

ACTIVITES DU DIMANCHE

UBS





Visites des réseaux « spéléo » du Domaine des Grottes de Han.

Dans le cadre de nos accords avec la Société du Domaine des Grottes de Han, les spéléologues sont autorisés à visiter les parties non touristiques du Domaine. Cette autorisation s'inscrit dans un cadre précis et adapté à chaque partie du réseau.

Cela signifie que ces visites sont soumises à des conditions motivées par la protection du site et des recherches scientifiques qui s'y déroulent et doivent respecter la faune et plus particulièrement la période d'hibernation des chauves-souris. Nous devons également tenir compte de l'accessibilité au réseau en période de hautes eaux qui pourraient rendre la visite dangereuse voire impossible. Et pour finir, étant sur une propriété privée qui est également une attraction touristique ces visites ne peuvent constituer une entrave à l'exploitation du site.

Les visites s'organiseront 2 fois par an. Chaque visite se compose de 2 groupes de maximum 10 personnes. Ces visites sont obligatoirement encadrées par des « guides Protact ».

Ces visites s'adressent à des spéléos confirmés, en ordre d'affiliation et d'assurance.

Le strict respect du site et des consignes des guides est indispensable.
Éclairage électrique exclusivement et matériel propre.

Comment s'inscrire ?

Seules, seront prises en compte les demandes individuelles (pas de réservations pour un club ou pour plusieurs personnes) qui nous parviendront via le formulaire en ligne dédié.

Les spéléos qui ont déjà eu l'occasion de visiter ces réseaux auront la courtoisie de laisser la place à ceux qui n'y sont jamais allés.

Les prochaines visites seront programmées le 16 juin 2024 dans le cadre des 40 ans de l'UBS et le 21 septembre 2024 dans le cadre de la Fête de la Spéléo.

Informations pratiques

Les informations pratiques (lieux de rendez-vous et horaires précis) sont communiquées aux participants en même temps que la confirmation de leur inscription.

Grotte du Père Noël

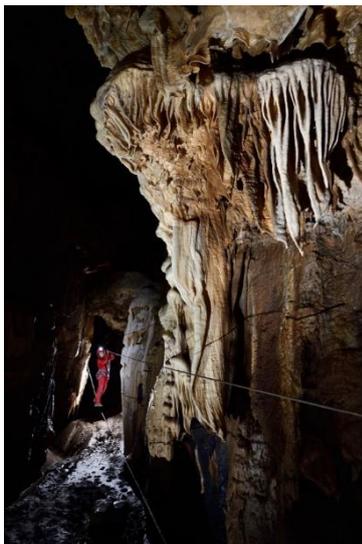
Située au cœur du parc animalier. Cette cavité du massif de Boine n'est pas connectée physiquement à la Grotte de Han (tout en faisant partie du même complexe hydrologique).

Caractéristiques.

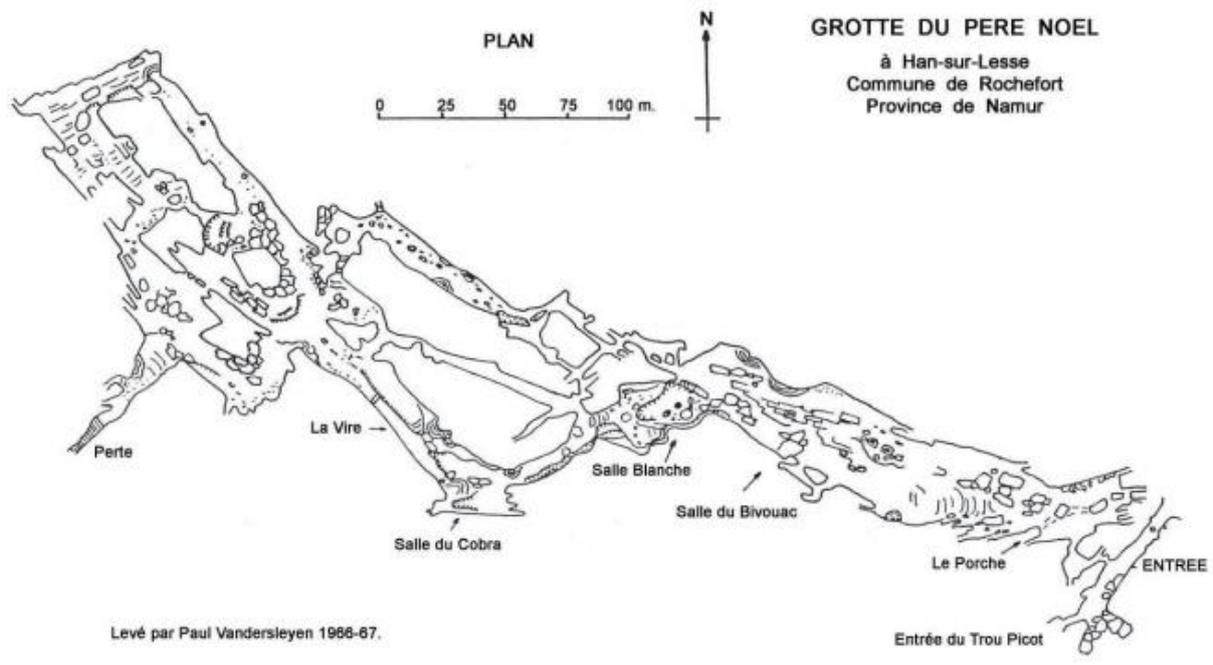
Grands volumes et salles très concrétionnées. Une descente dans des éboulis permet d'accéder à la galerie principale qui mesure 175 m de long et 40 m de large dans sa plus grande diagonale. La progression s'effectue majoritairement sur des éboulis qui sont par endroit particulièrement glissants (même pour des spéléos). La salle Blanche qui lui fait suite est le début des salles particulièrement bien décorées. Un pont de singe permet de franchir la galerie de la boue. Les visites ne sont autorisées que jusque la salle du Cobra (le reste de la grotte étant en réserve intégrale).

Aucune difficulté technique. L'usage du baudrier et des longes est nécessaire pour le passage du pont de singe et des parties sécurisées par des câbles. Dév. 2115 m

Temps d'une visite de 1h30 à 2h30 selon le temps consacré à la contemplation.







Levé par Paul Vandersleyen 1966-67.

Réseaux Sud

Moins connu que la Grotte du Père Noel, le Réseau Sud fait partie de la Grotte de Han. On y accède par la partie touristique, en traversant la Lesse à la salle des Draperies. Le parcours est plus long et varié que dans la grotte du Père Noel.

Caractéristiques.

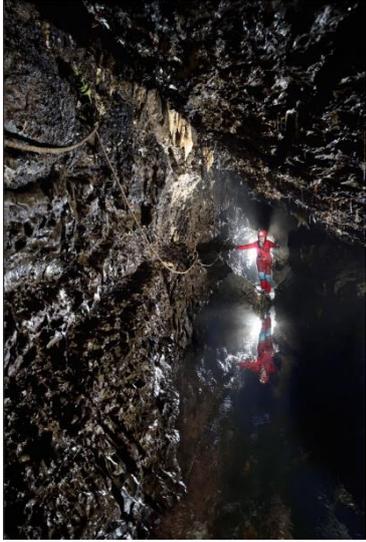
Réseau en partie actif (ce qui peut le rendre inaccessible hors période d'étiage), constitué d'une succession de 4 grandes salles principales (Cornet, Sinanthrope, Corail et Pentecôte) entrecoupée de passages bas ou dans la rivière. Aucune difficulté technique particulière. Baudrier et longues utiles pour la montée au Corail et le passage de l'Egout. Prévoir de se mouiller les pieds et le bas des jambes.

Concrétionnement important dans la salle Cornet et surtout dans la salle de la Pentecôte. Présence d'excentriques.

Temps d'une visite de 3h à 5h suivant les conditions.







Trou des Crevés

Cavité du massif de Boine non connectée physiquement au reste du réseau. L'accès se fait en traversant la Lesse puis via un siphon qu'il faut désamorcer à chaque visite. Inaccessible hors des périodes d'étiage. Dév. 1440 m

