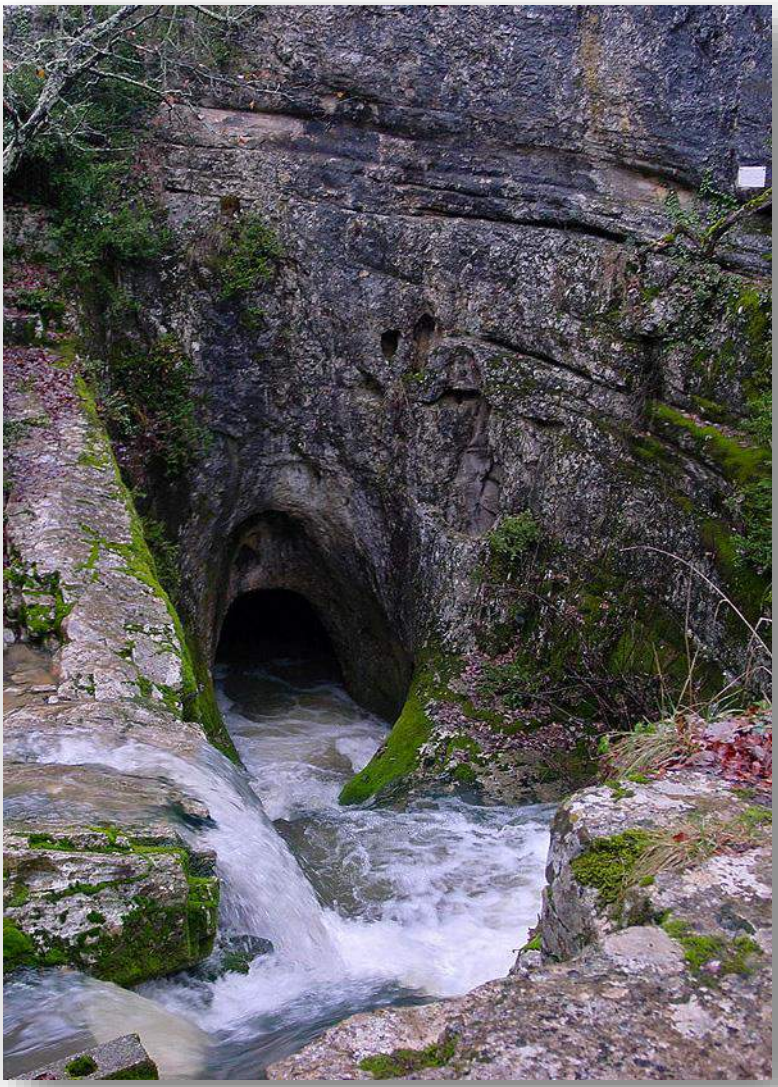


photo Mathieu Morverand

Approche de la mesure de débit

L'exemple du système de Foussoubie

Benoit Paravel

Diplôme d'état de la jeunesse et des sports

Option : perfectionnement sportif

Mention : Spéléologie

Session 2019 / 2020

CREPS
Auvergne-Rhône-Alpes
— Vallon-Pont-d'Arc

Remerciements

Je souhaite remercier **Didier Caihol, Judicaël Arnaud** et l'ensemble des **formateurs du CREPS** pour la qualité de leurs cours et des échanges qui s'en sont suivis.

Je souhaite également remercier chaleureusement **Vincent Schneider** pour sa passion et la qualité de ses interventions.

Merci à **Patrick Le Roux** pour ses connaissances encyclopédiques sur le système de Foussoubie et pour avoir rendu tout cela disponible sur un site internet.

Merci finalement à mes camarades de promotion pour ces deux ans passés trop vite.

Table des matières

Remerciements 2
Introduction 4
Présentation du système Foussoubie 5
Contexte géographique 5
Contexte géologique 6
Contexte hydrologique 6
Biospéléologie 7
Historique et explorations 8
Topographie du système Foussoubie 10
Historique des recherches scientifiques 11
Séquence d'introduction aux méthodes de calcul de débit 12
Organisation de la séquence : 12
Intérêt de la séquence : 12
Fiche de Séquence 13
Séance préparatoire en salle 14
Problématique: 14
Les connaissances pré requises 14
Séance en milieu karstique 19
Le matériel dont dispose chaque groupe 20
Observations et étude des zones de travail 20
Caractéristiques de la zone 1 : 21
Caractéristiques de la zone 2 : 22
Protocole d'analyse 22
Traitement des données 23
Pour chaque méthode : 23
Bilan des résultats 25
Conclusion 27
Bibliographie 28
Production écrite 28
Ressources internet 28
ANNEXES 29

Introduction

Le système de Foussoubie fut à la genèse de ma passion pour la spéléologie. Si Orgnac a été le lieu de ma première expérience de Spéléologie « horizontale », la traversée Cordier Foussoubie fut ma première expérience « verticale » quand la Goule vit ma première tentative d'équipement.

Ce système extraordinaire s'est révélé à moi comme le cadre parfait pour une séquence centrée sur les méthodes de calcul de débit. En effet, peu de cavités Ardéchoise permettent un accès si facile à une rivière souterraine et de très nombreuses questions se posent encore sur Foussoubie malgré le demi-siècle de recherches scientifiques qui y ont eu lieu.

Il était important pour moi que cet exercice théorique voit le jour sur le terrain. C'est pourquoi j'ai voulu que la séquence détaillée ci-après ait pour public des spéléologues dans l'optique de former ces acteurs de terrain aux mesures de débits.

Présentation du système Foussoubie

Contexte géographique

Le réseau goule de Foussoubie / event de Foussoubie se situe en rive droite de l'Ardèche sur les communes de Labastide de Virac, Vagnas et de Salavas. Il s'agit d'un système perte (Goule de Foussoubie) / résurgence (évent de Foussoubie) d'une rivière qui s'écoule d'abord en surface. Cette rivière souterraine parcourt 3,3 km à vol d'oiseau.

Le réseau s'ouvre à une altitude de 190 m au niveau de la Goule et se développe sous le plateau du Deves de Virac à la cote 250/260 m.

