



## Editorial

Cet été, la Wallonie a été très fortement impactée par les violentes inondations qui ont frappé le pays au mois de juillet. Le bilan est terrible, les conséquences dramatiques et de nombreuses personnes qui ont tout perdu en quelques heures, vivent encore aujourd'hui, deux mois après cette tragédie, comme des réfugiés.

En décembre 2021, un **numéro spécial** de notre revue portera sur la thématique « **Karst & inondations** ». Nous reviendrons en détail sur l'impact de telles crues sur les systèmes karstiques, en détaillant les effets assez dévastateurs tant à l'aval qu'en amont de points de pertes et vallons secs, lorsque les capacités d'absorption du karst sont totalement dépassées. Les mesures à prendre et les « solutions » possibles pour éviter que cela ne se répète seront également évoquées.

Si certains bassins ont été plus tragiquement touchés que d'autres (on pense à l'Ourthe, l'Ambève et à la Vesdre), c'est toute la Wallonie, qui a été confronté à ces coups d'eau sur deux week-end (15 et 22 juillet). Nous ouvrirons nos pages à différents collaborateurs de terrain pour recueillir leurs témoignages et leurs observations, allant de Soignies à Tintigny !

Entretemps, vous pouvez découvrir dans le présent numéro une actualité karstique plus éclectique, avec notamment :

- La parution imminente de la **monographie karstique sur l'Ourthe condrusienne**. Sa sortie de presse officielle aura lieu à Comblain le 19/11/2021 ; vous y êtes tous chaleureusement conviés.
- Une analyse critique, approfondie et richement documentée de la **Carte Numérique des Sols de Wallonie**, accessible en ligne sur Walonmap. Un document résultant de plus de 6 millions (!!!) de sondages à la tarière, qui s'avère bien utile pour l'étude et la prospection karstique.
- Une comparaison des caractéristiques physico-chimiques des **eaux du Burnot** et de la Résurgence de la **Vilaine Source** à Arbre (commune de Profondeville), ainsi que le bilan d'un an d'enregistrement en continu des débits à l'exutoire des rivières souterraines du vallon.
- Une invitation pour les **Journées de la Spéléo Scientifique** les 20-21 novembre prochain à Han-sur-Lesse.
- Les premières données concernant les **analyses du Radon** et de radioactivité en grottes, avec un focus sur le monitoring en cours dans la grotte du Noû Bleu à Sprimont.

Enfin, partir d'octobre, l'équipe de permanents de la CWEPSS double ses effectifs, avec l'arrivée de Félix de Sélys. Bienvenue à lui !

Bonne lecture à tous et portez-vous bien

L'équipe de la CWEPSS

## KARST L'OURTHE CONDRUSIENNE

### Inventaire des phénomènes karstiques en rive gauche de l'Ourthe, de Sinsin à Comblain au Pont

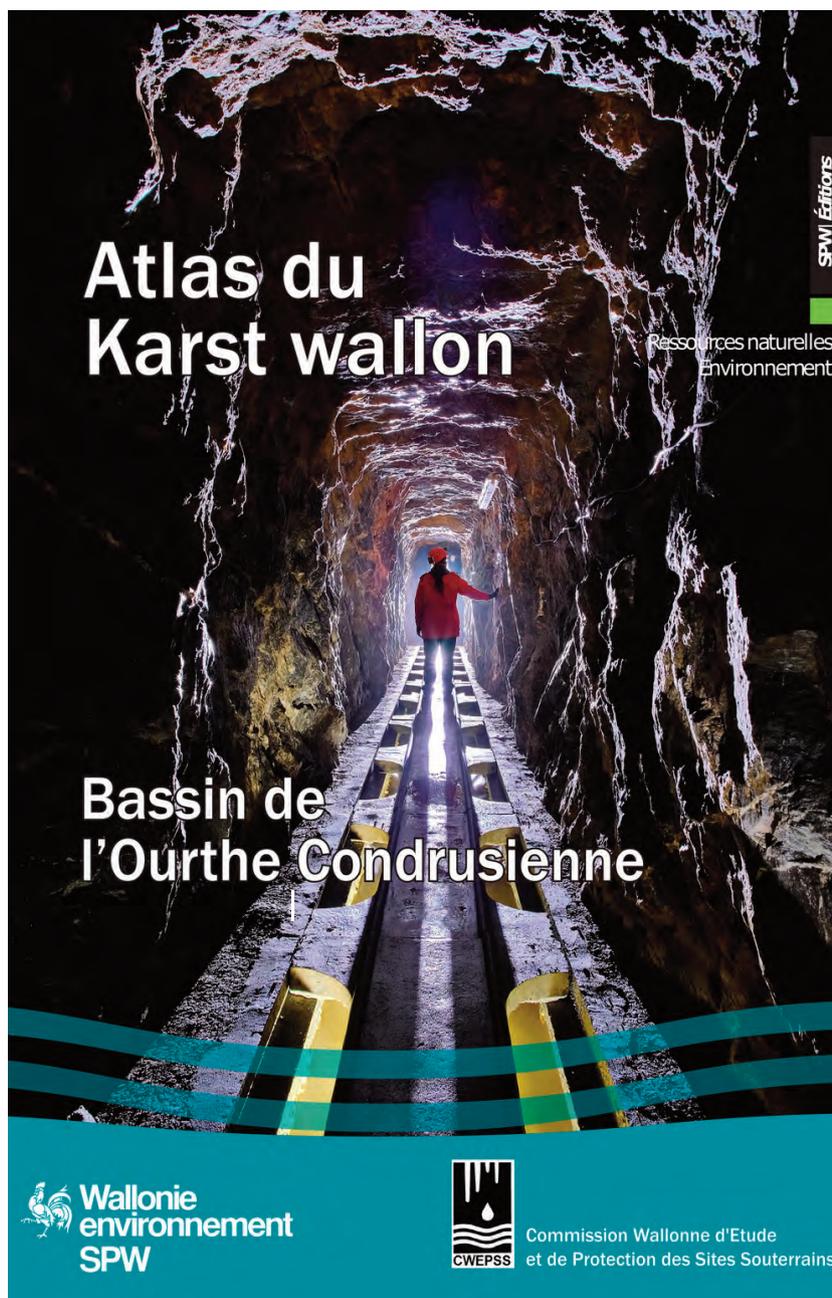


Fig. 1. La galerie principale du Néblon (exploitée depuis un siècle par la CILE), est le principal captage d'eau potable du secteur. Son cadre fantastique a été choisi pour la couverture de la nouvelle monographie - Photo V. Gerber

En novembre prochain sortira déjà la 10<sup>ème</sup> monographie karstique qui, comme les tomes précédents, est publiée par le Service Public de Wallonie, DGO3 (SPW | Éditions) grâce au soutien financier de la Direction des Eaux Souterraines. Ce travail d'inventaire a bénéficié de l'apport de nombreux collaborateurs de terrain.

Leurs recherches ont fourni de très nombreux compléments et constituent une mise à jour indispensable avant publication. Il s'agit du deuxième volume (sur une série de 4) consacrés aux terrains calcaires du bassin de l'Ourthe. Il couvre le versant ouest de la rivière et en particulier sa partie condrusienne, constituée de calcaires carbonifères. Nous y avons également inclus les deux massifs dévoniens situés près de Sinsin (fig. 2, en mauve). Bien que peu étendus, ils présentent une forte densité de cavités et de phénomènes karstiques (minières et anciennes traces d'extraction) rendant leur intégration dans notre travail d'inventaire indispensable.

L'inventaire cartographique et descriptif (reprenant 573 sites liés à la dissolution du calcaire) est précédé d'articles sur le contexte géologique, hydrologique, spéléologique ainsi que les intérêts scientifiques liés au karst local. L'ensemble est richement illustré (plus de 450 photos couleurs), pour permettre à chacun de découvrir ce milieu si particulier. Une attention particulière a été apportée à la description des aquifères calcaires très sollicités dans ce bassin pour les captages et aux nombreuses anciennes carrières qui marquent le paysage et sont pour partie à l'origine de la richesse économique et de l'architecture si particulière et remarquable du Condruz. Sur les plateaux condrusiens, ces excavations représentent souvent les seuls affleurements rocheux visibles et ils peuvent être le siège de phénomènes karstiques.

Nous espérons que cet ouvrage aura une large diffusion, l'objectif étant de mettre en lumière les régions calcaires et leur sous-sol qui représentent un patrimoine riche, irremplaçable et fragile. Ce nouveau tome, conçu comme un outil d'aide à la gestion des régions calcaires, doit permettre à chacun de comprendre la formation et l'évolution des sites karstiques, leur vulnérabilité, leurs intérêts et leur nécessaire conservation.

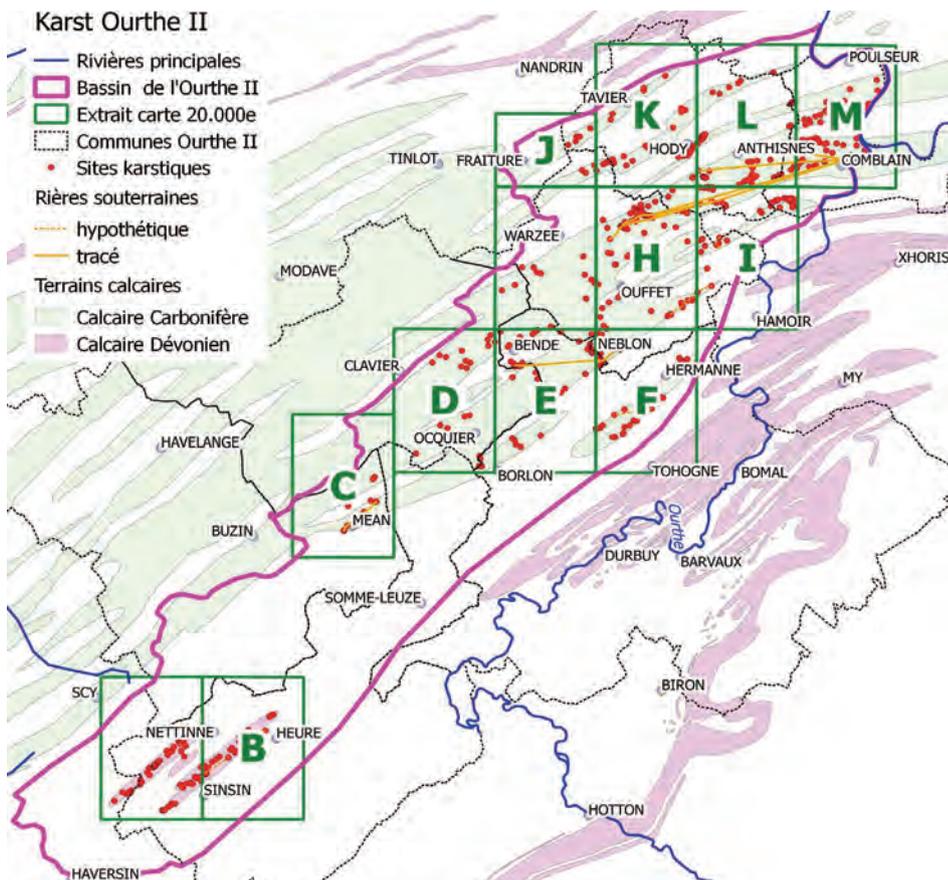


Fig. 2. Zone couverte par l'Atlas - le liseré mauve délimite le bassin versant.

### Le condroz... C'est quoi ?

Le sous-sol du condroz est constitué de terrains anciens, d'âge primaire, appartenant aux systèmes Carbonifère et Houiller. Différentes roches sédimentaires s'y sont déposées il y a plus de 300 millions d'années. Durant cette période, le territoire de la Belgique était situé en climat tropical, au-delà de l'Équateur (hémisphère sud). Un vaste domaine continental, appelé « Massif des vieux grès rouges », était baigné vers le sud par une mer peu profonde animée de mouvements de transgression et de régression.

