

Un projet pédagogique d'étude du karst en Lozère ... et ailleurs.

Tout a commencé en **juin 2013** quand nous avons inscrit la classe de Première Scientifique du Lycée Peytavin dans le programme pédagogique de suivi de l'expédition scientifique internationale LENGGURU 2014 organisée par l'IRD de Montpellier, en Papouasie occidentale.

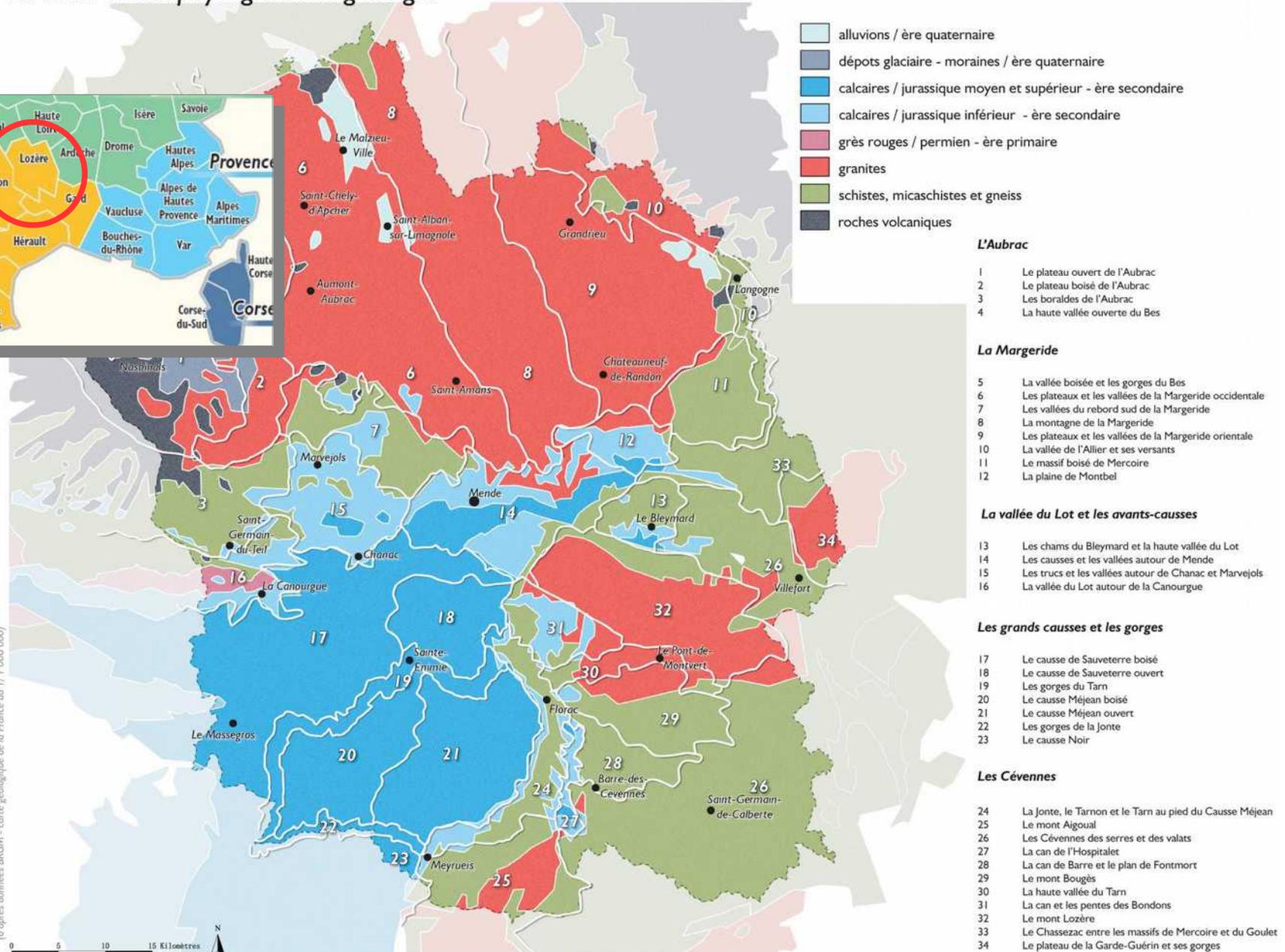


C'était l'occasion d'**enseigner les sciences en réalisant des investigations sur le terrain karstique** chez nous, dans les Causses lozériens aux environs de Mende, en Lozère, tout en mettant en relation nos élèves avec les scientifiques de l'expédition, des différentes disciplines des sciences de l'évolution, de la biologie et de la géologie.

Projet de recherche personnelle des élèves, échange avec des scientifiques, investigations sur le terrain des Causses lozériens, tous les ingrédients étaient réunis pour que les élèves développent des connaissances et des méthodes d'étude dans les différents domaines de la **karstologie** en utilisant les techniques de la **spéléologie** pour progresser dans le milieu souterrain.

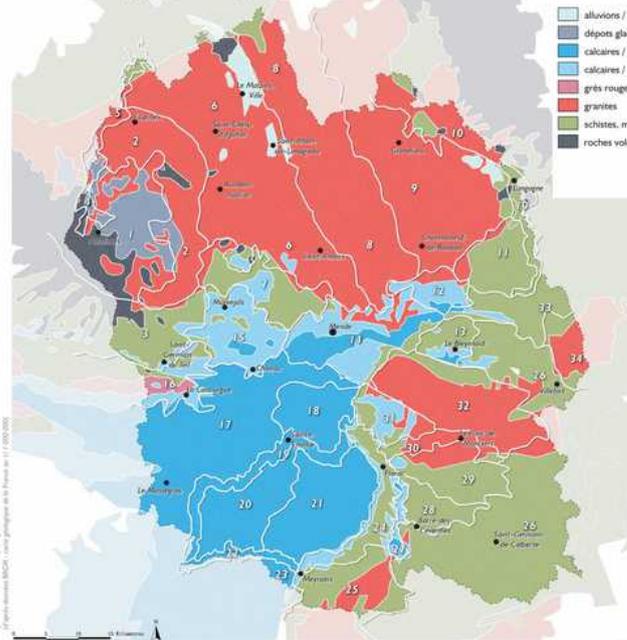
Contexte géographique et géologique (1)