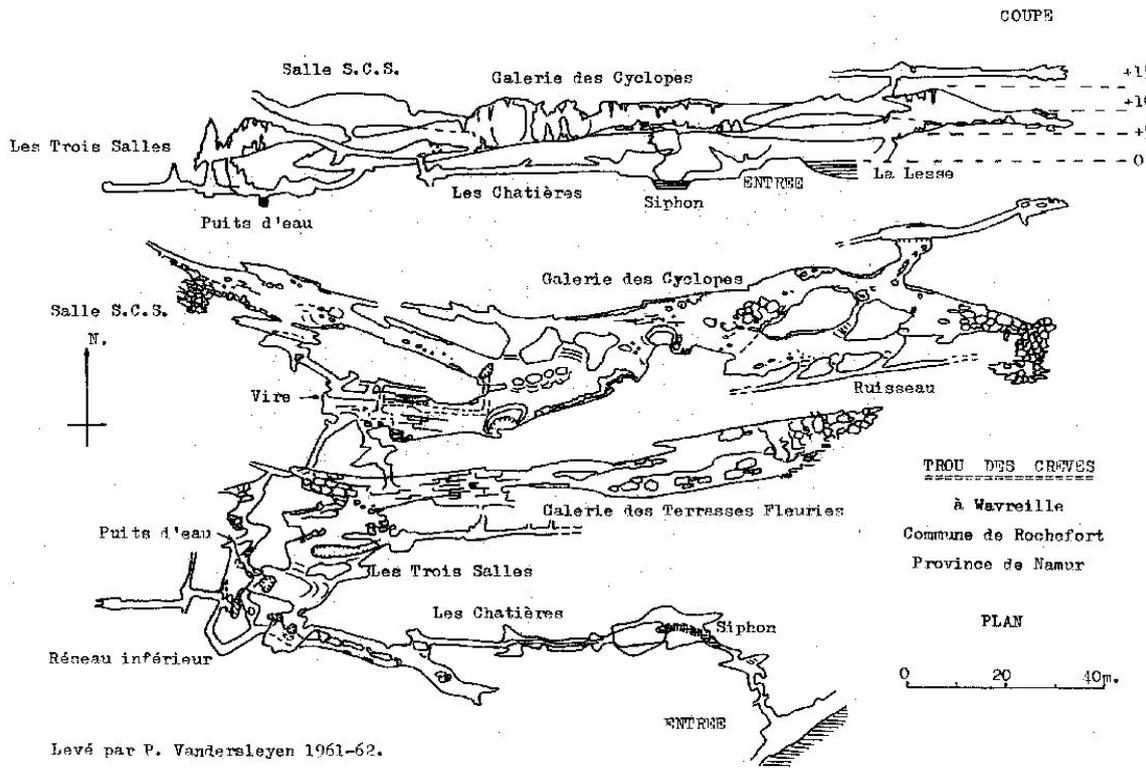
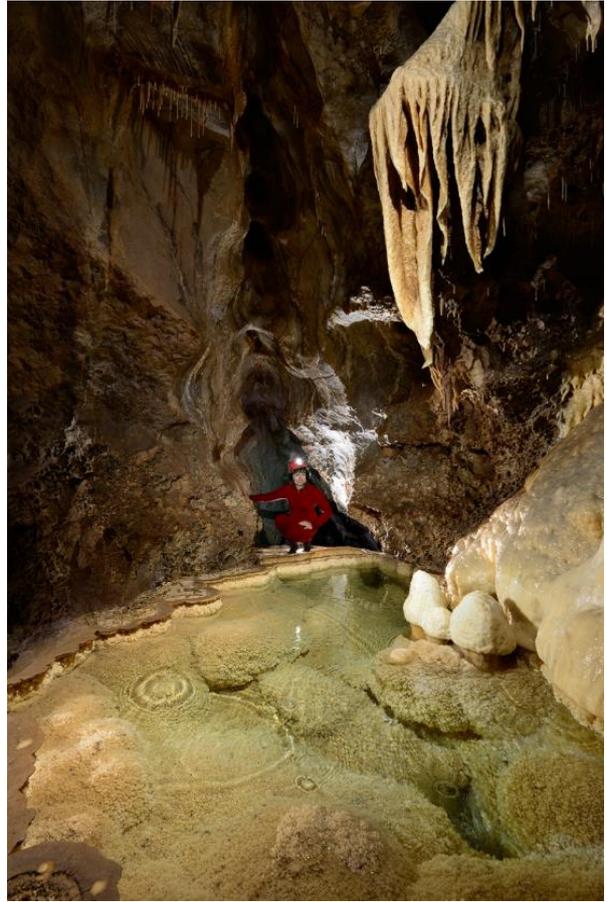
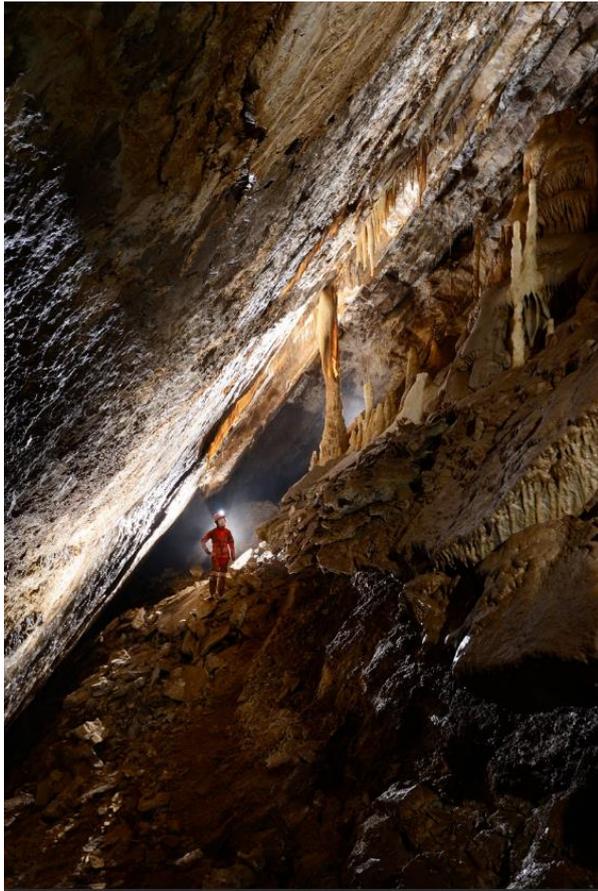
Caractéristiques

Deux grandes galeries parallèles de dimensions plus que respectables pour la Belgique, reliées par quelques petites reptations et contorsions au-delà du siphon d'entrée. Dépôts de sédiments remarquables, des placages de galets au plafonds et les étages bien concrétionnés.

Une progression relativement aisée, qui nécessite toutefois de se mouiller pour la traversée de la rivière et dans le siphon (suivant le niveau d'eau résiduel).

Temps de visite : 2h (hors opération de pompage).







BALADE GÉOLOGIQUE GROTTES DE LORETTE-ROCHEFORT

UN LABORATOIRE SCIENTIFIQUE SOUTERRAIN

1. La société d'exploitation du site : l'asbl Grotte de Lorette

La Grotte de Lorette Rochefort s'intègre dans un ensemble harmonieux qui va de la recherche scientifique de pointe à la diffusion des connaissances issues de ces recherches pour le grand public. Cette association résulte d'une synergie entre les pouvoirs publics (la commune de Rochefort), une société privée (la S.A. Domaine des Grottes de Han) et une asbl scientifique : le CERAK (Centre d'Etudes et de Recherches Appliquées au Karst, Faculté polytechnique de Mons). Pour réaliser ce programme, nous disposons de quatre outils principaux.

2. Les outils pédagogiques

- + Le circuit touristique souterrain dans la partie est de la grotte.
- + Le videokarst.
- + La maison du Val d'enfer.
- + Un livret-guide.

3. Le laboratoire souterrain

Il est installé pour étudier les modalités du mouvement de failles actives. La grotte est en effet un milieu exceptionnel pour étudier les déformations de l'écorce terrestre.

L'enchevêtrement des galeries fournit un cadre géométrique qui constitue un référentiel dont les déformations peuvent être exactement mesurées. C'est un milieu protégé des dégradations dues aux agents de l'érosion en surface : pluie, gel,... Les stalagmites, qui sont aussi déformées, peuvent être datées et servir d'horloge géologique.

Les appareillages installés sous terre servent donc à enregistrer les déformations de l'écorce terrestre. Les failles sont équipées d'extensomètres qui mesurent les mouvements de ces failles. Un sismomètre enregistre les moindres tremblements de terre même insensibles pour l'homme qui pourraient accompagner ces déplacements. Il constitue aussi un élément du réseau de sismomètres installés dans toute la Belgique pour la surveillance sismique du

territoire. Un gravimètre mesure l'intensité de l'attraction terrestre et ses variations. Il faut savoir par exemple que les crues souterraines, suite aux grandes masses d'eau brutalement injectée dans les réseaux de grottes, modifie l'attraction terrestre. Il faut en tenir compte. Enfin, des capteurs climatiques de tous les types surveillent en permanence l'évolution de la température de l'air, de la roche, de l'eau d'infiltration, de la pression atmosphérique.

La visite du 40^{ème} anniversaire de l'UBS consistera en une présentation du site et des travaux qui y sont entrepris. La descente dans la partie laboratoire, non visitables par es touristes, permettra de visionner les divers appareils et expériences souterrains. Cela permettra d'échanger, de poser des questions, de discuter.



L'entrée de la partie « Val d'Enfer ».

Grotte, recherche scientifique et communication

LE PROJET LORETTE

2022



La salle du Val d'Enfer. A droite, on voit le dispositif qui mesure les caractéristiques physico-chimiques et les traceurs des eaux d'infiltration.

Les participants au projet

Asbl « Grotte de Lorette »

Président : Christophe Davin – christophe.davin@rochefort.be

Observatoire Royal de Belgique

Thomas Lecocq – Thomas.Lecocq@seismology.be

Université de Mons

Scientifiques :

Olivier Kaufmann – olivier.kaufmann@umons.ac.be,

Yves Quinif – yves.quinif@umons.ac.be.

