

## EDITORIAL

Cet *EcoKarst* d'avant les grandes vacances ne vous propose pas de voyages lointains, ni de visites exotiques particulières... Nous vous encourageons plutôt à découvrir par vous-mêmes ces contrées et karst étrangers durant les deux mois d'été. Ce numéro 92 est centré sur la Wallonie et il vous propose de découvrir des zones et des aspects karstiques qui sont assez peu connus et pas suffisamment abordés dans les ouvrages et les publications présentant les régions calcaires de Belgique.

Les **effondrements** récents qui se sont formés à **Stambruges** à proximité du canal de Blaton, nous rappellent que la dissolution du calcaire et les puits naturels peuvent affecter des zones où la roche carbonatée n'est pas visible mais sous couverture. Ces puits en bord du canal présentent un danger pour l'intégrité de la nappe aquifère car ils peuvent mettre les eaux souterraines en connexion directe avec celles du canal... "peu potables"

Pour ceux qui n'ont pas l'occasion de partir cet été, nous leur conseillons de se plonger dans la **monographie karstique des bassins du Burnot et de la Molinee**. Cet ouvrage qui vient de sortir de presse (publication Région wallonne/CWEPPSS) leur permettra de découvrir une région superbe et pleine d'intérêts scientifiques divers.

Enfin, si nous sortons d'un hiver particulièrement long et rude et qu'on se demande où est passé le soleil pendant l'entière du printemps, les mesures scientifiques (concentration de CO<sub>2</sub>) réalisées dans l'atmosphère de certaines grottes confirment que les conditions d'un réchauffement lié aux gaz à effet de serre sont bien réunies. Vous découvrirez les résultats détaillés du monitoring effectué à l'Abîme de Comblain ainsi qu'un ensemble d'hypothèses pour expliquer cette **concentration en CO<sub>2</sub>** qui dans les grottes est régulièrement 100x plus importante que dans l'atmosphère en surface!

Nous vous souhaitons à tous de bonnes vacances, une agréable lecture et nous vous encourageons à bloquer dans votre agenda dès maintenant la 1<sup>ère</sup> semaine d'octobre pour venir à la **Posterie (Courcelles)** assister à un ensemble de très intéressantes conférences et activités en faveur du karst, mises sur pied par le spéléoclub du SCAIP.

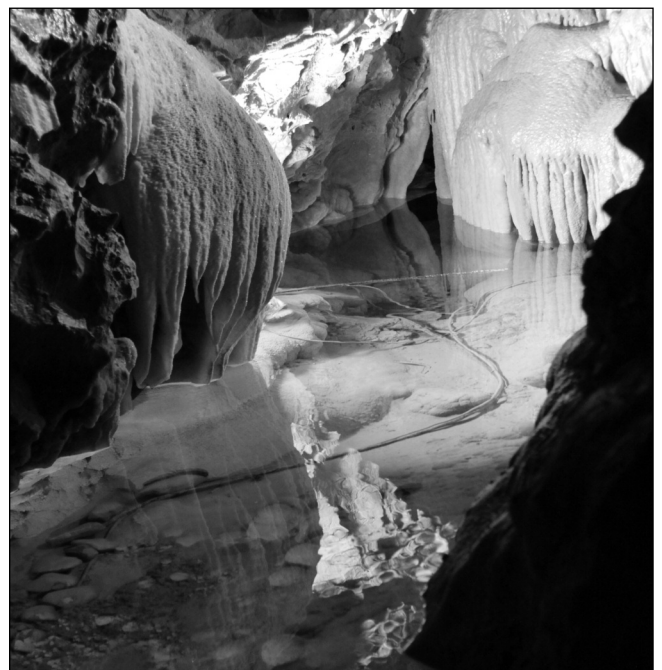
Pour la CWEPPSS  
G. MICHEL

## KARST ET CO<sub>2</sub>

### Le Transfert de CO<sub>2</sub> dans le synclinal carbonifère de Comblain-au-Pont

#### Le CO<sub>2</sub>, moteur de la dissolution des calcaires

Le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), dissous dans l'eau, est à l'origine de la formation des vides dans les massifs karstiques. La concentration de ce gaz dans l'air atmosphérique était en 1900 un peu inférieure à 300 parts par million (ppm). Il est, en 2013, présent à l'air libre à raison de 400 ppm. Ceci représente une augmentation de l'ordre de 25 % au cours du XX<sup>e</sup> siècle.



Salle du Petit Lac dans la grotte de Comblain, où ont été réalisées, depuis des années, de nombreuses mesures de CO<sub>2</sub>

Dans les grottes, la concentration du dioxyde de carbone atteint couramment 10 000 ppm, et, en été, nous avons déjà mesuré des teneurs de 20 000 ppm et bien davantage. Dans les sols, la teneur en CO<sub>2</sub> est généralement supérieure à 2000 mais nous avons observé jusque 80 000 ppm. Nous avons mis en évidence en 2009 que la teneur en CO<sub>2</sub> dans les grottes augmente beaucoup plus vite qu'à l'air libre (Godissart et Ek, 2009, *Ecocarst*, n° 76).

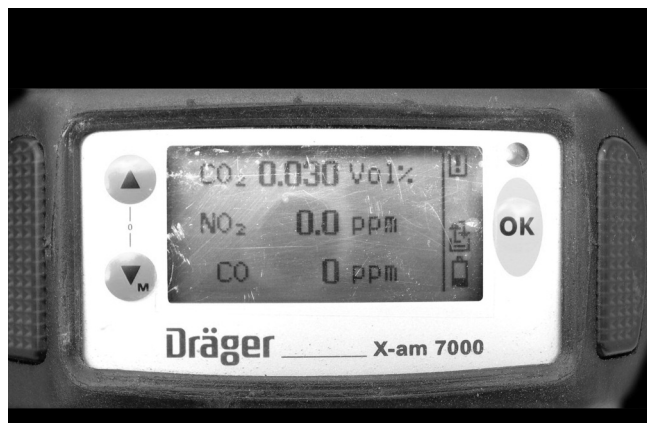
Le CO<sub>2</sub> généré dans les sols par la respiration des racines et de toute la biomasse du sol, se propage dans les fissures du calcaire et s'y dissout en partie dans les eaux, où il est capable d'attaquer la roche constituée de carbonate de calcium, et de créer ainsi des cavités. Il est donc primordial d'étudier les modalités de la production du CO<sub>2</sub> dans les sols, de son transfert dans les grottes et de son rejet par les eaux des sources et des résurgences.

C'est pour cela que la **Région wallonne**, considérant l'intérêt pour la collectivité d'une telle investigation, a institué une mission de recherche ayant pour objectif de mesurer dans une région-test les niveaux de concentration de CO<sub>2</sub> dans l'air du sol et du sous-sol. C'est une partie des résultats de la première année de cette étude que nous présentons ici, avec l'autorisation du **Service public de Wallonie (SPW)**. Le travail a porté sur le site de la grotte de Comblain-au-Pont, sur les sols surincombants et sur les eaux qui en sont issues.

### D'où vient et où va le CO<sub>2</sub> ?

Les plantes sont largement constituées de carbone. Elles tirent essentiellement leur carbone du CO<sub>2</sub> de l'air, qu'elles utilisent (assimilation chlorophyllienne) en rejetant l'oxygène dans l'air. Les parties vertes des plantes consomment donc du CO<sub>2</sub>. Mais les racines n'ont pas de chlorophylle et elles respirent : elles dégagent donc dans le sol du CO<sub>2</sub>, de même que toute la biomasse du sol. Une partie de ce CO<sub>2</sub> descend, par des fissures, dans les grottes. Il est parfois sous forme de gaz, dans l'air souterrain, parfois dissous dans l'eau. Des cavités, le CO<sub>2</sub> peut aussi passer dans les drains souterrains principaux. Mais ceux-ci, parfois, se sont déjà enrichis en dioxyde de carbone dès leur entrée sous terre ; dans ce cas, ils sont susceptibles de fournir du CO<sub>2</sub> aux grottes, au lieu d'en absorber.

Ce sont tous ces transferts qui font l'objet de l'étude commencée en 2012. D'où vient le CO<sub>2</sub> ? Où va-t-il ?



**Figure 1** Le Draeger X-am 7000. Dans la version ici présentée, l'appareil peut mesurer plusieurs gaz ; les voyants rouges clignotent en cas de dépassement de valeurs limites pré-établies.

### La mesure et l'enregistrement des valeurs

Nous avons planté des sondes en pvc dans les sols, principalement à 10 et 30 cm de profondeur, et, en un endroit à 70 cm, selon l'épaisseur du sol, afin de mesurer les gradients verticaux jusqu'au contact du bedrock. À partir de ces sondes, le CO<sub>2</sub> est mesuré avec la pompe Gastec par aspiration de l'air à travers une cellule à hydrazine.

