

Mélange des eaux de la nappe phréatique et de la rivière

Luc Lambs

Summary

Study of mixed water between ground and river

Riparian woodlands depend on local hydrological resources and have to adapt to rapid changes in water levels and soil moisture conditions. This leads us to use stable oxygen isotope (^{18}O) and conductivity to trace the distribution and the origin of water. The two main water sources are the river water, coming from upstream rainfall, and the ground water, generally reflecting the mean local rainfall, which can be mixed in the river channel gravel bar. In case of rivers confluence, this model is more complicated due to the presence of a third source of water. Several cases will be presented, from a study realised in the South-West of France downstream of Toulouse and at the confluence of the Garonne and the Ariège rivers.

Mots-clés

Isotopes stables, oxygène 18, confluence.

Key-words

Stable isotopes, oxygen 18, river confluence.

Les rivières ne sont pas seulement le point terminal de l'écoulement des eaux de nappes et le début des systèmes d'eau de surface, mais elles sont aussi les composantes majeures pour l'écologie des forêts riveraines [1]. Dans ces systèmes dynamiques, les arbres sont la mémoire des événements du passé. Le développement et la modification des forêts riveraines reflètent souvent l'évolution des événements hydrologiques [2]. La plaine alluviale est en fait un point complexe d'interaction entre le système de la rivière et celui de la nappe phréatique [3]. Cette zone de mélange entre l'eau de rivière et l'eau de nappe est appelée la *zone hyporhéique* et est située dans les sédiments autour du chenal de la rivière [4]. Cette zone peut être définie comme les parties saturées interstitielles sous le lit de la rivière et dans les bancs de la rivière, et où une proportion d'eau de nappe s'est infiltrée.

Les isotopes stables, comme ^{18}O ou ^2H , sont des outils qui permettent de connaître et suivre l'origine de l'eau : le traçage naturel intrinsèque. Les deux sources principales d'eau, l'eau de rivière et l'eau de nappe, ont souvent des signatures isotopiques différentes. L'eau de rivière provient des précipitations recueillies plus en amont sur le bassin, et sont donc plus appauvries en isotope lourd, en raison de l'effet continental et de l'altitude. L'eau de nappe provient des précipitations locales dont les fluctuations saisonnières, dues notamment aux variations de températures, sont moyennées par l'étendue et la lente vitesse d'écoulement de cette eau. Ces deux sources d'eaux se mélangent dans la zone hyporhéique et au-delà. Pour donner une idée de la répartition horizontale, on peut citer deux cas extrêmes. Pendant les basses eaux de la rivière, l'eau de nappe peut arriver quasiment pure jusque dans le lit mineur de la rivière, alors que pendant les grandes crues, la rivière peut aller loin à l'intérieur des terres et se mélanger à l'eau de nappe locale. Cette zone de mélange est en continuel changement et dépend principalement du niveau de la rivière, de la géométrie et de la composition granulométrie des berges. Ces eaux de la partie saturée vont ensuite migrer dans la partie insaturée des alluvions et de là être accessibles aux racines des arbres. Cette migration de l'eau engendrée par l'évaporation du sol et de l'évapotranspiration de la

végétation, produit un gradient isotopique vertical. Comme il n'y a pas de fractionnement isotopique lors du passage de l'eau du sol dans les racines [5], on peut connaître l'horizon racinaire actif.

