



Eco Karst

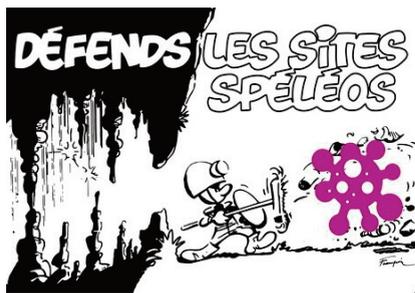
Trimestriel de la Commission Wallonne d'Etude et de Protection des Sites Souterrains
Ed. Resp. : G. Thys, Clos des Pommiers 26 - 1310 La Hulpe

Belgique - Belgie
P.P.
1310 - La Hulpe
1/4467

N° agréation P 30 24 48
N° 120 - 2eme trimestre 2020

Editorial

Alors que la première phase de la redoutable pandémie touche enfin à sa fin, que l'on déconfiner de plus en plus mais que les rassemblements restent limités... C'est en toute sécurité que nous reprenons contact avec nos membres et nos lecteurs, via cet Eco Karst et son éditorial masqué!



Pour cette sortie d'hibernation causée par un satané virus, nous vous proposons un numéro assez technique, car il est également temps de

déconfiner notre esprit et nos méninges, via un ensemble de sujets éclectiques:

- Nos amies les **chauves-souris** ont été montrées du doigt comme aux plus sombres heures de l'obscurantisme. Ce mammifère ailé fut accusé d'être un des hôtes du **Covid 19**. Nous tentons de faire la lumière sur la "responsabilité effective" des chiroptères dans cette maladie, en fournissant un ensemble de réponses aux questions qui circulent à ce sujet.

- Le **géocaching** connaît une croissance et un succès planétaire depuis ses premiers balbutiements en 2000, relançant la mode de la chasse aux trésors.

Nous nous interrogeons sur l'impact d'une telle activité sur les régions calcaires et les grottes de Wallonie et sur l'opportunité de cette activité pour faire découvrir le karst et son intérêt au plus grand nombre.

- En hydrologie, la **mesure du débit** constitue une valeur fondamentale... aussi simple à exprimer (litres/secondes) que technique et compliquée à effectuer.

Nous présentons quelques méthodes de mesure et leur possible application au karst et aux eaux souterraines, ainsi que les problèmes et limitations de chacune d'elles.

- La protection des gisements et des **vestiges archéologiques** représente la mission première de l'Agence Wallonne pour le Patrimoine (AWaP). Confrontée à l'usage anarchique des **détecteurs à métaux** par des "chercheurs de trésors", elle tente aujourd'hui d'encadrer (plutôt que d'interdire) cette pratique dans l'espoir de laisser échapper le moins possible de données ou d'informations précieuses sur notre passé.

Bonne lecture à tous, prenez soins de vous... Et réapprenons à vivre, à penser et à nous émerveiller, après ce trop long break.

L'équipe de la CWEPSS

CHAUVES-SOURIS ET COVID-19

Un bouc émissaire ailé qu'on ferait mieux de protéger

La chauve-souris est devenue un emblème fort de la conservation de la nature, mais aussi de l'altération des environnements naturels par les humains et en particulier du milieu souterrain.

La possible "participation" de ce mammifère à la diffusion du virus à l'origine du Covid-19 peut faire craindre une "chasse aux sorcières" voire des programmes d'extermination de ce mammifère considéré totalement à tort par certains comme un nouveau "nuisible" (alors même que toutes les espèces sont protégées). Il est absurde de voir en la chauve-souris un transmetteur direct et de s'attaquer à ce "potentiel vecteur" de la maladie... plutôt qu'aux causes et au virus lui-même.

*Ayant participé à la mi avril à une « discussion confinée » sur ce sujet, nous vous en livrons les principales idées forces. **Fabien Darne**, initiateur de cette vidéo-conférence, instructeur fédéral FFS, naturaliste et auteur du dossier "Approche de la Biospéologie" a accepté de répondre à nos questions. Avec cet article, et à notre petite échelle, nous espérons fournir quelques réponses aux questions que bien des personnes se posent aujourd'hui sur les liens entre le covid et les chiroptères.*

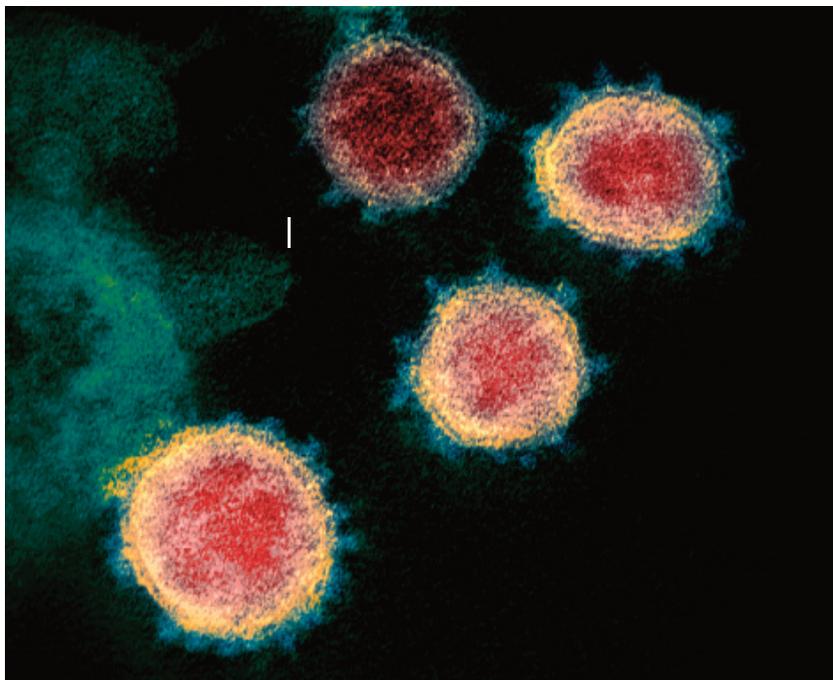


Fig 1. Image du virus SARS-CoV-2 au microscope électronique à balayage, photographié par NIAID. Licence CC BY 2.0 - Attribution 2.0 Générique

Pour bon nombre de scientifiques, la pandémie actuelle est une zoonose (maladie humaine d'origine animale). Quels en seraient les possibles animaux porteurs et comment un tel virus peut-il "passer" d'un hôte animal à l'être humain ?

60 % des quelque 1500 maladies infectieuses que l'on retrouve chez l'humain sont des zoonoses, à savoir des maladies que se partagent les animaux et Homo sapiens. De plus, depuis quelques décennies, environ 75 % des nouvelles maladies « émergentes » affectant l'espèce humaine sont d'origine animale.

Cette première grande pandémie du XXI^e siècle que nous connaissons actuellement est due au coronavirus SARS-CoV-2 (en français : Syndrome Respiratoire Aigu Sévère – Coronavirus - 2), lui-même proche du coronavirus SARS-CoV-1 qui avait déclenché l'épidémie en 2002-2003, apparue en Chine mais dont la diffusion a été finalement limitée (plus de 8000 cas et près de 800 morts) essentiellement en Asie.

Il semblerait que le SARS-CoV-2 ait dérivé il y a 40 à 70 ans du CoV-RaT-G13 retrouvé chez des rhinolophes du Yunnan, qu'il ait circulé et se soit recombina plusieurs fois avant d'émerger dans les populations humaines (Boni et al., 2020). Le virus actuel n'est donc pas directement un virus de chauve-souris, il fait partie du même phylum mais a divergé, circule et évolue de manière sélective depuis bien longtemps.

Des scientifiques ont remonté les chaînes de contamination, capturé et analysé des animaux sauvages et c'est ainsi que la civette palmiste masquée (*Paguna larvata*) a été désignée comme l'animal ayant transmis le coronavirus (SRAS-CoV) à Homo sapiens en 2002. Le virus a également été détecté chez des chiens viverrins, mais ce sont des civettes vendues captives sur les marchés chinois de la région de Canton (à plus de 1000 km des grottes du Yunnan hébergeant les rhinolophes désignés comme « réservoirs »), qui se sont révélées porteuses d'une version du virus la plus proche génétiquement de la souche humaine.

Les civettes sauvages capturées et testées se sont révélées négatives, ce qui signifie que ce sont les activités humaines qui ont facilité le passage de la barrière d'espèce, après capture. Le pangolin (*Manis javanica*, en danger critique d'extinction), considéré actuellement comme le principal candidat au statut fort peu enviable d'"hôte intermédiaire" du **coronavirus actuel (SARS-CoV-2)** se retrouve dans le même cas que la civette, c'est-à-dire accusé d'avoir fréquenté des chauves-souris et d'avoir contaminé des humains à près de deux mille kilomètres du lieu de sa capture. On peut imaginer qu'il a pu être contaminé lui-même par d'autres animaux durant sa captivité voire même par un humain...

Pour mémoire, les oiseaux sauvages sont considérés comme le réservoir naturel des virus influenza A (virus de la grippe de type A). C'est ainsi que les virus influenza

seraient les précurseurs de tous les sous-types de virus grippaux circulant chez le cheval, le porc et l'espèce humaine. Les échanges de micro-organismes entre animaux sauvages, animaux domestiques et êtres humains sont à interroger au regard des pressions anthropiques sur les écosystèmes.

Enfin Homo sapiens reste le principal « réservoir » des virus l'affectant !

Ne risque-t-on de connaître (en Chine en particulier) un "acharnement" contre les chiroptères, désignées comme "responsable de la pandémie"?

Philippe Grandcolas, directeur de recherches au CNRS, conseiller scientifique de la Fondation pour la recherche sur la biodiversité, dit que « les animaux ne sont ni des anges, ni des démons » et que « ces animaux sont en voie d'extinction, il ne sert à rien de tirer sur l'ambulance ». Je rajouterai surtout quand c'est nous qui avons provoqué l'accident !

Notre approche manichéenne centrée sur nos intérêts transforme l'animal soit en allié (économique, symbolique, sportif, psychologique...) soit en ennemi (nuisible). Les réactions conjoncturelles locales (exemple rapporté de Bolivie) vont peut-être entraîner la destruction de quelques colonies pour des raisons plus symboliques que sanitaires. La vraie menace, mais je n'y crois pas, consisterait en des actions de destructions organisées par les autorités dans certaines régions. Mais surtout, **l'effondrement des populations de chauves-souris** se poursuit tous les jours du fait de la destruction des habitats, de la déforestation, de la disparition des insectes, de l'épandage et pesticides, etc.

En France par exemple, nous estimons que près de 40 % des chauves-souris ont disparu en dix ans. L'être humain est également la cause d'épidémies chez les chauves-souris. En Amérique du nord, le syndrome du nez blanc (dû à un champignon parasite - fig. 03), importée par les voyageurs, a déjà tué plusieurs millions de chiroptères.

Le spéléologue augmente-t-il son risque de contamination en visitant des cavités avec chauves-souris?

Si l'origine de nombreux virus humains se retrouve dans des espèces de chauves-souris, ce ne sont pas les mêmes d'un point de vue génétique et biochimique. Les contacts directs et prolongés entre Homo sapiens et les chiroptères sont exceptionnels et forcément volontaires.



Fig.2. Pangolins et autres animaux sauvages et vivants, vendus dans un marché illégal, photographié en Birmanie par Dan Bennett en 2008 - Licence CC BY 2.0 .



