Minéralisation de l'eau de la zone non-saturée du karst : résultats de prélèvements dans des cavités du plateau d'Albion (Vaucluse et Alpes de Haute Provence, Sud-Est de la France)

Jean-Michel PUIG*, Christian BOUCHER, Michel DANIEL***

* Université d'Avignon (France), 33 rue Louis Pasteur, 84000 AVIGNON - E-mail : jean-michel.puig@univ-avignon.fr

** CDS Vaucluse

INTRODUCTION

Les chroniques de données hydrochimiques aux exutoires de sources karstiques sont classiquement utilisées pour comprendre le fonctionnement hydrocinématique des aquifères. On utilise aussi parfois des données concernant la qualité des précipitations. En revanche, on a peu d'éléments pour comprendre l'évolution de la minéralisation entre l'infiltration et l'émergence, bien que les méthodes d'interprétation de l'évolution chimique utilisent des postulats sur la partie de l'aquifère dont proviennent les eaux ou les mélanges d'eaux s'écoulant aux exutoires.

Des prélèvements effectués à des profondeurs différentes dans plusieurs cavités amènent des éléments d'information sur l'évolution hydrochimique dans la première partie du trajet souterrain de l'eau, la traversée de la zone non-saturée. Les premières données acquises viennent confirmer des observations ou des hypothèses antérieures, mais aussi apportent des éléments nouveaux sur les évolutions chimiques et thermiques de l'eau d'infiltration.

MATERIEL ET METHODE

1) Le site d'étude

Le plateau d'Albion appartient au bassin d'alimentation de la Fontaine de Vaucluse. On y trouve à l'affleurement les calcaires du Crétacé inférieur (Barrémien, Aptien inférieur). Ses limites géographiques (fig 1) sont au Nord la montagne de Lure et la montagne d'Albion, qui forment une chaîne est-ouest culminant à plus de 1800 m. Les fossés oligocènes de Sault et de Banon bordent le secteur à l'Ouest et à l'Est respectivement. Au sud, le massif de Lagarde sépare la zone des plateaux du bassin d'Apt, synclinal parallèle à la chaîne septentrionale. A l'intérieur de ces limites s'étendent plusieurs centaines de km^2 de plateaux calcaires peu accidentés situés entre 800 et 1000 m d'altitude. Sur ces surfaces à réseau de drainage absent ou caduc, on compte de très nombreuses dolines et plusieurs avens de grande profondeur. Le style spéléologique de la zone correspond à des enchaînements de grands puits verticaux. Peu de cavités présentent des développements horizontaux importants

Le climat est de type méditerranéen influencé par l'altitude. Les précipitations moyennes inter annuelles dépassent 1100 mm. Du fait des températures moyennes relativement basses, de la faible rétention de l'eau dans les sols et du régime pluviométrique, l'infiltration a été évaluée à 600 mm environ (PUIG, 1987).