Mélange des eaux en milieu alluvial – gradient horizontal

La vallée de la Garonne autour de Toulouse est la partie la plus sèche avec des précipitations annuelles moyennes allant de 600 à 700 mm, alors que l'évapotranspiration peut atteindre 850 à 900 mm. Le piémont des Pyrénées, ainsi que les montagnes elles-mêmes, sont beaucoup plus arrosés et l'eau d'altitude qui en provient est principalement véhiculée par la Garonne. La valeur isotopique moyenne, $\delta^{18}\text{O}$, de la Garonne se situe autour - 9, soit beaucoup plus appauvrie en isotope lourd que la nappe phréatique ayant une valeur moyenne de - 6,6 (voir *figures 1 et 2*). Cette différence de plus de deux unités est suffisante pour discriminer tout au long de l'année l'origine de ces deux eaux. Au niveau des variations, la Garonne, pendant les fontes de neige, peut présenter des valeurs encore plus négatives (jusqu'à - 9,6) alors qu'au contraire, durant les fortes précipitations de plus basses altitudes, cette valeur peut remonter jusqu'à - 8,2. La valeur de l'eau de nappe est plus stable au cours de la saison (- 6,63 +/- 0,25), vu l'effet tampon obtenu (i) par la largeur de la plaine sur la variabilité spatiale des pluies locales, et (ii) par la lenteur de l'écoulement qui permet de faire diminuer les variations saisonnières. En hiver, les valeurs isotopiques de la pluie sont plus négatives ; et ces valeurs sont moins négatives en été, ou moins fractionnées vu les températures plus élevées. Notez qu'effectivement les valeurs isotopiques de la pluie et de la nappe se chevauchent, mais on peut alors les différencier par la conductivité.

Absorption par les plantes – gradient vertical

L'eau de rivière et de nappe se mélangent donc le long des berges dans cette zone hyporhéique dont la largeur peut varier de quelques dizaines de centimètres à plusieurs

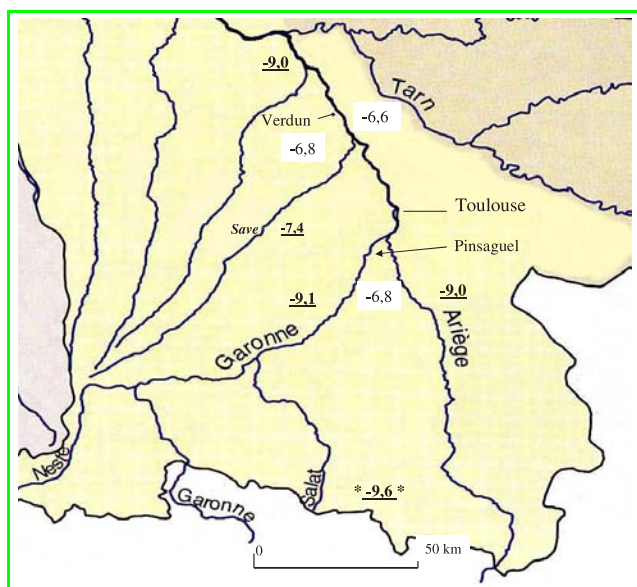


Figure 1 - Valeurs isotopiques ^{18}O des eaux autour de Toulouse (en fond blanc : eau de nappe).

centaines de mètres. Cette zone peut aussi exister sous la rivière s'il y a suffisamment de gravier, on parle alors de sous-écoulement. Ce qu'il faut retenir, c'est que cette zone de mélange est dynamique et le pourcentage des deux eaux prélevées dans un piézomètre dépend de beaucoup de paramètres hydrologiques. Cette eau de la zone saturée, dont le niveau fluctue régulièrement, va humidifier la zone non saturée du sol. La perte en eau du niveau de la surface due à l'évaporation, et un peu plus en profondeur par l'évapotranspiration des plantes, génère un gradient isotopique vertical. La *figure 3* schématise une série de dispositifs expérimentaux qui permet de mesurer l'origine de l'eau (piézomètre) au pied d'un arbre en milieu alluvial, ainsi que l'activité de ses racines. Les tensiomètres permettent de prélever de l'eau du sol dans la partie non saturée et montrent le fractionnement isotopique vertical. A partir de carottes de bois d'aubier prélevées dans les racines et dans le tronc, on peut extraire la sève et connaître l'eau qui y circule. Sur la racine profonde, la valeur isotopique de $-8,8$ est effectivement proche de l'eau de la nappe à $-9,0$; mais à cette période, ce sont les racines de surfaces ($-8,0$) qui alimentent l'arbre vu la concordance avec la sève du tronc à $-8,0$.