Fig. 3. Une petite chauve-souris brune affectée du syndrome du nez blanc. (Marvin Moriarty/USFWS). Domaine public

Il n'y a donc pas réellement de possibilité de passage direct de l'humain à la chauve-souris. Ainsi, le coronavirus à l'origine de la maladie Covid-19 se serait séparé de la souche originelle il y a quarante à soixante-dix ans. Cela signifie que le SARS-CoV-2 tel que nous le connaissons aujourd'hui a dû changer plusieurs fois d'hôte, muter, s'adapter à de nouvelles conditions écologiques pour devenir spécifique.

Un spéléo n'a aucune raison d'aller embrasser une chauve-souris (je rappelle que toutes les espèces sont protégées !). Le principal danger pour tous les pratiquants de plein air actuellement c'est plutôt les tiques qui peuvent transmettre la borréliose de Lyme.

Les chiroptères sont-ils des "porteurs sains" du Covid et comment expliquer qu'ils ne soient pas impactés par le virus ?

Depuis plus d'une dizaine d'années, les recherches scientifiques sur les chauves-souris se sont multipliées (effet « SARS ») et nous révèlent petit à petit un animal assez extraordinaire. Outre une exceptionnelle longévité eu égard à leur petite taille, les chiroptères, seuls mammifères doués du vol actif, ont la particularité, même en vieillissant, de pouvoir réparer leur ADN, de supprimer les tumeurs, de développer une réaction immunitaire très efficace et contrôlée.

Le système immunitaire de la chauve-souris ne tuerait pas tous les virus mais ferait suffisamment baisser « la charge virale » pour qu'ils soient tolérés. La plupart de ces particularités des chauves-souris proviendraient de son adaptation au vol depuis

près de 60 millions d'années. Tout cela fait des chauves-souris, plutôt que des « réservoirs » à virus, d'extraordinaires archivistes de l'histoire virale des mammifères.

En Europe les chauves-souris sont-elles porteuses de maladies dangereuses et transmissibles à l'homme ?

En Europe, les chauves-souris peuvent être porteuses de deux formes du virus de la rage, différentes de la rage des chiens et des renards (European Bat Lyssavirus - EBL 1 et 2). La transmission se fait via la salive, généralement lors d'une morsure.

Ces virus ne passent que très difficilement la barrière des espèces et seule une petite minorité d'espèces de chauves-souris (2 sur les 35 espèces françaises, principalement la Sérotine commune, *Eptesicus serotinus*) a été identifiée porteuse.

Il faut savoir qu'une chauve-souris contaminée n'est généralement pas agressive, elle sera tout au plus apathique et affaiblie. Elle ne mordra que si on tente de la manipuler. C'est pourquoi, par mesure de précaution, il est toujours conseillé, si vous avez à manipuler une chauve-souris qui vous semble en détresse, de porter des gants en cuir épais.

Il n'y a aucun cas connu de transmission de la rage à l'homme par une chauve-souris en France métropolitaine (un seul cas en Guyane en 2008, avec une espèce tropicale hématophage) et quatre cas en Europe.

En expédition tropicale, le risque d'histoplasmosse (affection pulmonaire causée par un champignon microscopique) est réel dans les zones à guano. Les règles de prophylaxie et de protection (port du masque, lavage...) sont diffusées par les organismes compétents et les fédérations de spéléologie.



Fig. 4. *Cynopterus brachyotis* (Müller, 1838), à Batticaloa, au Sri Lanka en 2012 par Anton Croos (Art of Photography : <https://art-of-photography-com.blogspot.com>).

Qu'est ce qui explique la capacité de "résistance" à bon nombre de virus chez la chauve-souris... un espoir possible dans la recherche de vaccins?

Les chauves-souris ne développent pas une réponse immunitaire qui détruit la totalité du virus comme nous le faisons quand nous guérissons d'une grippe ou d'un rhume. Elles l'atténuent mais il reste « vivant » dans leur organisme. Evidemment, une telle réponse immunitaire fait des envieux et l'on aimerait pouvoir la copier pour éviter par exemple ces "orages de cytokines", un emballement de la réponse inflammatoire qui tue plus sûrement que le virus. Mais dans le domaine de l'immunité on se rend compte qu'on ne sait pas grand-chose. On n'arrive pas à expliquer pourquoi les enfants présenteraient une immunité cellulaire plus importante au coronavirus actuel et du coup seraient très souvent asymptomatiques.

Concernant un éventuel vaccin, sujet qui dépasse mes compétences, je vous invite à lire le papier "Vers un vaccin COVID-19 : les leçons du SRAS, du MERS et des données récentes sur la réponse immunitaire au SARS-CoV-2" paru le 14 avril sur le site du Vidal. On peut retenir qu'il reste "beaucoup de chemin à faire dans la compréhension de l'immunité contre les CoV, en particulier celle relative à la production d'une mémoire immunitaire durable".

L'absence de succès vaccinaux flagrants avec le MERS-CoV (et avec le SARS-CoV-1 jusqu'à sa sortie du périmètre d'intérêt des chercheurs) n'est pas encourageante, d'autant plus que les vaccins actuellement à l'étude semblent davantage centrés sur la production d'anticorps neutralisants que sur la stimulation de l'immunité cellulaire, en particulier locale. Il semble que c'est la réponse cellulaire qui soit réellement efficace et on ne sait pas très bien comment la stimuler. Par ailleurs, les virus à ARN mutent beaucoup (selon le Centre national de Bio-information chinois, plus de 7 500 mutations du SARS-CoV-2 ont déjà été enregistrées, la plupart sans conséquence sur son pouvoir pathogène), ce qui en fait de mauvais « candidats » au vaccin.

Pour mémoire, d'une année sur l'autre l'efficacité du vaccin contre la grippe ne dépasse pas 60 à 70% et parfois moins de 50%. Pour beaucoup d'autres virus on n'a pas trouvé de vaccin. Actuellement, il y a plus de cent recherches en cours pour trouver un vaccin. A suivre donc.



Fig. 5. Aire de répartition du pangolin javanais, zone de braconnage et distance d'avec la ville chinoise de Wuhan. F. Darne d'après UICN



Fig. 6. Tableau d'Albert Edelfelt représentant Louis Pasteur observant dans un bocal une moelle épinière de lapin enragé, suspendue en train de se dessécher au-dessus de cristaux de potasse. C'est le processus qui a permis d'obtenir le vaccin contre la rage.

Quelles mesures doivent être prises à l'avenir pour "couper" la transmission animal-humain et éviter d'autres épidémies de zoonoses ?

Nous avons le choix de prendre des mesures individuelles « assez faciles », des mesures nationales ou internationales « difficiles » et des mesures systémiques « très très difficiles ». La problématique est proche de celle du changement climatique et est d'ailleurs intriquée.

Individuellement, on peut s'interdire de déranger les animaux sauvages dans leur environnement, on peut éviter les voyages intercontinentaux, on peut veiller à une certaine prophylaxie et précaution dans la nature sauvage, on peut chercher à modifier nos modes de loisirs et de consommation...

Au niveau des gouvernements, on peut prendre des décisions visant à limiter la taille des élevages industriels (véritables laboratoires de maladies), à réduire l'usage des antibiotiques, à stopper la déforestation, à protéger la diversité de la faune sauvage, à réduire les pesticides, etc.

Au niveau systémique, on peut militer pour changer un système économique basé sur des échanges marchands mondialisés reposant sur le pillage des ressources naturelles au profit d'une petite partie de l'humanité. Mais c'est un autre débat.

Propos recueillis le 10 avril 2020

Fabien Darne - atlk@free.fr
(instructeur fédéral FFS & naturaliste)

DÉBIT DES EAUX DANS LE KARST UNE VARIABLE ESSENTIELLE... ET COMPLIQUÉE À MESURER

Dans notre monde moderne, maîtriser les débits revêt une importance capitale dans la gestion des ressources en eau. Celle-ci l'est tant du point de vue de l'industrie, de la production d'électricité, de l'agriculture et de l'environnement que de la distribution d'eau potable.

Assurer un débit minimal (étiage) se révèle essentiel pour des questions écologiques et de conservation du milieu... Et pouvoir assurer des débits de crue, avec les risques d'inondation mais aussi de pollutions qui y sont souvent associés, constitue un des enjeux majeur de la bonne gestion hydrologique. On constate aussi, avec la répétition des années sèches une recrudescence des « problèmes d'eau » du point de vue quantitatif. Connaître les intrants et les apports notamment depuis la nappe et les réserves karstiques constitue un enjeu majeur dans cette optique.

Du point de vue qualitatif, de nombreuses études se sont récemment intéressées à caractériser les flux de polluants émergents drainés depuis la surface et les pertes au travers du karst jusqu'aux résurgences. Sous cette appellation se regroupent les hormones, les perturbateurs endocriniens, les nouveaux pesticides, les composés pharmaceutiques, les produits de beauté ou tout autre nouveau composé pour lequel les connaissances actuelles sont insuffisantes pour évaluer le risque de sa présence dans l'environnement. Leur concentration est parfois tellement faible, que des dispositifs d'adsorptions doivent être plongés durant plusieurs jours ou semaines dans les cours d'eau (Demougeot-Renard et al., 2017).

Devant de telles contraintes, il est indispensable de connaître le volume d'eau écoulé durant cette période afin d'avoir une idée de la quantité de polluant (dont certains ont un effet cumulatif) et pas seulement de sa concentration (exprimée en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Mesurer les débits fait appel tout à la fois à l'hydraulique (physique des écoulements) et à l'hydrologie (science de l'eau dans son environnement naturel). Une « bonne » mesure des débits dans le karst, repose sur des relevés et observations de terrain qui peuvent être complexes à mettre en place. La nature même du milieu karstique, de par son accessibilité difficile et son caractère souterrain, obligera souvent tant le spéléologue que le spécialiste à préférer des solutions originales et simples, plutôt que de tenter de mettre en œuvre des techniques modernes et coûteuses. La grande variabilité des écoulements dans le karst, où se succèdent périodes de crue et étiages, contraindra également à la réalisation d'une étude prospective en vue d'opter pour une méthode qui permettra au mieux de mesurer cet important gradient.

L'objectif de cet article est de présenter quelques techniques applicables au milieu karstique, pour lesquelles le lecteur appréciera les limites. Les mesures du débit sont par essence entachées d'incertitudes plus ou moins grandes, liées à la méthode employée (Quevauviller, 2006). Par conséquent, on devrait davantage parler d'une estimation du débit. Exprimer un écoulement en un certain nombre de seaux ou de baignoires par seconde permet bien souvent de concrétiser des ordres de grandeur. De cette manière, il est possible de garder un regard critique en réponse à une donnée instrumentale ou obtenue par le truchement de telle ou telle technique.