Université de Namur :

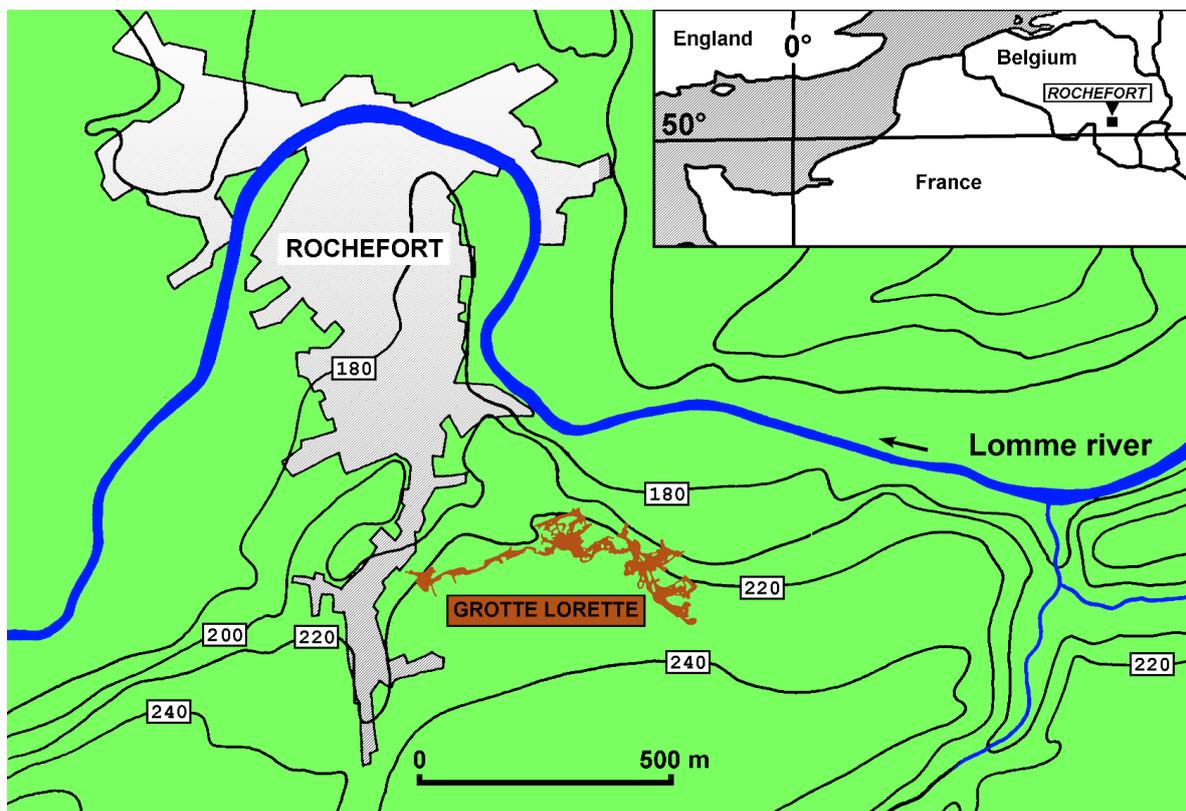
Vincent Hallet – vincent.hallet@unamur.be, Amaël Poulain – ap@traqua.be

Adresse : Asbl Grotte de Lorette, c/o Domaine des Grottes de Han, Rue J. Lamotte, 2, 5580 Han-sur-Lesse.

Les recherches

Le site

La Grotte de Rochefort est connue depuis 1865 avec son exploration par Alphonse Collignon. Ensuite, d'autres explorations dont certaines ont été faites à la fin du XXème siècle ont enrichi le réseau. L'étude scientifique proprement dite commence avec la thèse de doctorat de Camille Ek (« *Facteurs, processus et géomorphologie karstiques dans les calcaires paléozoïques de la Belgique* ».) en 1969. Il faut ensuite mentionner une synthèse topographique de différents documents existants par Jean-Louis Debock (figures 1a & 1b).



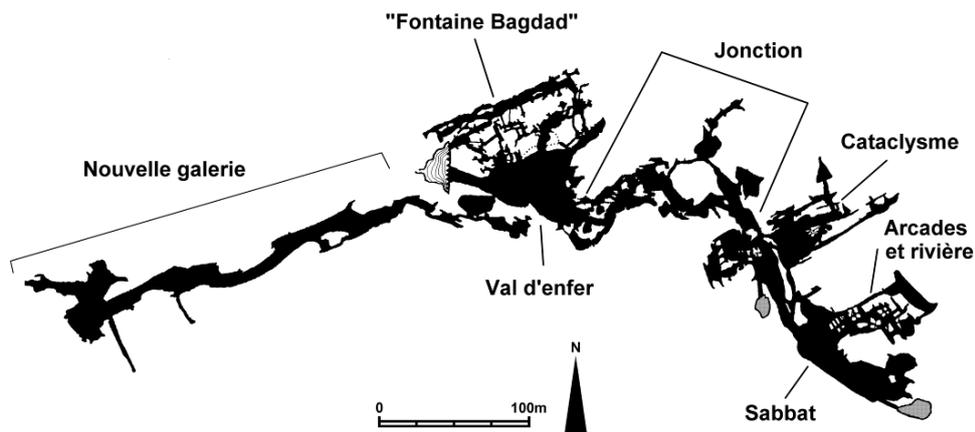


Figure 1a
(ci-dessus).
Localisation
du site.

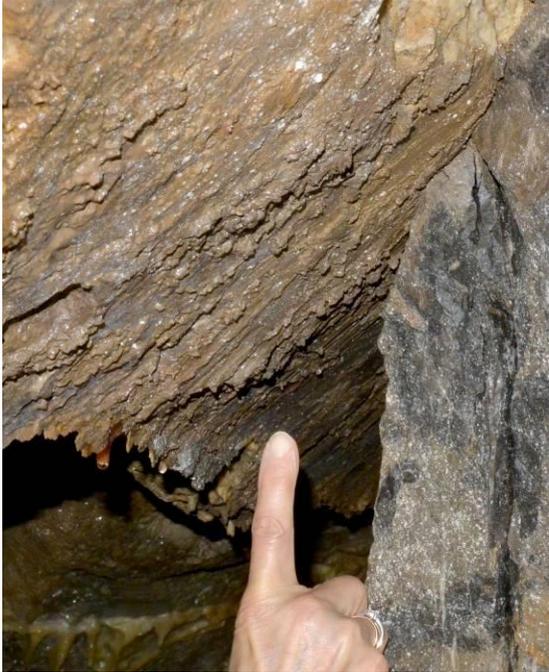
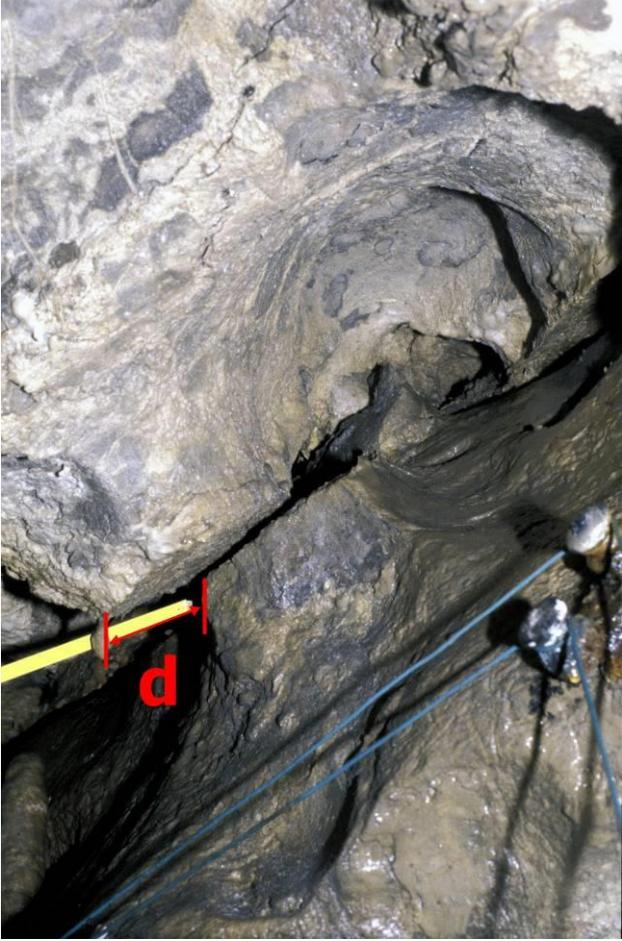
Figure 1b
(à gauche).
Plan de la
Grotte de
Lorette. Les
entrées
sont en
grisé.

La découverte

C'est en 1995 qu'une découverte fondamentale est faite par deux étudiants en maîtrise à l'Université de Lille : Sébastien Rohart (1995, 1996) et Denis Sagot (1995), sous la codirection d'Yvonne Battiau-Queney de l'Université de Lille et du CNRS et d'Yves. Quinif de la Faculté Polytechnique de Mons (FPMs) et va révolutionner l'étude de cette grotte. Si Denis réétudie les dépôts souterrains, Sébastien remarque que certaines fractures décalent les microformes karstiques (figure 2).

Figure 2a (à gauche). La faille dite « Fontaines – Bagdad » décale une forme karstique. La ligne rouge indique le déplacement de la voûte par rapport au socle inférieur d'une valeur d.

Figure 2b (ci-dessous). Les stries argileuses témoignent du mouvement de la faille.



Il s'avère qu'il s'agit bien de failles actives ayant modifié la géométrie initiale de la galerie ; elles sont donc postérieures à son creusement (figure 3). Une première phase de recherches commença avec l'étude en analyse structurale et karstologie prise en charge par Sara Vandycke et Yves Quinif de la Faculté Polytechnique de l'Université de Mons. Ces travaux préliminaires aboutirent à plusieurs publications (Quinif & Vandycke, 2001 ; Vandycke & Quinif, 2001).

Le projet touristique

Sur un autre plan, la reprise de l'exploitation touristique de la Grotte de Lorette fut chapeautée par une nouvelle asbl créée en 2001 « Grotte de Lorette-Rochefort » ayant pour mission de jumeler des recherches scientifiques de pointe et leur exposition aux touristes, inaugurant ainsi une exploitation touristique pédagogique du site (figure 4). Un subside européen et l'aide de la Société des Grottes de Han permit également de renouveler l'équipement touristique et de mettre en place un premier équipement en câbles (énergie et signal) dans la partie du laboratoire souterrain. Ceci allait s'avérer de première importance.



Figure 3. La galerie Fontaines-Bagdad, décalée par l'activité récente d'une faille (ligne rouge).

