

Editorial

L'été qui s'achève a été marqué par des records de chaleur et une absence de précipitations, entrecoupés de rares orages très locaux qui ont pu avoir des effets dévastateurs. Fin août, la végétation est totalement roussie, les arbres ont pris des couleurs d'octobre avec 2 mois d'avance, les pelouses et les prairies ressemblent à des steppes arides... Des conditions très favorables aux feux de forêt. Si ceux-ci sont restés circonscrits en Wallonie, ailleurs en Europe ils ont ravagé des milliers d'hectares, même dans des zones tempérées en principe moins sujettes à ce type de catastrophe. Une situation des plus préoccupantes pour les forêts wallonnes à l'avenir. Quant aux rivières, malgré une recharge exceptionnelle de la nappe suite aux crues de 2021, elles sont depuis des semaines à un niveau d'étiage très prononcé.

Ces événements démontrent les conséquences multiples et galopantes du dérèglement climatique. Alors qu'on s'inquiète à juste titre des coûts de l'énergie et de la possibilité de pouvoir se chauffer et de se déplacer cet hiver, à moyen terme c'est une pénurie d'eau aux conséquences bien plus dramatiques qui guette, au vu des tendances actuelles.

L'apprentissage de la résilience face à ces contraintes induites par les changements climatiques constitue une priorité. Une bonne gestion de notre capital hydrique s'impose et les nappes karstiques représentent nos principales réserves d'eau potable. Nous abordons cette question au travers de l'étude de la **qualité des eaux dans les gours et la percolation à Remouchamps**. La charge en nitrate dans ces eaux d'infiltration dépassant par endroits les normes admises, en comprendre les processus est utile pour protéger la "ressource eau".

La **présence de radon** en forte concentration dans le milieu souterrain, constitue un autre sujet de recherche pour lequel les cavités fournissent un terrain d'étude assez exceptionnel. Nous publions les résultats de la campagne d'analyse effectuée sur un an à la **grotte du Noû Bleû** à Chanxhe (Sprimont).

Nous complétons ce numéro par deux informations positives concernant la protection et la valorisation du patrimoine archéologique exceptionnel de cavités bien connues :

- Le **classement du site de la Belle Roche à Sprimont**, pour garantir la conservation ce gisement paléontologique unique en Belgique en vue de son étude future.
- La **réouverture au public des grottes de Goyet** (Gesves), avec une toute nouvelle scénographie et mise en valeur multi-sensorielle réalisées par le Préhistomuseum de Ramoul.

Bonne rentrée et bonne lecture à tous...

L'équipe de la CWE PSS

NITRATES DANS L'EAU DE PERCOLATION

Analyses de gours et stalactites à Remouchamps

Depuis février 2020, avec plusieurs partenaires et l'aide indispensable d'équipes de spéléologues motivés et courageux, la CWE PSS mène le projet EPUKarst, pour étudier la fluctuation des concentrations en nitrate dans les eaux souterraines karstiques (voir Eco Karst 117, 121 et 125).

Ce programme de recherche qui bénéficie du financement de la SPGE doit contribuer à protéger la ressource "eau potable", en particulier les aquifères calcaires qui sont essentiels à l'approvisionnement en Wallonie. Or, une part non négligeable de nos eaux souterraines présente des concentrations de NO₃- préoccupantes.



Fig. 1. Récolte des gouttes tombant de stalactites au plafond de la galerie touristique afin d'analyser la qualité des eaux de percolation traversant le toit du calcaire.

Depuis début 2020, tous les deux mois, des prélèvements sont réalisés en différents points clés de 5 systèmes karstiques (fig. 2), dans le but de :

- Vérifier l'impact du temps de séjour de l'eau sous terre, entre l'entrée et la sortie du karst, sur les concentrations en nitrate.
- Voir si les variations de nitrate sont saisonnières et/ou géographiques.
- Étudier l'influence de l'occupation du sol (pression anthropique & intensité de l'activité agricole).
- Évaluer l'indence des précipitations et des variations de débit (qui peuvent être assez brusques dans le karst) et réaliser le bilan de masse de l'azote à l'exutoire des eaux souterraines.
- Estimer l'apport respectif des points de perte, de la nappe et des eaux de percolation dans la concentration en nitrate observés aux exutoires.
- Comparer la concentration en nitrate des eaux souterraines et de surface.

Cette étude doit aboutir à des recommandations pour protéger les eaux souterraines des 5 bassins étudiés et envisager l'extension de ces recommandations à des aquifères déjà exploités par des captages, ou représentant des réserves d'eau stratégiques potentiellement exploitables.

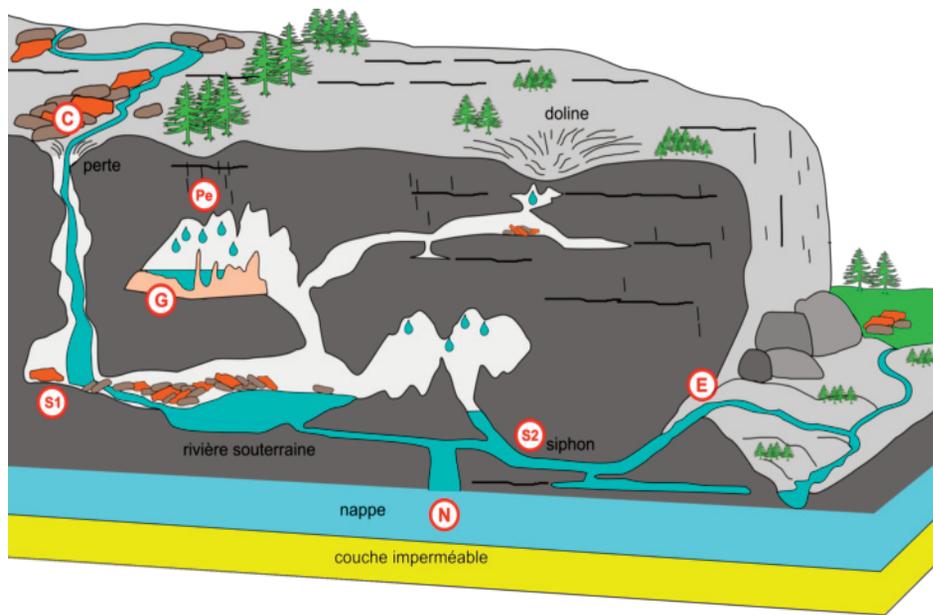


Fig. 2. Schéma d'échantillonnage appliqué dans les 5 bassins karstiques, avec prélèvements d'eau en surface (C: aux chantoirs), dans le karst (S1-S2: rivière souterraine; G: gours; Pe: percolation) et à la résurgence (E: exutoire). Un prélèvement est réalisé dans la rivière réceptrice à l'aval de E.

Charge en nitrate dans les eaux de percolation

Une des principales originalités du projet est d'analyser l'eau de percolation dans les cavités, via les gours et les concrétions actives, afin d'aller au-delà d'une approche qui compare simplement les intrants (via les pertes) aux sortants (au niveau des résurgences).

Sur substrat calcaire, une partie des eaux de pluie va traverser le sol, l'épikarst puis une certaine épaisseur de calcaire pour aboutir au plafond de la cavité. Au cours de son trajet dans cette zone vadose, l'eau va "échanger" avec le milieu environnant et se charger en différents éléments dissous (ions, gaz...) ou en suspension. Sous certaines percolations actives et selon la morphologie de la cavité, des gours vont pouvoir se former. Ces petits bassins alimentés par la percolation ont été des points d'échantillonnage souterrains privilégiés tout au long du projet EPU-Karst.

Selon la nature du sol et du sous-sol, mais aussi les conditions locales et climatiques, cet apport d'eau de percolation peut être abondant ou totalement nul. Les temps de transfert au travers de cette zone non saturée peuvent également fortement varier.

Dès les premières campagnes d'analyses, les valeurs en nitrates dans l'eau des gours ont attiré notre attention, car on y enregistre à la fois :

- les concentrations en nitrate les plus élevées dans les systèmes karstiques étudiés,
- les fluctuations les plus importantes d'une mesure à l'autre au fil du temps.

Les campagnes suivantes ont confirmé que ces eaux se différencient nettement de celles des pertes et des résurgences. De plus, on constate des différences significatives en nitrate d'un gour à l'autre au sein d'une même cavité.

Suite à ce constat, nous avons analysé systématiquement toutes les percolations actives dans la grotte de Remouchamps (suivant un transect amont / aval) en février et en avril 2022.



Fig. 3. Dans le couloir menant au Lac Pactole, concrétion (stalagmite) d'1m de haut alimentée par une eau de percolation très abondante et présentant plusieurs petits gours. Site systématiquement échantillonné depuis février 2020.

Qu'est ce qu'un gour?

Les gour sont des concrétionnements assez communs dans les cavités alimentées par la percolation. Le goutte à goutte provenant du toit du calcaire est chargé en calcite. Lorsque ces gouttes forment une flaque au sol, la calcite va se concentrer petit à petit et précipiter sur les côtés. Cette précipitation de calcite "construit" un bassin qui peut résulter de plusieurs écoulements contre les parois, ou du débordement d'autres gour. Il prend alors la forme de terrasses par débordements successifs.

La concentration en nitrate devrait correspondre à la moyenne des percolations qui l'alimentent (multipliées par leur débit). Nos mesures montrent de fortes fluctuations des concentrations de NO₃- au cours du temps ; la dynamique hydrologique de ces bassins est complexe : au cours du temps et selon l'hydrologie, le gour pourra s'assécher progressivement ou à l'inverse déborder, si son alimentation est très active.



Fig. 4. Gours en terrasse, en contrebas du cheminement touristique, alimentés par la percolation provenant de multiples stalactites. Bien qu'à sec une partie de l'année, ils se remplissent en quelques heures après de fortes pluies.

Matériel et méthodes

Une étude plus systématique de la qualité et de la concentration en nitrate dans les eaux de percolation a été menée dans la grotte touristique de Remouchamps (Ay-waille, AKWA 49/3-074), un site qui fait partie d'un des 5 systèmes inventoriés dans le cadre du projet. Deux campagnes de prélèvement ont été effectuées dans la grotte, les 11/02 et 08/04/2022.

Un transect (dispositif d'observation de terrain le long d'un tracé linéaire) a été réalisé tout le long de la grotte, depuis le siphon amont et la salle de la cathédrale jusqu'à la sortie à quelques mètres de l'Amblève. Lors de nos prélèvements, chaque gour et chaque percolation active ont été échantillonnés (prélèvement de 5 ml d'eau pour une analyse de la teneur en nitrate par la suite). Aux endroits où un gour et une percolation actifs étaient su-

perposés, nous avons échantillonné les deux afin de pouvoir les comparer.

Les concentrations des composants du cycle de l'azote (nitrate, nitrite, ammonium) sont ensuite mesurées à l'aide d'un spectromètre de terrain Hach DR1900. La lecture est simple et rapide et les tests interlabo (ISSeP) ont montré une erreur inférieure à 10%. Ce degré de précision est jugé satisfaisant par rapport aux objectifs de notre étude réalisée dans un milieu souterrain qui complexifie les prélèvements. La possibilité de réaliser les analyses sur le terrain supprime les problèmes de stockage et de conditionnement des échantillons qui peuvent être à l'origine d'une marge d'erreur au moins aussi importante.

En plus de la concentration en nitrate, chacun de ces 40 points de prélèvements

a été décrit, photographié et pointé précisément sur la topographie de la grotte.

Ce géoréférencement permet de connaître le type d'activité en surface (*land use*) et l'impact possible de celui-ci sur la qualité des eaux. La dimension des gour a été mesurée ainsi que le débit des percolations (fig. 1).