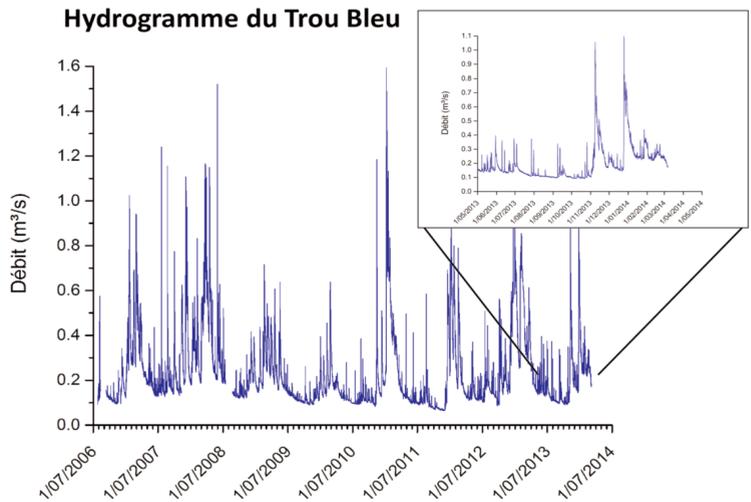


Fig. 1. Hydrogramme de la Résurgence du Trou Bleu, exutoire du Noû Bleû à Sprimont-Chanxhe. Les fluctuations saisonnières du débit de la résurgence observées sont d'un facteur 10 entre les étiages estivaux et les crues hivernales © SPW-ISSeP.

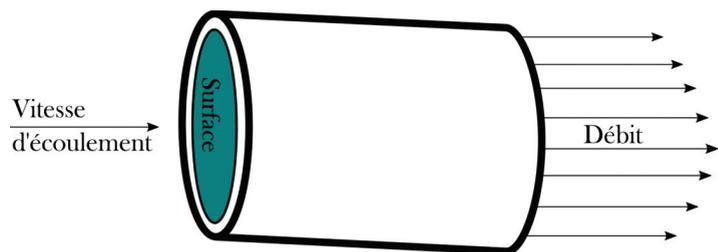
Le débit c'est quoi? un peu de théorie

Le débit est une quantité (qui peut être un gaz un liquide, voire même un solide) qui traverse une surface donnée par unité de temps (Febvre et al., 2013). Le débit volumique Q est la grandeur qui caractérise le volume d'un fluide qui traverse une surface S donnée par unité de temps. Il s'exprime généralement en **mètre cube par seconde** [m^3/s] ou en **litre par seconde** [l/s] et correspond au flux du vecteur vitesse \vec{v} de ce fluide à travers une surface S .

$$Q = \iint_S \vec{v} \cdot \vec{dS}$$

Dans le cas d'un écoulement uniforme, c'est-à-dire dont la vitesse est identique sur l'entièreté de la surface et perpendiculaire à celle-ci, le débit peut se simplifier en étant le produit de la vitesse par la surface $Q = v \cdot S$

Le débit peut aussi tout simplement être l'expression d'un volume d'un fluide qui s'écoule sur le temps. $Q = V/t$



Matériel et méthode

1. Mesure par empotement

Cette méthode reste le moyen le plus simple pour des écoulements faibles et présentant une hauteur de chute suffisante. Elle consiste à mesurer le débit d'un écoulement à l'aide d'un récipient gradué durant une période déterminée en s'aidant d'un chronomètre. L'opération peut être répétée puis moyennée afin d'obtenir une plus grande précision.

2. Jaugeage au flotteur

Cette méthode mesure la vitesse de surface d'un cours d'eau, à l'aide d'un flotteur qui peut être un bout de bois, une feuille ou encore une bouteille en plastique. Il y a lieu de choisir une section rectiligne suffisamment longue où la vitesse est la plus homogène possible (non torrentiel). La vitesse de l'écoulement de surface sera déterminée sur base du temps nécessaire pour parcourir la section de longueur L . Idéalement, plusieurs mesures successives doivent être réalisées à une distance suffisante des berges. La moyenne de ces vitesses sera multipliée par un coefficient approprié (Le Coz, 2011) pour obtenir la vitesse moyenne du cours d'eau.

On estime que la vitesse moyenne est de l'ordre de 0.4 à 0.9 fois la vitesse de surface, du fait des forces de frottement lié au contact entre l'eau et la berge qui font que l'eau s'y écoule moins vite. Une fois la vitesse moyenne déterminée, celle-ci sera multipliée par la section du cours d'eau.

Jaugeage par exploration du champ des vitesses

Cette méthode reprend le principe du flotteur, mais elle s'attache à déterminer les vitesses en différents points (et profondeur) d'un cours d'eau ; la vitesse n'étant pas homogène et variant latéralement d'une berge à l'autre et verticalement du fond vers la surface.

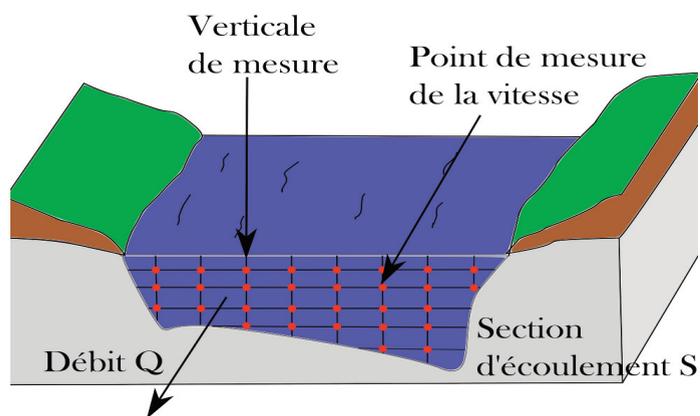
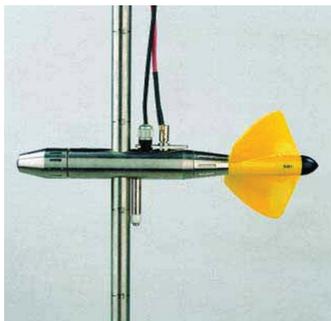


Fig. 3. Jaugeage par exploration du champ des vitesses le long d'un transect perpendiculaire aux berges

L'opérateur réalisera des mesures suivant un maillage adéquat (ISO, 2007) à l'aide d'un moulinet ou d'un courantomètre. On choisira une section où le cours d'eau présente un écoulement le plus laminaire possible, donc sans déviation brusque ou turbulence.

Le moulinet consiste en une hélice qui transmettra la vitesse du courant à un compteur (SDEC, n.d.). Le courantomètre mesurera la vitesse par effet Doppler (Sontek, 2016). Un micro-moulinet représente un investissement de quelques centaines d'euros.



L'ensemble des mesures de vitesse pourra être consigné dans un rapport de jaugeage (Le Coz et al., 2011) et le dépouillement, s'effectue à l'aide d'une application gratuite comme DEPJAU (BRGM, 2016). Ce logiciel détermine automatiquement le débit. Il s'agit de faire l'intégrale de toutes les données ponctuelles de vitesses pour déterminer le flux d'eau dans la rivière.

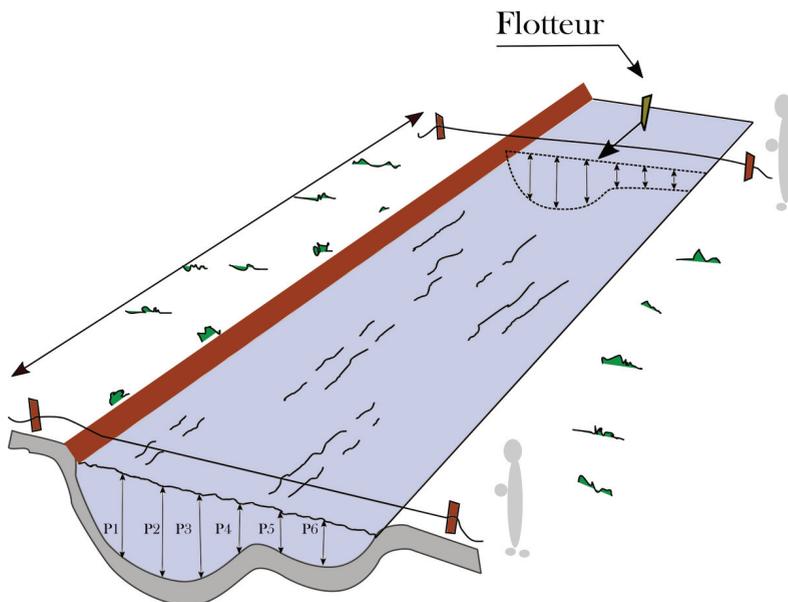
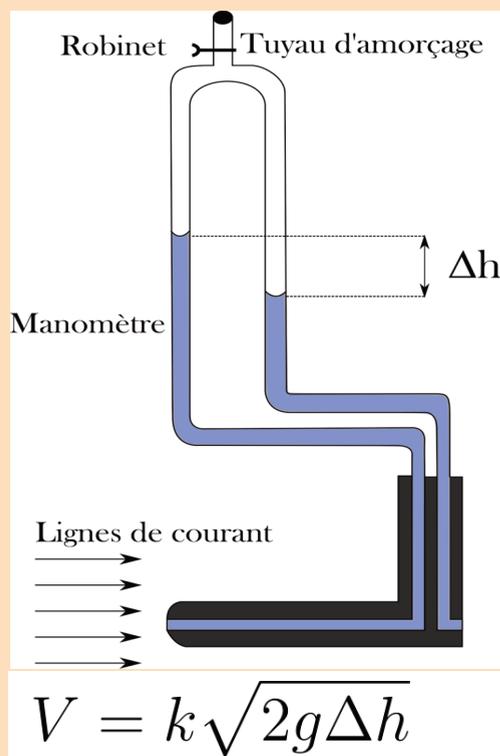


Fig. 2. Technique de jaugeage au flotteur sur plusieurs verticales. Si une feuille prend 123 secondes en moyenne sur 4 essais pour parcourir une distance de 17 mètres d'un cours d'eau au fond lisse, la vitesse moyenne de surface sera de $17/123 * 0.9 \approx 0.124$ m/s. Si la section moyenne mesure 0.8 m^2 , le débit du cours d'eau est estimé à $0.124 * 0.8 \approx 0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ ou 100 l/s

Les mesures de vitesses peuvent également être effectuées à l'aide d'un **simple tube de Pitot** « fait maison » (Briffoz, 1983). Le modèle ressemble à celle du physicien Darcy en permettant la mesure simultanée des deux pressions, par exemple une totale et une statique.

On veillera alors à orienter l'orifice de sorte à obtenir la mesure de vitesse la plus élevée. La mesure de vitesse en [m/s] s'obtient par la formule suivante, avec référence statique



Où $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ est l'accélération de la pesanteur et Δh équivaut à la différence de hauteur du liquide présent dans les deux colonnes du manomètre. k étant un facteur à déterminer empiriquement (par empotement).

3. Les déversoirs et ouvrages calibrés

Les déversoirs et ouvrages calibrés permettent de déterminer aisément le débit sur base de la hauteur d'eau (Bos, 1989). Ces dispositifs sont utilisés dans le cadre de la surveillance des débits en milieu industriel ou en sortie de station d'épuration (AR SATESE, 2014). Les contraintes techniques pour leur mise en place se révèlent compliquées voire impossibles pour une mise en œuvre scrupuleuse dans le milieu naturel de type karstique. Toutefois, l'utilisation de déversoirs s'avère peu couteuse et pratique pour autant que l'étanchéité puisse être maîtrisée.