La Lozère : les paysages et la géologie

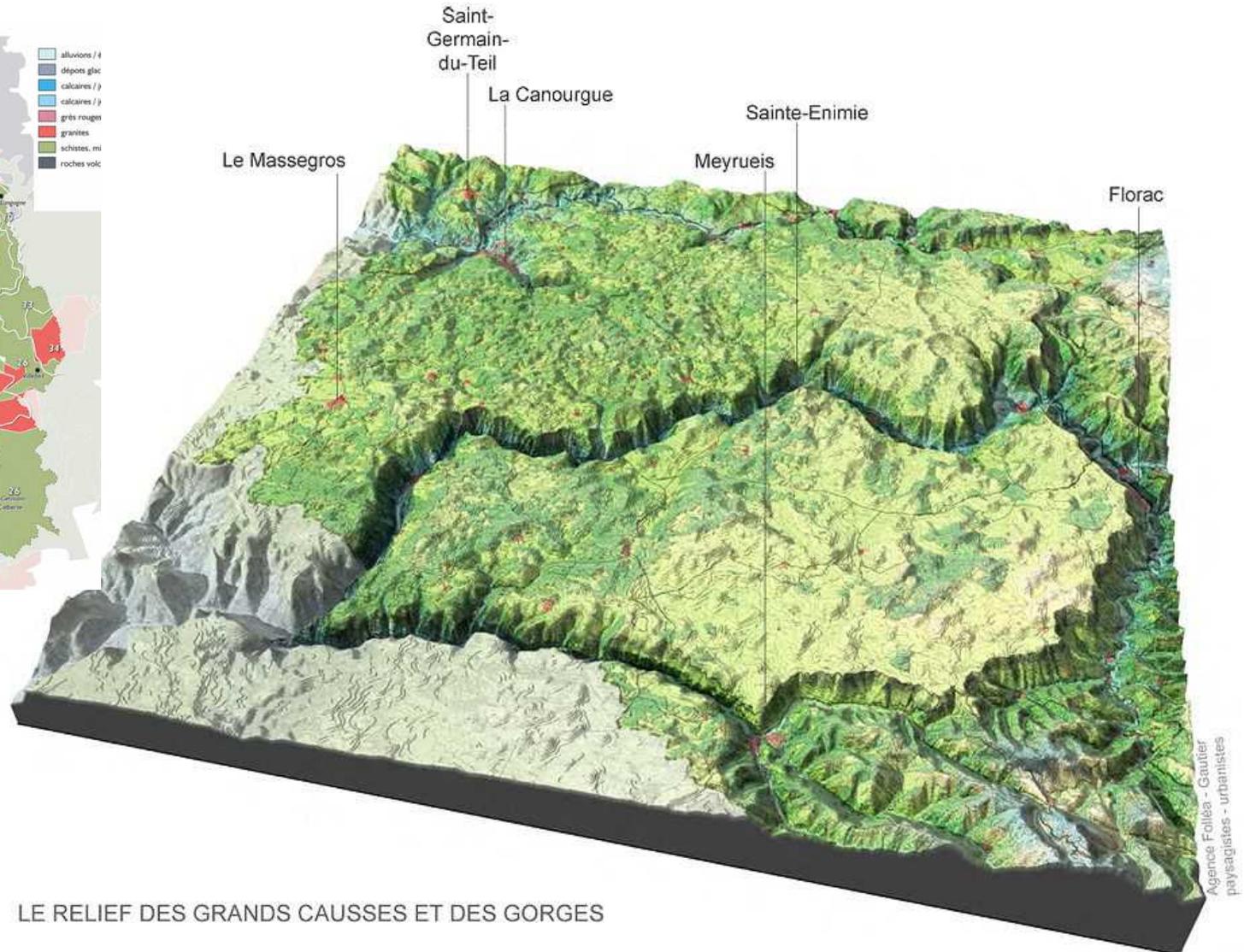


Contexte géographique et géologique (2)

La Lozère : les paysages et la géologie



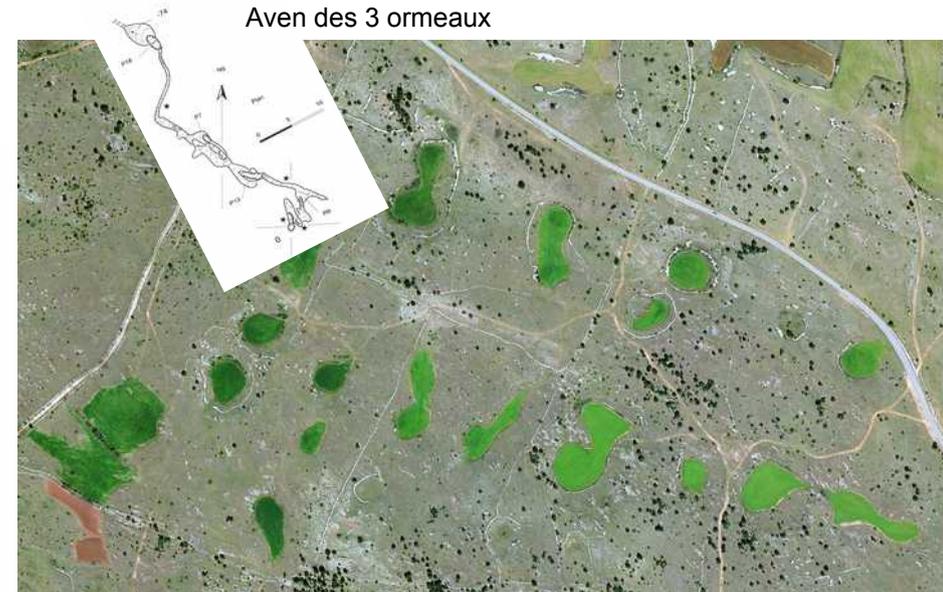
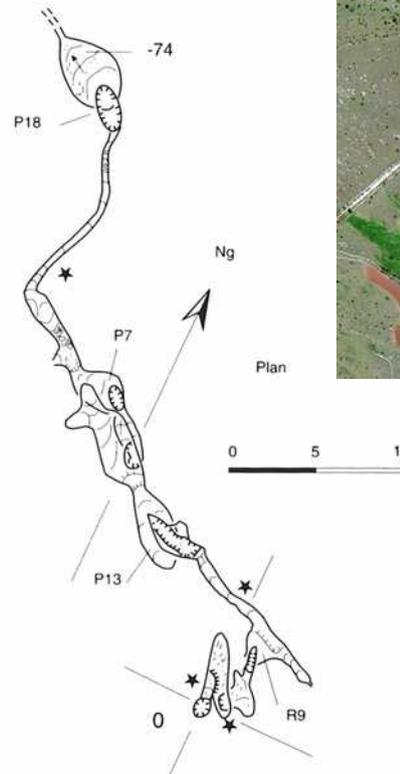
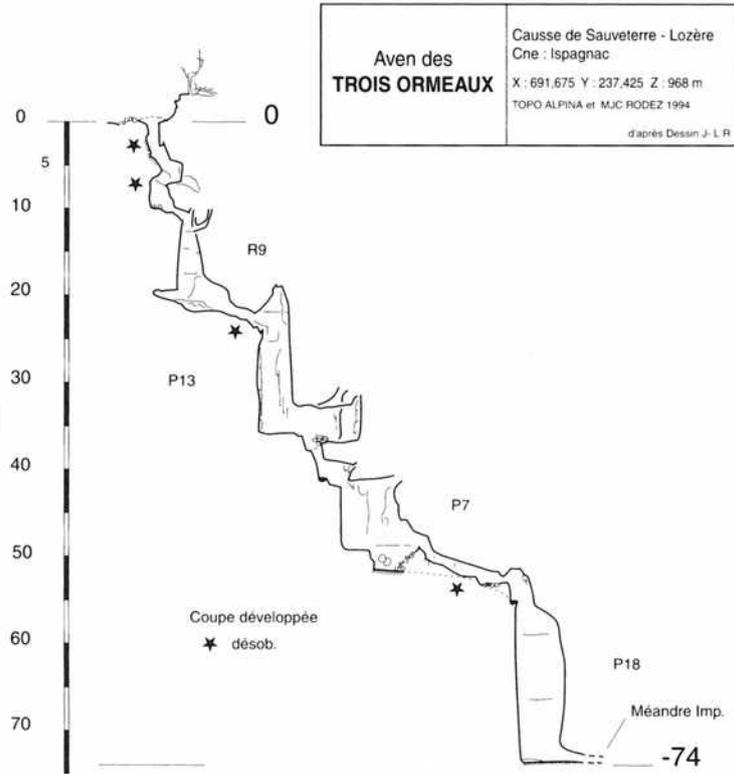
Atlas DREAL - LR



