

Étude spéléologique du système du Rautély

Essai de caractérisation des relations entre les différentes cavités du système par une approche croisée des observations spéléologiques, hydrogéologiques et biospéologiques



Étude spéléologique du système du Rautély

Table des matières

1. Le contexte de l'étude.....	6
2. Présentation géologique	6
3. Présentation du système spéléologique	8
a. Descriptif des cavités.....	8
4. Le suivi de l'aquifère au niveau du siphon amont de la grotte de Ladouch.....	14
5. Les références de pluviométrie :	14
6. Observations sur le fonctionnement hydrologique :	15
7. Observations à propos des altitudes des niveaux de l'aquifère dans les différents sites.....	19
8. Les caractéristiques physico-chimiques des différentes émergences	21
9. Analyse de la dynamique de crue de l'épisode du 06/03/2013.....	23
10. Analyse des composants de l'hydrogramme.....	27
11. Les actions de topographies.....	27
12. Analyse morphologique de la grotte du Rautély à partir des éléments de topographie.....	30
13. Discussions et conclusions	32
14. Bibliographie :.....	34
15. Collaborations :	35

Étude spéléologique du système du Rautély

Essai de caractérisation des relations entre les
différentes cavités du système par une approche
croisée des observations spéléologiques,
hydrogéologiques et biospéologiques

Didier CAILHOL

Commission scientifique FFS

2013

1. Le contexte de l'étude

Le massif de la Montagne noire constitue une entité remarquable du patrimoine géologique de la région Languedoc-Roussillon. Les processus de charriage et d'érosion qui ont contribué à sa mise en place s'inscrivent sur le très long terme et révèlent des phases majeures des grandes évolutions géologiques de la Terre.

L'histoire karstologique de la région et plus particulièrement celles des cavités de la Montagne noire, s'inscrit sur une durée beaucoup plus courte. Cependant, les données enregistrées par le milieu souterrain (géomorphologie, spéléogenèse, remplissages, etc.) constituent des archives de cette histoire régionale, récente du point de vue des temps géologiques.

Rendre compte des caractéristiques et composantes du karst demande une approche croisée, prenant en compte l'ensemble de l'écosystème karstique. C'est par le biais de la géologie, l'hydrogéologie, la géomorphologie, la biospéologie et la spéléologie physique que ce travail d'étude a été abordé.

Ce travail n'aurait pas été possible sans le travail d'exploration et de documentation des réseaux réalisé par les clubs spéléologiques de la région. L'action forte du Parc naturel régional du Haut Languedoc pour la conservation des milieux naturels et sa politique engagée de médiation autour de ces patrimoines karstique, a constitué la dynamique de ce projet.

La commission scientifique de la Fédération française de spéléologie est venue apporter son soutien à cette démarche avec la co-tutelle de l'encadrement du stage de master sur la biodiversité du milieu souterrain et la synthèse des différents travaux de mesures et de documentation réalisés.

Ce croisement des champs d'intervention, des compétences et des regards a permis de faire ressortir les spécificités du système spéléologique du réseau du Rautély. Ainsi, le système du Rautély a pu être replacé dans le contexte régional afin d'affiner la compréhension de la dynamique karstique.

2. Présentation géologique

Le secteur d'étude est situé dans la partie du Nord-est des monts de Pardailhan. Il est délimité au Nord, à l'Est et au Sud par les séries schisteuses cambro-ordoviciennes imperméables, et à l'Ouest par un système de décrochements senestres NNE-SSW. Les terrains sont constitués essentiellement de roches sédimentaires du Cambrien et de l'Ordovicien. Ils appartiennent à l'unité de Ferrals-Malviès

Lors des phases de l'orogénèse Hercynienne, au cours du Carbonifère, les diverses unités du versant Sud ont été charriées et basculées par-dessus la Zone axiale de la Montagne Noire.

Le secteur de la Salle a été affecté par les phases de charriage de l'unité de Ferrals-Malviès et celle plus au Sud, de Lucarnis-Naudet. Ces structures au sein de la Nappe de Pardailhan sont à l'origine des grands accidents décrochants (Tormo, 2004).

Étude spéléologique du système du Rautély

Cette phase tectonique a entraîné un chevauchement avec le soulèvement et des compartimentages des séries autochtones en stratigraphie, par un ensemble constitué d'un pli couché. Celui-ci s'est trouvé érodé lors des phases de charriage en direction du Sud, laissant au Nord, le flanc inverse en position d'affleurement.

Ainsi, au sein de la structure chevauchée de la Salle, le flanc normal est conservé. Le pendage des séries carbonatées est de 15° en direction du Sud. Cette disposition amène le prolongement en profondeur de la karstification au sein des calcaires à *Archaeocyatus* du Cambrien inférieur.

Ce sont les séries schisto-gréseuse de Marcory de l'unité chevauchante, qui font office d'aquiclude local dans l'organisation des aquifères des séries carbonatées du secteur de la Salle. Les alternances grés-carbonatées (Cambrien inférieur et moyen) des Grès de Pardailhan qui se retrouvent juste au-dessus, constituent elles aussi un facteur limitant pour la structuration des systèmes karstiques et au drainage des eaux souterraines (Guyot J.-L. – 1983).

Les processus érosifs ont été installés très tôt. Dès le Permien, de profondes vallées se forment le long des accidents tectoniques majeurs (Tormo, 2004). Avec le Mésozoïque, les phases de sédimentation – érosion se succèdent en fonction de la dynamique tectonique et des variations eustatiques que cela a induit.

Au cours du Cénozoïque, la phase orogénique pyrénéenne installe les rejeux tectoniques des décrochements tardi-hercyniens. Différentes phases de soulèvements et d'érosion intense affectent la Montagne Noire. On en observe les conséquences par l'érosion régressive qui a affecté les différents cours d'eau de surface qui drainent le massif. Ces phénomènes érosifs ont une incidence marquée dès l'Éocène (Larue, 2007).



Figure 1 : Carte géologique simplifiée du secteur de la Salle d'après les données du BRGM (source Info terre, dessin D.Cailhol)

3. Présentation du système spéléologique

Le système du Rautély et son bassin versant est principalement composé des cavités suivantes : les grottes du PN 77, de l'Asperge ou aven des Crozes, du Rautely et des sources de Ladouch, qui sont situées sur la commune d'Olargues – Hérault.

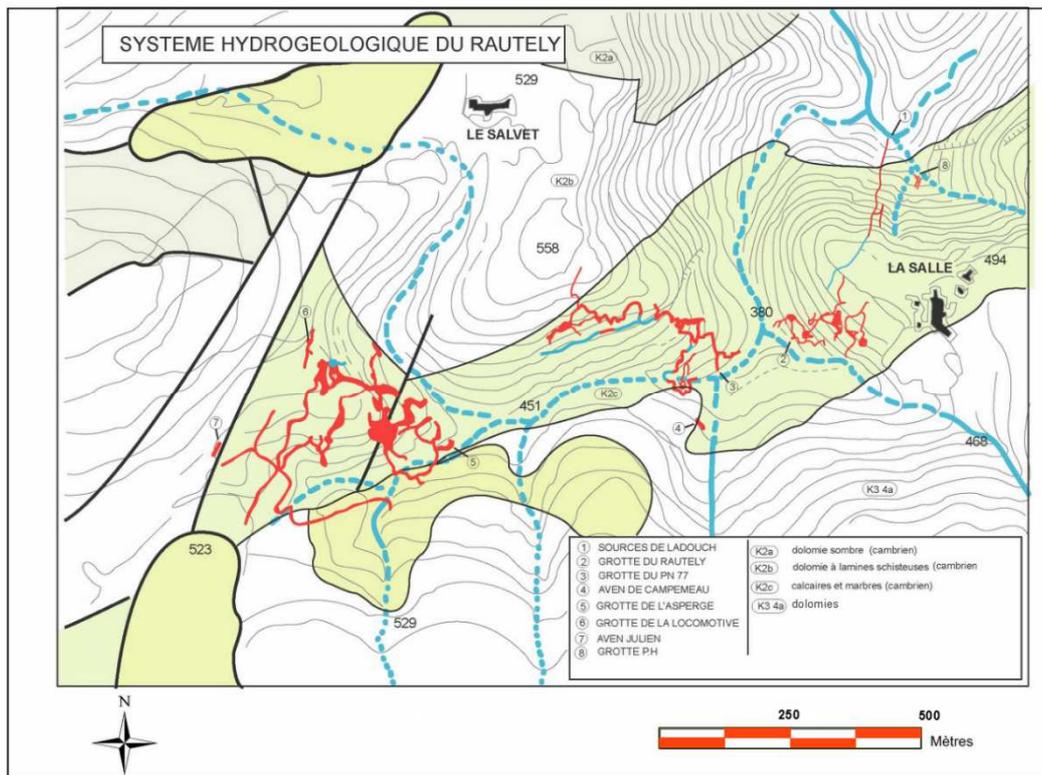


Figure 2 : situations des différentes cavités et de leurs réseaux spéléologiques par rapport au contexte géologique (sources : fonds topographiques Renda M., mise en forme SIG sous ARCGIS, Monteux S.)

a. Descriptif des cavités

La grotte de l'Asperge :

Elle est située à une altitude de 460 m NGF. Son développement est de 7000 m pour une dénivellation 130 m. Elle a été redécouverte en 1978 par le SC Béziers et des Avant-Monts. À la suite d'une série de prospections dans ce secteur, elle avait été explorée dès 1954 et était connue sous la dénomination de l'Aven de Crozes. En 1992, les travaux des spéléologues ont permis la découverte d'une nouvelle série de galeries. Le point bas de la cavité est constitué d'un siphon.

Étude spéléologique du système du Rautély

La forme du réseau, avec des galeries structurées en éventail en direction du Sud, témoigne d'un fonctionnement hydrologique de type binaire. En effet, les différentes observations de terrain montrent une tête de bassin d'alimentation constituée des terrains à schistes de la Serre et des dolomies schisteuses du Causse avec une introduction dans le karst par le biais de pertes au contact des calcaires. La structuration du réseau spéléologique s'organise autour de deux composantes : la direction du pendage de l'unité chevauchée et les axes de décrochement liés au charriage.