La lecture est immédiate et une simple formule permet de convertir la hauteur d'eau en débit. Pour un déversoir triangulaire la relation qui associe le débit Q en $[m^3/s]$ à la hauteur H en $[m]$ d'eau en amont de la crête est la suivante (ISSEP, 2014) :

$$Q = K^{2.5}$$

Angle	30°	45°	60°	90°	120°
K	373	571	796	1380	2391

K est une constante dépendante de l'angle (Douglas, 2001)

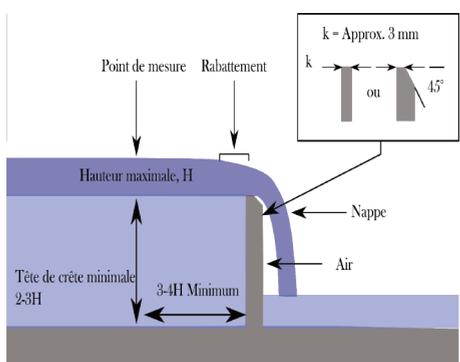
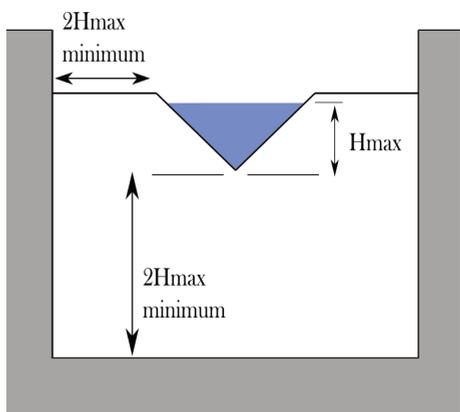


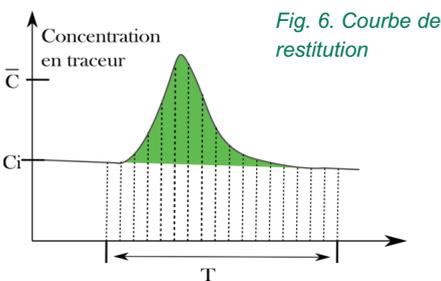
Fig. 4. Quelques prescriptions relatives au placement d'un déversoir triangulaire.



Fig. 5. Canal Venturi de l'entreprise Benechim. Avec à gauche un capteur ultrasonique en aplomb du puit de mesure © ISSEP

4. Jaugeages chimiques ou par dilution

Cette méthode consiste à injecter une solution concentrée d'un traceur, généralement un sel ou un colorant et à suivre la concentration de cette solution diluée dans le cours d'eau en aval.



La dilution est fonction du débit, il faut donc mesurer la concentration du traceur jusqu'au retour à la concentration initiale du cours d'eau.

Le débit peut ensuite être déduit en divisant la masse totale injectée M par l'intégrale de la concentration C au cours du temps sur le temps T de passage du traceur (Arfib, 2013).

$$Q = \frac{M}{\int C dt}$$

Cette dernière intégrale représente la concentration \bar{C} moyenne du traceur dans le cours d'eau. Si on considère une concentration C_i non nulle avant l'injection, alors on peut considérer plus simplement que le débit est égal à :

$$Q = \frac{M}{(\bar{C} - C_i)T}$$

5. Formule de Manning-Strickler

Dans certaines circonstances, le débit dans des canaux ouverts (non en charge) peut être déduit à l'aide de la formule de Manning-Strickler.

$$Q = SK_s R_h^{\frac{2}{3}} i^{\frac{1}{2}}$$

Avec :

- Q le débit en $[m^3/s]$
- S la section mouillée en $[m^2]$
- K_s le coefficient de Strickler propre à la nature du matériau de la conduite ou du chenal
- R_h le rayon hydraulique en $[m]$ (le rapport de la section mouillée par le périmètre mouillé)
- i la pente en $[m/m]$

Quelques valeurs usuelles du coefficient de rugosité K_s (Lycée Adolphe Chérioux, 2017): Fossé à paroi en herbe: 30, Fossé à paroi en terre: 40, Canalisation en maçonnerie: 60, Canalisation en béton: 75, Canalisation en fibre de ciment: 80, Canalisation en fonte ou en grès: 90, Canalisation en PVC: 100

La détermination du rayon hydraulique dans le cas complexe mais usuel de la conduite circulaire est détaillé ci-dessous. Dans le cas d'une section rectangulaire, cette détermination est simplement ramenée à $\frac{LH}{2L + H}$

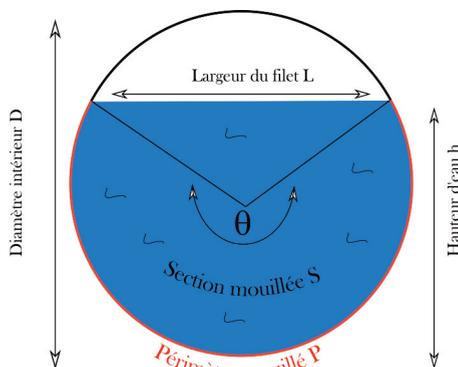


Fig. 7. Expression du rayon hydraulique à partir de la hauteur h représentant le taux de remplissage ou de la largeur L du filet d'eau.

$$\text{Angle mouillé} : \theta = \arccos\left(1 - \frac{2h}{D}\right) [\text{rad}]$$

$$\text{Angle mouillé} : \theta = \begin{cases} 2 \arcsin\left(\frac{h}{D}\right) & L \leq D \\ \pi + 2 \arcsin\left(\frac{h}{D}\right) & L > D \end{cases}$$

$$\text{Section mouillée} : S = \frac{D^2}{8}(\theta - \sin(\theta)) [\text{m}^2]$$

$$\text{Périmètre mouillé} : P = \frac{1}{2}\theta D [\text{m}]$$

$$\text{Rayon hydraulique} : R_h = \frac{S}{P} = \frac{D}{4}\left(1 - \frac{\sin(\theta)}{\theta}\right) [\text{m}]$$

6. Mesures ultrasoniques

Les débitmètres à ultrasons permettent de mesurer la vitesse d'un fluide dans des canaux ouverts ou en charge grâce à l'effet Doppler. La variation de fréquence d'une onde réfléchi sur des particules ou des bulles d'air est une image de la vitesse du fluide. De tels dispositifs déterminent la vitesse moyenne ou un profil de vitesse d'un fluide depuis le fond vers la surface (ISCO-Teledyne, 2019) ou d'une rive à l'autre. Le débit sera ensuite déduit par l'appareil sur base de la connaissance de la section mouillée.

Ces appareils sont généralement autonomes et disposent d'une mémoire conservant des données prises régulièrement pendant des mois. C'est donc idéal pour un "suivi de débit" en continu. Ces instruments très aboutis technologiquement sont toutefois coûteux, de l'ordre de 6000 € en entrée de gamme et au-delà de 10000 € pour les modèles « Profiler » (Sontek, 2014). Ces derniers seront choisis pour répondre aux situations les plus complexes. Requirant une alimentation, il conviendra de les placer dans des endroits accessibles, mais également à l'abri de toutes dépravaions.

Le karst: un milieu complexe pour y réaliser ces mesures

La formule de Darcy fait partie des « règles d'or » des hydrogéologues et elle est largement utilisée pour caractériser les écoulements dans une nappe aquifère. Elle propose une relation entre la vitesse de percolation, la perméabilité des matériaux qui constituent l'aquifère étudié et l'inclinaison de la surface de la nappe (Fourmarier, 1939).

$$Q = SK \frac{\Delta h}{L}$$

Avec :

- Q** le débit en [m³/s]
- S** la section d'écoulement en [m²] où $S = (e_1 + e_2)/2 \times \text{Largeur de la nappe}$
- K** la conductivité hydraulique ou "coefficient de perméabilité" du milieu poreux en [m/s]

$\Delta h/L$ le gradient hydraulique, où Δh est la différence des hauteurs piézométriques en amont et en aval de l'échantillon, L séparant deux piézomètres.

Le Bilborupt: méthode originale d'enregistrement des maxima de crue

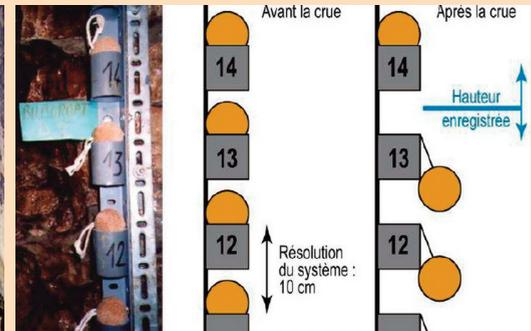
Le bilborupt est un enregistreur passif qui permet de déterminer le niveau maximal atteint par un cours d'eau. Ce dispositif consiste en une série de bouchons espacés le long d'une échelle et reliés à celle-ci par une ficelle. Ces bouchons sont délogés de leur position d'équilibre à mesure que le niveau d'eau augmente. Le bouchon délogé le plus élevé indique ensuite le niveau maximal atteint par un cours d'eau entre deux passages où on aura repositionné les flotteurs.

Des dispositifs comme celui-ci ont été placés au Rupt du Puits, en Lorraine, dans le cadre d'un projet de science participative visant à caractériser les processus de crue dans ce système (Jaillet & Herbillon, 2017).

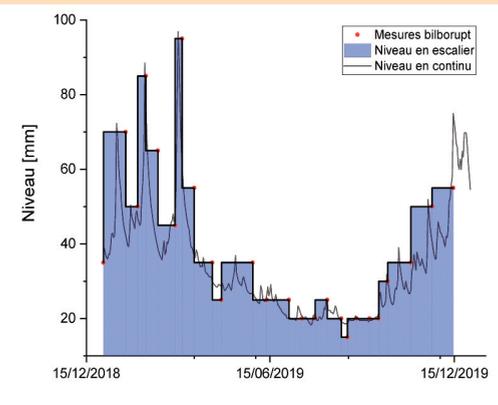
Ce dispositif peut toutefois permettre le suivi des débits si l'on dispose d'une courbe de jaugeage réalisée à proximité. Celle-ci permettra d'exprimer le débit en fonction de la hauteur d'eau. L'hydrogramme apparaîtra comme une courbe en escalier dont chacune des marches représente le débit maximum au cours d'une période espacant deux relevés.



Bilborupt installé au pied du Puits Tourne-sol, réseau du Noû Bleû © V.Gerber



Principe d'un bilborupt © S.Jaillet



Graphique exemplatif présentant les hauteurs d'eau maximales enregistrées par un Bilborupt face à un enregistrement en continu. Ces hauteurs d'eau pourront être exprimées en débit au moyen d'une courbe de jaugeage spécifique à chaque site.

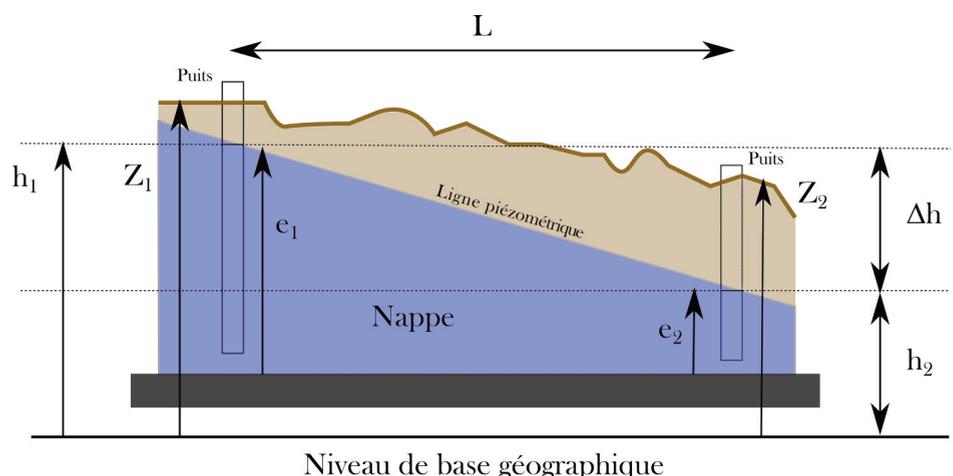


Fig. 8. Coupe illustrant la loi de Darcy dans un aquifère équipé de deux piézomètres.