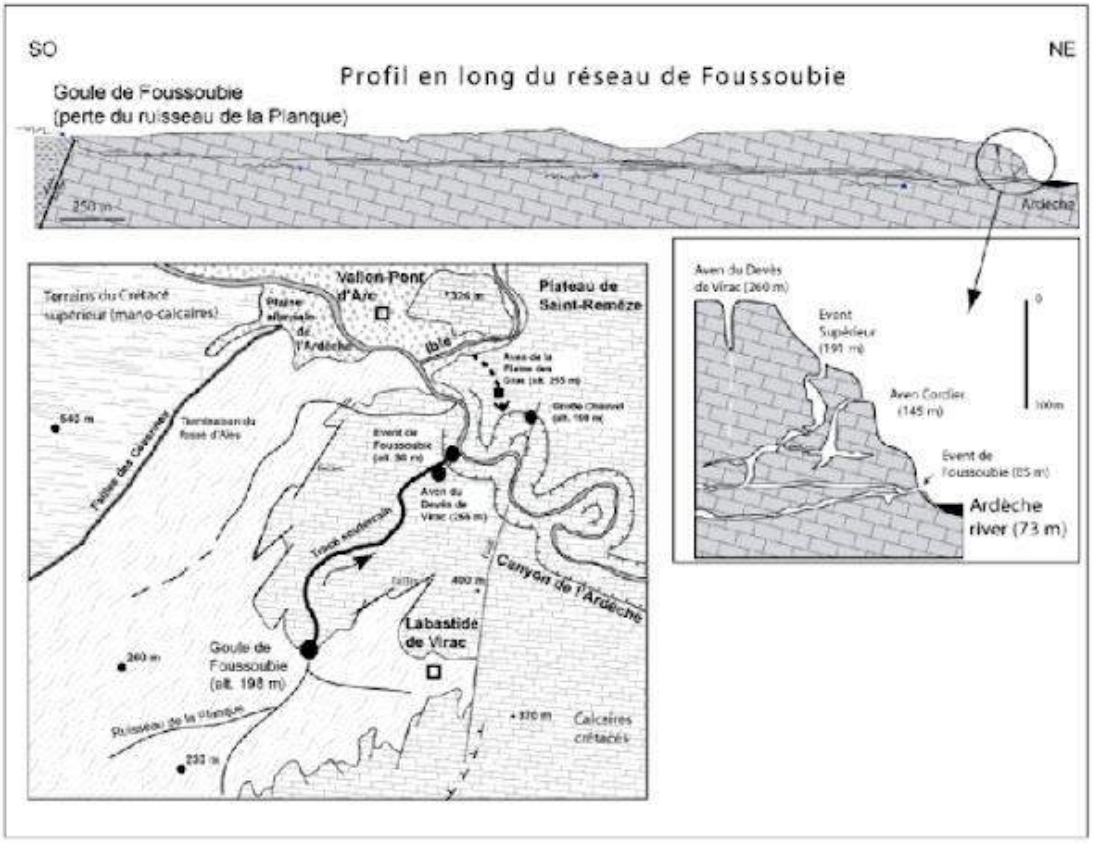


Figure 1 Le réseau de Foussoubie (Mocochain Ludovic (2007))

Contexte géologique

Le réseau karstique de Foussoubie se développe en totalité dans les calcaires de l'Urgonien.

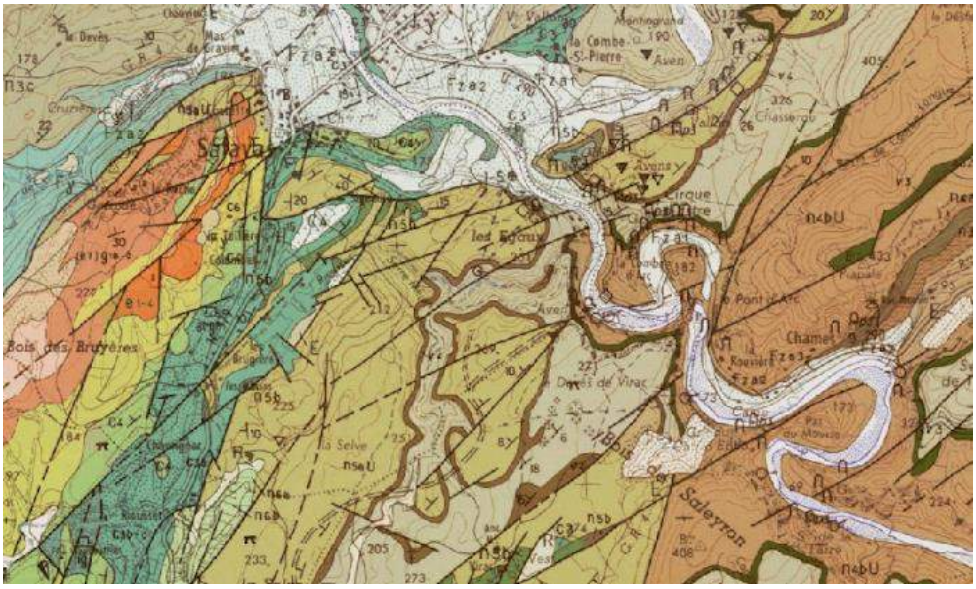


Figure 2 Extrait carte BRGM

S'agissant d'un drain, ce système comporte d'importants conduits horizontaux. Ceux-ci ne sont jamais très larges (quelques mètres tout au plus mais peuvent en revanche atteindre une dizaine de mètres de hauteur et cela sur plusieurs dizaines de mètres de long.

La cavité est essentiellement horizontale, sa dénivellation verticale n'excédant pas 135m.

Dès la zone d'entrée, le réseau s'enfonce par une succession de puits d'environ 60

Contexte hydrologique

Le système de Foussoubie est connu pour l'ampleur et la violence de ses épisodes de crues. Tout spéléologue connaît le terrible drame qui s'est joué en 1963 ou des spéléologues furent bloqués par une soudaine montée des eaux.

Le réseau spéléologique de la goule à l'évent est une percée hydrologique de 7kms. Le bassin de la Goule mesure 14,4 km² et le réseau Foussoubie développe 23km ce qui en fait le deuxième plus grand réseau spéléologique Ardéchois.

La rivière suit un parcours de 5,5 kms avant de se jeter dans l'Ardèche.

Les dernières études du réseau, effectuées par un collectif (Jaillet et al, 2012) (Cailhol et al, 2014) ont permises de mieux comprendre les aspects morphologiques et fonctionnels du réseau spéléologique dans l'optique d'en décrire le fonctionnement hydrique. En 2010, le réseau a été

instrumenté à l'aide de sondes Reefnet afin de documenter en continue les variations de hauteur d'eau.

Il ressort de ces données que les régimes de crues représentent 20 % du temps dans ce réseau. En cas d'épisode exceptionnel comme en 2002, un véritable lac s'est formé dans le poljé, bassin d'alimentation de la goule. Les débits sont alors de plusieurs mètres cubes par secondes.

La même équipe a également réalisé un traçage permettant de connaitre le temps de transit moyen de l'eau dans le système en période d'étiage et on peut remarquer l'extrême lenteur des circulations (plus de 216 heures) entre la vasque d'entrée de la Goule et l'Event qui contraste fortement avec les vitesses mesurées en période de crue.

Figure 3 Traçage réalisé en 2010 confirmant le caractère transmissif du système photo: Jaillet

Il est à noter que des colorants ont aussi été détectés à la source de Vanmale en aval du Pont d'Arc, sans que pour l'instant aucune galerie n'ait pu être découverte dans cette direction.

Biospéléologie

Il existe dans la Goule de Foussoubie les trois types de faune cavernicole : Trogloxène, troglophile et troglobie. La faune trogloxène est une faune apportée par les crues ; crapauds, larves de libellules, diptères et araignées. La faune troglophile et représentée par les araignées *Nesticus* et par les pseudoscorpions. La Faune troglobie est constituée de crustacé (*Niphargus)* et de coléoptères (*Speotrechus* et *Diaprysius)*

Il est intéressant de noter que malgré la puissance des crues, la faune cavernicole y survit en se réfugiant dans les interstices et dans les portions de la cavité moins exposés à la crue.

Dans l'évent de Foussoubie, c'est la faune pariétale qui compose la majorité de la faune. Elle occupe d'ailleurs principalement l'entrée de la cavité.

Il est intéressant de noter qu'il y a très peu d'espèces liées à la faune cavernicole au niveau de l'évent après une crue, ce qui tend à confirmer que les individus cavernicoles supportent comme nous l'avons vu plus haut très bien les crues.

Historique et explorations

En languedocien, cette grotte a été nommée *la goulo de fous subite,* ce qui signifie *la gueule du ruisseau soudain.* Ce nom fut ensuite francisé en *Goule de Foussoubie (*Marcel CHAMONTIN).

L'homme connaît depuis fort longtemps le système de Foussoubie. En effet, les hommes préhistoriques ont connu peu ou prou le même paysage des gorges de l'Ardèche que celui que nous connaissons aujourd'hui.

La taille et la visibilité du porche de l'event de Foussoubie explique la quantité de matériel archéologique retrouvé (Age du Bronze, Gallo Romain…). Dès 1781, l'Abbé Giraud Soulavie rapporte que les consuls de Vagnas voulant visiter la goule ont enflammé le salpêtre présent sur

Figure 4 Extrait de la carte de Cassini 18eme siècle

les concrétions. La carte de Cassini pointe également l'entrée de la Goule en faisant également apparaître le cours d'eau sous terrain !

