

## Le Luirographe, développement d'un enregistreur autonome motivé par les mises en charge de la grotte de la Luire (Vercors, France)

Laurent Morel

---

### Citer ce document / Cite this document :

Morel Laurent. Le Luirographe, développement d'un enregistreur autonome motivé par les mises en charge de la grotte de la Luire (Vercors, France). In: Collection EDYTEM. Cahiers de géographie, numéro 19, 2017. Monitoring en milieux naturels. Retours d'expériences en terrains difficiles. pp. 161-167;

doi : <https://doi.org/10.3406/edyte.2017.1377>

[https://www.persee.fr/doc/edyte\\_1762-4304\\_2017\\_num\\_19\\_1\\_1377](https://www.persee.fr/doc/edyte_1762-4304_2017_num_19_1_1377)

---

Fichier pdf généré le 22/04/2020

### **Abstract**

Luirographe is a recording and measuring apparatus of water heights in underground cavities. It makes it possible to better know and understand the hydrological operation of the cavities. The study must be achieved over several years. The flood frequency and the height of water, the rising times, the speed of the wave in the cavity, the rise and fall times of the level of water can be studied. We can also study if there are outfalls and know in which order and at which speed the galleries are flooded. For example, in Luire cave, the arrival of walls of water in certain galleries, the outfalls and the flow of rivers have been studied.

### **Résumé**

Le Luirographe est un appareil de mesure et d'enregistrement des hauteurs d'eau dans les cavités souterraines. Il permet de mieux connaître et de comprendre le fonctionnement hydrologique des systèmes karstiques. Sur plusieurs années, on peut connaître la fréquence des crues, la hauteur d'enneigement, les temps de réaction, la vitesse de l'onde de crues dans la cavité, les temps de montée et de descente du niveau de l'eau. On peut également déterminer l'existence de déversoirs ou connaître dans quel ordre et à quelle vitesse les galeries s'enneigent. Par exemple, dans la Luire, on a ainsi pu constater l'arrivée de « murs d'eau » dans certaines galeries, identifier des déversoirs et déterminer l'écoulement de rivières souterraines qui n'ont jamais été observées par les spéléologues.

# LE LUIROGRAPHE

## DÉVELOPPEMENT D'UN ENREGISTREUR AUTONOME MOTIVÉ PAR LES MISES EN CHARGE DE LA GROTTE DE LA LUIRE (VERCORS, FRANCE)

### THE LUIROGRAPHE: DATA LOGGER DEVELOPMENT MOTIVATED BY SUBTERRANEAN FLOODS OF THE LUIRE CAVE (VERCORS, FRANCE)

LAURENT MOREL, GROUPE SPÉLÉOLOGIQUE VALENTINOIS

*Université de Lyon, UCB Lyon 1, CNRS, Laboratoire Ampère, 69100, Villeurbanne.*

*Contact : laurent.morel@univ-lyon1.fr*

#### RÉSUMÉ

*Le Lurographe est un appareil de mesure et d'enregistrement des hauteurs d'eau dans les cavités souterraines. Il permet de mieux connaître et de comprendre le fonctionnement hydrologique des systèmes karstiques. Sur plusieurs années, on peut connaître la fréquence des crues, la hauteur d'envolement, les temps de réaction, la vitesse de l'onde de crues dans la cavité, les temps de montée et de descente du niveau de l'eau. On peut également déterminer l'existence de déversoirs ou connaître dans quel ordre et à quelle vitesse les galeries s'envoient. Par exemple, dans la Luire, on a ainsi pu constater l'arrivée de « murs d'eau » dans certaines galeries, identifier des déversoirs et déterminer l'écoulement de rivières souterraines qui n'ont jamais été observées par les spéléologues.*

**MOTS-CLÉS :** CENTRALE D'ACQUISITION, HYDROLOGIE KARSTIQUE, CRUES, LUIRE, VERCORS.

#### ABSTRACT

*Lurographe is a recording and measuring apparatus of water heights in underground cavities. It makes it possible to better know and understand the hydrological operation of the cavities. The study must be achieved over several years. The flood frequency and the height of water, the rising times, the speed of the wave in the cavity, the rise and fall times of the level of water can be studied. We can also study if there are outfalls and know in which order and at which speed the galleries are flooded. For example, in Luire cave, the arrival of walls of water in certain galleries, the outfalls and the flow of rivers have been studied.*