La formule de Darcy n'est strictement applicable que pour des milieux homogènes où l'écoulement de l'eau est laminaire, ce qui est rarement le cas des aquifères et réseaux karstiques.

De par sa nature hétérogène et sa grande diversité, le karst est un environnement difficilement modélisable. Toutefois, des plateformes de modélisation, en accès libre, existent comme KarstMod (Mazzilli et al., 2019). Celle-ci sera notamment alimentée par des données d'entrée et de sortie, à savoir les données pluviométriques et des mesures de débit aux exutoires d'un bassin (Baudement, 2018). Disposer de longues chroniques issues de stations de mesures en continu permettra plus fidèlement de calibrer le modèle.

Comme toujours dans le karst, il faudra de nombreuses données pour calibrer un système et ces informations seront relativement spécifiques au réseau étudié limitant les possibilités d'extrapoler les résultats à d'autres massifs ou nappes karstiques.

Quelques applications pratiques au karst belge

Les débits de quelques résurgences karstiques (faisant partie des masses d'eau souterraines M21 et M23) sont surveillés en continu par l'ISSeP depuis 2006 dans le cadre de la Directive Cadre Eau 2000/60/CE. Parmi celles-ci figurent la Grotte du Châlet à Aywaille, la Grotte du Noû Bleû à Chanxhe ou encore la résurgence du Moulin à Comblain-au-Pont. Ces deux derniers sites sont équipés d'un débitmètre acoustique et le Châlet dispose quant à lui d'un déversoir rectangulaire à bord trapézoïdal couplé à un enregistreur et une sonde de pression mesurant la hauteur d'eau (Fig. 9).

Des mesures de débit sont également enregistrées en continu dans le cadre du **projet Epukarst** (<https://epukarst.org/>), qui vise à étudier la variabilité et le transfert des nitrates dans les aquifères karstiques. Les différents exutoires (Noû Bleû, Grotte de Remouchamps, Grotte de Hotton, Vilaine Source) des systèmes étudiés sont équipés de débitmètres acoustiques ou de profileurs de vitesse pour des mesures en continu.

Quelques points de perte qui alimentent ces bassins sont équipés de déversoirs et les différentes techniques présentées dans cet article permettront d'estimer les débits pour toutes les autres alimentations reprises dans cette étude.

Conclusion



Fig. 9. Déversoir trapézoïdal (Cipolletti) de la Grotte du Châlet (Aywaille)

La boîte à outils des techniques permettant la mesure du débit est étendue et diversifiée. Des plus simples et semi-directes aux plus élaborées et onéreuses, il conviendra d'opter en fonction du budget et des degrés d'exactitude et de précision souhaités. De plus, certaines études requièrent que des mesures soient prises à des fréquences élevées et s'étalant sur des longues périodes. Le choix s'orientera alors vers des systèmes intégrant des enregistreurs plutôt que des mesures ponctuelles effectuées par des observateurs.

Loin des conditions idéales que peuvent offrir les milieux industriels, où les dimensionnements ont été généralement considérés à la conception, les milieux naturels, et a fortiori les milieux karstiques, recèlent un florilège de contraintes techniques. Les jaugages chimiques sont parfois impossibles pour des raisons environnementales (captages, pisciculture, ...).

Il arrive aussi que les berges soient trop accidentées pour la pose d'un déversoir ou les conduits trop exigus pour un jaugage au courantomètre.

Les méthodes présentées ici ne sont nullement exclusives. Au contraire, il sera souhaitable, sinon même recommandé, de recourir à plusieurs d'entre-elles tant pour vérifier la vraisemblance d'une mesure que pour balayer l'étendue des débits d'un système karstique jusqu'aux cas les plus extrêmes.

Le recours temporaire à des mesures ul-

trasoniques ou par exploration du champ des vitesses permet de relier une hauteur d'eau à un débit. Réalisées régulièrement à des régimes d'écoulement différents, elles serviront tout autant à l'établissement d'une courbe de jaugeage qu'à la déduction du coefficient de Strickler (Hirtt, 2009).

J. Flament (ISSeP - Eaux Souterraines)
G. Michel (CWEPS)

Remerciements

Les auteurs remercient chaleureusement Albert Briffoz pour sa précieuse aide à la relecture et à la correction de cet article.

Bibliographie

Ne pouvant pas reprendre l'ensemble des références citées en fin d'article, le lecteur pourra les consulter et même les télécharger sur le lien suivant figurant sur le site de la CWEPS:

http://www.cwepss.org/download/eco-Karst/ecokarst120_debit.txt

ainsi qu'au format bibtex :
http://www.cwepss.org/download/eco-Karst/ecokarst120_debit.bib





GÉOCACHING EN TERRAIN KARSTIQUE

Une pratique compatible avec la conservation d'un milieu vulnérable ?



Fig. 1. C'est généralement à l'aide d'un gps ou d'une application tournant sur smartphone que les "geochercheurs" tentent de dénicher les boîtes cachées par d'autres, comme ici au Chantoir de la Falaise à Olne.

Quelques principes de base

Les chercheurs, préalablement inscrits sur le site Geocaching.com et équipés d'un GPS, partent à la recherche de boîtes de différentes tailles, cachées par d'autres géocacheurs. Il existe une grande variété de caches, de niveaux de difficulté, d'énigmes, de terrains à traverser... le géocaching propose aux participants de composer leur "aventure du moment", qui peut durer quelques heures ou toute une semaine. La traque aux boîtes peut impliquer de la randonnée en montagne ou à la campagne, la découverte de villes, de monuments, de paysages insoupçonnés... très lointains ou à deux pas de chez soi.

Contrairement à une chasse au trésor classique, les boîtes découvertes doivent rester sur place. Chaque cache contient un « logbook » (petit carnet qui permet de laisser une trace de son passage). Certaines contiennent également de petits objets (trésors) que le découvreur peut prendre avec lui, à condition de le remplacer par un autre objet de valeur au moins équivalente. Certaines de ces babioles ont pour vocation de voyager de cache en cache au gré des découvertes successives. Leur « voyage » peut être suivi sur le web et quelques « travel bugs » sont célèbres pour avoir littéralement fait le tour du monde !

L'objectif général du géocaching est de servir d'incitant à la balade et la découverte de lieux nouveaux et insolites. Certains accès difficiles impliquent une approche sportive (escalade, voire plongée par exemple), d'autres font appel à la réflexion, la connaissance et la résolution d'énigmes pour bénéficier des coordonnées du site recherché.

Version moderne de la « chasse aux trésors », le géocaching consiste à rechercher un objet caché par d'autres dans un lieu insolite, sur base de coordonnées gps. Ce loisir a débuté en mai 2000, suite à la désactivation de la disponibilité sélective (selective availability) par l'armée américaine, offrant un signal GPS non brouillé, utilisable pour les usages civils.

Nous avons trouvé une de ces caches au fond de la grotte de Wancennes (près de Beauraing). La boîte était à plus de 40 m de l'entrée, au-delà de passages bien concrétionnés, plutôt étroits et inaccessibles sans éclairage. Une sépulture néolithique a été découverte dans cette grotte dans les années 1980 et certains gisements sont probablement encore en place.

Dans la boîte en question, plus 20 noms témoignaient d'autant de passages de géocacheurs... alors que la cavité a été rouverte il y a quelques années à peine (par la SNN, en collaboration avec les découvreurs), et qu'à notre connaissance, moins de 10 spéléos ou scientifiques s'y sont rendus depuis lors! Suite à cette découverte fortuite, nous avons voulu savoir si:

- de telles "planques" sont nombreuses en zone karstique, et dans le milieu souterrain?
- leur recherche peut-elle induire une surfréquentation dommageable pour le milieu souterrain ?
- existe-t-il des règles pour protéger l'environnement et les sites accueillant les boîtes à rechercher ?

Geocaching.com l'indique : « c'est toujours et avant tout un bon prétexte pour sortir s'aérer au quotidien, en solo, en famille, entre amis ».

Une activité qui a du poids

En 20 ans d'existence, la communauté des géocacheurs s'est étendue au monde entier (il existe des caches de 180 pays!) et s'est internationalisée. il y aurait aujourd'hui plus de 3 millions de caches répertoriées dans le monde .

Elles constituent autant de challenges proposés à la perspicacité et à la tenacité des chercheurs. L'originalité, la beauté des lieux, et pour certains la difficulté d'accès font partie des critères de sélection.

Les participants seraient aujourd'hui 7 millions à s'adonner tout à la fois à la recherche et au camouflage de ces boîtes à trésor. Rien qu'en Belgique, on compterait plus de 30.000 géocacheurs, des chiffres qui font réfléchir et... rêver, quand on les compare au nombre d'affiliés en spéléologie ou en escalade !

Même si le géocaching est conçu comme une activité de découverte de l'environnement et de promotion de la promenade, c'est devenu au cours du temps un business qui compte et qui a potentiellement des applications et un impact intéressant comme nouveau type de tourisme :

- des applications spéciales sont développées pour le géocaching,
- la plupart des gps ont une fonction pré-enregistrée pour cette pratique

- des dizaines de produits dérivés sont aujourd'hui commercialisés
- de grands événements (Mega et Giga events) rassemblant plusieurs milliers de participants sont régulièrement organisés.

Disposer d'un réseau bien conçu, dense, original et bien implanté de géocaches en un lieu peut contribuer à faire sortir celui-ci de l'anonymat et à y amener de nombreuses personnes. Celles-ci chercheront non seulement les petites boîtes... mais découvriront l'intérêt et les charmes d'une région tout en y consommant localement.

Le « géocach-tourisme » est aujourd'hui une réalité qu'un certain nombre d'acteurs et d'opérateurs du secteur tentent de faire fructifier.

Ethique et règles à suivre pour créer et gérer une cache

Vu le succès de cette "chasse au trésor 2.0", il y avait lieu d'encadrer son développement pour éviter qu'elle ne représente une menace ou une contrainte sur les zones visitées, ou qu'elle n'enfreigne les règles et les lois définissant la propriété privée par exemple. Au-delà du nombre de participants, c'est surtout un choix inadapté pour les sites à caches qui peut générer des problèmes en amenant un trop grand nombre de gens dans des lieux inadéquats, fragiles, ou dangereux.

Le code de bonne pratique (ensemble de règles éthiques) décourage, voire interdit, les caches sur des terrains dont l'accès est défendu par les autorités ou par leur propriétaire, ainsi que les caches nécessitant d'être déterrées, ou dont la présence peut avoir un impact négatif sur



l'environnement. Les géocaches sont par exemple interdites dans les sites Natura 2000 et doivent respecter le code forestier, à savoir rester à proximité des chemins pour éviter d'induire une circulation massive dans le sous-bois.

Les personnes qui créent une nouvelle cache sont responsables de leur entretien et s'engagent à obtenir l'accord du propriétaire ou gestionnaire des lieux avant que les coordonnées ne soient rendues publiques.