La pompe Gastec, avec ses tubes d'hydrazine, annonce une précision de 10 % pour les très faibles valeurs (moins de 0,1 % de CO<sub>2</sub>), et de 5 % pour les valeurs plus élevées. Pour les valeurs les plus faibles (moins de 0,1 % de CO<sub>2</sub>), nous constatons une précision de lecture de l'ordre de 20 %. Par contre, pour les teneurs en CO<sub>2</sub> dépassant 1 % (c'est-à-dire 10 000 ppm), la précision de 5 % est vérifiée.

Une deuxième méthode consiste à extraire le CO<sub>2</sub> de récipients en pvc perforés, enfouis dans le sol à 30 cm de profondeur, la mesure étant effectuée par l'appareil Draeger X-am 7000 qui analyse le gaz par infrarouge (figure 1).

Enfin, dans les sols et dans les grottes, en plus des mesures ponctuelles, nous avons installé des data-loggers de deux types différents : le Vaisala et l'Omega, qui fonctionnent tous deux sur le principe de la mesure du CO<sub>2</sub> par absorption dans l'infrarouge (figure 2).

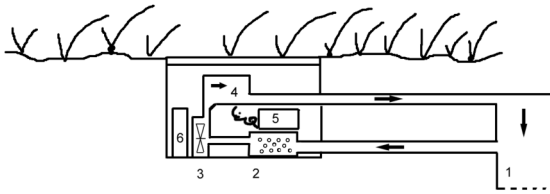
Le Vaisala MI 70 est certifié « fully calibration free ». Grâce à son moniteur gradué à 10 ppm, il a une précision de lecture excellente même aux très faibles teneurs. Les certifications du constructeur lui assignent une précision très supérieure à celle de nos autres appareils et meilleure que 1 % à partir de 1000 ppm de CO<sub>2</sub>.



**Figure 2** Le Vaisala. A gauche, la pompe. A droite, le senseur-enregistreur.

L'Omega est monté par Jean Godissart. Le capteur infrarouge de l'appareil est un module provenant de TH Industrie qui analyse la teneur en CO<sub>2</sub> jusque 40 000 ppm. Le data-logger de marque Omega possède une capacité de près de un million de données. L'enregistreur alimenté sur accus se compose d'une turbine qui envoie l'air dans une chambre où il est analysé toute les trois heures par un module infrarouge branché sur un data-logger.

Ce dispositif est d'un prix de revient relativement modique, il est facile à construire avec quelques notions d'électronique et peut remplir des fonctions de surveillance ou d'alarme dans le monitoring des zones à risques ; son autonomie est de plusieurs semaines.



**Figure 3.** Data-logger en circuit fermé (do it yourself, Omega). Installation dans le sol.

1. Récipient en pvc perforé à la base et relié à l'enregistreur par deux tubes souples.
2. Cartouche de silicagel
3. Turbine à air
4. Module électronique comprenant le régulateur de tension, le temporisateur-déclencheur, la chambre de mesure et le capteur IR qui opère dans la gamme de 300 à 40 000 ppm.
5. Datalogger Omega
6. Batterie 12 volts, 7 A/h

Les enregistrements de données avec le Vaisala comme avec l'Omega se font au pas horaire ou trihoraire et nous procurent de la sorte des chroniques sur plusieurs semaines.

Dans l'air, dans le sol et dans les eaux souterraines, les températures sont mesurées au 1/10° C. Dans les sources, les principaux paramètres hydrologiques sont mesurés au moyen d'un multimètre Hach qui nous donne le pH, la conductivité, et la teneur en oxygène dissous.

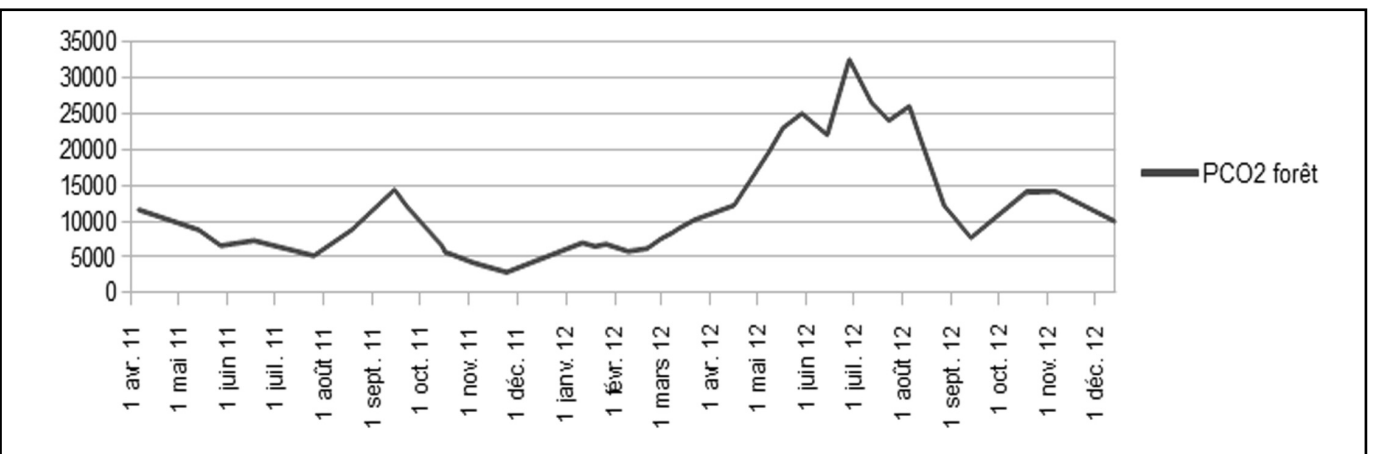
Pour la mesure des débits, nous utilisons un courantmètre Swoffer couplé à un limnimètre. Au laboratoire, nous effectuons les dosages classiques sur les ions calcium et magnésium (TAC et DHT).

Les données des sites météo tels que Phitofa et Pameseb nous servent à établir les corrélations entre nos mesures sur le terrain et les variables météorologiques telles que la température sous abri, la pluviosité, l'ensoleillement et la pression atmosphérique.

## Résultats des mesures

### Le CO<sub>2</sub> dans les sols : une variabilité extrême

Dans les trois types de sol qui surplombent la grotte de Comblain-au-Pont : le sol de la forêt, le sol de la prairie et le sol des cultures (escourgeon), les mesures sont assurées mensuellement, elles montrent un maximum qui se produit à différentes époques entre juin et septembre.



**Figure 5.** Evolution saisonnière de la pCO<sub>2</sub> dans le sol forestier. Les maximums ne se présentent pas toujours aux mêmes dates



**Figure 4** Data-logger en circuit fermé (do it yourself, Omega). Photo du senseur et du data-logger.Omega).

Les maximums atteignent et dépassent 30 000 ppm en 2012 et les minimums frôlent les 2000 ppm en janvier de la même année, soit 15 fois moins. La figure 5 montre l'évolution d'un sol forestier en 2011 et 2012, et la variation de la position des maximums dans le temps.

Le pic négatif enregistré en février 2012 correspond à une vague de froid, avec un sol gelé sur 10cm de profondeur.

Curieusement, dans les sols de la prairie et des cultures, au contact du bedrock, nous avons mesuré à différentes reprises en septembre 2012 des concentrations de 40 000 à plus de 80 000 ppm de CO<sub>2</sub>.

La production de CO<sub>2</sub> dans les sols de la forêt qui échappent aux influences anthropiques est du même ordre de grandeur que les pCO<sub>2</sub> mesurées dans les grottes. De plus, lorsque cette production dans les sols diminue, la teneur diminue également dans les grottes.

### Le CO<sub>2</sub> dans l'air de la grotte : une dynamique saisonnière importante

Dans la grotte de Comblain-au-Pont, il y a en hiver trois ou quatre fois plus de CO<sub>2</sub> que dehors, et en été trente ou quarante fois plus : dix fois plus qu'en hiver (figure 6). Ceci est surtout vrai dans la moitié distale de la grotte. Nous avons observé une situation comparable dans bien d'autres cavités : à Ste-Anne, à Esneux, à la grotte Merveilleuse à Dinant, etc.