**KEYWORDS:** DATA LOGGER, KARST HYDROLOGY, SUBTERRANEAN FLOODS, LUIRE, VERCORS.

#### INTRODUCTION

Le fonctionnement des systèmes karstiques est souvent abordé par l'étude des entrées et des sorties du système. On mesure d'un côté la pluie qui s'abat sur le bassin versant et de l'autre, on mesure les débits à l'exutoire, souvent complété par des analyses (minéralisation, température, etc.). Les signaux d'entrée sont comparés aux signaux de sortie, cela constitue la base méthodologique qui permet de saisir cette dynamique du fonctionnement karstique (Mangin, 1975). Cette approche de type « boîte noire » a ses limites face à un système karstique qui doit être appréhendé comme un tout. Certes les analyses les plus complètes

comprenant, notamment, des courbes de décroissance des débits, ont montré qu'il était possible de saisir en partie et parfois finement les modalités de circulations dans le karst, mais le fonctionnement hydrologique à l'échelle des drains reste souvent méconnu. C'est pourquoi il est important de compléter ce type d'étude par des mesures dans les drains du karst. Un système autonome d'enregistrement des données devenait donc nécessaire et le lurographe est apparu comme une solution intéressante pour répondre à ce type de besoin (Morel, 1996 ; Morel et al., 2006).

## DESCRIPTION ET INTÉRÊT DU LUIROGRAPHE

Créé en 1995, il fonctionne de manière entièrement autonome (Morel, 1996, 2009 ; Morel et al., 2006). Il regroupe les capteurs, l'enregistreur et l'alimentation, le tout enfermé dans une boîte étanche. Il suffit donc de placer cette centrale dans des cavités actives, y compris celles d'accès difficiles, et d'aller régulièrement la chercher pour récupérer les données.

Le Luirographe enregistre à intervalle régulier la pression hydrostatique et la température au centième de degré en un point donné. La pression hydrostatique mesurée n'est pas seulement la hauteur d'eau verticale équivalente au-dessus de lui. Il mesure la somme de la hauteur d'eau au-dessus (ramenée à une pression) plus les pertes de charge. La pression hydrostatique est mesurée par une cellule en céramique offrant une grande précision, une grande répétabilité de la mesure et une haute tenue aux coups de bélier et surpression. La température est mesurée par une sonde platine type PT100. Elle offre une excellente précision et permet au moins une résolution du centième de degré.

Cinq versions ont vu le jour depuis 1995 (Figure 1). La première version d'un poids de 10 kg, pouvait stocker 32 000 données avec une précision de 0,5% et nécessitait huit piles de type R14. La dernière version, d'une précision <0,05%, permet un pas de temps d'acquisition inférieur à une seconde et un stockage de

plusieurs giga octets avec une autonomie de plusieurs années. Elle pèse moins de 500 g. Une nouvelle version encore plus petite est en cours de développement. Chaque version apporte plus de fiabilité, de robustesse des mesures, une autonomie plus grande, une mémoire de stockage plus importante, un volume et un poids plus petits et un coût réduit.

Plus d'une trentaine de cavités françaises ont été équipées d'un ou plusieurs luirographes qui enregistrent des variations de niveau d'eau allant de 2 à 499 mètres, 499 mètres (réseau de la Loire) étant la mise en charge la plus importante mesurée au monde. Ces études contribuent à la compréhension du fonctionnement hydrogéologique des karsts.

Figure 1 - Différentes versions de luirographe de 1995 à 2005, carte électronique version de 2005. Dessin J.Y. Bigot.



## LES MISES EN CHARGE ET LES PERTES DE CHARGES DANS LES SYSTÈMES KARSTIQUES

Dans tous les réseaux actifs, le niveau de l'eau en un point donné varie au cours du temps essentiellement en fonction des données météorologiques. On parle plutôt de mise en charge pour une élévation importante de la surface piézométrique (hauteur d'eau) dans le système karstique, élévation associée à une inefficacité dans l'évacuation de la totalité des écoulements de ladite crue. Cette mise en charge, phénomène très fréquent,

est donc due à la fois à l'augmentation du débit (paramètre externe : la pluie) et aux pertes de charge (paramètre interne : la structure du karst).