Le défi du créateur de cache consiste à trouver un endroit que d'autres géocacheurs pourront trouver sur base des coordonnées GPS (après un petit effort de recherche). Cet emplacement doit être suffisamment discret pour que les passants (surnommés « Moldus » en référence aux non-magiciens dans Harry Potter) ne les remarquent pas. La cache correspond en général à un endroit choisi pour sa valeur géographique, historique, culturelle, scientifique ou sentimentale... et plus généralement paysagère

Dans les faits, le code d'éthique et les demandes d'autorisation pour placer des caches en terrains privés ou gérés par une autorité publique ne sont pas systématiquement respectés. Il y a cependant une certaine « autorégulation » au sein de la communauté de géocacheurs.

Lorsqu'un emplacement est considéré comme inapproprié et/ou qu'il y a des plaintes (de la part des propriétaires), la cache peut être « archivée ».

En clair, ses coordonnées ne sont plus accessibles et elle est retirée du jeu car considérée comme dangereuse ou inappropriée.



Fig. 2. De belles découvertes dans la nature et parfois des randonnées assez "engagées" attendent les participants à ce nouveau mode de "promenade à but". Comme ici au sommet de la Roche Crahay, bloc de poudingue dans le vallon du Ninglinspo à Aywaille.

Les caches sont également cotées et commentées par les utilisateurs ; des remarques négatives répétées peuvent ainsi amener à devoir aménager ou supprimer une des stations proposées.

Quelques exemples de géocaches en milieu karstique

En termes de lieux insolites, intéressants et pittoresques, l'environnement karstique offre un cadre riche et un terrain de jeu parfait pour le géocaching. La roche calcaire elle-même avec ses alvéoles, cuvettes et zones de corrosion, offre un très grand nombre de cachettes potentielles.

De nombreuses géocaches existent dans les affleurements calcaires. Il n'est pas possible aujourd'hui de savoir (sur la seule base du registre) si les cachettes se trouvent dans une cavité, sur un site karstique ou simplement dans un environnement calcaire en général.

Nous avons interrogé **Frank Bartos**, spéléologue et géocacheur, afin d'en savoir plus sur cette pratique. Il n'a pas été en mesure de nous fournir une liste de l'ensemble des « grottes à caches », mais nous a fourni quelques exemples assez illustratifs.

a/ Le Nou Maulin (Rochefort)

Cette vaste entrée facile d'accès offre un cadre assez exceptionnel, à l'intérêt géomorphologique évident. Le GR passant en bordure du porche autorise l'accès. Si la visite se limite au porche, elle ne pré-



Fig. 3. Certains découvrent le splendide Nou Maulin (Rochefort) grâce au géocaching et à la recherche d'une boîte se situant à l'extérieur de la cavité, avec vue sur le porche.



Fig. 4. Les caches "classiques" se matérialisent par une boîte contenant un carnet où les découvreurs inscrivent leur nom et un trésor qu'il est possible d'échanger avec un objet de valeur équivalente.

sente pas de danger ni de risque particulier pour le milieu, à partir du moment où les gens sont respectueux du site. Nous ignorons cependant si des autorisations sont été obtenues, alors que le site est tout à la fois en Natura 2000 et classé, et comment la cache survit aux crues de la Lomme qui peuvent périodiquement remplir la cavité.

Après consultation de notre "spécialiste ès cache" il s'avère que:

1/ Anciennement la cache du Nou maulin était à l'extérieur de la cavité, dans une anfractuosié du rocher. Sa recherche ne nécessitait donc PAS de rentrer dans le porche.

2/ Aujourd'hui cette cavité est une **Earth-cache**, à savoir un site d'intérêt géologique qui n'est plus équipé d'une boîte, mais d'une série de questions auxquelles les chercheurs doivent répondre pour "vaincre" cette énigme.

b/ Le Tour d'Haquin (Assesse)

Grotte école " par excellence (au même titre que Sainte-Anne à Tilff), la cavité est fermée et gérée par l'Union Belge de Spéléologie. Seuls les clubs spéléos disposent d'une clé pour y accéder. Le géocacheur à l'Haquin doit donc soit être lui-même spéléo, soit être accompagné par un club qui lui donne accès et qui l'encadre pour retrouver cette cache souterraine. Dans ce dernier cas, ce sont les règles du guidage qui s'appliquent, en termes d'encadrement, de matériel, d'assurance et de nombre de praticiens. L'activité s'apparente alors une "sortie classique en grotte".

La cache de l'Haquin est de type **Premium**, à savoir que la personne qui l'a placée dispose d'un abonnement (avec cotisation annuelle) pour la pratique du géocaching. Cet abonnement lui offre des avantages et des indices supplémentaires pour découvrir certains trésors cachés.

En temps que cacheur premium, il peut également décider que les coordonnées de cette cache ne sont accessibles qu'aux seuls chercheurs premium. Dans les fait cela limite la diffusion et le nombre de personnes qui tenteront de trouver cette cache.

c/ Le Trou Bernard (Maillen)

Plus profond gouffre exploré en Belgique à ce jour... une géocache avait été placée au fond du puits ! Cet emplacement était franchement dangereux, même si sa fiche renseignait un accès difficile (niveau 5 - soit difficulté maximale). Risquer un accident dans un tel site et devoir ensuite y organiser un sauvetage était inconscient et en opposition avec les règles de bonnes pratiques tant de la spéléo que du géocaching.

Cette géocache avait été placée au Bernard en juin 2013. Moins de 3 mois plus tard elle fut abandonnée (archivée) et elle n'existe donc plus. Un exemple de régulation du système par la communauté des géocacheurs elle-même.

L'auteur de cette cache et d'une série de boîtes souterraines précisant: "Désolé pour l'archivage de la série Underground! Mais l'attitude de certains geocacheurs peu précautionneux sur cette série et sous-estimants les risques liés à l'activité Spéléo, m'oblige à prendre cette décision"

d/ La Grotte de Spy (Jemeppe)

Site de référence mondialement connu pour son gisement archéologique, cette petite grotte fait partie des Earthcache (voir ci-dessous). Ici il n'y a pas de boîte à trouver, mais le chercheur doit se rendre devant le porche de la cavité, se prendre en photo et répondre à quelques questions en rapport avec le site et l'histoire des fouilles. Il transmet ensuite cette photo et ses réponses sur le site geocaching.com qui avalise sa « prise ».

L'impact du géocacheur sur le site est donc très faible (similaire à celui d'un simple promeneur)... sachant que certains visiteurs peu respectueux vont jusqu'à faire des feux ou des fêtes sous ce porche pourtant classé au Patrimoine exceptionnel de Wallonie !

Via le géocaching, près de 400 groupes et individuels se sont rendus à la grotte depuis 2007 (date de la création de la cache) pour y découvrir la cavité, faire une photo et répondre aux questions.

e/ Le Trotti aux Fosses (Marche) :

Cette cavité à prédominance verticale est située dans le Fond des Vaulx. C'est assurément un site remarquable, mais dont l'accès n'est pas sans risque et d'ailleurs interdit (une clôture l'entoure pour éviter les accidents).

La cache n'a heureusement PAS été placée dans l'enceinte de la barrière ni dans le gouffre lui-même, mais un peu à l'extérieur. Ainsi les participants ont le plaisir de chercher la cache tout en découvrant le site en toute sécurité.

Le site web offre par ailleurs quelques informations sur la formation du gouffre lui-même.



Fig. 5. Le Trotti aux Fosses à Marche est un bel exemple d'aven. Les géocacheurs ne sont PAS invités à descendre dans le trou. Par contre, tout le site du Fond des Vaulx mérite d'être connu et les géocacheurs sont nombreux s'y rendre (photo C. Bernard).



On peut regretter que le parking renseigné soit situé DANS le Fond de Vaux, devant le local du Spéléolux ; il serait plus respectueux du site, et plus intéressant pour les participants, de stationner à l'extérieur de la zone naturelle, afin de découvrir l'ensemble de cette zone verte à pied... Surtout si on veut promouvoir la promenade via ce moyen.

f/ Chantoir du Trou Lecoq (Deigné)

La cache ne se trouve pas dans la cavité (aujourd'hui gérée par un tour opérateur), mais dans une petite crevasse en amont de l'entrée. Le descriptif précise le chemin à emprunter pour éviter les problèmes avec les voisins.

Il mentionne un accord avec la société New life Outdoor Activity Center (qui gère la grotte) quant à la pratique du géocaching... et l'interdiction d'aller dans la grotte sans passer par le TO en question !

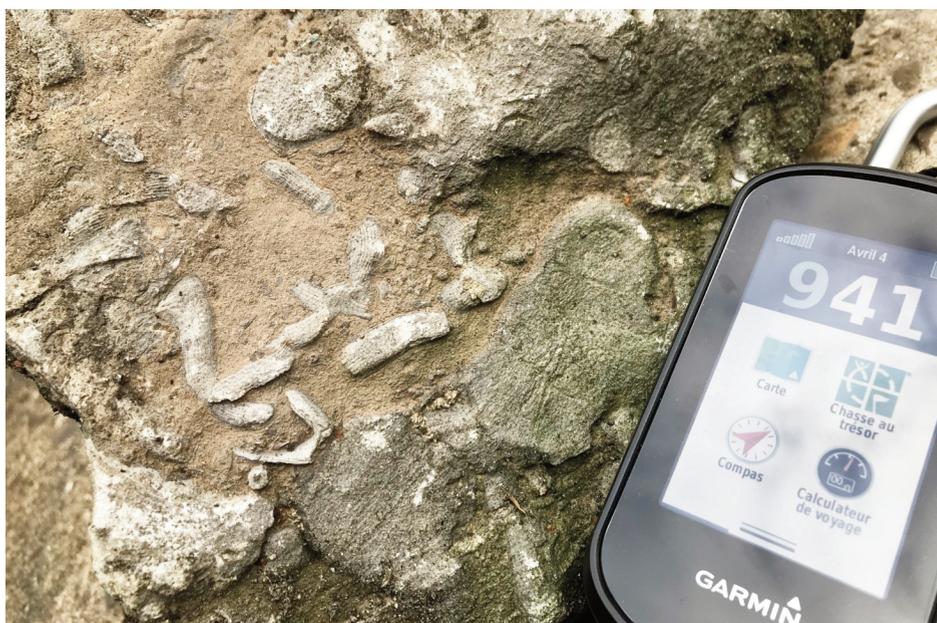


Fig. 7. Earthcache invitant à la découverte de fossiles typiques.

Pour un géocaching compatible avec la protection du karst

L'aspect original et intrigant du karst colle bien à la philosophie de découverte hors des sentiers battus qui oriente l'emplacement d'une cache et qui contribue à son intérêt. Dès l'origine, les concepteurs avaient prévu un type de cache à la vocation géologique. Appelées « **EarthCache** », elles concernent des endroits particuliers ouverts à la visite et liés à un lieu "géoscientifique" remarquable. Ce type de caches propose des informations scientifiques sur les sites en question.