LE RELIEF DES GRANDS CAUSSES ET DES GORGES

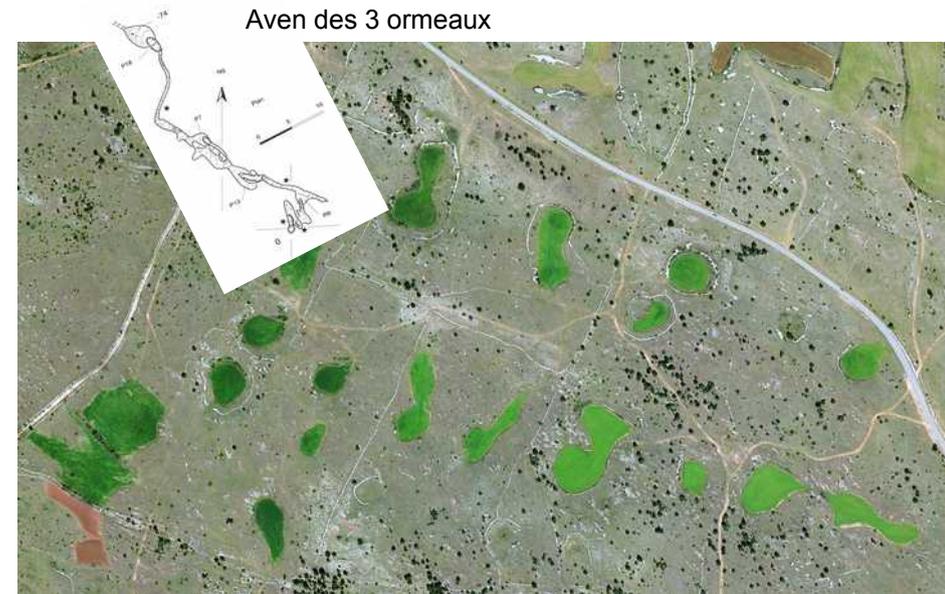
Notre terrain d'étude karstologiques (1)

Causse de Sauveterre – Dolines des Cheyrouses



Notre terrain d'étude karstologiques (1)

Causse de Sauveterre – Dolines des Cheyrouses



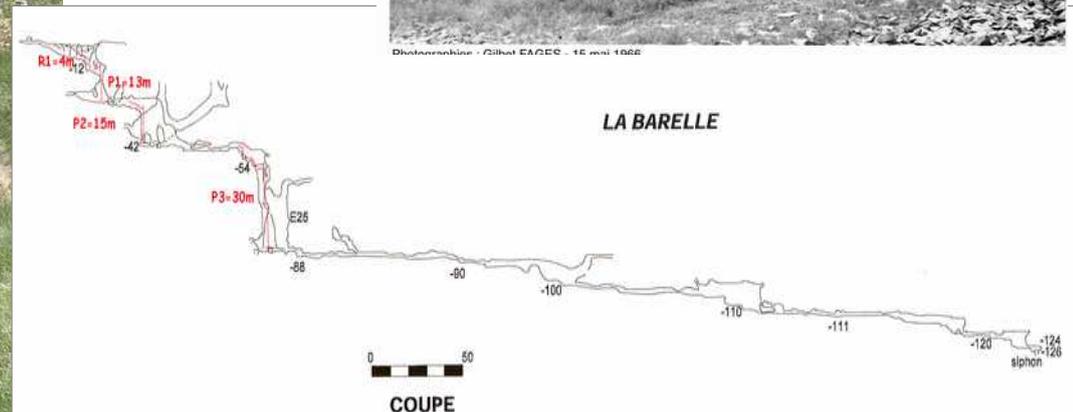
Aven des Cheyrouses



LIVE ON THE KARST

Notre terrain d'étude karstologiques (2)

Causse Méjean - Aven de la Barelle



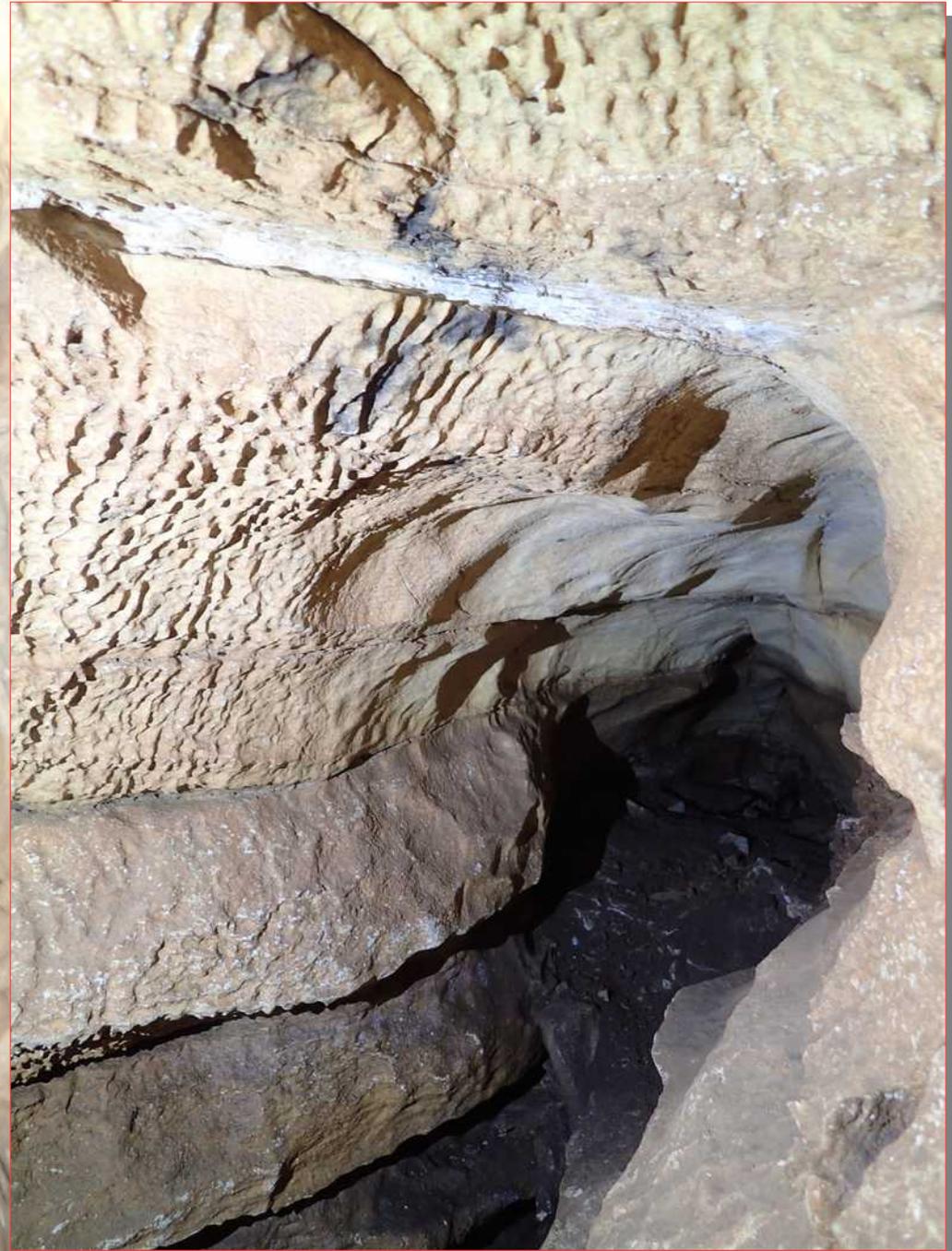
Notre terrain d'étude karstologiques (2)

Causse Méjean - Aven de la Barelle

Essai d'interprétation des figures d'érosion pariétales et de la forme des conduits...