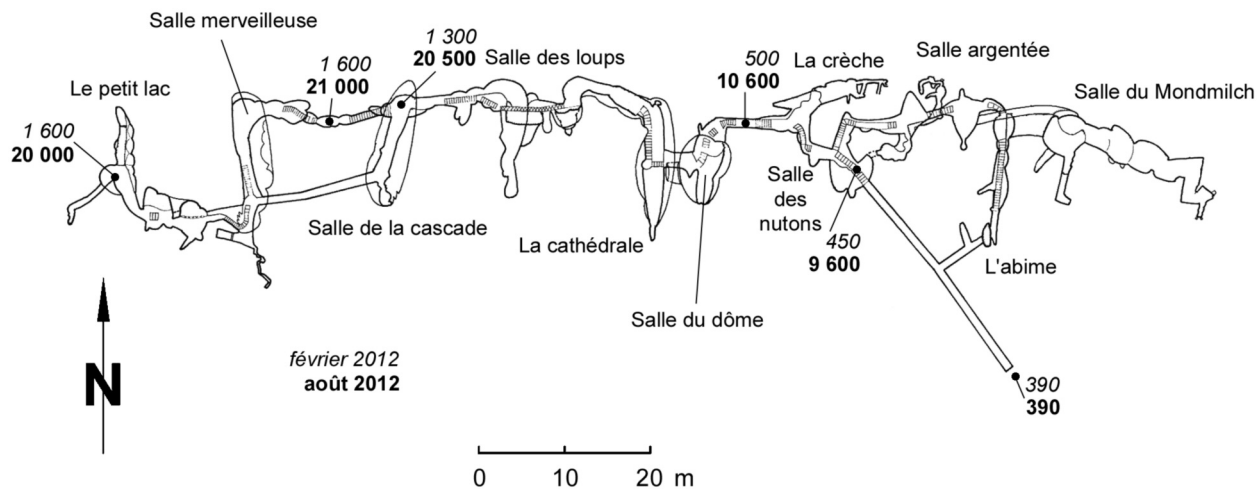


Figure 6. Les variations saisonnières du CO<sub>2</sub> de la grotte. Teneurs en février 2012 et en août 2012.

La grotte-abîme de Comblain-au-Pont possède deux orifices à des niveaux différents : l'entrée naturelle, l'abîme, est une dizaine de mètres plus haut que le tunnel artificiel par lequel entrent les visiteurs. Cette différence d'altitude crée parfois un tube à vent (figure 7). Lorsque la température extérieure descend sous 5°C, l'air de la grotte, plus chaud, sort par l'abîme, provoquant un afflux d'air froid par l'entrée inférieure. La température de la partie de la grotte soumise à ce courant d'air s'abaisse alors, de même que la teneur de l'air en CO<sub>2</sub>, qui passe parfois à moins de 1000 ppm (parts par million) comme le montre la figure 6. Mais lorsque la température extérieure repasse au-dessus de 5°C, l'air du fond de la grotte, froid, ne remonte pas : le tube à vent ne fonctionne plus et la grotte se comporte alors comme un système fermé aux influences extérieures.

La pCO<sub>2</sub> (pression partielle de CO<sub>2</sub>) augmente alors progressivement, notamment du fait de l'introduction dans la grotte d'air venu du sol par les fissures, et sans doute d'eau de percolation riche aussi en dioxyde de carbone. La pCO<sub>2</sub> peut alors atteindre et dépasser temporairement, au bout de la grotte, 20 000 ppm.

**Le CO<sub>2</sub> dans les sources : une réponse très amortie**

Dans le synclinal de Comblain-au-Pont, nous n'avons aucun accès aux eaux souterraines qui alimentent la résurgence vaclusienne du Moulin : le seul endroit où l'eau affleure au fond de la grotte est au bas du puits du GRSC, d'un accès très difficile et dangereux, et nous ignorons si la résurgence du Moulin restitue les eaux d'une vraie rivière souterraine ou si elle draine une nappe phréatique.

Nous pouvons cependant à partir des données physico-chimiques calculer les pCO<sub>2</sub> d'équilibre des eaux de la résurgence qui nous renseignent sur la composition de l'atmosphère en contact avec les eaux à l'intérieur du karst. La figure 8 est la courbe des pCO<sub>2</sub> calculées pour l'année 2012 à la résurgence du Moulin.

Celle-ci montre que les pressions partielles de CO<sub>2</sub> les plus élevées (> 25 000 ppm) se produisent en été et en automne, et les plus faibles (< 15 000 ppm) en hiver et au printemps. Cette courbe présente des similitudes avec celle des pCO<sub>2</sub> relevées dans le fond de la grotte de Comblain.

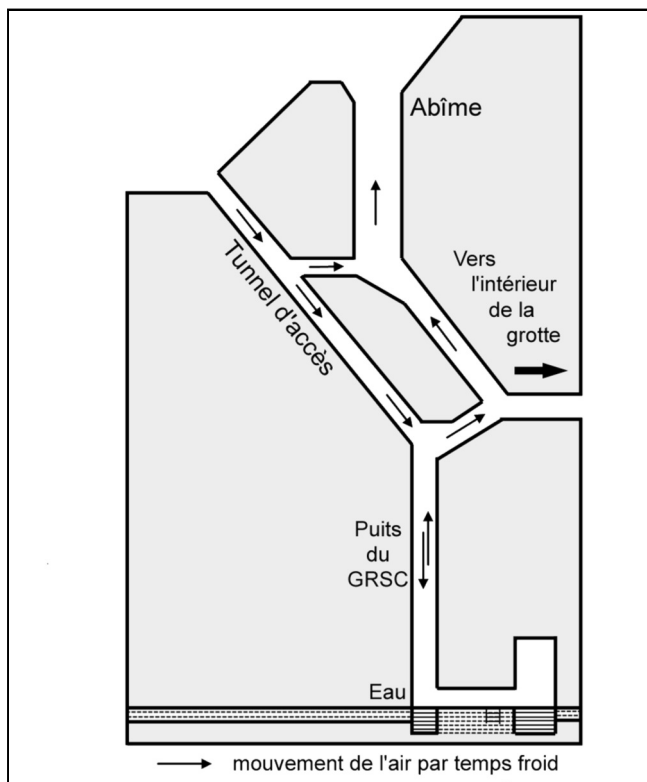


Figure 7. Le tube à vent de la grotte de Comblain. Le mouvement de l'air par temps froid dans le puits du GRSC, au pied de la salle du Mammouth

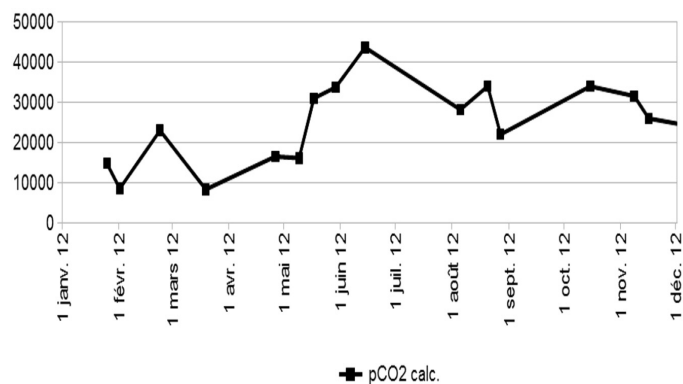


Figure 8. Les pCO<sub>2</sub> calculées des eaux de la résurgence du Moulin



**Figure 9.** La puissante résurgence du Moulin située dans le village de Comblain en bordure de l'Ourthe et qui fonctionne comme l'exutoire principal du massif calcaire.

## Conclusions et perspectives

### Une météorologie d'une grande complexité

Le système sol – cavité – drainage souterrain est d'une complexité considérable. Il est essentiellement alimenté en CO<sub>2</sub> par le CO<sub>2</sub> du sol. Une partie de celui-ci descend dans l'air ou dans l'eau, essentiellement par les fissures et les pertes des cours d'eau. Une partie du CO<sub>2</sub> quitte le système karstique par une résurgence. La fourniture de dioxyde par la biomasse du sol est d'une variabilité extrême. Les maximums sont généralement estivaux, et il en est de même en grotte, avec, le plus souvent, un à trois mois de retard. Les teneurs en grotte sont dix ou quinze fois plus fortes en été qu'en hiver. Outre ce rythme saisonnier, relié à celui de la production pédologique, on observe parfois à la grotte de Comblain des variations soudaines, de courte durée, liées à des variations de température ou de pression barométrique. Mais des variations sont aussi liées aux connexions avec le karst profond d'où peuvent émaner des bouffées de CO<sub>2</sub>.

Les drains profonds montrent dans l'eau des variations plus amorties, de l'ordre du simple au double. Elles reflètent sans doute la perpétuelle recherche d'équilibre entre le CO<sub>2</sub> gazeux issu du sol et le CO<sub>2</sub> dissous, suivant la loi de Henry. C'est ce que nous mesurons dans les sources.

Le calcul des pCO<sub>2</sub> équilibrantes nous a donné les valeurs de la pression partielle de CO<sub>2</sub> d'un air en équilibre avec les eaux souterraines à l'émergence.