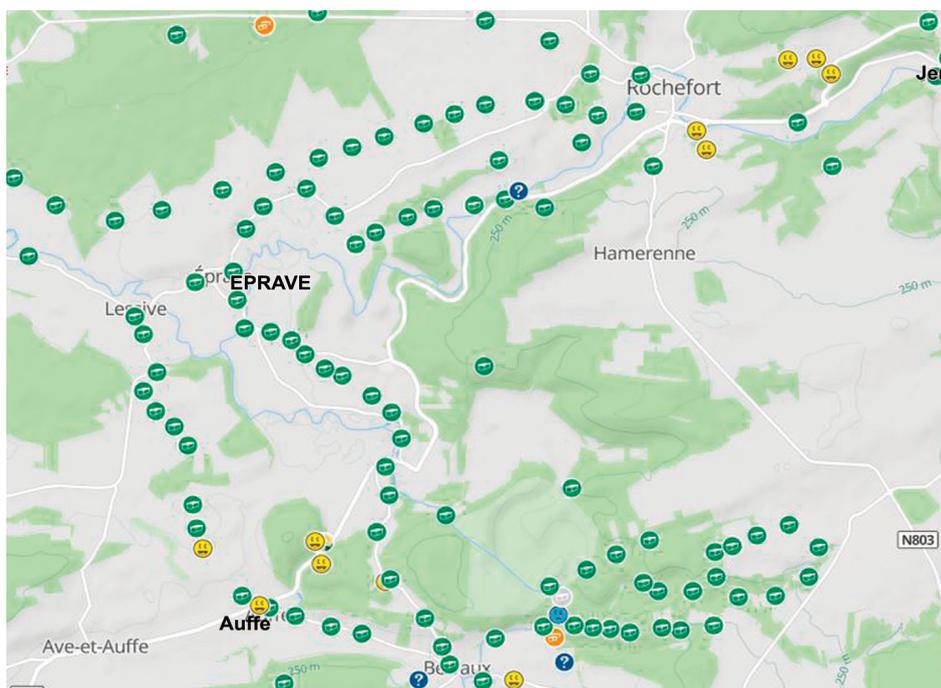


fig. 6. Localisation des TRES nombreuses caches autour d'Eprave. Sélectionner une partie de celle-ci et les compléter par quelques phénomènes d'intérêt géologique permettrait de faire un intéressant parcours à la découverte du karst.

Les visiteurs peuvent découvrir des processus géologiques, voir comment sont contrôlées les ressources ou comment les scientifiques recueillent des informations pour étudier la planète...

Un certain nombre de Earthcaches ont pour thème le karst et le milieu souterrain (Spy, Remouchamps, l'Anticlinal d'Auffe, la Montagne Saint-Pierre à Caster, le Mur Géologique de Comblain, ou encore le Géosite des Tchaornis (Engis). Les quelques sites dont nous avons parcouru la fiche donnent des informations intéressantes sur le contexte géologique local.

Vu l'ampleur que prend cette activité, il faudrait analyser de manière approfondie et systématique l'ensemble des sites souterrains qui sont inclus dans ce réseau... histoire de recommander l'exclusion de ceux qui peuvent poser problème en termes de sécurité, de vulnérabilité et/ou d'interdiction d'accès. Ce screening des sites potentiellement problématiques à réaliser en partenariat avec les concepteurs de ces caches, enlèverait bien des arguments à leurs opposants.

Par ailleurs, la mise en place d'une multichache dans une zone karstique, comme le **Géopark Famenne-Ardenne**, pourrait booster le potentiel touristique. Un tel parcours karstique, à l'image des cahiers géopédologiques ou des guides de sentiers géologiques, permettrait d'associer à la fois la connaissance d'une région à l'excitation du jeu et de la découverte.

Il faudrait que spéléologues et scientifiques soient associés à la conception et à la création d'un tel parcours. Celui-ci doit se composer de sites non vulnérables, pas dangereux (risque d'accident) et dans des zones d'accès libre. Dans une logique plus pédagogique (sensibilisation aux richesses du milieu) cette sélection devrait intégrer les lieux les plus parlants illustrant la morphologie et la dynamique karstique.

Aux dernières nouvelles, le Géopark Famenne-Ardenne envisage un tel circuit, avec les autorités et les partenaires locaux... A découvrir dans un proche avenir et un futur numéro !

G. Michel & L. Remacle
Avec la participation de Frank Bartos
plus d'infos sur www.geocaching.com



L'USAGE DU DÉTECTEUR À MÉTAUX

Nouvelles pratiques et règles appliquées en Région wallonne

Il fut un temps... pas si éloigné, où les spéléologues et leur exploration souterraine étaient considérées comme une vraie menace pour la conservation du patrimoine archéologique. On est passé de cette opposition à une approche beaucoup plus collaborative. La toute grande majorité des spéléologues sont aujourd'hui conscients de la nécessité d'avertir les autorités en cas de découverte archéologique fortuite, et d'éviter de « retourner un gisement » au risque de perdre toute possibilité de stratigraphie ou de contextualisation. Par ailleurs bon nombre de découvertes préhistoriques récentes en grottes sont le fait de spéléos qui sont alors souvent associés aux fouilles et qui du même coup se sentent davantage investis d'une mission de conservation du patrimoine.

Mettre en place une telle collaboration au profit de la connaissance de notre passé, n'est pas toujours aisé. C'est le pari que tente aujourd'hui l'AWaP (Agence Wallonne du Patrimoine) en revoyant quelque peu les règles quant à l'usage des détecteurs de métaux. Au travers de questions adressées aux archéologues de l'AWaP, nous revenons sur ces changements dans la législation mais surtout dans la mentalité concernant les fouilles et recherches archéologiques en Wallonie.

1/ Quelles sont les procédures pour pouvoir effectuer/prendre part à une fouille archéologique et application à la désobstruction en grotte ?

Pour pouvoir effectuer des fouilles, il faut faire une demande d'autorisation à l'administration selon la procédure décrite dans le Code wallon du Patrimoine (COPAT) à l'art. 34 (1). Pour participer à des fouilles, vous pouvez vous adresser aux archéologues de l'AWaP et proposer votre aide pour les différents chantiers en cours.

La désobstruction (dans une cavité « bouchée de sédiments ») ne nécessite pas d'autorisation spéciale, si ce n'est celle du propriétaire du terrain bien entendu. Il est préférable de se renseigner au préalable sur l'existence d'un site archéologique connu : il vaut mieux prévenir que guérir. Si il y a un site, trouver une autre cavité à explorer est la meilleure solution, sinon, il faut demander à l'administration où il est possible de travailler sans risque pour le patrimoine archéologique.

Si vous découvrez des vestiges sur un site inconnu, c'est une découverte fortuite, dans ce cas, il faut le déclarer dans les trois jours ouvrables à la commune et à l'Administration du patrimoine (art. 40 du Code du Patrimoine). Sachez que, quand vestiges il y a, c'est surtout dans les entrées de grottes; même un étroit boyau peut avoir servi de sépulture.

Parmi les comportements qui gagneraient à être systématiques lors de désobstruction: ne pas vider entièrement les terrasses et sédiments d'entrée de grottes pour tenter de pénétrer plus loin dans une cavité; se contenter de dégager un étroit passage afin que des coupes sédimentaires puissent par la suite être dressée en cas de nécessité scientifique. En cas de découverte fortuite, laisser scrupuleusement tous les vestiges en place sans se laisser gagner par la fièvre de la découverte qui souvent revient à détruire le contexte des trouvailles. D'autant plus qu'en milieu karstique, de nombreuses fouilles sont anciennes et lacunaires et que de nouvelles découvertes exploitées avec les techniques modernes apporteraient énormément de connaissance sur la préhistoire de nos régions.

2/ Pourquoi l'usage des détecteurs à métaux est-il jugé dangereux pour la protection de notre patrimoine ?

... Pourquoi ? simplement parce que "fouiller c'est détruire" ; de même que "retirer des objets de leur contexte", c'est détruire également. Les vestiges archéologiques constituent un patrimoine bien souvent invisible donc majoritairement inconnu. Il est vulnérable, fragile et surtout il est NON renouvelable.

Lorsqu'on creuse pour prélever un objet, sans faire de fouilles archéologiques et surtout sans situer l'objet dans l'espace, on brise pour toujours le lien entre cet objet et le site dont il fait partie. Ce n'est qu'en se livrant ensuite à une fouille étendue avec tout ce que ça comporte (relevés graphiques et photographiques, prélèvements, analyses diverses...) qu'on pourra comprendre à quel type d'implantation l'objet est relié : village, cimetière, champ de bataille, L'objet pourra seulement alors nous livrer son histoire.

Voici quelques exemples parlants :

- À Nismes, un détectoriste ayant mis au jour un bassin en bronze s'est rendu compte de l'intérêt de sa découverte et l'a déclarée. L'AWaP et le musée du Malgré-Tout ont entrepris des fouilles et identifié les contours d'une fosse dont l'ouverture a révélé une sépulture à inhumation du 5^e siècle après J.-C. Le bassin est certes beau, mais savoir qu'il a été placé dans une tombe, aux pieds du défunt et en association avec d'autres objets donne un intérêt bien plus important à cette pièce (fig. 2).



Fig. 1. Halconreux octobre 2019 : collaboration entre détectoristes détenteurs d'une autorisation et archéologues de l'AWaP sur des sondages archéologiques (©SPW, AWaP).

Un objet retiré de son contexte (fosse, fossé, trou de poteau, tombe...) perd la majorité des informations qu'il peut nous apporter. L'archéologie ne consiste pas à collectionner des objets. La localisation précise des pièces sur un lieu et les unes par rapport aux autres ainsi que l'étude de leur environnement nous renseigne sur un mode de vie, de rite funéraire, une bataille...



Fig. 2. Nismes : découverte d'une tombe du 5^e siècle apr. J.-C. Le bassin découvert par le détectoriste se trouve aux pieds du défunt, à droite (©SPW, AWaP).

- **À Soy**, un détectoriste a découvert un dépôt d'objets de l'âge du Bronze (vers 800 av. J.-C.). Ces objets ont été restitués à la commune de Jalhay propriétaire du terrain et vont être exposés au Musée Curtius, geste qu'il faut également saluer de la part de la commune bien consciente du fait que le patrimoine appartient à tous. Il est regrettable que l'enthousiasme du détectoriste lui ait fait exhumer tous ces objets. L'idéal aurait été que des archéologues professionnels y réalisent une fouille à laquelle il aurait pu être associé. En effet, la fouille soignée et récente d'un dépôt similaire à Ribécourt, en France, a permis de noter l'ordre dans lequel les objets avaient été déposés dans la fosse ainsi que leurs positions exactes mais aussi de repérer la limite de la fosse et la présence d'un trou de poteau à proximité qui signalait le dépôt dans le paysage. Si la fouille avait été correcte à Soy, on aurait pu savoir si les objets avaient été déposés dans un tissu, un coffre, en pleine terre, s'il y avait eu une succession de dépôts ou s'il avait été fait en une seule fois...

- **À Vieuxville** en 1979, une grande zone du cimetière a fait l'objet d'un pillage systématique au moyen de détecteurs à métaux, rendant impossible une interprétation de l'évolution du site, alors que nous sommes en présence d'un cas unique d'utilisation de l'espace funéraire du 5e au 7e siècle en continu.

- **À Waterloo** (Hougoumont), dans le cadre d'une fouille programmée, la détection a pu mettre en évidence la répartition des balles de mousquet françaises et anglaises et, donc, les positions des uns et des autres lors de la bataille. Pour cela, la localisation exacte de chacune des balles a été enregistrée. Une autre balle découverte entre les côtes d'un soldat a permis de connaître la cause de sa mort. Les pièces de monnaies contenues dans son amônière ainsi que d'autres objets ont permis de reconstituer une partie de l'histoire de ce jeune défunt (Bosquet et al. 2015). Si les balles de mousquets ou les pièces de monnaie avaient été récoltées isolément et rassemblées pour orner une étagère ou remplir une vitrine, elles n'auraient pas pu livrer leur histoire.