Le niveau peut varier de quelques centimètres à quelques centaines de mètres.

Un fluide en mouvement, quel qu'il soit, subit des pertes d'énergie dues aux frottements sur les parois. Ces pertes se traduisent par une diminution de la charge (baisse de la pression ou baisse de l'altitude de la surface libre) dans le sens de l'écoulement. L'écoulement fait face aux pertes de charge en augmentant la hauteur d'eau en amont. Les pertes de charges dépendent de la rugosité de la paroi et aussi des accidents de parcours : virage, obstacle, élargissement ou rétrécissement de la section.

Les plus grandes mises en charge en France (Jaillet 1999 ; Audra, 1997) sont résumées dans le Tableau 1. Il existe neuf mises en charge de plus de cent mètres, quatre ont été instrumentées avec des luirographes (Grotte de la Loire, Aven Souffleur, Puits des Bans, Trou qui souffle).

Nom de la cavité	Département	Hauteur
Grotte de la Loire	Drôme	499
Grotte d'Arphidia	Pyrénées-Atlantiques	280
Perte du Cavalon	Alpes de Haute-Provence	263
Aven Souffleur	Vaucluse	260
Puits des Bans	Hauts-Alpes	217
Réseau Fanges-Paradet	Pyrénées-Orientales	170
Trou qui souffle	Isère	155
Trou du Renard	Pyrénées-Atlantiques	150
Réseau du Revest	Alpes-Maritimes	145

Tableau 1 - Mises en charge de plus de 100 mètres en France.

## QUELQUES RÉSULTATS : LE CAS DE LA LUIRE (VERCORS)

Depuis plus d'un siècle, la grotte de la Luire intrigue par son régime hydraulique (Bourgin, 1942 ; Mangin, 1975 ; Rousset, 1982 ; Delannoy, 1997 ; Garnier, 2008). En effet, les crues se traduisent par une montée de l'eau dans le réseau qui peut atteindre l'entrée, habituellement sèche, et transformer la grotte en résurgence (alt. 875 m). On parle alors de crevaison, un phénomène très brutal intervenant une fois tous les deux ans en moyenne et d'une durée de 24 heures. Dès leur première visite, en 1896, les explorateurs soupçonnèrent que l'eau de la Luire provenait de galeries profondes. Différent des systèmes simples des rivières de type alpin, le réseau possédait une complexité due à l'absence d'un véritable collecteur cascasant jusqu'à l'émergence pérenne d'Arbois (Bourgin, 1942) (Figure 2).

Depuis, les explorations récentes ont permis la découverte, à l'aval, d'un siphon à -480 mètres de profondeur. Il est situé à 18 km en amont de l'émergence d'Arbois, son altitude est quasiment identique à celle de cette émergence. Le système Luire-Arbois comporte trois parties : (i) une zone vadose essentiellement située au-dessus de la Luire (les hauts plateaux), (ii) une zone épinoyée, le réseau de la Luire proprement dit, sur au moins 480 mètres de haut et 47 km de long, (iii) une zone noyée de plus de 18 km d'extension et d'au moins 100 mètres de profondeur. Les étages successifs de la Luire sont liés au creusement progressif de la vallée de la Bourne (Delannoy, 1997).

Ces 18 kilomètres de réseau noyé constituent un frein naturel à l'écoulement souterrain. Ils se développent principalement sur des discontinuités structurales (fissures et joints de stratification) en un parcours labyrinthique. Dans un réseau noyé, le creusement mécanique est négligeable ; à l'inverse la dissolution chimique, très efficace, creuse des galeries sans privilégier le parcours le plus direct jusqu'à Bournillon. L'ensemble des galeries, méandres, détours, ramifications et rétrécissements constituent autant de freins hydrauliques qui suffisent à expliquer une mise en charge d'au moins 480 mètres (Morel, 1996), hauteur importante, mais qui reste acceptable, rapportée à l'échelle de la percée hydrogéologique.