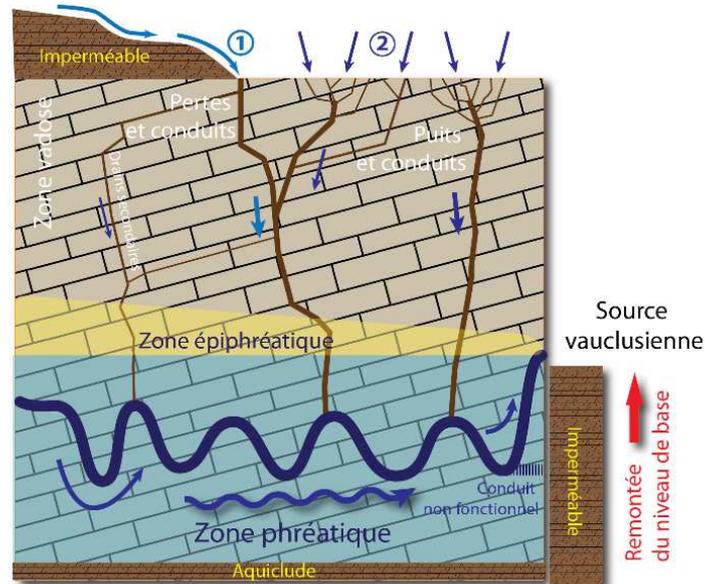


Figure 3 : Lors d'un épisode de pluie, l'alimentation du système karstique s'effectue en premier lieu par le drainage des terrains dolomitiques et schisteux imperméables qui concentrent rapidement les eaux de pluie en direction des pertes au contact des calcaires. Dans un deuxième temps, l'eau pénètre dans le karst par le réseau de fissures et de conduits dans les calcaires.

La grotte du PN 77 :

L'entrée de cette cavité est située à 410 m d'altitude NGF. Son développement est de 2000 m, pour -148 m de dénivellation. Son bassin d'alimentation est délimité par la structure topographique sur le Salvat, en rive gauche du ruisseau du Crosès. Il est constitué majoritairement des terrains dolomitiques.

La géométrie des galeries présente une structuration en réseau anastomosé qui s'organise suivant les niveaux d'inception (Pendage et plan de stratification). Les différentes morphologies de galeries rencontrées sont en complète relation avec les alternances de fonctionnement de type phréatique et épiphréatique de la cavité. Ces phases de fonctionnement se sont poursuivies avec l'incision de la vallée suivant le pendage, au fur et à mesure des évolutions du niveau de base local.

La zone noyée amont présente une organisation en boucles multiples avec une succession de siphons et de courtes portions de galeries épiphréatiques qui se structurent juste au-dessus de la surface piézométrique des sources de Ladouch (synthèse topographique Renda M., données Spéléo club de Béziers et des avants monts (SCBAM)). Le siphon aval constitué d'un grand puits noyé de 60 m.

La grotte du Rautély :

La grotte s'ouvre sur le flanc Sud-ouest du promontoire de La Salle à une altitude de 390 m NGF. Le développement de la cavité est d'environ 1600 m. La géométrie de la cavité s'organise suivant le pendage et les axes des accidents décrochants de la zone. Il s'agit de galeries de type épiphréatique avec une organisation en boucles multiples par de nombreuses captures. Actuellement, la cavité n'a plus de réel fonctionnement actif. Sa position en bordure sur la rive droite de la confluence des vallons du ruisseau de Crosès et de la Salle, et les morphologies de galeries héritées, posent la question l'incorporation de la grotte du Rautély à un système spéléologique plus vaste. Est-ce les processus érosifs à l'origine de l'incision des deux ruisseaux qui ont déconnecté la grotte d'une partie d'un réseau spéléologique en liaison avec l'aquifère du Rautély ou s'agit-il d'un autre ensemble ?

Les sources du Rautély ou de Ladouch :

Elles constituent les émergences du système.

La grotte de Ladouch

La cavité est accessible à partir d'une petite diaclase qui a été agrandie. Elle s'ouvre à une altitude de 327m NGF. La grotte est constituée d'une vaste galerie de 200 m de long. Le profil de la galerie présente plusieurs boucles et les morphologies circulaires des galeries indiquent une phase de fonctionnement phréatique avec des circulations d'eau très lentes.

Le siphon amont :

Il s'agit d'une galerie déclive qui se développe en direction du Sud-ouest à partir d'un creusement sur joint de stratification. La vasque du siphon a une longueur de 4 à 5m à l'étiage, pour une largeur de 4m environ.

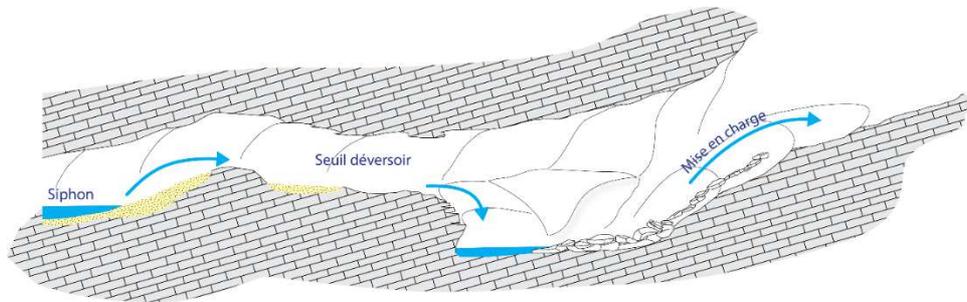


Figure 4 : Le seuil de déversement à l'aval du siphon terminal de la grotte de Ladouch. Les dépôts sableux issus du démantèlement des grès mettent en évidence une dynamique hydrologique peu marquée avec des mises en charge relativement progressives.

Comme on l'observe à plusieurs endroits dans la cavité, on retrouve également dans le siphon, des horizons schisteux, parfois fortement plissés. Ils dépassent de manière conséquente des parois.

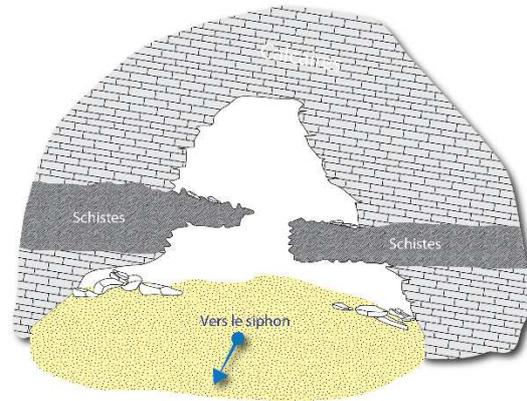


Figure 5 : Section de la galerie en aval du Siphon de la grotte de Ladouch. Il est à noter les horizons schisteux intercalés dans les calcaires qui forment des niveaux proéminents du fait de leur faible solubilité. Dans la zone profonde du siphon, ils constituent des ensembles effondrés qui barrent partiellement la galerie (explorations Vasseur 2012, 2013).

Vers la profondeur de -30 m, on remarque nettement l'influence des diaclases dans la mise en place de la galerie. À 100 m de l'entrée du siphon, de nombreux blocs d'effondrement des parois recouvrent le fond de la galerie.

A - 34 m le fond de la galerie est partiellement recouvert d'un sédiment sableux comparable à celui que l'on rencontre dans la galerie qui mène à la vasque du siphon. Il s'agit d'un sable grossier déposé en dune avec des rides de courant.

Au point bas à -42 m et à 120m de l'entrée du siphon, un remplissage sableux occupe le fond de la galerie. Celle-ci se développe en remontant légèrement à la profondeur de - 38 m à partir d'un système de diaclases.

À 180 m de l'entrée du siphon, la galerie recommence à descendre. La morphologie de la galerie devient plus circulaire et se construit à partir d'un joint de stratification.

A la profondeur de -50 m, elle s'oriente plein Sud et à 230m de l'entrée, on atteint un premier point bas du siphon à -55 m.

À 270 m de l'entrée, la galerie remonte ensuite en direction du Sud-ouest, à la profondeur de -46m par un conduit phréatique quasi circulaire avec un dépôt sableux sur le fond.

À 325m de l'entrée, on recoupe une zone fortement fracturée avec une abondance de blocs schisteux au sol.

La galerie replonge ensuite le long d'un plan de faille en direction du Sud jusqu'à la profondeur de -60m. La galerie se développe dans une zone de schistes avec de nombreux effondrements qui sont partiellement recouverts de dépôts de sables grossiers.

Étude spéléologique du système du Rautély

La progression se poursuit en remontant à la profondeur de -55 m au travers des blocs métriques de schistes, effondrés. La galerie remonte avec la même morphologie jusqu'à la profondeur de -20 m et à 406 m de l'entrée (Bancarel & Vasseur, 2013).