3/ Depuis février 2020, il est possible de demander une autorisation d'usage d'un détecteur dans des conditions strictes, pourquoi ce changement ?

Depuis 1989, la tolérance 0 était de mise pour l'utilisation de détecteurs à métaux pour les raisons évoquées; et à cause des mauvaises conditions de prélèvement, de conservation et d'étude et pour des problèmes juridiques liés à la propriété du sol, aux dégradations, et au recel. Or cette législation n'a jamais été appliquée, de sorte que les pilliers de sites, bien que hors-la-loi, agissaient en toute impunité.

Aujourd'hui, il est possible d'obtenir une autorisation sous conditions.

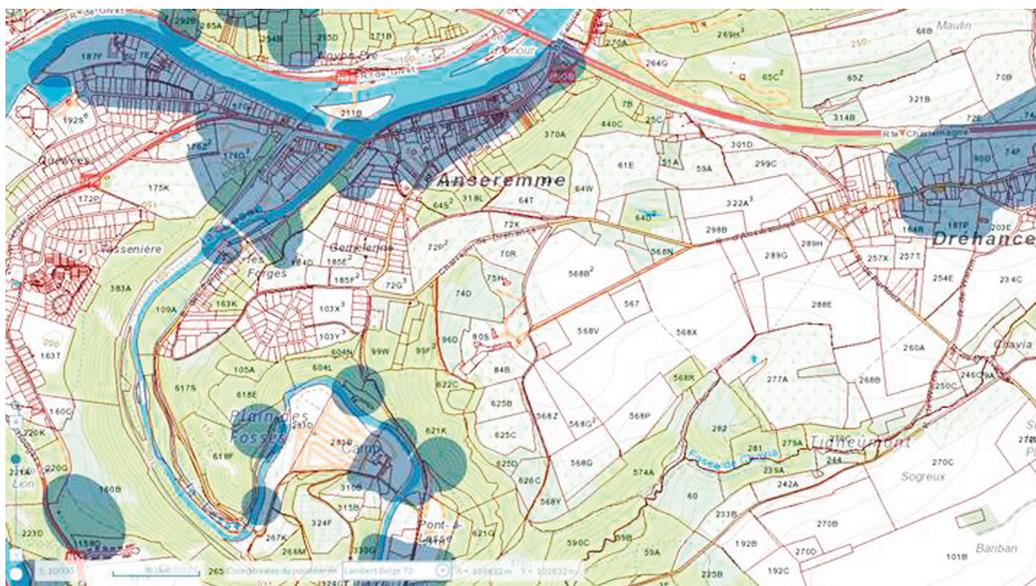


Fig. 3. Les zones bleues sur la carte archéologique (disponible sur WalOnMap) sont protégées et ne peuvent pas être prospectées.

Sur des chantiers SPW, il est déjà arrivé à plusieurs reprises que des détectoristes travaillent en collaboration avec les archéologues : à Villers-la-Ville, sous la direction de l'équipe du SPW, dans l'Ourthe, à la traversée de la chaussée romaine Arlon-Tongres à Wyonpont, lors de sondages à Gouvvy en 2019 (fig 1), lors de fouilles SPW à Arlon...

Un second objectif est l'accompagnement vers une démarche plus scientifique.

Enfin, le but est d'encourager une certaine pratique de l'archéologie accessible à tous. En cela, l'AWaP se conforme à l'article 12 de la Convention de Faro de 2005 (signée par la Belgique) qui concerne la valeur du patrimoine culturel pour la société et encourage chacun à participer au processus d'identification, d'étude, d'interprétation, de protection, de conservation et de présentation du patrimoine culturel.

Autoriser la détection magnétique sous conditions rejoint l'une des missions premières de l'AWaP qui est l'identification et l'inventaire des sites archéologiques. Cela permet de rencontrer les attentes légitimes des passionnés du patrimoine et de l'histoire de « son coin de terre ». C'est aussi lutter contre la chasse aux trésors, le pillage et la fouille clandestine. La détection à des fins de collections d'objets archéologiques sans autorisation délivrée par l'AWaP reste un acte illégal.

4/ Quels sont les règles à respecter pour obtenir cette autorisation et utiliser le détecteur... et à qui s'adresser ?

Cette autorisation est soumise à une condition préalable : suivre une des séances d'information organisées régulièrement par l'AWaP. Le citoyen ne peut être responsabilisé que s'il est convenablement informé.

La formation, de 2 heures, a pour objectif de sensibiliser les prospecteurs à la re-

cherche archéologique et au danger que représente l'usage du détecteur à métaux, d'expliquer les procédures de signalement et les restrictions, de présenter les services archéologiques wallons et leur fonctionnement, d'encourager l'étude et la publication des objets découverts, de sensibiliser aux problèmes de conservation des objets métalliques...

L'autorisation, valable pour 12 mois, implique certaines règles à respecter : avoir minimum 18 ans, signaler l'activité préalablement, être en possession d'un accord du propriétaire des terrains prospectés ainsi que d'un document concernant la dévolution des biens découverts, ceci afin de ne pas être poursuivi pour recel, le propriétaire du terrain étant légalement propriétaire des biens situés dans son terrain. Un formulaire de signalement des découvertes est à envoyer à l'AWaP après les sorties. Bien sûr, il est interdit de prospecter sur les biens classés, les sites en cours de fouille ou de sondage archéologique et les sites répertoriés sur la carte archéologique (8% du territoire wallon fig.3). Il est également interdit de vendre et de sortir hors du territoire de la Région wallonne un objet découvert.

5/ Que deviennent les objets trouvés, à qui appartiennent-ils et comment sera garantie leur conservation ?

Les biens appartiennent au propriétaire du terrain si le détectoriste n'a pas obtenu d'accord écrit avec celui-ci, au détectoriste s'il y a un accord qui le prévoit. Le Code du Patrimoine demande de déposer, à terme, les objets dans un musée ou un dépôt agréé par l'administration (fig.4). Cette dernière clause a pour but d'éviter la disparition des collections lors d'un décès par exemple. Notez que déposer ne veut pas dire donner, le propriétaire des objets ne change pas.

6/ Cette demande d'autorisation détectoriste rencontre-t-elle un succès?

Le nombre de participants aux séances d'information démontre l'intérêt réel d'une ouverture vers les détectoristes. De nombreux amateurs éclairés considèrent cette loi comme une chance unique de prendre part de façon positive et collaborative à la recherche archéologique. Cependant, certains prospecteurs jugent les obligations trop lourdes. D'autres, les chasseurs de trésor irréductibles, semblent perdus pour la science. Ni l'ancienne loi, ni la nouvelle, ne les feront revenir dans le droit chemin. Enfin, un petit nombre se méfient, car ils pensent qu'il s'agit de les contrôler, voire de profiter de leur travail bénévole (sic).

Pour nous, cette attitude est regrettable car l'archéologie préventive n'est pas une priorité dans le chef de nos responsables politiques en cas de crise. Nous avons besoin de sensibiliser le grand public à la nécessité de protéger notre patrimoine archéologique dans une vision à long terme.

Certains sites, où la collaboration entre archéologues et détectoristes existe de longue date, ont livré des résultats extraordinaires : le site d'Oedenburg en Allemagne (Biellman et al. 2018), où les détectoristes ont été associés aux prospections durant des années, est éloquent. Plus de 16.000 monnaies ont été découvertes et chacune localisée de manière précise. Grâce à cela, il a été possible de comprendre l'évolution de l'occupation du site du 3e jusqu'au 12e siècle.

7/ Quelques liens pour en savoir plus

(1) Code wallon du Patrimoine. Autorisation de procéder à des opérations archéologiques: art. 34 + arrêtés d'application (art. R.34.1-2) ; Cas particulier de la prospection au moyen d'un détecteur de métaux : art. R.34.3 -7



Fig. 4. Conservation d'objets en métal au Centre de Conservation et d'Étude de l'AWaP (personne de contact : Claire Goffioul, claire.goffioul@awap.be) (©SPW, AWaP).

<https://agencewallonnedupatrimoine.be/archeologie/> choisir Autorisations de sondages et de fouilles archéologiques ou Cas particulier : l'utilisation d'un détecteur à métaux

Archéologie des Hauts-de-France 2017, 8 : plaquette-ribécourt-web

BOSQUET D., YERNAUX G., FOSSION A. & VANBRABANT Y., 2015. Le soldat de Waterloo. Enquête archéologique au cœur du conflit, SPW, Namur, 22 p. ; http://dgo4.spw.wallonie.be/DGATLP/DGATLP/Pages/Patrimoine/Pages/Directions/Archeologie/Soldat_Waterloo/Soldat-Waterloo-FR/files/assets/common/downloads/Catalogue-waterloo-web-FR.pdf

BIELLMANN P., GIL D. & KILKA T., 2018. De l'antiquité tardive au haut moyen âge : les monnaies tardoantiques et altomédiévales d'Oedenburg (Biesheim-Kunheim, Alsace, France), The Journal of Archaeological Numismatics, 8, Bruxelles, p. 125-173.

<https://www.sonuma.be/archive/ce-pays-est-a-vous-du-11101972>

Les auteurs travaillent tous les 4 pour l'AWaP (Agence Wallonne du Patrimoine - Service Public de Wallonie) et sont des personnes de référence pour la formation et le suivi des détectoristes

Christelle Draily : christelle.draily@awap.be
Direction opérationnelle de la Zone centre

Cécile Ansieau : cecile.ansieau@awap.be
Direction opérationnelle de la Zone ouest

Dominique Bosquet : dominique.bosquet@awap.be
Direction de la coordination opérationnelle

Olivier Vrielynck : olivier.vrielynck@awap.be
Direction scientifique et technique



CWEPSS asbl

Secrétariat : av. G. Gilbert 20, 1050 Bruxelles
Tél: 02/647.54.90 - contact@cwepss.org
Siège social: Clos des Pommiers, 26 - 1310 La Hulpe

La **cotisation annuelle** à la CWEPSS, incluant l'abonnement à l'Eco Karst (4 n°/ an), s'élève à :

- **15 € par membre adhérent** (abonnement seul)
- **20 € par membre effectif** (abonnement + droit de vote à l'assemblée générale).

Cet Eco karst est le deuxième de l'année 2020, une occasion pour **payer votre cotisation pour l'année 2020** Si ce n'est pas encore fait => voir **point rouge sur votre étiquette**

Si vous ne souhaitez plus recevoir notre périodique, merci de nous en informer par email (contact@cwepss.org) ou par téléphone (02/647.54.90).

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

Dons exonérés d'impôts

Pour nous soutenir, il vous est possible d'effectuer un DON avant le 31/12. Notre association de protection de la Nature est en effet agréée pour les **dons exonérés d'impôt**. Une attestation fiscale vous parviendra pour **tout don annuel d'au moins 40 €**.

Les montants sont à verser au compte de la CWEPSS,

IBAN : **BE68 0011 5185 9034** / BIC : GEABEBB, avec **vos coordonnées complètes** et la mention "Don exonéré d'impôts".

Merci de renouveler votre cotisation pour nous soutenir et continuer à recevoir l'Eco Karst ! Le paiement se fait par virement en mentionnant votre nom, vos coordonnées complètes, et la mention "cotisation 2020".

