



**HAL**  
open science

## Ghostrock karstification and hydrogeology

Laurent Bruxelles, Yves Quinif, Alain Rorive

► **To cite this version:**

Laurent Bruxelles, Yves Quinif, Alain Rorive. Ghostrock karstification and hydrogeology. *Karstologia Mémoires*, 2022, 18th International Congress of Speleology - Savoie Mont Blanc 2022 - SYMPOSIUM 04 - Geomorphology and Speleogenesis, 4 (24), pp.235-238. hal-03850239

**HAL Id: hal-03850239**

**<https://hal.science/hal-03850239v1>**

Submitted on 13 Nov 2022

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Geomorphology

S.04 - Speleogenesis, geomorphology  
S.12 - Glacier, firn and ice caves



# Fantômisation et hydrogéologie

Yves QUINIF<sup>(1)</sup>, Alain RORIVE<sup>(2)</sup> & Laurent BRUXELLES<sup>(3)</sup>

(1) Service de Géologie fondamentale et appliquée, Université de Mons, rue de Houdain, 9, B-7000 Mons, Belgique, [yves.quinif2@gmail.com](mailto:yves.quinif2@gmail.com)

(2) Service de Géologie fondamentale et appliquée, Université de Mons, rue de Houdain, 9, B-7000 Mons, Belgique, [alain.rorive@umons.ac.be](mailto:alain.rorive@umons.ac.be)

(3) TRACES, UMR 5608 du CNRS, Maison de la Recherche, 5 allée Antonio Machado, 31058 Toulouse cedex 9 et GAES, université de Johannesburg, Afrique du Sud.

## Résumé

L'hydrogéologie des calcaires karstifiés s'écarte de l'hydrogéologie en roches poreuses ou simplement fracturées par la non-linéarité des équations d'écoulement : la loi de Darcy ne s'y applique que dans le cas d'écoulements laminaires, c'est-à-dire lents, sous potentiel hydrodynamique faible. La découverte de la notion de fantômes de roche ainsi que de la karstogenèse qui s'ensuit change notre manière d'envisager ces écoulements. Dans les profondes carrières de la région de Soignies (Belgique) exploitant des calcaires tournaisiens, des pseudoendokarsts fossiles sont réactivés par le nouveau gradient hydrodynamique imposé par la profondeur de la carrière. Des afflux d'eau localisés et considérables (plusieurs centaines de m<sup>3</sup>/h) émergent au fond de ces carrières à la faveur de pseudoendokarsts dont l'altérite résiduelle est progressivement érodée. Contre toute attente, ces « rivières » sortent de cette altérite résiduelle parfois au fond de galeries, non seulement très poreuse (de 60 à 70% pour une altérite provenant d'une roche mère à porosité inférieure à 3%) mais également assez perméable (jusqu'à 15.000 mD). Ces pseudoendokarsts peuvent ainsi jouer le rôle de premiers drains dans l'évolution d'un massif karstifié en fantômes de roche lors de l'activation par surrection de ceux-ci, mais également constituer des zones annexes capacitatives s'ils ne sont pas reliés aux drains ou avant l'apparition d'un gradient hydrodynamique.

## Abstract

**Ghostrock karstification and hydrogeology.** The hydrogeology of karstified limestones differs from hydrogeology in porous or simply fractured rocks by the non-linearity of the flow equations: Darcy's law only applies to the case of laminar flows, that is, i.e., slow, under low hydrodynamic potential. The discovery of the notion of rock ghosts as well as the karstogenesis that ensues changes the way we think about these flows. In the deep quarries of the Soignies region (Belgium) exploiting Tournaisian limestones, fossil pseudoendokarsts are reactivated by the new hydrodynamic gradient imposed by the depth of the quarry. Localized and considerable inflows of water (several hundred m<sup>3</sup> / h) emerge at the bottom of these quarries thanks to pseudoendokarsts, the residual alterite of which is gradually eroded. Against all expectations, these "rivers" emerge from this residual alterite sometimes at the bottom of galleries, not only very porous (from 60 to 70% for an alterite coming from a bedrock with porosity of less than 3%) but also quite permeable (up to 15,000 mD). These pseudoendokarsts can thus play the role of first drains in the evolution of a karstified massif into rock ghosts during the activation by uplift of these ghostrock, but also constitute additional capacitive zones if they are not connected at drains or before the appearance of a hydrodynamic gradient.