Cas particulier des confluences

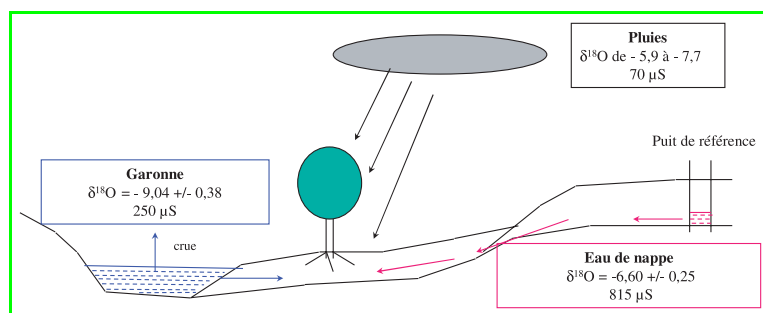


Figure 2 - Origine de l'eau en milieu alluvial pour la végétation riveraine. Valeurs typiques pour ^{18}O et la conductivité en aval de Toulouse, le long de la Garonne.

Pour le calcul du mélange des eaux à partir des valeurs isotopiques, le cas de deux sources d'eau est l'idéal. Nous avons vu que l'eau de pluie engendre l'eau de nappe et que des petites variations locales peuvent exister. De même, nous avons voulu connaître les variations de la nappe le long de la Garonne sur plusieurs dizaines de kilomètres et là aussi, il y a peu de différence. Si l'on compare la nappe entre la rive gauche (terrasse plus haute) et la rive droite (terrasse plus basse), la différence des moyennes sur plusieurs mois est également faible ($-6,9$ et $-6,6$ respectivement). Par contre, dans le cas de confluence entre rivières, une troisième origine d'eau est possible. La *figure 4* reporte les valeurs isotopiques (^{18}O ou ^2H) obtenues en fin d'été 2001 pendant les basses eaux de la Garonne. Les prélèvements ont été réalisés en amont de Toulouse à la confluence entre la Garonne et l'Ariège (village de Pinsaguel), à Toulouse même et en aval de Toulouse (village de Verdun).

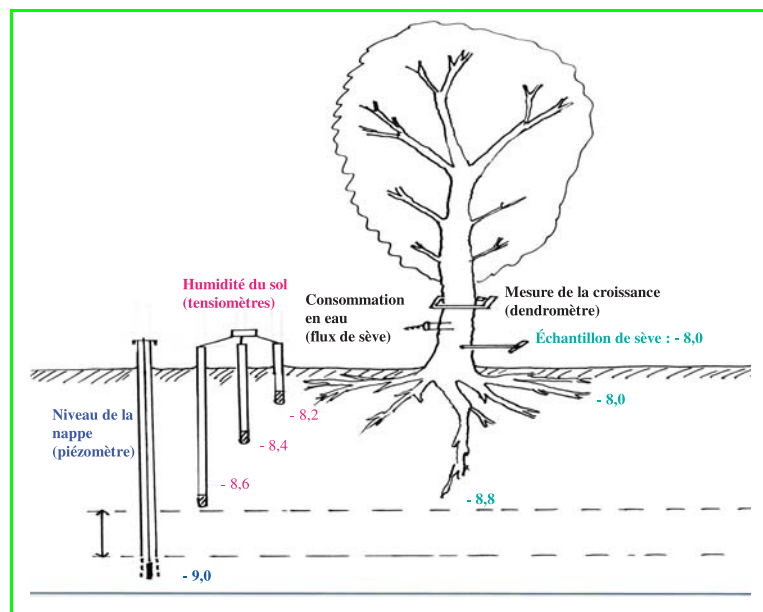


Figure 3 - Équipements autour de l'arbre étudié. Étude de l'absorption de l'eau de la nappe alluviale jusqu'à la sève d'après l'oxygène 18 .