Dans cet espace marin se sont déposées d'importantes couches de sédiments. Selon de multiples paramètres, leur nature oscille entre un pôle détritique, plutôt siliceux, et un pôle biochimique, franchement carbonaté. C'est ainsi que se mêlent intimement grès, schistes et calcaires. Ce grand ensemble de strates a ensuite subi des déformations liées au plissement hercynien qui a généré plis variés et failles diverses (fig. 3). L'érosion a transformé l'ensemble en une vaste pénéplaine et la dissolution des

roches carbonatées y a formé de profondes dépressions (paélokarsts). La couverture cénozoïque a scellé ensuite cette grande surface. Au Quaternaire, l'alternance de périodes glaciaires et plus tempérées, alliée à l'incision des rivières, a dégagé un relief spécifique... appelé condruzien. Les grès du Famennien supérieur, plus résistants à l'érosion, ont formé, selon un étirement sud-ouest / nord-est, des « tiges », dominant dans la topographie les « chavées », creux marqués par les épisodes schisteux et les calcaires dinantiens, qui noyautent les synclinaux.

Ces ondulations du paysage sont soulignées par la végétation, l'occupation du sol étant directement lié à la nature de ce sous-sol et à ses capacités de production.



Fig 3. Paroi calcaire plissée dominant le vallon du Néblon

## Des articles introductifs pour comprendre les spécificités de la région

L'incidence de la géologie et de la nature du sous-sol est majeure sur les paysages, le relief, la distribution des activités humaines et même l'architecture traditionnelle. Celle-ci est illustrée au travers d'une diversité d'articles introductifs confiées à des spécialistes et qui mettent en évidence un aspect particulier de l'ourthe Condrusienne.

**La géologie** est ainsi abordée en parallèle avec l'architecture traditionnelle. Les bâtisses du Condroz, tout comme les pavements ou même le mobilier funéraire nous sont présentés comme le produit du sous-sol et de la technique des bâtisseurs, chaque village ancien ayant été érigé autour de sa carrière.

A **Comblain-au-Pont**, cette ressource du sous-sol et la géologie en général sont tellement imbriquées dans l'histoire et l'évolution de la commune que l'association Découvertes en a fait l'axe principal de valorisation du patrimoine local.

La **carrière du Grand Banc** montre que les sites souterrains ne se limitent pas aux

seules grottes. Cette ancienne exploitation souterraine de grès fut exploitée jusqu'à la 2<sup>ème</sup> guerre mondiale. Elle est aujourd'hui protégée, notamment pour sa très importante population de chiroptères. Sa topographie refaite en 2015 est présentée en détail dans l'ouvrage.

Plusieurs articles traitent d'**eau souterraine**. Les calcaires du Condroz étant des aquifères à la fois très productifs et moins vulnérables que les calcaires du Dévonien, ils sont exploités depuis plus d'un siècle par d'importants captages.

L'hydrologie du **bassin du Néblon** en particulier, a fait l'objet de nombreuses études et recherches pour protéger cette ressource. Aujourd'hui encore le projet Eco-Impact y utilise des bioindicateurs pour tenter de prévenir toute pollution aux pesticides qui pourrait affecter les galeries de captage.

L'étude de la **végétation aquatique des rivières** (diversité et abondance) fait partie de cette approche bio-indicatrice appliquée depuis de nombreuses années

maintenant à différents cours d'eau wallon. Sur le Néblon, en y incluant les diatomées, il a été possible d'évaluer le bon état écologique de la rivière en subdivisant celle-ci en 22 sections.

Dans ce bassin, en comparaison avec d'autres massifs calcaires, il y a très peu de vestiges préhistoriques découverts en grottes. Le **trou de la Louve à Sinsin** est une notable exception, avec la présence de parures et de bijoux notamment en or, d'une qualité exceptionnelle.

Au niveau **spéléologique**, les deux extrémités de l'Ourthe condrusienne sont les plus intéressantes, à savoir d'une part la région de Sinsin-Heure et d'autre part le secteur de Comblain-au-Pont. Plusieurs articles abordent l'histoire des prospections spéléos, l'état des connaissances actuelles et le potentiel de nouvelles découvertes. Dans les deux cas, c'est l'accès vers le collecteur des eaux souterraines (qu'on espère être pénétrable) qui concentre les recherches actuelles.

### La sortie d'un ouvrage collectif à fêter ensemble !

Les monographies karstiques sont des ouvrages collectifs qui intègrent les données accumulées par la CWEPS depuis près de 50 ans, ainsi que les observations récentes de nombreux collaborateurs. Nous souhaitons donc rassembler un maximum de ces partenaires pour fêter ensemble la sortie de ce 10<sup>e</sup> tome de notre série sur le karst de Wallonie.

La sortie de presse se fera le **19/11/2021 à 14h30**, au complexe communal de **Comblain-au-Pont**, rue Grand Pré 25 à 4170 Comblain-au-Pont, en collaboration avec le CR Ourthe et l'ASBL Découvertes de Comblain. L'ouvrage y sera présenté pour la première fois et un exemplaire sera remis aux collaborateurs.

Le bâtiment étant situé en bordure de l'Ourthe, le long du Ravel et du sentier géologique, nous prévoyons une courte promenade, permettant de découvrir certains des plus impressionnants massifs rocheux de l'entité depuis les berges de la rivière.

Un focus particulier sera mis sur les inondations exceptionnelles de la mi-juillet 2021, qui ont particulièrement impacté l'Ourthe et la zone de Comblain, avec une réflexion quant aux dégâts, aux mesures de prévention, aux alertes crues et spécificités karstiques. Après toutes ces histoires d'eau, c'est devant un verre de l'amitié que nous nous retrouverons pour évoquer les enjeux d'une meilleure gestion du karst, tout en se projetant sur les atlas suivants !

### Comment commander l'Atlas ?

Vous pouvez trouver les 10 tomes de l'Atlas du Karst Wallon dans des points de vente locaux répartis dans les bassins concernés (librairies, sites touristiques, syndicats d'initiative...). Ils sont également en dépôt à l'Union Belge de Spéléologie et à la Librairie Spéleo.

La commande peut se faire par internet sur le site d'Ediwall qui regroupe les publications du SPW: <https://ediwall.wallonie.be>. En tapant Karst dans le moteur de recherche du site, vous aboutirez aux pages concernant nos Atlas. Comme les tomes précédents, le prix de vente est fixé à 20 €/pièce.



Fig. 4. Dégâts provoqués par le débordement de l'Ourthe en juillet 2021 (photo Contrat de Rivière Ourthe).

# LA CARTE NUMÉRIQUE DES SOLS DE WALLONIE (CNSW)

## Un outil supplémentaire pour l'inventaire et la prospection des sites karstiques

Le catalogue de données cartographiques mis à disposition pour tout un chacun sur le serveur WalonMap par le Service Public de Wallonie est impressionnant et fait l'objet très régulièrement de compléments et d'ajouts. Une version numérique de l'Atlas du Karst Wallon (mis à jour au moins tous les 3 mois) y figure depuis 2012.

Ces données sont considérées par bien des utilisateurs comme une référence pour la gestion des terrains calcaires et pour l'aménagement du territoire en raison des contraintes mécaniques liées à leur karstification.

Les images Lidar exploitées en mode Modèle Numérique de Terrain Hillshade (survol radar de toute la Wallonie réalisé en 2014... un nouveau relevé lidar 2020-2021 sera bientôt disponible) ont complètement révolutionné l'approche géomorphologique, offrant un écorché ultra précis de la surface des terrains tout en gommant la végétation.

Ces données topographiques sont devenues une aide devenue primordiale et incontournable pour le repérage sur le terrain des dolines et/ou de traces d'activités extractives anthropiques.

Un troisième jeu de données cartographique, moins connus des spéléologues jusqu'à présent, peut utilement faciliter ce travail de repérage karstique entrepris par la CWPSS : il s'agit de la **Carte numérique des Sols de Wallonie**, à combiner avec les deux autres couches géographiques et avec les cartes anciennes et orthophotoplans également mis à disposition sur WalonMap

### Un colossal levé de terrain

La réalisation d'une carte des Sols précise et couvrant toute la Belgique a été décidée juste après la 2ème guerre mondiale. L'objectif était de disposer d'un outil performant pour contribuer à la relance de l'agriculture et à l'autosuffisance alimentaire. En effet, une meilleure connaissance des sols devait permettre de mieux valoriser les capacités de production et les rendements en tenant compte de la composition des sols, de leur classe de drainage de leur épaisseur, de leur charge caillouteuse, de la présence de matière organique et de nutriments. Le Comité pour l'établissement de la Carte des Sols et de la Végétation de la Belgique confie le travail de terrain aux facultés d'agronomie de Gembloux, Gent et Leuven.

C'est le début d'un véritable travail de fourmis qui se prolongera depuis le début des années 1950 jusqu'en 1991 (Legain *et al.*, 2011). Sur base des plans cadastraux un maillage de carrés de 75 m de côté est établi ; dans ceux-ci plus de 6 millions de sondages (1 à 2,5/ha) seront faits à la tarière jusqu'à 1,25 m de profondeur. Chaque carotte ainsi prélevée est ensuite analysée et interprétée pour caractériser le sol et pour établir une carte couvrant l'ensemble du territoire. Plus de 6000 unités de sols constituent la légende de la carte des sols !

Au début des années 2000, il est décidé de numériser la carte des sols pour la rendre plus accessible. Basée sur la Carte "papier" la carte numérique des sols de Wallonie (CNSW) est finalisée en 2004. Cette base de données cartographique sera par la suite intégrée et rendue publique via le portail WalonMap. Depuis quelques années, la couche "Sols" peut être consultée et croisée avec d'autres

couches d'informations utiles à la gestion du territoire (relief, cadastre, eau, occupation du sol, ...). Elle continue bien entendu à servir pour de nombreuses applications à caractère agricole, mais son usage est bien plus large : On intègre aujourd'hui les données de cette carte pour des problèmes aussi variés que les inondations et l'imperméabilisation des sols, la protection et la vulnérabilité des nappes, l'érosion et les ressources du sous-sol...

Le sol en ce y compris la couche d'humus est l'interface entre l'atmosphère et la roche en place. Nous vivons donc sur ce fin niveau plus ou moins meuble qui a une incidence majeure sur la végétation, mais aussi le développement économique et les constructions érigées par l'homme.

### Quelques éléments directement utiles pour l'étude du karst

Pour l'étude des milieux calcaires la carte de sols s'avère très intéressante parce qu'elle permet de mettre en évidence :

Les **dépôts alluviaux** ou résiduels et les anciens lits de cours d'eau, actuellement disparus ou détournés, beaucoup plus nombreux qu'on pourrait le penser. :

**Les dolines les plus importantes** sont pointées « Do » (2). C'est surtout le cas des chantoires importantes qui sont reprises dans cette catégorie. Nous ne savons pas sur quels critères se sont basés les enquêteurs : composition du sol par sondage ou trace vue dans le paysage, car si certaines de ces dolines sont aux mêmes endroits que des dépressions repérées par l'AKWA, d'autres pointent un terrain désespérément plat. Remarquons aussi que si le relevé semble complet dans certains secteurs, d'autres sont absolument vierges de pointages alors que les dolines y sont visibles sur le terrain.