## 1. Introduction – Les fantômes de roche

L'hydrogéologie des calcaires karstifiés s'écarte de l'hydrogéologie en roches poreuses ou simplement fracturées par la non-linéarité des équations d'écoulement : la loi de Darcy ne s'y applique que dans le cas d'écoulements lents, sous potentiel hydrodynamique faible. Ceci a conduit à mettre sur pied de nouvelles théories de l'hydrodynamique en système karstique (voir par exemple : BÖGLI, 1980 ; FORD & WILLIAMS, 2007 ; MANGIN, 1975). La découverte de la notion de fantômes de roche, ainsi que de la karstogenèse qui s'ensuit change notre manière d'envisager ces lois d'écoulement (DUBOIS et al., 2014 ; QUINIF, 2010, 2014 ; QUINIF et al., 2014). Les observations dans les calcaires carbonifères du Hainaut, au travers des profondes carrières qui les exploitent dans le Tournaisis et autour de la ville de Soignies, à l'origine de la notion de fantômes de roche et de fantômisat

base de cette nouvelle manière d'envisager la karstogenèse.

Les carrières de la région de Soignies exploitent les calcaires tournaisiens essentiellement pour la « pierre bleue », une encrinite compacte utilisée comme pierre ornementale et à bâtir. Le type d'exploitation par découpage du massif permet une observation fine des phénomènes karstiques qui les affectent. Ceux-ci sont des paléokarsts (Fig. 1), fossilisés par les transgressions paléogènes qui se sont mises en place sur la surface post-varisque.

Ces paléokarsts se regroupent en deux types de formes. Les premiers sont des couloirs verticaux partant au sommet de la surface post-varisque, larges de 1 à plusieurs mètres et hauts de plusieurs dizaines de mètres. Les seconds sont des formes totalement incluses dans le massif.





Figure 1 : Fantômes de roche (Carrière du Hainaut, Soignies). Ces cavités n'en sont en fait pas. La formation qui les colmate est constituée de l'altérite résiduelle, résultant de la dissolution partielle de la roche mère, ici une encrinite calcaire compacte du Tournaisien supérieur.

Elles renferment une altérite constituée des éléments insolubles et moins solubles de la roche mère : minéraux argileux, silice (cherts), calcite sparitique telle que les entroques, matière organique amorphe. Les uns et les autres sont regroupés sous le vocable de fantôme de roche. Ils doivent leur formation à une altération partielle de la roche mère, dans la zone phréatique, sous très faible potentiel hydrodynamique conditionnant des écoulements lents. Il a été prouvé que, dans le cas de l'apparition du potentiel hydrodynamique (surrection tectonique, régression, modification climatique, etc.), les circulations souterraines provoquent l'érosion mécanique de l'altérite résiduelle, créant ainsi des grottes « spéléologiques ». Cette karstogenèse se différencie de la spéléogenèse classique où les conduits se forment en une phase.

## 2. La réactivation hydrogéologique des paléokarsts fantômes dans les carrières

Ces carrières sont en creux dans un paysage de plaines. Elles constituent ainsi des puits dénoyés au sein de l'aquifère dont la surface piézométrique est affleurante au sommet des calcaires, sous la couverture transgressive tertiaire. L'exhaure indispensable à l'exploitation a remis ces karsts en activité hydrique par création d'un niveau de base artificiel de

plusieurs dizaines de mètres à plus de 100 m sous la surface piézométrique. Des arrivées d'eau localisées surviennent parfois dans ces carrières. Une véritable rivière souterraine peut parfois être parcourue sur plusieurs mètres à plusieurs dizaines de mètres dans des galeries d'ordre métrique (Fig. 2).



