

Suivi à hautes résolutions spatiale et temporelle du système karstique des Fonts (Gard, France)

Philippe Martin, Pierre-alain Ayrat, Jean-François Didon, Jean-Marc Domergue, Nadine Grard

Citer ce document / Cite this document :

Martin Philippe, Ayrat Pierre-alain, Didon Jean-François, Domergue Jean-Marc, Grard Nadine. Suivi à hautes résolutions spatiale et temporelle du système karstique des Fonts (Gard, France). In: Collection EDYTEM. Cahiers de géographie, numéro 19, 2017. Monitoring en milieux naturels. Retours d'expériences en terrains difficiles. pp. 169-176;

doi : <https://doi.org/10.3406/edyte.2017.1378>

https://www.persee.fr/doc/edyte_1762-4304_2017_num_19_1_1378

Fichier pdf généré le 22/04/2020

Résumé

Depuis 2011 un réseau dense de mesures endo-et exokarstiques a été installé sur le système karstique des Fonts. Ce réseau combine ainsi des mesures de hauteurs et de températures de l'eau de 4 stations dans le karst et de 6 stations sur les cours d'eau avoisinants dont deux sur des sources temporaires et une pérenne, le tout avec une haute fréquence d'acquisition variant suivant la période hydrologique considérée de 5 à 30 minutes. La base de données ainsi acquise a déjà permis de préciser le schéma conceptuel de fonctionnement de ce karst, mais aussi de mettre en évidence des phénomènes, en l'occurrence des variations de température lors des crues, que seul l'effet combiné de la densité des capteurs et de la fréquence d'acquisition a rendu possible. Tout l'enjeu de ces travaux est de développer un réseau hydrométrique, dans des conditions d'accessibilité difficiles (niveau d'eau, niveau de CO2...) sans financement dédié et avec tous les problèmes inhérents au traitement, à la critique et de la bancarisation des données. L'un des objectifs étant de transformer in fine ce réseau en un outil de gestion qualitative et quantitative de la ressource en eau.

Abstract

Since 2011 a dense network of measurements has been installed on the karst system of Les Fonts (into and outside this system). This network combines measurements of water level and water temperature on 4 stations into the karst and 6 on rivers (with a spring). The acquisition frequency varies from 5 to 30 minutes in according to hydrological period. The database validated the conceptual scheme of the karst system. In addition some hydrological phenomena have been showed (e. g. variation of water temperature during floods). This is the combined effect of the sensor density and the high acquisition frequency that allowed the acquisition of these results. The main objective (for the next 5 years) is to keep operational this network despite (i) the difficulties for accessing to sites (water level in caves, level of CO2...) (ii) without funding dedicated and (iii) with the experimental difficulties linked to the treatment, critical and storage of data. In perspective, this research network could become an operational network for those local authorities improve them qualitative and quantitative water resource management.

SUIVI À HAUTES RÉOLUTIONS SPATIALE ET TEMPORELLE DU SYSTÈME KARSTIQUE DES FONTS (GARD, FRANCE)

HIGH SPATIAL AND TEMPORAL RESOLUTION MONITORING OF LES FONTS KARST SYSTEM (GARD, FRANCE)

PHILIPPE MARTIN¹, PIERRE-ALAIN AYRAL^{2,3}, JEAN-FRANÇOIS DIDON-LESCOT²,
JEAN-MARC DOMERGUE², NADINE GRARD²

¹Université d'Avignon, UMR 7300 ESPACE, 74 rue L. Pasteur, 84029 Avignon cedex.

²Université de Nice Sophia-Antipolis, UMR 7300 ESPACE, Antenne Cévenole.

390 chemin des Boissières, 30380 Saint-Christol-les-Alès.

³IMT Mines-Alès, 6 av. de Clavières, 30100 Alès.

Contact : philippe.martin@univ-avignon.fr

RÉSUMÉ

Depuis 2011 un réseau dense de mesures endo- et exokarstiques a été installé sur le système karstique des Fonts. Ce réseau combine ainsi des mesures de hauteurs et de températures de l'eau de 4 stations dans le karst et de 6 stations sur les cours d'eau avoisinants dont deux sur des sources temporaires et une pérenne, le tout avec une haute fréquence d'acquisition variant suivant la période hydrologique considérée de 5 à 30 minutes. La base de données ainsi acquise a déjà permis de préciser le schéma conceptuel de fonctionnement de ce karst, mais aussi de mettre en évidence des phénomènes, en l'occurrence des variations de température lors des crues, que seul l'effet combiné de la densité des capteurs et de la fréquence d'acquisition a rendu possible. Tout l'enjeu de ces travaux est de développer un réseau hydrométrique, dans des conditions d'accessibilité difficiles (niveau d'eau, niveau de CO₂...) sans financement dédié et avec tous les problèmes inhérents au traitement, à la critique et de la bancarisation des données. L'un des objectifs étant de transformer in fine ce réseau en un outil de gestion qualitative et quantitative de la ressource en eau.

