

Sous l'aspect du fonctionnement hydrogéologique, on s'intéresse aux propriétés du transfert de l'eau dans l'aquifère entre la surface du sol, réceptacle de la pluie (ou la perte qui absorbe le cours d'eau de surface) et la source ponctuelle ou diffuse qui sert de sortie [2].

> Zonation verticale, transfert et stockage

L'écoulement de l'eau souterraine dépend du stade d'évolution du karst, qui influe sur la distribution des conduits dans la matrice carbonatée poreuse et finement fissurée. Par ailleurs, l'aquifère est l'objet d'une hiérarchisation verticale, divisé entre une zone saturée en bas (noyée en permanence, *fig. 1*) et une zone non saturée (jamais totalement noyée), plutôt au-dessus de la précédente. Il existe cependant des cas, par exemple le Trou qui souffle en Vercors, où un aquifère perché suspendu, de plus de 60 ha, domine de 100 m la zone noyée [97]. Une troisième zone (dite de battement ou épinoyée) sert de transition entre les deux autres, c'est celle qui peut être noyée à certains moments (*fig. 2*). Contrairement aux aquifères poreux, les zones capacitatives (stockage) et transmissives (transfert) ne sont pas toujours confondues dans le karst. La présence de conduits karstiques de grande dimension (on parle de perméabilité en grand) permet un écoulement très rapide (jusqu'à plusieurs kilomètres par jour). La distribution spatiale de l'eau (*fig. 3*) sera différente en période de crue et le reste du temps (tout en distinguant une période saisonnière de basses et de hautes eaux). Les sources karstiques sont caractérisées par leur débit très variable au cours du temps en fonction des précipitations, avec des variations spectaculaires du niveau d'eau dans l'aquifère en crue.

> Hétérogénéité spatiale

La surface du karst, appelée épikarst, est une zone profondément transformée par la décompression, la végétation, et l'activité biologique, dans laquelle la porosité est plus grande, sur une épaisseur qui atteint plusieurs mètres (*fig. 4*). Cette zone permet d'emmagasiner de 1 à 5 cm d'eau de pluie et de la restituer sous forme d'évaporation ou par une infiltration différée. L'eau transite jusqu'à la zone noyée par l'intermédiaire de la zone non saturée, soit par infiltration rapide dans les grands vides, soit par infiltration lente dans la matrice via le réseau de microfissures. La zone non saturée du karst constitue un réservoir

d'eau souterraine, distribuant au cours du temps l'eau emmagasinée dans la matrice fissurée, mais dans laquelle il est quasi-impossible d'obtenir un forage productif (sauf s'il traverse un conduit drainant). Cette très forte hétérogénéité spatiale de l'écoulement est bien connue des spéléologues qui évoluent dans la zone non saturée du karst en période d'étiage (*fig. 5*), rencontrant des rivières souterraines qui se perdent quelquefois à travers des fissures impénétrables.

> Mise en charge et vidange

Si l'on cherche à généraliser, ce qui est un exercice périlleux tant les karsts sont différents les uns des autres, on peut avancer qu'en dehors des périodes de crue, c'est la matrice et la microfissuration qui jouent le rôle capacitif du karst (zone saturée, de battement, et non saturée), et les conduits qui assurent le transfert rapide. En régime transitoire, particulièrement lors des crues, la zone non saturée et la zone de battement sont les lieux d'une mobilisation temporaire de volumes d'eau. À l'occasion des mises en charge [5], les fissures de la zone non saturée peuvent stocker l'eau et la restituer lentement (temps de relaxation grand). Dans ces conditions, la capacité d'emmagasinement de cette zone est fortement tributaire de la durée de la mise en charge et pas seulement de la hauteur d'eau. Une crue éclair ne l'affectera pratiquement pas. Enfin, l'ensemble des conduits qui peuvent se trouver noyés à l'occasion de la mise en charge constitue une dernière zone capacitive (le temps de relaxation de vidange est moyen).