La **campagne du 11 février 2022** s'est déroulée lors d'une période pluvieuse conséquente, assurant une percolation active et des gour bien remplis. Le Rubicon (rivière souterraine parcourant l'étage actif de la grotte) était au plus haut, débordant par endroit sur le parcours touristique qui le longe. 40 échantillons ont pu être prélevés dans 28 stations différentes.

Les conditions hydrologiques de la deuxième campagne, début avril, étaient nettement plus sèches. Certaines concrétions et percolations précédemment actives étaient sans eau, nous avons donc limité nos analyses à 24 échantillonnages. Une mesure de la conductivité, de la température et de l'O₂ dissout a été effectuée à chaque point (fig. 6).

Dans les gour présentant un volume d'eau suffisant, nous avons prélevé 500 ml d'eau en vue d'analyses isotopiques (collaboration avec l'Université de Liège - projet CASPER). En combinant les rapports isotopiques des nitrates (14N/15N et O16/O18) et les isotopes du Bore (B10/B11), il est possible de déterminer l'origine des nitrates dans les eaux (source agricole avec les engrais et fumiers, rejets humains avec les eaux usées, origine naturelle - dépôt atmosphérique).

La présentation de cette technique fera l'objet d'un article spécifique dans un prochain *Eco Karst*.



Fig. 5. Prélèvement d'eau et analyse de la conductivité et de l'oxygène dissout dans les petits gour à la base de la concrétion de la Dame Blanche.

Résultats et discussions

Les relevés du 11 février montrent que les concentrations enregistrées d'amont vers l'aval à Remouchamps (fig. 6) varient énormément tout au long du développement de la grotte et parfois même entre deux points très proches :

- La zone amont (points 2 à 6) montre des concentrations faibles (inférieures à 15 mg/l de NO₃⁻) à l'exception de la Salle de la Cathédrale. Les stations échantillonnées se situent à peu près au niveau de la rivière, donc au plus bas de la grotte.
- La Salle de la Cathédrale (1) est un cas particulier, avec son plafond remontant 50 m au-dessus de la rivière souterraine. Elle a été formée par effondrement et l'épaisseur du toit du calcaire séparant la surface du sommet de la salle se limite à 5 m. Les valeurs en nitrate mesurées en février 2022 à cet endroit dépassaient les 50 mg/l. Ce taux élevé pourrait être lié à la très faible épaisseur de roche, induisant une infiltration très rapide, depuis un terrain principalement agricole. A l'inverse, les autres points de la zone amont se trouvent à plus de 50 m sous la surface et dépendent donc de dynamiques d'infiltration beaucoup plus complexes et lentes.
- Les points proches de l'entrée (28 et 27) présentent les concentrations les plus faibles de toute la grotte (entre 1 et 2 mg/l). Cette zone est caractérisée par une proximité de la surface, constituée de terrains exclusivement forestiers en zone Natura 2000, où l'apport en nitrate d'origine anthropique devrait en principe être très faible.
- Le milieu de la grotte, autour de la faille de la Dame Blanche, présente des concentrations assez variables mais toujours très élevées entre 20 et 60 mg/l (le point 16 atteint 65 mg/l). En surface se trouvent plusieurs fermes et maisons non raccordées au réseau d'égouttage (d'après les données du PASH).
- Entre la "zone du milieu" et la sortie, le réseau comprend une zone sèche (aucune percolation, même après de fortes pluies), où aucune analyse n'a pu être réalisée (voir ci-dessous).

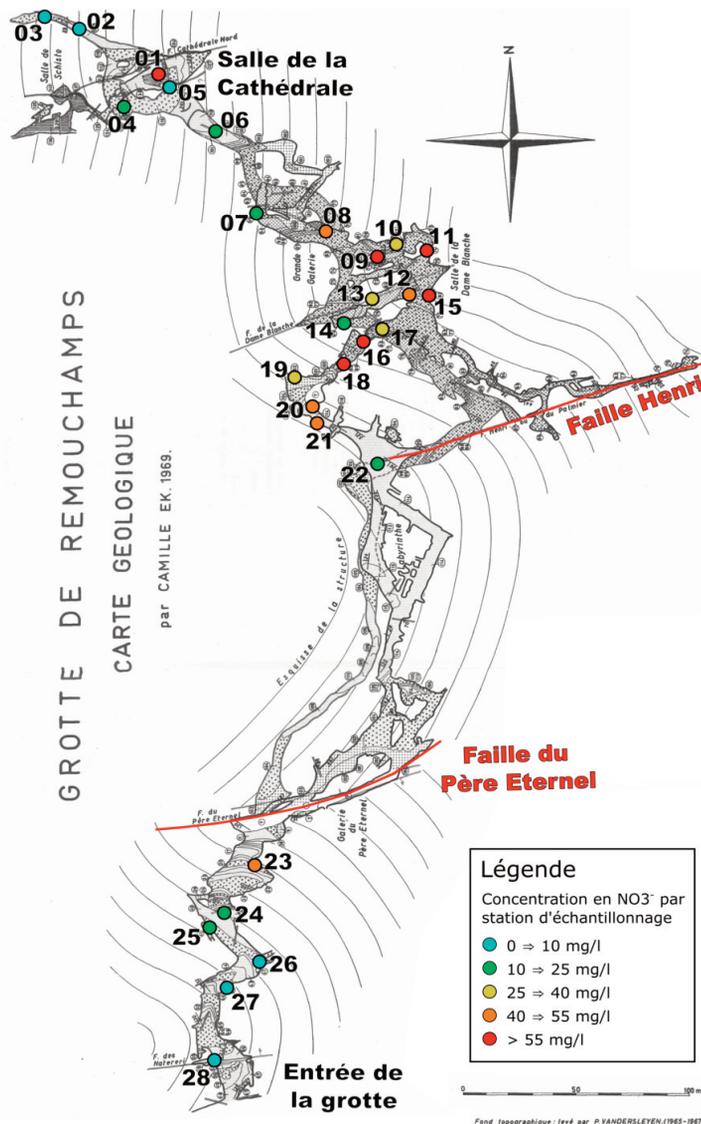


Fig. 6. Topographie géologique de la grotte de Remouchamps (Ek, 1972) avec les 28 points de percolation (numérotés de l'amont vers l'aval) analysés en février 2022. Les couleurs correspondent aux classes de concentration en nitrate. Celles-ci passent de 2 mg à + de 80 mg/l sur une distance de 350 m !

La zone sans percolation dans le secteur de l'Entonnoir

La grotte de Remouchamps est une des très rares cavités en Wallonie qui a fait l'objet d'un relevé stratigraphique & géologique précis. Grâce à ce travail remarquable réalisé par le professeur C. Ek, nous disposons des limites de formations à l'intérieur de la grotte et du report des failles et des réseaux de diaclases ayant permis la karstification du massif. La zone sèche est justement située entre deux failles majeures (Faille Henri du Palmier et Faille du Père Eternel) qui sont orientées perpendiculairement à l'axe N-S du parcours touristique. Dans ce secteur, l'orientation des strates est différente du reste du système. Les calcaires y sont particulièrement riches en stromatopores, mais rien indique que la présence de ce fossile modifie la perméabilité de la roche. Comme dans le reste du réseau souterrain, on relève de nombreuses diaclases qui facilitent habituellement l'infiltration. Enfin, les parties bien irriguées de la cavité tout comme la zone sèche se sont formées dans les mêmes formations géologiques. On trouve donc difficilement une cause structurale ou géologique à cette absence de percolation au centre de la grotte.

En observant le relief en surface, on constate au-dessus de l'axe de la galerie une légère dépression qui correspond à un vallon sec. Ce vallon perpendiculaire à l'axe de la grotte se dirige vers l'Amblève. Si cet axe fonctionne comme un drain, il est possible (ce n'est ici qu'une hypothèse) qu'il soutire l'eau qui pénètre dans sol, asséchant l'épikarst au-dessus de la zone qui nous intéresse aux dépens de l'infiltration.

Comparaison gour / percolation

Les analyses réalisées sur l'eau des percolations et des gour qui se superposent donnent par endroit des résultats différents. Les gour ont généralement des concentrations plus élevées mais il existe des cas où la tendance est inversée.

En analysant les gour, on ne dispose que d'une valeur approximative (et légèrement surévaluée) de la concentration du nitrate dans l'eau de percolation au moment de l'analyse. Cependant ces petites vasques donnent une valeur plus intégrative que la mesure d'une goutte à un moment précis. Pour un suivi tous les deux mois et pour effectuer un bilan de masse du nitrate traversant le toit du calcaire, c'est donc une approche valable.

Grotte de Remouchamps - Février 2022 (Percolations et Gours)

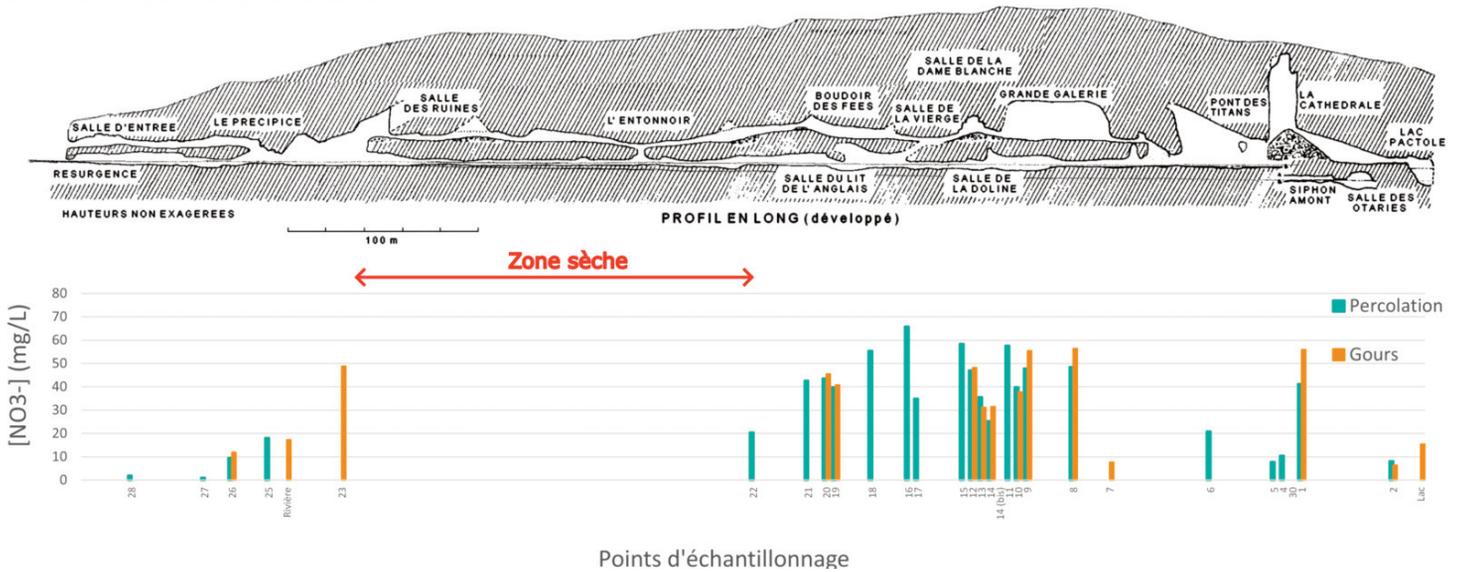


Fig. 7. Le report des concentrations en nitrate mesurées en février 2022 sur la coupe de la grotte, montre l'épaisseur du calcaire séparant les points d'analyse de la surface. La numérotation des stations est identique à celle de la figure 6, de l'amont (salle de la Cathédrale) vers l'aval (sortie).

Comparaison des résultats des 2 campagnes

Les prélèvements du 11 février et du 22 avril ont été réalisés dans des conditions hydrologiques très différentes. Entre ces deux dates, on constate une fluctuation notable des concentrations de nitrate dans les percolations : certaines stations ont le maximum de concentration en février, mais pour d'autres c'est fin avril qu'on atteint le pic en NO₃-.