MOTS-CLÉS : KARST BARRÉ, BASSE CÉVENNES, MESURE ENDOKARSTIQUE, ACQUISITION HAUTE FRÉQUENCE, FONCTIONNEMENT THERMIQUE.

ABSTRACT

Since 2011 a dense network of measurements has been installed on the karst system of Les Fonts (into and outside this system). This network combines measurements of water level and water temperature on 4 stations into the karst and 6 on rivers (with a spring). The acquisition frequency varies from 5 to 30 minutes in according to hydrological period. The database validated the conceptual scheme of the karst system. In addition some hydrological phenomena have been showed (e.g. variation of water temperature during floods). This is the combined effect of the sensor density and the high acquisition frequency that allowed the acquisition of these results. The main objective (for the next 5 years) is to keep operational this network despite (i) the difficulties for accessing to sites (water level in caves, level of CO₂...) (ii) without funding dedicated and (iii) with the experimental difficulties linked to the treatment, critical and storage of data. In perspective, this research network could become an operational network for those local authorities improve them qualitative and quantitative water resource management.

KEYWORDS: KARST BARRE, BASSE CÉVENNES, INSTRUMENTATION INTO THE KARST, HIGH FREQUENCY ACQUISITION, THERMAL OPERATING.

INTRODUCTION

Le système karstique des Fonts, situé à proximité de l'agglomération d'Alès (département du Gard), est exploré depuis bientôt plus de 40 ans par les spéléologues et notamment par la Société Cévenole de Spéléologie et de Préhistoire d'Alès et par le Spéléo-Club Lasallien. Les connaissances, obtenues à partir de nombreuses explorations et désobstructions de cavités, de plongées, de pompages et de traçages (Martin, 1988 ; Martin, 1993) ont permis de suggérer que ce

système pourrait s'apparenter à un « karst barré » et présenter d'importantes réserves en eau potentiellement exploitables (Martin, 1993). En cas d'exploitation, ce système karstique pourrait en outre présenter un volume vide en fin d'été plus important qu'actuellement (vidange partielle de la zone noyée) et donc permettre de renforcer son rôle écrêteur de crues lors des premiers épisodes de pluies intenses, à l'image de ce qui se fait au niveau de la source du Lez au voisinage

de la ville de Montpellier par exemple (Fleury et al., 2014; Borrell Estupina et al., 2014).

C'est donc en partie pour travailler sur ces hypothèses qu'à l'automne 2011 un dispositif de suivi hydrométéorologique a été mis en œuvre sur ce bassin avec une démarche originale combinant l'observation d'une large diversité de sites (sources, avens, rivière souterraine, cours d'eau), une densité importante de

points instrumentés (10 stations et 21 variables mesurées) et le choix d'un pas de temps d'acquisition rapide compris entre 5 et 30 minutes suivant les stations et les périodes de l'année hydrologique considérées. Après une succincte description du système karstique des Fonts, cet article présente le dispositif expérimental mis en place, quelques premiers résultats et les perspectives pour les prochaines années de suivi.

LE SYSTÈME KARSTIQUE DES FONTS

Le système karstique des Fonts occupe en partie le compartiment oriental de la Basse Cévenne Carbonatée (BCC). Marquant la limite sud-est du Massif central, la BCC est un espace de transition entre les Cévennes métamorphiques à l'ouest et les garrigues de Lussan à l'est, au-delà du fossé d'Alès. Le système, décrit par Martin (1988), est délimité au nord par la rivière Avène, au sud par la plaine marneuse de Saint-Julienles-Rosiers, à l'est par le fossé d'Alès et à l'ouest par la départementale 906 marquant la limite avec les terrains houillers et métamorphiques (socle hercynien). La Figure 1 présente une coupe synthétique du système des Fonts orientée sud-nord.

Le nord est constitué de calcaires dolomitiques du Jurassique inférieur constituant l'aquifère principal en basses eaux alimentant la rivière souterraine de Cauvel. La partie centrale présente en surface des calcaires du Jurassique moyen ou supérieur avec notamment une forte minéralisation en pyrite pour les terrains du Callovien dont on voit bien la trace notamment dans l'aven des Roberts et du Fiagou, avec une forte acidification des argiles corrodant rapidement le matériel facilitant leur accessibilité (échelles, câbles,...). Enfin, on retrouve au sud, en surface, les marnes grises du Crétacé inférieur. Celles-ci déterminent une ligne de sources et résurgences de débordement (Baume Rascasse, Fonts, Cara-

biolo, Courlas, Franco) en barrant les écoulements souterrains vers le sud-ouest.