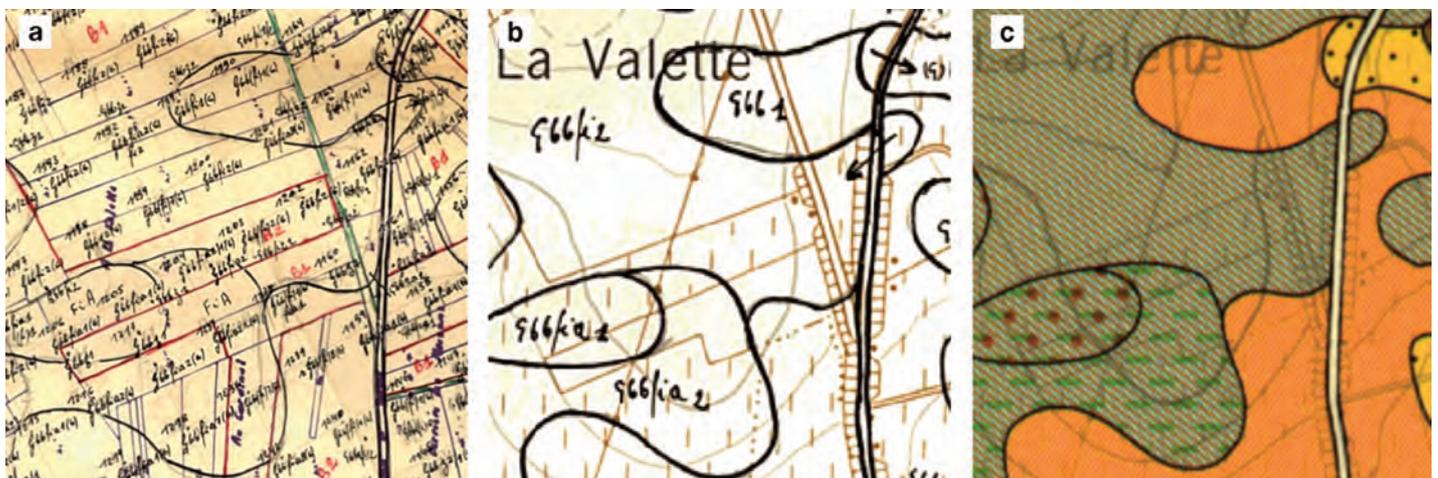


Fig. 1. Extraits (échelle non respectée) de (a) levé sur plan cadastral à 1/5 000 ; (b) minute à 1/10 000 ; (c) planchette éditée à 1/20 000, en relation avec la Carte des Sols de la Belgique (planchette 208E – Tournay) .

**Les sols artificiels** sont renseignés par la lettre « O », suivie d'une seconde majuscule précisant la nature de l'intervention humaine. Une carrière, un remblai ou un talus artificiel pourra ainsi être différencié d'une morphologie naturelle.

**Les fosses d'extraction** « OE » pointent, sur terrain calcaire, des pseudodolines ; idem pour les marnières « OM » quand elles ne sont pas noyées. **Les terrains remblayés** sont désignés par les lettres « ON », ils sont particulièrement intéressants, car ces sites sont peu, voire plus, visibles dans le paysage. Il reste primordial de les renseigner car ces terrains sont instables et ne conviennent pas aux projets immobiliers.

Les lettres « OT » représentent **les terrains remaniés**, et « OX » les terrains manifestement travaillés par l'homme sans que l'on sache ce qu'il y a fait (complexe non différencié de carrières, terriils, remblais, terrains remaniés, zones bâties et industrialisées) (3). Un des intérêts de ce pointage réside dans le fait que d'anciennes carrières, bien remblayées et nivelées sont indiquées. Même correctement remblayées ces fosses n'auront jamais la résistance de la roche en place et, sous l'action des eaux de ruissellement, elles peuvent connaître des tassements.

### Réflexions suite à l'utilisation régulière de la carte des sols

Nous avons superposé la carte des Sols, l'image Lidar et les données de l'AKWA. Les premiers relevés pour l'AKWA étant plus anciens que les images Lidar et que l'ensemble des cartes mises à disposition par le Service Public de Wallonie (WalOnMap, cartes des Archives régionales, Topomap viewer, Cartesius etc.), nous savions que les secteurs non mis à jour de l'inventaire du karst pouvaient présenter des coordonnées approximatives. Ils résultent de pointages d'après les cartes papier au 25 000<sup>e</sup> dans les années 1970 à 1990. De plus, des indices morphologiques laissés sur le terrain pouvaient avoir échappé à l'enquêteur car : « même si l'enquêteur a bien fait son boulot, il peut passer à quelques mètres près dans une zone de bocage, comme il y en a tant dans nos campagnes. De plus, si l'enquête se déroule avant la récolte dans un champ, la sienne sera nulle; tout comme, une investigation en été dans un bois de feuillus sera pauvre en résultats » (Polrot et Michel, 2016). Bref, depuis, les données de l'AKWA se sont étoffées.

Pour la Carte des Sols, insistons qu'en général elle est bien documentée. Nous avons pu constater que beaucoup de dépressions (naturelles ou artificielles) sont décalées par rapport à l'image Lidar.

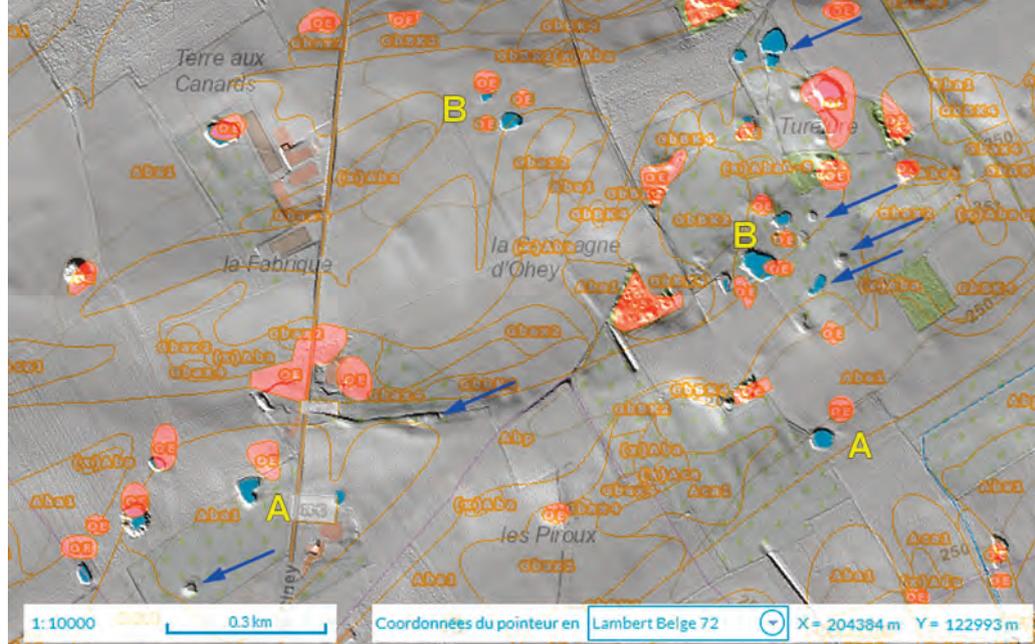


Fig. 2. Carte du sud de Ohey (prov de Namur)- WalOnMap. Les dépressions étaient toutes déjà là en 1963 (carte IGN), l'essentiel a été creusé avant et directement après les années 1940. Beaucoup de pointages sont en décalage avec les traces, c'est parfois flagrant (A), cela peut amener des confusions (B). Sur la même carte, des dépressions bien visibles sur le terrain ne sont pas pointées (les flèches).

Là aussi, l'époque du levé est antérieure aux images Lidar, à l'utilisation du GPS et cela a pu donner lieu, malgré l'utilisation du cadastre, à des imprécisions. C'est en tout cas notre hypothèse.

Cette imprécision peut donner une dépression du Lidar avec un pointage carte des Sols à 20 m à l'est et un point AKWA 10 m à l'ouest. L'imprécision n'est pas grave en soi et la comparaison des 3 cartes permet de recadrer le phénomène. Dans ces cas, la Carte des Sols précise l'origine naturelle/artificielle d'une dépression. L'imprécision peut être problématique en cas d'une multitude de phénomènes, les différents pointages se télescopent rendant la lecture peu claire.

Prenons l'exemple au sud de Ohey (Fig 2, ou des exploitations de pierres calcaires et des fours ont été ouverts à partir de la fin du XIXe siècle. Cette absence de pointage n'est pas rare; dans certaines régions, les dépressions sont « oubliées » alors qu'elles existaient avant l'enquête de

terrain. Un exemple : à Géromont à Comblain au Pont (Fig.-3 ) deux dépressions sont pointées Do mais pour 6 autres semblables, la carte est muette (flèches bleues), sur la même zone, aucune dépression anthropique n'est pointée (flèches vertes).

Comme certaines dépressions d'origine humaine ne sont pas pointées, cela laisse un flou quant à la genèse de certaines dépressions de type doline. Par exemple vers Eyneburg (Lontzen - fig 4), une large zone a été souvent explorée et exploitée par les mineurs à une époque fort ancienne et non documentée, au contact calcaire/détritiques. La confusion entre dolines et pseudodolines est possible. ici 13 dépressions ne sont pas pointées (flèches) et beaucoup de Do ne correspondent pas ou plus à des dépressions visibles actuellement. Une zone nous pose problème, marquée des lettres OT (terrains remaniés - délimitée en noir), elle englobe deux lots (A et B) de 8 petits vallons aveugles dont plusieurs engouffrent

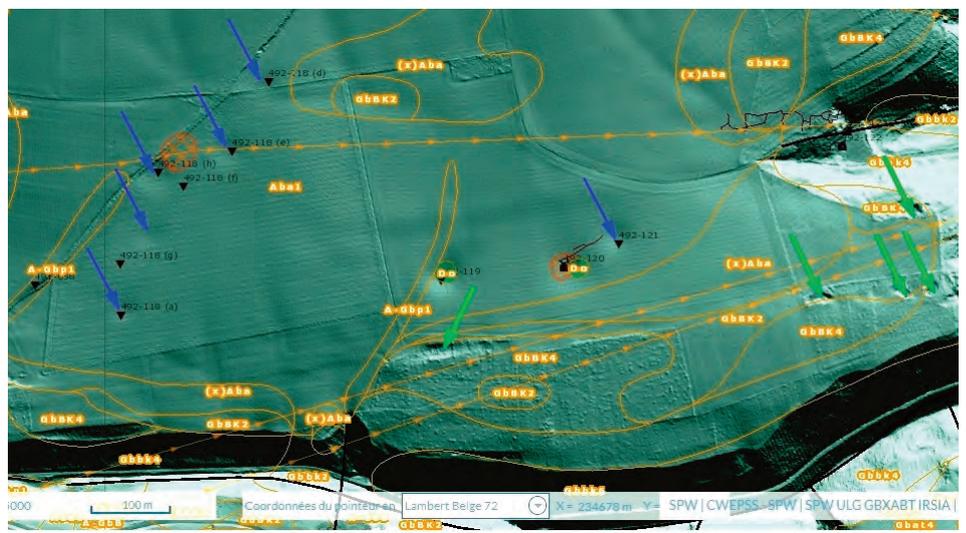


Fig. 3. Géromont (Comblain-au-Pont, prov de Liège)- Walonmap Lidar + carte des Sols + Atlas du karst

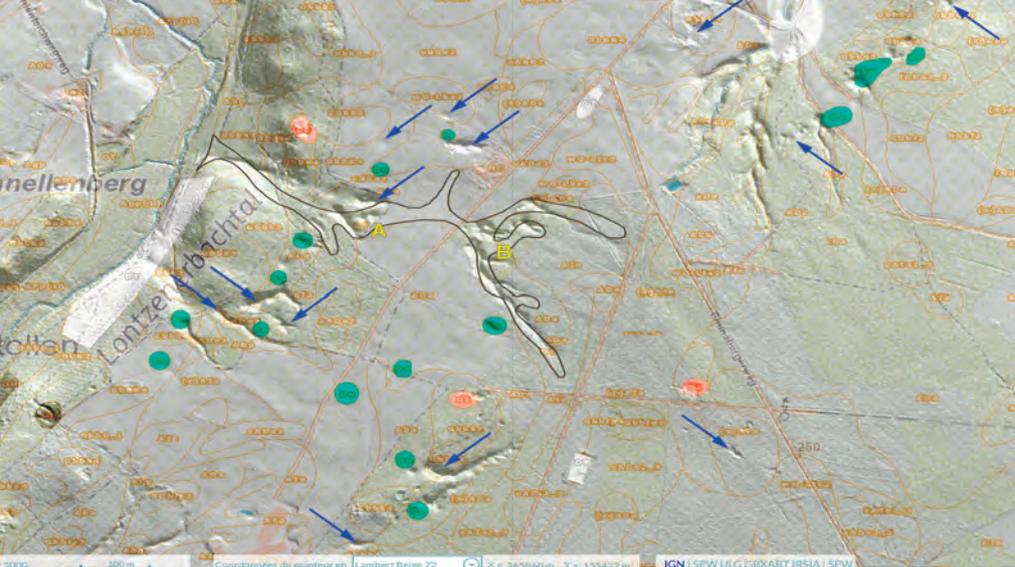


Fig. 4. Eyneburg (Lontzen, prov de Liège) - Walonmap

des ruisselets. Sa forme n'est-elle pas celle d'un ruisseau et de ses affluents ? Le tout aurait-il été remanié par les travaux miniers ? (Fig. 4).

