

Karst et érosion karstique

17/11/2003

Auteur(s) :

Michel Bakalowicz

UMR 5569 Hydrosociences, Montpellier, France.

Publié par :

Florence Kalfoun

Résumé

Définitions, conditions de formation, méthode d'étude des réseaux karstiques.

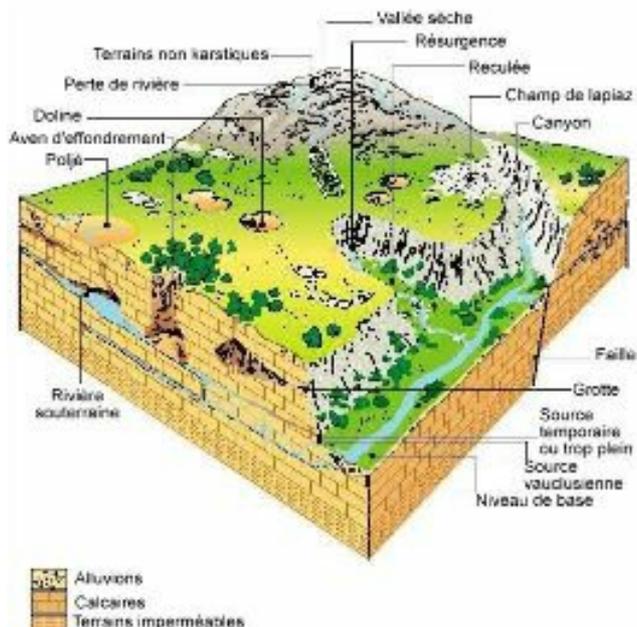
Table des matières

- [Qu'est ce qu'un karst ?](#)
 - [Dans quelles conditions se forme un karst ?](#)
 - [Quels sont les mécanismes mis en jeu dans la formation du karst?](#)
 - [Quels sont les effets des variations du niveau marin sur le développement des réseaux karstiques ?](#)
 - [Quelles sont les méthodes d'études des réseaux karstiques ?](#)
 - [Pour en savoir plus](#)
 - [Bibliographie](#)
-

Qu'est ce qu'un karst ?

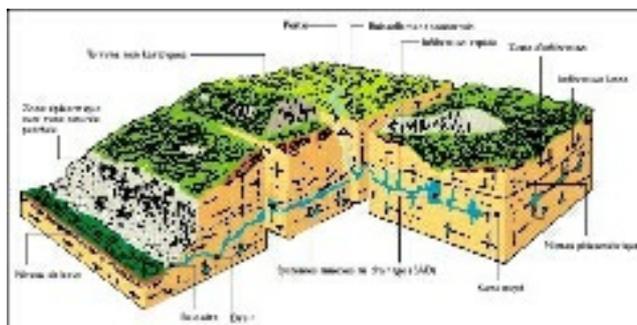
Le mot Karst est le nom allemand de la région des plateaux calcaires à l'est de Trieste, en Slovénie.

Le karst est toujours défini, à tort, uniquement comme un type particulier de morphologie. Or le paysage du karst résulte des écoulements souterrains particuliers qui se mettent en place progressivement dans les roches carbonatées (calcaires et dolomies) et dans les roches salines (gypse et parfois sel gemme). Le karst est donc également un aquifère puisque l'eau souterraine est totalement impliquée dans sa formation et dans son fonctionnement. Ainsi, le karst est constitué par [un ensemble de formes souterraines et de surface](#) et de conditions d'écoulements souterrains ([Fig. 1](#) et [Fig. 2](#)), qui interagissent les unes sur les autres.



Source - © 1999 M. Bakalowicz, SDAGE Rhône - Méditerranée - Corse.

Figure 1. **Bloc diagramme représentant un paysage karstique synthétique.**



Source - © 1975 D'après A. Mangin, thèse de doctorat d'état

Figure 2. **Bloc diagramme représentant l'aquifère karstique**

On peut observer les différents éléments de sa structure (conduits ou drains, lieux de stockage ou « système annexe au drainage », épikarst, formes de surface), et les différentes modalités d'écoulement associées.