Dans les tableaux ci-contre (fig. 8), les points d'échantillonnage sont classés d'amont en aval. Sur base des 2 campagnes, on constate que les eaux prélevées sous une percolation et dans les gours, voient leur concentration en nitrate varier entre février et avril.

Ces variations montrent la complexité des dynamiques d'infiltration dans l'épikarst, dépendant à la fois des précipitations et de la géologie.

Des mécanismes variables de stockage et de lessivage des eaux et du nitrate doivent être à l'œuvre, car on ne peut établir de corrélation nette entre les concentrations et la pluviométrie.

Mesures comparatives à la grotte de Hotton

Nous avons fait quelques prélèvements à titre comparatif à Hotton, hors du parcours touristique habituellement échantillonné dans le cadre d'EPU Karst (fig. 9).

L'occupation du sol se caractérise ici par des terrains uniformément forestiers.

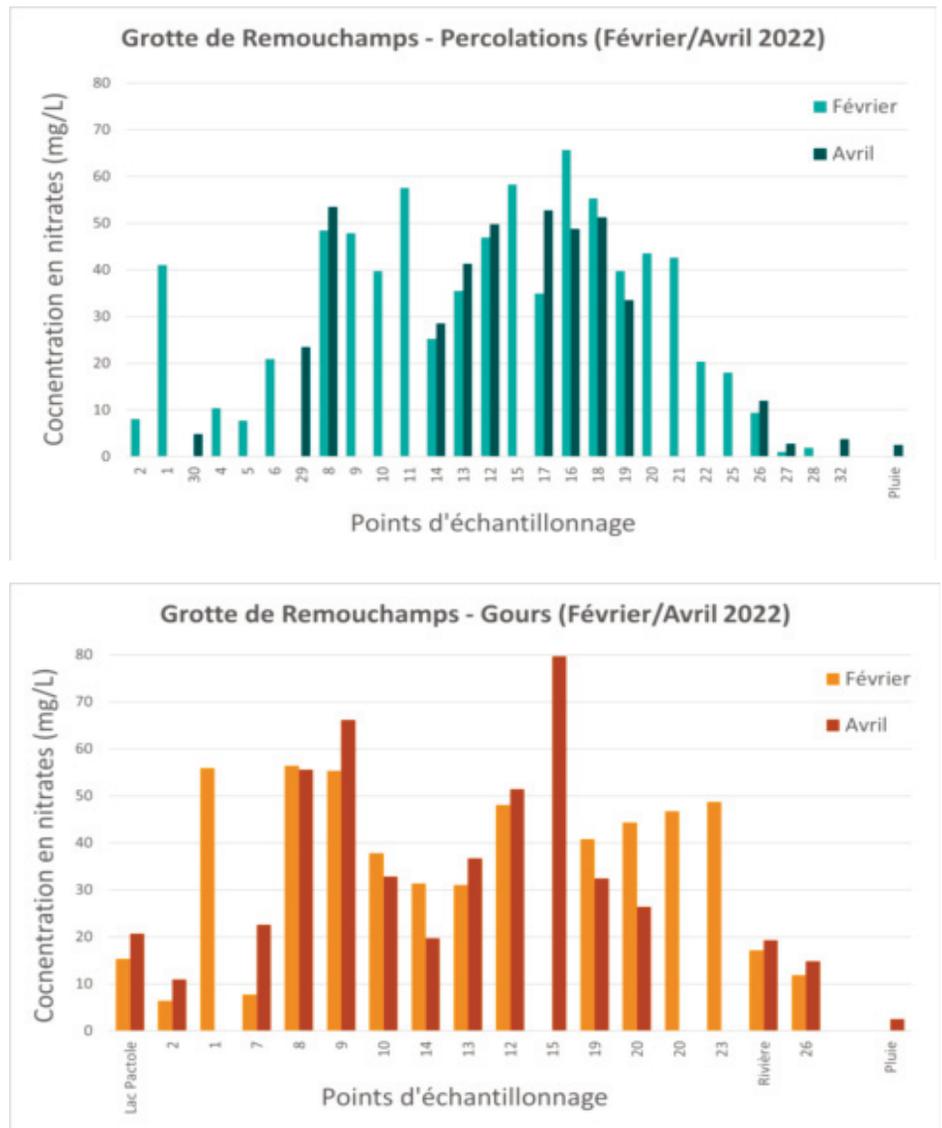


Fig. 8. Comparaison des concentrations en nitrate entre février et avril 2022 dans la grotte de Remouchamps (en haut les percolations, en bas les gours).

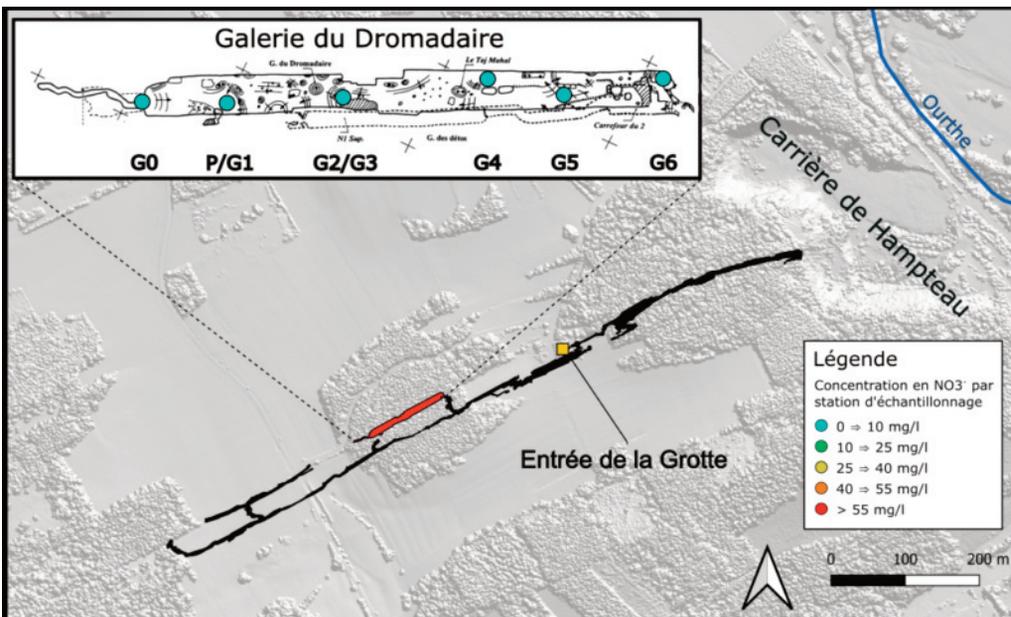


Fig. 9. Prélèvements dans la grotte de Hotton, partie sauvage en amont du réseau touristique, en juin 2022. Plusieurs percolations actives alimentaient des gours qui ont été échantillonnés.

Cette campagne d'analyse annexe avait pour but de voir si l'activité en surface joue un rôle prépondérant dans les concentrations rencontrées dans l'eau d'infiltration, qui perle dans la grotte 20 à 40 m sous la surface.

Le 23 juin 2022, le concrétionnement était peu actif (les pluies de la semaine précédente infiltrées dans le sol n'avaient pas encore atteint le toit de la galerie). Aucun des gours de la zone amont (G0 à G6) ne présentait un taux de nitrate supérieur à 5 mg/l. Ces valeurs faibles sont cohérentes avec l'occupation (forestière) du sol en surface, à la différence des nitrates mesurés dans les gours du réseau touristique où l'eau présente en moyenne 20 mg/l de NO_3^- (tab. 1 ci-dessous).

Il est hasardeux d'expliquer ces différences sur base d'une seule campagne. Il faudrait réitérer ces analyses à Remouchamps et à Hotton, mais aussi dans d'autres cavités présentant des contextes hydrogéologiques et des occupations du sol spécifiques.

N°	Type d'échantillon	[NO_3^-] (mg/L)	O ₂ dissout (mg/l)	O ₂ dissout (%)	Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
0	Gours (G)	2,36	7,89	97,3	711
1	Percolation	1,83			
1	G	1,21	8,18	98,6	642
2	G	4,06	8,25	99,7	632
3	G	4,4	8,1	98	598
4	G	1,88	8,15	98,8	599
5	G	1,38	8,22	99,6	563
6	G	1,01	8,33	101	682
Gours Escalier	G	20,4	8,49	87,9	422
Gour Amitié	G	19,77	10,33	90,3	397
Rivière Aval S1	Rivière	22,54	10,28	93,9	621

Tab 1. Résultats des prélèvements effectués dans la grotte de Hotton. Les échantillons 0 à 6 viennent de la Galerie du Dromadaire, les trois derniers gours sont les points habituellement échantillonnés pour EPU Karst.

Premières conclusions

Les analyses du nitrate dans les eaux de percolation de Remouchamps et de Hotton ont permis les constats suivants :

- **Le gour et la percolation** qui l'alimente peuvent présenter des concentrations en nitrate contrastées. Les percolations témoignent des concentrations des eaux s'infiltrant depuis la surface jusque dans la grotte, à un moment T. Les gours fournissent une donnée plus intégrative, correspondant au mélange des percolations dans la durée, avec des phases de débordement et d'évaporation. C'est pourquoi notre échantillonnage tous les 2 mois, nous avons privilégié le prélèvement dans les gours.

- **L'occupation du sol**, l'intensité de l'activité agricole et l'égouttage influencent l'enrichissement des eaux en nitrate. Ces équations sont complexes, influencées par la géologie locale et par les précipitations. L'activité en surface au droit des points de prélèvements peut expliquer une valeur élevée (ou basse) en nitrate. Ces premiers résultats prometteurs doivent être complétés par des analyses isotopiques pour déterminer les origines possibles du nitrate dans l'eau de percolation.

- Bien que les concentrations en nitrate dans les eaux provenant de certaines stalactites soient impressionnantes, les débits de celles-ci sont très variables. Il est par conséquent difficile d'estimer l'**apport de l'infiltration sur la concentration finale** mesurée dans la rivière souterraine. Les dynamiques d'écoulement et d'infiltration au sein du karst sont fortement liées à la géologie et à la stratigraphie d'un massif. Dans la grotte de Remouchamps, la majorité des percolations correspondent soit à des axes principaux de diaclases, soit à la présence de failles au sein de la grotte.

La **comparaison entre hautes et basses eaux** montre que les concentrations en nitrate fluctuent avec le débit. Un cycle annuel complet (et sur plusieurs années) est nécessaire pour définir une saisonnalité dans l'apport en nitrate. Il faudra intégrer l'incidence des changements climatiques et le régime pluvial plus irrégulier et imprévisible. On ne peut pas se baser sur des années aussi exceptionnelles que 2021 ou 2022 en termes de pluies et de températures pour définir des tendances.

Vu de l'importance des eaux d'infiltration dans la recharge des nappes, mieux appréhender les échanges chimiques dans le sol et l'épikarst est essentiel pour **protéger la ressource en eau**.

Félix de Selys (CWEPPS)

& Laura Balzani (ULiège)

LES GROTTES DE GOYET

Le plus beau site préhistorique de Belgique
a rouvert ses portes à Gesves

Après 3 années de fermeture, les grottes de Goyet sont à nouveau accessibles au public depuis avril 2022. La Commune de Gesves, propriétaire du site, et le Préhistomuseum (Ramioul, Flémalle) ont noué un partenariat pour repenser complètement la mise en valeur de ce joyau du patrimoine belge, dont l'intérêt archéologique et la valeur scientifique sont exceptionnels. Ils proposent désormais aux visiteurs une découverte sensorielle du monde souterrain ainsi que des caractéristiques techniques, sociales et culturelles des communautés qui ont occupé ce site remarquable de manière continue depuis le Paléolithique moyen (les Néandertaliens d'il y a environ 45.000 ans) jusqu'à nos jours.