Causse Méjean - Aven de la Barelle



Notre terrain d'étude karstologiques (3)

Avant Causses de la Vallée du Lot : Grotte de la Briquette (Barjac)



Avant Causses de la Vallée du Lot : Grotte de la Briquette (Barjac)



←
**? Indicateur de direction
des paléocourants ?**

Avant Causses de la Vallée du Lot : Grotte de la Briquette (Barjac)

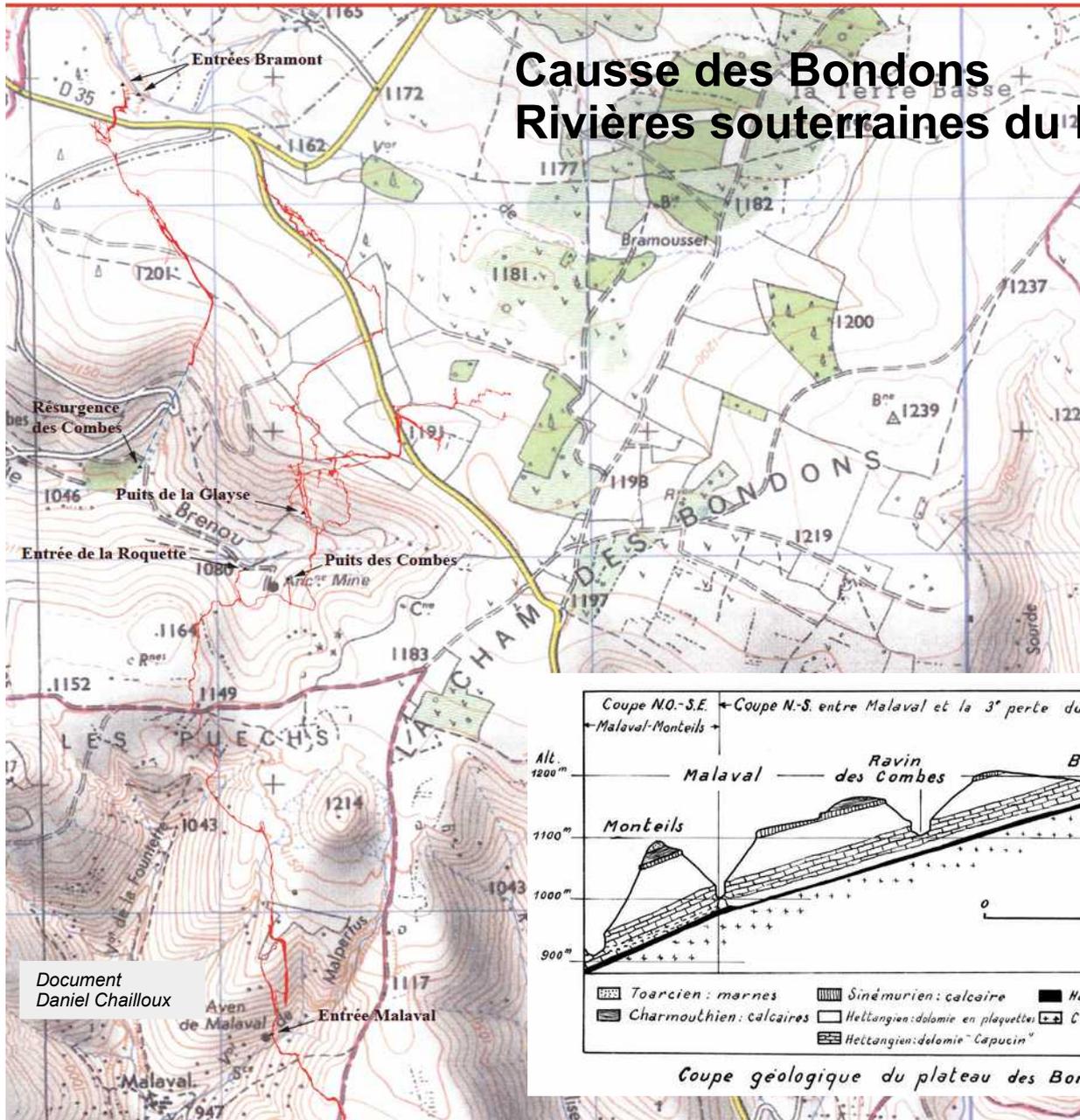


Aragonite en chapelets de boules de la Grotte Malaval



Notre terrain d'étude karstologiques (4)

Causse des Bondons Rivières souterraines du Bramont et de Malaval



Jacques Rouire, J. Bouladon et J. Lougnon, *Le plateau des Bondons et ses minéralisation. Etat des connaissances au début de 1957.* Collection de Daniel André

Le cadre pédagogique du travail des élèves

La première année : élèves de classe de Première S en TPE = travaux personnels encadrés = 18 semaines, 2h par semaine, épreuve anticipée du baccalauréat fin Mars.

Aujourd'hui (2015 - 2016) :

- **Élèves de seconde en enseignement d'exploration MPS (Méthodes et pratique scientifique)**
- **TPE en première S**
- **Élèves volontaires de Seconde, première et terminale volontaires = Atelier scientifique**
- **Projet Erasmus + / karst slovène**

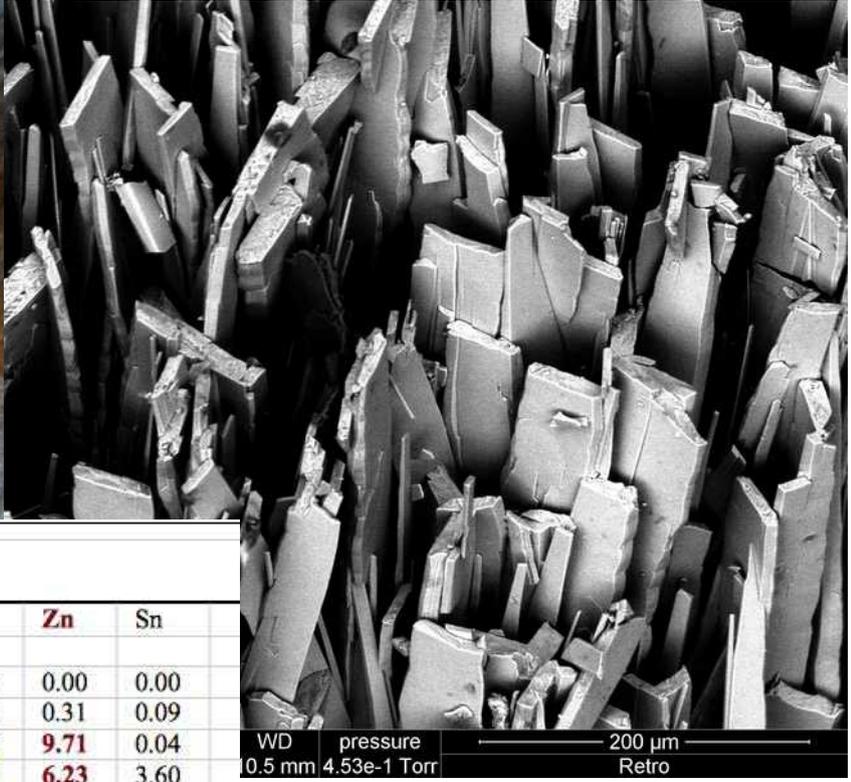
Le cadre pédagogique du travail des élèves

Notre méthodologie de travail avec les élèves :

- **Partir de publications scientifiques**
 - **Investigation sur le terrain ou expérimentation au labo**
→ donc **spéléologie** comme moyen d'investigation.
 - **Échanges avec des chercheurs / analyses dans des labos universitaires.**
 - **Publication de l'étude par présentation orale et poster à l'occasion d'un **colloque pédagogique que l'on organise fin mars à Mende** : présentation des élèves et conférences de scientifiques partenaires invités.**
- = préparation de l'épreuve devant le jury de baccalauréat.**

LIVE ON THE KARST

Quelques exemples d'études menés par les élèves 2. Origine des excentriques bleues de Malaval ?