Le système karstique s'étend sur 2 bassins versants superficiels (Figure 1), essentiellement celui du Grabieux (ruisseau de Grave-Longue sur la Figure 1), affluent du Gardon d'Alès dont la confluence est localisée dans la ville d'Alès, mais aussi celui de l'Avène, affluent de rive gauche du Gardon d'Alès, confluant à l'aval de l'agglomération. Le talweg de l'Avène amont apparaît perché par rapport aux niveaux piézométriques locaux (Martin, 1988). Des traçages spéléologiques ont mis en évidence que les pertes de ce cours d'eau s'écoulent en direction du Grabieux (au travers du système karstique des Fonts) et vers la source des Peyrousses qui alimente l'Auzonnet affluent de la Cèze. Ces traçages sont toutefois, au regard des techniques actuelles, tout à fait incertains et il faut rester prudent sur l'interprétation de ces résultats (Martin, 1988).

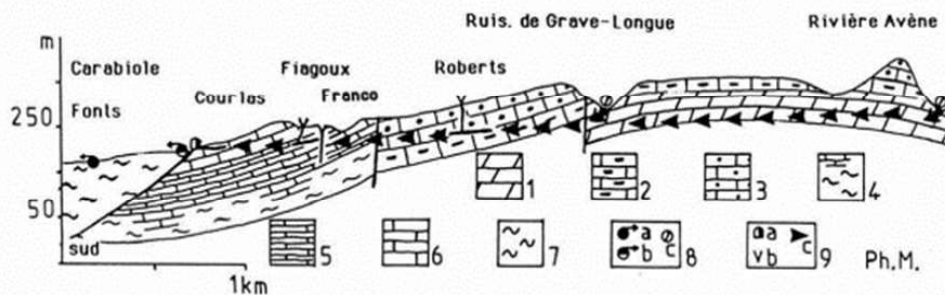


Figure 1 - Coupe synthétique et schématique sud-nord du système karstique des Fonts. Ruisseau de Grave-Longue affluent du Grabieux. Légende : 1- Hettangien sup., dolomie finement fissurée et divisée en blocs par des diaclases ouvertes (aquifère principal), 2- Sinumérien inf., calcaires argileux, 3- Sinumérien sup., calcaires à Chailles, 4- Callovien et Oxfordien moyen, marnes feuilletées et calcaires grumeleux; le Callovien moyen est riche en pyrite, 5- Oxfordien sup., calcaires bruns, 6- Kimméridgien inf., calcaires argileux, 7- Valangien, marnes grises, 8- a- Source pérenne, b- Source temporaire, c- Pertes, 9- a- Grotte émissive, b- Aven recoupant une circulation pérenne, c- Axe principal nord-sud d'écoulement des eaux, reconnu par traçage (Martin, 1988).

INSTRUMENTATION DÉPLOYÉE

L'originalité de l'instrumentation repose notamment sur la densité et la variété des sites instrumentés. On distingue ainsi des stations endokarstiques, des sources et résurgences, et des stations plus conventionnelles situées sur des cours d'eau. *In fine* ce sont 10 stations hydrométriques et 1 pluviographe qui composent actuellement ce dispositif (Figure 2), mais cela repré-

sente 21 mesures de variables en différents points, dont huit mesures piézométriques, six mesures de température de l'eau, deux mesures de hauteur d'eau (avec estimation du débit associé), une mesure de la pression externe et de la température de l'air associée, et une mesure de la pression de l'air mesurée dans le karst et de la température interne de l'air.

