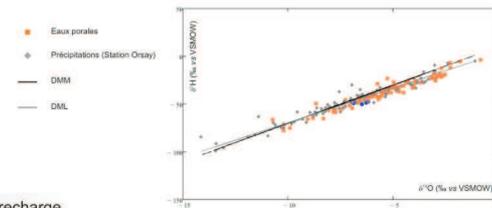
Lors de l'extraction par distillation cryogénique, l'échantillon est mis au bain marie pendant 15 h et l'eau est récupérée par un piège froid à -196 °C (N₂ Liquide, Walker et al, 1994)



Le modèle de distillation de Rayleigh proposé par Araguas Araguas et al (1994) permet de corriger les signatures isotopiques lorsque l'extraction n'est pas totale (présence d'argile par ex.). L'adéquation entre modèle et signature isotopiques des eaux porales a été spécifiquement vérifiée pour la matrice échantillonnée. Le signal isotopique a pu être corrigé lorsque des rendements faibles d'extraction (<98 %) ont été reconnus.

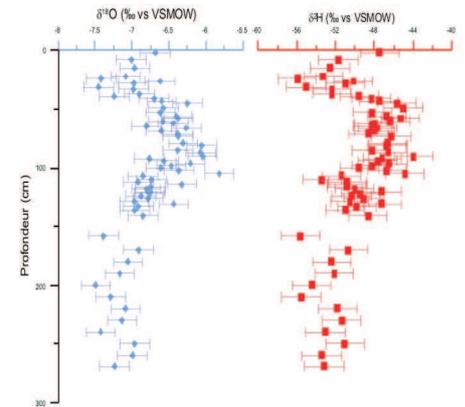


La signature des eaux porales reflète le domaine des précipitations régionales, sans impact significatif de processus secondaire (évaporation)

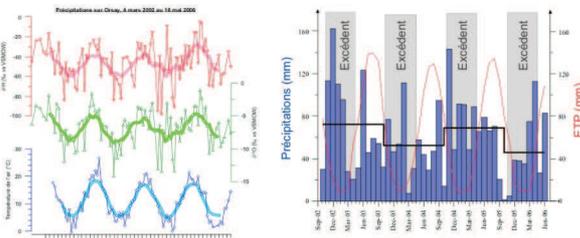


Signature isotopique de l'eau porale

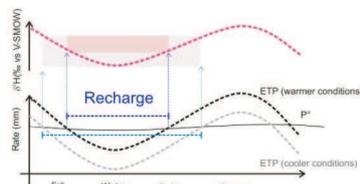
Les profils de signature isotopique de l'eau porale obtenus sur près de 70 échantillons rendent compte de l'enregistrement du signal "eau de recharge" au cours des derniers mois à années. La signature isotopique moyenne, respectivement -6.9 et -50.5 pour le $\delta^{18}\text{O}$ et le $\delta^2\text{H}$, est significativement plus appauvrie que celle des précipitations (-6.6 et -43.5) au cours des deux années précédant cette étude.



Origine de la variabilité du signal isotopique des eaux de recharge



Les précipitations relativement continues sous climat océanique portent un signal isotopique saisonnier. Lorsque l'évapotranspiration est limitée (octobre à mars), ces précipitations peuvent contribuer à la recharge. La signature isotopique des eaux de recharge est contrôlée par le bilan hydrique.



Modèle de distribution des signatures isotopiques

Le flux de recharge peut être approché par bilan hydrique (cf schéma conceptuel du fonctionnement hydrique). Généralement un calage du bilan est réalisé sur des conditions de flux à l'échelle d'un bassin, ici il est contraint par la signature isotopique : le signal isotopique des eaux de recharge issu du modèle doit converger vers la signature de l'eau de nappe.

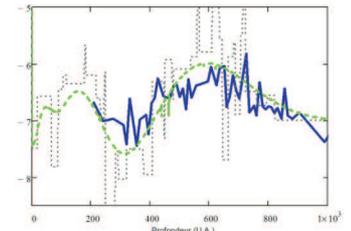
La signature isotopique des eaux porales détermine le flux de recharge de la nappe. Il est ici de 190 mm/an, valeur en accord avec les approches globales du flux de recharge (Corcho et al, 2007)

A partir des bilans hydriques et isotopiques, une fonction continue de recharge est distribuée au sein de la ZNS en considérant une dispersion du signal géochimique :

$$h(t, T_0, d) := \frac{T_0}{\sqrt{d \cdot t}} \cdot \exp\left[-\frac{(t - T_0)^2}{d \cdot t}\right]$$

in Maloszewski et al., 2006

L'atténuation du signal isotopique lors du transport au sein de la ZNS fixe la dispersion affectant les eaux de recharge lors de leur transfert en ZNS.



Le couple $\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$ offre la possibilité de déterminer précisément le flux de recharge, son évolution temporelle et de dimensionner les processus de dispersion affectant les eaux de recharge lors de leur transport au sein de la ZNS.

Ce traçage naturel du fonctionnement hydrique de la ZNS est un outil adapté à la prédétermination de la propagation des signaux anthropiques vers les nappes.

Outre l'intérêt pour le calage des modèles hydrodynamiques, cette approche sera des plus pertinentes pour l'investigation de l'hétérogénéité des conditions de recharge à différentes échelles géographiques notamment dans la perspective de l'étude de l'impact des changements climatiques sur les ressources en eau.

Références bibliographiques : Araguas-Araguas et al (1995). Isotope effects accompanying vacuum extraction of soil water for stable isotope analysis. *J of Hydrol.*, 168(1-2): 159-171.
 Schneider V, Jeanpert J, et Barbecot F. (2006) Zone non saturée: Méthodes d'interprétation des données, modèles conceptuels et perspectives. Publication interne CEA DAM Ile de France.
 Jeanpert J, Schneider V, et Barbecot F. (2007) Zone non saturée: Méthodes d'investigation et traçages du transfert des isotopes stables. Publication interne CEA DAM Ile de France.
 Corcho Alvarez et al (2007) Constraining the age distribution of highly mineral groundwater using a multiple environmental tracer (³H/³He, ⁸²Kr, ⁸⁴Ar and ¹⁴C) study in the semi-confined Fontainebleau Sands aquifer (France). *R.R.R., VVOL*, 43
 Maloszewski et al. (2006) Modelling of water flow through soils. *Environ. Decartian transport. Hydrol Sci.*, 51(2), pp 298-313
 Schneider 2005, THESE Univ. Paris-Sud
 Walker et al (1994). Interlaboratory comparison of methods to determine the stable isotope composition of soil water. *Chem. Geol.*, 111(1-4): 297-306.

Remerciements à Cécile Quantin, Julie Jeanpert, Vincent Schneider, Mathieu Gosselein, Caroline Plain pour leur participation directe ou indirecte à ce travail.