En 1892 Armand et Gaupillat sont arrêtés en haut du p12 de la Goule déjà en raison du CO2. De Joly, inventuer de l'aven d'Orgnac va quant à lui atteindre le premier chenal de la goule à 265m de l'entrée. En 1949 le S.C Montpellier va franchir le Lac des Plongeurs et escalader les parties supérieures de l'évent. L'Aven Cordier est découvert en 1958.

Entre 1959 et 1962, le développement du système est porté de 745 m à 13300 m et les plongeurs entrent en jeu !

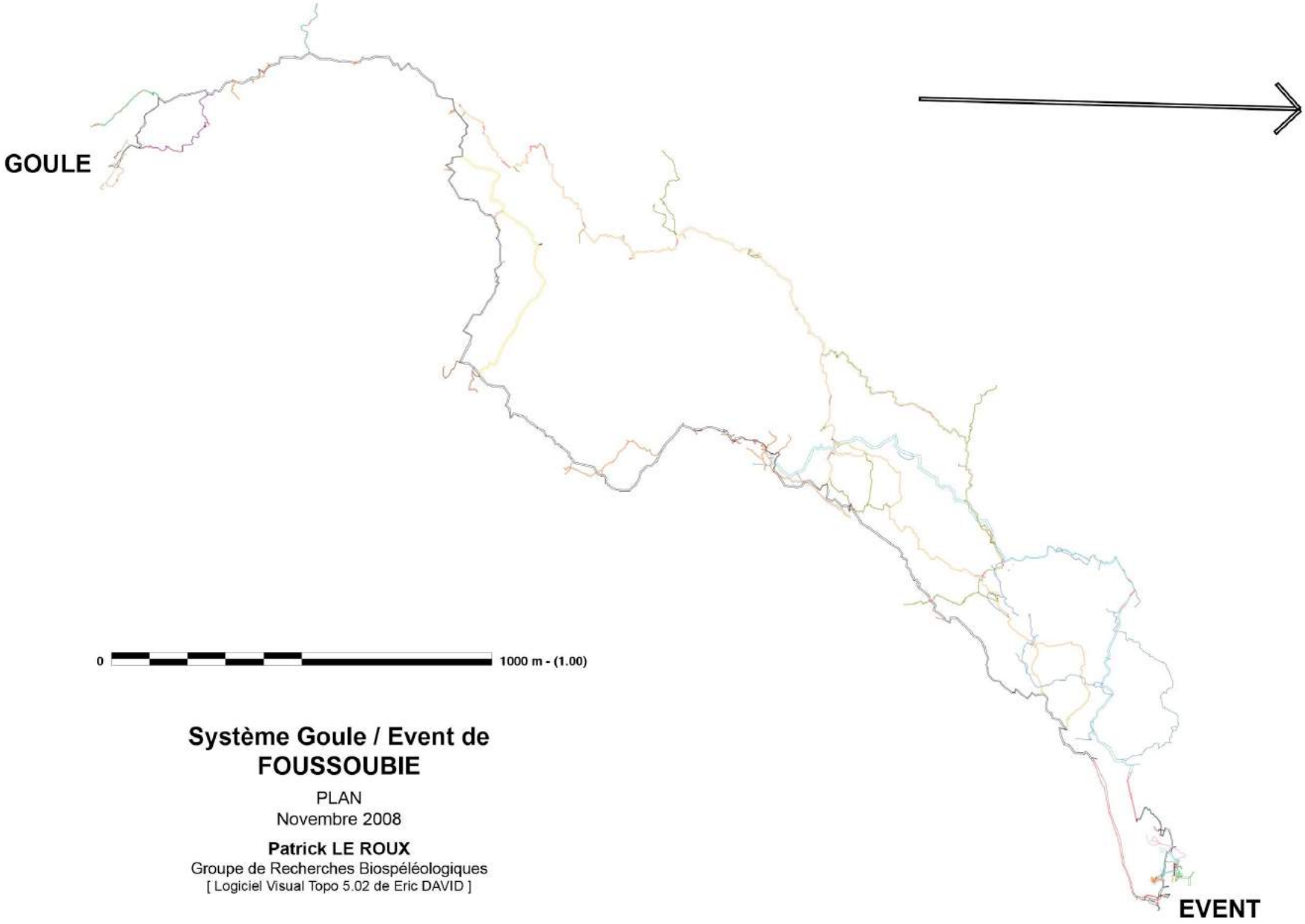
En 1963, cinq spéléos sont pris par une violente crue et seuls trois survivront.

Lucienne Golenvaux plongeuse belge porte le développement à 15000 m.

Depuis lors, le développemnt total a été porté à 23266m.

La dernière grande campagne date de 2012. Selon Patrick Le Roux, grand spécialiste du réseau :"En plusieurs endroits du réseau, certains au-delà de siphons, il reste des bouts de galeries étroites à poursuivre, des cheminées à remonter, des désobstructions à faire, et quelques jonctions plausibles…"

Topographie du système Foussoubie



Historique des recherches scientifiques

De nombreuses recherches scientifiques vont s'intéresser au système Foussoubie au cours des 50 dernières années. Il est notamment important de signaler le travail important produit par le Groupement de recherche biospéléologiques (1972 - 1982) et cela dans de nombreux domaines: Biologie, chimie, géologie…

Des travaux universitaires sont également consacrés à Foussoubie comme la thèse de Luc Belleville, l'étude hydrologique et hydrobiologique de Philippe Vervier… Plus récemment en 2000, Stéphane Jaillet a organisé un stage scientifique moniteurs consacré à l'étude des coups de gouge, l'érosion des concrétions, la biospéléologie et la géomorphologie.

La thèse de Ludovic Mocochain (2007), puis celle de Benjamin Sadier (2013) ont fait avancer les recherches en géomorphologie.

Depuis 2009, le collectif "foussoubie" et le laboratoire EDYTEM de l'université de Savoie, étudient l'hydrologie et la morphologie des conduits du système Goule - Event de Foussoubie.

Séquence d'introduction aux méthodes de calcul de débit

J'ai choisi pour ce mémoire de cavité d'organiser une séquence sur les mesures de débit en grotte. Cette séquence est à destination des licenciés de la fédération française de spéléologie.

En effet, ce public est celui qui passe le plus de temps dans les grottes et qui est donc le plus à même d'utiliser les mesures de débits pour mieux comprendre son environnement.

Au cours de leurs explorations, les spéléologues peuvent être amenés à calculer un débit de bien des façons en fonction de la morphologie de la cavité, de leurs connaissances, des outils à leur disposition ou encore du temps disponible.

Ce public présente également un avantage certain, il s'agit d'un public motivé et autonome sur corde.

L'objectif de cette séquence sera de mettre les stagiaires en situation après un cours consacré aux bases théoriques à la base départementale de Salavas.

Organisation de la séquence :

Ma séquence sera divisée en deux séances :

La première sera consacrée à la présentation des diverses méthodes de calcul de débit et à la présentation des divers matériels nécessaires.

Ensuite, pour la seconde séance, sur le terrain, ils seront amenés à essayer plusieurs méthodes et à comparer les résultats de celles-ci. Outre la mise en application des méthodologies vues en cours, cela leur permettra de choisir avec justesse les méthodes et outils qu'ils utiliseront dans leurs activités de spéléologue.

Chaque groupe préparera ensuite une synthèse de ses travaux qu'il présentera au reste des stagiaires. Les données seront ensuite mises en commun pour tenter de comprendre le système de Foussoubie.