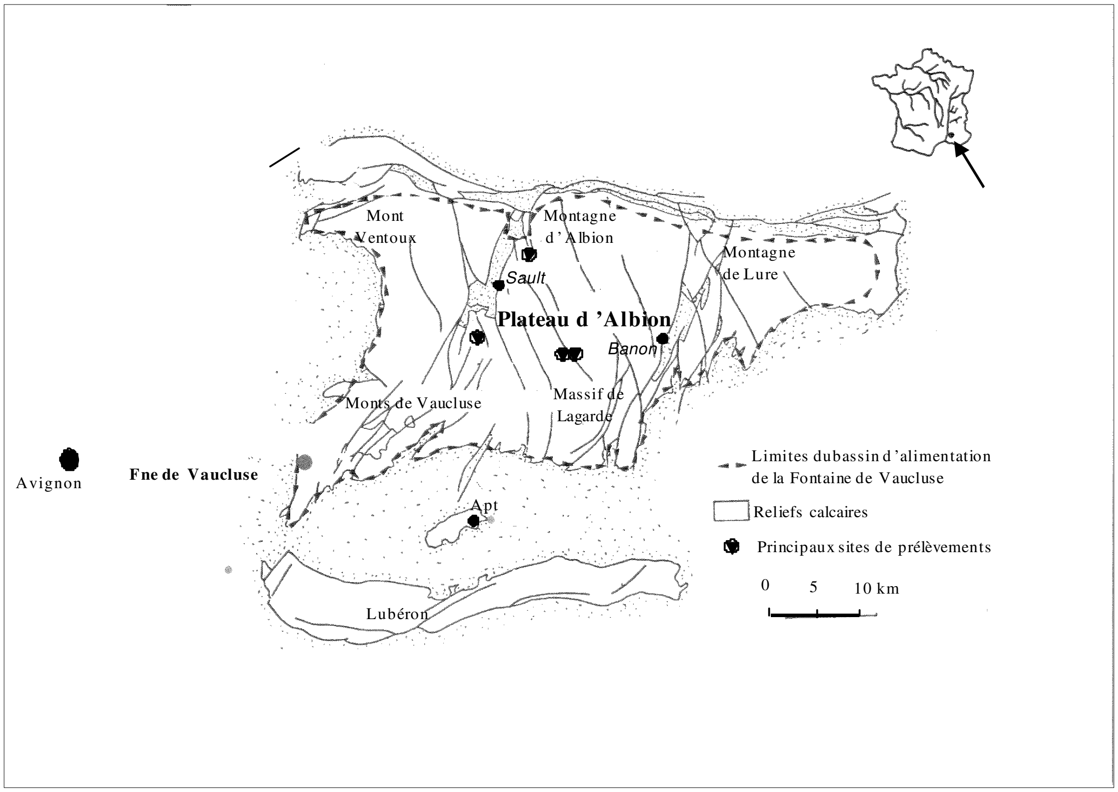

Figure 1 : Situation du plateau d'Albion et des points de prélèvement.

Des traçages ont montré le drainage exclusif par la Fontaine de Vaucluse située à une trentaine de km à l'Ouest Sud-Ouest (PUIG 1987, COUTURAUD 1993). Le signal d'entrée a été caractérisé du point de vue chimique et isotopique (LASTENNET, 1994; EMBLANCH, 1997). L'exutoire du système a fait l'objet de suivis hydrodynamiques et hydrochimiques prolongés (MUDRY, 1987; EMBLANCH, 1997). COUTURAUD (1993) a effectué plusieurs prélèvements dans des cavités des plateaux, avec des mesures précises des paramètres physico-chimiques et des mesures *in situ* des bicarbonates et du CO_2 de l'atmosphère des grottes. On dispose donc d'une bonne caractérisation des signaux d'entrée et de sortie, et de jalons sur l'infiltration assez intéressants pour inciter à des recherches plus systématiques.

2) Echantillonnage et analyses

Le principal problème posé par l'échantillonnage est bien sûr la difficulté d'accès aux écoulements souterrains. Nous avons bénéficié de la collaboration des membres du Comité Départemental Spéléologique du Vaucluse que nous tenons à remercier ici. Les cavités concernées et leurs caractéristiques sommaires sont portées au tableau 1 (d'après GAUBERT et *al.* 1990, 1995).

Cavité	Prof.	Altitude	Nombre	Période
Autran	655	940	16	11/98-2/99
Château	90	860	1	févr-99
J-Nouveau	578	830	3	nov-98
Marquisan	79	840	1	févr-99
Souffleur	610	850	2	févr-99

Tableau 1 : Cavités prélevées

Dans cette première phase, on a choisi de prélever systématiquement les écoulements rencontrés à des profondeurs différentes dans des cavités faisant l'objet de travaux spéléologiques de longue durée, donc équipés pour plusieurs semaines ou plusieurs mois. Mais au hasard des expéditions, des échantillons ont pu être récoltés dans des cavités plus modestes ou lors de visites de courte durée. Les volumes prélevés ont été réduits le plus possible et fractionnés : en général, chaque échantillon est de 300 ml en deux flacons. Pour des raisons de coût (multiplicité des équipes pouvant opérer simultanément), d'encombrement et de fragilité, on a renoncé aux mesures *in situ* des paramètres physico-chimiques. Seule la température a été relevée systématiquement, encore qu'avec un matériel sommaire. Un délai de plusieurs jours, parfois plusieurs semaines a pu s'écouler entre le prélèvement et l'analyse. Pour les 23 échantillon collectés de Novembre 1998 à Février 1999, ce délai ne semble pas avoir affecté les résultats : les balances ioniques sont toutes comprises entre +4 et –2 %, dont 17 dans la fourchette +1 à –1.
Les ions majeurs ont été systématiquement analysés, les cations par spectroscopie d'absorption atomique sur un des flacons acidifié au préalable, les anions par chromatographie ionique, à l'exception des bicarbonates, dosés par pHmétrie. La conductivité et le pH ont été mesurés au laboratoire sur la plupart des échantillons, la dernière de ces données étant peu utilisable en raison du délai de mesure.