Sources de Ladouch ou du Rautely Olargues, Hérault

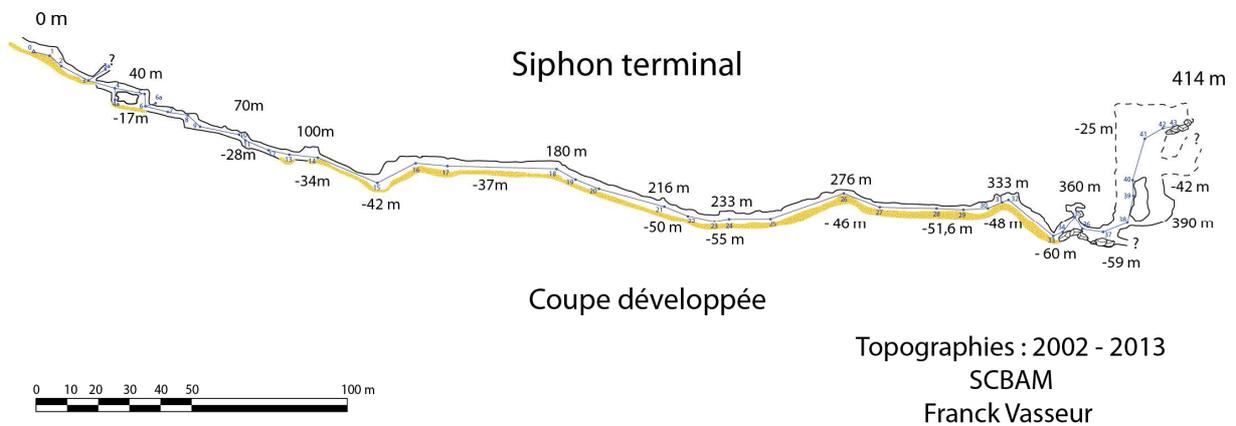
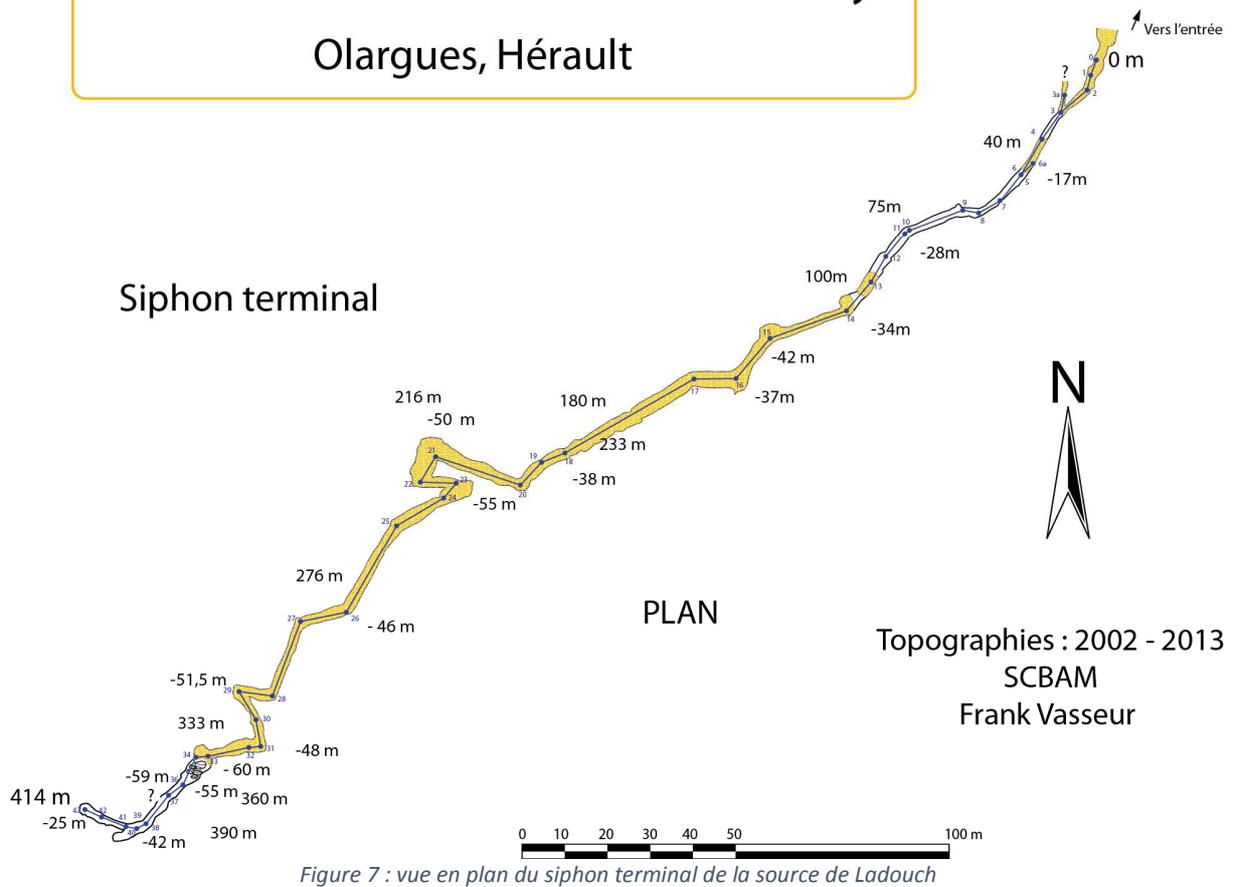


Figure 6 : Coupe développée du siphon terminal de la source de Ladouch

Sources de Ladouch ou du Rautely Olargues, Hérault



Le siphon aval :

Ce dernier est accessible dans la zone d'entrée, à partir d'une diaclase étroite et partiellement colmatée par le sable. Il n'a pas pu faire l'objet d'explorations.

L'émergence amont :

Cette sortie d'eau est située en rive gauche du ruisseau du Fumat à la cote 319 m NGF.

Il s'agit d'un conduit de 1m de largeur et 0,3 m de hauteur qui se développe dans une zone relativement fracturée. La progression est rapidement limitée par la taille de la galerie et le niveau de l'eau.

L'émergence aval :

Elle est située une trentaine de mètres en aval de l'émergence amont, elle aussi est en rive gauche du ruisseau du Flumat. Les écoulements sortent à la base d'un éboulis à la cote 317m NGF.

Cette émergence est impénétrable.

Un petit griffon au faible débit s'observe également à proximité.

4. Le suivi de l'aquifère au niveau du siphon amont de la grotte de Ladouch

Un suivi de l'aquifère a été réalisé au moyen de sondes qui mesurent et enregistrent les données de pression et de température.

Il s'agit des capteurs Sensus Ultra, fabriqués et vendus par la société Reefnet® Inc (<http://www.reefnet.ca/>).

Ces capteurs prévus pour la plongée en mer fonctionnent jusqu'à 150 m et ne pèsent que quelques grammes. Ils disposent d'une très bonne précision (pas de mesure de 1 cm, précision +/- 10 cm pour la piézométrie et 0,1 degré pour la température). Ils présentent une grande facilité d'utilisation. Le logiciel dédié, très fonctionnel, permet le paramétrage et la récupération des données de manière simple et efficace.

La sonde était implantée sur le bord du siphon en phase d'étiage à 0,3 m sous la surface de l'eau.

C'est ce point qui a été retenu comme le niveau zéro du siphon.

La période de suivi a été du 21/07/2012 au 29/06/2013. Cela représente 343 jours.

5. Les références de pluviométrie :

Les références de pluviométrie proviennent de la station de Prades sur Vernazobre, à 10 km au Sud du bassin d'alimentation du système du Rautély (Source : Infoclimat.fr).

Durant la période de suivi, le cumul des précipitations a été de 555,8mm durant 112 jours,

Les jours de pluie représentent 33,6% de la période de suivi.

La plus forte pluviométrie a été enregistrée au cours du mois de mars avec 166,4 mm. C'est aussi le 05/03/2013 que l'on a connu le plus fort cumul journalier : 73,2mm.

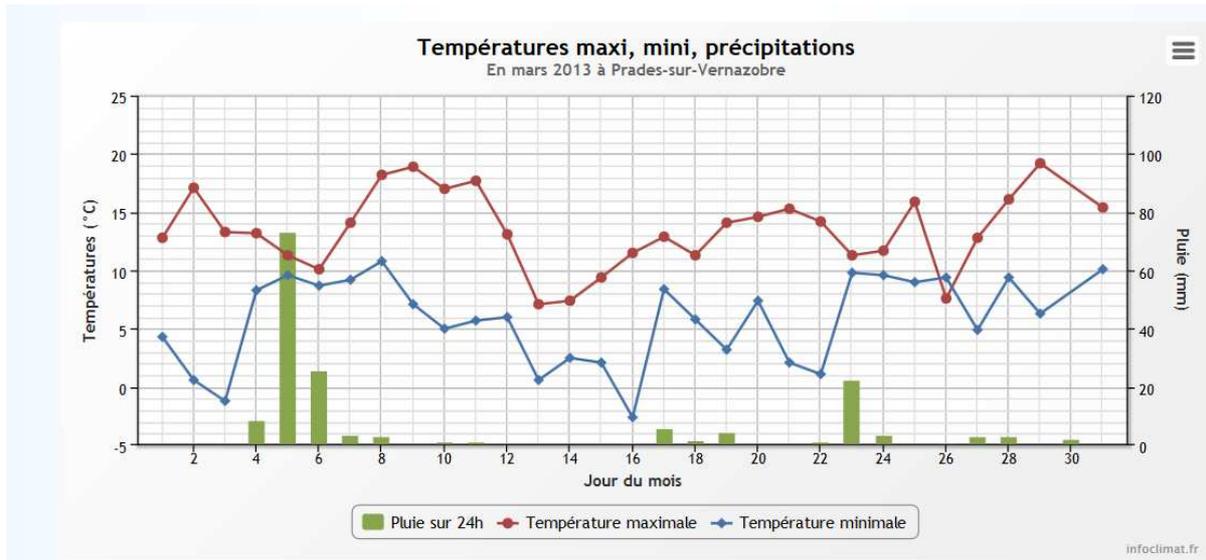


Figure 8 : Évolutions des températures minimales, maximales et de la pluviométrie pour le mois de mars 2013 à la station de Prades sur Vernazobre (données Infoclimat)

6. Observations sur le fonctionnement hydrologique :

Durant la période de suivi, 4 épisodes de crues avec des mises en charge supérieures à 3 m ont été enregistrées. L'une de ces crues s'est produite au cours de l'automne, une autre en hiver et les deux plus importantes en début de printemps.

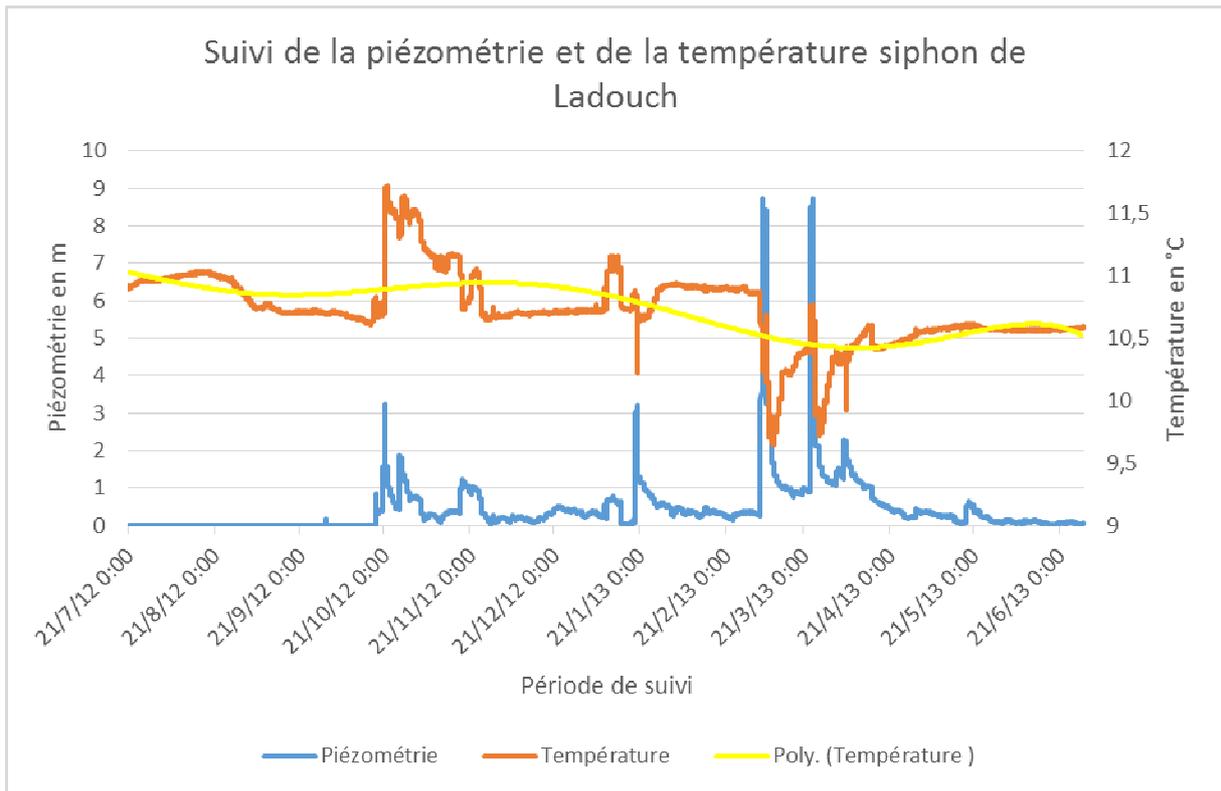


Figure 9 : Évolutions du niveau et de la température de l'eau au siphon amont de la grotte de Ladouch du 21/07/2012 au 29/06/2013. La courbe jaune correspond à la régression polynomiale d'ordre 6 des températures. Cela permet de rendre compte des faibles variations saisonnières et du décalage de la température de l'aquifère du Rautély.