Les grottes bénéficient d'un nouvel éclairage qui respecte l'ambiance particulière des sites souterrains. Cette nouvelle visite fait également appel à une technologie multimédia. Les guides, qui sont tous archéologues, actionnent en différents lieux de la cavité leur « lanterne magique » qui projette des images sur les parois, pour fournir des éléments explicatifs aux visiteurs mais aussi recréer l'ambiance des lieux à l'époque préhistorique.

Afin d'en savoir plus sur ces nouveaux aménagements, mais aussi pour vous donner l'envie d'aller redécouvrir le site, nous synthétisons ci-dessous les réponses de Fernand Collin, Directeur du Préhistomuseum, à une série de nos questions. Avec son équipe, il est à l'origine de la conception du programme de valorisation de ce site archéologique exceptionnel.

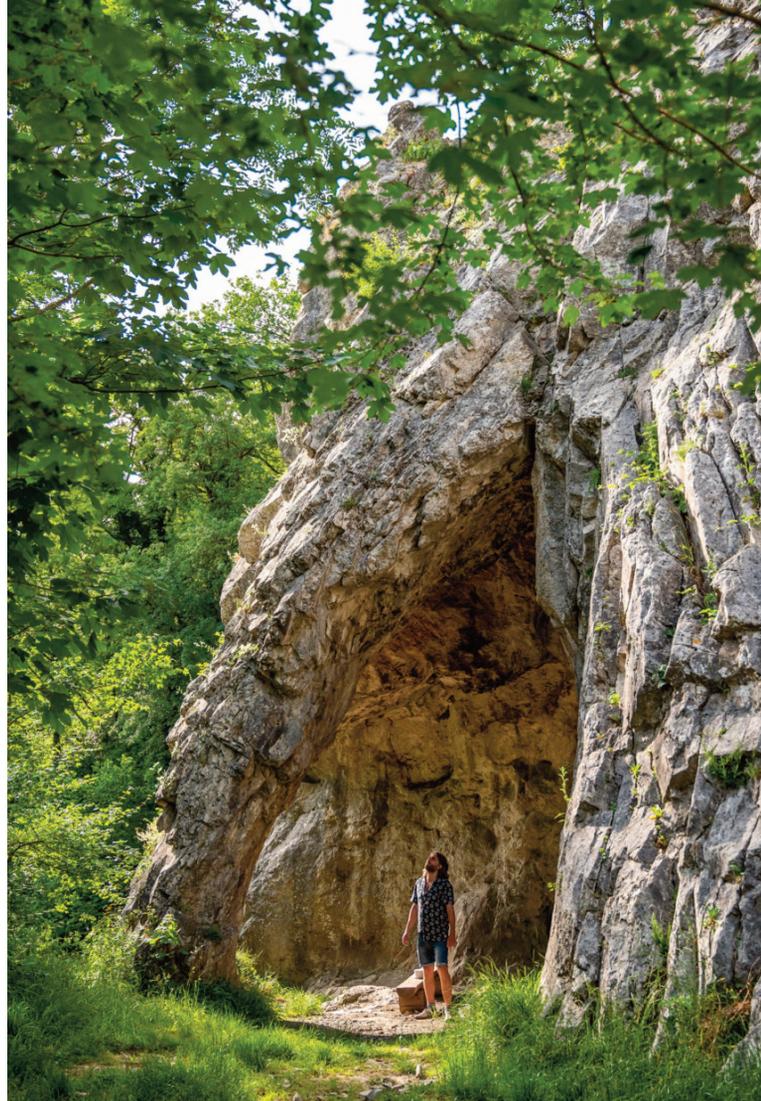


Fig. 1. Un des 7 porches de Goyet qui ont été en partie dégagés par les feuilles successives et où se concentrent les découvertes archéologiques (photo Oanna).

Une cavité dans un cadre remarquable

Les grottes de Goyet sont situées à proximité du Samson, une des plus belles vallées de Wallonie dans le Namurois. On en parle au pluriel car elles sont multiples :

- La cavité préhistorique comprend 7 porches, alignés au-dessus de la confluence entre les ruisseaux du Strouvia et du Samson.

- A l'amont, le long du Strouvia, on accède au site touristique souterrain par une entrée artificielle de quelques mètres (tunnel) qui rejoint la partie la plus profonde de la cavité. Ici, ce sont les aspects géologiques et karstiques qui sont mis en valeur. Ces galeries aujourd'hui fossiles (suite à l'enfoncement du réseau hydrographique) étaient autrefois parcourues par le cours souterrain du Strouvia.

Ce recoupement souterrain de méandre est à l'origine de la formation des cavités dans le massif. Aujourd'hui, le Strouvia souterrain poursuit son lent travail de sape et de creusement des galeries, plus bas dans le massif.

- Le massif compte d'autres cavités, non visitables, dont certaines ont également livré des vestiges archéologiques.

Les porches, occupés à pratiquement toutes les époques de la Préhistoire, ont livré un matériel archéologique dont la quantité et la qualité érigent les grottes au rang de site archéologique majeur. Plusieurs découvertes nourrissent d'ailleurs encore la recherche actuelle.

Des fouilles anciennes et un patrimoine à (re) valoriser

Les grottes de Goyet intriguent les explorateurs et les archéologues depuis toujours. Le plus vieux graffiti, daté de 1617, confirme que la grotte était déjà explorée au XVII^e siècle !

Les premières investigations scientifiques remontent au milieu du XIX^e siècle. Elles sont l'œuvre d'Édouard Dupont, alors directeur de l'Institut des Sciences naturelles de Belgique (IRSNB) qui, dès 1868, entame des fouilles dans plusieurs « cavernes » du site. Suivront des générations d'archéologues, attirés par ces lieux au potentiel archéologique remarquable. Les dernières fouilles en bonne et due forme ont été menées entre 1997 et 2004 par la Direction de l'Archéologie de la Région wallonne. À cette occasion, dans une cavité située à quelques dizaines de mètres des porches de Goyet, un vaste nouveau réseau a été découvert.

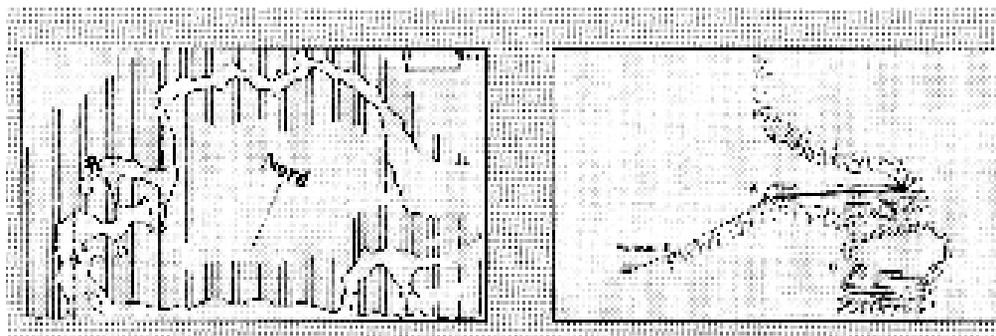


Fig. 2. Plan de la caverne principale et coupe géologique avec représentation des 5 niveaux ossifères (d'après E. Dupont, 1872), démontrant l'ancienneté des fouilles réalisées à Goyet.

La sépulture d'un enfant néolithique y a été étudiée par le paléoanthropologue Michel Toussaint.

Bien que depuis 1868, les porches et réseaux des grottes de Goyet aient été quasi totalement vidés de leurs sédiments stratifiés, le potentiel de découverte reste bien présent dans cette crête rocheuse dominant la confluence entre le Samson et le Strouvia. Aujourd'hui, il ne s'agit plus de se lancer dans de nouvelles fouilles, mais bien de préserver au maximum ces gisements, afin qu'ils puissent bénéficier d'une approche concertée et pluridisciplinaire ainsi que des meilleures techniques d'investigation (actuelles et à venir) pour tirer le plus de renseignements de ces vestiges du passé.

Bon nombre de découvertes récentes ont d'ailleurs été réalisées sur le matériel ancien (mis au jour il y a parfois plus de 150 ans et entreposé à l'Institut des Sciences naturelles), en lui appliquant des méthodes d'analyse modernes (telles que l'ADN ou les analyses isotopiques). "Relire" et réinterpréter les objets, parures et ossements humains permet ainsi de compléter la connaissance et la compréhension de l'organisation des sociétés préhistoriques qui se sont succédé à Goyet.

Mise en valeur originale, durable et multisensorielle

C'est le pari que s'est lancé la Commune de Gesves, propriétaire, en signant une convention de mise en valeur du site avec le Préhistomuseum, qui en assure la gestion touristique. Alors que précédemment, l'exploitation de la cavité faisait l'objet d'une adjudication à un gestionnaire privé, qui payait une location à la Commune pour y développer une activité touristique et tenter d'en tirer un certain profit, le modèle de développement pour Goyet a totalement changé :

- La Commune, bien consciente de l'intérêt patrimonial du site et de sa responsabilité dans la préservation de celui-ci, a choisi un modèle de développement touristique durable et qualitatif, limitant volontairement le nombre annuel de visites.



Fig. 2. Le nouvel éclairage mis en place valorise l'atmosphère particulière de la cavité (photo Oanna).



Fig. 3. Projection directement sur les parois de la cavité par les guides / animateurs afin de créer un environnement multisensoriel lors de la visite (photo Oanna).

- La mise à disposition est gratuite (il n'y a pas de revenu locatif versé par le Préhistomuseum, gestionnaire, à la Commune, propriétaire), mais elle se fait selon un cahier des charges qui privilégie la conservation du site et une valorisation de ce patrimoine remarquable en le rendant accessible et compréhensible pour différents publics.
- Avec l'aide du Commissariat Général au Tourisme et de la Province de Namur, la Commune a remplacé l'éclairage dans la cavité. En plus du gain esthétique évident et de la création d'une ambiance lumineuse qui met mieux en valeur la grotte et « ses trésors », cet éclairage est séquencé, avec des ampoules LED, et il est nettement plus réduit. L'amélioration est évidente, avec une consommation beaucoup plus faible et le maintien d'une pénombre dans les galeries lorsqu'elles ne sont pas parcourues par les touristes. Certaines galeries sont par ailleurs fermées à la visite durant les périodes d'hivernage des chiroptères pour ne pas perturber ceux-ci.
- Toutes les visites sont encadrées par des archéologues de l'équipe du Préhistomuseum, rompus aux techniques de médiation scientifique. Ils adaptent leur discours au public présent et, dans la grotte, leurs explications sont soutenues par une « lanterne magique », sorte de projecteur portable qui leur permet de projeter des illustrations directement sur les parois, ainsi que par des « boîtes à trésor » dont ils sortent divers objets et ossements pour les faire sentir et manipuler par les visiteurs. Le son n'est pas oublié dans la visite : des notes de musique sont réalisées à l'aide d'une flûte de type paléolithique, comparable à celle trouvée à Goyet. Bref, une immersion insolite et des plus intéressantes.

Contrairement à la plupart des « attractions touristiques », à Goyet, la recherche du profit n'est pas l'objectif premier : les droits d'entrée doivent tendre à couvrir les frais de gestion et le coût du personnel qui anime le site.

L'augmentation du nombre de visiteurs (sorte d'audimat du tourisme) n'est pas un but en soi ; les visites ne s'organisent d'ailleurs que pendant les week-end et vacances scolaires (et sur demande pour les écoles).

Cinq scoops sur la Préhistoire

Vu les découvertes remarquables qui y ont été faites, quasi tous les préhistoriens du monde connaissent les grottes de Goyet. L'enjeu est de les faire connaître également du grand public, et de lui faire prendre conscience du caractère exceptionnel du site pour l'histoire de la Préhistoire mondiale. Le programme de visite propose notamment des arrêts dans 5 des porches, où chaque fois un aspect particulier des découvertes est présenté, raconté et discuté avec les visiteurs.