RESULTATS ET DISCUSSION

D'après les travaux antérieurs cités, on s'attend à ce qu'une bonne part de la minéralisation totale soit acquise dans la zone non-saturée. On peut cependant postuler que les trajets pour parvenir à une certaine profondeur (voire à un point donné) sont multiples et correspondent à des vitesses d'écoulement différentes, donc à des temps de séjour et, partant, des minéralisations différentes. On peut s'attendre à ce que les marqueurs classiques du temps de séjour (minéralisation totale, Mg++) traduisent ces différences d'histoire

La première observation porte sur la **minéralisation totale** des eaux prélevées. Les valeurs de conductivité sont comprises entre 200 et 400 S/cm. Une seule valeur dépasse cette gamme pour atteindre 487. Ces valeurs correspondent tout à fait à celles observées à la Fontaine de Vaucluse. Cette observation confirme la démonstration de EMBLANCH (1997), basée sur l'interprétation des teneurs en $_{13}$C, de la prépondérance de la mise en solution dans la zone non-saturée du karst de Vaucluse. Faute de disposer de la conductivité pour toutes les eaux, la bonne corrélation avec la teneur en Calcium (r = 0.99) nous permet d'utiliser cette dernière valeur comme représentative de la minéralisation globale. Le graphe de la relation Ca++ en fonction de la profondeur montre une totale déconnexion des deux variables (fig. 2). Cela montre bien la diversité des vitesses de circulation, donc des temps de séjour, dans la zone non-saturée et y laisse envisager un stockage prolongé d'une partie de l'eau infiltrée.

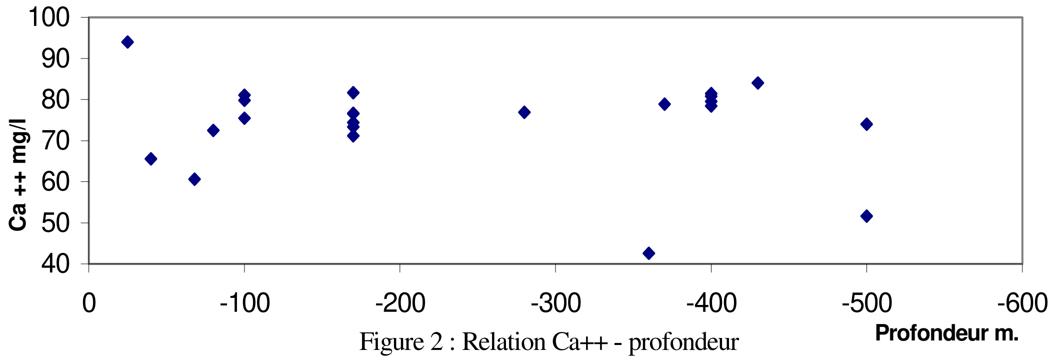

Figure 2 : Relation Ca++ - profondeur
Figure 2 : Relation Ca++ - Depth

La **température** de l'eau peut d'une certaine manière refléter le temps de séjour : on peut admettre qu'il faut un certain temps à l'infiltration pour se mettre en équilibre thermique avec le milieu. La figure 3 montre la relation qui existe entre la température des écoulements et la profondeur. On observe qu'il existe une relation d'ensemble, meilleure qu'entre calcium et profondeur, mais cependant peu rigoureuse (r = 0.715). On voit aussi que pour une même profondeur, on peut avoir des températures sensiblement différentes. C'est surtout observable au point de profondeur 170, prélevé 6 fois à l'aven Autran, et dans une moindre mesure à la profondeur –100. Si on peut invoquer une différence de température initiale à l'infiltration (pluie, fonte de neige), du moins est-il établi que l'équilibre thermique avec l'encaissant n'est pas réalisé toujours de la même façon à une même profondeur. Notons que ces deux points montrent également une dispersion des teneurs en calcium. Au contraire, il n'y a pas de différence de température entre les deux points montrant (à –500 m à Jean-Nouveau) une grande différence de teneurs en calcium.