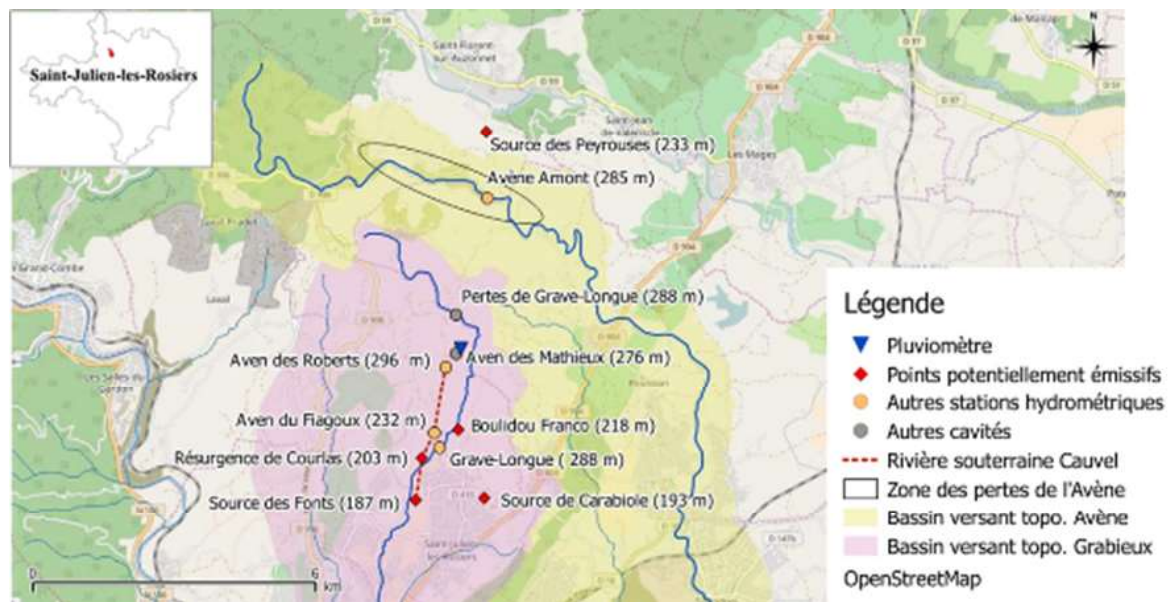


Figure 2 - Cartographie des stations et points d'intérêts de la zone d'étude.

Les stations endokarstiques

Le système karstique comprend deux branches principales, la première étant constituée par la rivière souterraine Cauvel (Figure 2). Deux stations ont été installées sur cette rivière souterraine dans l'aven des Roberts (-72 m) et l'aven du Fiagoux (-45 m). Toujours sur cette même branche la résurgence de Courlas a été équipée, il s'agit en fait d'un lac au fond d'une galerie que les fluctuations de hauteurs font régulièrement déborder et rejoindre la rivière Grave-Longue (stations

les Roberts, le Fiagoux, Courlas). Sur l'autre branche, c'est le Boulidou Franco, succession de puits-galeries qui conduit (à -25 m à l'étiage) à un siphon (plongé à -65 m en février mars 2012 par D. Vignoles et I. Perpoli après une plongée vers -50 m par G. Peigney en 1991, et P. Penez et F. Vergier vers -37 m en 1979), siphon qui a été équipé. Ce boulidou peut être, comme la résurgence de Courlas, émissif, mais cela reste très exceptionnel.

Les stations en surface

Deux sources sont alimentées par le système karstique des Fonts (Figure 2). La plus à l'aval, la source pérenne des Fonts, n'a pas pu être instrumentée faute d'autorisation *a contrario* de la source temporaire de Carabiolo. La connexion hydrologique entre les deux sources a été prouvée par pompage (Martin, 1993). Très récemment, au printemps 2017, la source des Peyrouses a été équipée pour compléter ce dispositif.

Deux stations ont été installées sur l'Avène, à l'amont (Panissière, Figures 2 et 3) sur une section qui contrôle un bassin de 10 km² (essentiellement des terrains schisteux et houillers, mais passant à la couverture sédimentaire ce qui occasionne des pertes karstiques) et à l'aval proche de l'exutoire avec le Gardon d'Alès (60 km², qui englobe une partie karstique et des terrains marneux et détritiques à l'aval).

Une station a été installée également sur le Grave-Longue, affluent du Grabieux (Figure 2). Il convient enfin de signaler la présence d'un pluviographe à proximité

de l'aven des Roberts, au mas des Mathieux où un aven qui pourrait permettre de rejoindre l'amont de la rivière de Cauvel est en cours de désobstruction malgré des concentrations en CO₂ importantes (aven des Mathieux, Figure 2). Ce travail nécessite, pour être en sécurité, de mettre la cavité en surpression, surtout en période végétative.



Figure 3 - Station de Panissière, le capteur de pression est installé dans un tube métallique crépiné, la station reste sans aménagement et l'échelle limnimétrique est amovible installée uniquement lors des interventions sur le terrain.