1. Archive archéologique de référence

Toutes les principales civilisations préhistoriques de nos régions y ont laissé des traces et des témoignages.

Occupé depuis au moins 42.000 ans par l'Homme de Néandertal (ceci confirmé par la présence d'ossements humains), le site Goyet a également livré des outils en silex qui témoigneraient d'un échange de technologies entre les Néandertaliens et les premiers Hommes modernes arrivés en Europe (*Homo sapiens* ou « hommes de Cro-Magnon »).

La présence de cette industrie « à pointes foliacées », qualifiée d'industrie de transition, ne permet toutefois pas d'affirmer que Néandertal et *Homo sapiens* se sont effectivement rencontrés à Goyet. En effet, les recherches récentes sur l'ADN prouvent que, quelque part en Europe centrale et orientale, Néandertal et Sapiens se sont rencontrés et ont eu une descendance commune, mais l'incertitude demeure concernant les contacts éventuels entre ces deux populations en Europe du Nord-Ouest. Des datations récentes menées sur plusieurs sites wallons de cette époque révéleraient un hiatus de plus ou moins 3.000 ans entre les vestiges néandertaliens les plus récents et les dates "sapiens" les plus anciennes, mais les méthodes évoluent vite et des analyses complémentaires sont toujours en cours.

Les grottes de Goyet ont également livré les plus anciennes traces d'occupation d'*Homo sapiens* pour l'Europe du N-O, datées de -34.000 ans (Aurignaciens). Vers -28.000 ans leur succède la civilisation "gravettienne" dont la présence sera assez brève : vers -26.000 ans, le climat va tellement se refroidir dans nos régions, que tous les humains présents migrent alors plus au sud.

Il faut attendre -15.000 ans et un léger réchauffement du climat au sein de cette ère glaciaire pour un retour des hommes à

Goyet, avec la civilisation "magdalénienne" qui nous a laissé des vestiges exceptionnels. Par la suite, les grottes ont été utilisées comme sépultures par les civilisations d'agriculteurs-éleveurs qui peuplent la région vers -5500 ans, au Néolithique. Enfin, jusque très récemment, la grotte sera occupée sporadiquement par tous les habitants de la vallée du Samson.

2. Crâne de chien et plus vieille domestication connue au monde?

La paléontologue Mietje Germonpré (IRSNB) a identifié, dans les collections d'Édouard Dupont, un crâne identifié comme celui d'un chien et daté de -32.000 ans. Vu ses caractéristiques morphologiques, il y a aujourd'hui débat pour savoir s'il se distingue réellement du loup, ancêtre du chien, et des recherches sont encore en cours actuellement, notamment au niveau génétique.

3. Des os qui attestent du cannibalisme à l'époque de Néandertal

Une équipe d'anthropologues dirigée par Hélène Rougier, a retrouvé dans les collections de l'IRSNB 99 ossements humains attribués à 5 individus néandertaliens. En étudiant de près ces ossements, elle y a identifié des traces de découpe au silex semblables aux traces observables sur certains ossements d'animaux chassés et consommés. La grotte de Goyet atteste donc la pratique du cannibalisme entre Néandertaliens !

Cette découverte très rare nous interroge sur les pratiques alimentaires (cannibalisme de subsistance ?) ou rituelles (cannibalisme lié au culte des morts, au sacré et à la transmission ?) chez les Néandertaliens. Ces questions animent la littérature archéologique actuelle et les découvertes faites sur le matériel de Goyet y jouent un rôle très important.

4. Un carrefour pour les grandes migrations de la Préhistoire

Patrick Semal, anthropologue à l'IRSNB, a participé à une étude internationale visant à analyser l'ADN des restes d'Hommes modernes préhistoriques afin de pister leurs origines. Dans le cadre de cette étude, 8 individus provenant des grottes de Goyet, datant de 35.000 à 15.000 ans, ont été analysés (parmi un total de 35 individus dans plusieurs pays d'Europe). L'étude a conclu qu'à Goyet, les *Homo sapiens* datés de -35.000 ans sont issus d'une migration provenant « directement » d'Afrique.

Par la suite, à cause du grand refroidissement à partir de -26.000 ans, ces populations ont migré vers le sud de l'Europe. Puis, à partir de -15.000 ans, une fois que le climat s'est réchauffé, une deuxième vague de migration, cette fois originaire de l'est de l'Europe et ayant transité par l'Asie, repeuple nos régions.

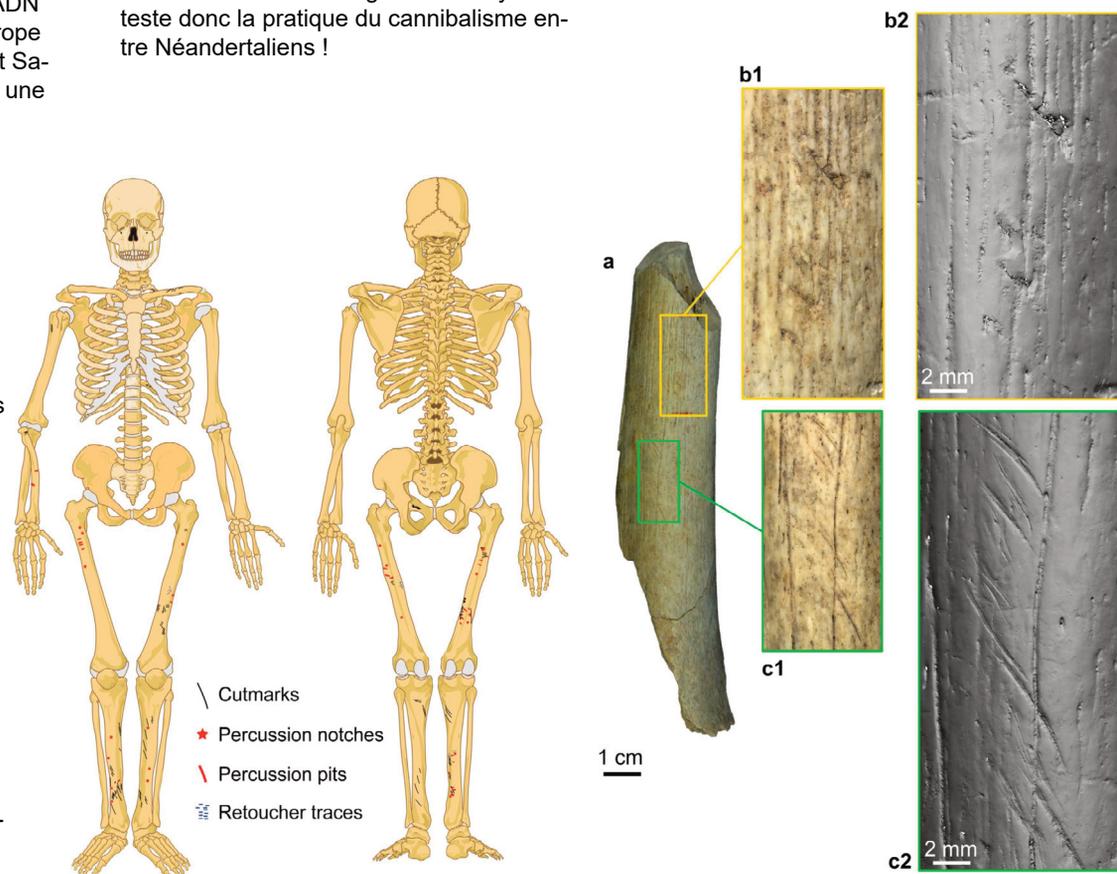


Fig. 4. *Gauche* : vue d'ensemble des modifications anthropiques observées sur les restes de Néandertal de la Troisième caverne de Goyet. *Droite* : détail des marques de retouche (b1,b2) et marques de découpe (c1,c2) présentes sur les os de Néandertalien de Goyet (exemple du fémur III) Extrait de Rougier et al, 2016.

Goyet témoigne donc des différents mouvements de population d'*Homo sapiens* en Europe.

En ces périodes troublées où le nationalisme, la supposée « pureté de la nation » ou la peur des flux migratoires sont régulièrement brandis par certains, il est bien utile de rappeler que nous sommes tous issus de ces mouvements et mélanges de population. Là aussi, l'histoire et le patrimoine de Goyet peuvent apporter leur pierre à l'édifice...

5. Un très grand nombre d'œuvres d'art paléolithiques

En l'état actuel des connaissances, la Belgique ne comporte pas d'art pariétal préhistorique, mais uniquement de l'art mobilier. Or, Goyet est le site où l'on trouve la plus grande diversité d'œuvres d'art mobilières. Des colliers en dents de cervidés, de loups, ou en coquillages fossiles, un bâton en bois de renne percé et orné d'une des rares représentations de saumon, une plaquette de pierre gravée d'un bouquetin et une flûte en os d'oiseau constituent une collection artistique unique du Paléolithique local.

Des fac-similés de ces différents « bijoux » sont présentés lors des visites pour permettre à chacun de les manipuler et de comprendre que la préoccupation et l'expression artistiques étaient déjà bien présentes chez nos lointains ancêtres.

Reconnaissance et statut de protection

Depuis le 13 mai 2022, les grottes de Goyet sont inscrites à l'inventaire du **Patrimoine exceptionnel de Wallonie**. Il s'agit là du statut patrimonial le plus élevé que l'on peut accorder aux monuments et sites dans le sud du pays. Au-delà d'une reconnaissance de leur intérêt (et d'un regain de notoriété), ce statut octroyé jusqu'à présent à 230 biens en Wallonie offre une meilleure protection et la possibilité aux propriétaires, publics ou privés, de

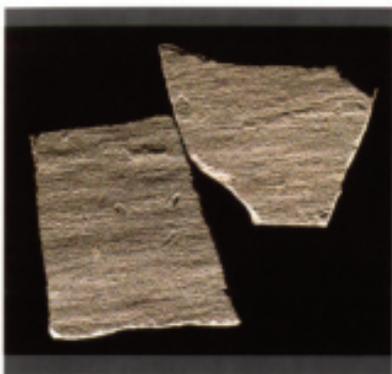


Fig. 5. Plaquette de psammite avec gravure de bouquetin trouvée à Goyet (longueur 18,5cm). - Extrait des "Carnets du Patrimoine" n° 26, 1999



Fig. 6. Vue générale des porches de Goyet s'ouvrant dans l'éperon rocheux forestier dominant la confluence Strouvia-Samson (photo D. Depierreux, 2013).

bénéficier d'un soutien plus important pour le financement des travaux de restauration.

Ce statut est une première étape, nécessaire à la mise en conformité pour une reconnaissance au niveau de l'UNESCO. Le site des grottes de Goyet est en effet candidat à une intégration à la liste du Patrimoine mondial, au même titre que trois autres sites ayant livré des ossements néandertaliens : la grotte Schmerling à Flémalle, la grotte Scladina à Andenne et la grotte de Spy à Jemeppe-sur-Sambre. En Wallonie, on identifie aujourd'hui près de 400 sites associés à cette période, parmi lesquels 8 (la plupart en grotte) ont livré des ossements néandertaliens. Au sein de ce corpus, les 4 sites retenus pour une reconnaissance mondiale UNESCO ont la particularité de présenter tous ces critères réunis :

- Une contribution majeure à la connaissance des Néandertaliens et au développement de la paléanthropologie et de la Préhistoire.
- Un accès au public, constituant un outil de valorisation et d'interprétation pour la compréhension de cette période préhistorique.

En avril 2019, la délégation permanente de la Belgique auprès de l'UNESCO avait fait mettre sur la liste indicative de l'UNESCO ces 4 cavités comme « **Sites à fossiles néandertaliens de Wallonie** ». Maintenant que les 4 sites ont été élevés au rang de Patrimoine exceptionnel de Wallonie, la procédure auprès de l'UNESCO va pouvoir se poursuivre pour qu'ils soient reconnus comme patrimoine mondial.