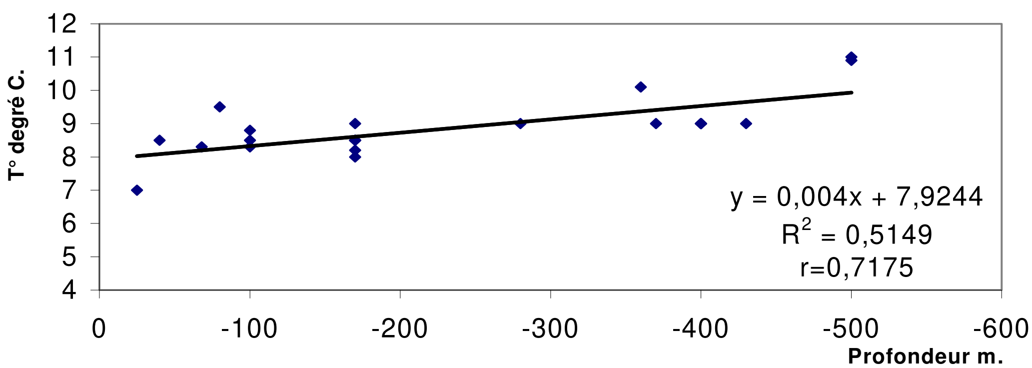

Figure 3 : Relation T°- Profondeur
Figure 3: Relation T°versus depth

Par ailleurs, on notera la faiblesse du gradient relevé : 0,4 degré par 100m seulement, donc bien au-dessous du gradient géothermique normal. Ce gradient est même légèrement inférieur au gradient atmosphérique (environ 0,5 degré par 100 m. sur le bassin de la Fontaine de Vaucluse). Il faudra éventuellement rapprocher ces observations du déséquilibre thermique permanent enregistré à la Fontaine de Vaucluse où les eaux sont un peu trop froides par rapport à l'altitude d'émergence, mais surtout trop froides de 9 degrés par rapport à la profondeur du conduit noyé.

CONCLUSION

Cette première approche permet de confirmer des hypothèses déjà énoncées sur le stockage, le cheminement et la régulation chimique, thermique et hydrodynamique dans la zone non-saturée du karst de Vaucluse. La permanence des écoulements dans la zone non-saturée oblige à y envisager un stockage important. L'absence de corrélation profondeur / minéralisation, la mauvaise relation T°/ profondeur et les variations enregistrables en un même point de prélèvement traduit la diversité des cheminements et des temps de séjour dans cette partie du karst. On peut supposer que la zone noyée reçoit de la zone non-saturée des volumes d'eau dont le signal chimique global intègre ceux d'apports très divers. On peut admettre que ce signal global évolue vers des minéralisations de plus en plus fortes au cours de la saison sèche, et se rapprocher des teneurs maximales, que l'on avait l'habitude d'attribuer à un temps de séjour prolongé dans la zone noyée.

BIBLIOGRAPHIE

1. COUTURAUD A. (1993) : Hydrogéologie de la partie occidentale du système karstique de Vaucluse. . Thèse de doctorat de l'université d'Avignon, 159 p.
2. EMBLANCH C. (1997) : Les équilibres chimiques et isotopiques du carbone dans les aquifères karstiques : étude en région méditerranéenne de montagne. Thèse de doctorat de l'université d'Avignon, 197 p.
3. GAUBERT G., LE FAHLER B. & coll. (1990, tome 1-1995, tome 2) : Hydrologie et spéléologie des territoires alimentant en eau la Fontaine de Vaucluse. T 1 « Les cavernes d'Albion ».*AREHPA éd.* Saint-Christol d'Albion, 234 p, 2 pl. h.t. et 338 p.
4. LASTENNET R. (1994) : Rôle de la zone non saturée dans le fonctionnement des aquifères karstiques, approche par l'étude physico-chimique et isotopique du signal d'entrée et des exutoires du massif du Ventoux. Thèse de Doctorat, Hydrogéologie, Univ. Avignon, 239 p.
5. MUDRY J. (1987) : Apport du tracage physico-chimique naturel à la connaissance hydrocinématique des aquifères carbonatés. Thèse Sciences Naturelles, Univ. Besançon, 378 p.
6. PERRIN JEROME (1997) : Géologie et géochimie des eaux dans le réseau du Grand Cor (Valais – Suisse). Proceedings of the 12th International Congress of Speleology. La Chaux de Fonds Switzerland, 10th 17th August 1997, vol 2, p 99-102.
7. PUIG J. M. (1987) : Le système karstique de la Fontaine de Vaucluse. Thèse Hydrogéol., Univ. Avignon (doc BRGM, 180, 1990) 208 p.