Deux modes de fonctionnement apparaissent nettement : entre janvier et mai, des pCO<sub>2</sub> basses, inférieures à 25 000 ppm (15 700 en moyenne) et entre mai et décembre, des teneurs quasi doubles (30 700 en moyenne).

Nous avons déjà observé (voir courbe des pCO<sub>2</sub> calculées de 2011) cette alternance hiver-été à l'exurgence du Monceau avec le même rapport du simple au double mais avec plus de linéarité.

Dans le bassin versant de ce petit synclinal dévonien, le flux de carbone calculé à partir de la pluviosité et des débits à l'exutoire est de l'ordre de 1,5 mole de carbone par m<sup>2</sup> par an.

### Une approche systémique à perfectionner

Les transferts de CO<sub>2</sub> et leurs variations sont liés à tous les paramètres du climat. La température est en Belgique un facteur important de la croissance de la végétation. Le gel met une limite à beaucoup de phénomènes biologiques, mais aussi il imperméabilise le sol et arrête l'infiltration.

La pression barométrique intervient aussi car, par exemple, une forte chute de la pression à l'extérieur entraîne la sortie de l'air de la grotte. La pluie n'a pas seulement une action sur la végétation, mais aussi sur l'infiltration de l'eau dans la roche, qui apporte au sous-sol du CO<sub>2</sub> dissous.

Nous avons observé tous ces phénomènes et les relations entre eux. Une étude du climat et de la météorologie ne peut être que systémique. C'est fondamental. Mais les stations météorologiques les plus proches sont à plus de 10 km du site étudié. Tous les paramètres climatiques mériteraient des mesures permanentes sur place.

### Un climat qui évolue

Dans l'Ecokarst, nous avons déjà publié nos observations sur l'évolution du climat des vides karstiques que nous suivons depuis plus de quarante ans (Godissart et Ek, 2009). L'augmentation des teneurs en CO<sub>2</sub> est considérablement plus forte que celle des teneurs à l'air libre. Il faut dire aussi que la multiplication de nos mesures au cours des dix dernières années nous permet de mettre mieux le doigt sur les maximums éphémères des teneurs en dioxyde de carbone. Ceci amène peut-être à une légère exacerbation des changements observés.

### L'avenir est au data-logging

Pendant longtemps, nous avons fait à Comblain une ou deux séries de mesures par mois. Ceci nous permettait de faire une courbe annuelle en vingt-quatre points. Les appareils de mesures mis au point récemment ont gagné en facilité et autonomie. Nous pouvons enregistrer pendant quinze jours, par exemple, une mesure toutes les trois heures ou même toutes les heures. Couplés à un datalogueur ces appareils assurent des fonctions de surveillance ou d'alarme dans des zones à risques. Son autonomie est de plusieurs semaines et il pourrait fort bien prendre place dans l'attirail du spéléologue à la recherche de cavernes ou de prolongements puisqu'il est capable, par exemple, de détecter les pics de CO<sub>2</sub> en provenance de la zone profonde qui se produisent lors du passage d'un cyclone.

### Remerciements

À **Vincent Brahy**, premier attaché, et **Patrick Engels**, attaché, qui, délégués par le S.P.W., suivent de près nos travaux et assurent la tutelle du projet ;

à **Jacques Hébert**, professeur à Agro-Bio-Tech, Université de Liège, qui nous a accompagnés sur notre terrain d'étude ;

à **Découvertes de Comblain, ASBL**, qui assume l'encadrement administratif de nos travaux, et en particulier à son Directeur, Julien Goijen, et à deux membres, Nicolas Klingler et Barnabé Ek, qui nous assistent dans nos mesures hydrologiques ;

à **Philippe Labarbe**, notre conseiller en informatique et en infographie, auteur de la présentation finale de presque toutes nos figures ; et, last but not least, à **Marie-Claire Cellier**, qui assume la composition des textes de nos rapports et contributions.

*Travail réalisé sous convention RW-ULg. Origine de l'information : SPW, DGARNE. Données et informations provisoires (2012) relatives à la carte géologique de Wallonie 49/1-2, Tavier-Esneux.*

Camille EK &  
Jean GODISSART



# FANTOMES CHEZ LES CAMPENAIRES

## EFFONDREMENTS KARSTIQUES LE LONG DU CANAL À STAMBRUGES (BELOEIL)

### Qui sont les Campenaires?

Jadis, aux environs de Beloeil, dans les communes de Grandglise, Stamburges et Quevaucamps, se trouvaient de nombreuses petites usines de tissage qui occupaient une main d'œuvre nombreuse et essentiellement féminine.

Pour arrondir leurs fin de mois,, les maris de ces petites mains partaient sur les routes avec quelques pièces de tissus, des serviettes ou des draps que leurs femmes avaient pu négocier à meilleur prix directement à l'usine. Ils vendaient leur cargaison en faisant du porte à porte dans les campagnes éloignées. pour ne pas rebrousser chemin sans avoir tout vendus, leurs tournées pouvaient durer plusieurs jours et ils dormaient alors à la belle étoile. Quand leurs clientes leurs demandaient "mais comment êtes vous venus de si loin et à pied?", ils répondaient invariablement "je campe à l'air madame... et ces ainsi que ces colporteurs furent baptisés les Campenaires.

Les bonneteries ont presque toute fermé leur porte depuis longtemps, mais le sobriquet est resté attaché aux gens de la région dans le patois local.

### Un essaim de puits naturels va-t'il se former à Stamburges?

Le 18 mars 2013, une nouvelle dépression karstique s'est ouverte en bordure de canal reliant Blaton à Ath, à proximité du captage communal de Stamburges (commune de Beloeil). Cet affaissement s'est formé au voisinage d'un précédent puits naturel (ouvert le 31 janvier 2006 dans les Berges du Canal). Ce premier effondrement avait entraîné l'infiltration d'un important volume d'eau du canal (passablement pollué) et l'arrêt du captage pendant plusieurs jours (Voir C. Havron, 2006 - in *Ecokarst* N°63).

En 2006, pour enrayer l'infiltration des eaux du canal, le MET avait colmaté cette ouverture circulaire de 4m de diamètre et bétonné sur plusieurs m le chemin de hallage à l'endroit où les berges s'étaient affaissées. Cette "réparation" fut par ailleurs renforcée par la pose de gabions lors de l'installation du Ravel qui emprunte à cet endroit le hallage. Afin d'évaluer l'importance de ce rejeu et les risques éventuels pour la nappe, j'ai réalisé pour la CWEPSS (et à la demande du SPW) quelques observations sur le terrain.



Effondrement du Canal (A1) formé en janvier 2006 et ayant contaminé la nappe avec de l'eau du canal (Photo C. Havron).

C'est accompagné de Messieurs Leturc et Dremière des services communaux en charge notamment du captage que nous avons été examiner les lieux. Cette visite a permis de faire les constats suivants:

1. Le puits naturel du canal A1 (ouvert en 2006) a légèrement rejoué. Jusqu'à présent ce simple tassement ne perce pas la berge et il n'y a aucune infiltration d'eau vers la nappe et le captage.
2. Nous apprenons que dans la périphérie proche du captage (propriété privée) se sont formées ces 10 dernières années un certain nombre d'autres fontis.

Un relevé systématique de ces affaissements mérite d'être réalisé. La zone à proximité de Stamburges est bien plus active au niveau karstique que ne le laissait croire les données existantes. Un tel relevé nécessite un travail d'enquête auprès des riverains, bon nombre des effondrements étant rapidement comblés.

### Inventaire des affaissements de Stamburges

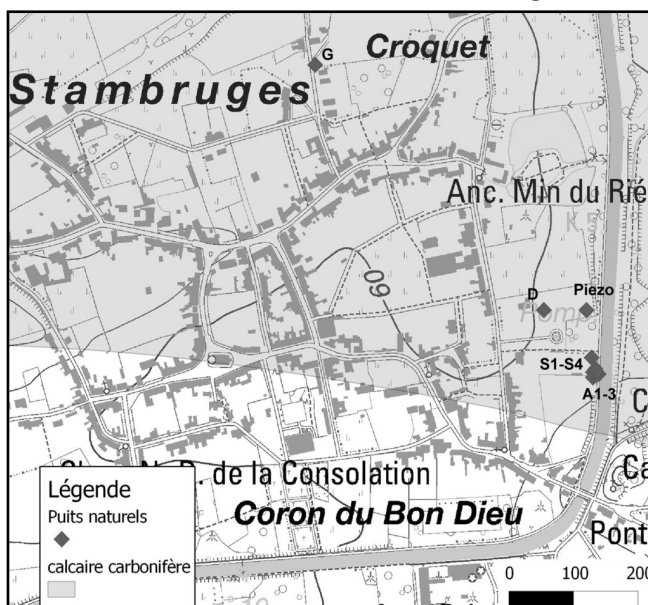


Fig.1. Localisation des affaissements autour de Stamburges - Relevés réalisés en mars 2013 + données historiques.