La complémentarité entre ces 4 sites devrait faciliter l'octroi du statut UNESCO. Celle-ci sera également à approfondir à l'avenir, par exemple en développant un « **Neandertal tour** » de Wallonie, où la visite combinée de ces lieux emblématiques à l'aide de méthodes d'animation modernes (comme celles qui viennent d'être mise en place à Goyet) pourrait offrir un voyage dans le temps plus de 40.000 ans, à la rencontre des Néandertaliens wallons.

En pratique

Les grottes de Goyet se situent rue de Strouvia 3 à 5340 Gesves.

Ouverture : du 2 avril au 6 novembre 2022, tous les dimanches hors vacances scolaires et tous les jours durant les vacances scolaires belges francophones. Deux départs par jour à 14h et à 16h (durée +/- 1h30).

Les visites étant limitées à des groupes de 30 personnes et vu le succès rencontré, il y a lieu de réserver au préalable. Des visites pour les écoles et/ou des groupes peuvent être organisées sur mesure et à la demande, en semaine.

Plus d'informations : 04/275 49 75 – 083/67 02 14.

<https://grottes-goyet.be>

Georges MICHEL

Sur base des renseignements fournis par
Fernand COLLIN,
Directeur du Préhistomuseum

CLASSEMENT DE LA BELLE-ROCHE (SPRIMONT)

Le 26 août 2022, Valérie De Bue, Ministre en charge du Patrimoine, a signé l'arrêté de classement du site archéologique de la Belle-Roche à Sprimont. Les premières initiatives pour donner un statut de protection à ce site d'un intérêt archéologique et paléontologique exceptionnel remontent à... 1992 ! Le classement englobe le gisement paléontologique proprement dit, ainsi qu'une zone de protection intégrant certains terrains dans lesquels il est susceptible de se prolonger (fig. 3).

Si le classement est signé, l'Arrêté doit encore être publié au Moniteur. C'est donc sur base des documents actuellement en notre possession et d'informations fournies par le Cabinet de la Ministre que nous décrivons les étapes, les enjeux et le devenir de ce site auquel vient d'être accordé ce statut de protection.



Fig. 1. Le site d'extraction de la Belle Roche en bord de l'Amblève (photo B. de Seille).

Découverte fortuite à la... dynamite

Le site archéologique de la Belle-Roche a été découvert en 1980 à la suite d'un tir de mine dans une carrière en activité qui exploite le calcaire de type petit granit, en bordure de l'Amblève. L'explosion a mis au jour une cavité karstique dans le front de taille.

Loin de l'idée que l'on se fait d'une grotte "classique", avec des volumes de vide, des salles, des galeries décorées de concrétions..., la cavité de la Belle-Roche est totalement colmatée par des dépôts anciens qui sont venus la boucher complètement. Ces coulées boueuses fossiles sont stratifiées ; plusieurs niveaux se sont révélés très riches en ossements d'animaux fossiles, disparus il y a environ 100.000 ans (fig. 2).

Les fouilles commencent dès la découverte et se poursuivent jusqu'en 1999. Une équipe pluridisciplinaire de l'asbl « Paléontologie et Archéologie karstique », en collaboration étroite avec l'Unité de Recherches de l'Université de

Liège (ULg) sous la direction du Professeur J.-M. Cordy est à la manœuvre.

Le gisement livre une très abondante collection d'ossements animaux fossiles (plus de 50.000 pièces !) datés d'au moins 350.000 ans et des silex taillés constituant les plus vieux vestiges d'origine humaine connus dans le Bénélux, remontant au Paléolithique inférieur. Plusieurs publications ont été consacrées à ces fouilles mais c'est le potentiel de découverte encore présent qui a dicté sa préservation pour permettre les études futures.

Longue marche vers le classement

La valeur patrimoniale du site est internationalement reconnue... et la nécessité de sa protection est évidente, alors que le site se trouve dans le périmètre d'exploitation d'une carrière en activité et en zone extractive.

Cependant, son classement ne sera pas une simple formalité... Nous résumons ci-après quelques-unes des étapes qui ont émaillé ce parcours mouvementé.

· **Début 1992** : premières démarches entamées (avec le soutien de la Commission Royale des Monuments et Sites) pour faire classer le site, vu sa valeur scientifique et patrimoniale.

· **20 juin 1992** : la Belle-Roche est placée sur la liste de sauvegarde du patrimoine. Ce statut offre une protection temporaire d'une durée d'un an. Il permet de mener les démarches pour faire aboutir un statut plus durable (tel un classement) en évitant que le site ne soit dégradé pendant cette période.

· **En mars 1993**, la CRMSF rentre une demande de classement auprès de l'administration (Aménagement du territoire). Quelques semaines plus tard, la réponse est... négative, l'administration estimant que le classement n'est PAS le bon statut. Celui-ci doit être réservé à des biens dont l'intérêt est immuable ; or, selon l'administration, le gisement sera bouleversé et détruit avec la progression de sa fouille. La protection devrait donc être temporaire et se limiter à la durée des recherches.

· **En 1998**, le ministre du patrimoine charge son administration de réévaluer la possibilité d'un classement. Il s'agit de déterminer le périmètre à protéger et les règles à y imposer. L'octroi du statut est conditionné au développement d'un projet global avec mise en valeur (notamment pédagogique et touristique) du site.

· Le dossier reste en dormance jusqu'en **mars 2021**. La procédure d'un classement éventuel est relancée et une fiche patrimoine pour le site est éditée par l'administration (en août 2021). Celle-ci met clairement en évidence l'intérêt exceptionnel du site.

· **Janvier 2022**. La Ministre De Bue signe le projet de classement, avec délimitation du périmètre de protection (fig. 3)

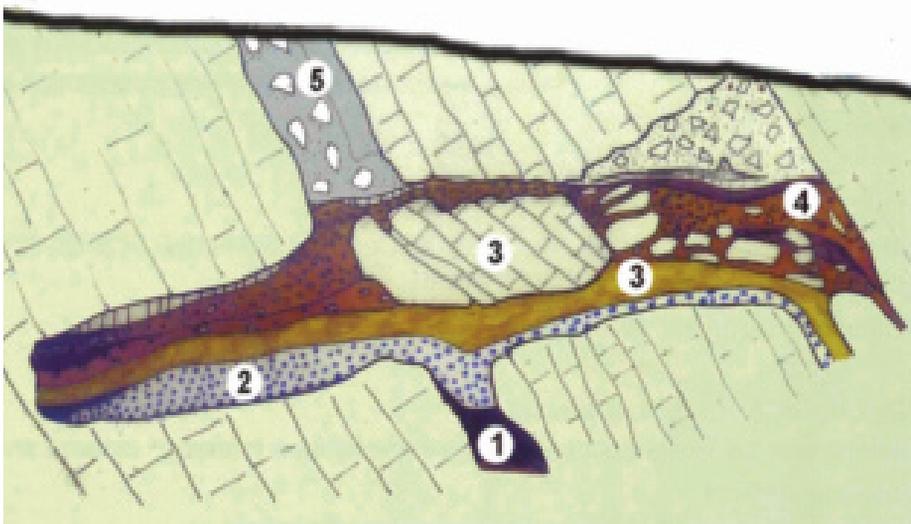


Fig. 2. La coupe stratigraphique laisse voir une cavité totalement colmatée par des sédiments étagés (1= les plus anciens, 5 les plus récents).

partie droite). Les demandes d'avis, consultations de diverses commissions et administrations et enquêtes publiques peuvent alors commencer pour permettre d'aboutir à un classement définitif et à une modification de statut au plan de secteur.

- Enfin, le 26 aout 2022, signature par la Ministre de l'Arrêté définitif de classement.

Périmètre classé et mesures conservatoires

Par rapport à l'extension initiale proposée à la consultation, le périmètre finalement retenu a été réduit, sur base d'une analyse scientifique menée par l'AWaP avec le professeur J.-M. Cordy, à la suite des réactions suscitées par la consultation (fig. 3). Il est situé sur la parcelle cadastrale Sprimont, 1^{ère} division, section O, parcelle n° 754. Une zone de protection doit permettre d'inclure l'extension potentielle du gisement.

Dans l'Arrêté, la carrière est identifiée comme la principale menace pour le gisement de la Belle-Roche. Si elle est involontairement à l'origine de sa découverte, son extension mènerait à la disparition de ce site paléontologique et archéologique remarquable. Comme dans tous les arrêtés de classement, l'article 3 précise les interdits (sauf autorisation préalable accordée par les autorités) s'appliquant au site pour en garantir la protection. Parmi ceux-ci, on peut noter les interdictions :

- 1° d'effectuer tous travaux de terrassement... fouilles, ouvertures de carrières... sondages
- 10° d'exercer toute activité de nature à menacer l'intégrité du bien classé dont la pratique de sports mécaniques, la marche, les jeux de pistes ou encore la pratique de l'escalade.

Au regard du classement et de la cessation de l'activité extractive sur le périmètre classé, on peut légitimement penser que la Belle-Roche n'est plus menacée à court ni à moyen terme.

Le classement a pour objectif de faire de ce site présentant encore un important potentiel de découverte, une réserve archéologique pour les générations futures. L'évolution remarquable des technologies d'investigation et d'analyse dans le domaine de l'archéologie laisse espérer qu'à l'avenir, la Belle-Roche pourra révéler de nouvelles informations précieuses sur notre environnement il y a 500.000 ans.

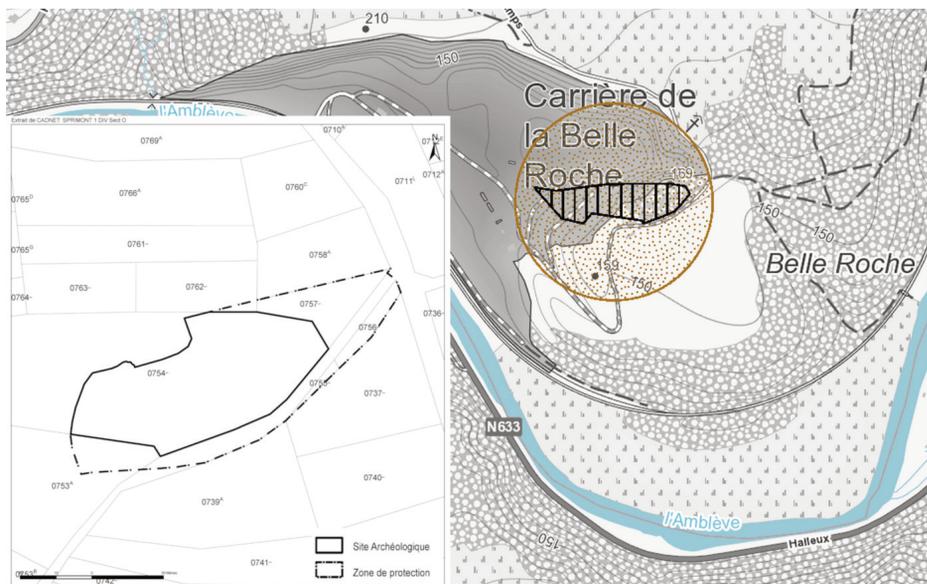


Fig. 3. A gauche (encart), le périmètre classé avec sa zone de protection (tireté) tel que délimité dans l'Arrêté du 26 aout 2022. Sur le fond de carte (à droite), la zone hachurée correspond au périmètre proposé pour le classement (janv. 2022), qui a été amputé de toute sa partie ouest.

Fouilles à venir, surveillance du site et valorisation

Vu la limite des moyens disponibles, les investigations archéologiques en Région wallonne (AWaP) se focalisent aujourd'hui sur les fouilles préventives ; à savoir des sites menacés de destruction dans un délai rapproché et de façon inéluctable. Avec son classement, le site de la Belle-Roche sort de ce cadre et il n'est donc pas prévu que les pouvoirs publics y financent de nouvelles recherches.