Intérêt de la séquence :

Cette séquence permettra aux **stagiaires** de :

-Avoir un autre regard sur les grottes, les appréhender à partir de l'élément aquatique, les traces laissées, l'itinéraire de la rivière…

-Savoir adapter ses outils en fonction des zones étudiées, des formes de la rivière…

-Appréhender de nouvelles connaissances

-Mettre en place des protocoles

-Comparer des méthodes d'une façon scientifique

-Changer de focale en mettant en commun les résultats de plusieurs équipes dans l'optique d'appréhender de façon plus globale un système

Cette séquence a également un but pragmatique pour les **CDS et la FFS :**

-Fournir aux licenciés des outils permettant d'aider à la réalisation de plans d'envergure. Je pense notamment à l'étude globale du système Foussoubie en cours ou à la future étude du système Cotepatière – Peyrejal pour ne citer que l'Ardèche.

Fiche de Séquence

Séquence d'initiation à la mesure de débit, l'exemple de Foussoubie	
Sujet	Hydrologie, la mesure de débit
Durée	2 jours
Public	spéléologues membres de la FFS
Nombre de personnes	8 stagiaires et 2 encadrants
Questionnements	-Pourquoi mesurer le débit d'une rivière ? -Quelles sont les méthodes de mesure du débit ? -Est-ce que toute l'eau qui rentre dans le Goule en ressort à l'Event de Foussoubie ?
Objectifs	-Etre capable d'exprimer une hypothèse de travail -Etre capable de mettre en place un protocole scientifique visant à confirmer ou à infirmer notre hypothèse -Etre capable de mettre en place un protocole de mesure -Etre capable de choisir la bonne méthode en fonction de la géographie de la rivière. -Etre capable d'analyser de manière critique les résultats obtenus -Etre capable de comparer des résultats à l'échelle d'une cavité
Connaissances pré requises	Les méthodes de calcul de débit
Matériel nécessaire	Matériel de spéléologie Bidon de 6 L Sac de 40 L Fluorimétre Fluorescéine Sel Conductimètre Règle graduée Fiches récapitulatives AFNOR Décamètre Fil à plomb Chronomètre Bâche Ficelle Laser Gants Carnet étanche

Séance préparatoire en salle

Cette séquence s'adresse donc à 8 stagiaires, tous spéléologues volontaires et autonomes sur corde. Ils seront encadrés par deux cadres.

Ne connaissant pas leur niveau théorique concernant l'hydrogéologie, je décide d'organiser en salle un bref récapitulatif des moyens permettant de calculer le débit d'un cours d'eau mais aussi et surtout, les raisons qui nous poussent à calculer le débit.

En effet, c'est toujours bien d'avoir sa trousse à outils avec soi, mais à quoi sert-elle si l'on n'a rien à en faire ?

Problématique:

Est-ce que toute l'eau qui rentre dans la Goule ressort à l'Event de Foussoubie ?

La première étape de notre journée va être de réfléchir à la meilleure façon de répondre à cette question.

Les stagiaires vont être amenés en demi-groupes à formuler une hypothèse et à imaginer des protocoles scientifiques permettant de répondre à cette question.

Pour répondre à cette question, l'un des protocoles pourrait être de mesurer le débit à la Goule de Foussoubie et de mesurer le débit qui ressort au niveau de l'Event de Foussoubie.

Pour effectuer ces mesures de débits, il faut disposer de connaissances concernant les méthodes de calcul. Les cadres vont donc présenter aux stagiaires à leur demande les différentes mesures de débits possibles. En effet, si le calcul de débit est finalement assez facile à comprendre (il ne s'agit finalement que de comptabiliser le volume d'eau traversant un lieu donné à un instant t) les méthodes pour calculer le dit débit vont en revanche du très facile au très compliqué.

Les connaissances pré requises

Le pifomètre ou estimation "à l'oeil"

C'est la première mesure que l'on effectue, elle est empirique, dépend du bon sens, de l'observation et surtout de l'expérience.

Le but est d'estimer le débit d'un cours d'eau d'un simple coup d'oeil. On peut s'aider de l'image mentale que l'on souhaite (bidon de 6L, verre d'eau ou chope de bière) en se posant la question suivante: "en combien de secondes vais-je remplir mon contenant?"

Si cette méthode paraît tout à fait hasardeuse, elle permet en revanche d'affiner le choix d'une méthode plus scientifique ensuite.

Il est intéressant de noter que le pifomètre possède sa norme AFNOR 00 001

Capacitive

Cette méthode est à réserver aux débits réduits (maximum 2 à 3 L par min). La source ne doit pas être ruisselante et son cours doit pouvoir être déviable.

Le but est de dévier le flux dans un contenant dont le volume est connu et de calculer le temps que va mettre ce contenant à se remplir.

Nous obtenons ainsi un temps par rapport à un volume.

Cette méthode donne de très bons résultats pour peine que l'on puisse capter l'intégralité du flux et que l'on puisse réduire au maximum les incertitudes liées au temps de déclenchement du chronomètre.

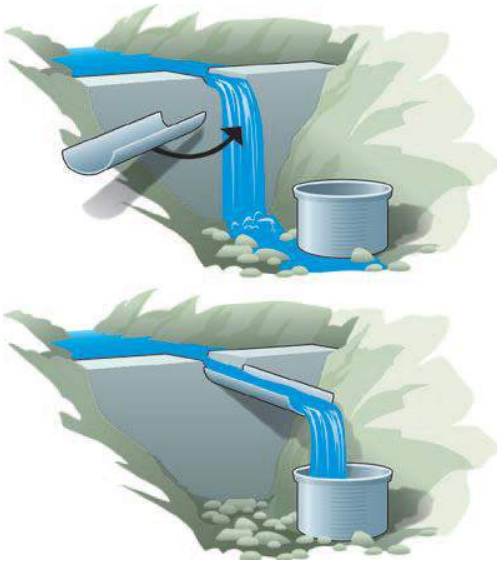


Figure 5 schéma expliquant la mesure capacitive AFNOR

Flotteurs

Si l'on dispose d'une zone présentant une section relativement constante, nous allons pouvoir en sélectionner une longueur et calculer le temps mis par un flotteur pour parcourir cette distance.

Nous allons ensuite calculer au mieux la surface des sections et en faire la moyenne. La formule de calcule de débit est la suivante:

D= k*v*S

K est ici le coefficient à appliquer pour prendre en compte le frottement des parois, du fond mais aussi le coefficient de frottement de l'air sur le flotteur (prendre en 0,4 et 0,8 selon l'irrégularité du fond et des parois, 0,4 représentant le très irrégulier).

Il est à noter que ce coefficient est extrêmement variable est que le résultat le sera donc lui aussi.