Dans la propriété voisine du captage, au 44 de la rue Géologue Robert nous récoltons les informations suivantes:

- D1. Affaissement qui se serait formé en même temps que l'effondrement de la Berge du canal en janvier 2006. Il avait (selon le propriétaire) un diamètre de 2m et une profondeur de 1,8m. Cet effondrement a été comblé et ne semble pas avoir rejoué depuis (plus rien de visible en 2013).
- D2. Un second puits circulaire s'est formé en 2013, il a un diamètre de 1,1m et une profondeur de moins d'un m.

A la Rue Blanc Pain, N°26 un fontis bien visible rejoue régulièrement depuis au moins 18 mois (points G sur la carte). Le propriétaire a notamment relevé les épisodes suivants:

- 06/09/2011 Première apparition d'un "trou" qui faisait à l'époque 0,5m de diamètre pour 1,9m de profondeur.
- 16/06/2012 le trou toujours de 0,5m de diamètre atteignait la profondeur de 3,4m. A l'époque le terrain où se situe le fontis était sous eau (suite aux inondations - rendant sa localisation difficile / Observation FPMs). C'est en partie via le fontis que la prairie s'est vidée de son eau (accélérant le décolmatage du karst sous-jacent et pouvant contribuer à l'ouverture d'autres affaissements).
- 20/02/2013 deuxième rejeu, avec un puits faisant 0,5m de diamètre et 3,3m de profondeur. Il n'y avait pas d'eau en son fond.

De retour à la rue Géologue Robert, nous découvrons sur le terrain du N°36, dans la sapinière en bordure de halage que



le sol est défoncé par une série d'au moins 4 cuvettes. Une topographie de la zone est réalisée le 4 avril 2013. L'accès au site est ardu du fait des ronces et les fontis sont en partie comblés par de l'humus et des débris végétaux.



Puits G. à la rue Blanc Pain jouant régulièrement et sondé sur plus de 3m en avril 2013. Le calcaire en place n'a pas été atteint.

La **figure 2** situe et détaille des différents effondrements qui se sont formés depuis 2005 en bordure du canal ainsi que dans la sapinière située sur le terrain du N°36 rue Géologue Robert:

- **S1 & S2** en bordure du pré, à 4,5m du Halage 2 fontis coalescents (S1= 1,1m diam - S2= 2,1m de diam) de faible profondeur et formant une dépression en forme de goutte.
- **S3** fontis allongé en forme de goutte de 1,7m x 4m, son extrémité atteignant le tarmac du chemin de halage. une petite vasque d'eau subsiste dans cette dépression coté halage.
- **S4** situé à une dizaine de m de S3, site non accessible car clôturé dont le diam dépasse 2m pour une profondeur estimée à 0,5m.

On peut estimer que les fontis de la Sapinière (S1 à S4) sont assez anciens vu leur comblement par la végétation.

## Processus à l'origine de ces affaissements

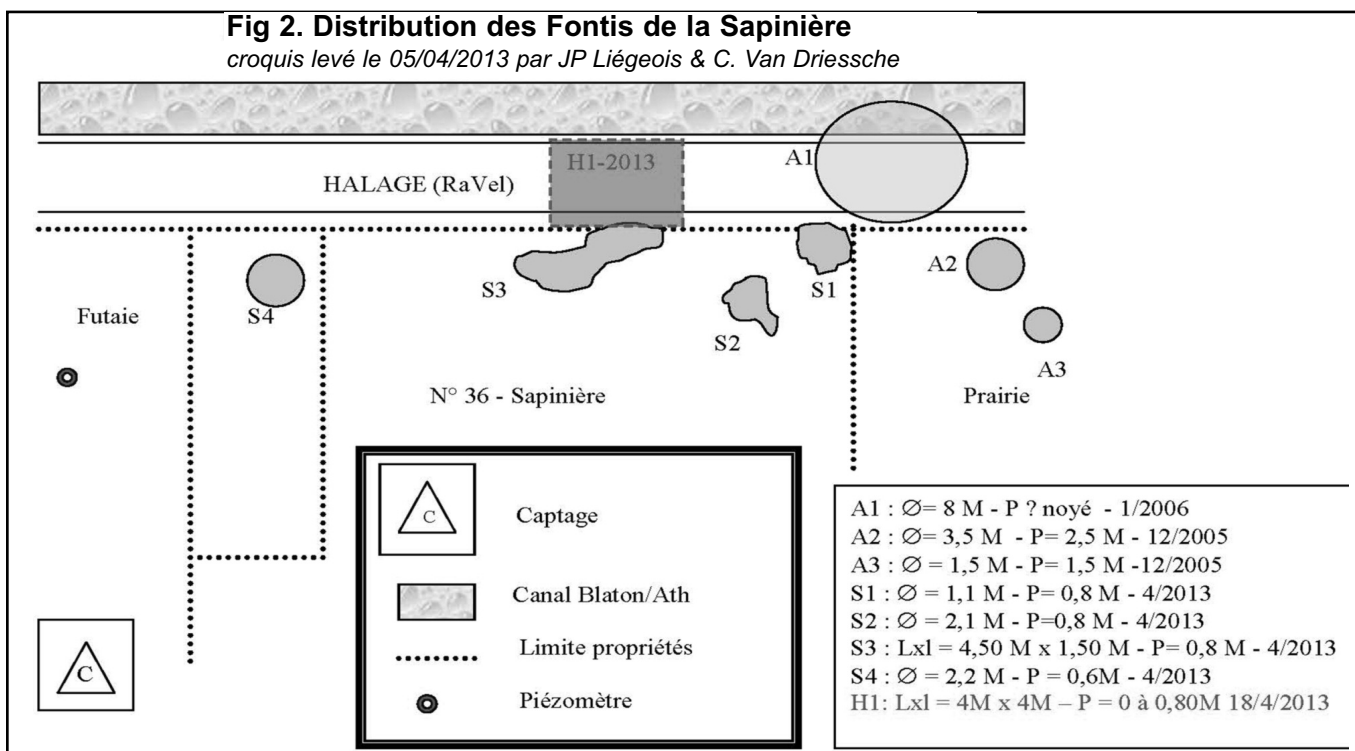
Il est surprenant de parler de phénomènes karstiques dans une zone où le calcaire n'est visible nulle part... où on ne recense aucune grotte; et qu'on est loin d'associer avec des "régions karstiques réputées" telles Han ou Remouchamps. Pourtant, à Stambruges, le calcaire est proche de la surface (moins de 3m de couverture par endroit) et cette roche en place peut être altérée de manière intense sur des épaisseurs parfois importantes. Différents processus peuvent alors réactiver ces "endokarsts" et provoquer l'ouverture brutale de puits comme constatés le long du canal:

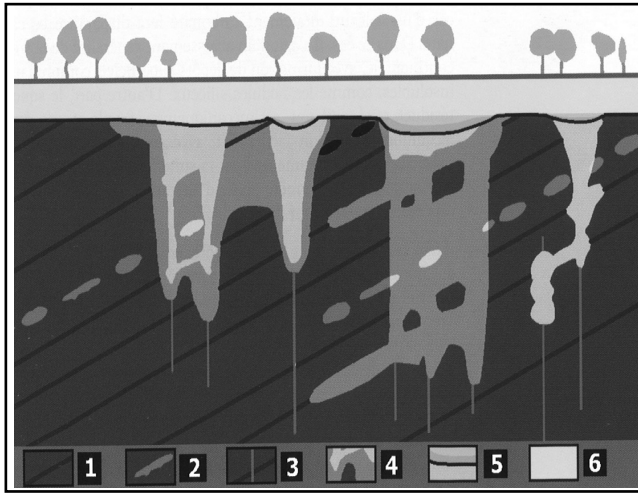
- **Un fontis**: résulte de l'effondrement brutal du sol par la déliquescence des terrains sous-jacents. Ces puits peuvent atteindre quelques m<sup>3</sup> (voire dizaines de m<sup>3</sup>) ont souvent une forme en "cloche" liée à la remontée du vide depuis le calcaire altéré. Le dénoyage du calcaire (diminution du niveau de la nappe) est un élément très favorable à leur formation. Ils se concentrent dans les zones où l'exhaure des carrières et/ou la sur-exploitation par les captages crée un gradient hydrologique.
- **La Fantômisation**: correspond à l'altération en place d'une masse rocheuse carbonatée avec le maintien des éléments les moins solubles (comme les silicates). Ceux-ci constituent le squelette de la roche dont la partie calcaire a été dissoute progressivement par les eaux (ce processus se développe généralement en régime noyé - Voir Quinif 2010).

