Certains élèves qui ont suivi en Seconde l'enseignement d'exploration MPS spéléologie (méthodes et pratiques scientifiques) au lycée Déodat de Séverac à Céret (Pyrénées-Orientales) décident en classe de Première de choisir un sujet de travaux personnels encadrés (TPE) en lien avec ce thème. Matthieu, Arthur et Félix, 16 ans, ont choisi de travailler sur la conductimétrie. Voici leur travail.

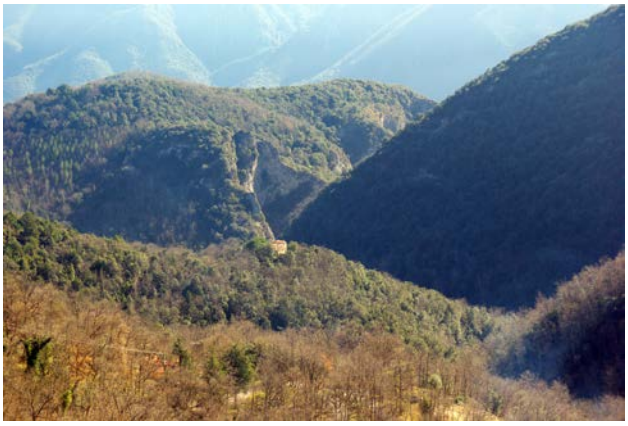
François Masson[1]

Comment la conductimétrie peut-elle expliquer les phénomènes karstiques ?

par Matthieu BOSCH, Arthur LIVERNOIS, Félix PANABIÈRES
(texte et photographies)

Nous avons eu l'idée de traiter ce thème car nous avons fait partie de l'option MPS spéléologie au lycée de Céret l'an dernier. Lors de nos sorties, nous avons pu explorer des gorges et nous demander comment elles ont pu se creuser au cours du temps. Un accompagnateur sur une sortie nous a alors expliqué que les phénomènes karstiques pouvaient être expliqués grâce à la conductimétrie. Nous avons donc décidé de traiter ce sujet et d'en savoir un peu plus.

La vallée de la Fou dans la zone amont.



L'entrée des gorges vue depuis l'amont.

Lieu d'étude

Nous nous sommes rapprochés des responsables des gorges de la Fou afin de leur proposer notre projet. Nous avons eu une réponse positive de leur part. Notre lieu d'étude se situe donc sur la commune d'Arles-sur-Tech (Pyrénées-Orientales), plus particulièrement dans la zone des gorges de la Fou.

Lorsque nous sommes sur le terrain, nous pouvons observer un début et une fin des gorges nettement marqués. En amont, la rivière n'est pas encaissée.

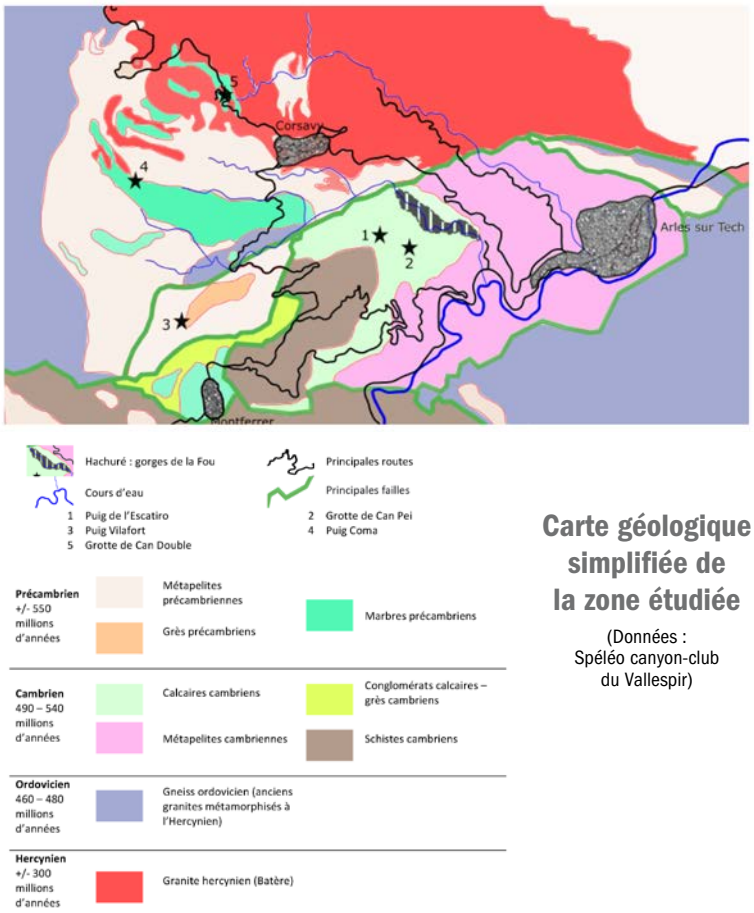
En voulant savoir pourquoi cette différence était si nette, nous avons regardé la carte géologique de la région. Le début des gorges correspond exactement au début de la zone calcaire et la fin des gorges correspond exactement à la fin de la zone calcaire. Nous pouvons alors supposer que la roche présente dans les gorges de la Fou s'érode plus rapidement que sa voisine.