Tous ces facteurs internes contribuent à une certaine répartition et organisation des galeries favorisant les mises en charge (Morel, 2009). Les pertes de charges singulières ou régulières créent une élévation de l'eau non linéaire en fonction du débit, chaque

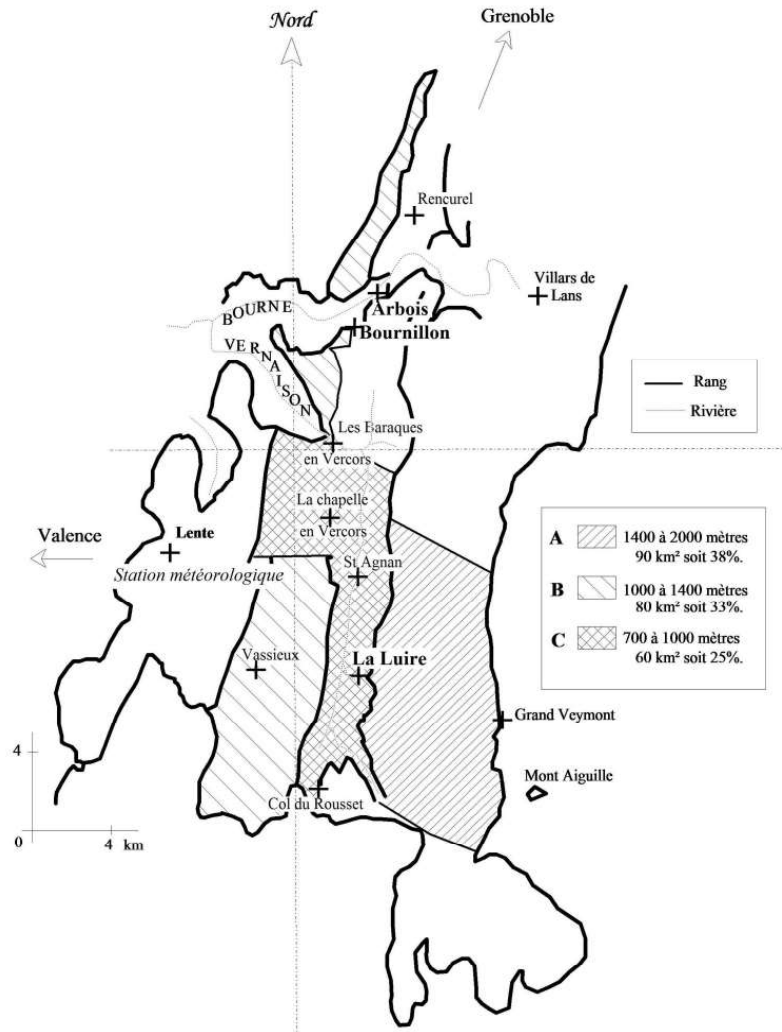


Figure 2 - Situation géographique et répartition par tranche d'altitude du plateau d'alimentation.

perte de charge a sa propre relation hauteur-débit. De plus, les écoulements sont localement turbulents. On trouve aussi de nombreux seuils et déversoirs qui ponctuent le parcours et également des galeries et salles de volume non réguliers en fonction de la hauteur. La dimension importante du bassin versant explique l'abondance des écoulements qui transitent dans le karst. Une pluie de 100 mm sur le bassin de 220 km² correspond à 22 millions de mètres cubes à évacuer. On imagine la dimension des conduits nécessaires au drainage de cette quantité d'eau avec une faible mise en charge ! Si l'on avait un conduit unique, rectiligne, de diamètre constant, et que l'on voudrait évacuer ces 22 millions de mètres cubes en 24 heures, il faudrait un conduit de plus 5 mètres de diamètres pour un perte de charge de moins de 400 m.

Depuis 1995, plusieurs lurographes enregistrent les variations de hauteur d'eau en différents points de la cavité. Huit points de surveillances sont répartis dans des zones-clés, depuis l'exutoire jusqu'aux zones profondes du système (Figure 3).