Nous avons parfois trouvé des carrières données comme étant des dolines (Fawe à Oline). Etaient-ce des exploitations de sables, minerais etc. piégés dans des paléokarsts ?

Le contraire est plus courant, rappelons en effet qu'un ancien site d'extraction évolue facilement en une dépression fermée herbue et sèche, ayant l'aspect d'une doline, d'où le nom de pseudo-doline.

Nous avons ensuite comparé les pointages de la CNSW avec d'anciennes cartes topographiques, notamment la carte de l'ICM de 1865. On constate que des carrières renseignées par cette ancienne carte sont reprises sur la CNSW. Ainsi, à Méan, au nord-est de Bassine (Fig -5), la carte pointe OE deux anciennes carrières remblayées et les traces d'un four à chaux toujours visibles (flèches bleues), mais délaisse les traces d'un autre four à chaux et une dépression fermée sèche (flèches vertes).

Des carrières plus récentes sont parfois oubliées comme à La Reid (Theux), où la carrière du Chaffour qui date du début du XXe siècle (photo 1) n'est pas figurée.

## Conclusion

La carte des Sols est intéressante pour de nombreux acteurs s'intéressant au sous-sol. Elle s'avère utile aux enquêteurs de la CWPSS pour distinguer un phénomène naturel d'une activité d'extraction, de nivellement ou un remblai et elle en évidence des sites disparus dans les paysages. Par contre, elle omet des chantoirs, des dolines ou des sites d'extraction même anciens et elle ne peut se substituer à l'AKWA. Ces deux cartographies sont complémentaires. Selon le décalage dans le temps de leurs levés elles permettent d'estimer l'évolution de certains sites (recul de chantoirs, extension ou formation de nouvelles dépressions, remblaiement ou modification d'un cours d'eau et de l'alimentation du karst...).

Les documents cartographiques, les images lidar et les photos aériennes mis en ligne par le SPW ont révolutionné la manière de repérer des phénomènes et de détecter des morphologies karstiques. Il reste essentiel qu'elles s'accompagnent d'une phase relevés de terrain et de vérification sur site, pour décrire correctement ces phénomènes et/ou pour mieux en comprendre leur origine.

Francis POLROT



Figure 5. Méan (Havelange, prov de Namur)- Walonmap carte ICM 1865

(1) B. Bah (depuis 09/2003), C. Bracke (02/2001-04/2004), X. Legrain (depuis 04/2005), P. Veron (depuis 02/2001) et 8 techniciens (02/2001-04/2004) ; sous la direction scientifique de L. Bock, J. Rondeux et P. Lejeune. Avec la contribution de P. Engels et G. Colinet.

(2) Les mardelles, désignées (voir « Ma ») sont des dolines enrobées de dépôts superficiels argileux imperméables (Commission française des phénomènes karstiques, 1972). L'origine des mardelles est soit périglaciaire, créée par la fonte d'une loupe de glace ; soit karstique, créée par une dissolution de la roche sous-jacente. Bien qu'elles soient citées dans le livret légende, nous n'en avons jamais rencontré sur la carte.

(3) Les zones découpées mécaniquement (OD) et surtout les terrils (OH) ne nous concernent pas.

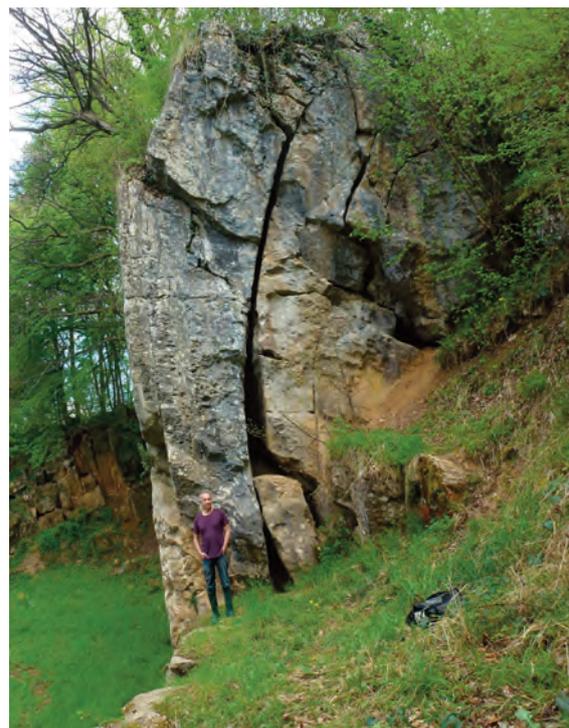


Photo 1. Front de taille bien visible de la Carrière du Chaffour, non reprise sur la carte des sols (photo FP).

## Sources

LEGRAIN X., DEMARCIN P., COLINET P., BOCKL., 2011. Cartographie des sols en Belgique : aperçu historique et présentation des travaux actuels de valorisation et de révision de la Carte Numérique des Sols de Wallonie, B.A.S.E. (Biotechnologie Agronomie Société et Environnement), Bulletin de la faculté () et du Centre Wallon de recherche agronomique de Gembloux., n° 15 (S2) : 647-656.

POLROT F & MICHEL G., 2016. Un laser pour rechercher le karst ? Utilisation des images Lidar dans les inventaires karstiques, Ecolkarst n°103, 1<sup>er</sup> trimestre 2016, CWPSS, La Hulpe : 12-15.

<https://www.gembloux.ulg.ac.be/ecarte-des-sols> consulté le 30.03.2020

# LES EAUX DU BURNOT ET DE LA RÉSURGENCE DE LA VILAINE SOURCE

## Réflexions sur les mesures comparées du débit et de la qualité des eaux de surface (Burnot) et de l'exutoire du vallon sec de Lesve à Arbre

Le système karstique de la Vilaine Source (Lesve/Arbre) est un des 5 réseaux karstiques étudiés dans le cadre du projet Epukarst (financement SPGE) en Wallonie. Comme dans les 4 autres systèmes, nous y réalisons depuis plus d'un an périodiquement (tous les 2 mois) des analyses physico-chimiques pour déterminer la qualité des eaux, afin de mieux appréhender la fluctuation des concentrations en nitrate en différents points du karst (pertes, résurgences mais aussi gours, rivière souterraine et regard sur la nappe), selon les saisons mais aussi depuis l'amont vers l'aval.

Depuis 8 mois, nous avons ajouté un « point de contrôle » et d'analyse dans le Burnot aérien, juste en amont de la Vilaine Source.

Comparer les eaux souterraines et de surface, leur vulnérabilité et leur réactivité aux fortes précipitations, aux crues ou aux modifications soudaines dans un même bassin d'alimentation offre de nombreux enseignements sur le fonctionnement et la vulnérabilité des masses d'eau.

Lors des derniers relevés réalisés à Arbre, fin août 2021, nous avons constaté que la conductivité du Burnot (eau de surface) était nettement plus élevée que celle sortant du karst à la Vilaine Source. Une observation étonnante tant on associe les eaux karstiques avec la dissolution (et un enrichissement en  $\text{CaCO}_3$  dissout augmentant la conductivité), alors que les eaux de surface, dépendant en partie des eaux de pluies et de ruissellement, sont supposées moins dures et moins chargées en éléments dissouts.

Cette simple observation allait nous mener à quelques relevés et hypothèses intéressantes quant à l'alimentation du Burnot et de la rivière souterraine de Lesve et au fonctionnement assez complexe de ce système hydrologique.



Fig. 1. La résurgence de la Vilaine Source, exutoire du drainage souterrain du vallon sec de Lesve, en basses eaux (avril 2021).

### Branché conductivité !

La mesure de conductivité dans l'eau est assez simple, rapide, facilement reproductible et très riche en renseignements. Le conductimètre peut finalement être considéré comme l'équivalent du marteau de géologue pour un hydrogéologue.



Fig. 2. Multimètre utilisé pour Epukarst comprenant notamment une sonde (droite) pour la mesure de conductivité sols (photo FP).

### C'est quoi la conductivité électrique ?

Cette mesure correspond à la capacité pour un liquide à laisser passer un courant électrique. Dans les faits, elle reflète de degré de minéralisation d'une solution aqueuse. En se dissolvant, les sels se dissocient en ions (anions et cations chargés respectivement positivement et négativement) qui autorisent le passage du courant. Plus la solution est minéralisée, plus il y a d'ions en solution et plus la conductivité électrique sera élevée.

Par exemple, une eau douce, et encore plus une eau distillée dont les ions dissouts ont été extraits, présentera une conductivité très faible tandis qu'une eau dure, très minéralisée, laissera facilement passer le courant. La conductivité dépend de la quantité d'ions, de la nature des ions et de la température. Cette variation peut être importante ( $> 2\%/^{\circ}\text{C}$ ), on ramène donc les mesures à une température normalisée (fixée à 20 ou à 25°C) pour pouvoir comparer des mesures entre elles.

Les appareils modernes font la correc-

tion automatique en fonction de la température et donnent les valeurs à une température de référence.

La conductivité est une mesure globale du niveau de minéralisation qui peut être associé à une diversité de substances et de sels dissouts. Ce paramètre devra donc être interprété en regard d'autres analyses pour, par exemple, déterminer plus spécifiquement la part de calcium dissout.

Une eau très polluée ou le déversement de sels de déneigement peuvent se marquer par une hausse brutale de la conductivité et être repérés par cette simple mesure. L'unité d'expression de la conductivité électrique est le S/m (Siemens par mètre) ; en pratique, on utilise le  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (microsiemens par mètre).

La conductivité d'une eau correspond à sa signature ; ainsi, il est possible de retrouver une source karstique sous-fluviale à l'aide d'un conductimètre en repérant une variation locale de la charge en ions des eaux en bordure d'une rivière (voir l'article de C. Bernard sur le repérage des exurgences dans l'Ourthe à Hotton, Ecokarst 123).

Date	VS Conduct (µS/cm @25°C)	VS pH	VS NO3- mg/l	Burnot Conduct (µS/cm @25°C)	Burnot pH	Burnot NO3- mg/l
27/08/2021	506	7,12	35,90	632	8,80	28,65
27/07/2021	498	7,25	33,48	589	7,99	23,14
04/06/2021	536	7,37	37,07	672	8,03	26,87
26/03/2021	527	7,18	39,15	632	8,01	27,81
22/01/2021	444	7,08	26,69	420	7,18	16,04
12/12/2020	532	7,39	39,34	656	8,00	28,53

Tab 1. Comparaison des valeurs de conductivité, de pH et de concentration en nitrate mesurées à la Résurgence de la Vilaine Source (VS) et dans le Burnot (rivière aérienne en amont de la Vilaine Source).

A Lesve, les mesures réalisées ces derniers mois à la Vilaine Source et dans le Burnot (tab. 1) montrent que les eaux de la rivière sont quasi systématiquement plus minéralisées que celles qui sortent du karst ! Nous évoquons ci-dessous quelques hypothèses pour expliquer ce qui paraît contre-intuitif lorsqu'on compare des écoulements de surface avec une eau karstique.

Disposant également de données concernant la concentration en nitrate et le pH (acidité de l'eau), nous avons inclus ces variables dans la comparaison. Les observations sont complétées par :

- d'autres données collectées aux pertes du bassin de Lesve et dans le réseau souterrain de la Vilaine Source.
- un transect de conductivité amont-aval (depuis les sources du Burnot jusqu'à la confluence avec la Meuse).

### Comparaison Burnot / Vilaine Source

Pour la **conductivité**, à une exception près (22/01/2021), les eaux du Burnot en surface présentent toujours une conductivité supérieure à celles sortant du système karstique de la Vilaine Source. Pour les deux points de prélèvement, la conductivité est en grande liée à la dureté totale (calcium + magnésium dissouts). Les eaux du Burnot seraient donc plus chargées en calcaire dissout que celle provenant du karst! Une analyse complémentaire comme la dureté totale visant à déterminer la concentration en ions magnésium et calcium permettrait de répondre à cette interrogation.

Ceci se confirme également en termes de **pH**, où les eaux du Burnot ont systématiquement un pH + élevé (elles sont même basiques) qu'à la Vilaine Source.