La mise en charge la plus importante enregistrée, s'est produite le 06/03/13 à 09:38 avec une hauteur de 8,74 m. Le seconde a eu lieu le 24/03/13 à 02 :23 avec une mise en charge de 8,72 m.

Les deux autres étaient de plus faible importance. La première a été enregistrée le 21/10/12 à 11 :23 avec une mise en charge de 3,26m. La seconde, le 20/01/13 à 00 :38, la mise en charge était de 3,2m.

Les variations de température associées à ces différentes phases de fonctionnement montrent des dynamiques hydrologiques complexes avec des mécanismes de recharge de l'aquifère aux modalités variables en fonction de sa saturation.

Une analyse statistique permet une première clarification des données :

- La variation maximale des hauteurs d'eau enregistrée est de 8,74 m.
- La valeur de la médiane des hauteurs d'eau est de 0,25m et plus de 75% des variations du niveau se font pour des valeurs inférieures ou égales à 0,51m.
- Les températures de l'aquifère ont varié entre 11,72°C et 9,65°C. Cette variation présente une étendue de 2,07°C.
- La valeur pour la médiane des températures est de 10,71°C et l'écart interquartile est de 0,33°C.

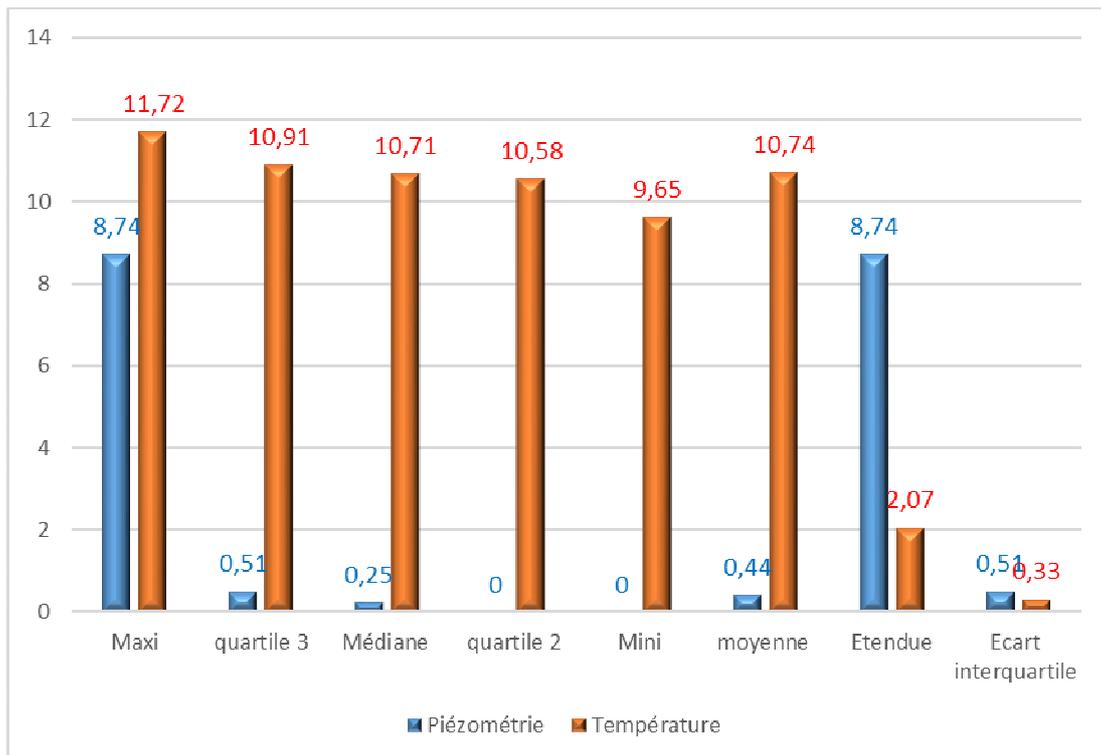


Figure 10 : Tableau récapitulatif des différents éléments statistiques des hauteurs et de la température de l'eau au cours de la période de suivi. On remarque la grande différence entre les fortes valeurs de mise en charge lors d'un épisode de crue et le fonctionnement le plus courant de cet aquifère avec de faibles hauteurs d'eau par rapport à l'étiage.

Analyse des hauteurs d'eau classées :

Ces valeurs permettent de préciser les éléments statistiques du chapitre précédent.

Au cours de ce suivi hydrologique, le siphon était à son niveau d'étiage dans 26% des cas.

Les variations de hauteur d'eau comprise entre 1 et 50 cm représentent 48%.

Celles comprises entre 50 cm et 1 m ne représentent que 12,5%.

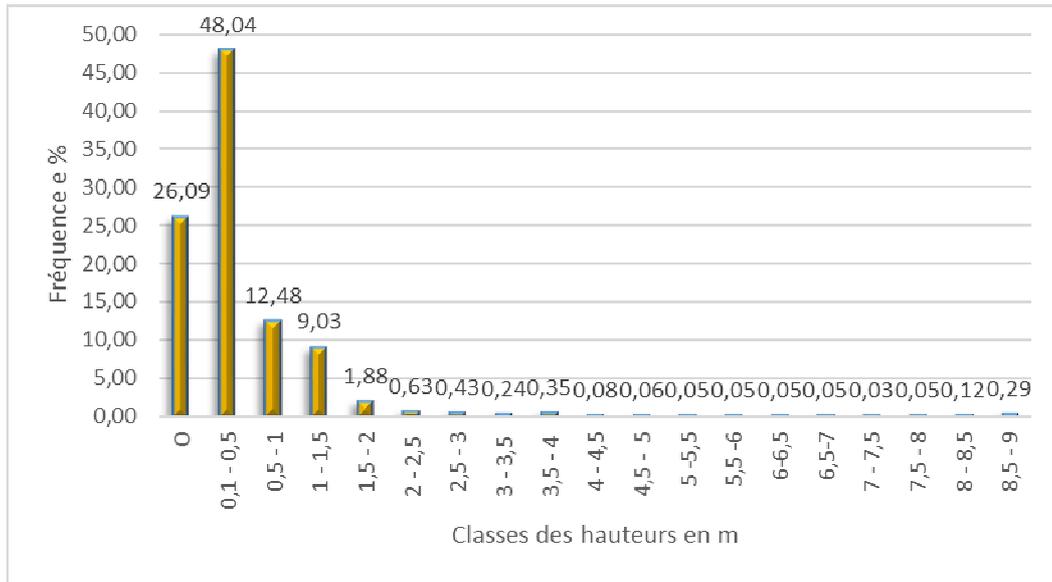


Figure 11: Tableau des hauteurs d'eau classées au siphon amont de la grotte de Ladouch. Les classes de hauteur sont de 0,5m. Pour cette période de suivi, on remarquera la grande période de basses eaux qui représente 74,13% du temps de fonctionnement de l'aquifère

Analyse croisée piézométrie et température

Les variations des températures au cours des épisodes de crue vont permettre de mettre en évidence les différents systèmes de drainage présents dans l'hydrosystème du Rautély.

L'analyse croisée des variations de hauteur et de température permet d'identifier les dynamiques hydrologiques qui interviennent dans le fonctionnement de l'aquifère.

On retrouve pour les faibles variations de hauteurs au niveau du siphon une concentration des températures dans une fourchette comprise entre 10,5 et 10,8°C. La température des petites quantités d'eau qui transitent dans ces conditions a le temps de se tamponner au contact du karst. Cette phase de représente plus de 75% du fonctionnement de l'aquifère.

Pour des mises en charge plus importantes, on remarque l'influence de trois familles d'évolution de la température (droites bleue, rouge et orange) :

- Les évolutions des températures se retrouvent majoritairement autours des équations des droites rouges pour les valeurs de hauteur inférieures à 4 m.
- Pour les mises en charge plus importantes, les évolutions se font suivant les équations des droites bleues et oranges.

Ces variations témoignent du fonctionnement de trois systèmes de drainage qui interviennent à différentes phase de la dynamique hydrologique :

- Des variations rapides suivant les équations de la série rouge (croissantes et décroissantes) ;
- Des variations un peu plus lentes suivant les équations des séries bleues et orange (croissantes et décroissantes).

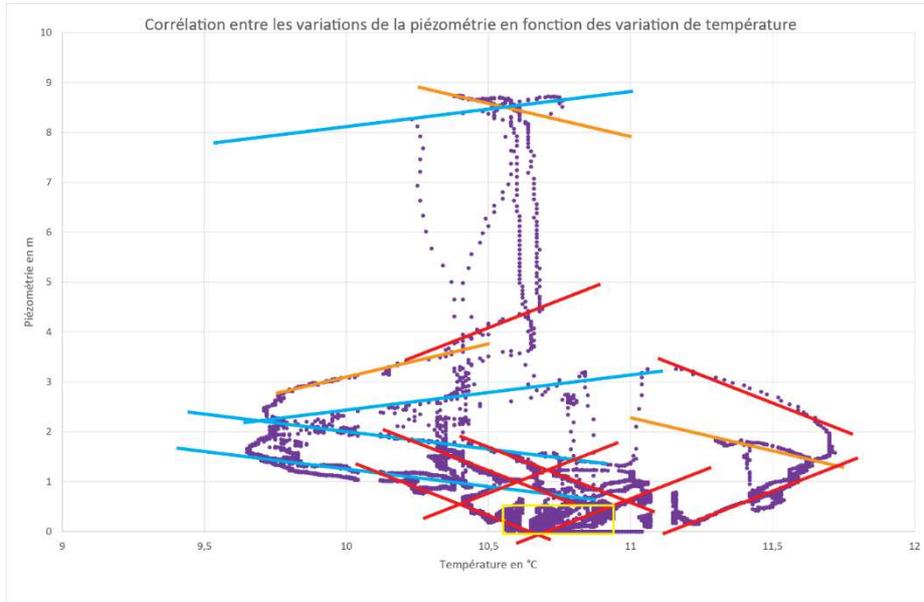


Figure 12 : Analyse croisée de la température en fonction de la hauteur d'eau au niveau du siphon de la grotte de Ladouch. On remarque dans le rectangle jaune la forte densité des mesures autour des moyennes de hauteur et de température. Les droites de couleur rouge, bleue et orange matérialisent les trois classes des dynamiques d'évolutions de la température au sein de l'aquifère en fonction de l'état de sa recharge.