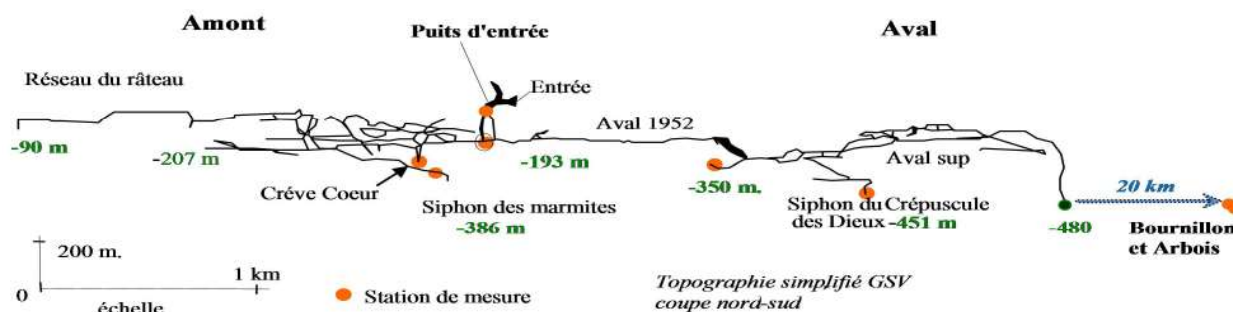


Figure 3 - Coupe schématique de la Luire et points de mesure.

Différentes informations ont pu être déduites des courbes issues des luirographes. Plusieurs crevaisons ont été enregistrés sur dix-huit ans de mesure continue. Des oscillations jour-nuit pendant la fonte des neiges ont été relevées sur des périodes longues de 15 jours avec des amplitudes atteignant 15 mètres. La Figure 4 représente la crevaison du 22 avril 1995 et la pluviométrie à la Chapelle-en-Vercors (données

Météo-France, pas de temps de 8 minutes). On identifie un temps de réponse très court, de l'ordre de cinq heures. Les hauteurs d'eau classées sont tracées de 1995 à 2000 (Figure 5). Six « cassures » sont identifiées et correspondent aux différents étages de la Luire. En moyenne, la zone des puits de la Luire est inondée pendant 14 % de l'année.

Figure 4 (ci-dessous) - Premiers résultats du Luirographe et première crevaison enregistrée (22 Avril 1995). Zone des puits. Extrait (Morel, 1996).

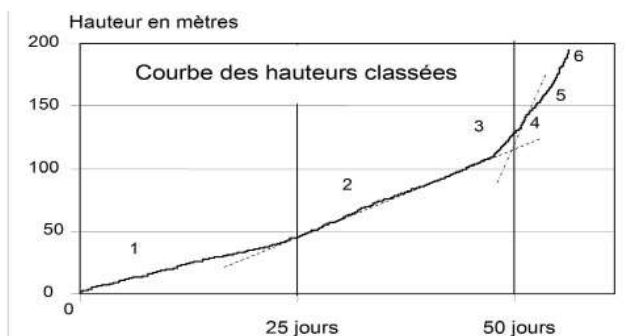
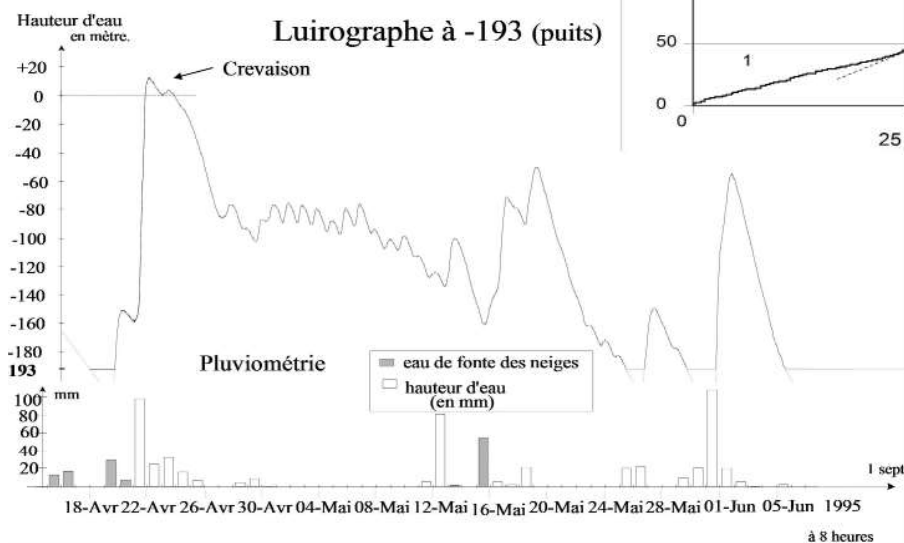


Figure 5 (ci-dessus) - Hauteurs classées. Il est possible d'identifier des ruptures de pente vers 45 m et 120 m qui caractérisent une structuration des conduits.