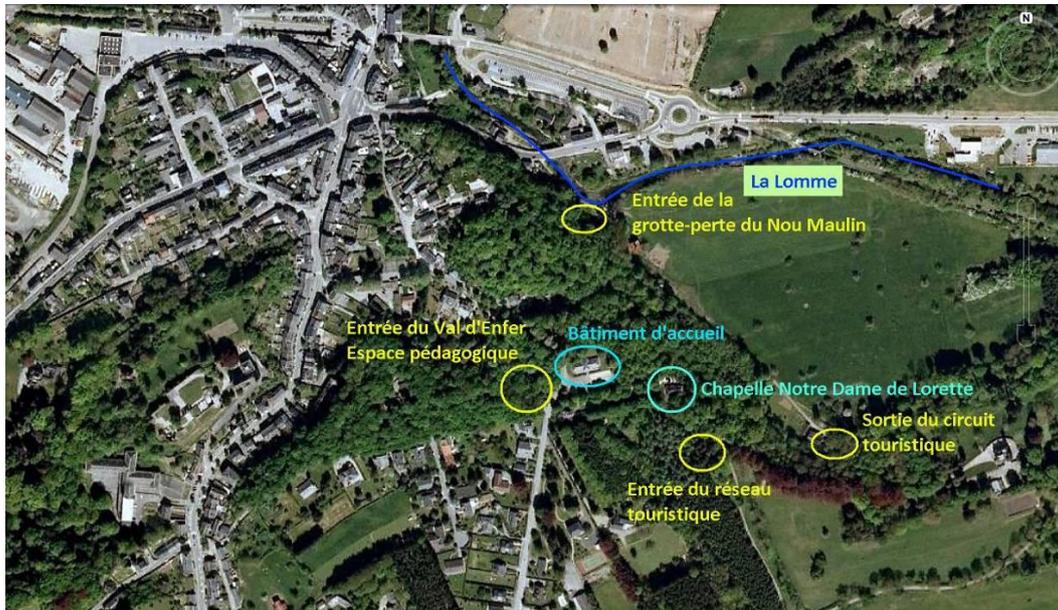


Figure 4. Le site de la Grotte de Lorette, sur une image « Google Earth ».

Les recherches en sismotectonique

Les observations du caractère « récent » des indices de mouvement ont intéressé Thierry Camelbeek de l'Observatoire Royal de Belgique (ORB). Qui dit faille active pense aussitôt à séismes. Même si aucun séisme n'a été détecté dans la région durant la période de mesures instrumentales, il lui apparut prometteur d'investiguer la grotte. Michel Van Ruymbeke de l'ORB se chargea de réaliser des extensomètres pour mesurer l'éventuel déplacement de la faille (figure 5). Un sismomètre fut installé dans la grotte ainsi que divers instruments de mesures (Quinif *et al.*, 1997).

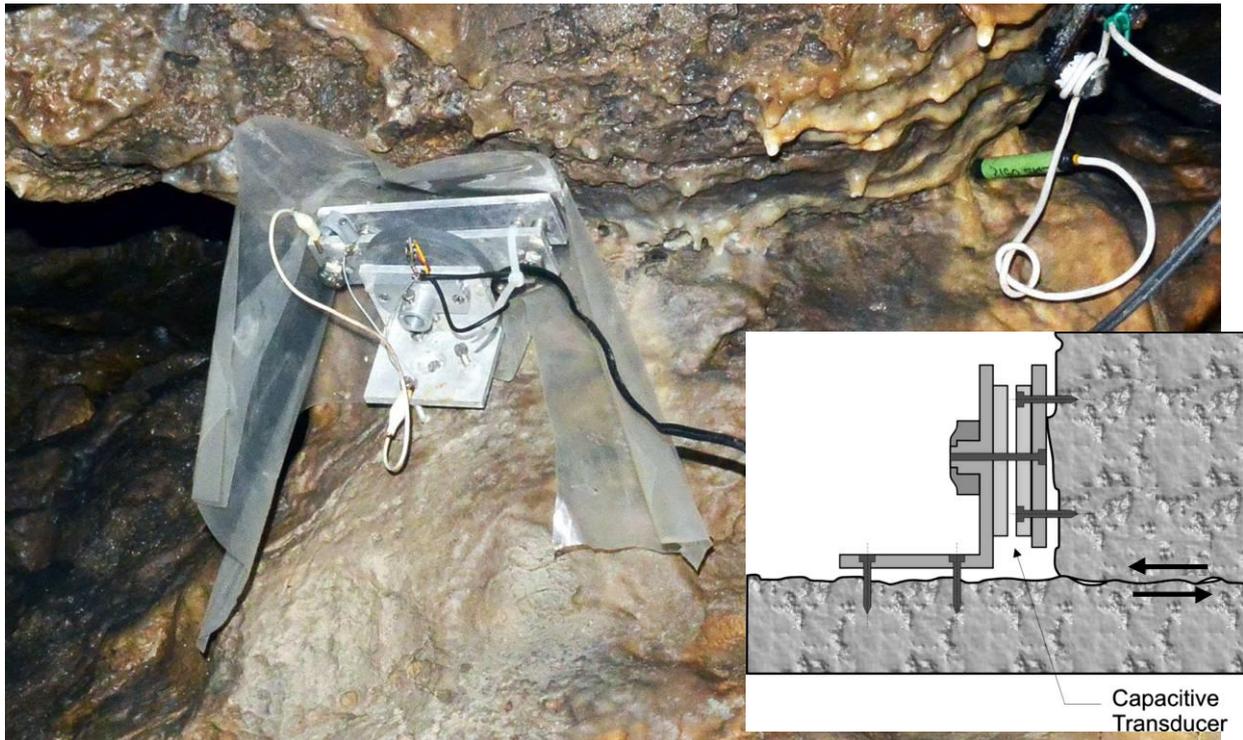
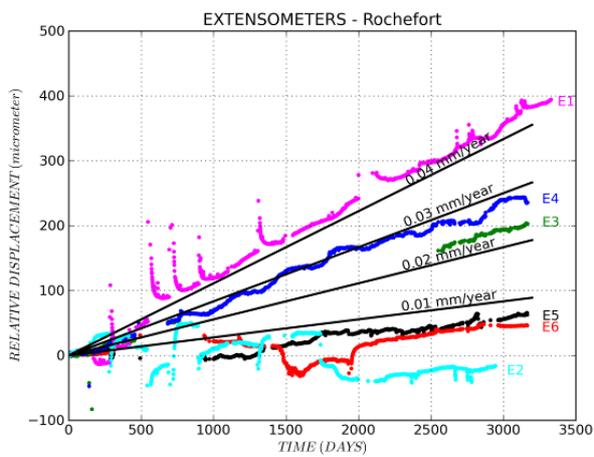
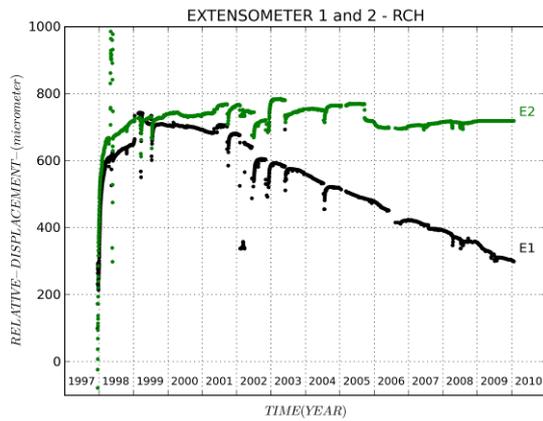


Figure 5a (ci-dessus). Le premier extensomètre à être installé. Il est constitué de deux plaques accrochées respectivement aux deux flancs de la faille. Il fonctionne sur le principe du condensateur électrique : si les plaques s'écartent ou se rapprochent, la tension, mesurée, change.

Figure 5b (ci-contre). La nouvelle génération d'extensomètres. Les trois extensomètres de la photo sont disposés de telle manière de mesurer les contraintes et mouvements relatifs dans les trois directions de l'espace.

Plusieurs failles furent équipées d'extensomètres. Au bout de 10 ans, un bilan fut réalisé, mettant en évidence des mouvements continus, probablement initiés après la dernière glaciation (Camelbeek *et al.*, 2012) (figures 6).



Figures 6a & 6b. Les résultats des extensomètres après 10 années de mesures. A gauche, on constate que l'extensomètre E1 enregistre un mouvement de la faille de 400 μm en 10 ans tandis que E2 n'enregistre aucun mouvement (faille en ciseau : une extrémité est immobile). A droite, le graphique montre l'ensemble des extensomètres et les mouvements respectifs (d'après Camelbeek *et al.*, 2012).

Les recherches en hydrogéologie et géophysique



Figure 7 (ci-contre). Le gravimètre absolu. Il mesure le mouvement d'une masse tombant dans le vide et en calcule le facteur g . Photo : F. Boulvin.

souterraines.

Tout en continuant à travailler sur les aspects sismotectoniques, un autre axe de recherche est exploité sur le site depuis quelques années : les relations entre les mouvements de l'eau souterraine et leurs mesures par des méthodes géophysiques. De façon expérimentale, Michel Van Camp installa un de ses gravimètres dans le laboratoire-musée de surface. Il s'aperçut que la gravité suivait le mouvement de l'eau souterraine mesurée par des piézomètres installés depuis le début du projet par Philippe Meus de l'ULg.

D'une part, quand le niveau de la nappe monte, la pesanteur augmente. Celle-ci est mesurée par le gravimètre. Des mesures hydrogéologiques (débits des rivières, mesures piézométriques, expériences de traçage, mesure des infiltrations dans la grotte) complètent l'acquisition des données.