Enfin, en termes de **charge en NO3-**, le système de Lesve apporte plus de nitrate que les eaux de la rivière en surface. Le karst de Lesve enrichit donc la rivière réceptrice en NO3-.

### Nature du bassin d'alimentation

Si on s'intéresse aux formations géologiques présentes dans le bassin d'alimentation du Burnot dans son ensemble (fig. 3), on constate que celui-ci est constitué (hors alimentation du vallon sec de Lesve) à plus de 75% de calcaire carbonifère. Le Burnot voit son débit soutenu de façon diffuse par le drainage de la nappe des calcaires carbonifères (en particulier à l'étiage). Le cours d'eau est également alimenté par un par un ensemble de sources (émergences), elles aussi émanant de ces mêmes calcaires. Pour le système de Lesve, tout le drainage souterrain se fait bien via dans l'étroite bande de calcaire dévonien (fig.

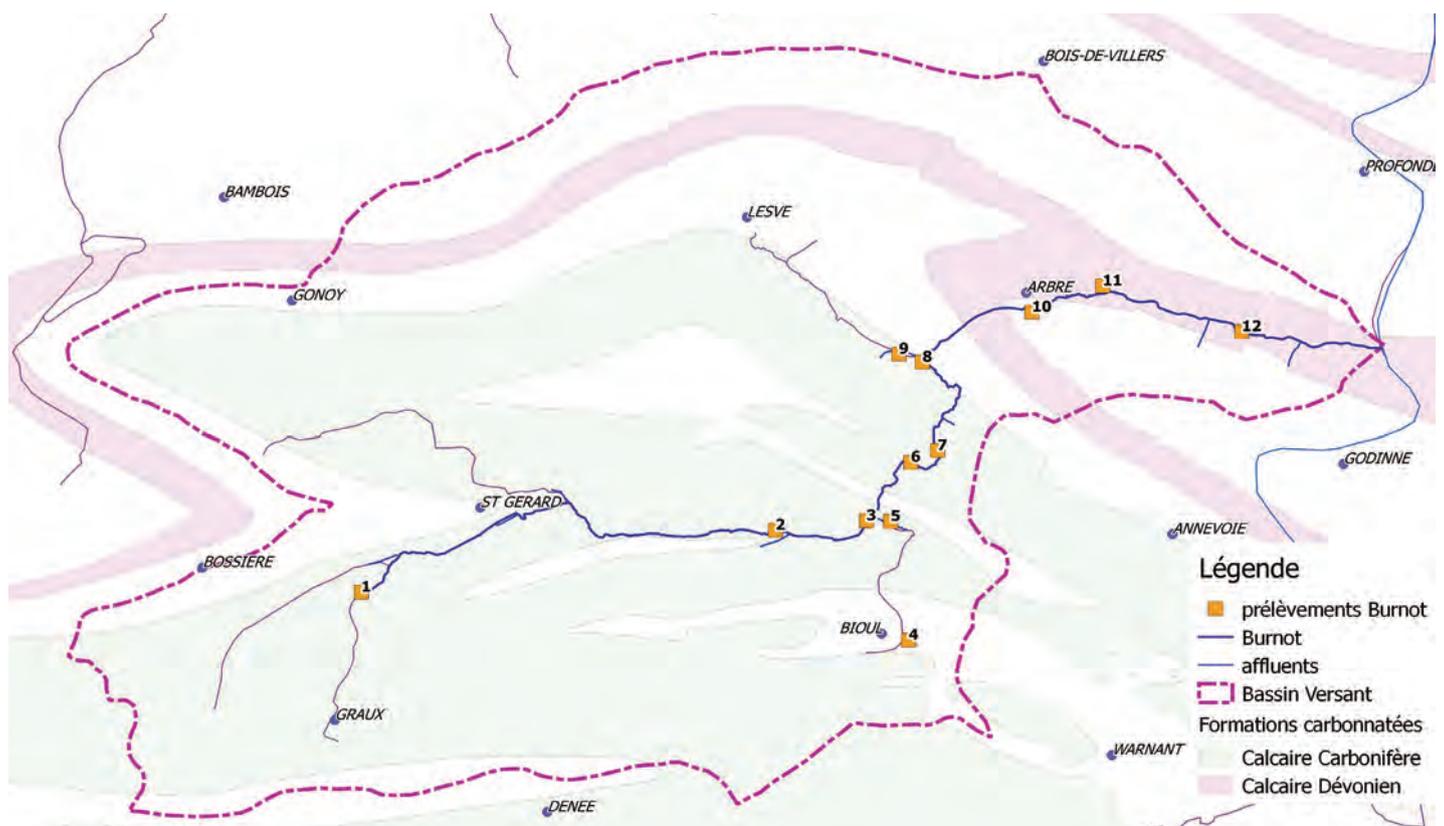


Fig 3. Bassin d'alimentation du Burnot avec répartition des formations calcaires dans l'impluvium du bassin. A= suivi des eaux du Burnot en surface ; B= Résurgence de la Vilaine Source. Les points 1 à 12 (Burnot et affluents) ont été analysés le 13 septembre 2021 pour suivre la chimie des eaux du Burnot depuis la source jusqu'à son exutoire dans la Meuse (voir transect ci-après).

3, en rose), en empruntant différentes rivières souterraines (traits oranges) en direction d'arbre et de la Vilaine Source. Le bassin d'alimentation de ces drains karstiques est bien plus étendu que le fond de vallon calcaire ; il comprend tant au nord qu'au sud des terrains gréseux s'étendant jusqu'à la limite du bassin On y retrouve un certain nombre de sources pérennes, faiblement minéralisées, auxquels viennent se rajouter, lors de fortes pluies, des eaux de ruissellement (elles aussi en grande partie peu minéralisées) qui profitent des fortes pentes et de terrains peu perméables pour dévaler jusqu'aux points de perte.

Le parcours souterrain depuis les chantoirs via la nappe des calcaires est rapide et ne permet pas à l'eau de se charger en calcaire. A titre d'exemple, la circulation souterraine entre le chantoir du Moulin (site 47/7-042) et la Vilaine Source donne des vitesses de 250 m/h (4.27 km parcouru en 17h !), comme D. Backaert a pu le démontrer en janvier 2011 lors d'une campagne de traçage réalisée avec l'UNamur. La pluviométrie cumulée pour le mois de janvier était de 140.1 mm et la Wallonie subissait d'importantes inondations.

Depuis 18 mois, la conductivité mesurée (à une dizaine de reprises) au chantoir du Moulin est assez constante, variant entre 321 et 349  $\mu\text{S}/\text{cm}@25^\circ\text{C}$ . C'est donc très nettement en-dessous des valeurs observées à la Vilaine Source et dans le Burnot. Au niveau de la résurgence, un apport d'eau direct (assez peu minéralisée) provenant des chantoirs, vient se mélanger avec les eaux de percolation et le drainage de la nappe des calcaires (qui sont, elles beaucoup plus dures), tirant la conductivité vers le bas, sous le niveau du Burnot !

### La présence de nitrate dans le bassin

Pour le nitrate, la comparaison s'inverse. Cette fois, c'est la résurgence qui dépasse systématiquement d'une dizaine de mg/l de  $\text{NO}_3^-$  la charge en nitrate par rapport à l'eau de surface du Burnot. On doit donc se rendre à l'évidence... Dans le cas du système de Lesve, le réseau karstique tend plutôt à enrichir le milieu récepteur final (à savoir en Burnot) en nutriments !

C'est probablement du côté de l'occupation du sol et des éventuels rejets d'eaux usées qu'il faut chercher le surplus en nitrates qui se marque à la résurgence de la Vilaine Source. Nous avons pu mettre en évidence quelques lacunes dans l'égouttage autour de Lesve, certains chantoirs servant toujours de réceptacle et de puits perdants « bien pratiques »... apportant leur lot de nitrates d'origine anthropique. Le bassin du Burnot (hors Lesve) est lui, de facto moins peuplé et assez peu cultivé (les pâtures et forêts y dominent).

### Analyse du Burnot et de ses principaux affluents entre la source et l'exutoire dans la Meuse, le 14 septembre 2021 (fig. 3, carrés oranges)

N°	Nom	Conductiv	Temp °C	pH	$\text{NO}_3^-$ (mg/l)
1	Source du Burnot (St Gérard)	736	11,7	7,21	37,96
2	Burnot aval de l'étang de Neffe	686	15,1	7,38	30,79
3	Burnot. amont de la confl avec ru de Bioul	679	17,0	7,68	32,17
4	Trop-plein captage Noire terre (Bioul)	738	12,2	7,29	32,19
5	Ru de Bioul à la confluence avec Burnot	691	17,1	7,58	28,15
6	Burnot amont du Capt AIEM (voir n°7)	672	15,0	7,46	29,98
7	Captage AIEM (trop-plein)	660	17,0	7,45	29,48
8	Burnot en amont du ru de Bessinne	659	17,8	7,66	29,82
9	Ru de Bessinne partie aval	655	14,9	7,64	24,47
10	Burnot à Arbre (sonde $\text{NO}_3^-$ )	658	14,7	7,74	26,72
11	Résurg. De la Vilaine Source	540	12,1	7,70	35,05
12	Burnot aval. Chute d'eau	611	14,9	7,73	28,40

Tab 2. Analyse d'eau d'amont vers l'aval sur le Burnot et ses principaux affluents le 13 sept 2021  
En bleu, les prélèvements réalisés dans le lit du cours d'eau, en blanc ceux sur des affluents et/ou des sources qui contribuent à son alimentation.

Le transect effectué depuis les sources du Burnot (à Saint-Gerard), jusqu'à la confluence avec la Meuse au sud de Profondeville, avait pour but de comparer les caractéristiques de l'eau de l'amont vers l'aval et voir si elles évoluent de manière significative et selon une certaine « logique ».

Nous nous sommes focalisés sur la conductivité, vu la facilité de cette mesure sur le terrain et l'intérêt de suivre le degré de minéralisation de l'eau. Idéalement, il aurait fallu mesurer la dureté totale (cations calcium et magnésium) ainsi que du titre alcalimétrique complet (dosage des anions hydroxydes, hydrogencarbonates et carbonates) pour estimer la quantité de calcaire dissout.

C'est certainement une analyse qu'on fera à l'avenir sur base de l'intérêt de notre première approche basée sur la conductivité. Les analyses ont toutes été réalisées le 13/09 dans l'après-midi. A ce moment, le temps était sec et il n'y avait plus eu de pluies dans le bassin depuis 3 jours. Nos analyses n'ont donc pas été perturbées par un apport soudain de ruissellement massif ou une dilution brutale liée à un orage qui aurait pu influencer les mesures.

De manière générale, on constate que les eaux qui proviennent directement du sous-sol (points 1, 4, 7 et 11) sont nettement plus froides que les eaux de surface. Pour le point 7 (trop-plein du captage de l'AIEM), c'est moins marqué... mais les eaux séjournent pendant un temps dans une chambre de visite située quasi en surface et peuvent donc en partie se réchauffer.

Si on ne prend en compte que les prélèvements effectués directement sur le Burnot (en bleu), on constate entre les points 1 et 12 (classés d'amont vers l'aval) une diminution systématique de la conductivité vers l'aval. Celle-ci s'accompagne d'une augmentation du débit même si ce dernier n'a pu être estimé que visuellement et n'a pas fait l'objet de jaugeage.

Les caractéristiques des eaux des différents affluents et apports latéraux concentrés dans le Burnot sont plus variables et difficiles à interpréter. Il y aurait lieu pour chacun de ceux-ci de définir le sous-bassin versant et notamment d'y relever la géologie. Ainsi le ruisseau de Bessinne (point 9) coule au contact entre les calcaires et les grès. Tout son versant gauche est non calcaire et devrait fournir une eau moins minéralisée... Même si selon nos analyses, la différence est faible et peu significative.

Comme mis en évidence avec les analyses réalisées dans le système karstique de Lesve, l'apport en nitrate et les plus fortes concentrations ne se retrouvent PAS aux points de pertes et dans les rivières souterraines qui les prolongent (circulations rapides), mais plutôt dans les gours.

Des échantillons ont été analysés dans les galeries accessibles de la cavité (fig. 4).