### Une mise en charge de 499 mètres !

Le système de la Luire est la plus grande mise en charge mesurée dans le monde avec 499 mètres (Morel, 2005). Entre le siphon aval et l'entrée (grotte de la Luire), 480 m de dénivellation sont envoyés totalement à chaque crevaison. Ceci est vérifié par différents points de mesure dans le réseau (Figure 5). Cependant, sur chaque courbe de crues, supérieures à quelques mètres cubes par seconde, le Luirographe indique une hauteur dépassant de 19 mètres la cote de la grotte de la Luire. Or, au droit de la grotte de la Luire, l'exutoire de crevaison, (cote zéro), l'eau ne monte au maximum

que de 1 ou 2 mètres. Cette différence de 17 mètres s'explique par la mise en charge nécessaire à la circulation de l'eau dans les puits. Pour faire passer un certain débit dans un conduit quelconque (vertical ou horizontal), il est nécessaire d'augmenter la pression en amont. Dans notre cas, cette règle se traduit par une mise en charge de 19 mètres en amont de l'exutoire temporaire de la Luire ! Au total, la mise en charge du système est donc de 480 m plus 19 m soit 499 m, ce qui en fait la plus grande mise en charge connue en système karstique (Morel, 2005).

### Galerie des Marmites

La galerie des Marmites est située en amont de la zone des puits (Figure 3). Lors de fortes pluies, elle est parcourue par une rivière qui prend naissance dans le Labyrinthe en amont et se jette dans un siphon à -386 m. Cette galerie est visitée en période de fin de pluie par certains téméraires curieux de voir couler cette rivière. Les courbes de hauteur d'eau (Figure 6) per-

mettent d'identifier l'écoulement de la rivière associé à la mise en charge de la Luire. Lors de ces mises en charge, la galerie des Marmites se remplit en moins de 30 minutes, ce qui ne laisse aucun d'espoir d'en sortir vivant ! On comprend ici tout l'intérêt que peut revêtir ce type d'étude pour une meilleure connaissance des karsts et la sécurité des pratiquants.

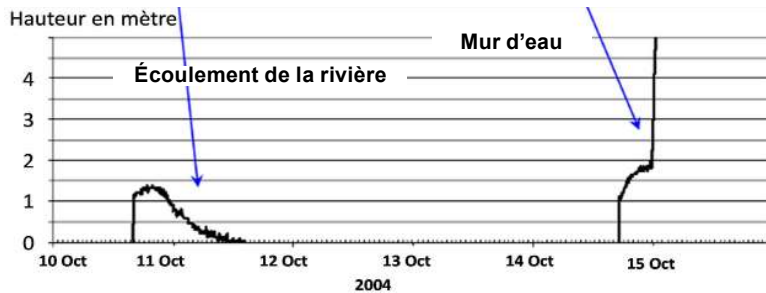


Figure 6 - Dans la rivière des Marmites, un mur d'eau peut subvenir brusquement.

Figure 7 - Exemple de seuil et de déversement observés à la profondeur de 311 mètres.



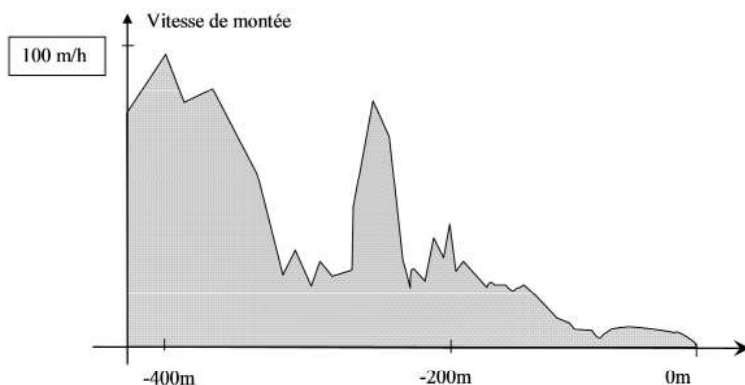
En analysant les différents enregistrements, on observe des paliers sur les courbes de mise en charge (Figure 7) ou encore sur celles des hauteurs classées qui peuvent durer plusieurs jours. Ces paliers correspondent à des déversoirs connus comme celui de -311 m et d'autres non connus. Ces déversements sont difficilement observables, pour des raisons de sécurité évi-