Cette constatation fut la base d'un programme de recherche : KARAG, financé par le FNRS, axé de façon plus globale sur l'utilisation de techniques géophysiques pour étudier les eaux

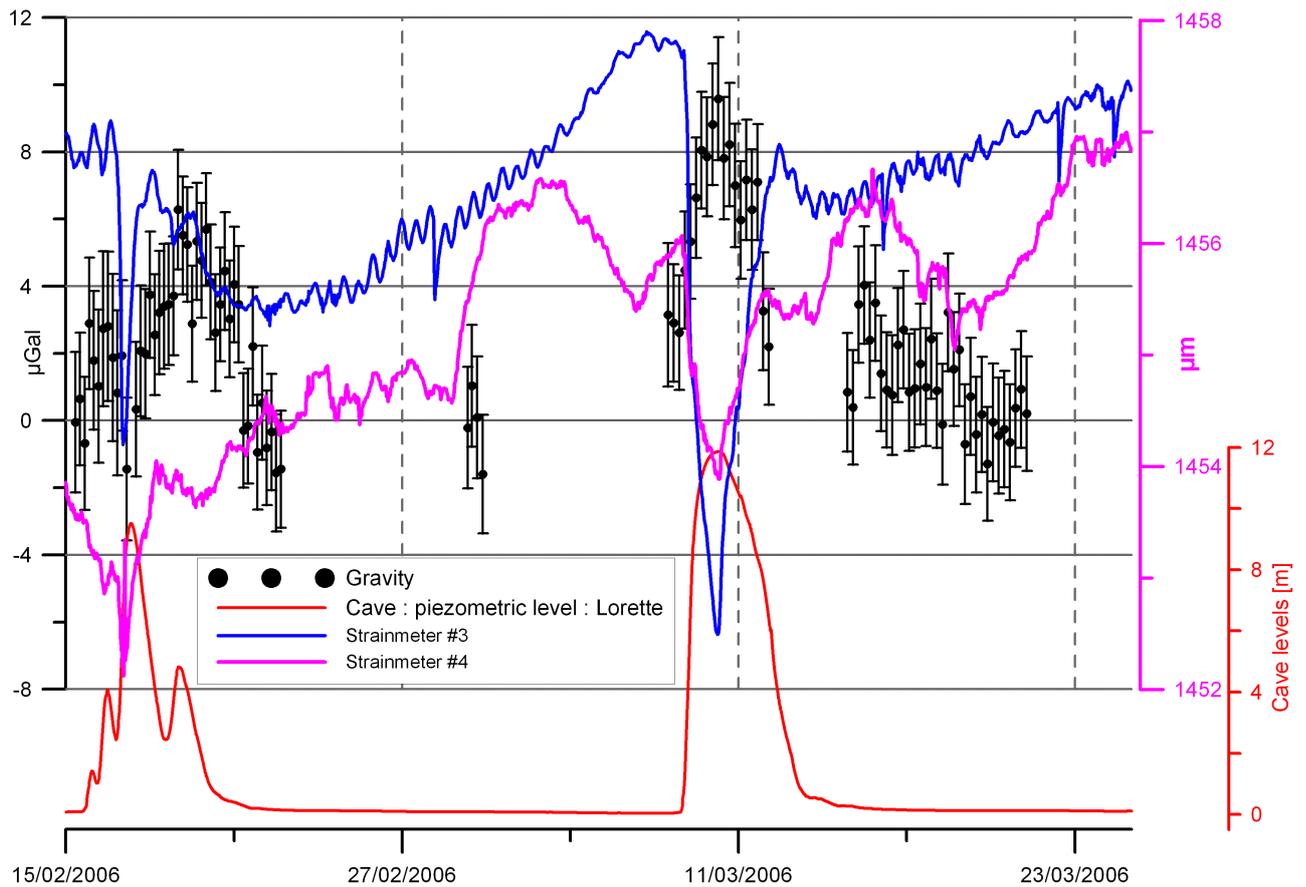
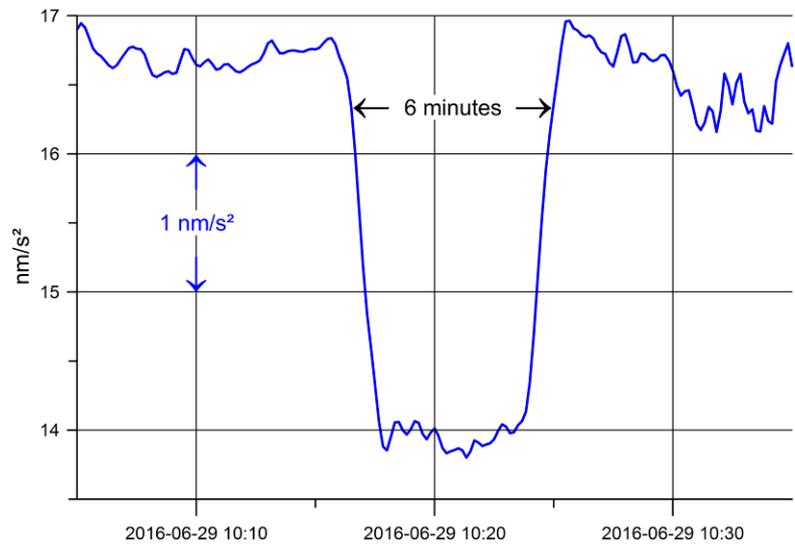
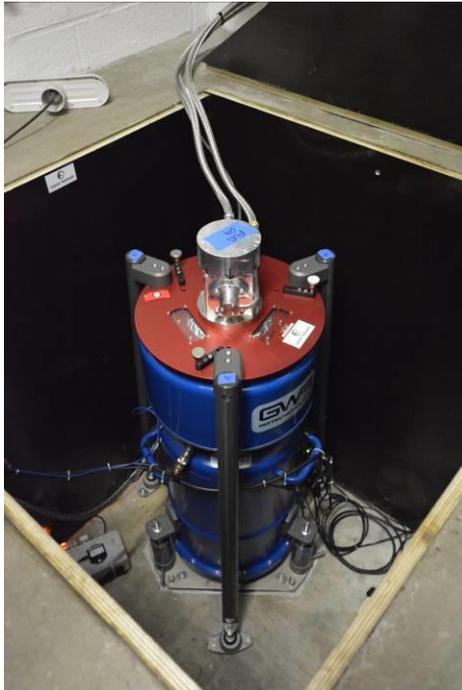


Figure 8. Les premiers résultats de la gravimétrie. Les deux crues en 2006 enregistrées par le piézomètre installé dans la grotte provoquent une augmentation de la gravité vue par le gravimètre absolu (mesures discontinues), résultat du au remplacement de l'air par l'eau dans les cavités situées sous le gravimètre entre les surfaces piézométriques d'étiage et de crue (Van Camp *et al.*, 2006).

Une nouvelle collaboration s'instaura entre l'ORB (Michel Van Camp), l'UMons (Professeur Olivier Kaufmann), l'UNamur (professeurs Vincent Hallet) et l'U. Luxembourg (Professeur Olivier Francis) qui aboutit à un programme FNRS-FRFC permettant de réaliser deux thèses de doctorat : la première axée plus sur l'hydrogéologie (Amaël Poulain), la seconde plus sur la géophysique (Arnaud Watelet). De nouvelles expériences furent initiées : acquisition et installation d'un gravimètre supraconducteur (figures 9), d'un gravimètre à ressort dans la grotte et d'une ligne permanente à tomographie électrique. L'eau d'infiltration modifie en effet les propriétés électriques du sol et de la roche. Les propriétés mesurées par la tomographie électrique, qui calcule la répartition de la résistivité électrique, permet de pister cette eau. Ces ensembles sont complétés de deux, d'une station météo, d'un compteur de goutte et une station hydrogéochimique pour les infiltrations dans la Salle du Val d'Enfer. Diverses expériences de traçage furent menées pour déterminer les paramètres des écoulements souterrains (figures 10 & 11). Une nouvelle thèse prit jour fin 2016 à l'UCLouvain pour étudier et interpréter les séries de données.

Ces recherches se sont concrétisées par plusieurs articles (Poulain *et al.*, 2015 ; 2018 ; Triantafyllou *et al.*, 2019 ; Watlet *et al.*, 2018 ; 2018b) Les appareils sont continuellement modifiés, améliorés, complétés. L'informatique évolue vite en 10 ans et il s'avère indispensable de repenser toute l'informatisation du laboratoire souterrain. Le compteur de gouttes dans la salle du Val d'Enfer fut complété par diverses sondes (températures, conductivité électrique) ainsi qu'un enregistreur de traceur dans diverses expériences de traçage entre la surface et le sous-sol.



Figures 9. Le gravimètre à supraconducteur. A droite, modification de la gravité par la masse du garçon assis sur la trappe, un mètre au-dessus du capteur du gravimètre. Photos O. Boulvin (gravimètre) & M. Van Camp (l'enfant).



Figure 10. Expérience de traçage dans la rivière de la Grotte Lorette. Le traceur est ici de la fluorescéine, colorant très puissant et parfaitement inoffensif pour la faune.