> Approche modélisatrice

L'un des objectifs des hydrogéologues est d'arriver à construire un modèle mathématique permettant de reproduire les débits des sources (*fig. 6*) en fonction des entrées dans le système (précipitations ou débit des pertes). Ce problème n'est pas simple du fait que la capacité variable du karst conduit à des équations intégral-différentielles dont les paramètres sont *a priori* inconnus. L'hydrogéologue est donc amené à proposer un modèle conceptuel déterministe à plusieurs degrés de liberté (paramètres ajustables) en fonction des connaissances qu'il a du karst, et à caler le modèle à l'occasion d'épisodes à débits variables [4]. Différentes techniques ont été mises au point pour essayer de résoudre ce redoutable

[1] LABAT D. 2005 - Recent advances in wavelet analyses: Part 1. A review of concepts. *Journal of Hydrology*, vol. 314, p. 275-288.

[2] MANGIN A. 1975 - Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques. *Annales de Spéléologie*, t. 29, n° 3, p. 283-332 ; t. 29, n° 4, p. 495-601 ; t. 30, n° 1, p. 21-124. Thèse d'État, Dijon.

[3] MANGIN A. 1984 - Pour une meilleure connaissance des systèmes hydrologiques à partir des analyses corrélatoire et spectrale. *Journal of Hydrology*, n° 67, p. 25-43.

[4] MARSAUD B. 1997 - Structure et fonctionnement de la zone noyée des karsts à partir des résultats expérimentaux. Document BRGM, n° 268, 305 p. Thèse, Orsay.

problème inverse de l'analyse d'un karst à partir de son comportement hydrologique au niveau des sources (analyse corrélatoire, spectrale, en ondelettes) [1] [3]. D'autres voies de recherche sont toujours en développement pour résoudre ce problème de l'écoulement dans le karst de

manière discrète (c'est-à-dire en découpant le karst en de multiples éléments référencés dans l'espace) en faisant évoluer au cours du temps un modèle géologique numérique 3D détaillé du secteur d'étude intégrant l'ouverture de conduits karstiques.



Figure 1 - Premier siphon à -20 m dans la zone noyée de la grotte de Rochecolombe (Ardèche).



Figure 2 - En crue, le niveau du siphon de la grotte du Revest (Gourdon, Alpes-Maritimes) s'élève et inonde la zone épinoyée. La vitesse de l'écoulement ascendant mobilise les graviers visibles au premier plan.

Aquifère karstique lors de pluies exceptionnelles

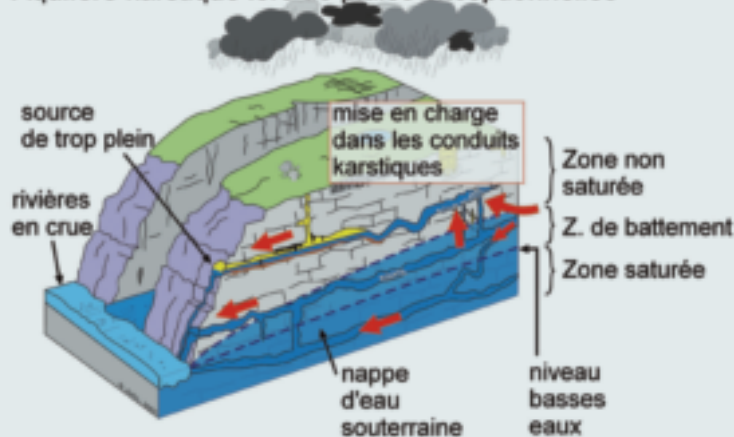


Figure 3 - Bloc diagramme 3D conceptuel d'un aquifère karstique en basses eaux, hautes eaux, et lors d'une mise en charge.



Figure 4 - L'épikarst, intensément fissuré et végétalisé, a la capacité d'emmagasiner temporairement une partie de l'infiltration, dont l'écoulement est différé. Lapias de la Combe des Buissons, massif du Dévoluy, Hautes-Alpes.



< Figure 5- Transfert vertical dans la zone non saturée. Puits sec à l'étiage et arrosé par une cascade en période de crue. Scialet du Tri-sou, massif du Vercors, Isère.

> Figure 6 - En crue, les eaux turbides de la Goule noire [97], émergence du val d'Autrans-Méaudre en Vercors, se mêlent aux eaux plus claires de la Bourne.