Processing option : All elements analysed (Normalised)

Spectrum	In stats.	C	O	Mg	Al	Si	Ca	Ti	Ni	Cu	Zn	Sn
Spectrum 1	No	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Spectrum 2	Yes	27.67	53.43	0.07	0.31	0.12	17.86	0.00	0.00	0.15	0.31	0.09
Spectrum 3	Yes	23.12	56.31	1.00	0.29	6.49	1.97	0.00	0.00	1.06	9.71	0.04
Spectrum 4	Yes	18.54	53.10	0.84	0.36	5.27	5.11	3.08	3.31	0.56	6.23	3.60
Mean		23.11	54.28	0.64	0.32	3.96	8.31	1.03	1.10	0.59	5.42	1.24
Std. deviation		4.56	1.77	0.50	0.04	3.38	8.41	1.78	1.91	0.45	4.75	2.04
Max.		27.67	56.31	1.00	0.36	6.49	17.86	3.08	3.31	1.06	9.71	3.60
Min.		18.54	53.10	0.07	0.29	0.12	1.97	0.00	0.00	0.15	0.31	0.04

All results in atomic%

Pourquoi les formes et les couleurs des concrétions varient-elles ?

Camille BAUMELLE et Naomi PIGEAL

Classe de Première scientifique - Lycée Emile Peytavin - Avenue du 11 novembre - 48001 MENDE - Contact : colloque.lycepeytavin@outlook.fr

Introduction

Le karst est un massif calcaire dans lequel l'eau a creusé de nombreuses cavités. On parle de massifs ou de reliefs karstiques. En surface, on y trouve des formes géographiques bien particulières comme les dolines, les poljes, les canyons ou encore les résurgences. Notre région se trouve dans un milieu karstique, c'est à dire que certaines roches, en particulier le calcaire, sont solubles dans les eaux de pluie qui façonnent le paysage et créent les formes typiques du milieu karstique. Les paysages karstiques superficiels et souterrains possèdent une valeur patrimoniale indéniable.

Il faut plusieurs milliers d'années pour qu'une grotte se forme grâce à l'exposition de la roche karstique à la pluie, mais, une grotte peut pratiquement cesser d'évoluer pendant des millions d'années. Les concrétions sont la réunion de différents corps chimiques et physiques qui se solidifient ensemble. C'est un dépôt cristallin de substances dissoutes par l'eau qui est un acteur majeur de la création des concrétions. Elle est indispensable à la formation de celles-ci et aide pour leur apparence. Les concrétions ne sont pas toutes les mêmes car plusieurs facteurs sont mis en œuvre dans leur création. Pendant nos heures de TPE, nous avons fait des expériences et nous avons fait une sortie dans la grotte de Malaval.

Pourquoi les formes et les couleurs des concrétions varient-elles ?

Les différentes formes de concrétions.

La forme des concrétions dépend de nombreux acteurs.

Elle peut être due à des processus physiques tel que la pesanteur, la tension superficielle, la force de cristallisation, la pression de l'eau... En effet, les scientifiques pensaient que les formes de concrétions excentriques étaient essentiellement dues aux courants d'airs.

Depuis peu, un acteur nouveau a probablement été découvert : les microbes, notamment les bactéries. D'après de nombreux chercheurs les bactéries pourrait être la raison de ces différentes formes excentriques.

Nous avons donc tenté de nombreuses expériences afin de pouvoir à notre échelle déterminer comment sont créées les différentes formes de concrétion.

Nous avons visité la grotte de Malaval avec une équipe spécialisée en spéléologie et un scientifique spécialisé dans la formation de concrétion.



Expérience

Le but de cette étude est de prouver que les bactéries sont à l'origine de la formation des concrétions de CaCO_3 . Nous avons prélevé en conditions stériles dans la grotte. Nous avons cultivé et repiqué les bactéries, de façon à définir la forme des bactéries : coques ou bacilles.



Pour permettre l'identification, nous nous sommes servis de la coloration de Gram. C'est la succession d'une coloration, une décoloration, puis une nouvelle coloration. Une fois la manipulation faite, nous avons observé au microscope à immersion, au grossissement $\times 1000$. Pour avoir une augmentation de l'indice de réfraction, nous avons mis une goutte d'huile à immersion entre l'objectif et la lame mince. Si la couleur obtenue après la coloration est bleue cela signifie qu'il y a « gram positif » et a contrario, si la couleur obtenue est rose cela signifie « gram négatif ».



Résultats

Une première étude macroscopique est faite, puis une étude microscopique. Celle-ci a révélé les types de bactéries trouvées :

- « MAL A » a une forme de bacille avec gram positif.
- Et « MAL 10 B » a une forme de bacille avec gram négatif.

Nous n'avons pas pu mettre en évidence qu'elles fabriquaient du CaCO_3 .

Microscope à balayage

Pendant notre sortie pédagogique à Montpellier, nous avons utilisé le microscope électronique à balayage sur nos prélèvements de stalactites effectués à la grotte de Malaval. Le microscope électronique à balayage, aussi appelé MEB, est muni d'un détecteur au rayon X ; son rôle est double, voire triple. Il est constitué d'un détecteur d'électrons secondaires, qui permet d'observer les minéraux. Il est aussi constitué de détecteur d'électrons rétro diffusés, qui indique la chimie des éléments. Et pour finir, un outil d'analyse chimique permet de donner le spectre de l'objet étudié. Grâce à cette analyse, nous avons découvert que les prélèvements effectués sur des échantillons de stalactites ne contenaient que des substances chimiques, sans présence de bactéries.

Pour conclure, cette expérience révèle que les concrétions prélevées dans la grotte de Malaval ne se sont pas élaborées à partir de bactéries. Un travail ultérieur permettrait de vérifier ces résultats par d'autres prélèvements.



Images de nos observations au MEB à Montpellier : la première image est le résultat de Mal 10, la seconde de Mal B et la dernière de Mal 6

Les différentes couleurs des concrétions

Dans les cavités, les couleurs les plus fréquemment observées sont le blanc cassé, laiteux ou crème.

Le calcaire, l'aragonite et le gypse sont des minéraux habituellement blancs car ils résultent d'une forte cohésion cristalline qui rend difficile l'introduction d'éléments étrangers (et colorés). Ils peuvent aussi être translucides lorsque les cristaux sont très purs.

D'autres concrétions sont pourtant très colorées et cela peut être dû aux acides et aux métaux.

Par exemple, les acides humiques produisent principalement les couleurs claires dans les tons marrons ou encore, les acides fulviques produisent des marrons plus sombres.

Cela peut être aussi dû au climat, septentrional pour les foncées et tropical pour les claires où la dégradation de la matière organique est plus importante.

Dans certains cas, les métaux jouent un rôle majeur dans la coloration des concrétions. Ils donnent des couleurs exceptionnelles comme le bleu, le vert, le rose ou le lilas, ce qui crée des concrétions spectaculaires.



En conclusion, la très large palette de couleurs des concrétions vient essentiellement des acides organiques et des ions métalliques étrangers, dont les effets varient selon qu'il s'agit de calcite ou d'aragonite.

Les sortes d'atomes mis en relation avec les milieux que l'on trouve donnent des couleurs différentes.