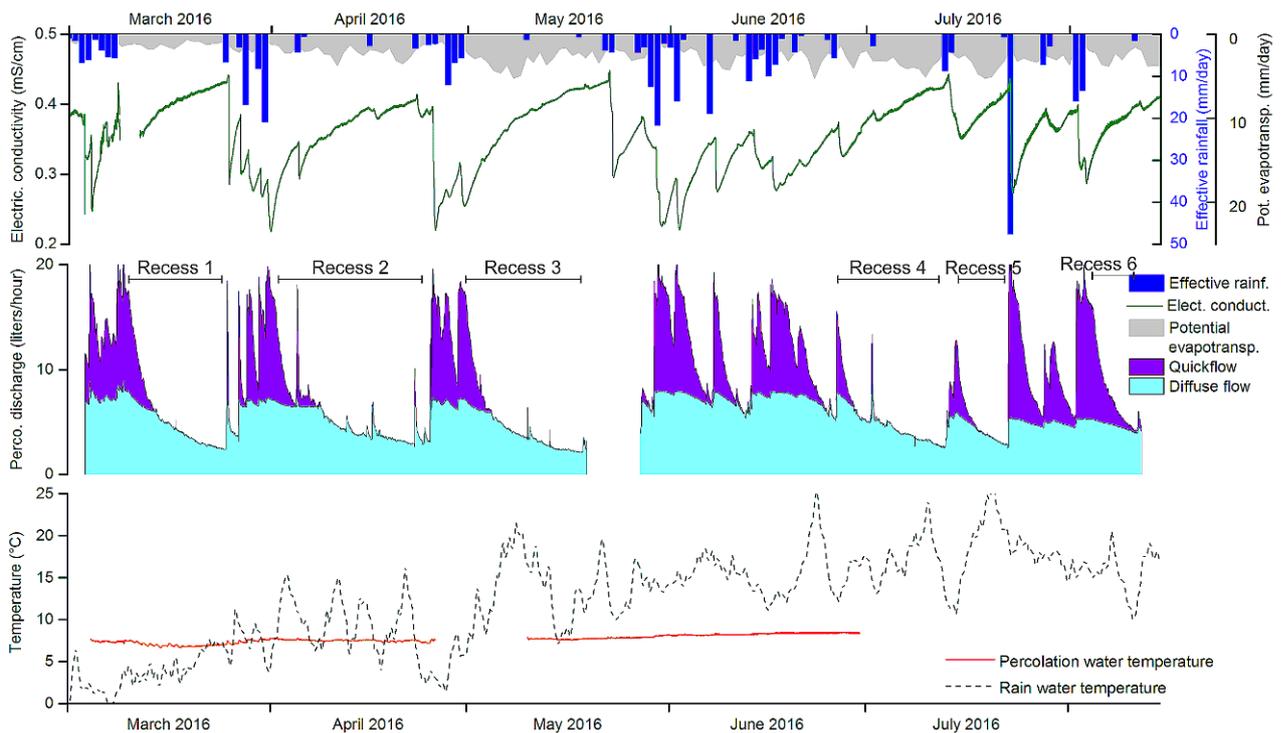


Figure 11. Chronique de données sur les écoulements du « capteur goutte à goutte » de la Salle du Val d’Enfer.

On y voit tout d’abord les courbes de récession après chaque pluie. La conductivité électrique baisse lors chaque épisode de « crue » caractérisant une eau moins chargée. Un défi de ces expériences est la mise en évidence et la caractérisation de la zone épikarstique, zone capacitive suspendue non loin de la surface du sol au-dessus des vides plus profonds à grande perméabilité.

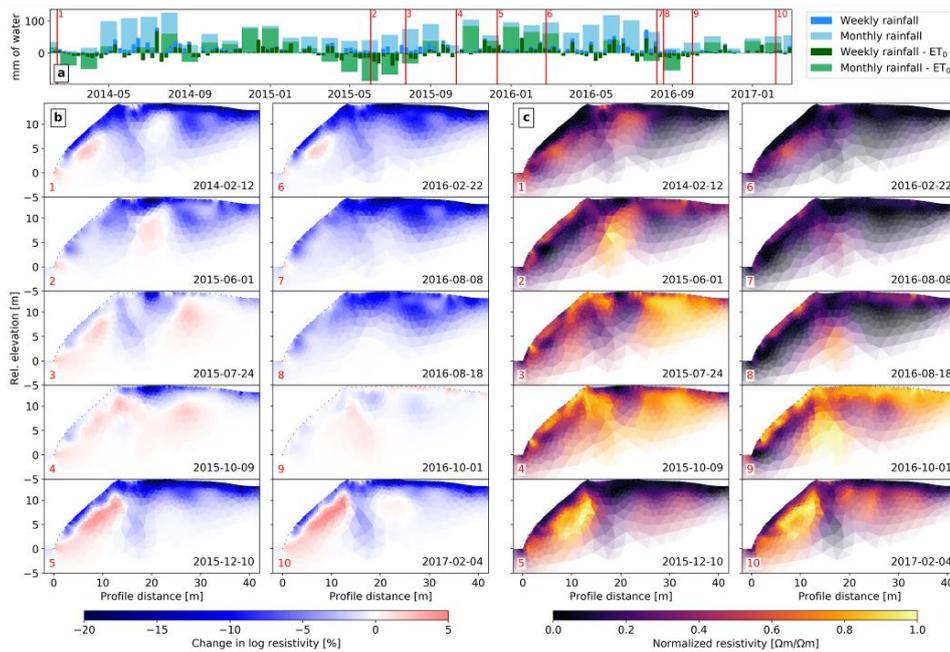


Figure 12. Un aspect des études géoélectriques. Grâce à une ligne permanente, les mesures de résistivité électrique près de l'entrée du Val d'Enfer ont permis de suivre les variations de la résistivité en fonction des saisons, et donc des infiltrations, les faibles résistivités correspondant aux fortes infiltrations d'eau (Watelet, 2017).

Le projet pédagogique

Lors du réaménagement de la grotte touristique et de l'installation du laboratoire souterrain, la physionomie de cette exploitation a été repensée dans le sens d'une intégration des recherches scientifiques de pointe et de leur mise à niveau au grand public. Dans cette optique, un film didactique, à qualités esthétiques, a été produit. Il explique la formation de la grotte, montre les galeries inaccessibles au public et le laboratoire souterrain : ses appareils et leur mise en place, ses objectifs, son fonctionnement. L'ancienne « maison des guides », située au-dessus de l'entrée du Val d'Enfer, a été complètement rénovée ; on y trouve le laboratoire contenant les appareils scientifiques de surface, le centre informatique et l'emplacement pour les gravimètres. Un aménagement en espace didactique y a été installé. On y trouve un film décrivant les activités scientifiques ainsi que des mobiliers pédagogiques expliquant le principe du sismomètre et de l'extensomètre, les causes et les conséquences des séismes. Mentionnons également dans le chalet d'accueil une maquette animée décrivant la grotte et des expositions temporaires de minéraux, roches, objets archéologiques issus de la région. Le prix d'un billet offre la totalité des possibilités : visite guidée, vision du film, visite de l'espace didactique. Enfin, un fascicule rigoureux mais simple reprenant et expliquant les différentes notions scientifiques (description de la grotte, formation, les failles actives, le laboratoire) est à la disposition des visiteurs.



Figure 13. La maison des guides ainsi appelée car elle constituait la première infrastructure touristique sur le site en y accueillant la billetterie et le nécessaire des guides. Elle abrite actuellement un espace pédagogique expliquant les différentes recherches scientifiques, ainsi que le local des gravimètres et de l'infrastructure de gestion du réseau de données

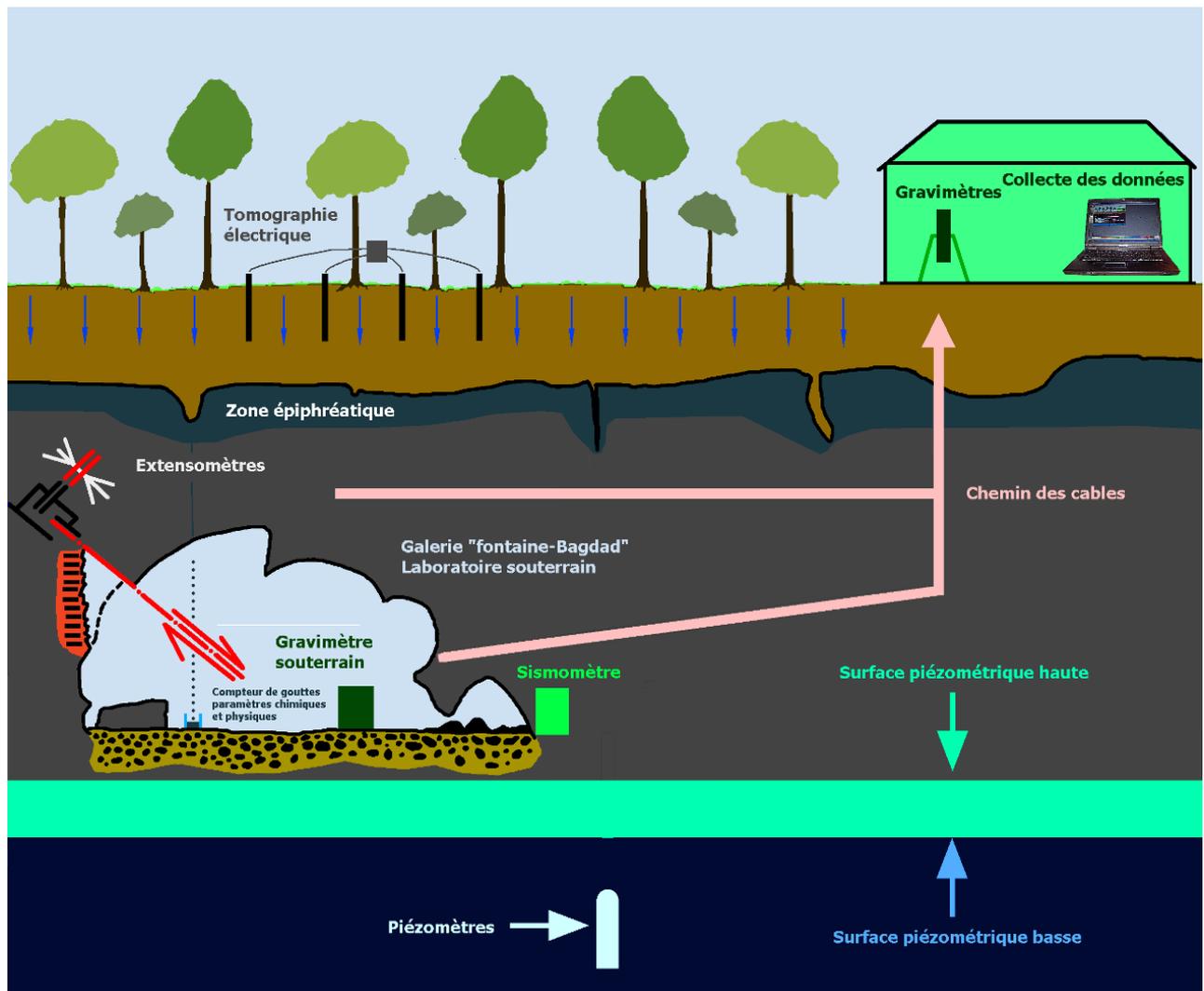


Figure 14. La structure du laboratoire souterrain de la Grotte de Lorette. La faille est indiquée en rouge : elle brise la régularité de la galerie en la décalant. Un réseau d'extensomètres en mesure en continu le mouvement. Le sismomètre est situé dans une galerie voisine. Un gravimètre relatif y mesure l'accélération de la pesanteur, données mises en parallèle avec les gravimètres de surface. Le piézomètre mesure la hauteur de l'eau souterraine ; sont indiquées les surfaces piézométriques d'étiage et de crue, montrant des fluctuations de plusieurs mètres. En surface, le laboratoire de l'espace pédagogique abrite les gravimètres ainsi que l'interface vers internet permettant de contrôler et d'enregistrer les mesures depuis l'Observatoire Royal de Belgique. Les électrodes plantées dans le sol enregistrent les variations de résistivité électrique.