7. Observations à propos des altitudes des niveaux de l'aquifère dans les différents sites

Sites	Situation	Altitude NGF
Asperge	Siphon	334 m
PN 77	Grand siphon	322 m
PN 77	Siphon des Sables	342 m
Ladouch	déversoir	327 m
Ladouch	amont	319 m
Ladouch	aval	317 m

Le tableau ci-dessus récapitule les altitudes de la surface piézométrique des différents siphons dans les cavités du système. Elles se situent 5 à 7 m au-dessus des altitudes des émergences pérennes. Le siphon des Sables est 25 m au-dessus, mais il s'agit d'un autre drain qui vient ensuite se raccorder avec l'aquifère principal du système.

Étude spéléologique du système du Rautély

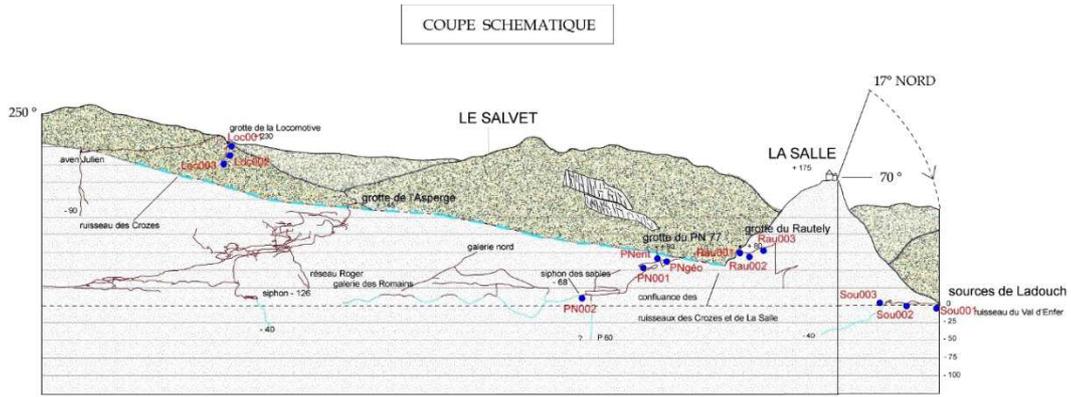


Figure 13 : Coupe schématique projetée des cavités et du massif. Ce profil permet de rendre compte de l'organisation des réseaux et des niveaux piézométriques au sein de l'aquifère. Document et synthèse Renda M., données SCBAM.

Le gradient de pente de l'aquifère profond est de 1,16% entre les parties amont et aval.

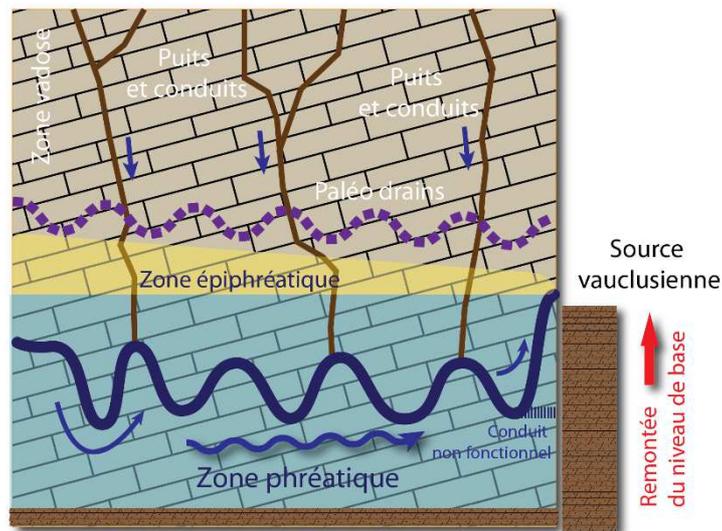


Figure 14 : Schéma fonctionnel de l'aquifère du Rautély. Les paléo drains correspondent aux galeries de la grotte du Rautély (Schéma adapté d'Audra et Palmer 2013)

8. Les caractéristiques physico-chimiques des différentes émergences

À propos de la conductivité électrique et de la température

Les mesures ont été réalisées de manière ponctuelle à l'aide d'un conductimètre WTW multi 3410.

Dates		Ladouch siphon	Ladouch amont	Ladouch aval
29/03/2012	<i>Conductivité</i>	208 µS/cm	239 µS/cm	243 µS/cm
	<i>Température</i>	11,4°C	10,8°C	11,5°C
21/07/2012	<i>Conductivité</i>	217 µS/cm	278 µS/cm	260 µS/cm
	<i>Température</i>	11,2°C	11 °C	11,3°C

Il est à remarquer des disparités assez fortes de la conductivité électrique et de la température entre ces différents points de mesure. Ces valeurs relevées dans un périmètre proche, montrent un aquifère avec une zone noyée importante et une structuration relativement compartimentée en différents systèmes de drainage entre les différents conduits.

À propos des débits

Débit moyen annuel du système du Rautély :

Le bassin topographique du système du Rautély est de l'ordre de 2 km².

La pluviosité a atteint 555,8 mm à la station de mesure de Prades sur Vernazobre (source : Infoclimat.fr)

En fixant des pertes d'infiltration liées à l'évaporation et au coefficient d'abattement de l'ordre de 40%, on obtient un débit moyen annuel de 21 l/s aux sources de Ladouch.

Le 21/07/2012 :

Différentes mesures de débits par jaugeage chimique au sel à l'aide d'un conductimètre WTW multi 3410 ont permis de relever les valeurs suivantes :

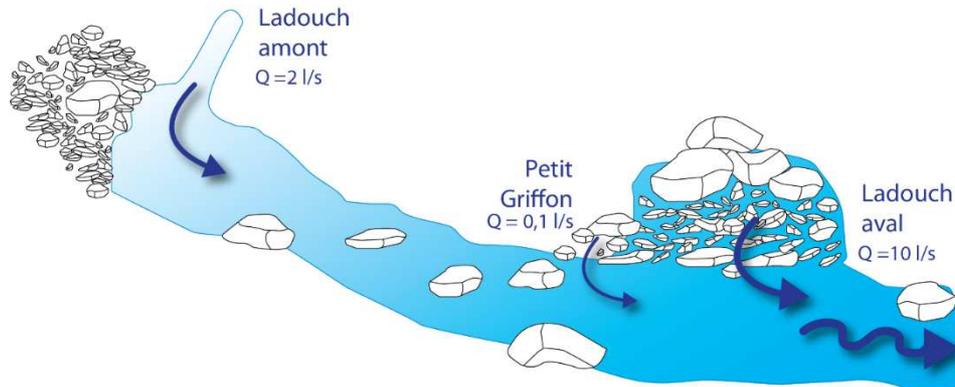


Figure 15: Les émergences du système du Rautély. Localisation des sorties d'eau et débits mesurés par jaugeage chimique.

Le débit mesuré ce jour en aval des émergences était de **12l/s**.

Débit de crue

À propos de la crue de 6 mars 2013 :

À la suite d'un épisode pluvieux de 113,8mm en 4 jours, le volume d'eau tombé sur le bassin d'alimentation a été de 227 600 m³. Dans ces phases de fortes pluies du mois de mars, le ruissellement est prépondérant et l'évaporation négligeable. En fixant à 40% le coefficient d'abattement on obtient un débit moyen aux émergences de **400 l/s** pour cet épisode de crue.

La crue du 21/10/2012 :

À la suite d'un épisode pluvieux 39,4 mm en 7 jours (du 17 au 23/10/2012), la mise en charge maxi relevée au siphon a été de 3,26 m, le 21/10/2012 à 11:36.

Le volume d'eau tombé sur le bassin d'alimentation a été de 78 800 m³. En fixant à 40% le coefficient d'abattement on obtient un débit moyen aux émergences de **78 l/s** pour cet épisode de crue.

La crue du 21/01/2013 :

À la suite d'un épisode pluvieux 25,4 mm en 9 jours (du 17 au 23/10/2012), la mise en charge maxi relevée au siphon a été de 3,20 m, le 20/01/2013 à 00:38.

Le volume d'eau tombé sur le bassin d'alimentation a été de 50 800 m³. En fixant à 40% le coefficient d'abattement on obtient un débit moyen aux émergences de **39 l/s** pour cet épisode de crue.

9. Analyse de la dynamique de crue de l'épisode du 06/03/2013

L'épisode pluvieux a démarré le 04/03/2013 avec un cumul journalier de 8,4 mm. Le plus fort des précipitations est tombé le 05/03/2013, le cumul journalier a été de 73,2 mm. La pluie s'est poursuivie jusqu'au 16/03/2013 avec des valeurs beaucoup plus faibles.

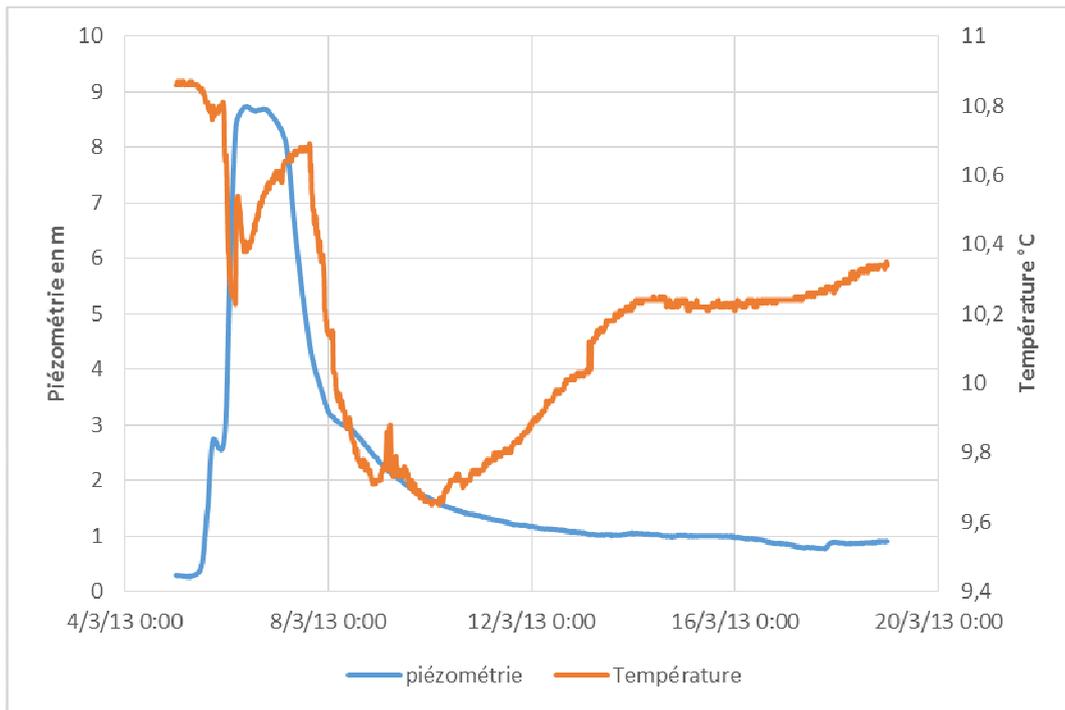


Figure 16: Variations des hauteurs et des températures d'eau au cours de l'épisode de crue du 4 au 16 mars 2013. On remarquera les variations de la température avec la mobilisation des différents drains au sein de l'aquifère.