La sortie à Montpellier et le livre étudié nous ont permis de réaliser des comparaisons. Dans le livre nous avons remarqué que le bleu était composé spécialement de Cuivre, cependant avec le microscope électronique à balayage on a pu voir que la tâche de couleur bleue est composée surtout du Zinc mais contenait quand même un peu de Cuivre : Dans le spectre numéro 3, il y a environ 10 % de Zinc pour 1 % de Cuivre et dans le spectre numéro 4, il y a 6 % de Zinc et 0,5 % de Cuivre. Pour la couleur blanche, on pensait avoir soit de l'aragonite, soit de la calcite. A travers les spectres obtenus, on a environ 20 % de carbone, 60 % d'oxygène et 20 % de calcium. Les valeurs théoriques sont donc proches de ce que nous avons trouvé au départ soit le carbonate de calcium (CaCO_3).

Spectre 1	
Éléments	Concentration (%)
Ca	20.00
C	20.00
O	60.00
Si	0.00
S	0.00
Fe	0.00
Mn	0.00
Mg	0.00
Al	0.00
K	0.00
Na	0.00
Cl	0.00
Br	0.00
I	0.00
Ba	0.00
La	0.00
Ce	0.00
Pr	0.00
Nd	0.00
Pm	0.00
Sm	0.00
Eu	0.00
Gd	0.00
Tb	0.00
Dy	0.00
Ho	0.00
Er	0.00
Tm	0.00
Yb	0.00
Lu	0.00
Hf	0.00
Ta	0.00
W	0.00
Re	0.00
Os	0.00
Ir	0.00
Pt	0.00
Au	0.00
Hg	0.00
Tl	0.00
Pb	0.00
Bi	0.00
Po	0.00
At	0.00
Rn	0.00
Ac	0.00
Th	0.00
Pa	0.00
U	0.00
Np	0.00
Pu	0.00
Am	0.00
Cm	0.00
Bk	0.00
Cf	0.00
Es	0.00
Fm	0.00
Md	0.00
No	0.00
Lr	0.00

Conclusions

En conclusion, nous pouvons affirmer que la formation des concrétions est due à une multitude de facteurs, qui ont un rôle plus ou moins important.

Dans un premier temps, la couleur des concrétions varie en fonction des éléments chimiques présents dans le milieu de formation des concrétions. Nos résultats nous font penser que le Cuivre n'est peut-être pas seul à l'origine de la couleur bleue qui peut-être due au Zinc. Cela reste à vérifier.

Et dans un second temps, les variations de formes des concrétions peuvent être dues à la pesanteur, aux courants d'air mais également à la présence de bactéries dans les concrétions, ce que l'on n'a pas pu prouver.

Bibliographie

- Cabrol P., Mangin A., Fleurs de pierre, éditions Delachaux et Niestlé, 2000
- Remerciements à Guilhem Maistre / Cenote / expédition Lengguu
- Remerciements à Frédéric Fernandez, UM2 / MEB
- Remerciements à Jean Burger, UM2 / Cassiopée
- Remerciements à Sylvain Manteux, doctorant UM2
- TPE, travaux personnels encadrés par Mme Jouve (professeur de sciences physiques) et Monsieur Jacquet (professeur de SVT)

Ce travail a été réalisé de septembre 2013 à mars 2014 dans le cadre du suivi pédagogique de l'expédition scientifique internationale de l'IRD LENGGUU 2014



Avec les partenaires :

Quelques exemples d'études menés par les élèves

3. Datation absolue d'une coulée d'aragonite



A partir de cet échantillon, Michel Condomines (UM) a daté (U/Th) 2 échantillons :

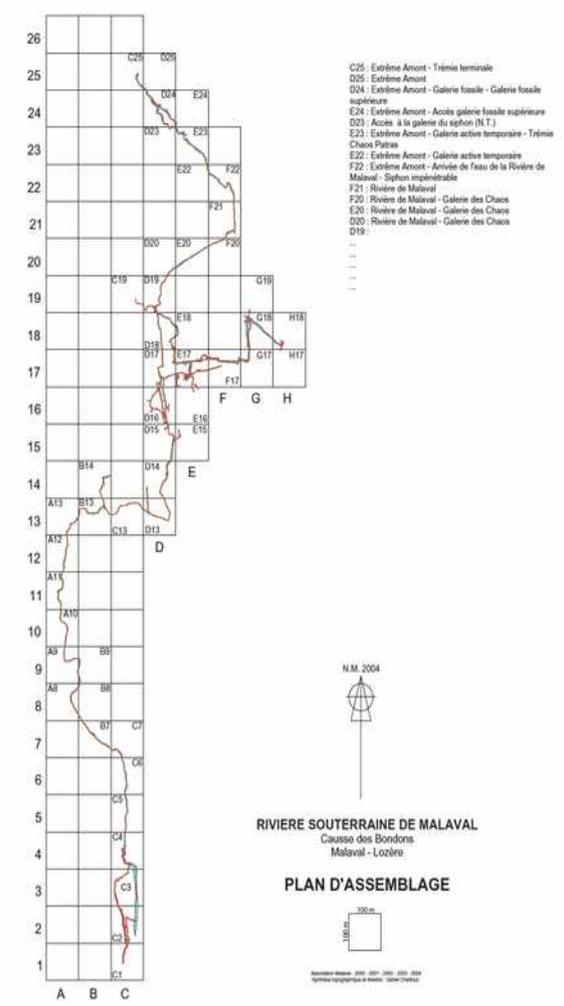
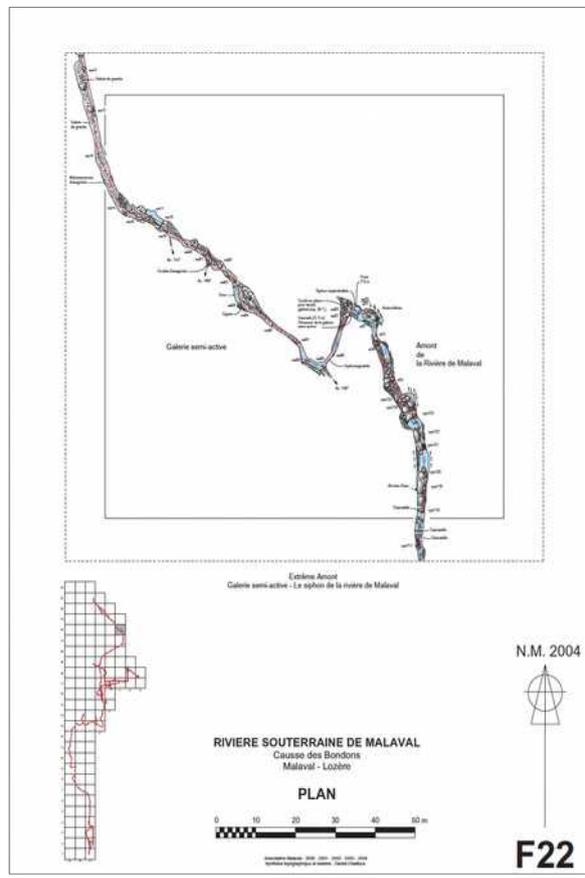
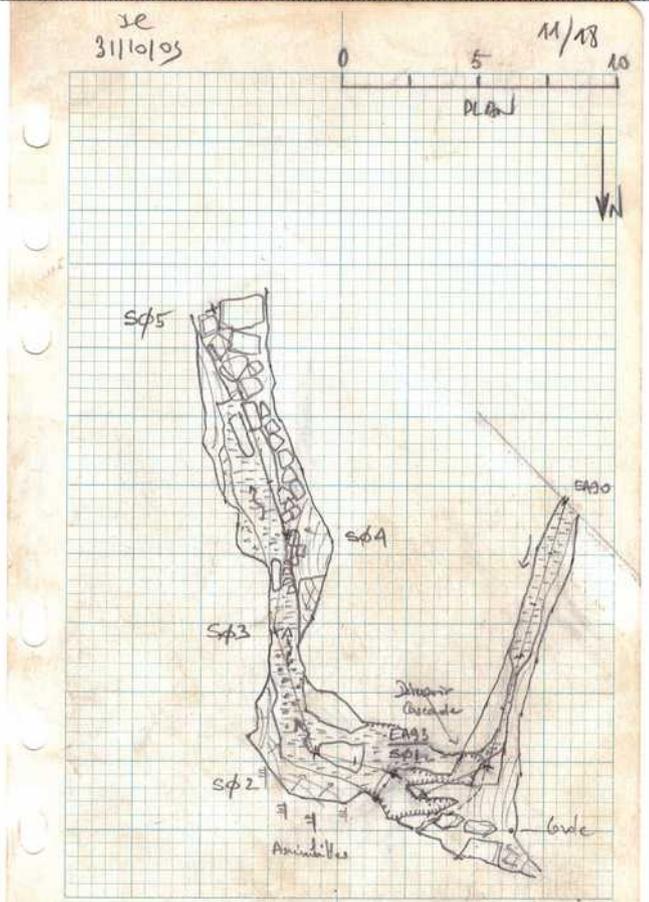
- 60 000 ans pour le plus proche de l'encaissant
- 54 000 ans pour le plus récent.