Des couloirs d'altérations se développent suivant la tectonique et peuvent affecter un massif sur des profondeurs et des étendues importantes. Si pour une cause naturelle (accident tectonique, pénéplanation) ou anthropique (suppression de la couverture), le bedrock calcaire approche de la surface topographique, l'affaissement des altérites fragilisées peut entraîner les terrains de couverture et voir des vides se répercuter jusqu'en surface.

## Prise en compte de l'aléa karstique et prévention des risques liés à ces affaissements

La compréhension des processus de fantômisation et la formation des puits naturels sont des domaines récents dans l'étude de la karstologie. On manque encore de recul pour pouvoir évaluer leur vitesse d'évolution dans le temps et l'échelle à laquelle ces phénomènes sont effectivement actifs.





Coupe dans un massif fantômisé (paléokarsts du Hainaut). 1. Calcaire avec plans de stratification. 2. Lits de silicates (cherts). 3. Joints verticaux. 4. Zones fantômées avec différents degrés d'altération. 5. Couverture transgressive crétacée. 6 Couverture cénozoïque (extrait de Quinif 2010).

Il est aujourd'hui admis que le dénoyage des calcaires (carbonifères dans le cas présent) est un des moteurs de ces processus d'affaissement. Les calcaires carbonifères du Hainaut sont particulièrement affectés par le "sur-pompage". Un grand nombre de captages situés en Wallonie, en Flandre et dans le Nord de la France exploitent ce même aquifère (calcaire carbonifère du Tournaisi); auquel il faut ajouter l'importante exhaure de certaines carrières. Il en résulte une chute du niveau piézométrique qui par endroit peut atteindre la centaine de m!

Certaines techniques géophysiques ayant recours à la conductivité électrique (voire à la microgravimétrie ou à la sismologie) permettent dans des conditions favorables de cartographier des anomalies affectant le calcaire en profondeur (tel que les endokarsts et les fantômes) et ainsi délimiter les zones à risque. Ces investigations sont techniques et nécessitent des capacités d'interprétations pointues qui ne peuvent pas être appliquées à grande échelle.

Il est recommandé d'y avoir recours, pour les travaux d'urbanisation importants dans les zones définies comme "à risque" du fait d'indices karstiques évidents, d'éléments favorables comme le dénoyage et de données historiques relatant la présence d'affaissements antérieurs.



Fontis S4, en bordure du chemin de Hallage. un approfondissement de cette dépression pourrait produire une nouvelle perte dans le canal et affecter le captage voisin (Photo JP Liégeois - mars 2013).

C'est pourquoi la mise à jour de l'inventaire des sites karstiques s'avère être un outil préalable pour la bonne gestion et l'aménagement du territoire en région calcaire. Les observations réalisées en avril 2013 à Stambruges à proximité de canal intégreront cet inventaire. Elles seront alors accessibles au public et aux pouvoirs locaux et régionaux pour permettre une gestion intégrée et réfléchie de ces zones au sous-sol fragilisé.



Fontis D2. encore bien visible en avril 2013, malgré un début de comblement par le propriétaire

## Conclusions

Comme le titrait le journal "Le Soir" le 31 janvier 2006, suite à la contamination et à l'arrêt du captage de Stambruges du fait de l'effondrement de la berge du canal: "l'eau souterraine est l'or bleu de la Wallonie". Il s'agit donc de gérer ce patrimoine de manière optimale tant du point de vue qualitatif que quantitatif.

Il faut être très précautionneux dans le domaine, mais certains modèles envisagent la réinjection des eaux d'exhaure des carrières, vers la nappe pour tenter de rééquilibrer celle-ci et tamponner au maximum l'abaissement du niveau piézométrique (voir C. Van Driessche 2000). Eviter le dénoyage des aquifères est un facteur prépondérant dans la prévention et la gestion des risques karstiques (G. Dandurant, 2012). Une fois qu'un puits naturel a foudroyé la surface, il devient absorbant et fonctionne comme un conduit direct (potentiellement contaminant) entre la surface et la nappe phréatique. C'était le cas à Stambruges en 2006... Enfin là où un fontis s'est produit, il y a de grandes probabilités qu'il rejoue un jour au l'autre, lorsque le vide karstique sous-jacent se sera à nouveau décolmaté.

## Bibliographie sommaire

- Havron, C. 2006. Karst à la une. Puits naturels à Beloeil Stambruges. *Ecokarst* N°63: 2-4
- Kaufmann, O. 2000. Les effondrements karstiques du Tournaisi. Thèse de doctorat en Sciences appliquées. FPMs. 350 pp (non publié).
- Quinif, Y. 1999. Fantômisations, cryptoaltération et altération sur roche nue - le triptyque de la karstification. Université de Provence-159-164.
- Quinif, Y. 2010. Fantômes de roche et fantômisations. Essai sur un paradigme en karstogenèse. *Karstologia - Mémoires* 18: 199 pp.
- Van Driessche, C. 2000. Une zone à puits karstiques dans les calcaires carbonifères tournaisiens. L'exemple de Templeuve-Nechin. SCAIP 17 pp.

Chris VAN DRIESSCHE  
SCAIP - asbl

vandriessche.chris@gmail.com





# KARST MIS EN LUMIÈRE

VIENT DE PARAÎTRE: LA MONOGRAPHIE KARSTIQUE DES BASSINS DU **BURNOT** ET DE LA **MOLIGNÉE**

Les régions calcaires contiennent de nombreux sites d'intérêt biologique, hydrologique, géologique, économique et même touristique. Dans ce milieu rocheux et fissuré ce sont les processus de dissolution qui dominent. Ils sont à l'origine de paysages particuliers, refuge d'une biodiversité spécifique et cadre d'activités industrielles et économiques exploitant la pierre et les eaux souterraines. Cet environnement, attire divers acteurs socio-économiques, ainsi qu'une population à la recherche d'un cadre de vie plaisant. Cette attractivité n'est pas récente... Nombreuse cavités de la Molignée et du Burnot ont révélé des vestiges préhistoriques dont certains remontent au paléolithique.



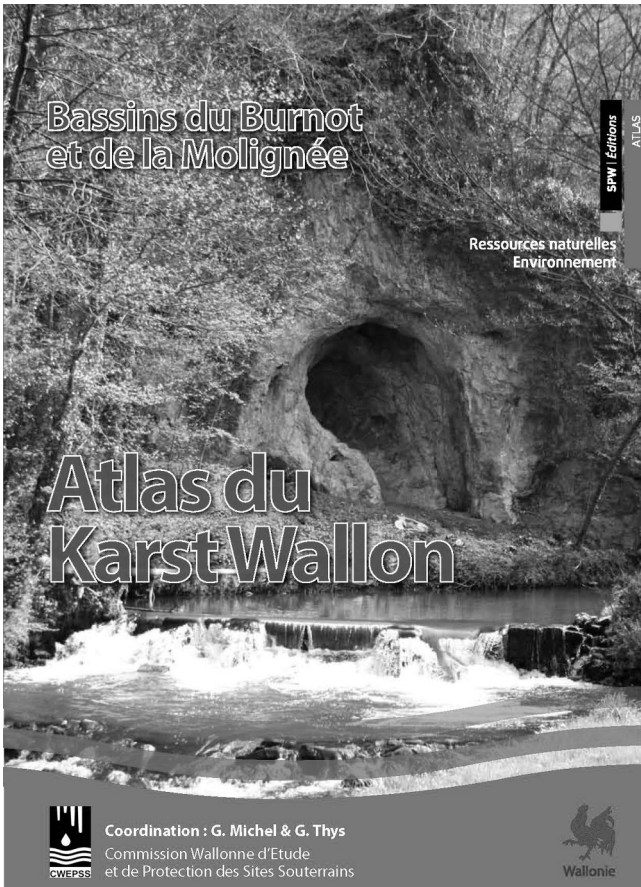
Fistuleuses de la Vilaine Source (Arbre)

Le 3e tome de ces monographies (édité en mai 2013) regroupe les informations karstiques du **Burnot et de la Molignée**. Il sera suivi par deux volumes consacrés au karst dans le bassin de la Lesse en cours de réalisation.

Le tome sur le karst du Burnot et de la Molignée comprend 400 pages et plus de 320 illustrations couleur. Il se compose d'un inventaire cartographique et descriptif, localisant 387 sites karstiques. Chaque site a été visité en 2011 et comprend un état des lieux à jour. Cet atlas est conçu comme un outil d'aide à la gestion des régions calcaires. Il permet à chacun de comprendre la formation et l'évolution des sites karstiques à une échelle locale et à mieux tenir compte de leur présence dans la gestion, l'aménagement, mais aussi la recherche et la découverte de ces massifs calcaires.