Dans ces roches, la dissolution et l'écoulement souterrain créent des conduits parfois pénétrables par l'homme (Fig. 3) ; ces conduits sont organisés en réseau hiérarchisé de l'amont (les points d'infiltration d'eau dans la roche) vers l'aval (la source). En dehors du réseau karstique, les vides dans la roche sont constitués par des cavités (Fig. 4) et par les discontinuités de la roche (fissures, fractures et plans de stratification plus ou moins élargis par la dissolution) ; tous ces vides sont mal connectés hydrauliquement aux conduits. Cette organisation (= réseau karstique ou réseau de drainage) se fait à la manière de celle des fleuves et des rivières, en fonction de la pente générale et de la résistance opposée par la roche (perméabilité) ; elle peut être plus ou moins linéaire et simple, ou très complexe.



Source - © 2003 Michel Bakalowicz

Figure 3. Rivière souterraine dans les marbres de la région de Svartissen (Norvège).

Il s'agit d'un « système annexe au drainage » tel que représenté dans le modèle de karst.



Source - © 2003 Michel Bakalowicz

Figure 4. Cavité noyée possédant des connexions hydrauliques médiocres avec le réseau karstique de drainage, dans le système karstique du Baget (Ariège, Pyrénées).

Dans quelles conditions se forme un karst ?

Le processus de mise en place du karst (= la karstification) est rapide, en temps géologique évidemment ; pour qu'un réseau se mette en place, il suffit de quelques dizaines de milliers d'années au maximum. Un réseau souterrain se met en place en se « calant » sur le niveau le plus bas des calcaires dans le paysage : c'est le niveau de base, où apparaît la source. Mais les écoulements peuvent se produire à des niveaux inférieurs à celui de la source, en profondeur dans la formation géologique.

Ainsi, pour que se forme le karst, il faut que soient réunies les conditions suivantes :



Source - © 2003 Michel Bakalowicz

Figure 5. Empreintes de racine dans le calcaire, par dissolution dans la zone de production de CO₂.

Équation de la dissolution du CO_2 dans l'eau : $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3$ puis $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$. Équation de la dissolution de la calcite (CaCO_3) : $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+} + 2 \text{HCO}_3^-$.

- L'eau doit pouvoir dissoudre la roche, donc contenir un acide. L'acide le plus commun résulte de la dissolution du dioxyde de carbone (CO_2) produit par la végétation dans les sols ([Fig. 5](#))
- L'eau doit pouvoir s'écouler à l'intérieur de la roche, c'est-à-dire que l'écoulement souterrain doit se produire, de préférence à l'écoulement superficiel. Comme les vides de la roche (fissures, fractures et joints de bancs) possèdent à l'origine une très faible largeur pour la plupart, la roche présente une faible perméabilité, c'est-à-dire qu'elle oppose une forte résistance à l'écoulement souterrain. Il faut donc qu'existe une charge suffisante d'eau souterraine, soit une hauteur suffisante par rapport au point de sortie. Cette condition est remplie lorsqu'il existe un relief bien marqué, comme en montagne ou dans les régions de plateaux traversés par des gorges (canyons).

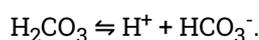
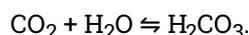
Quels sont les mécanismes mis en jeu dans la formation du karst?

Les mécanismes en jeu sont :

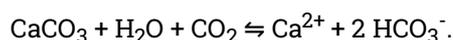
- la dissolution de la roche,
- l'écoulement souterrain, qui évacue au fur et à mesure les matières dissoutes.

La dissolution des roches carbonatées (calcaire et dolomie) est un ensemble complexe de réactions mettant en jeu trois phases : solide (la roche, CaCO_3 ou $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), liquide (l'eau et ses substances en solution), gazeuse (le CO_2 produit dans les sols). Il s'agit des réactions se produisant entre l'eau et l'air (dissolution ou évaporation du CO_2), entre l'eau et la roche (dissociation des minéraux carbonatés) et à l'intérieur de la solution (combinaison des différents ions entre eux).

Équation de la dissolution du CO_2 dans l'eau :



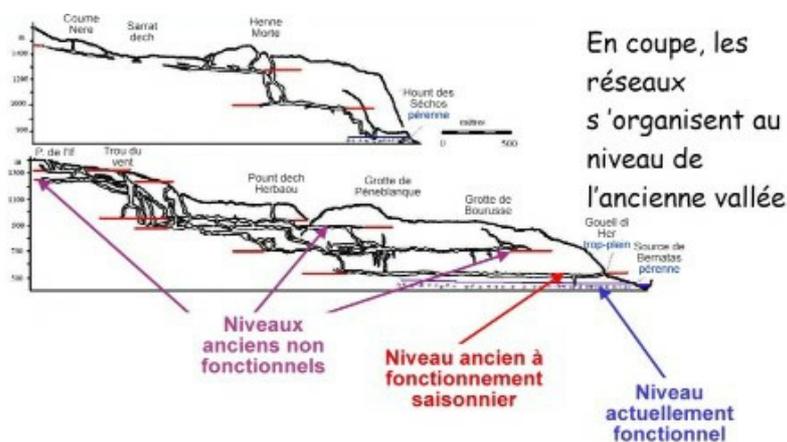
Équation de la dissolution de la calcite (CaCO_3) :