Ces 2 échantillons sont séparés par environ 8,25 cm d'aragonite.

C'est une donnée originale et nouvelle pour la Lozère.

□ tentative d'établissement d'une chronologie relative des différentes phases de la cavité pour repérer des évènements caractéristiques à dater ...

Quelques exemples d'études menés par les élèves 4. topographie et spéléogénèse de la grotte Malaval



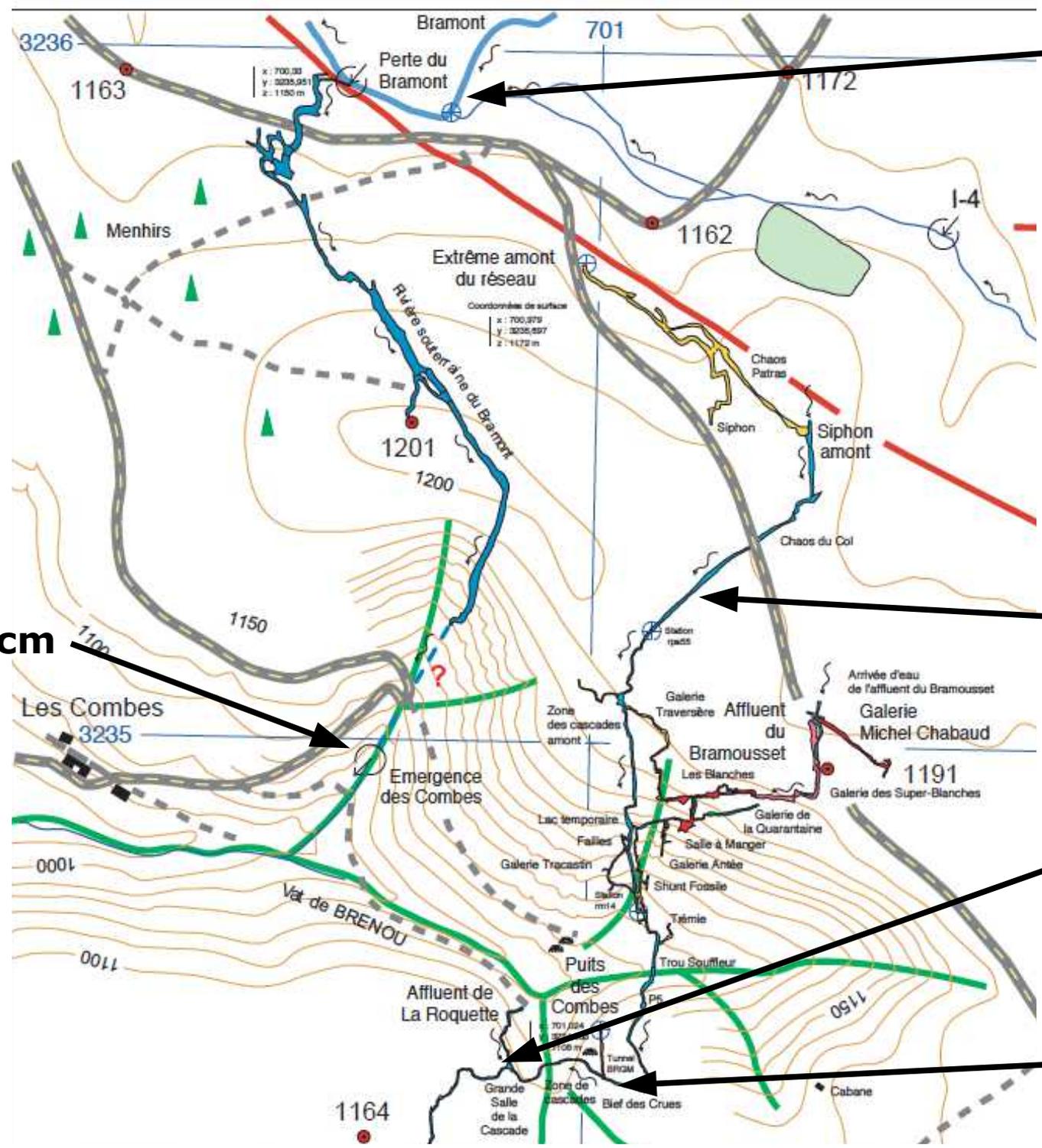
Quelques exemples d'études menés par les élèves 4. topographie et spéléogénèse de la grotte Malaval



Quelques exemples d'études menés par les élèves 5. comment faire parler un conductimètre ?

Les travaux de P. Verdoux, J. Lancelot et J-P Faillat, *Traçage de l'origine des eaux karstiques en bordure d'un massif cristallin à l'aide des isotopes du strontium (1995)* ont bien démontré que l'eau de la rivière souterraine de Malaval est une eau d'origine granitique modifiée par la dissolution des calcaires et dolomies de l'Hettangien (augmentation de Ca^{2+} , Mg^{2+} et HCO_3^-).





35 $\mu\text{S}/\text{cm}$

*Travail en cours :
mesures de septembre à décembre 2015 –
synthèse à faire pour Mars 2016.*

115 $\mu\text{S}/\text{cm}$

250 $\mu\text{S}/\text{cm}$

323 $\mu\text{S}/\text{cm}$

**Trou de forage
BRGM
425 $\mu\text{S}/\text{cm}$**

Quelques exemples d'études menés par les élèves 6. spéléogénèse expérimentale

Comment se forme une marmite ?