Cette zone est très particulière et intéressante à étudier car c'est une zone de calcaire entourée de schistes (c'est plus précisément du marbre daté de 490 – 540 millions d'années).

Les calcaires cambriens forment un karst, c'est-à-dire une zone dans laquelle on trouve de nombreuses traces de dissolution : gorges, grottes, avens. On voit sur la carte que ces calcaires sont entourés par des roches différentes. On parle donc de *karst pincé* lorsqu'une zone de calcaire est entourée de différentes roches. Ici, nous avons une zone de calcaire qui est entourée de schistes.

Par ailleurs, dans les gorges, nous avons pu constater une formation particulière à certains endroits. On appelle ça des tufs.

Observation de tuf sur la paroi des gorges.



Carte géologique simplifiée de la zone étudiée

(Données : Spéléo canyon-club du Vallespir)

La conductimétrie

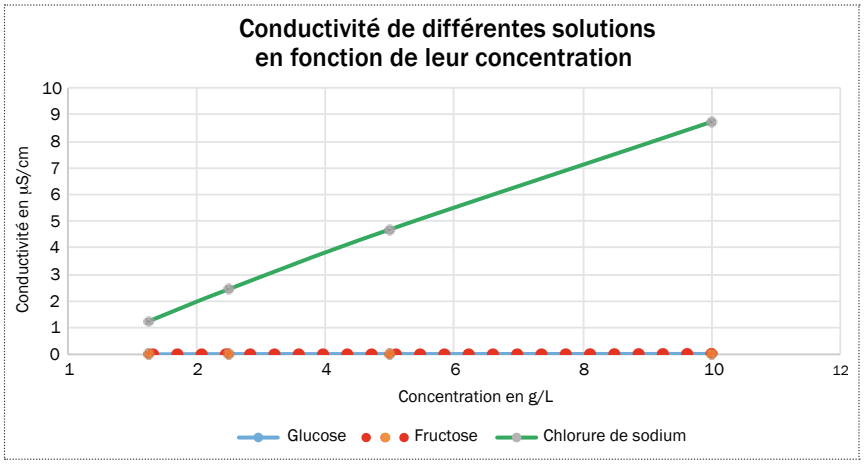
Pour commencer, il faut définir les termes utilisés.

- Conductimétrie : la conductimétrie est l'étude de la conductivité électrique de l'eau.
- Conductivité : la conductivité est la capacité de l'eau à conduire l'électricité. Elle s'exprime en Siemens/cm.

Lors de notre première expérience en classe, nous avons cherché à savoir quels facteurs influent sur la conductivité. Nous avons étudié la conductivité de l'eau avec des concentrations différentes de glucose, de fructose et de chlorure de sodium. Pour cela, nous avons dissous des grammages bien précis de ces éléments chimiques dans de l'eau distillée afin de pouvoir faire un comparatif. Nous avons utilisé une pipette, de l'eau distillée, de la verrerie diverse et bien évidemment un conductimètre. Nous avons pu voir que la conductivité de l'eau ne varie pas en fonction de la concentration plus ou moins élevée en glucose et en fructose (courbes bleu et rouge), mais elle varie lorsque l'on dissout du chlorure de sodium (courbe verte). Grâce à ces expériences, nous avons pu en conclure que la matière organique n'influe en rien la conductivité de l'eau alors que la matière minérale fait varier fortement la conductivité (graphique 1).