Stratégie de déploiement

Ces différentes stations, qu'elles soient en surface ou dans le karst, sont équipées de capteurs de pression et de température autonomes (alimentation et data logger intégrés, Mini-Diver pour les capteurs de pression ou céramiques) qui permettent de suivre la hauteur et la température de l'eau. Dans certains cas favorables, pour les stations en surface, le système installé est constitué d'une sonde immergée et d'une centrale d'acquisition séparée avec compensation atmosphérique intégrée (Solophème). Deux baromètres (Baro-Diver) enregistreurs ont été installés (dans le karst et en surface) pour permettre de compenser les enregistrements de la pression mesurée au niveau des capteurs Diver en fonction de la pression atmosphérique. Ils permettent aussi de disposer de températures de l'air. Ces mesures thermiques ont été récemment complétées par des boutons thermiques (Thermoboutons, modèle iBCod 22L) échelonnés sur la hauteur des avens de Fiagoux et des Roberts (3 dans chaque). Des courbes de tarage ont été initiées pour les stations placées sur les cours d'eau de Grave-Longue (fonctionnement très épisodique, seu-

lement lors de très fortes précipitations) et de l'Avène (amont et aval) ainsi qu'à la source de Carabiolo et à la résurgence de Courlas dont les fonctionnements ne sont que temporaires. Un effort tout particulier a été fait pour suivre les principales crues grâce à des campagnes de jaugeages ciblées (Braud *et al.*, 2016).

Des réflexions sont en cours pour voir comment établir des courbes de tarage sur les stations placées sur la rivière souterraine Cauvel. Pour le Bouldou Franco, il n'y a pas d'intérêt à ce type d'exercice dans la mesure où il n'y a quasiment jamais d'écoulement (observé une fois depuis 40 ans en mai 1978), mais une mise en pression du siphon.

Le choix du pas de temps a varié de 5 minutes, lors des périodes de hautes eaux (et à risque de crue) en automne et au printemps et réduit à 30 minutes le reste de l'année hydrologique, voire plus lorsque les conditions d'accès sont problématiques en raison de la très forte présence de CO₂. Les mesures ont débuté dès l'automne 2011 et se poursuivent encore au moment de la parution de cet article.

Problèmes liés au réseau

Les installations en milieu endokarstique posent des problèmes spécifiques qui sont multipliés dans le cas de la BCC par la forte présence de CO₂ (concentrations généralement plus basses en hiver, mais avec des cavités plus actives) et par la présence de boues. Les sondes ont été placées dans des tubes PVC comportant un fin orifice à la base (près du bouchon fixe) et un plus gros trou dans le bouchon à vis sommital. À travers celui-ci passe une cordelette qui permet de retirer la sonde. La difficulté est ici que la boue ne rentre pas dans le tube et que l'on puisse récupérer assez facilement la sonde. Les tubes mesurent de 2 m à plus de 10 m sur le Franco (Figure 4). Il est fixé à la paroi par des goujons ou des chevilles. Chaque tube est placé à l'amont d'un seuil qui génère un petit lac ou au moins une retenue d'eau. Certains seuils sont amenés à évoluer, ce qui conduit à des recalages de chroniques. Parfois, comme à Courlas, l'installation peut se faire dans un lac.

La récupération des données se fait dans les cavités en apportant un PC et un socle pour décharger les sondes (Figure 4). Ceci évite un aller-retour ou de permuter des sondes. Contrairement à ce qu'on pouvait craindre, cette solution n'a jamais posé de problème à condition de bien protéger le matériel et de ne pas le laisser exposé à l'humidité de la cavité

très longtemps (5 - 10 mn le temps de récupérer les données d'une sonde).

Avec autant de points de mesure maintenus sur le long terme (5 - 10 ans), l'un des problèmes est de conserver la cohérence du réseau, c'est-à-dire d'avoir une redondance suffisante qui permette de connaître le fonctionnement et l'état, même si une sonde tombe en panne. Par ailleurs il faut gérer les temps de fonctionnement permis par les mémoires et les expéditions souterraines et cela en fonction du CO₂, faute de quoi il apparaît des manques à la jonction des données qui peuvent souvent être comblés par des méthodes statistiques, mais cela appelle un travail supplémentaire. La programmation de la gestion du réseau est donc quelque chose d'important même si cela reste très empirique.



Figure 4 - Installation d'une sonde (aven du Franco) et relevé (aven des Fiagoux).



Le choix initial a été de cadencer les mesures à une résolution temporelle aussi fine que possible en fonction des matériels et de l'accessibilité des lieux. Cette solution s'avère payante dans la mesure où elle fait apparaître des phénomènes, en particulier thermiques,

dont on ignorait l'existence et qui restent à décrire et à comprendre. Il y a donc là un vrai champ pour la recherche qui est d'instrumenter dans le milieu souterrain, mais aussi de le faire à haute résolution temporelle et si possible spatiale.