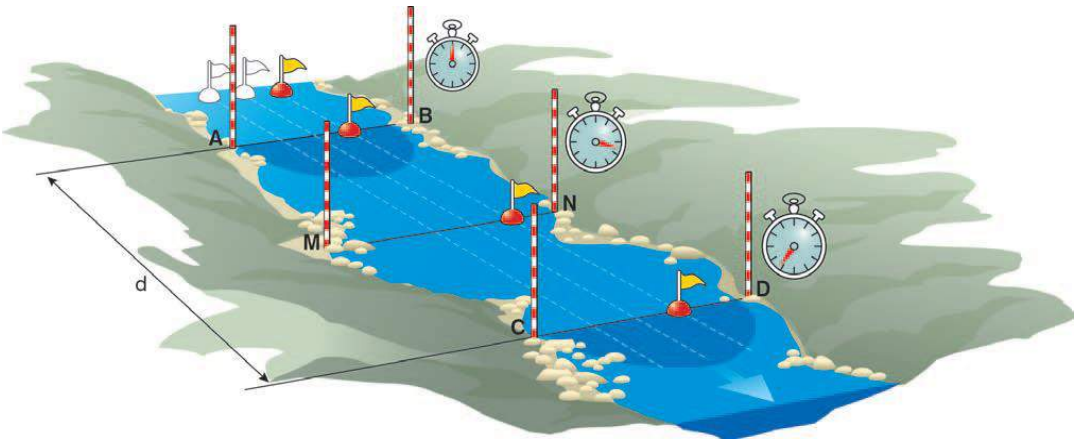


Figure 6 schéma expliquant la mesure par flotteur AFNOR

Hydraulique (déversoir)

Il est possible de calculer le débit à partir d'un déversoir à partir de formules simplifiées. Ces formules changent en fonction de la forme du seuil. Des expérimentations montrent qu'il est possible de raccrocher les modèles géométriques à des formations présentes sous terre (par exemple les gours)

En simplifiant, et si le déversoir est régulier, il est possible d'utiliser la formule simplifiée suivante:

D=1,7*b*h^1,5 (b est la distance entre chaque mesures de hauteur, h la hauteur d'eau)

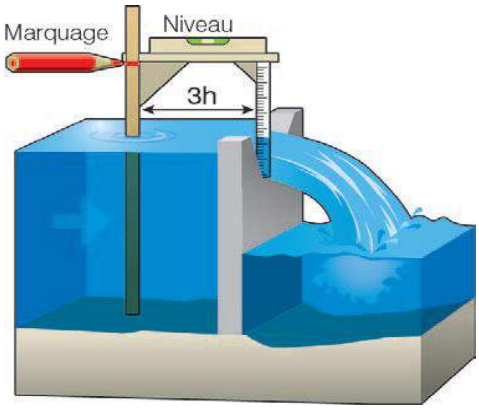


Figure 7 schéma expliquant la mesure hydraulique AFNOR

Les traceurs artificiels Fluorescéine / Sel

Un bref historique des traçages artificiels

Réaliser un traçage artificiel consiste à intégrer dans un milieu « toute substance (sel, soluble, colorant, corps en suspension, eau marquée par isotope radioactif etc.) absente dans les conditions naturelles de l'aquifère étudié et détectable, incorporée à l'eau, pour l'identifier et

permettre d'observer son mouvement » (Castany et Margat, 1977). Cette action volontaire remonte à l'antiquité en ce qui concerne les mouvements d'eaux souterraines en utilisant notamment de la paille ou de la sciure. En 1877 a eu lieu un traçage au sel sur 12 km entre les pertes du Danubre et la source de l'Aach en Allemagne. En 1877 également a lieu le premier traçage à la fluorescéine en utilisant sa visibilité. Jusqu'à récemment, la méthode était surtout utilisée pour connaitre les points de résurgence des eaux d'une perte, notamment pour les explorations spéléologiques.

En hydrogéologies, les traceurs artificiels utilisés en hydrogéologie sont scindables en 3 grandes catégories :

Les traceurs solubles à l'eau (fluorescents, salins, tensioactifs…)

Ces sont les traceurs les plus utilisés dans le domaine karstique en raison de leur faible coût et de leur facilité de mise en œuvre.

Les traceurs radioactifs

Les traceurs sous forme de particules (spores, microsphères fluoresentes…)

Il s'agit sans aucun doute de la meilleure méthode. Elle permet de calculer de façon précise un débit quel que soit sa puissance (dans la limite du respect de la sécurité de l'opérateur évidemment).

La méthode consiste à insérer dans le milieu un traceur soluble à l'eau et à calculer sa concentration dans l'eau à une distance éloignée de son point d'injection de minimum 25 * la largeur moyenne du cours d'eau.

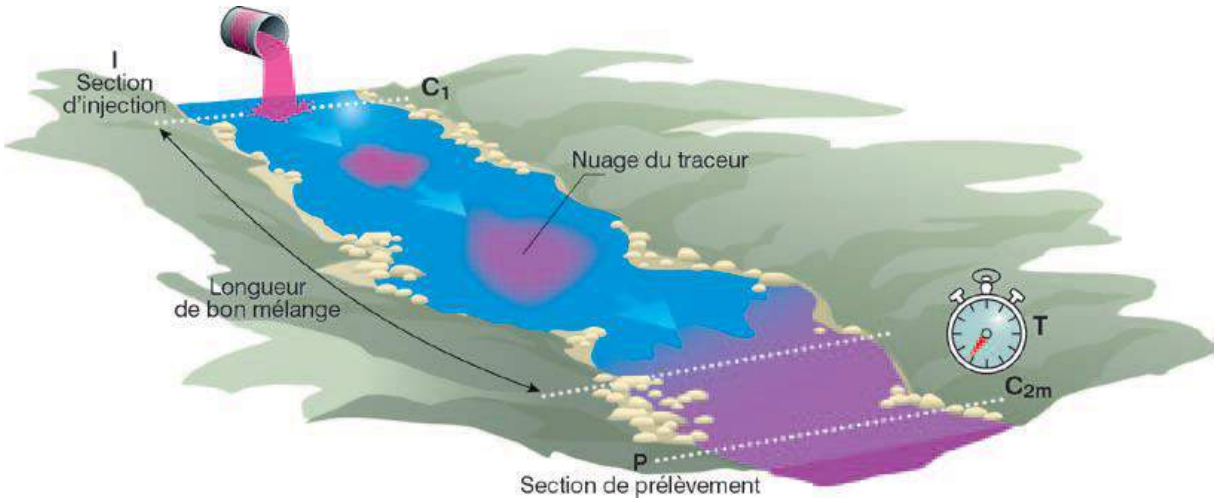
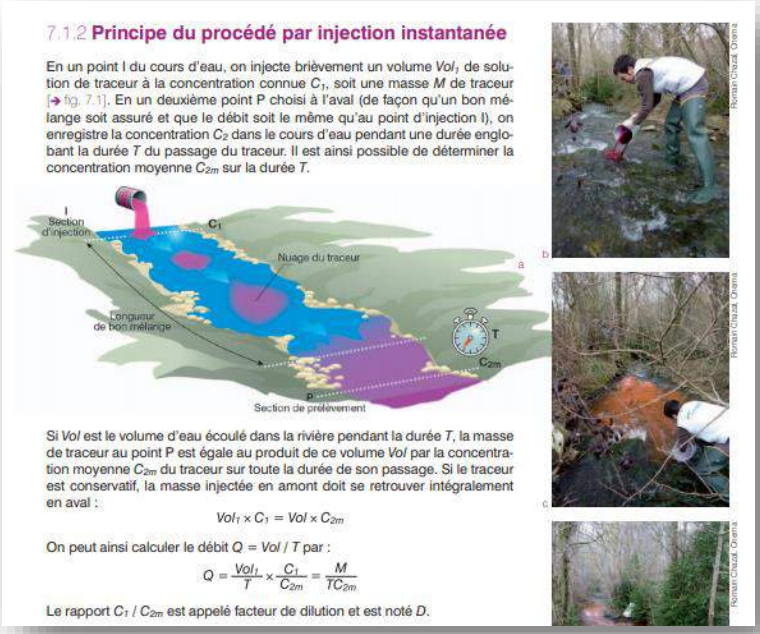


Figure 8 schéma expliquant la mesure par traceur AFNOR

Toutes ces informations seront fournies au stagiaire sous forme de fiche plastifiées pour qu'elles

puissent être utilisées sous terre. Les fiches comprennent les méthodologies, ainsi que les formules et des schémas explicatifs.