dente. Ces déversoirs ont un fonctionnement typique non linéaire. Le réseau se remplit de part en part, se déversant de galeries en galeries, avec de multiples interconnexions, ramifications. Ces données permettent seulement une compréhension localisée d'une partie du réseau de quelques kilomètres carrés sur un bassin d'alimentation de plus de 220 km<sup>2</sup>.

### Vitesse de montée de l'eau et implications pour la sécurité des pratiquants

Lors de la crue du 11 août 2004, la vitesse de montée de l'eau a atteint 100 m/h sur un dénivelé de plus de 100 m. Chaque année, plusieurs crues dépassent les 60 m/h. De manière générale, les crues sont rapides à partir de la fin du mois d'août, en septembre et durant l'automne. En hiver, le manteau neigeux ralen-

tit les vitesses de montée, ce qui ne signifie pas que les explorations en hiver sont moins dangereuses. La fonte progressive du manteau peut alimenter pendant plusieurs semaines le système avec des débits de plusieurs m<sup>3</sup>/s à la résurgence temporaire de Bournillon et avec un ennoisement moyen de 200 mètres dans la



Luire. La Figure 8 représente la vitesse de montée maximale enregistrée en fonction de la profondeur, d'août 2004 à août 2006.

Des montées de 40 m/h en moyenne sont observées, ce qui signifie que la Luire peut se « remplir », à partir du fond (-450), en une douzaine d'heures. Dans la zone des puits, on observe les vitesses de montée les plus faibles, autour de 15 mètres par heure.

Figure 8 - Vitesse de montée maximale enregistrée en fonction de la profondeur, d'août 2004 à août 2006.



Porche d'entrée de la Luire, à l'étiage et en crevasion (crue novembre 2002) (Photo L. Morel).



Galerie à -80m dans la zone des puits d'entrée (Photo L. Morel).

Crue interne, zone des puits -120m (Photo P. Guillermet).

Fin de crue, salle Décombaz, zone d'entrée, partie touristique. Cette zone est accessible lors de petites crues (Photo L. Morel).





Par contre, les zones profondes se noient à des vitesses beaucoup plus rapides qui peuvent atteindre plus de 100 m/h. Le luiuographe a même enregistré une vitesse ponctuelle de 160 m/h en 2006 ! Cette zone profonde de -450 à -350 m peut se remplir en une heure, et ceci plusieurs fois dans l'année.

Dans de nombreux cas, seulement une partie de la cavité se noie et bloque son accès (ou sa sortie) (Jaillet, 1999). On retrouve cette configuration par de nombreux exemples dans le Verneau, l'Ermoy, les Glières, etc. Le spéléologue doit attendre que la décrue s'amorce avant d'espérer sortir. Mais dans certains cas la décrue est très lente, par exemple dans le cas où le manteau

neigeux entretient un niveau d'eau élevé. On peut citer le cas de l'Ermoy en Haute Savoie avec un bassin versant s'étagant de 500 à 3000 mètres. Les mises en charge durent plusieurs mois (>9 mois), et la zone noyée se développe sur plusieurs centaines de mètres dans de petites galeries boueuses ! Dans d'autres cas, la vidange de la zone noyée se fait par un réseau de micro fissures. Il n'est pas possible de prédire le fonctionnement de ce type de zone par quelques observations ponctuelles. Hélas de nombreux spéléos payent très cher de fausses prédictions basées sur des raisonnements douteux. Encore une fois, le recours à une instrumentation permet de mieux comprendre ces zones.