DES RÉSULTATS

Le suivi de stations hydrométriques, tout particulièrement en milieu karstique dont l'accès est difficile et souvent contraint par le niveau d'eau dans les cavités et le niveau de CO₂, reste délicat. Durant la période d'observation qui court de l'automne 2011 à l'actuel, les séries chronologiques sont légèrement lacunaires. Il a toutefois été parfois possible de combler ces manques

grâce notamment à la densité du réseau, en établissant des corrélations entre les stations voisines. Au final sur la période octobre 2011-janvier 2015, une base de données homogène, à un pas de temps de 30 minutes a été produite, mais elle n'est complète (sans aucune lacune pour les 8 stations en place sur cette période) que pendant l'année hydrologique 2012-2013.

De premières analyses

Cette base de données a été exploitée en première analyse en mettant en œuvre l'approche systémique proposée par Mangin (1984) qui combine des analyses corrélatoires et spectrales (Rebolho, 2015). Ces travaux ont permis de préciser le schéma conceptuel de fonctionnement du système karstique des Fonts qui a largement repris et validé certaines des hypothèses issues des explorations hydro-spéléologiques. Notamment, il se fonde sur un fonctionnement différencié du karst avec à l'ouest la rivière Cauvel dont le fonctionnement est différent en étiage et en moyennes et hautes eaux. En basses eaux on observe un écoulement pérenne de quelques dizaines de litres par seconde. En moyennes et hautes eaux, le système connaît des mises en charge très importantes, et variables selon les lieux (de l'ordre de 15 à 20 m dans l'aven des Roberts lors de grosses crues). Le fonctionnement de base est à mettre en rapport avec les dolomies hettangiennes qui se trouvent topographiquement plus au nord et au-dessus des formations du Jurassique inférieur. Les mises en charge de crues sont à rapprocher de la bonne perméabilité de certains étages du Lias (Sinémurien) et de l'ample fracturation du secteur. À l'est et au sud, les terrains de l'Oxfordien supérieur et du Kimméridgien sont largement diaclasés et zébrés de lapiez géants comme sur le volet synclinal de Larnède. La réactivité de la partie aval jurassique de ce karst est donc très grande. Dans ce cadre, le Boulidou Franco est une cheminée d'équilibre dont le battement peut atteindre presque 30 m sur la seconde branche du système karstique consti-

tué du Franco et de la source temporaire de Carabiolo (Figure 2). Ces deux cavités ont fait l'objet de plongées qui ont mis en évidence un karst noyé important en profondeur, mais dont l'extension sous la plaine de St-Julien-les-Rosiers n'est pas connue. Cela étant, le pompage réalisé à la source de Carabiolo (Martin 1993) a montré que ce karst barré au sud par les formations marneuses du Valanginien et limité en profondeur par les marnes du Callovien se comportait comme une citerne ce qui est logique au regard de l'importance des drains explorés. Ce travail a également permis de mieux préciser le caractère binaire (au sens d'A. Mangin : karst alimenté par des apports issus de zones non karstiques : haute Avène) de ce karst qui est en outre alimenté par les pertes de la rivière Avène. Des traçages devront être effectués pour conclure définitivement sur ce point et sur la diffluence vers la source des Peyrouses (Auzonnet, bassin de la Cèze).

De premiers éléments ont été également apportés par Rebolho (2015) sur le rôle de ce système karstique sur les crues du Grabieux. Ce dernier a pu être approché grâce à l'analyse des entrées et des sorties du système karstique. Le caractère écrêteur du système karstique des Fonts a pu être mis en évidence avec pour certains épisodes, dont celui de septembre 2013, des valeurs voisines de 30 % (Rebolho, 2015). *A contrario* la situation lorsque le karst est plein va avoir un effet inverse en amplifiant la crue ce qui a été également montré par Rebolho (2015) pour les épisodes successifs de fortes pluies de janvier 2014.

Sur le fonctionnement thermique

Si l'analyse des hauteurs d'eau et des débits a pu largement être mise en œuvre pour les années hydrologiques de 2011 à 2015, il reste d'autres variables et notamment la température à analyser en détail. La Figure 5 présente deux épisodes de crues successifs sur le bassin karstique, de l'automne 2014 et la réaction thermique associée. Les deux chasses d'eaux plus

chaudes observées lors des montées de crues sont exceptionnelles (+4°C) pour les crues de septembre et inexistantes pour celles d'octobre.

Autre exemple, nous avons commencé à traiter les enregistrements de température et de hauteur d'eau de la rivière Cauvel mesurées à l'aven des Roberts. La figure 6 montre la variation de la température en



Aven des Roberts, enchaînement de puits et méandre à res-saut jusqu'à -72 m puis galerie de 300 m peu pentue pour arriver jusqu'à la rivière souterraine Cauvel.



Aven du Fiagoux, ensemble de grandes galeries inclinées (10 x 5 m) pour un développement de 800 m et une profondeur de 45 m.