Figure 2 : L'émergence de la grotte de l'Échelle (Carrière du Hainaut, Soignies). L'entrée de la grotte se trouve à droite, derrière le dernier spéléologue. La petite cascade donne une idée du débit qui en sort.

Les pseudoendokarsts peuvent se présenter sous la forme de formes horizontales, développées souvent le long de joints verticaux. Certaines familles directionnelles (N60°E, N150°E, N110°E) se sont trouvées en extension lors de phases tectoniques durant la fin du Jurassique et au Crétacé (QUINIF et al., 1997) et ont alors subi une karstification de type fantômisation. Hormis une activité hydrogéologique localisée au début du Paléocène qui a permis une érosion de

l'altérite résiduelle de certains pseudoendokarsts et la sédimentation de séries fluviatiles (QUINIF et al., 2006), la plupart des fantômes de roche ont conservé leur altérite, le tout fut ensuite fossilisé par les transgressions du Thanétien et de l'Yprésien. Le seul potentiel hydrodynamique susceptible de provoquer l'apparition de courants érosifs dans les fantômes de roche est celui dû au creusement des carrières.

### 3. La grotte de l'Échelle

La grotte de l'Échelle, découverte en 1997 au fond de la carrière du Hainaut, fut la première à être interprétée correctement. Il s'agit d'une galerie d'une dizaine de mètres de long, large de 1,5 à 0,5 mètre, haute de quelques mètres. Elle était envahie par l'eau dont la profondeur est en moyenne de 1,3 mètre. Cet envahissement est dû à une obstruction de l'entrée par des blocs et un écoulement à l'amont pendage (Fig. 3). Les formes pariétales sont de type coupoles, arrondies mais peu profondes. En voûte, la galerie se termine sur des coupoles décimétriques allongées dans le sens de la longueur. À 9 mètres de l'entrée, il existe une petite arrivée d'eau par une cheminée elliptique large de 40 cm sur 20 cm.



Figure 3 : La grotte de l'Échelle (Carrière du Hainaut, Soignies). Il s'agit de la journée de la découverte. Le niveau atteint par la carrière ne permet pas encore à l'eau de s'écouler en rivière cascade.

L'arrivée d'eau se produit au travers de l'altérite, ce qui suppose une porosité interconnectée assurant la perméabilité (fig. 4). Alors que la porosité de la roche mère ne dépasse pas 2%, elle atteint jusqu'à 46 % pour l'encrinite. Si la perméabilité de la roche mère se situe sous 0,5 mD (milliDarcy), elle atteint 15.000 mD dans le fantôme de roche, ce qui explique le débit observé à l'émergence. Il est important de souligner que ce courant d'eau sort de l'altérite elle-même et non d'un vide macroscopique. La suite de l'approfondissement permet d'apprécier le volume de la galerie (fig. 5).



Figure 4 : La terminaison de la grotte de l'Échelle (Carrière du Hainaut, Soignies). L'eau sort de l'altérite résiduelle du fantôme en place. La perméabilité est assurée par la porosité interconnectée de cette dernière, et non à partir de vides macroscopiques.

### 4. Conclusion - Hydrogéologie et spéléogénèse

Cette forme et son fonctionnement hydrogéologique permettent de jeter un nouveau regard sur la spéléogénèse. La grotte de l'Échelle considérée ici est le résultat de l'érosion

de l'altérite résiduelle du fantôme de roche structuré en pseudoendokarst. Cette érosion est permise grâce au potentiel hydrodynamique créé par le creusement de la carrière.