Néanmoins, une demande de permis de fouille introduite par une institution ou une association privée qui démontrerait l'intérêt de la fouille et qui prouverait ses capa-

ités d'intervention dans ce site particulièrement complexe, ferait l'objet d'une analyse au sein de l'administration et d'un possible accord.

Les études les plus récentes (Delvigne et al, 2021), apportent des réponses précises quant aux processus dépositionnels et à la taphonomie du site. Au regard de la quantité de sédiment à déplacer (entraînant d'importants coûts) et vu la quantité d'artefacts proportionnellement peu élevée qui pourrait être mise au jour, l'exigence d'un projet global de mise en valeur, évoqué en 1998, paraît aujourd'hui excessif.



Fig. 4. Le site clôturé de la Belle-Roche, avec vestige de la toiture recouvrant le chantier de fouille de 1999 (photo P. Xhaard, 2022).

L'idée n'est cependant pas écartée, mais, vu l'exploitation de la carrière toujours en cours et projetée sur une période de 20 à 30 ans (selon la demande de changement d'affectation au plan de secteur), ce projet global ne devrait idéalement être développé qu'à l'issue de la période d'exploitation.

C'est notamment pourquoi la notion de réserve archéologique à destination des générations futures est mise en évidence dans l'arrêté de classement.

Pour garantir son intégrité et éviter les fouilles sauvages, la Belle-Roche a été clôturée depuis de nombreuses années. C'est le Centre d'Interprétation de la Pierre, à la demande de la commune de Sprimont, et l'Université de Liège, qui interviennent en première ligne si nécessaire.

Suite à une effraction constatée sur le site cet hiver par un riverain, des mesures de protection accrues ont été prises. Les services de police se sont engagés à surveiller le site et à y effectuer des rondes régulières.

En complément des pièces exposées au Grand Curtius à Liège, une partie des collections de l'Université de Liège provenant du site de la Belle-Roche sera présentée au public dans l'**Espace Muséal du Centre d'Interprétation de la Pierre à Sprimont**, dont une aile sera inaugurée le vendredi 23 septembre 2022.

Une occasion pour visiter ce lieu formidable... dans un bâtiment classé et consacré en grande partie à la pierre calcaire et d'en connaître plus sur les découvertes faites à la Belle-Roche.

Georges MICHEL

Pour en savoir plus sur la Belle Roche

Delvigne V., Fernandes P. & Noiret P. 2021. — *Quand la pétroarchéologie questionne la notion de site : états de surface et taphonomie des objets lithiques de La Belle-Roche (Sprimont, Prov. de Liège, Belgique)*. *Comptes Rendus Palevol* 20 (41) : 839-857.

<https://doi.org/10.5852/cr-palevol2021v20a41>

LE RADON EN GROTTES

Résultats d'une année de mesures réalisées dans la grotte du Noû Bleû (Sprimont)



Introduction

Dans l'Eco Karst 125 de septembre 2021, je vous décrivais brièvement mon intérêt pour la radio-activité naturelle dans les grottes et plus spécifiquement le radon. Avec la collaboration de l'AFCN, j'ai organisé une campagne de mesures dans la grotte du Noû Bleû sur une année complète, de février 2021 à février 2022.

L'opération avait pour but d'enregistrer la concentration du radon dans l'air de la grotte et d'en observer les variations saisonnières.

Au total, il y eut 13 mesures quasi mensuelles (relevées tous les 28 jours) dans 4 salles soigneusement sélectionnées en fonction de leurs particularités et de leurs aérologies. Pour des raisons pratiques et économiques, ces mesures ont été prises grâce à des capteurs passifs fournis.

Petit rappel

Le radon (Rn-222) est un gaz noble radioactif qui pose un problème sanitaire dans les cavités souterraines mal ventilées, qu'elles soient naturelles ou artificielles, telles les caves, mines, grottes, etc. Ce gaz est produit de manière continue par la désintégration de l'uranium (U-238) présent à l'état naturel dans l'ensemble de la croûte terrestre. La demi-vie du radon étant de 3,8 jours, il finit par se désintégrer en d'autres isotopes non-gazeux.

Comme sa production et sa désintégration sont en équilibre, il en existerait une quantité finie dans l'atmosphère terrestre. Bien entendu, des phénomènes géologiques tels que l'activité tectonique (volcanisme, séismes, fissuration, etc.) influencent localement le flux de radon, mais à l'échelle du globe sa concentration est plutôt stable.

Si le radon est présent dans certaines roches calcaires et en particulier dans le karst, on associe ses plus fortes concentrations avec d'autres roches tels que les granits. En wallonie, ce sont les quartzophyllades du plateau ardennais qui sont considérés comme les substrats les plus "à risque", à tel point que des contrôles sont recommandés



Fig 1. Datalogger enregistrant en continu des maxima de becquerel présents dans la cavité.

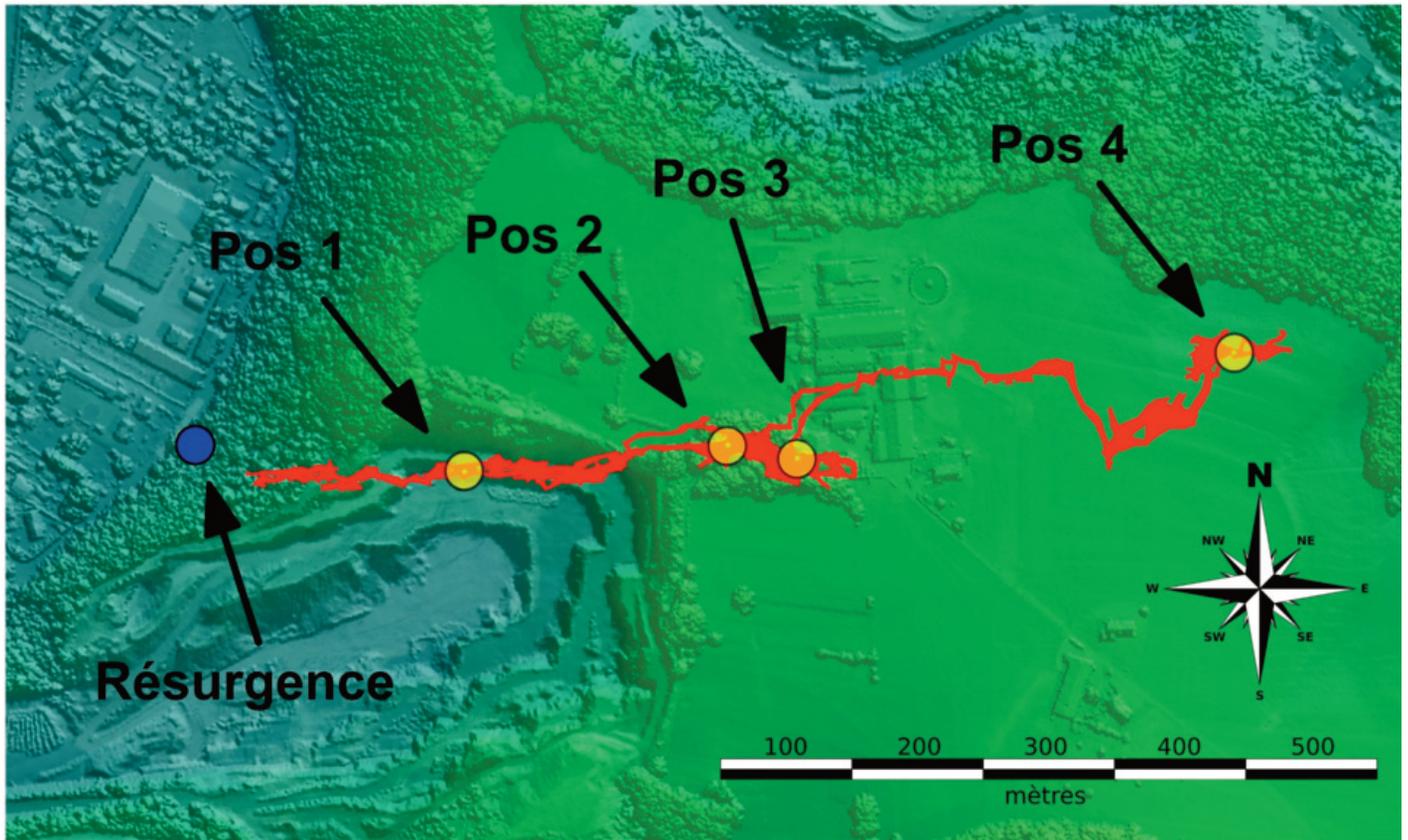


Fig. 2. Topographie schématique du réseau du Noû Bleu, avec positionnement des 4 stations de mesures (Pos 1 à Pos 4) où le radon est mesuré mensuellement.

dans les caves de certaines habitations dans la province de Luxembourg. Les concentrations en radon peuvent régulièrement y dépasser les normes de santé publique dans des espaces clos et mal ventilés.

Les mesures dépassant parfois 10.000 Bq/m³ enregistrées dans le Noû Bleu démontrent qu'une plus grande attention doit aussi être apportée au karst. Comme cette étude le démontre, il serait utile d'intégrer un certain nombre de cavités naturelles dans le réseau de monitoring et de surveillance du radon en Wallonie.

Les capteurs de radon utilisés

De conception simple, compacte et robuste, ces capteurs sont munis d'une petite chambre dotée d'une lame en polymère qui comptabilise les minuscules impacts laissés par les particules alpha émises lors de la désintégration du radon présent dans l'air ambiant.

Cet appareillage permet de comptabiliser la totalité du rayonnement sur la durée d'exposition en grotte. Cette valeur peut ensuite être ramenée à une unité de temps pour évaluer l'intensité du rayonnement ainsi que sa dangerosité. Dans le cas présent, elles sont ramenées à des valeurs moyennes mensuelles.

Ce dispositif a été ponctuellement renforcé par l'installation de détecteurs électroniques (data loggers) afin d'obtenir des données plus précises durant les maxima des saisons chaudes et froides.

Les emplacements

Ceux-ci sont repris sur la figure 2. Ils ont été choisis en différents lieux de la cavité pour disposer de conditions différentes : proximité des entrées et de la rivière, nature du substrat (épaisseurs des alluvions), présence de concrétions et/ou aérologie locale.

Tous ces éléments peuvent potentiellement avoir une incidence sur la diffusion et l'accumulation du radon dans un espace confiné tel qu'une cavité.

Position n°1 - la Salle Dévoilée

Grande salle peu concrétionnée située sur un parcours jonctionnant les 2 entrées connues. Les fortes variations de température confirment qu'elle est soumise à un courant d'air régulier. Le capteur se trouve dans le fond de la salle, à proximité de la paroi nord.

- 77 m de l'entrée principale / 57 m de l'entrée secondaire (vers l'aval)
- 4,2 m au dessus du niveau de la rivière

Position n°2 - Vestiaire Amont (Cocognes)

Large galerie fortement concrétionnée s'ouvrant sur une vaste salle avec accès direct à la rivière. Très faible circulation d'air pulsante. Le capteur se situe sur le versant sud.

- 131 m de l'entrée principale (vers l'amont)
- 8,1 m au dessus du niveau de la rivière

Position n°3 - Salle de la Chasse aux Œufs

Très grande salle à forte inclinaison. Modérément concrétionnée, aucun courant d'air ne semble y passer. Le capteur se trouve en son point bas.

- 170 m de l'entrée principale (vers l'amont)
- 27 m au dessus du niveau de la rivière

Position n°4 - Galerie de l'Amanite

Galerie de dimensions moyennes, située aux abords directs de la rivière active. Très humide et proche du dernier siphon connu, aucun courant d'air n'y a été détecté.