Au siphon amont de la grotte de Ladouch, il a été enregistré le 06/03/13 à 09:38, une mise en charge de 8,74 m.

Cette arrivée d'une grande masse d'eau a entraîné une chute de la température de l'eau de 10,86°C à 10,23°C.

L'analyse croisée des variations des mises en charge et celles de la température, permet de pouvoir appréhender des phases distinctes d'arrivée des eaux de pluie et les échanges au sein du système karstique.

Les phases de la crue

Phase 1 :

C'est le 05/03/2013 à partir de 07:23 que se produisent les premières conséquences des précipitations tombées le 04/03/2013. On observe la baisse de la température de l'eau alors que le niveau n'a toujours pas bougé au niveau du siphon. Il s'agit de l'arrivée des eaux de pluie par les drains les plus transmissifs alimentés par les pertes au contact entre les schistes et les calcaires. À partir de 09:38, commence la montée progressive du niveau du siphon. L'eau va monter de 2,75 m jusqu'à 17:53. La mise en charge va connaître ensuite un palier autour de la cote 2,60 m jusqu'à 21:38. C'est l'arrivée de l'épisode pluvieux du 05/03/2013 qui va amorcer la phase suivante de la mise en charge du système.

Phase 2 :

Avec cette nouvelle phase, on va assister à une mise en charge continue qui va se poursuivre jusqu'au 06/03/2013 à 09:38. Dans cette phase, l'épikarst au sein des zones calcaires est mobilisé, s'ajoutant au débit des pertes qui drainent les terrains schisteux. Cette montée des eaux s'accompagne d'une baisse de la température à 10,23°C à 04 :08. L'introduction des eaux de pluies (plus froides) dans le système va être à l'origine de cette baisse de température grâce aux drains les plus transmissifs.

Phase 3 :

La mise en charge atteint 8,44 m au siphon amont. La température remonte de 0,3°C durant 30 minutes pour se stabiliser et de nouveau décroître de 0,14°C durant la phase de maximum de la mise en charge. On assiste alors aux premières mobilisations des eaux du karst avec ces oscillations de la température.

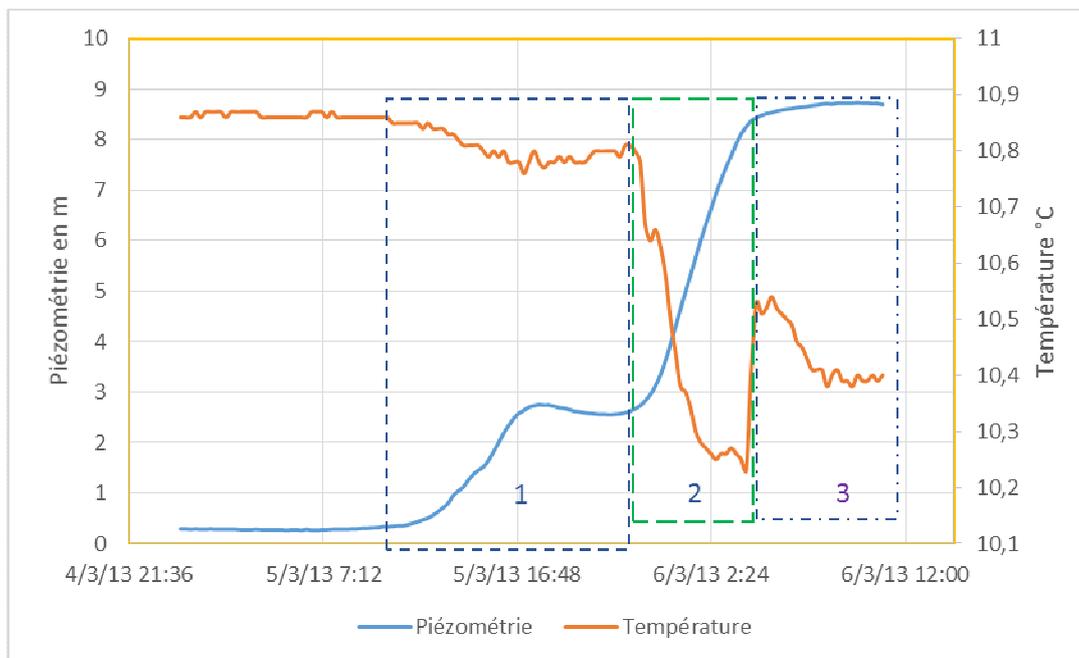


Figure 17 : Les différentes phases de la mise en charge de l'aquifère au niveau du siphon terminal de la grotte de Ladouch. Les variations de la température permettent de caractériser les différentes phases de fonctionnement.

Les phases de la décrue

Une heure après le maximum de la mise en charge, le système karstique va s'installer dans des processus de décrue. Celle-ci va se faire progressivement en différentes phases.

Phase 1 :

Dans la première phase, on remarque l'élévation de la température qui s'est installée et va se prolonger. C'est un indicateur de la mobilisation des eaux stockées dans le karst. Leur mise en mouvement a été provoquée par les apports d'eaux liées aux fortes précipitations. Cette phase va durer 30 heures.

Phase 2 :

Durant la deuxième phase de la décrue, on assiste à une forte baisse du débit qui est proportionnelle à la diminution de la mise en charge au niveau du siphon. La variation de la hauteur d'eau au niveau de la vasque du siphon est de 2,20 m ; la mise en charge passe de 4,10 m à 2,30 m en 26 heures. La diminution de la température est un indicateur des changements d'eau au niveau de l'aquifère avec une arrivée massive d'eau à la température extérieure (les données de températures de l'air relevées à la station de Prades sont comprises entre 9 et 11°C (fig 6).

Phase 3 :

Durant la troisième phase de la décrue, la diminution du débit est plus lente. Cela correspond à la courbe de tarissement du système hydrologique. Elle s'opère ici durant plus de 120 heures, une nouvelle phase pluvieuse va venir remettre ensuite le système en charge. Le niveau dans la vasque du siphon baisse de 1,30 m. La température de l'eau remonte progressivement avec « le réchauffement » de la masse d'eau par le karst au sein de l'aquifère. La progression de la température est de 0,5°C.

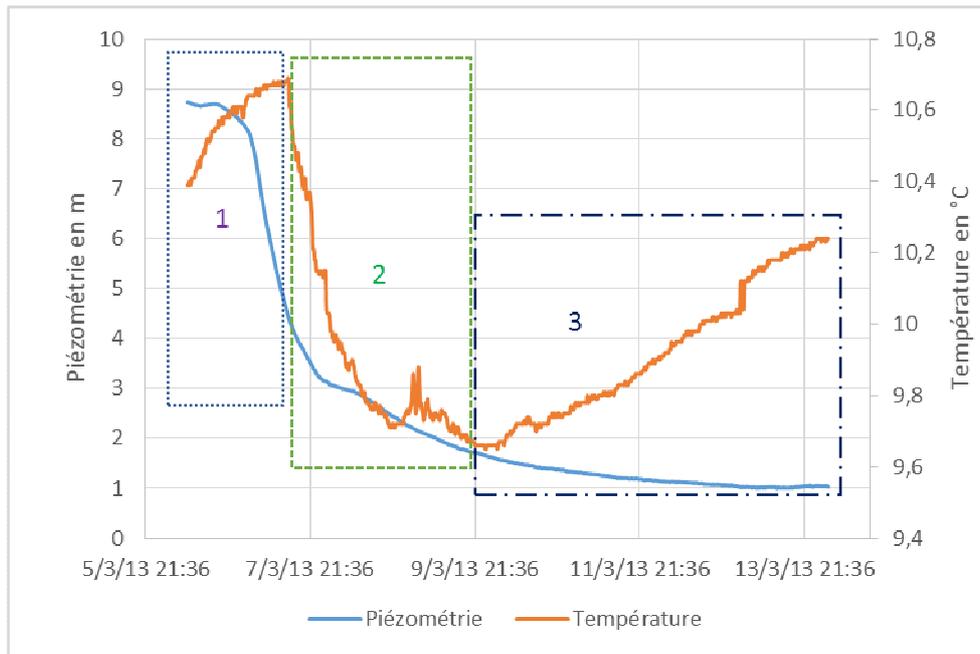


Figure 18: Les différentes phases de la décrue au niveau du siphon terminal de la grotte de Ladouch. Les variations de températures permettent de différencier les fonctionnements des différents systèmes de drainage.

10. Analyse des composants de l'hydrogramme

Le temps de montée :

Il va permettre de pouvoir caractériser la vitesse des écoulements rapides dans l'aquifère.

Il est de **23,25 h**.

Ce temps est relativement long pour un système karstique. Les causes de ce délai sont à rechercher dans la morphologie du bassin d'alimentation de taille réduite et la structuration de l'aquifère (lithologie et densité de fracturation). Ces différentes caractéristiques ne sont pas favorables pour des circulations rapides des eaux pluviales de la zone d'infiltration aux émergences.

Le temps de réponse :

Avec un délai de **51 h** (ce qui est plutôt long), il met en évidence le délai important des écoulements au travers le milieu souterrains avec une zone vadose peu transmissive malgré une partie du bassin d'alimentation sur les Schistes de Coulouma qui concentre les écoulements vers des pertes.

Le temps ruissellement ou temps de base :

Cet indicateur va permettre de renseigner la durée de l'infiltration directe sur le bassin d'alimentation et la mobilisation des masses d'eau au sein de l'aquifère vers l'exutoire.

Il est pour cet épisode de **53 h**. C'est également un temps relativement long au regard de la petite taille du bassin d'alimentation.