Les valeurs en nitrate les plus hautes ont ainsi été mesurées dans les eaux de percolation qui viennent alimenter le concrétionnement dans la galerie de Vilaine Source (VS). Les trois gours étudiés (figs 5 et 6) donnent systématiquement des valeurs au-dessus de 50 mg/l avec un maximum de 101,9 mg/l enregistré en février 2020 à la Salle des 7 septes !

De manière schématique, on peut dire que les eaux qui forment la résurgence VS représentent une synthèse (et une sorte de moyenne) entre la percolation (analysées dans les gours) et les flux rapides provenant des chantoirs. La valeur étant chaque fois intermédiaire à ces deux apports, que ce soit pour la conductivité, les nitrates et tous les autres paramètres physico-chimiques que nous avons relevés.

### Tenir compte des débits

Des concentrations de nitrate excédant 50 mg/l de NO<sub>3</sub> doivent être prises au sérieux et faire l'objet d'un suivi et d'un certain contrôle.

Dans la première édition des Directives de Qualité pour l'Eau de Boisson publiée en 1984, l'OMS a fixé une recommandation pour le nitrate de 10 mg/l exprimée en Azote (N), ce qui correspond environ à 50 mg/l exprimés en nitrate. Cette norme



fig 5. Topographie de la Vilaine Source avec emplacement des points de prélèvement. La rivière souterraine est analysée au siphon amont (pt 8) et à l'exutoire de la cavité à la résurgence (12). Sur le parcours les spéléologues prélèvent également 3 gours (9, 10, 11) permettant de suivre la fluctuation des nitrates dans l'eau de percolation

a été établie en vue de la protection des consommateurs, plus particulièrement les nourrissons et les femmes enceintes.

Du point de vue de l'environnement et des impacts sur le milieu récepteur (l'habitat rivière et lit du Brunot dans le cas présent), les nitrates combinés à une concentration en phosphates peuvent provoquer une eutrophisation.

Un développement excessif de certains végétaux voire d'algues et de cyanobactéries, peut remettre en cause de bon état écologique des masses d'eau. Pour estimer cet effet, on doit raisonner en charge totale de nutriments (ou polluants) apporté dans le système, en prenant en compte le débit des intrants. En clair, une venue d'eau fortement chargée en nitrate, mais dont l'apport se limite à 1 ou 2 litre(s) par minute, aura moins d'incidence qu'un apport d'eau moins chargé mais beaucoup plus abondant.

### Mise en place d'une mesure en continu des débits à la Vilaine Source

Pour tenter d'effectuer ces bilans, les données sur les concentrations en nitrate doivent être complétées par une mesure du débit. A Lesve et pour l'année à venir, nous allons poursuivre les mesures de débit de la résurgence en continu.

Nous souhaitons décrire les fluctuations et également essayer de les expliquer. Nous pouvons depuis un an comparer ces variations de flux d'eau sortant du karst grâce à un appareil de mesure (un vélocimètre qui utilise l'effet Doppler) qui permet par une mesure couplée avec la hauteur d'eau, de calculer des débits dans des conduits même en cas de mise en charge (fig. 7).

Nous disposons donc d'un relevé continu depuis juillet 2020 du débit d'eau qui sort du karst à la Vilaine Source et qui se déverse quelques mètres plus loin dans le cours aérien du Burnot.

Ces mêmes données (basées sur la hauteur d'eau et la section mouillée) sont par ailleurs enregistrées depuis des années sur le Burnot, pour le réseau AQUAlim (SPW – cours d'eaux non navigables). Elles alimentent notamment les modèles permettant de déterminer les risques d'inondations par débordement de cours d'eau.

Sur le graphique général pour la période 2020-2021 (fig. 7), les courbes des débits du Burnot et de la Vilaine Source présentent des variations très similaires, bien que la rivière aérienne affiche un débit à peu près 10 fois supérieur à celui de la sortie du karst.



Fig. 6. Analyse des eaux de percolation à la « Méduse » dans la Vilaine Source.

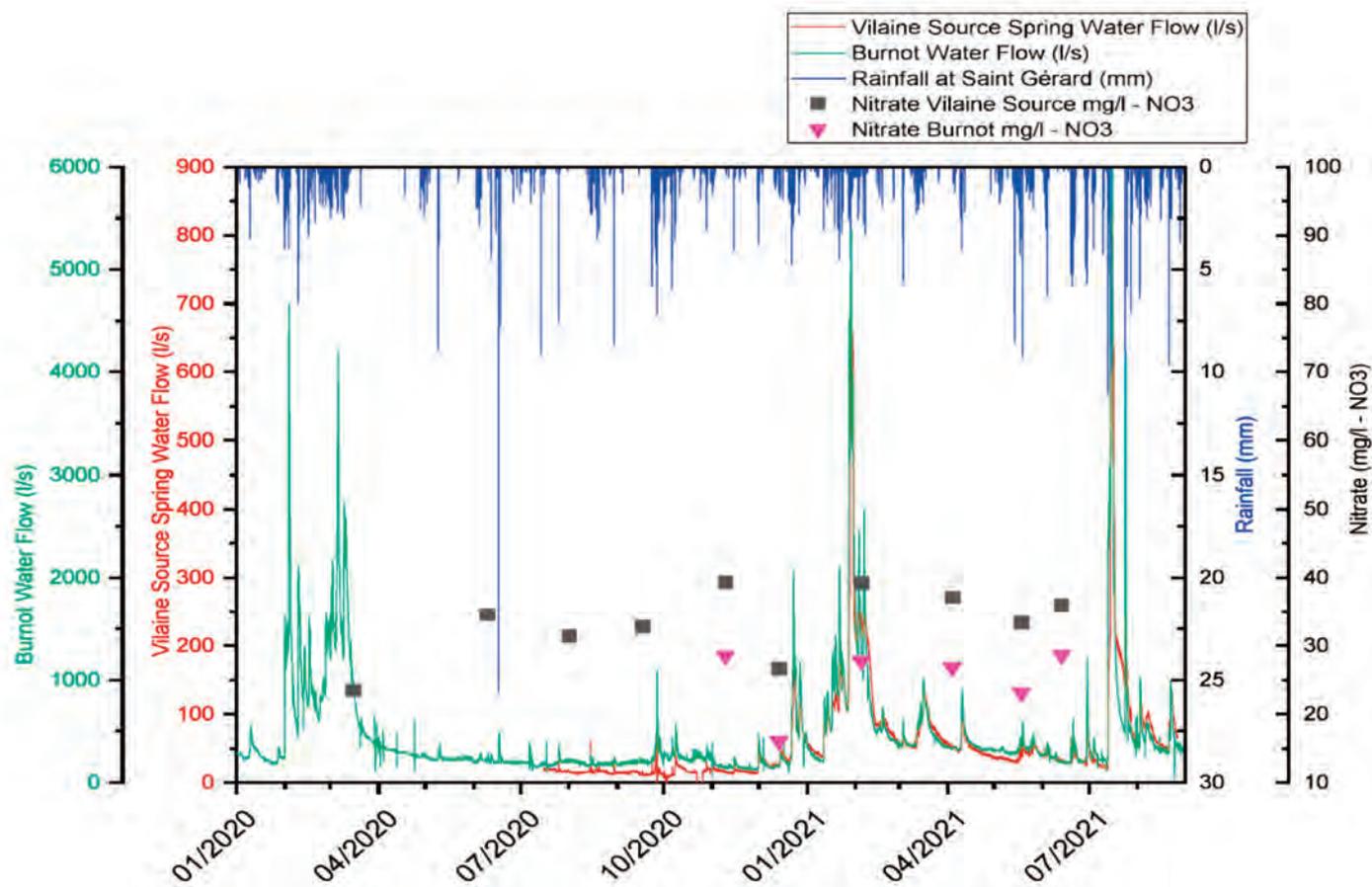


Fig 7. Variations de débit à la Résurgence de la Vilaine Source (rouge) et dans le Burnot (vert), en regard des précipitations atmosphériques, avec report des mesures ponctuelles de nitrate depuis janvier 2020.

Une étude portant sur 63 bassins versants situés dans les bassins Meuse-Rhin, démontre que le débit débutant la phase de tarissement est généralement d'au moins cinq jours après la fin du pic de crue (Lang & Gille, 2006). Cette observation est régulièrement observée sur le Burnot.

A contrario, on observe sur le système de la Vilaine Source, une mise en charge réactive suivie d'une période de tarissement étalée parfois sur plusieurs semaines. Celle-ci correspond à une vidange progressive de la réserve hydrique de l'aquifère karstique. Du 10 juillet 2020 au 10 juillet 2021, les débits maximums et minimums enregistrés sont les suivants:

Tab. 3. Minimum et maximum de débit enregistré entre le 10 juillet 2020 et le 10 juillet 2021

Site	Débit max	Débit min
Burnot	5377 l/s le 29-01-2021	69 l/s le 1-11-2020
Vilaine Source	662 l/s 30-01-2021	20 l/s juin 2021

On constate à la Vilaine Source que l'étiage le plus prononcé s'est produit durant la période estivale. Le débit a été pendant cette période de moins de 30 l/s en moyenne, alors qu'en janvier la décharge souterraine est la marquée avec plus de 650 l/s. Nous avons volontairement sorti de ces comparaisons la crue centennale de juillet 2021, qui est un phénomène hors normes difficile à comparer au régime classique de ce système karstique. Nous en donnons quelques informations ci-dessous.

### La méga crue de juillet 2021

Au moment des événements météorologiques exceptionnels de la mi-juillet 2021 (jusqu'à 55 mm de pluie enregistrés en 24h le 15/07/2021 à la station de Saint-Gérard... soit l'équivalent des précipitations moyennes d'un mois d'été sur quelques heures, sur un sol déjà saturé en eau par les pluies précédentes), le débitmètre était déjà en place à la Vilaine Source. Notre appareil a non seulement résisté à la méga-crue (on avait peur qu'il soit arraché par les flux!), mais surtout, il a pu enregistrer cet événement hydrologique aussi tragique qu'exceptionnel. Les coefficients de tarissement (loi de Maillet) qui déterminent l'aspect de la courbe

des débits après le pic de crue du 15 juillet 2021 sont bien différents entre le Burnot et la Vilaine Source (fig. 8). Ce constat confirme des modes d'alimentation de nature différente. Une pente forte représente la vidange de réservoirs où les écoulements, comme les ruissellements, sont rapides. La pente faible indique quant à elle, une vidange de nappes localisées dans des zones fissurées.

On peut voir (en comparant la terminaison des courbes rouges et vertes) que le Burnot « aérien » tend très rapidement à revenir à son niveau de base d'avant la crue, alors que pour la Vilaine Source, 5 jours après le maximum des précipitations, le débit est encore 10 fois supérieur à l'étiage ayant précédé ces terribles pluies.

On retrouve également sur cette courbe de tarissement plusieurs pics témoignant d'un régime hydrologique plus complexe qu'une « simple » rivière de surface.

Au plus fort de la crue, le débit enregistré à la **Vilaine Source** a été de 845 l/s. Le conduit qui canalise les eaux sous la route vers le Burnot a saturé et une partie des eaux est passée SUR la route, de sorte que ce débit maximum (mesuré dans le conduit) est sous-estimé. Le débit du **Burnot** aura atteint 15 m<sup>3</sup>/s. Au cours de la période du 10 juillet au 20 juillet 2021, la station pluviométrique de

Saint-Gérard a enregistré un cumul de précipitations de plus de 120 mm. Dans la grotte elle-même, prolongeant la résurgence vers l'amont sur près d'un km, le très beau concrétionnement ainsi que les coupes sédimentaires effectuées (par Y. Quinif) dans les alluvions accumulées à proximité du siphon amont n'ont PAS été affectées par les crues.

Les spéléologues sont retournés dans la Vilaine Source le 27 juillet pour y faire les analyses d'eau bimensuelles. Ils ont pu constater que si le niveau d'eau est monté dans la galerie, mais assez modérément, sans atteindre ces éléments.

Par contre, la vélocité du flux a profondément modifié l'aspect de la zone active de la galerie en redistribuant certains sédiments et en donnant à certains passages, pourtant empruntés depuis la découverte de la cavité, un aspect totalement vierge, toutes les empreintes ayant totalement disparu !