Objectifs stratégiques

Le bilan des 20 dernières années s'inscrit dans les publications qui sanctionnent les recherches suivant les deux axes définis précédemment : **l'axe sismotectonique et l'axe hydrogéologique**. Il faut néanmoins noter que les deux axes font intervenir la géophysique dans ses multiples déclinaisons :

sismologique, gravimétrique, géoélectrique. Les objectifs futurs se définissent à partir de développements issus de ces deux axes, en y ajoutant de nouvelles perspectives.

Tout d'abord, de nouveaux développements, des perfectionnements s'appliquent aux appareillages qui continuent à fonctionner dans le laboratoire souterrain. Citons le compteur de gouttes, les extensomètres, l'électronique, un nouveau fluorimètre (STREAM) de terrain, etc.

La thèse de Damien Delforge à l'UCLouvain a eu pour but de traiter l'énorme masse de données par les méthodes de traitement du signal (2017-2020).

Des observations vont orienter les recherches futures.

1°) Relation tectonique – hydrogéologie. Lorsque la crue se produit dans le système et que la surface piézométrique augmente, la faille connaît une déformation élastique. Ce fait concerne le comportement mécanique du massif. L'exploitation des données issues des trois extensomètres en x, y et z, ainsi que la comparaison entre les extensomètres situés sur une discontinuité (faille, joint) et sur la roche massive en place va dans le même sens sur les déformations du massif.

2°) Suite de la gravimétrie. Les données issues des gravimètres de surface ont fourni des perspectives pour repérer et quantifier des vides souterrains. Il y a là un nouveau champ d'investigation pour quantifier ces vides, calculer la porosité.

La grande crue de juillet 2021 a permis de nouvelles observations. On s'est ainsi rendu compte qu'il y avait une inclinaison systématique du massif vers le nord-nord-est, détectée lors de chaque crue à l'aide des composantes horizontales du sismomètre installé dans la grotte. Vraisemblablement, les masses d'eaux qui déferlent dans les grottes provoquent une déformation du massif. Cet effet est synchrone avec l'augmentation de pesanteur détectée par le gravimètre en surface. Michel Van Camp continue le dépouillement des données pour affiner l'image de la progression des eaux dans le karst (figure 15).

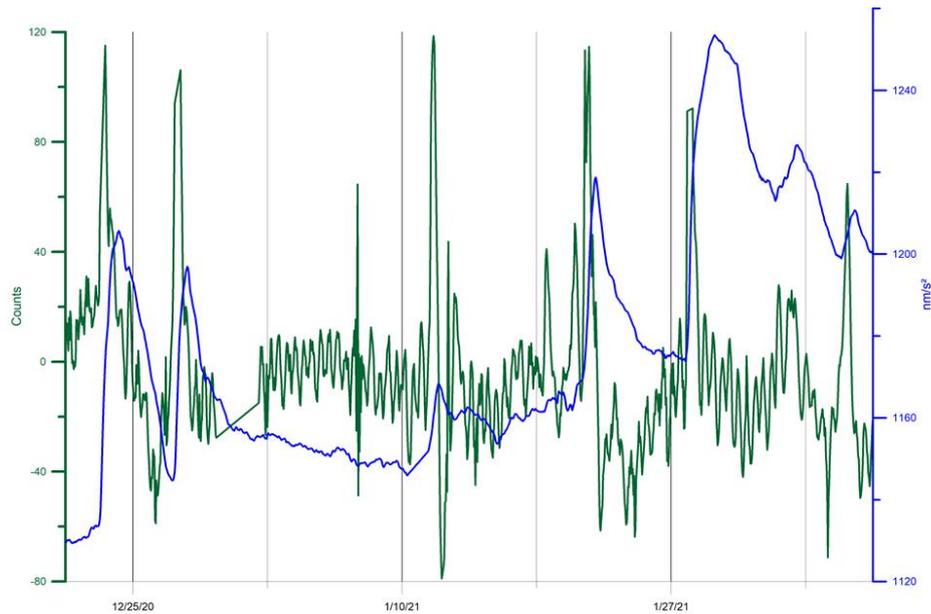


Figure 15. Variations de pesanteur en bleu et somme des vitesses observées par les composantes horizontales du sismomètre en vert, lors des crues de décembre 2020-janvier 2021. L'on constate la réaction du sismomètre synchrone avec les augmentations de pesanteur. La relation entre inclinaison du sol et amplitude des crues reste un sujet de recherche. Les autres oscillations visibles sur les sismomètres sont dues à la marée clinométrique (inclinaison du sol sous l'effet des forces de marées qui déforment le Globe).

3°) Programme « radon ». Des mesures en continu de concentrations en radon dans la grotte avaient été réalisées sur 2 mois en 2001-2002 (figure 16). Des variations intéressantes avaient été observées, notamment des excursions de la concentration sur un jour. Ce radon peut avoir deux provenances : les failles actives et des mécanismes de concentration de type hydrodynamique, à la fois dans l'air et dans l'eau souterraine. Dans le cadre des mesures de radon effectuées sur le territoire, le laboratoire pourrait servir de site d'expérience, à la fois en ce qui concerne la problématique radon s.s. mais aussi en se servant des variations du radon, en relation avec d'autres gaz, notamment le CO₂, pour explorer d'autres phénomènes. On connaît les relations entre variations des teneurs en radon et les phénomènes précurseurs des séismes.

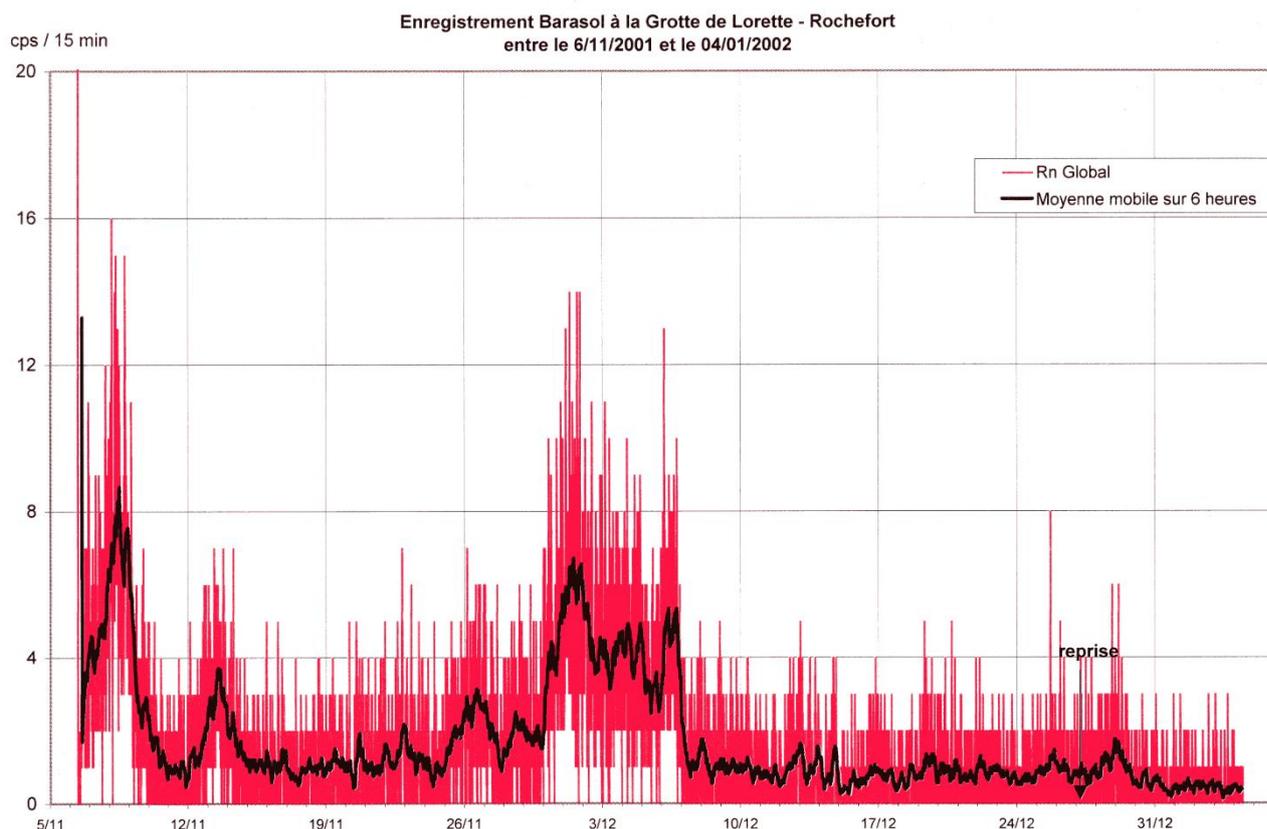


Figure 16. Variations du radon dans la Galerie Fontaine-Bagdad.