Jean Brunhes, 1903 : « *Pour approfondir élargir et sculpter ces cavités de rainures et de saillies en spirale, l'outil de prédilection, l'outil unique de l'eau n'est pas le galet, mais le sable, et plus ce sable est fin et ténu (...) plus l'action de l'eau, grâce aux mouvements giratoires que lui impriment les tourbillons, est irrésistible.* » **érosion tourbillonnaire mécanique.**

Jean Corbel, 1963 : « *Nos observations nous ont amené à mettre en doute complètement le rôle de l'érosion purement mécanique dans la formation même des marmites.* »

- érosion par dissolution des carbonates.**
- Les zones de courant tourbillonnaire accélèrent la dissolution par accroissement local de la teneur en CO₂ et diminution du pH.**

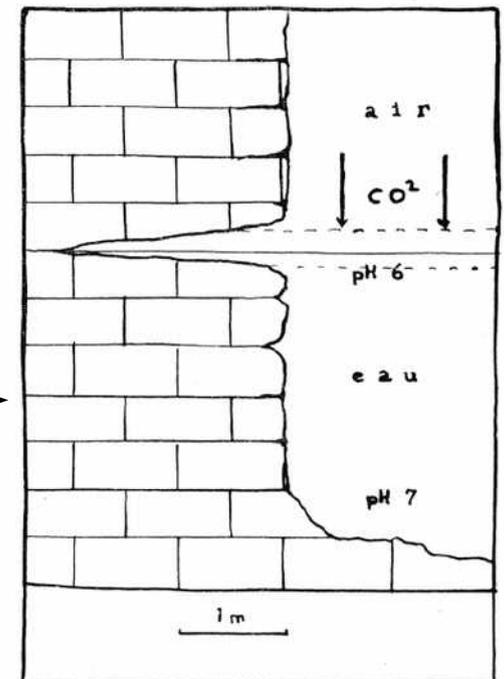


FIG. 5. — Niche de dissolution.

Le pointillé indique la variation des eaux moyennes calmes, une zone d'ensivage existe en surface et peut donner de pareilles niches de dissolution. Cet est pris à la grotte de la « Goule de Fousoulie », près du canon d'Ardèche.

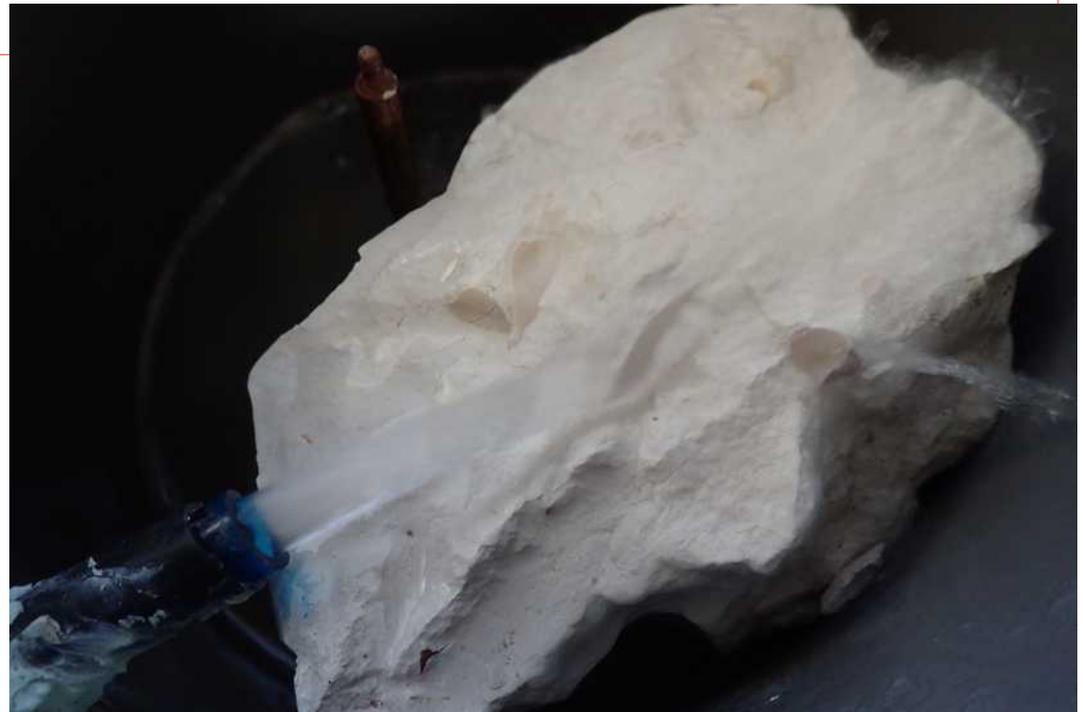
Quelques exemples d'études menés par les élèves

6. Spéléogénèse expérimentale

Comment se forme une marmite ?

Philippe Audra, *Les formes pariétales, essai de revue, 2006* :
« Les marmites (dites « de géant ») sont liées aux tourbillons présents généralement au pied des cascades. Le creusement est effectué par la corrosion et parfois, mais pas nécessairement, par l'érosion mécanique des galets entraînés dans le tourbillon. »

→ **essai de modélisation analogique**
... à la manière de Stanislas Meunier (MNHN, 1905)



LIVE ON THE KARST

Et maintenant : une dimension internationale ...



Application Form

Call: 2015

KA2 - Cooperation for Innovation and the Exchange of Good Practices
Strategic Partnerships for Schools Only

**Un projet européen sur 3 ans :
septembre 2015 à Juin 2018.
+ partenariat avec la réserve de
Biosphère de Škocjan caves en
Slovénie.**



Rencontre à Mende en Novembre 2015 :

Slovenian delegation

- 2 teachers of high school
SEZANA : Vasilija Valečič
(chemistry) and Irena Dolgan
(biology)

- 1 external expert : Borut
Peric (Park Škocjan caves)

- 2 teachers of high school
KOPER : Monika Jurman
(Biology) and Lea Skerlic
(Arts)

Italian delegation :

- 2 teachers of IIS Levi-Ponti
MIRANO : Nicoletta
Stevanato (chem.) and
Fabrizio Valdarnini (chem.).



Un projet collectif :



Classe de Première S (2014 - 2015)



Classe de Première S (2015 - 2016)



Classe de Première S (2013 - 2014)

Un projet collectif :



José MULOT
Marcel MEYSSONNIER

Fédération Française
de Spéléologie



UNIVERSITÉ
DE MONTPELLIER

Frédéric FERNANDEZ (MEB)
Philippe DIEUDONNÉ (Cristallographie Diffractionométrie)
Arie VAN DER LEE (Diffractionométrie)
Michel CONDOMINES (Géosciences)



Guilhem MAISTRE



CDS 48 : Catherine PERRET
(~~2017~~) et Stéphane NORE
GSC - EDS : David BRILLOT
GS-TNT : Pierre LEMAITRE
et Laurent CALMELS



Michel RENDA
Antonio DANIELI



CÉVENNES ÉVASION



Les professeurs du lycée qui ont foncé pour construire le projet avec moi. De gauche à droite : Alain JACQUET (SVT), Pierre LEMAITRE (Sciences de l'ingénieur et initiateur fédéral), Guilhem DIVERNY (Maths), et Hervé GROSROYAT (Sciences physiques).

C'est la **Dream Team LIVE ON THE KARST**



Daniel ANDRÉ qui partage ses connaissances encyclopédiques et nous ouvre les portes de ses mondes souterrains.

Daniel CHAILLOUX qui partage ses topographies de Malaval et nous initie à la radiolocalisation.

Au lycée avec l'investissement de notre 2ème initiateur fédéral Laurent CALMELS et les autres professeurs : Olivier DELABY et Fabien KOPP (EPS), Béatrice GARDAREIN (Histoire et géographie), Fabienne AMOUROUX et Stéphanie JOUVE (Sciences physiques), Jean-Paul JUSTAMOND, Pierre LOPEZ, Michel LEMAIRE (Sciences de l'ingénieur), Marie-France VERGELY (Lettres).

Les moniteurs brevets d'état qui encadrent parfois bénévolement les élèves : Cévennes Evasion, Aude HOURTAL, Emilie PAULET, Sandra ROULET, Thibault BARBIER, David BRILLOT, Laurent CHALVET, Gilles DUFOR, Thierry GENCEY, Guillaume LEGRAND, Sébastien GUILLOT.