## Objectifs et contenu de cette monographie

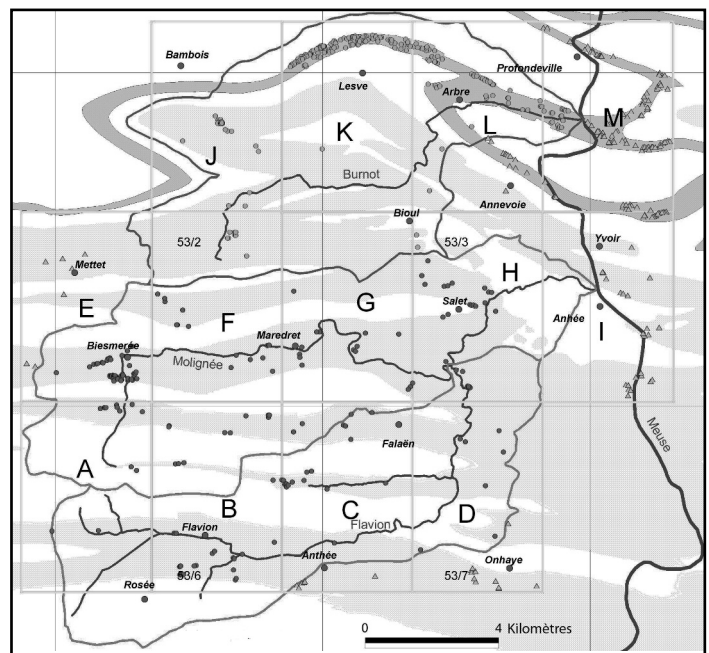
Réalisé par la CWEPPS, cet atlas est publié par le Service Public de Wallonie, DGO3 (SPW | Éditions) dans le cadre des actions du Contrat de Rivière Haute-Meuse. Il a bénéficié de l'apport de nombreux collaborateurs de la CWEPPS et il fait la synthèse de centaines d'observations de terrain.



Les **Contrats de Rivière** ont été créés pour prévenir la dégradation de la rivière, tout en intégrant la promotion des activités économiques et culturelles. Toute décision se base sur la concertation entre usagers et gestionnaires (publics et privés) concernés par la rivière. Ces acteurs décident de mener des actions concertées à l'échelle d'un bassin. Le contrat de rivière a directement soutenu la réalisation d'un inventaire du karst, comme outil permettant une meilleure prise en compte du milieu souterrain

## Un outil pour l'étude et la protection du karst

L'Atlas du Karst est un programme ambitieux, de cartographie, d'édition, mais avant tout de mise à jour des données karstiques qui a été entamé en 2008. Le premier tome (2009) présente les 287 sites karstiques du **bassin du Viroin**. En 2011 la publication détaillait les phénomènes karstiques dans les **bassins du Bocq et du Samson**.



Allègements calcaires et zone couverte par la monographie karstique Burnot/Molignée, en rive gauche de la Haute Meuse.

Il est richement illustré et comprend 13 extraits de cartes à 1/20.000e.

L'inventaire est précédé d'articles présentant le contexte géologique, hydrologique et spéléologique local. Les enjeux



liés aux eaux souterraines y sont détaillés. Cette monographie doit permettre à chacun de comprendre la formation et l'évolution des sites karstiques, leur vulnérabilité et leur nécessaire conservation.

### Pour commander votre exemplaire

Cet ouvrage, financé et édité par le Service Public de Wallonie, est vendu (au prix de 20€) au service publication de la D'GARNE av. Prince de Liège 15 - 5100 Jambes, auprès de Mme Joelle Burton: [joelle.burton@spw.wallonie.be](mailto:joelle.burton@spw.wallonie.be) tel: 081/33.51.80 - 0800/11.901 Le Contrat de Rivière Haute-Meuse propose une liste de points de vente locaux (dans les 2 bassins concernés: [www.crhm.be](http://www.crhm.be) - 081/775.498.

Il y a un point de vente à la Maison de la Spéléologie (Namur) et l'ouvrage peut être directement commandé auprès de la CWEPSS par email: [cwepss@gmail.com](mailto:cwepss@gmail.com).

Les tomes et monographies précédentes restent disponibles et peuvent encore être commandées aux mêmes adresses.

Georges MICHEL

## SEMAINE SPORT-NATURE-AVENTURE A COURCELLES

*Dix-neuf ans (!!!) après la première édition de la semaine sport-nature organisée à "La Posterie", le Spéléo Club Amateur Inter-Province (SCAIP) a décidé de remettre le couvert.*

*Le Scaip en collaboration avec la commune de Courcelles et diverses institutions scientifiques locales fait le pari d'organiser du 2 au 9 octobre 2013 une foule d'activités centrée sur la découverte et la protection de la nature dans notre environnement proche et... lointain.*

*Le programme est particulièrement intéressant et ambitieux. Les participants découvriront via une conférence originale chaque soir, des expositions, des panneaux didactiques ainsi que des maquettes et des animations réalisées pour le milieu scolaire. Des espaces et des aspects peu connus et fascinants de notre biosphère seront présentes.*

### Demandez le programme!

L'ensemble des activités se dérouleront du 2 au 9 octobre 2013 au centre culture "La Posterie" rue Philippe Monnoyer, 46 à 6180 COURCELLES (accessible tous les jours à partir de 10h00 le matin pour visiter l'exposition).

Nous ne détaillons pas l'ensemble du programme, mais nous vous encourageons dès maintenant à bloquer ces dates et à réserver l'une ou l'autre de ces soirées dans votre agenda et nous mettons en avant quelques "moments forts". De remarquables conférenciers vous permettront chaque soir à 19h00 de vous glisser:

- dans la peau d'une chauve souris pour percevoir l'importance du milieu souterrain dans la conservation de ces mammifères volants (P. Michau -Plécotus 02/10)
- jusqu'au coeur de la roche calcaire pour comprendre le processus de fantômisation (Y. Quinif - Umons 03/10)
- dans les vents dominants du grand sud pour découvrir l'antarctique à la voile (P. Paquay 04/10)



*Découvrir l'Antarctique à la voile fera partie de ce programme!*

- dans les sacs de l'expédition spéléo belge au Mexique faisant des découvertes fantastiques dans les Chiappas (R. Grebeude 07/10)
- dans les entrailles de la terre à la recherche des nappes géothermiques du Hainaut et leur utilisation comme source d'énergie (N. Dupont Umons, avec la participation de Mme L. Licour).
- Dans la machine à remonter le temps jusqu'à l'époque des Iguanodons découverts à Bernissart (JM Baelé Ig des Mines).

### Une approche pédagogique originale

La protection de l'environnement et du patrimoine passe par l'information et en particulier par la conscientisation des plus jeunes. A Courcelles, plusieurs centaines d'élèves seront accueillis pour bénéficier d'explications et d'une visite guidée leur faisant découvrir les aspects fabuleux et surprenants des sites karstiques tant souterrains que de surface.



*Cette coupe dans un massif calcaire montre comment se forment les cavités. Elle sera complétée par une maquette-traçage à Courcelles*

Des panneaux d'exposition permettront aux animateurs d'illustrer leurs explications sur ces phénomènes. Un ensemble de maquettes, de mannequins et de matériel spéléo seront utilisés pour l'une ou l'autre démonstration.

Le Contrat de Rivière Sambre & affluents mettra à disposition sa maquette illustrant le fonctionnement d'une station d'épuration et mettant en avant les bons gestes pour protéger quantitativement et qualitativement l'eau. Les panneaux karst et les photos sur l'eau réalisées par le Contrat de Rivière Haute-Meuse compléteront ce dispositif.



Nous avons un faible (évident) pour une maquette illustrant les traçages en zone calcaire... nous en avons souvent rêvé pour expliciter le fonctionnement d'un aquifère karstique et... le SCAIP l'a réalisé! Ce dispositif, mieux qu'un long discours permet de visualiser le parcours d'un colorant dans le massif fissuré et d'expliquer pourquoi et comment les différences de perméabilité vont affecter la vitesse de circulation des eaux souterraines. Bref un équipement qu'on se rejouit de découvrir en "vrai" dès le 1er octobre prochain!

### Pour en savoir plus

Toute information à propos de cette manifestation à Courcelles peut être obtenue auprès de Jean-Pierre Liégeois (cheville ouvrière du projet => [liegeois.jp@gmail.com](mailto:liegeois.jp@gmail.com). Sur le blog du SCAIP le programme pourra être téléchargé. Vous serez ainsi au courant "en temps réel" de son évolution et des hot new's a ce sujet <http://scaipspeleoclub.blogspot.be>

On vous encourage a venir nombreux à Courcelles en octobre prochain... Nous on y sera en tous les cas!