### Conclusions et perspectives

Quand on s'intéresse aux cours d'eaux, aux sources ou à un réseau karstique parcouru par un écoulement souterrain, pouvoir connaître et mesurer les débits est une donnée essentielle.

Si cette variable semble basique (il s'agit de mesurer des litres par seconde), elle est loin d'être évidente à réaliser sur le terrain. C'est particulièrement vrai dans le karst, où les écoulements ne sont pas comparables à une circulation et laminaire dans un tuyau ou un chenal.

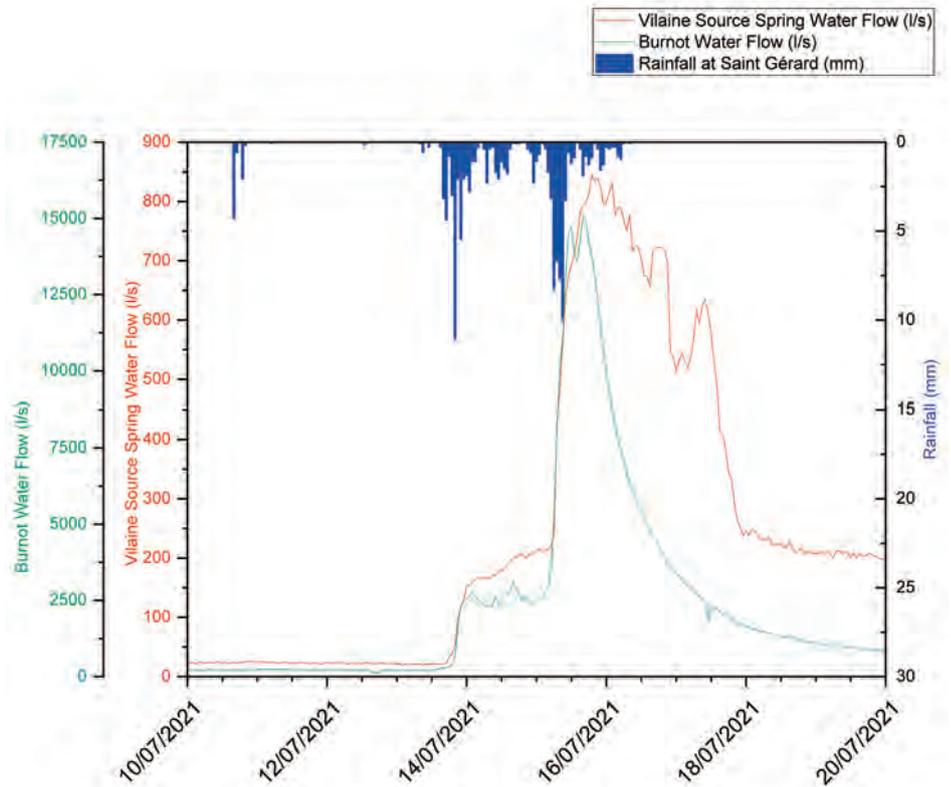


Fig 8. Débits et précipitations lors de la crue de juillet 2021 dans le bassin du Burnot et de la Vilaine Source (enregistrement sur 10 jours avec un pas horaire).

Disposer d'un enregistrement fiable, précis et en continu du débit à la résurgence et pouvoir prolonger celui-ci sur plusieurs années fournira bien des renseignements sur l'alimentation, la réactivité, la vulnérabilité et plus généralement sur le fonctionnement hydrologique de cet important réseau karstique.

Combinées avec les mesures réalisées aux pertes, aux observations via les "regards" (cavités de Lesve donnant accès aux écoulements souterrains), voire de nouveaux traçages, ces données de débit permettront mieux caractériser l'hydrologie des calcaires dévoniens alimentant la résurgence à Arbre.



Fig 9. Le Burnot dans sa partie aval, à hauteur du Collège du Burnot (n° 12 sur notre transect), est la résultante complexe d'un mélange d'eaux provenant tout à la fois de la nappe, du ruissellement et d'apports rapides via les drains karstiques. Son étude est loin d'être terminée.

Du point de vue de la concentration en nitrate, nous tentons de mettre en évidence des patterns et des rythmes saisonniers. Avec moins de 2 ans d'observations, des années caractérisées par un climat contrasté assez atypique ainsi qu'un pas d'échantillonnage de 2 mois, trop distant pour cet objectif, ceci n'a pas pu être possible. Beaucoup de données et d'observations seront encore nécessaires pour établir un lien avec les périodes d'épandage (principale source de nitrate d'origine agricole).

Quant au temps de résidence du nitrate dans le sol et à un éventuel « piégeage » temporaire dans l'épikarst... rien n'est simple ! En plus d'être plus ou moins consommé par les plantes à certaines saisons (raison d'être initiale des épandages !), le nitrate ne « diffuse » pas de manière linéaire, mais par effet piston au rythme des grosses pluies, des forts apports d'eau et/ou des fontes des neiges.

Face à un tel système multifactoriel, le rythme d'échantillonnage prévu pour Epukarst (un prélèvement tous les deux mois) n'offre pas de réponses adéquates. Nous avons donc choisi d'équiper l'exutoire karstique de Lesve, en plus de son débitmètre en continu, d'une sonde de mesure du nitrate.

Depuis début septembre 2021, nous enregistrons toutes les 30 minutes à la fois le débit de la Vilaine Source et sa concentration en nitrate.

On espère pouvoir déduire une série de chose de ce monitoring... et confirmer certaines de nos hypothèses quant aux quantités de nitrate qui transitent via le karst et leur fluctuation dans le temps.

Affaire à suivre donc !

G. MICHEL (CWEPS) &  
J. FLAMENT (ISSeP)



Fig. 10. La sonde « EXO » permet de mesurer toutes les 30 minutes la concentration en nitrate dans les eaux de la Vilaine Source.

## JOURNÉES DE SPÉLÉOLOGIE SCIENTIFIQUE 2021

Après une année 2020 sans JSS pour cause de pandémie, celles-ci auront à nouveau bien lieu les **20 et 21 novembre 2021**. Cette 24<sup>ème</sup> édition se tiendra comme auparavant le samedi à Han-sur-Lesse tandis que le dimanche sera consacré à la classique visite de terrain.

Les **passionnés de l'étude du monde souterrain** pourront à nouveau se retrouver pour assister et présenter des communications de ce passionnant milieu qui est le nôtre, que ce soit du point de vue physique, archéologique ou biologique. Sans oublier les discussions et échanges toujours passionnants!

La journée du **samedi 20** est consacrée aux présentations (conférence, communications et posters). La conférence du matin sera faite par **Christophe Delaere**, du Centre de Recherches en Archéologie et Patrimoine de l'Université Libre de Bruxelles. Il nous parlera des recherches archéologiques récentes à la **grotte de Han-sur-Lesse**, en présentant les activités humaines



Fig. 1. En plongée dans le trou de Han

anciennes en relation avec les transformations du paysage naturel et karstique.

Pour le reste de la journée, tout un chacun peut faire une communication ou présenter un poster moyennant l'inscription préalable en ligne.

Le **dimanche 21**, c'est au Fond des Vault à **Marche-en-Famenne** que se déroulera l'excursion de terrain. En compagnie de **Luis Alvarez, Serge Delaby, Michel Louviaux, Georges Michel et Yves Quinif**, nous pourrions découvrir les richesses karstiques de ce vallon exceptionnel de la Caestienne. Attention, l'excursion n'est accessible qu'aux participants du samedi.

Le coût d'inscription pour le week-end est de 10€ par personne.

Tous les renseignements pratiques et l'inscription se font (à partir d'octobre) via le site web des JSS : <https://sites.google.com/view/jss2>



Fig. 2. Le Trotti aux Fosses au Fond des Vault

Charles BERNARD

## LE RADON DANS LES GROTTES (1<sup>ère</sup> partie)

Depuis février 2021, un monitoring sur les concentrations de radon est en cours dans la grotte du Noû-Bleû (Sprimont - Chanxhe). L'acquisition des données se fait en continu sur une année complète grâce à des capteurs passifs disposés dans 4 endroits de la grotte aux caractéristiques morphologiques différentes. Les capteurs sont remplacés tous les 28 jours et partent ensuite en laboratoire pour y mesurer leur exposition au radon.

C'est en 2018 que la radioactivité en milieu karstique a commencé à m'intéresser. Cette curiosité m'a amené à pousser la porte de l'AFCN (Agence Fédérale du Contrôle Nucléaire) pour démarrer une collaboration avec Boris Dehandschutter, géologue expert en radioactivité environnementale pour l'AFCN. Depuis, nous travaillons ensemble sur ce projet d'étude passionnant dans la grotte du Noû-Bleû.

La plupart d'entre nous a déjà entendu parler du radon, gaz indésirable qui s'accumule entre autre dans les caves de nos maisons. Le radon est un gaz radioactif incolore et inodore qui émane du sous-sol. Il est issu de la chaîne de désintégration de l'uranium présent à l'état naturel dans la quasi totalité des roches terrestres, y compris dans les calcaires.

Sa radioactivité en fait un élément nocif dont il faut se protéger domestiquement, dans l'industrie confinée (mines, carrières souterraines...) mais également dans la pratique de la spéléologie. Mieux connaître le radon peut permettre de se prémunir efficacement contre ses effets, mais aussi d'en apprendre d'avantage sur la composition et la structure du sous-sol et sur l'aérogologie des cavités souterraines.

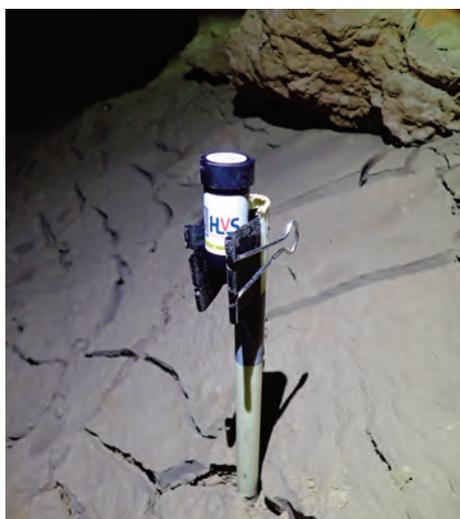


Fig. 2. Capteur passif de radon (photo G. Roba).



Fig. 1. Dans le réseau aquatique du Noû-Bleû (photo G. Rochez).

La radioactivité provient principalement de la chaîne de désintégration de l'uranium 238 (U238). La radioactivité est caractérisée par la réorganisation spontanée du noyau d'un atome dit instable. En se réorganisant pour tendre vers un état plus stable, le noyau perd des nucléons (protons, neutrons) ce qui induit le changement de sa nature chimique par processus de « désintégration radioactive », qui s'accompagne de rayonnement de trois types :

- **alpha** : le noyau perd deux protons et deux neutrons en éjectant une particule alpha, c'est-à-dire un petit noyau d'hélium. La vitesse d'éjection de cette particule est vertigineuse, de l'ordre de 15.000 kilomètres par seconde ! Extrêmement ionisante, cette particule est peu pénétrante : elle est arrêtée par quelques centimètres d'air ou par l'épaisseur d'une feuille de papier.
- **bêta** : un électron est éjecté à haute vitesse lorsqu'un neutron se transforme en proton dans le noyau atomique (et vice versa lors de l'émission d'un positon). Les radiations bêta sont très ionisantes mais sont arrêtées par quelques mètres d'air ou par une feuille d'aluminium.
- **gamma** : c'est le rayonnement le plus énergétique des rayonnements électromagnétiques dont font également partie la lumière, les ondes radios, les UV, les rayons X... Ce rayonnement composé de photons est souvent produit à la suite des désintégrations alpha et bêta. Moins ionisant, il est très pénétrant : plusieurs centimètres de plomb sont nécessaires pour le stopper.