Comme ces réactions ne sont pas immédiates, et se déroulent à des vitesses différentes, la dissolution de la roche se produit soit en surface, soit plus ou moins en profondeur, selon que l'eau circule lentement ou plus ou moins vite. Quand une fissure est élargie par la dissolution, le débit qui la traverse augmente aux dépens des fissures voisines ; elle prend alors de plus en plus d'importance et devient progressivement un conduit. Toutes les fissures voisines cessent de s'élargir, puisque toute l'eau passe par le conduit.

Quels sont les effets des variations du niveau marin sur le développement des réseaux karstiques ?

En fait, ce n'est pas seulement le niveau marin qui règle la position des réseaux karstiques, mais, de manière générale, le niveau de sortie des eaux souterraines, imposé par le point le plus bas à l'affleurement des roches carbonatées. C'est le **niveau de base des écoulements souterrains**. Quand le niveau de base s'abaisse, un nouveau réseau se met en place à une cote inférieure à celle du réseau karstique qui fonctionnait jusque-là. C'est ainsi qu'en montagne on peut observer dans les grottes des niveaux superposés de galeries abandonnées par les eaux courantes. ([Fig. 6](#))



Source - © 1999 Michel Bakalowicz

Figure 6. Exemple d'organisation d'un réseau karstique sur différents niveaux

Ces abaissements du niveau de base sont dus à deux mécanismes :

- l'abaissement du niveau marin, lui-même provoqué surtout par l'augmentation des glaces continentales, qui immobilisent de l'eau douce et diminuent le volume des océans.
- la surrection des chaînes de montagnes et de leur environnement.

Le premier mécanisme est général à la planète et simultané sur tous les continents. Il provoque l'enfoncement de toutes les vallées ; les rivières ré-équilibrent leur profil général. Le second mécanisme est plus local et s'est produit à des âges différents selon les chaînes de montagnes (Fig. 7)



Source - © 2003 Michel Bakalowicz

Figure 7. Le porche de la grotte de Niaux (Ariège, Pyrénées), avant qu'il ne soit occupé par une structure d'art contemporain.

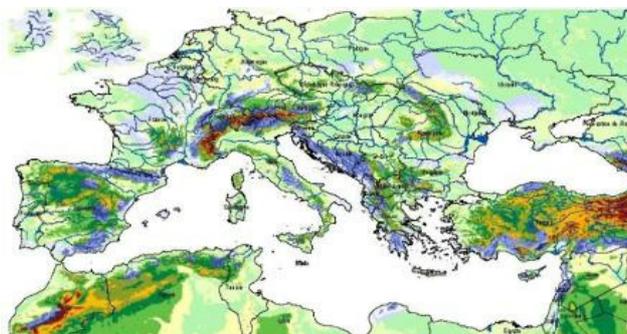
Ce porche correspond à une ancienne perte qui absorbait les eaux du Vicdessos pour les conduire, via les grottes de Niaux, Lombrives et Sabart, dans la vallée de l'Ariège. Ce réseau fonctionnait au Pliocène, il y a 2 à 5 Ma ; il a été abandonné du fait de la surrection des Pyrénées qui a enfoncé le niveau de base régional. Ce réseau a été ensuite réactivé par les torrents glaciaires, lorsque les glaciers quaternaires ont rempli la vallée. La grotte de Niaux drainait les eaux souterraines vers ou depuis la vallée de l'Ariège, selon la position relative des glaciers dans ces vallées. Les phases d'écoulement de ces torrents ont pu être datées grâce aux stalagmites déposées entre les sables et graviers fluviaux.