- 522 m de l'entrée principale (vers l'amont)
- 2 m au dessus du niveau de la rivière

Relevés mensuels du 1/02/2021 au 6/02/2022
Capteurs passifs (modèles CC109)

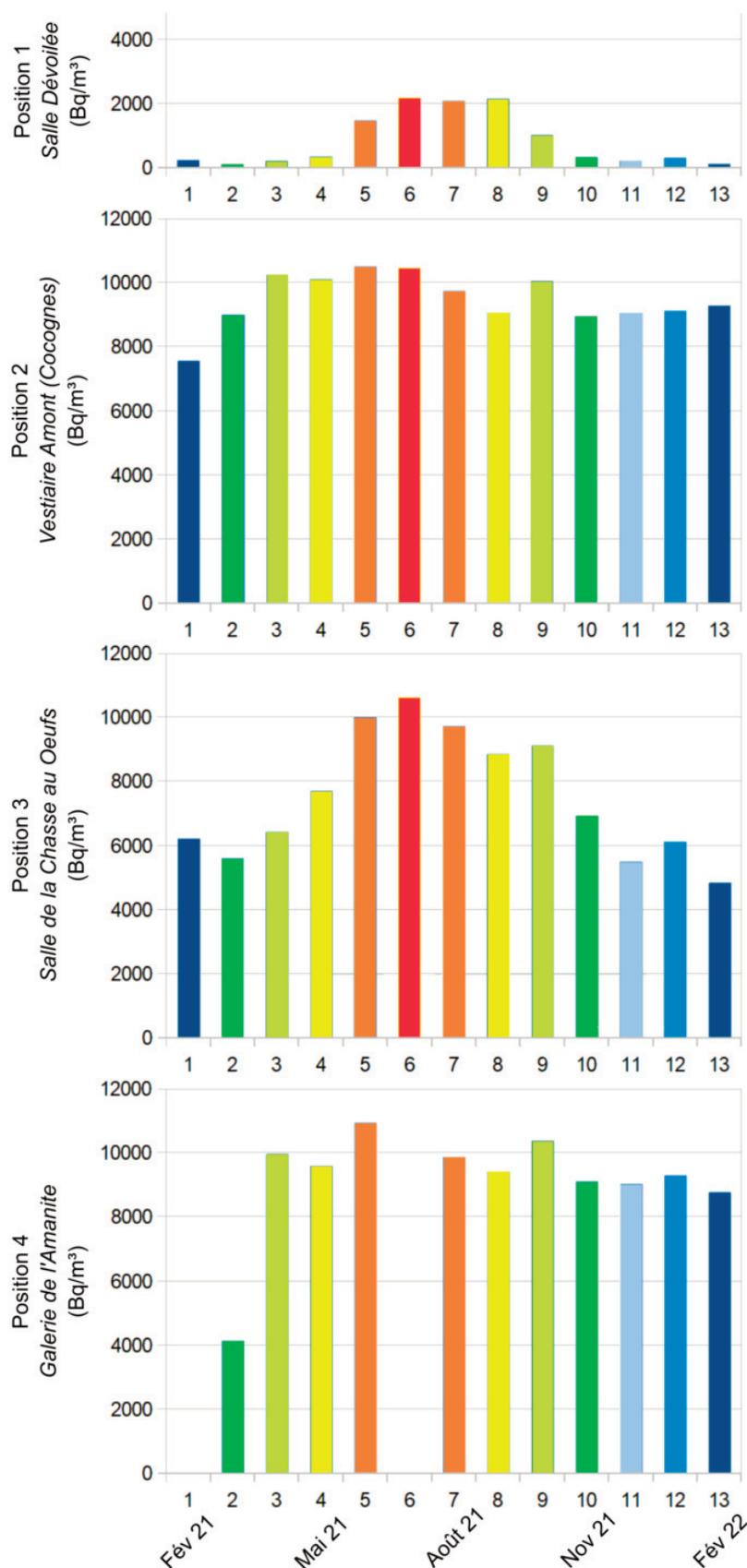


Fig. 3. Variation saisonnière (moyennes mensuelles) de la concentration en radon aux 4 stations du NouÛ Bleû, basée sur les mesures réalisées entre janvier 2021 et février 2022.

Résultats et commentaires

Au premier coup d'œil, nous pouvons constater une variation saisonnière des concentrations de radon (fig.3). Les maxima ont été enregistrés durant les mois de juin et juillet et les minima en janvier et mars : une saisonnalité assez similaire à celle du CO₂ dans l'air des grottes, qui présente son maxima un rien plus tard (mois d'août) et qui serait liée à la production/ respiration biologique dans le sol, dopée en été par rapport aux mois d'hiver (voir Ek et Godissart).

Cette variation saisonnière est bien marquée pour les 3 positions qui se trouvent à moins de 200 mètres à vol d'oiseau d'une entrée connue. Les données recueillies à la position 4 sont moins explicites. La station est éloignée des entrées et située aux abords directs de la rivière, elle semble moins soumise à cette variation saisonnière, le niveau restant élevé (supérieur à 8000 Bq/m³) toute l'année, à l'exception de février 2021.

Malheureusement cette zone était inaccessible (pour cause de crues) lors de la pose des premiers capteurs et un second a été perdu lors de l'épisode de crue du 15 juillet 2021, ce qui nous prive de deux données a priori intéressantes (points 1 et 6).

Sachant que la production / désintégration du radon est constante, il serait tentant d'établir une corrélation entre sa concentration et des phénomènes aérologiques (ventilation) pour expliquer ces variations saisonnières.

Pour la station de mesure située en position 4, les maxima d'été tournent autour des 26000 Bq/m³ avec une moyenne annuelle d'un peu plus de 9000 Bq/m³.

A titre de comparaison, la grotte de Ramiou qui est très riche en radon atteint des pics estivaux vers les 50000 Bq/m³ (probablement liés à la présence de schistes alluvionnaires situés au contact des calcaires dans lesquels s'est formée la cavité). A la grotte de l'Abîme à Comblain-au-Pont, les valeurs dépassent rarement les 4000 Bq/m³.

Il faudrait disposer de données provenant d'un nombre bien plus important de cavités et de les confronter avec la morphologie, la nature de la roche et les flux d'airs spécifiques à chacun de ces sites souterrains pour comprendre les variables déterminantes dans les poussées de radon observées dans certaines grottes.

L'aéologie, la nature des roches environnantes plus ou moins riches en uranium (schistes, sédiments, types de calcaires, etc.) et la fissuration sont des éléments importants à prendre en considération lors de l'interprétation de ces données.

Data loggers et effets de la pression atmosphérique

Les data loggers nous ont fourni des données plus précises.

La figure 4 montre les mesures horaires entre le 15 novembre et le 12 décembre, prises simultanément aux positions 4 (bleu), 2 (orange) et 1 (vert), avec en noir la superposition de la pression atmosphérique relevée par une station météo située à seulement 7 km de la grotte (Louveigné).

Il est intéressant de constater que la concentration de radon varie inversement à la pression atmosphérique. Quand la pression diminue, la concentration augmente et vice-versa. D'après la loi des gaz parfait, à la température constante de la grotte (~10,4°C), lorsque la pression diminue, la densité de l'air diminue également. Autrement dit, l'espace entre les molécules de l'air augmente. Par conséquent la concentration de radon devrait diminuer de la même façon ; or, nous observons exactement le contraire : quand la pression diminue, la concentration de radon augmente et inversement. Le phénomène est plutôt surprenant et ouvre la porte à certaines hypothèses.

La pression atmosphérique agirait comme une pompe à radon, le flux de gaz émanant de la microfissuration serait extrait plus rapidement lorsque la pression atmosphérique chute. D'après les données recueillies, une diminution de 1 hPa augmenterait la

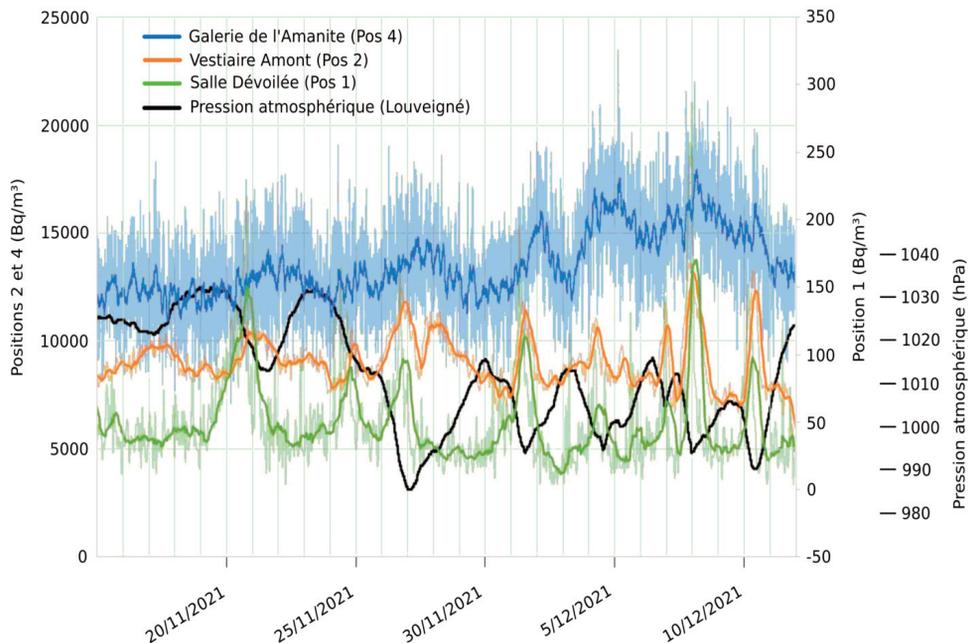


Fig. 4. Variation des concentrations en radon mesurées avec les dataloggers entre le 15 novembre et le 12 décembre, mis en parallèle avec la fluctuation de la pression atmosphérique enregistrée à Louveigné (en noir).

concentration du radon d'environ 150 Bq/m³ d'air (valeur moyenne approchée). Pour en savoir d'avantage sur cette curieuse variation, de nouvelles observations seront menées dans d'autres grottes.

Gauthier ROBA

Collectif Noû Bleû



CWEPPSS asbl

Secrétariat : av. G. Gilbert 20, 1050 Bruxelles

Tél: 02/647.54.90 - contact@cweppss.org

Siège social: Clos des Pommiers, 26 - 1310 La Hulpe

Ce nouvel Eco Karst, correspond déjà au 3^e numéro de l'année 2022. Voici donc une nouvelle occasion parfaite de **renouveler votre cotisation !** La **cotisation annuelle à la CWEPPSS**, qui donne droit à l'envoi de 4 n° de l'Eco Karst, s'élève à :

- **15 € par membre adhérent** (abonnement seul)
- **20 € par membre effectif** (abonnement + droit de vote à l'assemblée générale). Il est impératif pour cela de nous fournir vos **coordonnées complètes! (e-mail inclus)**.



Si l'étiquette est marquée d'un point rouge: c'est que vous n'êtes pas encore en ordre de cotisation, merci de régulariser la situation pour continuer de recevoir notre revue.

Le paiement se fait par virement. avec en communication **votre nom et la mention "cotisation 2022"**.

IBAN : BE68 0011 5185 9034 / BIC : GEABEBB

Dons exonérés d'impôts

Notre association de protection de la Nature est également agréée pour les dons exonérés d'impôt. Une attestation fiscale vous parviendra pour **tout don annuel d'au moins 40 €** effectué avant le 31/12 de chaque année.

Les dons sont à effectuer par virement, en nous communiquant **vos coordonnées complètes et la mention "Don exonéré d'impôts"**.

Traitement des données

Conformément au RGPD, nous garantissons que vos coordonnées ne sont pas transmises à des tiers, et que vous disposez du droit de consultation, modification et suppression de celles-ci.

Si vous ne souhaitez plus recevoir notre périodique, merci de nous en informer par email (contact@cweppss.org).