Georges MICHEL

## LU POUR VOUS

### SOURCES ET SITES DES EAUX KARSTIQUES - JEAN NICOD



En situant l'auteur, peut être donnerai-je quelque éclairage sur l'ouvrage qui a la particularité de couvrir un sujet apparemment presque banal étudié dans une aire géographique très large : des sources dans des régions karstiques. Jean Nicod était Professeur puis Directeur à l'Institut de Géographie d'Aix-en-Provence (1968-1991) ; Président d'honneur de la revue *Karstologia*, son oeuvre scientifique est considérable. Officiellement retraité, il continue une activité débordante...

*Durant sa carrière, il a eu l'occasion de visiter, d'étudier les karsts de nombreux pays. Il s'intéressera en particulier aux circulations d'eau souterraine. Il porte un regard un peu différent de celui des géologues; à la manière de notre éminent Camille Ek, sa façon de « voir » le karst dépasse la géologie seule et englobe l'impact humain sur l'étude des eaux qu'elles soient souterraines ou de surface.*

### Un ouvrage original couvrant un sujet classique

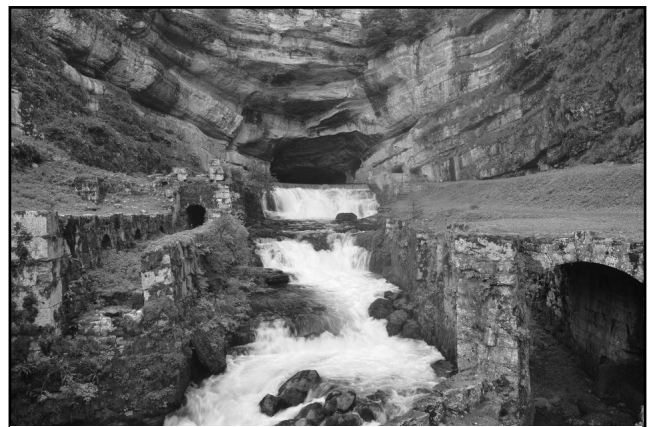
Cet ouvrage pourrait être un « livre de souvenirs » : car il est le fruit de nombreuses années d'études sur les sources karstiques et d'enquêtes sur la géographie de leurs sites. L'auteur y fait la synthèse de nombreuses expériences de terrain augmentée de lectures et de parrainage de travaux d'étudiants. L'auteur y associe volontiers de très nombreux collègues.

Pour en arriver à l'ouvrage dont il est question, ce n'est pas une thèse démontrant une hypothèse mais un voyage qui, en montrant des paysages significatifs, présente la variété des sources en terrain karstique, leurs genèses, leurs particularités, leur importance dans la vie des hommes depuis qu'ils tentent d'exploiter et d'aménager la nature pour se « faciliter la vie ». Par ces exemples, Jean Nicod cherche à nous expliquer la diversité et l'unité des eaux d'origine karstique en Europe de l'Ouest et au pourtour méditerranéen.

Le travail est divisé en quatre chapitres, agrémentés de cartes, photos, tableaux, planches et index :

#### 1. Des sources karstiques :

Pendant une centaine de pages, l'auteur nous présente des exemples significatifs : la Loue et l'Areuse, le Frais Puits dans le Jura, puis des sources d'Allemagne, des Grands Causses, de Provence, des Alpes Maritimes et d'Italie avant de passer dans les régions plus sèches de Syrie et du Liban puis de s'attarder sur les phénomènes des sources littorales et sous-marines autour de la Méditerranée.



Les sources de la Loue (Jura), aux crues célèbres

#### 2. Les lacs karstiques :

Après la présentation de ce type de phénomène, les exemples nous font voyager essentiellement autour de la Méditerranée : la chaîne Dinarique d'abord (Slovénie, Bosnie, Montenegro, Macédoine) avant la Grèce, le Taurus et les Causses du Moyen Atlas... Un lac est une anomalie dans une région karstique, qui ne peut résulter que de l'addition de phénomènes particuliers assurant une étanchéité au moins partielle dans une zone en théorie absorbante. Amoureux de la Turquie, j'ai lu avec intérêt le chapitre dédié au Taurus turc, où Michel Bakalowicz a réalisé des expériences de colorations portant sur des distances - inimaginables dans notre pays- de plus de 100 km !

Un chapitre consacré au Moyen Atlas montre les problèmes hydrologiques dans l'optique de la sécheresse actuelle et l'influence des prélèvements de l'homme pour l'irrigation.





Le vaste ensemble des lacs de Plivitce situé en Croatie (karst d'origine) constitue le plus vieux parc national du Sud de l'Europe (créé en 1949). Les seize grands lacs qui se sont formés sur le calcaire grâce à une couche imperméable sont séparés par des cascades successives.

### 3. Captages antiques, captages et barrages modernes :

Certaines sources en terrain karstique (pauvre en eaux de surface) sont exploitées depuis l'antiquité : nous passons d'un captage à Jérusalem -cité dans la Bible- à Syracuse, avant de retrouver les travaux gigantesques des romains. Une série de réalisations modernes dont la problématique des lacs de barrage en terrains karstiques, que l'on pourrait comparer au Tonneau des Danaïdes.

### 4. Sites de travertins :

Les eaux karstiques étant chargées en carbonates, ceux-ci se déposent sur le parcours de l'eau qui les transporte. Il arrive que ce dépôt se fasse en surface et l'auteur nous présente quelques grands sites en Europe et au Maroc, je ne résiste pas à citer le site grandiose de Pamukkale en Turquie, où l'hydrothermalisme joue un rôle important.



Piscines naturelles du site de Pamukkale en Turquie, composées d'un étage de vastes "gours" à l'air libre. La calcite qui s'y précipite est d'un blanc nacré qui en fait un site de grand intérêt touristique ainsi qu'un lieu de thermalisme depuis bien longtemps.

### Un livre-voyage à découvrir

L'ouvrage au cours de ces 300 pages nous invite à une excursion qui nous prendrait plusieurs mois. Et nous, spéléologues, qui fréquentons quelques sites semblables à ceux qui sont décrits ici, nous les regarderons maintenant d'un œil différent et plus averti. Nicod nous rappelle aussi que certains sites peuvent avoir changé avec le temps et l'influence de l'homme et qu'il n'est pas inintéressant de connaître ce qui fut pour comprendre ce qui est.

Alors que les ressources en eau sont largement exploitées en milieu karstique, il nous rappelle aussi que la connaissance des sources est devenue essentielle pour la protection de l'eau et que l'apport du géographe est important du fait de l'interférence entre les conditions naturelles et les différents usages intervenant dans l'anthropisation des milieux.

Son avant propos précise aussi que cette publication a été rendue possible par la revue « Méditerranée » qui a décidé d'en faire un numéro spécial, et que ce voyage dans le temps et dans l'espace (de l'Allemagne au Maroc en faisant le tour de la Méditerranée) est l'occasion de rappeler les nombreux collègues qu'il a eu le plaisir de côtoyer et dont bon nombre sont hélas disparus.

Un regret au niveau des illustrations dont le rendu est un peu faible, quelques cartes difficilement lisibles, des photocopies couleur de qualité moyenne.

### Pour acquérir cet ouvrage...

Sources et sites des eaux karstiques /par Jean Nicod. – Aix, Presses Universitaires de Provence ; 2012. – 277 pages : nombreuses illustrations dans le texte, 14 pages de planches photos hors texte, 6pages de planches ; A4.- N° Hors Série de la revue Méditerranée. – Prix de vente : 30€

Jean-Marc MATTLET



### LA CwEPSS

Secret. Permanent: av. Guillaume Gilbert 20, 1050 Bruxelles  
Tél / Fax : 02/647.54.90 / Email : [contact@cwepss.org](mailto:contact@cwepss.org)  
Siège social: Clos des Pommiers, 26. 1310 La Hulpe  
L'EcoKarst est publié avec l'aide de la Communauté Française de Belgique.

Pour ceux qui ne l'ont pas encore fait, il est grand temps de renouveler votre **cotisation pour 2013** à la CwEPSS Pour rappel, la cotisation comprenant l'abonnement à l'Ecokarst (4 numéros par an) est la suivante:

- 10 Euros par **membre adhérent** (16 Euros à l'étranger).
- 15 Euros pour devenir **membre effectif** (si vous souhaitez participer à nos activités de manière plus directe et avoir le droit de vote à l'assemblée générale de l'association).

Ces montants sont à verser au compte de la CwEPSS:

- IBAN : BE68 0011 5185 9034. / BIC : GEABEBB.

Sur la page de la CwEPSS vous découvrirez les publications et Atlas du karst qui sont en vente.. N'hésitez pas à commander ce qui vous intéresse. <http://www.cwepss.org/publication.htm>