Exemple de fiche tiré de l'excellent guide de contrôle des débits réglementaires de l'ONEMA :



7.1.2 **Principe du procédé par injection instantanée**

En un point I du cours d'eau, on injecte brièvement un volume Vol_I de solution de traceur à la concentration connue C_1, soit une masse M de traceur [→ fig. 7.1]. En un deuxième point P choisi à l'aval (de façon qu'un bon mélange soit assuré et que le débit soit le même qu'au point d'injection I), on enregistre la concentration C_2 dans le cours d'eau pendant une durée englobant la durée T du passage du traceur. Il est ainsi possible de déterminer la concentration moyenne C_{2m} sur la durée T.

Si Vol est le volume d'eau écoulé dans la rivière pendant la durée T, la masse de traceur au point P est égale au produit de ce volume Vol par la concentration moyenne C_{2m} du traceur sur toute la durée de son passage. Si le traceur est conservatif, la masse injectée en amont doit se retrouver intégralement en aval :

$$Vol_I \times C_1 = Vol \times C_{2m}$$

On peut ainsi calculer le débit $Q = Vol / T$ par :

$$Q = \frac{Vol_I}{T} \times \frac{C_1}{C_{2m}} = \frac{M}{TC_{2m}}$$

Le rapport C_1 / C_{2m} est appelé facteur de dilution et est noté D.

Figure 9 extrait des fiches récapitulatives AFNOR

Ensuite chaque groupe constituera son paquetage. Le matériel sera sélectionné par les stagiaires en fonction des méthodes pour qu'ils puissent manipuler le matériel et préparer au mieux leurs futurs ateliers.

Séance en milieu karstique

Les stagiaires vont être organisés en groupes de 4. Chaque groupe va s'occuper d'une zone en particulier.

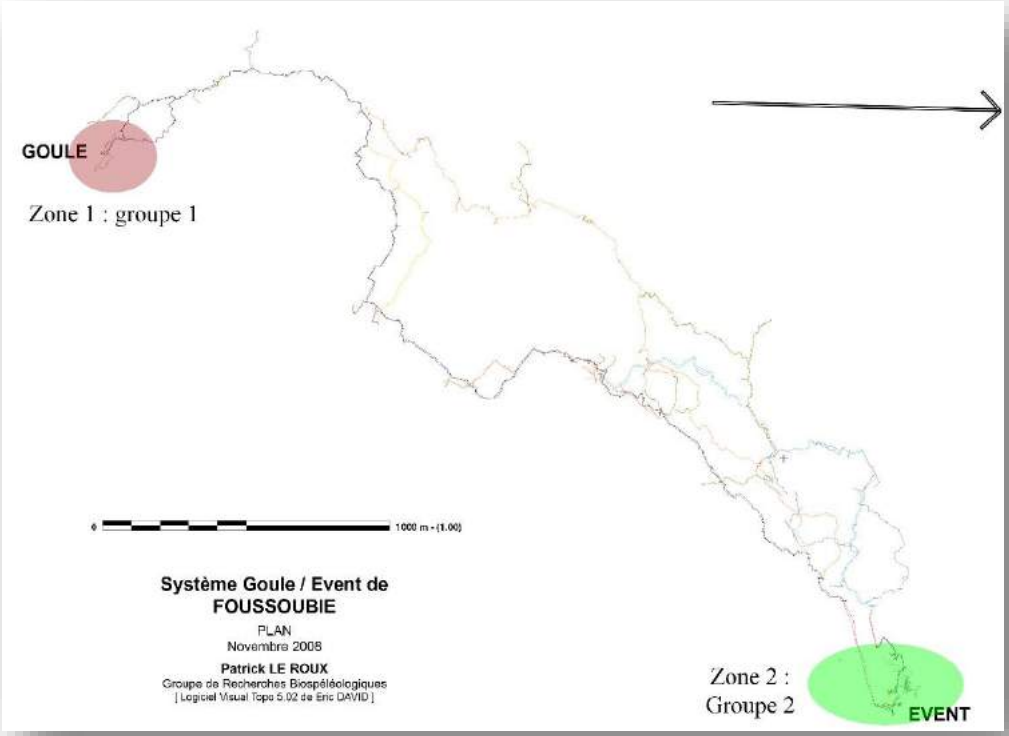
Pour cela, j'ai divisé la cavité en stations :

Zone 1 groupe 1 :

L'entrée de la Goule de Foussoubie

Zone 2 groupe 2 :

Du siphon de l'évent à l'Ardèche



Chaque groupe va se rendre sur sa zone avec son encadrant. Comme nous l'avons vu précédemment, les groupes auront préparé le matériel nécessaire pour chaque méthode.

Le matériel dont dispose chaque groupe

Méthode	**Matériel**
Estimative	Pif
Capacitive	Bidon de 6 L Chronomètre Sac étanche de 40 L
Flotteur	Flotteurs Chronomètre Ficelle Deux décamètres
Hydraulique	Laser ou niveau à bulle Deux décamètres
Fluorescéine	Fluorescéine Sondes Ficelles
Sel	Sel Sac étanche de 40 L Gants Conductimètre Balance Chronomètre
Matériel général	Carnet étanche Crayon à papier Différents feuilles de terrain en fonction des méthodes

Observations et étude des zones de travail

Les zones ont été choisies pour la diversité des stations permettant la prise de mesures. De plus, la première zone correspond à l'entrée du système de Foussoubie, ce qui va nous permettre d'obtenir un débit de l'eau qui rentre dans le système alors que la seconde zone est située à la sortie de la grotte, ce qui va nous permettre d'obtenir un débit de l'eau qui sort de la grotte. Ces deux débits pourront donc être analysés par les stagiaires pour tenter de comprendre l'hydrologie du réseau.

Caractéristiques de la zone 1 :

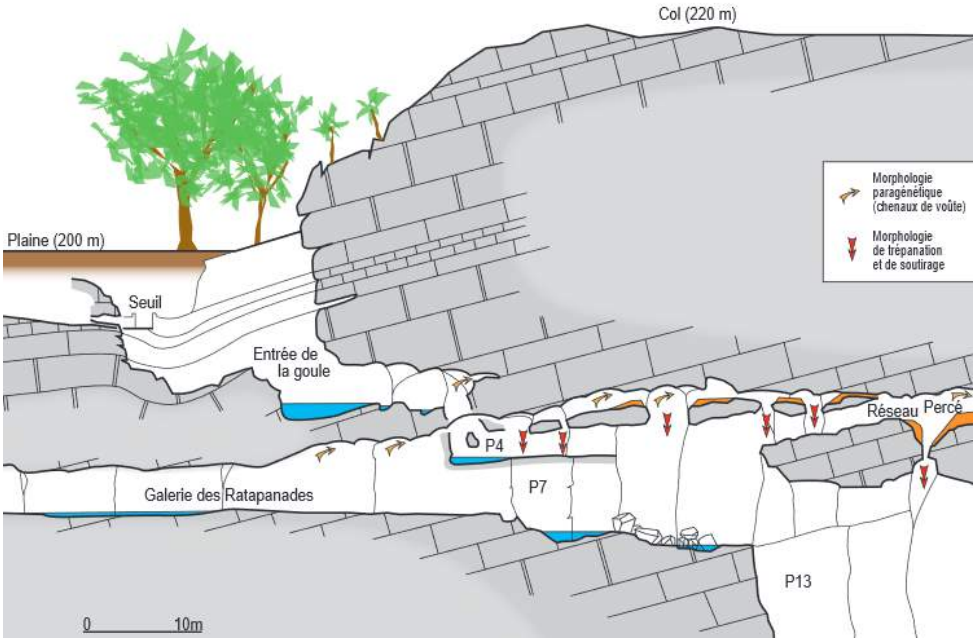


Figure 10 Coupe de la zone d'entrée de la Goule de Foussoubie (Jaillet et al 2012)

Il s'agit de la zone d'entrée de la goule de Foussoubie. Cette zone permet plusieurs types de mesures. En effet, un seuil maçonné a été créé il y a de cela plusieurs dizaines d'années. Il permet un **jaugeage hydraulique** et **capacitif** à l'aide d'une bâche. Egalement, le cours d'eau en amont du seuil permet l'utilisation de la méthode des flotteurs et l'injection des traceurs qui seront aisément mélangés par la petite cascade du seuil et éventuellement si le débit est important par le P4 qui suit.