## CONCLUSION

Capteur simple et performant, le luiuographe s'avère un outil efficace et judicieux pour l'étude et la compréhension des mises en charge dans les systèmes karstiques. Il permet de mieux cerner les crues, les longues périodes d'ennoiement, les vitesses de montées, les temps de réaction, l'existence de déversoirs... Plus d'une trentaine de cavités françaises ont été équipées d'un ou plusieurs luiuographes sur des périodes de quelques mois à plusieurs années. Il est même sorti des frontières, Patagonie chilienne, Chine, Liban. Cinq versions différentes ont vu le jour augmentant l'autonomie, la capacité de stockage, la précision de mesure, tout en diminuant l'intervalle de mesure, le poids, le volume, le prix. Une sixième version est en cours d'étude, repoussant encore les limites. Plus d'une soixantaine de luiuographes ont été fabriqués.

Cette somme d'observations renseigne sur le fonctionnement interne des drains, des réseaux, améliore la connaissance et la prévention des pratiques en zone

profonde du karst. Pour une analyse morphologique des drains, il convient de coupler ces résultats avec d'autres études complémentaires, comme la géomorphologie ou encore le contexte géologique local.

De nouvelles fonctionnalités ont été développées. Elles répondent à de nouvelles thématiques et mesurent différents types de grandeurs physiques, sédimentation (Chronotrappe), mesure de nitrate, turbidité, retrait de glacier souterrain. Elles apportent de nouvelles données et de nouvelles connaissances relatives au milieu karstique. Une des difficultés est de trouver la grandeur à mesurer et où la mesurer. De nombreuses campagnes de mesures ont été effectuées sur plusieurs sites avec des problématiques différentes, qui ont été choisis pour leurs particularités et ou leurs caractères exceptionnels. Dans certains cas, les campagnes de mesures nécessitent de véritables expéditions pour aller installer ces appareils.

## Remerciements

*Ce projet a été soutenu par la Fédération Française de Spéléologie et le PNR du Vercors.*

## BIBLIOGRAPHIE

- AUDRA P., 1997. Les indicateurs morphologiques des mises en charge dans les réseaux karstiques. Actes des 7<sup>ème</sup> rencontres d'Octobre, Ste Baume, S.C.P. Paris, 20-26.
- BOURGIN A., 1942. Dauphiné souterrain. *Arthaud*, 82 p.
- DELANNOY J.J., 1997. Recherches géomorphologiques sur les massifs karstiques du Vercors et de la Transversale de Ronda (Andalousie). Les apports morphogéniques du karst. Thèse d'Etat. Grenoble, Ed. Septentrion, 678 p.
- GARNIER J.J., 2008. Grotte de la Luire, 1896-1996 un siècle d'explorations. Impressions modernes, 512 p.
- JAILLET S., 1999. Crue sous terre. *Cahiers de l'EFS*, 10, 152 p.
- MANGIN A., 1975. Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques. Thèse de doctorat, Annales de Spéléologie ; t. 29, fasc. 3 (283-332) et 4 (495-601), t. 30 fasc. 1 (21-124).
- MOREL L., 1996. Le Luiuographe : étude de la crue du 22 avril 1995. *Karstologia*, 27, 20-26.
- MOREL L., 2009. Le Luiuographe : un outil pour l'étude des systèmes karstiques. Application au réseau de la Luire (Vercors, France), *Karstologia*, Mémoire, 17, 88-93.
- MOREL L., JAILLET S., DELANNOY J.J., 2006. Les mises en charge du réseau de la Luire (Vercors, France) : enregistrements et implications géomorphologiques. *Hydrokarst*, 183-186.
- MOREL L., MARGUET C., FAVRE B., LIGOT D. 2006. Instrumentation en milieu naturel : exemples d'applications en hydrogéologie, CNR IUT. <http://spiralconnect.univ-lyon1.fr/spiral-files/download?mode=inline&data=4588714>
- MOREL L., 2005, La Luire ne serait pas la plus grande mise en charge du monde ! Quinzième rencontre d'octobre Corvessiat, Ain, 8-9 octobre, 61-62.
- ROUSSET P., 1982. Carte d'hydrogéologie du Vercors, Thèse de doctorat Géologie appliquée, Grenoble, 57 p.