Figure 5 : La galerie de la grotte de l'Échelle

Ce schéma évolutif est à rapprocher du creusement d'une vallée. Dans la même logique, c'est au fur et à mesure du creusement de la vallée que les fantômes de roche se mettent en activité hydrique, avec érosion mécanique de l'altérite résiduelle et spéléogénèse. Les altitudes des

émergences sont alors déterminées par la position des fantômes de roche et non un niveau de base régional. Les calcaires carbonifères considérés ici, après une phase de fantômisation située au Crétacé inférieur (QUINIF et *al.*, 1997), seule une phase à plus haute énergie au début du Paléocène a provoqué une érosion très partielle de certains fantômes de roche, amenant à leur ouverture suivie d'une sédimentation fluviale. Ensuite, deux transgressions, thanétienne et yprésienne, déposant sable et argiles, ont fossilisé ces fantômes de roche, la plupart ayant gardé leur altérite résiduelle en place. Une surrection suivie d'un enfoncement d'un réseau hydrographique aurait joué le rôle du creusement des carrières en ouvrant ces fantômes de roche pour en faire des réseaux spéléologiques.

Enfin, on conçoit ainsi que l'aquifère karstifié comprend plusieurs sous-systèmes. Si l'on se réfère au schéma conceptuel de Mangin (1975), le système karstique comprend deux types de sous-systèmes : les drains transmissifs mais peu capacitifs et les systèmes annexes, peu transmissifs, capacitifs, et connectés aux drains. Ce schéma ne fait aucune hypothèse quant à la forme de ces sous-systèmes, excepté les drains explorés par les spéléologues. Les fantômes de roche décrits ici se situeraient dans l'un ou l'autre type en fonction de leur position au sein de l'aquifère. Dans la zone phréatique, en l'absence d'un potentiel hydrodynamique appréciable, ils constituent des volumes remplis d'une formation poreuse : l'altérite résiduelle. Ils jouent le rôle de sous-système capacitifs. Lors de l'abaissement de la surface piézométrique et de l'apparition d'énergie cinétique pour les eaux souterraines, ils se transforment peu à peu en drains. Sans doute faut-il y voir l'expression géologique des systèmes annexes de Mangin, lorsque ces fantômes de roche se trouvent hydrogéologiquement isolés des drains transmissifs au sein de l'aquifère.

## Références

- BÖGLI A. (1980) Karst Hydrology and Physical Speleology. Springer-Verlag, New York: 284 p.
- BONACCI O. (1987) Karst hydrology. Springer Series in Physical Environment: 184 p.
- DUBOIS C., QUINIF Y., BAELE J.-M., BARRIQUAND L., BINI A., BRUXELLES L., DANDURAND G., HAVRON C., KAUFMANN O., LANS B., MAIRE R., MARTIN J., RODET J., ROWBERRY M.D., TOGNINI P. and VERGARI A. (2014) The process of ghost-rock karstification and its role in the formation of cave systems. *Earth Science Reviews*, 131: 116–148.
- FORD D. and WILLIAMS P.W. (2007) Karst hydrogeology and geomorphology. John Wiley & Sons, Chichester, UK: 601p.
- MANGIN A. (1975) Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques. *Ann.Spéol.*, 29 (3) : 283-332 ; 29 (4) : 495-601 ; 30 (1) : 21-214.
- QUINIF Y. (2010) Fantômes de roche et fantômisation – Essai sur un nouveau paradigme en karstogénèse. *Karstologia Mémoires*, 18 : 196p.
- QUINIF Y. (2014) La fantômisation, une nouvelle façon de concevoir la formation des cavernes. *Regards*, 79 : 42-72.
- QUINIF Y., BAELE J.-M., DUBOIS C., HAVRON C., KAUFMANN O. et VERGARI A. (2014) Fantômisation : un nouveau paradigme entre la théorie des deux phases de Davis et la théorie de la biorhexistase d'Erhart. *Geologica Belgica*, 17, 1 : 66-74.
- QUINIF Y., VANDYCKE S. et VERGARI A. (1997) Chronologie et causalité entre tectonique et karstification - l'exemple des paléokarsts crétacés du Hainaut (Belgique). *Bull.Soc.Géol.Fr.*, 168, 4 : 463-472.
- QUINIF Y., MEON H. and YANS J. (2006) Nature and dating of karstic filling in the Hainaut Province (Belgium). Karstic, geodynamics and paleogeographic implications. *Geodinamica Acta*, 19/2: 73-85.