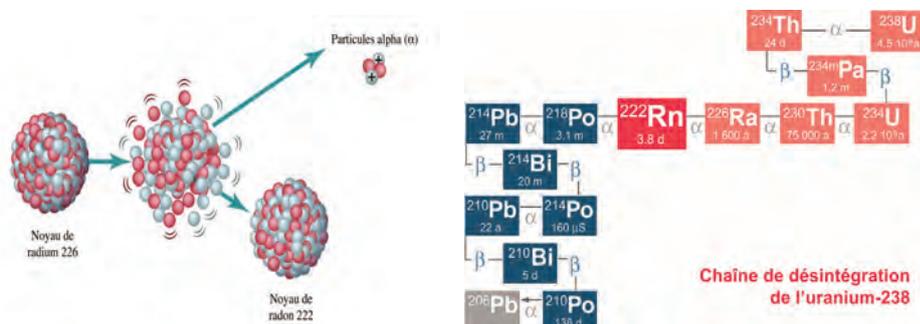


Fig. 3. Rayon alpha (à gauche) et chaîne de désintégration de l'uranium jusqu'au plomb.

Le nombre de désintégrations par seconde s'exprime en Becquerels (Bq). Un gramme d'uranium 238 a une radioactivité de 12.400 Bq, c'est-à-dire que 12.400 noyaux d'uranium se désintègrent chaque seconde. Pour le radon, l'activité dépend de sa concentration dans l'air. A titre d'exemple, l'air intérieur d'une nouvelle habitation doit avoir une activité inférieure à 100Bq/m<sup>3</sup> (norme fixée par l'Union Européenne).

Depuis le début du 20<sup>ème</sup> siècle, l'industrie, les essais et les catastrophes nucléaires ont relâché des isotopes radioactifs dans l'environnement mais cette radioactivité artificielle ne compte que pour environ 5% de la radioactivité totale.

### Identité et origine du radon

Dans la nature, le radon (Rn222) est le 86<sup>e</sup> élément du tableau périodique des éléments (Mendeleïev); sa masse atomique est de 222. Son noyau, instable, est composé de 86 protons et de 136 neutrons (86p + 136n = 222). C'est un gaz radioactif issu de la chaîne de désintégration de l'uranium (U238) présent à l'état naturel en faible quantité.

Le radon a une demi vie (ou période) de 3,8 jours, soit une division par 2 de la quantité de ce gaz instable tous les 3,8 jours. Le radon se désintègre à son tour en Polonium 218 en émettant une particule alpha.

Bien que l'atome de radon soit très «lourd», il se trouve à l'état gazeux à pression et à température ambiantes. Il fait partie des gaz nobles, autrefois qualifiés de « gaz rares ». Ces derniers sont au nombre de 6 dans la nature : l'hélium (He), le néon (Ne), l'argon (Ar), le krypton



(Kr), le xénon (Xe) et le radon (Ra). Ces gaz ne réagissent avec presque aucun autre élément, on dit qu'ils sont chimiquement stables. Cet aspect inerte permet à ce gaz de passer facilement à travers la porosité de roches, de fibres ou de matériaux synthétiques. En fait aucune matière n'est parfaitement étanche au radon. Comme c'est un gaz très dense, il s'accumule dans le fond des cavités mal ventilées (caves, mines... mais aussi dans les grottes que nous explorons).

### Un danger pour les spéléologues?

Le radon est présent partout dans l'atmosphère. A lui seul, il représente 35% de notre exposition aux rayonnements ionisants. Après le tabac, c'est la 2<sup>e</sup> cause de cancer du poumon (environ **10% des cas lui seraient imputable**). Si les cellules mortes de la peau nous protègent en arrêtant la quasi totalité des particules alpha, il n'en va pas de même pour les tissus internes dans notre organisme comme les

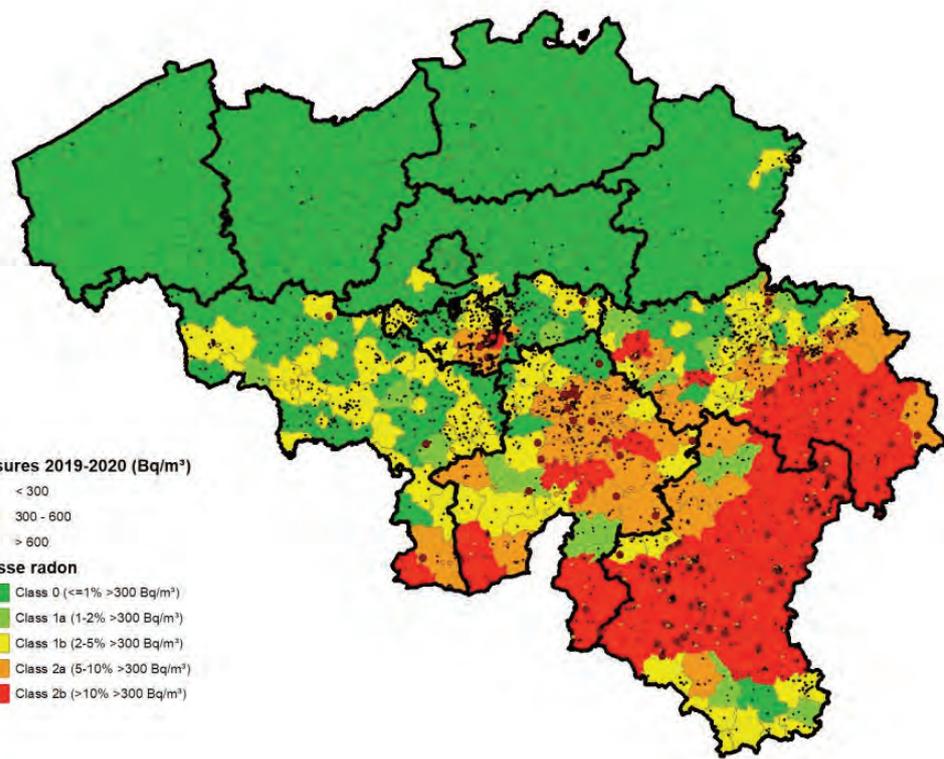


Fig. 4. Mesure de radon en Belgique (campagne 2019-2020) - sources AFCN. La nature géologique des terrains a une incidence importante sur les concentrations observées.

fines parois de nos alvéoles pulmonaires. A titre de comparaison, si un spéléo respire de l'air dont la radioactivité est de 10.000 Bq/m³ pendant 87,6 heures (15 sorties de 6h chacune), il accumulerait une dose équivalente à celle reçue pendant une année dans une maison présentant une activité de 100Bq/m³ (limite UE).

Il doublerait alors son exposition annuelle sans prendre en considération les autres apports de radiations (alimentaires, médicales, aviation, etc).

Actuellement le seul moyen rationnel de se prémunir des risques liés au radon est de limiter son exposition à ce dernier.

### Monitoring au Noû-Bleû

Pour mener une campagne exploratoire a propos du radon en grotte, le Noû-Bleû nous est apparu comme un site particulièrement propice. Depuis sa découverte en 2012, la cavité est dédiée à la recherche scientifique.

Son accès est réglementé et elle est peu impactée par l'activité humaine. Les appareils de mesure n'y sont pas perturbés, ce qui nous garanti d'obtenir des données de bonne qualité.

La campagne de monitoring étant toujours en cours actuellement, nous ne pouvons donner de résultats définitifs et nous devons rester prudents dans l'interprétation des données. Les données partielles tendent à confirmer les hypothèses sur les variations de concentrations saisonnières et semblent en outre corrélées avec celles du CO2.

La super-crue du 15 juillet dernier va sans doute nous apporter des informations intéressantes sur le dégazage du radon ainsi que sur le rayonnement gamma ambiant avant, pendant et après la crue.

Moins réjouissant : dans les salles les moins ventilées du réseau, nous avons observé cet été des pics de concentration préoccupants

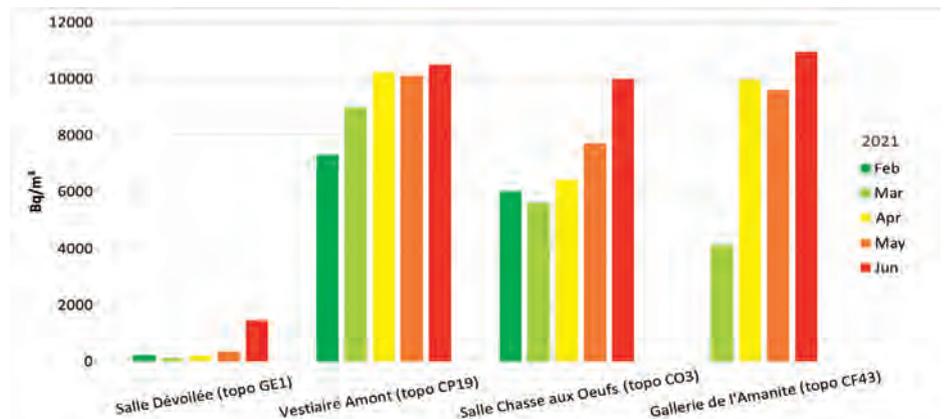


Fig. 5. Monitoring des fluctuations saisonnières de radon, en 4 points du Noû-Bleû.

Ceux-ci grimpaient jusqu'à 25.000 Bq/m<sup>3</sup> avec une moyenne aux alentours de 20.000 Bq/m<sup>3</sup>, soit près de 200 fois la limite domestique fixée par l'UE!

Même si nous ne vivons pas dans le fond des grottes, il faut garder à l'esprit que nous exposons nos poumons à de fortes doses de radiations à chaque fois que nous y passons. Ne nous y attardons donc pas plus qu'il ne le faut.

En tant que spéléos, on ne peut s'empêcher de penser aux guides de cavités touristiques. Bien que la problématique soit déjà connue, lors des guidages ils s'exposent, en particulier dans des cavités mal ventilées, plusieurs fois par jour à de fortes concentrations de radon. Sur le long terme, cette exposition pourrait nuire à leur santé tout comme l'était autrefois la "silicose du mineur". Le but de cette étude n'est pas de quantifier le risque mais elle pourrait apporter de nouvelles perspectives dans l'amélioration de la prévention.

Ces quelques réflexions et résultats préliminaires partiels n'offrent qu'un premier aperçu de nos observations au Noû-Bleû et de la manière dont cette grande et belle cavité respire et « expire » du radon.

Lorsque l'étude sera terminée, nous serons ravis de vous présenter nos conclusions dans un prochain Eco Karst!

*Gauthier ROBA (CRSOA  
Collectif Noû-Bleû)*

## La « team » CWPSS se renforce !

Depuis de nombreuses années, l'équipe de la CWPSS, très « monolithique », se limitait à une seule unité. A partir du mois d'octobre 2021, elle s'enrichit et se diversifie, avec l'inclusion de Félix de Sélys dans nos rangs, qui apportera ses compétences aux projets et études karstiques en cours menées par l'association. Ceux-ci étant de plus en plus nombreux, diversifiés et passionnants, il devenait en effet de plus en plus difficile de suivre le rythme...



Jeune diplômé en Géologie et Sciences de la terre, Félix vient de finir avec brio et de manière très convaincante son stage de fin d'étude chez nous et au Géopark. Pendant plusieurs mois, il s'est investi sans compter dans le projet EpuKarst, faisant preuve d'une belle autonomie et d'un « appétit » pour les roches carbonatées, qui fait plaisir à voir !

Les membres bénévoles qui collaborent au travail de la CWPSS (sans lesquels nous ne pourrions couvrir la Wallonie karstique comme nous le faisons depuis de nombreuses années), auront donc « affaire à lui » dans les prochaines semaines.

Nous souhaitons à Félix la bienvenue au sein de notre petite mais dynamique « communauté karstique » et nous réjouissons de pouvoir travailler avec lui et de bénéficier de ses compétences à l'avenir !

*Le Conseil d'administration*



### CWPSS asbl

Secrétariat : av. G. Gilbert 20, 1050 Bruxelles  
Tél: 02/647.54.90 - [contact@cwepss.org](mailto:contact@cwepss.org)

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

Ce nouvel Eco Karst est l'occasion idéale de **renouveler votre cotisation!** La **cotisation annuelle à la CWPSS**, incluant 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).

Le paiement de votre cotisation se fait par virement. Reprenez en communication **vos coordonnées complètes, et la mention "cotisation 2021"**.

**IBAN : BE68 0011 5185 9034 / BIC : GEABEBB**

### Dons exonérés d'impôts

Notre association de protection de la Nature est 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.

Les dons sont à effectuer par virement, avec **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@cwepss.org](mailto:contact@cwepss.org)).