Résurgence de Courlas, accès au lac souterrain après 150 m de cheminement dans une galerie, pose de la sonde.



Boulidou Franco, succession de salles jusqu'à un siphon à -30 m.

degrés Celsius. On peut voir très clairement que cette variation est bornée entre 12,5 °C et 14,5 °C. Nous avons donc une faible amplitude de fluctuation de 2 °C, ce qui est très limité, les températures pouvant être largement inférieures en surface. On peut se demander si de l'eau arrivant de la surface par des cheminements directs comme cela semble pouvoir être morphologiquement le cas n'abaisserait pas plus la température lors de précipitations hivernales. Cela étant, les très grosses pluies d'automne ne sont généralement pas froides. Il y a donc là à conduire une réflexion entre la température atmosphérique enregistrée par la sonde

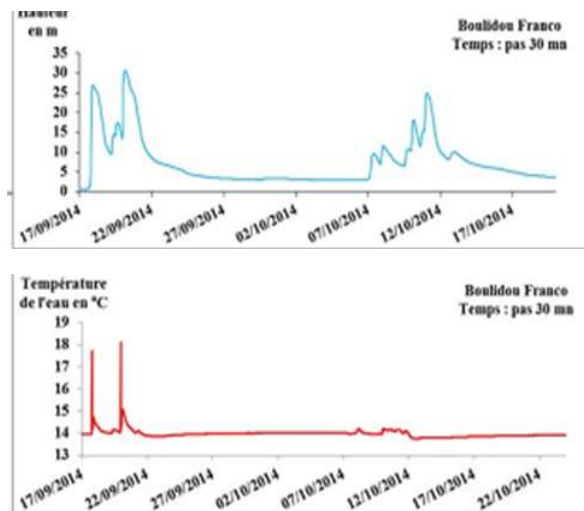


Figure 5 - Enregistrement de la hauteur d'eau et de la température de l'eau au Bouldou Franco à l'automne 2014.

Figure 6 - Variation de la température (en degrés Celsius) de la rivière Cauvel dans l'aven des Roberts entre décembre 2011 et octobre 2014.



Retours sur le réseau de mesure

Le premier problème de ce réseau de mesure est lié à la durée de sa construction. Ne relevant d'aucun financement ou projet particulier, il a été établi sur le temps long (5 ans) et n'est pas encore optimum. Des stations ont encore été ajoutées en 2017. Les matériels utilisés sont donc variés. La base des mesures hydrologiques (charge hydraulique, température de l'eau et parfois conductivité) est assurée par des sondes immergées au départ de type SDEC Mini-Diver ou céramique. L'usage de sondes céramiques avait été envisagé en raison de l'acidité des boues de certaines cavités (Fiagoux, et surtout de l'aven des Roberts). Au total, ces sondes, qui sont chères et guère plus résistantes que les sondes SDEC Mini-Diver, se sont révélées inutiles. L'eau est en fait globalement tamponnée, même semble-t-il lorsqu'elle est turbide.

Cela étant, les sondes SDEC tombent souvent en panne bien avant les durées indiquées par les constructeurs et bien avant que les batteries soient vides (5 ans de durée de vie annoncée). Deux types de pannes apparaissent : soit la sonde neuve lâche très peu de temps après son installation, soit elle tombe en panne 2 à 3 ans après sa mise en œuvre. Devant cette fragilité, nous équipons progressivement les stations avec des sondes du même type (autonome en alimentation et en stoc-

kage) et de marque Solinst qui semblent plus résistantes, mais l'avenir devra valider cette bonne impression.

Les crues lors des épisodes cévenols peuvent être très fortes voire extrêmes, même si dans notre cas elles sont régulées par les capacités du réseau et en particulier par celles des cavités émissives. Nous avons donc redouté, au début, des dégradations lors de ces phases. Rien de tel n'a été observé. Pas de station arrachée, pas de station enterrée. Cela semble être dû à une vitesse de circulation de l'eau assez limitée en crue dans ce système de cavités en raison de multiples étranglements qui limitent le flux passant. Ceci a, inversement, pour conséquence des mises en charges assez notables, en particulier dans les Roberts qui jouent le rôle d'une immense vase d'expansion lors de crues.