Synthèse :

L'analyse de ces composantes met en évidence un système hydrologique peu transmissif pour un système karstique. Les structures géologiques du secteur et les processus érosifs qui ont affecté le massif rendent en effet complexe sa structuration.

Les variations de température associées aux différents épisodes de variation du niveau d'eau montrent la complexité des relations des différents drains au sein de cet aquifère, des modalités du transit et de la recharge.

Un suivi en continu multi sites des paramètres physicochimiques permettrait de compléter la connaissance de cette aquifère et de préciser les évolutions morphogéniques du système karstique.

11. Les actions de topographies

Dans le cadre d'un partenariat entre la FFS et le PNR du Haut-Languedoc pour l'étude du système du Rautely (Olargues-Hérault), la commission scientifique de la Fédération Française de Spéléologie et le spéléo-club de Béziers et des avants monts organisent un stage de niveau avancé en topographie du 17 au 20 mai 2012.

Les points abordés ont été :

- Organisation des levés de terrain ;
- La réalisation sur site du dessin d'habillage à l'échelle ;
- Utilisation des logiciels de dessin et de cartographie.

Étude spéléologique du système du Rautély

À partir de minutes de terrain, le travail avec les logiciels de topographie Visual topo et DP topo a permis de construire les différents canevas du réseau spéléologique.

Chaque point levé est défini dans un système de coordonnées cartésiennes XYZ référencé dans le système de projection conforme UTM intégré au système géodésique WGS 84.

Param	Deca	Degd	Cino	Degd	0.0000	Dir_Dir.Dir	Arr	Std						
0	0		0.00	0.00	0.00	1.18	0.00	0.45	0.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0	1		2.91	4.50	-2.80	0.00	0.00	0.50	0.20	0.23	2.90	-0.14	2.91	2.91
1	2		2.66	93.30	-9.80	0.90	0.00	0.60	0.00	2.84	2.75	-0.59	5.53	5.57
2	3		2.12	351.30	26.70	0.00	0.45	0.40	1.10	2.56	4.62	0.36	7.42	7.69
3	4		2.29	70.20	-10.60	0.20	0.50	0.60	1.80	4.68	5.38	-0.06	9.67	9.98
4	100		1.42	132.90	-30.00	0.80	0.70	0.30	1.54	5.58	4.54	-0.77	10.90	11.40
100	5		2.59	124.40	-32.60	0.90	1.50	2.07	0.20	7.36	3.31	-2.10	13.08	13.99
5	5a		5.60	194.40	50.20	0.40	0.50	1.00	1.90	6.46	-0.16	2.21	16.67	19.59
5	6		3.33	129.90	30.10	1.10	1.24	0.25	1.05	9.54	1.46	-0.34	15.97	17.32
6	7		0.81	0.00	-90.00	0.46	1.53	1.04	0.24	9.54	1.46	-1.11	15.97	18.13
7	8		2.41	72.00	25.10	0.33	0.38	0.47	0.52	11.59	2.14	-0.03	18.15	20.54
8	9		2.54	151.10	13.00	0.20	0.50	0.70	1.45	12.76	-0.03	0.57	20.62	23.08
9	9a		3.34	151.80	-19.60	0.00	0.80	2.42	0.10	14.25	-2.80	-0.55	23.77	26.42
9a	9b		5.79	160.40	12.00	1.15	0.50	0.45	0.90	16.15	-8.14	0.65	29.43	32.21
9	10		6.85	199.70	-69.50	1.17	0.60	2.20	0.00	11.93	-2.29	-5.52	23.02	29.93
10	11		6.02	156.00	-1.40	1.47	1.00	1.31	0.38	14.32	-7.79	-5.66	29.04	35.95
11	11a		5.25	250.00	15.00	0.40	0.60	1.00	0.00	9.55	-9.53	-4.30	34.11	41.20
11	12		7.26	50.10	7.50	0.35	2.07	0.29	0.40	19.77	-3.18	-4.66	36.24	43.21
12	13		4.77	107.10	3.80	0.00	0.00	0.96	1.80	24.27	-4.58	-4.33	41.00	47.98
13	14		5.11	223.80	30.10	4.50	1.60	3.33	0.00	21.17	-7.77	-1.63	45.42	53.09

Figure 19 : Tableau des données de topographie. Les cinq dernières colonnes de droite concernent les coordonnées cartésiennes des différentes stations de mesures implantées.

De ces données, le logiciel construit un squelette ou une polygonale orientée et à l'échelle où seront reportés les informations morphologiques concernant la cavité.

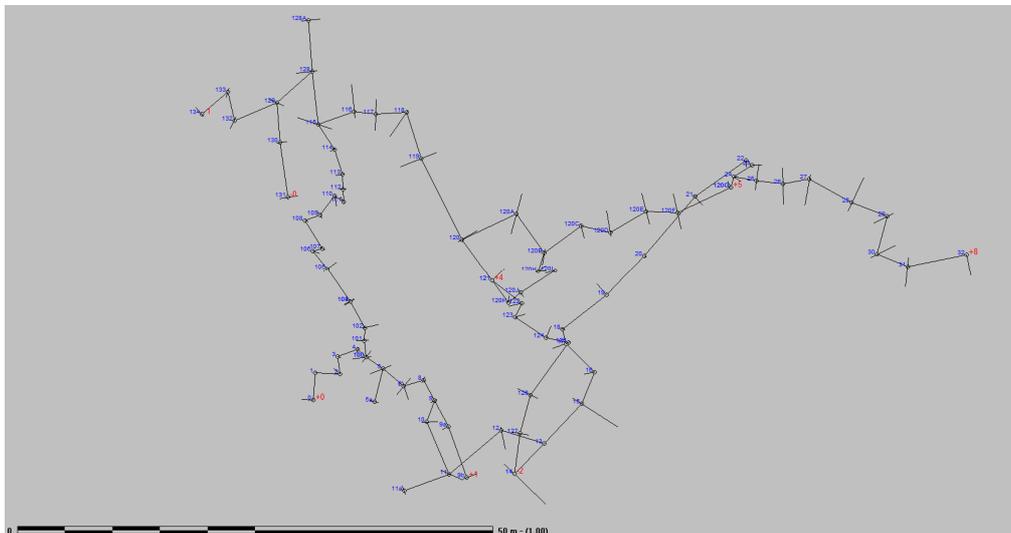


Figure 20 : Squelette ou polygonale du plan de la grotte du Rautély obtenu à partir du logiciel Visual Topo.

Étude spéléologique du système du Rautély



Figure 21: Intégration sur une image Google Earth du réseau de galeries de la grotte du Rautély. L'exportation a été faite avec un fichier KML généré par le logiciel DP Topo à partir des données relevées dans la cavité.

Un modèle 3D simplifié a été réalisé de la grotte du Rautély ainsi que des exportations vers des formats informatiques de dessin vectoriel (DXF) et de géomatique (KML).

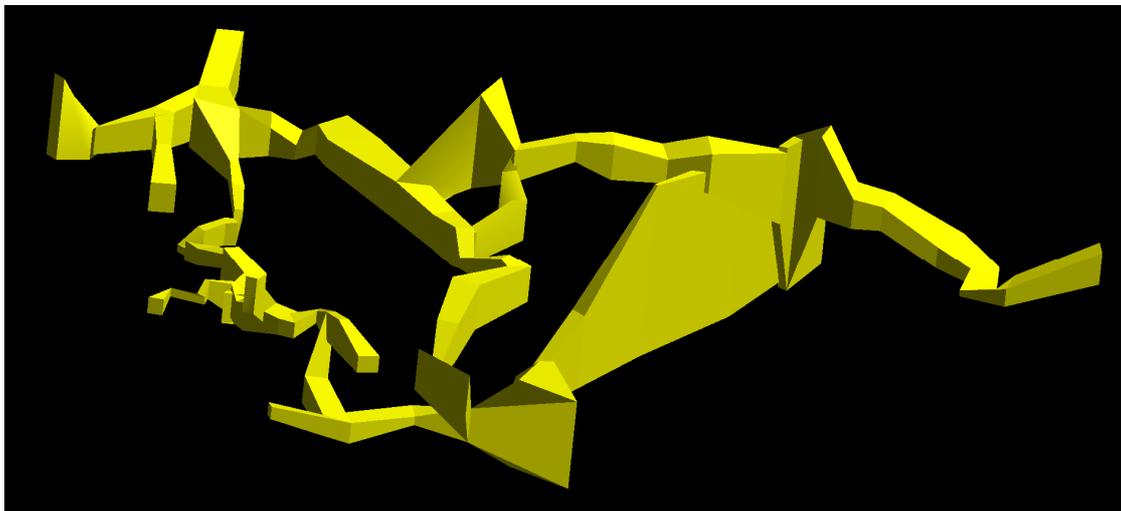


Figure 22 : Modèle 3D simplifié obtenu à partir du logiciel Visual Topo. À partir d'un fichier WRML, obtenu avec DP topo, il est possible de travailler avec des logiciels de maillage pour de l'analyse tri dimensionnelle des structures.

12. Analyse morphologique de la grotte du Rautély à partir des éléments de topographie

La géométrie des galeries

Les galeries dans la grotte du Rautély se développent principalement suivant deux directions principales.

La plus grande partie des conduits s'orientent suivant un axe Nord-est – Sud-ouest qui correspond à la direction de l'axe du chevauchement qui affecte les séries géologiques du secteur de la Salle.

La direction Nord-Ouest – Sud-est sur laquelle s'aligne l'autre série de galeries, correspond aux accidents décrochants qui affectent la partie Ouest du secteur de la Salle.

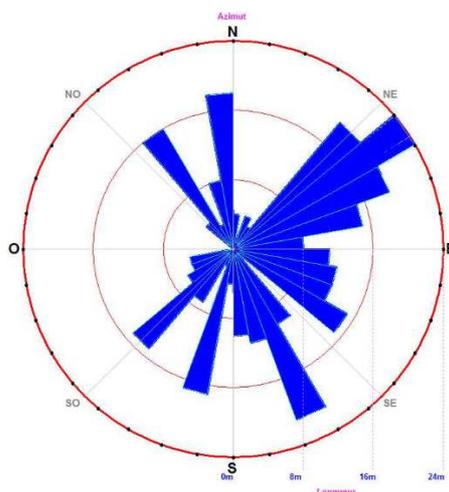


Figure 23: Rosace des directions des galeries classées par longueur cumulée. Logiciel DP Topo

L'organisation des conduits dans l'axe vertical

L'examen de la rosace de pentes met en évidence l'influence du pendage des couches géologiques dans la structuration des galeries de la grotte du Rautély. Le pendage des couches calcaires est de 15° en direction du Sud. Ce sont ces inclinaisons que l'on retrouve le plus fréquemment. L'angle positif ou négatif est fonction du sens où la galerie a été parcourue lors des travaux de levé.