Les caractéristiques isotopiques de l'Ariège et de la Garonne sont assez proches (-9 et $-8,7$ respectivement), vu leurs origines montagnardes. On peut noter la faible différence entre l'eau de la Garonne prélevé à Pinsaguel ($-8,7$) et à Verdun ($-8,5$). Par contre, l'eau prélevée à l'entrée de Toulouse sur la rive droite reste proche des valeurs de l'Ariège (-9), les eaux pouvant mettre plusieurs kilomètres pour bien se mélanger.

D'un autre côté, les caractéristiques des eaux de nappe de Pinsaguel sont proches de celles de Verdun, ce qui montre l'homogénéité moyenne des eaux de pluie pour ce secteur (environ 70 km de long). Les points notés échantillons (en vert sur la *figure 4*) correspondent aux prélèvements effectués au point de confluence de la Garonne et de l'Ariège, respectivement à la pointe de la confluence en surface (1), idem en profondeur (2) et côté Garonne (3). Si le point 1 correspond assez bien à l'équilibre entre l'Ariège et la Garonne, le point 2 en profondeur montre une plus forte proportion en eau de

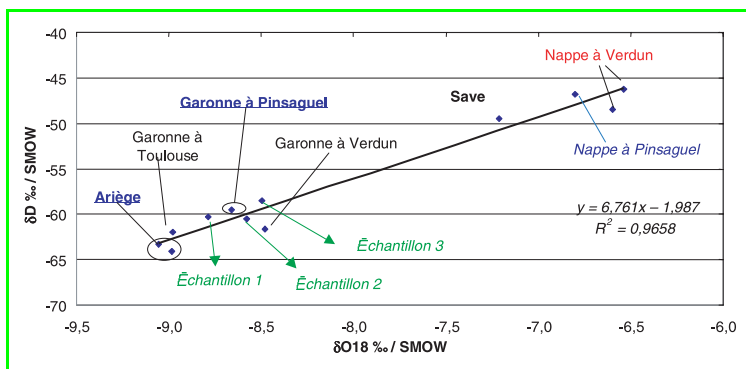


Figure 4 - Relation entre les valeurs $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$ le long de la Garonne. Les deux ellipses correspondent aux deux affluents de la confluence, les échantillons de mélange sont en vert.

la Garonne. Quant au point 3, il a été prélevé proche d'une sortie de nappe. La Save est un affluent mineur alimenté par les coteaux du Gers avec une valeur isotopique intermédiaire entre la Garonne et la nappe phréatique.

Conclusion

L'étude du mélange des eaux entre la nappe phréatique et l'eau de rivière nous permet de mieux comprendre le devenir de l'eau dans les berges alluviales. Ces corridors sont des

espèces uniques pour la diversité de la végétation et pour l'influence de cette végétation sur la qualité des eaux. Dans le cas de mélange de seulement deux eaux d'origines différentes, le calcul du mélange est assez aisé. Pour les zones de confluence, où deux types de rivières peuvent se mélanger, les prélèvements doivent être effectués lorsque les différences isotopiques sont les plus fortes.

Références

- [1] Woessner W.W., *Ground Water*, **2000**, 38, p. 423.
- [2] Tabacchi E., Lambs L., Guilloy H., Planty-Tabacchi A.M., Muller E., Decamps H., *Hydrological Processes*, **2000**, 14, p. 2959.
- [3] Lambs L., *Chemical Geology*, **2000**, 164, p. 161.
- [4] White D.S., *J. N. Am. Bentol. Soc.*, **1993**, 12, p. 61.
- [5] Ehleringer J.R., Dawson T.E., *Plant Cell Env.*, **1992**, 15, p. 1073.

Luc Lambs

est chercheur CNRS au Laboratoire dynamique de la biodiversité de Toulouse*.

* Fédération de Recherche en Écologie (FR2576), Laboratoire dynamique de la

biodiversité, 29 rue Marvig, 31055 Toulouse Cedex 04.

Tél. : 05 62 26 99 82. Fax : 05 62 26 99 99.

E-mail : lambs@ecolog.cnrs.fr