Les données brutes apparaissent très souvent bruitées. Le niveau du bruit et le type de bruit semblent dépendre du matériel. Ils se superposent à des phénomènes très fins ou très faibles qu'il faut pourtant pouvoir conserver. En particulier les effets de petites pluies, le pompage de la végétation, etc. Il y a donc tout un travail de filtrage qui doit être fait et qui commence à être abordé théoriquement. Comment filtrer ? Avec quelle méthode ? Quelle relation entre filtre et objectif recherché ? Etc.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les premiers travaux spéléologiques sur le système karstique des Fonts remontent aux années 1960, et c'est cette connaissance qui a permis l'installation de ce réseau de suivi endo et exokarstique à hautes résolutions spatiale et temporelle. Sans ressources dédiées, ce dispositif expérimental a été financé sur les marges de différents projets de recherche et grâce aux fonds de soutien de l'OHM-CV (Observatoire Hydrométéorologique Cévennes-Vivarais) pour les stations de l'Avène, et en faisant bien souvent appels au bénévolat pour l'installation des stations endokarstiques, mais également pour le suivi de ces stations.

Les premières analyses menées à partir de ces résultats ont montré tout l'intérêt de l'approche et ont permis de valider notamment le modèle conceptuel de fonctionnement de ce système karstique. Au-delà de ces aspects, l'intérêt est la mise en évidence de phénomènes particuliers, peu ou pas observés à notre connaissance, grâce à la constitution de cette base de données et

notamment à la fréquence élevée d'acquisition de l'information. C'est donc tout l'enjeu de ce travail que de mettre en œuvre et de maintenir ce système malgré les difficultés inhérentes au terrain, mais également celles plus communes aux expérimentateurs, du traitement, de la critique et de la bancarisation de cette masse de données.

Ce réseau dense à haute résolution spatiale et temporelle a déjà permis de mettre en évidence les ressources du système karstique des Fonts tant sur les réserves potentielles en eau que sur son rôle lors des crues du Grabioux. Il s'agira donc, d'ici quelques années (à échéance de 5 ans), de progressivement migrer d'un réseau recherche à un réseau plus opérationnel, forcément moins dense, mais qui permette aux acteurs locaux d'assurer une gestion quantitative et qualitative performante de la ressource en eau en périphérie d'une grande agglomération. Les travaux à venir devront donc aussi permettre la définition de ce réseau opérationnel.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier les spéléologues des différentes associations gardoises (SCSP, SCLN...) ainsi que les plongeurs D. Vignoles, I. Perpoli, E. Zuber, qui ont apporté des connaissances importantes sur la partie noyée des cavités et nous ont permis de récupérer en catastrophe certaines sondes. Nos remerciements vont aussi à Ph. Gaigne qui soutient personnellement ces recherches.

BIBLIOGRAPHIE

- BORRELL ESTUPINA V., MALATERRE P.O., RICCI S., FLEURY P., THUAL O., BOUVIER C., MARCHANDISE A., JAY-ALLEMAND M., COUSTAU M., HARADER E., GUILHALMENC M., MARÉCHAL J.C., 2014. Crues Partie II : Genèse, propagation et prévision des crues à Montpellier. *Karstologia*, 62, 49-56.
- BRAUD I., ANDRIEU J., AYRAL P.A., BOUVIER C., BRANGER F., CARREAU J., DELRIEU G., DOUVINET J., FREYDIER R., LEBLOIS E., LE COZ J., MARTIN PH., NORD G., PATRIS N., PEREZ S., RENARD B., SEIDEL J.L., VANDERVAERE J.P., 2016. FloodScale : observation et modélisation hydro-météorologiques multi-échelles pour la compréhension et la simulation des crues éclaircies. Rapport scientifique, ANR-2011 BS56 027 01, 149 p. <https://floodscale.irstea.fr/donnees/rapports-finiaux-floodscale>
- FLEURY P., BORRELL ESTUPINA V., KONG-A-SIOU L., JOHANNET A., DARRAS T., PISTRE S., GUILHEMENC M., MARÉCHAL J.C., DÖRFLIGER N., 2014. Crues Partie I : Rôle du karst dans les crues du Lez. *Karstologia*, 62, 41-48.
- MARTIN P., 1988. Le karst du compartiment oriental de la Basse Cévenne Carbonatée. *Karstologia*, 11-12, 25-36.
- MARTIN P., 1991. Hydromorphologie des géosystèmes karstiques des versants nord et ouest de la Sainte Baume (Bouches du Rhône., Var, France). Étude hydrologique, hydrochimique et de vulnérabilité à la pollution. Thèse Université d'Aix Marseille II, 412 p.
- MARTIN P., 1993. Importance des réserves en eau sous la plaine de Saint-Julien-les-Rosiers (Gard) révélées par des explorations en scaphandre autonome. *Spelunca*, 49, 33-38.
- REBOLHO C., 2015. Étude du fonctionnement du système karstique des Fonts et rôle sur les crues des bassins versants de l'Avène et du Grabioux (affluents du Gardon d'Alès). Mémoire de fin d'études, École des mines d'Alès & Université d'Avignon, UMR 7300 ESPACE, 33 p.