Les pentes de 10° se rencontrent dans les galeries d'axe Nord-est – Sud-ouest qui ont été affectées dans la partie Ouest par les rejeux des accidents décrochants. Ceux-ci ont fait légèrement plonger les couches de cette valeur.

Étude spéléologique du système du Rautély

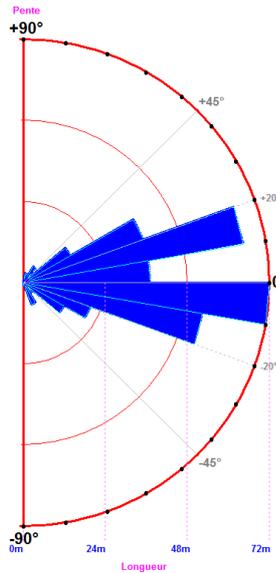


Figure 24: Rosace des pentes des galeries classées par longueurs cumulées. Logiciel DP Topo

La taille des conduits relevés :

Le développement relevé au cours du stage a été de 338,17 m pour une dénivellation de 18,14 m.

La largeur maximum est de 6,1 m ; la plus grande hauteur relevée est de 13,97 m.

La largeur minimum est de 0,33 m ; la plus petite hauteur est de 0,48 m.

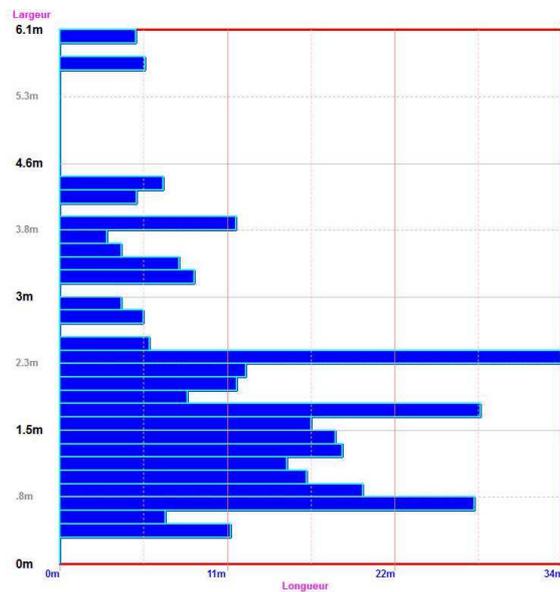


Figure 25: Histogramme des largeurs de galeries classé par longueur cumulée.

Le volume des galeries topographiées représente 1907 m³. La surface de l'emprise de la cavité est de 610 m².

13. Discussions et conclusions

Les différentes approches mises en œuvre pour l'étude du réseau spéléologique du Rautély montrent les influences du temps long sur la structuration du massif, du système karstique et son fonctionnement.

Le front de chevauchement au sein de la nappe de Pardailhan et les décrochements associés ont installé les conditions de la karstification au sein des dépôts sédimentaires présents dans le secteur de la Salle. L'organisation des galeries s'est installée suivant les niveaux d'inception. Cette structuration se retrouve dans les différentes cavités.

L'orientation des galeries est en relation directe avec la fracturation des calcaires. Leur érosion, et surtout celle des formations environnantes, a généré des épandages importants. Les séries dolomitiques, gréseuses et schisteuses sont venues couvrir les calcaires Cambriens. Ces couvertures ont ainsi permis l'installation et la structuration de réseaux hydrographiques de surface. L'installation d'aquifères karstiques est arrivée plus tard lorsque l'érosion et les reculs de la couverture ont permis les drainages souterrains des eaux qui coulaient en surface. Les phénomènes et processus d'érosion régressive ce sont ensuite installés, avec comme aboutissement le karst actuel du système du Rautély.

Un travail sur les différents niveaux de remplissages présents dans les cavités, corrélé au positionnement et à la qualification de terrasses fluviatiles permettrait de préciser la chronologie des étapes de l'incision des vallons et de leur raccordement au Jaur ainsi que l'étagement des réseaux.

C'est également avec ce type de travail que pourrait se faire l'étude des différents stades d'évolution des cavités présentes sur le secteur. En effet, l'incision des vallons et les érosions des surfaces ne permettent plus leur mise en relation évidente.

Les explorations en plongée (Vasseur & al.) montrent un aquifère avec une structuration en cours d'installation suivant le réseau de fissures (Audra & Palmer 2013 ; Gabrovšek 2000).

La faible pente de l'aquifère amène l'installation d'une zone épinoyée importante avec des mises en charge d'une vingtaine de mètres dans les parties amont.

Si la profondeur de la zone noyée est importante (60m par rapport au niveau des émergences), il s'agit avant tout de drains interconnectés de différentes tailles qui ne représentent pas une masse d'eau conséquente.

Les mesures de débit réalisées montrent l'adéquation entre le bassin topographique du secteur de la Salle et le bassin d'alimentation du système. Les dynamiques de fonctionnement de l'aquifère enregistrées mettent en évidence un fonctionnement binaire avec le drainage des séries de dolomies et des schistes de Coulouma qui alimentent les pertes au contact des calcaires et connectées aux drains les plus transmissifs, en direction des émergences.

Au niveau des sources de Ladouch, on observe un fonctionnement des émergences en système vauclusien, barré par les dolomies et les grès qui constituent le niveau aquiclude.

Des études complémentaires s'appuyant sur le suivi en continu des paramètres hydro chimiques permettraient de compléter les connaissances sur le fonctionnement de cet aquifère.

Étude spéléologique du système du Rautély

Les travaux de topographies réalisés ont permis de conforter les observations structurales.

Les boucles multiples dans les galeries de la cavité du Rautély mettent en évidence les différentes phases de recul des couvertures et d'incision des vallons. Les morphologies de galeries mettent en évidence les phases de fonctionnement phréatique des conduits et leur évolution vers une dynamique épinoyée avant leur abandon du fait de l'abaissement du niveau de base local.

Ces différentes observations viennent compléter le travail de Master en écologie des milieux souterrain de Sylvain Monteux.

Le suivi de la biologie souterraine et de la climatologie des différentes cavités du réseau du Rautély ont été réalisés pour essayer de mettre en évidence l'unité du système spéléologique et les interconnexions entre les cavités.

L'étude a mis en évidence la prépondérance d'une faune troglophile sur la faune troglobie à l'exception de la faune stygobie (Monteux 2012). L'absence de la faune troglobie et le fonctionnement de l'écosystème montrent à évidence, l'intense érosion du massif et le positionnement des cavités en bordure des versants des différents vallons dans les niveaux calcaires.

Cette approche croisée permet de mieux appréhender le système karstique en termes d'évolution et de fonctionnalité. Les informations recueillies viennent compléter les inventaires réalisés par les structures et clubs spéléologiques et apportent des éléments pour la conduite d'une politique partagée de conservation des différentes cavités. Les connaissances apportées avec la définition des limites du système karstique permettent une stratégie de conservation raisonnée et responsables des sites, mais aussi des terrains du bassin d'alimentation.

En matière de médiation, cela apporte un regard contextualisé sur le karst du Rautély qui vient compléter l'abondante documentation photographique existante.

La démarche montre l'intérêt des collaborations entre les structures spéléologiques avec le travail d'exploration et de documentation qu'elles réalisent, le Parc naturel régional avec sa politique engagée de connaissance, de conservation et de médiation sur les milieux naturels, les structures de la recherche impliquées dans ces domaines, pour une véritable politique de conservation et de valorisation du patrimoine karstique languedocien.

14. Bibliographie :

AUDRA P., and PALMER A.N. - 2013 - The Vertical Dimension of Karst: Controls of Vertical Cave Pattern. In: John F. Shroder (ed.) Treatise on Geomorphology, Volume 6, pp. 186-206. San Diego: Academic Press.

BANCAREL C., VASSEUR F. - 2013 - Exploration en plongée souterraine à la source de Ladouch, juin 2013. En collaboration avec le SCBAM. Montage vidéo <https://vimeo.com/77234407> – site : www.plongeesout.com

CAMUS, H.- 2001 - Évolution des réseaux hydrographiques au contact Cévennes-Grands Causses méridionaux : conséquences sur l'évaluation de la surrection tectonique. Bulletin de la Société Géologique de France, 172 : 549-562.

COHEN H., TORMO N. - 2009 - Une analyse biogéographique du Languedocien supérieur (Cambrien moyen terminal) de la Montagne Noire. Bulletin de la Société d'Étude des Sciences Naturelles de Béziers, n° 64, p. 23-30.

GABROVŠEK, F. - 2000 - Evolution of Early Karst Aquifers: From Simple Principles to Complex Models. Inštitut za razusjivanje krasa ZRC SAZU, Postojna, Slovenia, 150 pp.

GUYOT J.-L. - 1983 - La zone non saturée dans l'aquifère karstique. Analyse des écoulements hypodermiques sur périmètre expérimental. Rôle de la zone non saturée dans la différenciation des régimes de deux sources karstiques (Monts de Pardailhan, Montagne Noire). Thèses de troisième cycle, Montpellier.

LARUE J.-P. - 2007 - Incision fluviale et tectonique dans la Montagne Noire (sud du Massif central français). Géographie physique et Quaternaire, 2007, vol. 61, no 2-3, p. 145-164, 10 fig., 2 tabl.

MONTEUX S. -2012 - Biospéologie, climatologie et phylobiogéographie dans le système du Rautély (Hérault, France). Mémoire de Master Écologie – Biodiversité, Université de Montpellier. 29 p.

RENDA M. - 2002 - Découvreur et gardien ... des grottes. Spéléo-Club de Béziers et Avant Monts. Colloque Échanges d'expériences sur la protection du milieu souterrain 2002. http://www.arspan.fr/uploads/fichiers_a_telecharger/colloque_1_sc_beziers.pdf

TORMO N. - 2002 - . La Formation de Coulouma (Cambrien moyen) dans l'unité de Mélagues (Versant Nord de la Montagne Noire, France). Lithostratigraphie, biostratigraphie et aperçu paléogéographique. Bulletin de la Société d'Étude des Sciences Naturelles de Béziers. T. 19, vol. 60, 2002. p. 45 à 104.

15. Collaborations :

- Parc naturel régional du Haut-Languedoc
- Fédération française de spéléologie
 - Université de Montpellier

Structures :

- Commission scientifique FFS
- Commission environnement FFS
- Comité spéléologique régional de spéléologie de Languedoc-Roussillon
- Spéléo club de Béziers et des avants monts

Collaborateurs techniques et scientifiques :

- Cailhol Didier
- Chailloux Daniel
- Monteux Sylvain
- Renda Michel
- Tscherter Christophe