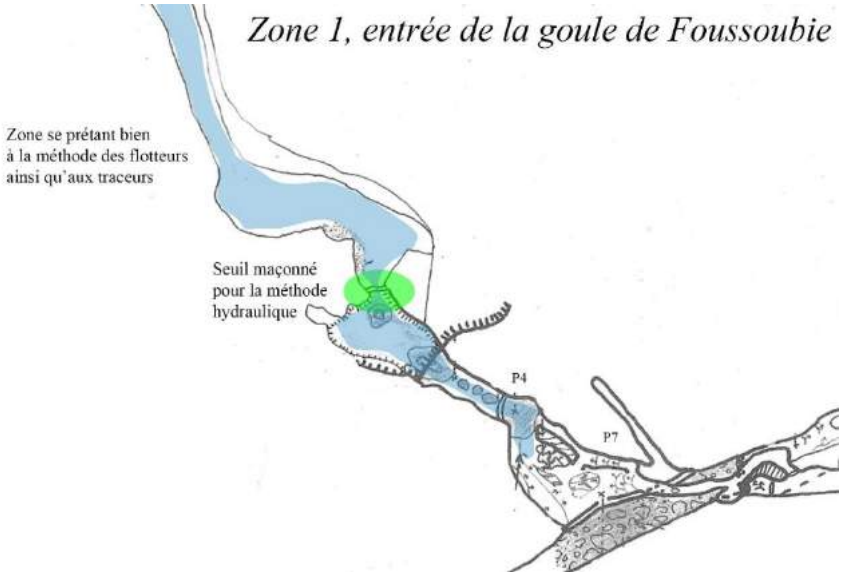


Figure 11 Schéma de la Zone 1, d'après LE ROUX Patrick (avril 1977) modifié

Caractéristiques de la zone 2 :

La zone 2 correspond à l'event de sortie du système Foussoubie et plus précisément à la zone située entre le siphon et la perte. L'eau s'y engouffre avant de ressortir dans l'éboulis puis se jeter dans l'Ardèche. Cette zone se prête parfaitement aux différentes méthodes de mesure de débit (voir schéma de la zone)

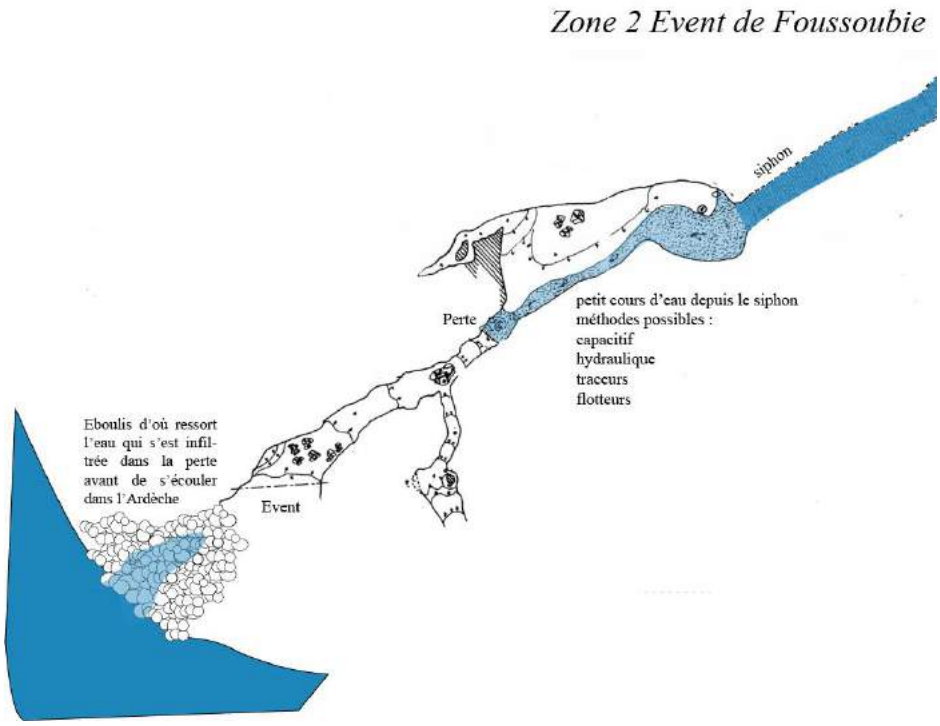


Figure 12 Schéma de la Zone 2 d'après SLAMA Pierre (octobre 1977) modifié

Protocole d'analyse

-Etape 1 : Etudier la zone. *Il est important de faire un tour complet de la zone pour comprendre son fonctionnement hydrologique. Je ne vais pas faire une mesure de débit sur un tout petit affluent alors que je souhaite mesurer le débit du cours d'eau principal.*

-Etape 2 : Repérer les portions de cours d'eau qui se prêtent le mieux aux différentes méthodes.

Chaque méthode nécessite une configuration particulière. Il est par exemple exclu d'utiliser une méthode capacitive à un endroit donné si il est impossible à cet endroit précis de capter toute l'eau. De la même façon, on doit être sûr que la distance entre le point d'injection et le point de mesure du traceur permette un bon mélange de celui-ci.

-Etape 3 : Pour chacune des méthodes, mettre en place le protocole et effectuer la saisie des données.

Pour chaque étape, il est demandé au stagiaire de documenter au maximum leurs actions. Pour cela, il leur a été remis un carnet de terrain contenant le plan de la zone vierge, les tableaux permettant de relever les différentes mesures ainsi que des penses bêtes.

Traitement des données

Une fois les données acquises sur le terrain, il est temps de synthétiser les données obtenues dans un rapport ainsi que dans une présentation à destination de l'autre groupe.

Pour chaque méthode :

Etape 1 : Repérer sur la carte la portion de cours d'eau utilisée

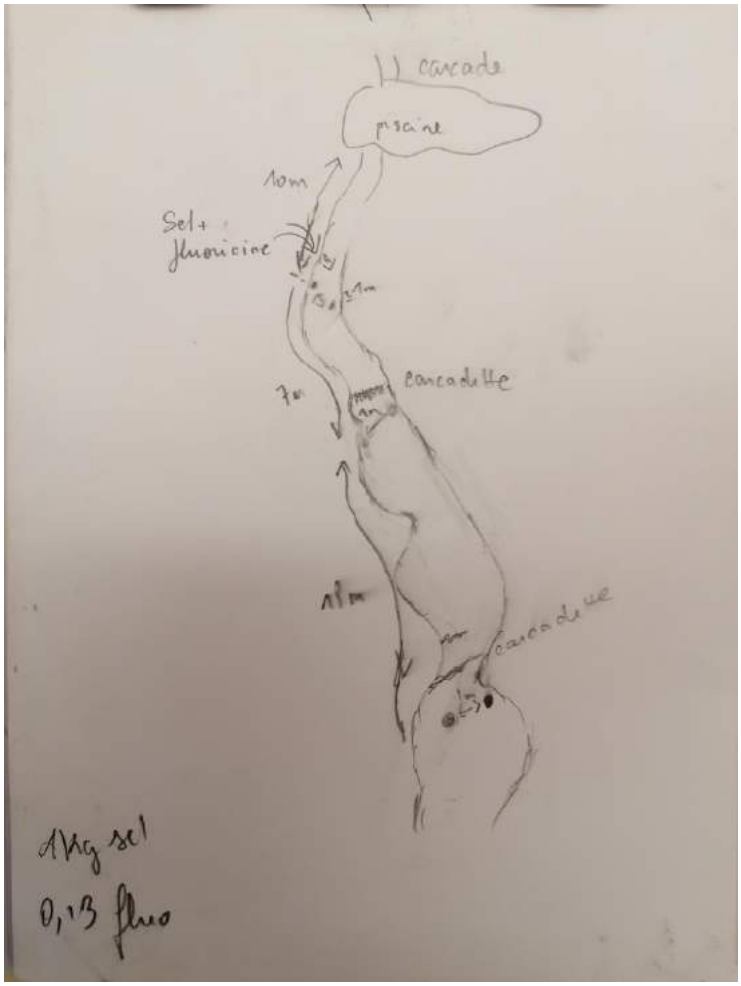


Figure 13 Exemple de Plan avec annotations

Etape 2 : Décrire le protocole mis en place

Etape 3 : Présenter un tableau et des graphiques compréhensibles mettant en avant les résultats obtenus