Ainsi, les glaciations du Quaternaire (début à -1,75 Ma ; 1 Ma = 1 million d'années. Fin à -10 ka ; 1 ka = 1 000 ans) ont provoqué des abaissements de l'ordre de 100 à 150 m du niveau marin ; le plus important fut au cours de la dernière glaciation, le Würm (entre -80 et -10 ka), avec un niveau bas vers -120 m vers -20 ka. Des réseaux karstiques ont pu se développer sur ce niveau bas, mais seulement dans les régions où le climat n'était pas trop froid et permettait l'écoulement des eaux (régions méditerranéennes chaudes et régions tropicales). Ailleurs, le gel empêchait

<https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/erosion-karstique.xml> - Version du 07/04/22

l'infiltration et donc les écoulements souterrains. On connaît des grottes avec des stalagmites, maintenant noyées dans les Grandes Antilles (Porto Rico, Cuba, République Dominicaine, Jamaïque).

En Méditerranée, il s'est produit un phénomène extraordinaire au Messinien, (-5,5 Ma, fin du Miocène). Le détroit de Gibraltar, sous la poussée de l'Afrique, s'est refermé (n°365 de La Recherche, consacré à la Terre). Comme en Méditerranée, l'évaporation l'emporte largement sur les apports d'eau douce par les fleuves, le niveau de la mer, ne recevant plus l'eau de l'Atlantique, s'est abaissé très vite de plus de 1000 m. Ainsi, dans la région d'Avignon, le Rhône coulait environ 800 m sous son niveau actuel. Toutes les rivières avaient creusé des gorges très profondes qui ont ensuite été remplies de sédiments détritiques, surtout des argiles et des limons, après la remontée de la mer, environ 500 000 ans plus tard. (Voir également l'article sur les résurgences d'eau douce en Méditerranée)



Source - © 2003 Michel Bakalowicz

Figure 8. Carte des affleurements des ensembles karstiques (en bleu) autour de la Méditerranée.



Source - © 1996 Bruno Marsaud, Université Paris Sud.

Figure 9. Carte hydrogéologique des formations carbonatées karstifiables en France



Légende de la carte

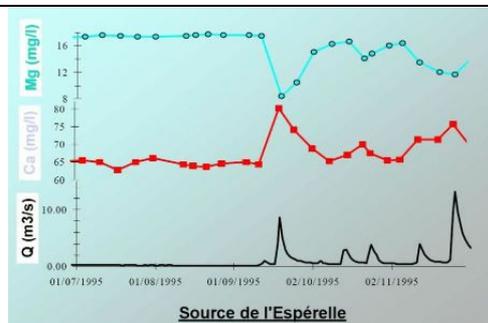
Quelles sont les méthodes d'études des réseaux karstiques ?

A ce stade, il est indispensable de distinguer les différents constituants d'un karst, au plan des écoulements

souterrains, c'est-à-dire de l'hydrogéologie du karst. Le **réseau karstique** a été défini comme l'ensemble des conduits organisés pour évacuer rapidement vers la source l'eau souterraine de l'aquifère karstique. L'alimentation de la source, ou du groupe de sources, est assurée par l'**aquifère karstique**, qui reçoit les eaux infiltrées à sa surface, mais également souvent les eaux de rivières de surface s'écoulant sur des terrains imperméables non karstiques, s'engouffrant dans des **perdes** pour rejoindre les autres eaux souterraines. Le bassin d'alimentation des sources karstiques est ainsi dénommé le **système karstique**.

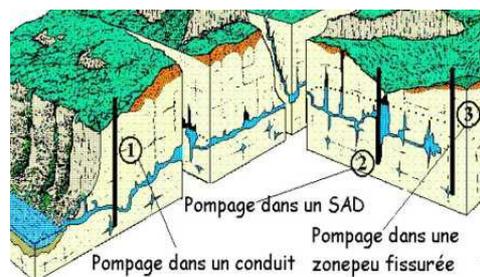
Dans l'étude du karst, il faut donc distinguer à la fois ces différentes structures et le but même de l'étude. Il est possible de distinguer trois objectifs d'étude du karst :