4°) Un travail de recherche est effectué dans la Grotte de Han sur la relation entre séismes et éboulements souterrains (Camelbeeck *et al.*, 2018), ainsi que sur la genèse des grandes salles. La Grotte de Lorette se prête bien à étendre ce type d'études car elles renferment de grandes salles formées en relation avec l'activité tectonique récente des failles étudiées. Citons, par exemple, la transformation d'une galerie – drain en salle par l'activité de la faille Fontaine-Bagdad à l'extrémité est de cette galerie. Une thèse est en cours sous la direction de Thierry Camelbeeck et Thomas Lecocq à l'ORB et Nathalie Fagel à l'ULiège par Aurélie Martin. Elle a pour objectif d'établir les relations quantitatives entre la rupture de stalagmites cierge et les vibrations du sol engendrées par les séismes. Le but est de se servir de ces stalagmites comme enregistreurs des séismes 0 des échelles de temps géologiques (plusieurs milliers d'années).

5°) La présence d'écoulements permanents au niveau de diverses stalactites permet également de poursuivre des investigations sur les vitesses d'infiltration des eaux de pluies, informations essentielles à l'estimation de la vulnérabilité des aquifères karstiques fortement exploités en Wallonie.

6°) Mentionnons enfin les recherches qui continuent en tectonique, soutenues par exemple par le scan LIDAR de la Salle du Val d'Enfer (Triantafyllou, 2019), et en **sédimentologie souterraine** (Quinif *et al.*, 2011) par l'étude de formations récemment découvertes.

Enfin, le projet Lorette a acquis récemment une nouvelle importance grâce à son insertion dans le Geopark UNESCO Famenne-Ardenne. Les activités scientifiques et pédagogiques auprès d'un public varié ont joué un rôle fondamental dans l'obtention du label. En retour, la renommée du Geopark jouera un rôle d'attraction sur les futurs visiteurs en mettant l'accent sur les spécificités du projet.

Quelques publications scientifiques issues des travaux à Lorette

Camelbeeck T., Van Ruymbeke M., Quinif Y., Vandycke S., de Kerchove E., Ping Z. , 2012 - Observation and interpretation of fault activity in the Rochefort cave (Belgium). *Tectonophysics*, 581 : 48-61.

Camelbeeck T., Quinif Y., Verheyden S., Vanneste K, Knuts E., 2018 - Earthquakes as collapse precursors at the Han-sur-Lesse Cave in the Belgian Ardennes. *Geomorphology*, 308: 13-24. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.01.030>

Delforge, D., Watlet, A., Kaufmann, O., Van Camp, M., Vanclooster, M., Time-series clustering approaches for subsurface zonation and hydrofacies detection using a real time-lapse electrical resistivity dataset, *Journal of Applied Geophysics*, 2021. doi: 10.1016/j.jappgeo.2020.104203.

Van Camp M., de Viron O., Watlet A., Meurers B., Francis O., Caudron C., Geophysics from terrestrial time-variable gravity measurements, *Rev. Geophys.*, doi: 10.1002/2017RG000566, 2017.

Genty D., Quinif Y., Bastin B., 1992 - un remplissage endokarstique tardiglaciaire et holocène (nouvelle galerie de la grotte de Rochefort). *Speleochronos*, 4: 31-40.

Poulain A. 2017 - Flow and transport characterization in vadose and phreatic zones of karst aquifers: Experimental approaches in the Givetian limestones of South Belgium, Thèse de Doctorat en Sciences, Université de Namur.

Poulain, A. , Rochez, G., Bonniver, I., Hallet, V., 2015 - Transmissive and capacitive behavior of the unsaturated zone in Devonian limestones, implications for the functioning of the epikarstic aquifer: An introduction, *Hydrogeological and Environmental Investigations in Karst Systems*, in Andreo, B., Carrasco, F., Duran, J. J., Jiménez, P. & LaMoreaux, J. W. (eds.). Springer, Vol 1 : 35-43 9 p. (Environmental Earth Sciences; Vol 1).

Poulain A., Rochez G., Van Roy J-P, Dewaide L., Hallet V., De Sadelaer G., 2017 - A compact field fluorometer and its application to dye tracing in karst environments. *Hydrogeology Journal*, 25, p. 1527-1524. DOI: 10.1007/s10040-017-1577-1

Poulain A., Watlet A., Kaufmann O., Van Camp M., Jourde H., Mazzilli N., Rochez G., Deleu R., Quinif Y., Hallet V., 2018 - Assessment of groundwater recharge processes through karst vadose zone by cave percolation monitoring. *Hydrological Processes* 32(13). DOI: 10.1002/hyp.13138.

Quinif Y., - 1997 - Apport de la karstogenèse à la tectonique récente du massif ardennais. *Aardk. Mededel.*, 8 : 145-148.

Quinif Y., 2016 – Etagement dans la grotte de Lorette (Rocheft) – Relation avec les dépôts souterrains. *Regards*, 81 : 60-69.

Quinif Y., Kaufmann O., Sagot D., 2011 – Les dépôts de la grotte de Lorette (Rocheft). *Geological Survey of Belgium professional paper 2011/2*, 309 : 55-63.

Quinif Y., Vandycke S., 2001 - Les phénomènes karstiques de la région de Han-Sur-Lesse - Rocheft (Belgique). *Bull.inf.bass.Paris*, 38, 1 : 6-19.

Quinif Y., Van Ruymbeke, M. Camelbeeck T. & Vandycke S. - 1997 - Les failles actives de la grotte de Rocheft (Ardenne, Belgique) sont-elles sismogéniques ? Installation d'un laboratoire souterrain. *Aardk. Mededel.*, 8 : 153-156.

Rohart S., 1995 - Recherche d'indices de tectonique récente dans l'endokarst. L'exemple de la grotte de Rocheft. Maîtrise de géographie, option physique, Université de Lille, en collaboration avec Mme y. Battiau-Queney.

Rohart S., 1996 - Etude de la relation entre la structure et les directions de karstification. Exemple de la grotte de Rocheft. Dea en géographie, Université de Lille.

Sagot D., 1995 - Les phénomènes karstiques du bassin Wamme-Lomme, région de Rocheft, Belgique. Maîtrise de géographie, option physique, Université de Lille, en collaboration avec Mme y. Battiau-Queney.

Triantafyllou A., Watlet A., Le Mouélic S., Camelbeeck T., Civet F., Kaufmann O., Quinif Y., Vandycke S., 2019 - 3-D digital outcrop model for analysis of brittle deformation and lithological mapping (Lorette cave, Belgium). *Journal of Structural Geology*. DOI: 10.1016/j.jsg.2019.01.001.

Van Camp M., Meus P., Quinif Y., Kaufmann O., Van Ruymbeke M., Camelbeeck T., 2006 – karst aquifer investigation using absolute gravity. *Eos*, 87, 30: 298.

Vandycke S., Quinif Y., 2001 - Recent active faults in Belgian Ardenne revealed in Rochefort karstic network (Namur province, Belgium). *Geologie en mijnbouw*, 80, 3-4: 297-304.

Watelet A. 2017 - Hydrogeophysical monitoring of groundwater recharge processes through the karst vadose zone at Rochefort (Belgium), Thèse de Doctorat en Sciences, Université de Mons.

Watlet A., Kaufmann O., Triantafyllou A., Poulain A., Chambers J.E., Meldrum P.I., Wilkinson P.B., Hallet V., Quinif Y., Van Ruymbeke M., Van Camp M., 2018 - Imaging groundwater infiltration dynamics in the karst vadose zone with long-term ERT monitoring. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 22, 1563–1592. <https://doi.org/10.5194/hess-22-1563-2018>.

Watlet A., Van Camp M., Francis O., Poulain A., Rochez G., Hallet V., Kaufmann O., 2018b - Gravity changes associated with underground flood events used as proxies for characterizing karst voids. *Water Resour. Res.*, submitted, 2018b.

Watlet A., Van Camp M., Francis O., Poulain A., Rochez G., Hallet V., Quinif Y., Kaufmann O., Gravity monitoring of underground flash flood events to study their impact on groundwater recharge and the distribution of karst voids, *Water Resources Res.*, doi:10.1029/2019WR026673, 2020.

Delforge D., Vanclooster M., Van Camp M., Muñoz-Carpena R., A parsimonious empirical approach to streamflow recession analysis and forecasting, *Water Resources Res.*, doi:10.1029/2019WR025771, 2020.



BALADE GÉOLOGIQUE PÉDOLOGIQUE GÉOLOGIQUE DE HAN-SUR-LESSE

Située au cœur du Geopark Famenne - Ardenne, la résurgence d'Eprave émerge dans un paysage dont la morphologie et son occupation par l'homme sont directement liés à la nature des roches et aux déformations qu'elles ont subies au cours des temps géologiques. Quelques clés de lecture vous permettront de mieux comprendre cet environnement exceptionnel.

**SENTIERS
GÉOLOGIQUES & PÉDOLOGIQUES
EN PROVINCE DE NAMUR
500 millions d'années
de façonnement de notre paysage**



SENTIER DE HAN-SUR-LESSE



Ce projet d'itinéraire géologique & pédologique, imaginé par V. Hallet, a été subsidié par la Fondation Gouverneur René Close. Il a été réalisé par S. Rekk, X. Legrain, L. Bock et V. Hallet en collaboration avec C. Willam, P. Engels et D. Lacroix.





Une question, une interrogation ? Contactez nous !
081/23 00 09 ou via maison@speleo.be