Position du flotteur	Rive gauche	Centre	Rive droite
Mesure 1 (s)	45	30	39
Mesure 2 (s)	36	29	36
Mesure 3 (s)	30	32	35
Mesure 4 (s)	32	30	34
Mesure 5 (s)	30	36	35
Moyenne (s)	34.6	31.4	35.8
Vitesse moyenne (cm/s)	21	23	20
Vitesse moyenne totale	21 cm/s		

Figure 14 Exemple de tableau donnant les temps et vitesses moyennes des flotteurs

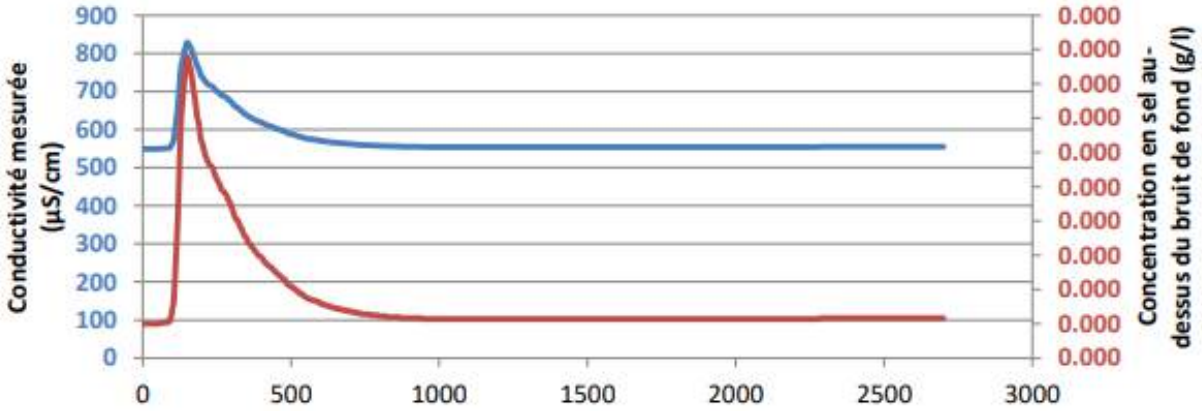


Figure 15 Exemple de graphique donnant la concentration en sel en fonction du temps (en secondes)

Etape 4 : Expliquer les résultats de cette méthode et ce qui aurait pu être modifié ou pondéré si les résultats ne vous semblent pas corrects

Pour chaque mesure, les stagiaires doivent analyser les réultats de celle-ci. Si le résultat ne leur semble pas correct, ils doivent donner une explication et proposer une façon d'améliorer la prise de cette mesure.

Etape 5 : Remplir le tableau suivant :

Les stagiaires grâce à ce tableau pourront comparer les différents types de mesures et ainsi avoir très clairement en tête les différents avantages et inconvénients de chacunes.

Méthode :	**Avantages**	**Inconvénients**
Estimative		
Flotteur		
Sel		
Hydraulique		
Fluorescéine		
Capacitive		

Bilan des résultats

A la suite de la rédaction du rapport d'activité et de la création du support de présentation, il sera demandé aux groupes de présenter leur travail. S'en suivra un temps d'échanges sur les avantages et inconvénients de chaque méthode et sur les meilleures façons d'optimiser les résultats.

A la suite de ces présentations il sera demandé aux groupes de comparer les débits mesurés pour répondre à la problématique du stage, à savoir :

Est-ce que toute l'eau qui rentre dans la Goule ressort à l'Event de Foussoubie ?

Grace à leurs mesures, les stagiaires vont pouvoir confirmer ou infirmer leur hypothèse. Ils vont également pouvoir, en fonction des résultats proposer d'autres hypothèses.

Afin de pouvoir permettre aux stagiaires d'évaluer les compétences acquises au cours de ce stage, il leur est remis en fin de séquence le tableau suivant. Celui-ci sera rempli en fin de séance juste avant un dernier débriefing centré sur la colonne des pourquoi remplie par les stagiaires :

Objectifs	Oui	Non	Pourquoi
-J'ai émis une ou des hypothèses de travail			
-J'ai proposé un protocole scientifique me permettant de répondre à mes hypothèses			
-J'ai acquis les connaissances nécessaires à la réalisation de mon protocole			
-J'ai pu choisir des zones adaptées aux méthodes utilisées			
-J'ai respecté la méthodologie propre à la méthode choisie			
-J'ai été précis dans la saisie des données			
-J'ai choisi les bons outils pour la création de mon rapport (tableur, graphiques…)			
-J'ai pu analyser les résultats et proposer si besoin des modifications (coefficient…)			
-J'ai pu comparer les différentes méthodes			
-J'ai pu répondre à la problématique du stage			

Conclusion

Le but de cette séquence avec ce public n'est pas d'évaluer leurs capacités mais bien de leur faire adopter une démarche scientifique et des connaissances acquises sur le terrain.

Je suis intimement persuadé que la formation interne au sein de la fédération doit jouer un rôle prépondérant. C'est pourquoi j'ai choisi ce public de fédérés pour permettre la réalisation de projets ambitieux et l'étude de système complexes. Je pense notamment à l'étude d'un système comme Peyrejal ou aux explorations actuellement en cours dans le réseau 5 de Saint Marcel.

D'un point de vue personnel, la conception de cette séquence a été un exercice complexe, en raison des attendus que je m'étais fixé en choisissant un public d'adultes et une thématique aussi large.

En revanche je vois dorénavant l'activité de professionnel de la spéléologie très différemment. En effet, je ne visiterais pas une grotte seulement en réfléchissant aux obstacles et au temps moteur mais aussi en réfléchissant à leur potentiel pédagogique.

Je souhaite ardemment dans mon futur de professionnel de la spéléologie, axer une partie de mon activité sur la pédagogie.

Bibliographie

Production écrite

Fécheroulle, Schneider, Zappelli et al (2016) *Hydrologie Souterraine méthodes et pratiques, compte rendu du stage équipier scientifique 2016*

Jaillet et al (2012) *Les crues du système karstique de Foussoubie* Dans *Karst paysages et histoires*

ONEMA (2011) *Contrôle des débits réglementaires*

Ressources internet

www.Foussoubie.fr

ANNEXES

Annexe 1 : Affiche distribuée par mail et affichée sur le calendrier de la FFS

Annexe 2 : Photos du stage de mesures de débit organisé les 25 et 26 Septembre 2020

Figure 16 Sondes et conductimètre en place

Figure 17 La fluorescéine arrive au niveau de la première sonde

Figure 18 mesures de la section du cors d'eau pour débit aux flotteurs

Figure 19 Invention et test d'une turbine homemade avec application connectée

Figure 20 Délimitation de la zone de mesure de débit aux flotteurs