- **La connaissance du réseau karstique.** La spéléologie est à la fois la science de l'étude des cavernes et l'activité sportive qui organise leur exploration. Elle fournit les données de base relatives à l'organisation des conduits souterrains, à leur morphologie, à la nature et l'origine des sédiments qui comblent ces conduits.
- **La compréhension de la genèse et de l'évolution du karst.** Ce sont les méthodes classiques de la géologie et de la géomorphologie qui sont mises en œuvre, dont les données de la spéléologie.
- **La connaissance de l'aquifère et de ses ressources en eau.** Les méthodes mises en œuvre relèvent de l'hydrogéologie. Deux démarches méthodologiques sont proposées :
 - La démarche classique d'étude de tous les milieux aquifères. Elle s'appuie sur des hypothèses relativement simples, qui sont vérifiées pour les milieux aquifères peu hétérogènes (milieux poreux, comme les alluvions, milieux fracturés), dans lesquels la continuité hydraulique est vérifiée dans la zone noyée (ou zone saturée ; ces milieux peuvent être simplifiés et rapportés à un Volume Élémentaire Représentatif (concept de VER). Dans ce cas, le **forage** est le site d'**essais hydrauliques et de traçage**, permettant de quantifier certains des paramètres caractéristiques de l'aquifère (**porosité, perméabilité, emmagasinement**), qui sont ensuite généralisés à des portions de l'aquifère. Une technique fréquemment utilisée pour caractériser le milieu est la géophysique ; si les nombreuses **techniques géophysiques** permettent d'**identifier** les **zones de fractures** ou les **variations lithologiques** (présence de niveaux argileux, par exemple), aucune n'est capable de révéler l'existence de conduits karstiques à coup sûr. En effet, les conduits sont en général soit trop petits, soit trop profonds pour créer une anomalie détectable par ces méthodes.
 - Une démarche spécifique, adaptée à la nature particulière du karst, s'inspirant de l'analyse des bassins versants superficiels. L'hétérogénéité considérable et organisée du karst et l'existence de nombreuses discontinuités hydrauliques dans la zone noyée liées au réseau karstique de drainage font que la démarche classique est inopérante. Cette démarche s'appuie sur l'identification du système karstique et sur l'analyse de son fonctionnement. La **source** est le **lieu d'étude de référence**, car les écoulements souterrains convergent vers elle ; forages et cavités naturelles peuvent fournir des informations complémentaires, dont il est indispensable de discuter la représentativité par rapport au système karstique. Sont utilisées : des **méthodes hydrodynamiques** (étude de l'hydrogramme, c'est-à-dire de la variation du débit de sortie au cours du temps, voir [Fig. 09](#)) et **hydrogéochimiques** (étude des chimiogrammes, c'est-à-dire de la variation des différents traceurs chimiques naturels au cours du temps, **essais hydrauliques** (pompages dans la source ou dans des cavités naturelles et de **traçage artificiel** (injection de colorants fluorescents pour définir l'appartenance d'un point au système et pour caractériser les conditions d'écoulement souterrain, [Fig. 12, 13](#)). Toutes les informations géomorphologiques et spéléologiques sont prises en compte dans l'interprétation finale de ces analyses.



Source - © 2003

Figure 10. Un exemple d'hydrogramme (variation du débit de sortie Q au cours du temps) et de chimiogrammes (variation de la concentration des différents traceurs chimiques naturels au cours du temps)



Source - © 2003

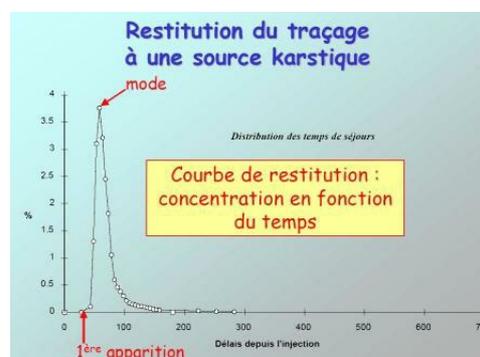
Figure 11. Exemple de pompages (SAD : système annexe au drainage)



Source - © 2003

Figure 12. Expérience de traçage artificiel.

Injection d'un traceur fluorescent (uranine ou fluorescéine) dans une perte de ruisseau.



Source - © 2003

Figure 13. Un exemple de courbe de restitution après injection d'un traceur

Pour en savoir plus

[Portail commun à trois sites sur le karst](#) (Karst Commission of the International Association of Hydrogeologists ; The Commission on Karst Hydrogeology and Speleogenesis of the Union International of Speleology ; Commission « Sustainable Development & Management of Karst Terrains » of the International Geographical Union)

[Eau France](#), le portail de l'eau

[Le Service d'Administration Nationale des Données et Référentiels sur l'Eau](#) (Sandre)

[Système d'Information sur l'Eau \(SIE\) du bassin Rhône-Méditerranée](#)

[Cartes « eaux souterraines »](#) de l'atlas territorial

Bibliographie

M. Bakalowicz (1999) [Connaissance et gestion des ressources en eaux souterraines dans les régions karstiques](#). Guide technique n°3, [SDAGE Rhône - Méditerranée - Corse](#). Agence de l'Eau Rhône - Méditerranée - Corse, Lyon, 40 p.