Nous pouvons expliquer cela plus scientifiquement en parlant d'ionisation. Lorsque l'on dissout de la matière minérale dans de l'eau, ici du chlorure de sodium, cela libère des ions. On dit que la matière s'ionise. C'est cette libération d'ions dans l'eau qui fait varier la conductivité de l'eau. Contrairement à la matière minérale, la matière organique ne s'ionise pas. C'est pour cela que ni le fructose, ni le glucose n'ont fait varier la conductivité de la solution.

Graphique 1



La conductimétrie pour expliquer les phénomènes karstiques

Mise en évidence de l'érosion

Pour prouver que lorsqu'une roche s'érode, la conductivité de l'eau augmente, nous avons placé un morceau de craie dans un récipient rempli d'eau distillée. Pour imiter une sorte de courant, nous avons utilisé un agitateur magnétique. L'expérience a duré environ six heures. Elle s'est déroulée en deux phases, trois heures avec l'agitateur magnétique à 500 tours par minute et trois heures à 1 000 tours par minute. Nous pouvons voir clairement sur le graphique des résultats que la courbe se décompose en deux phases : la conductivité augmente plus rapidement lorsque l'agitation est forte. Cette expérience nous aura permis de prouver que l'érosion d'une roche provoque une augmentation de la conductivité de l'eau, et que cette érosion est liée à la vitesse du courant (graphique 2).

Lorsque le calcaire s'érode, il libère des ions selon l'équation suivante :

$CaCo_3 + CO_2 + H_2O \rightarrow 2\ HCO_3^- + Ca^{2+}$

Mise en évidence d'une érosion différentielle

Afin de comprendre comment la conductimétrie pourrait expliquer les phénomènes karstiques au niveau des gorges de la Fou, nous avons réalisé des mesures de conductivité en amont et en aval des gorges.

Conductivité en µS/cm (moyenne de trois relevés)	
Amont des gorges	Aval des gorges
253	352

On observe que la conductivité est nettement plus forte en aval qu'en amont des gorges.

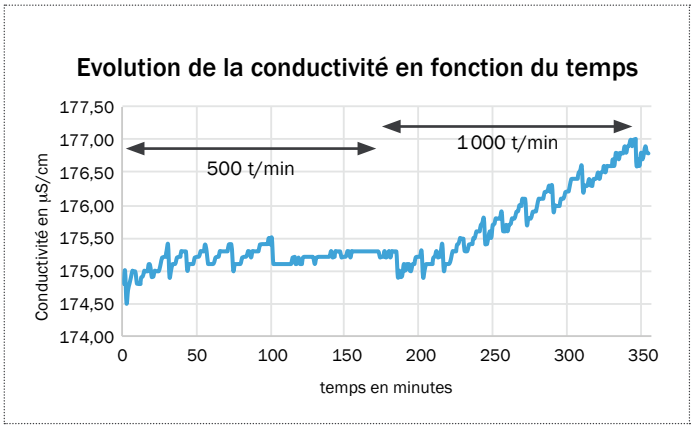
Pour expliquer les valeurs trouvées, nous avons réalisé l'expérience suivante : toujours dans la même configuration d'expérience que la précédente, nous avons disposé dans deux récipients différents, un morceau de calcaire et un morceau de granite que nous avons récupérés dans une marbrerie (nous avons fait attention à respecter des volumes immergés égaux afin de ne pas fausser les résultats). Le granite représente les roches présentes tout autour des gorges et le calcaire, les roches présentes dans les gorges de la Fou. Nous avons placé la sonde du conductimètre dans le récipient afin de relever les données de conductivité tout au long de l'expérience. Nous avons ensuite laissé l'agitateur magnétique tourner pendant huit heures.

Au bout de huit heures, nous avons obtenu un graphique représentant l'évolution de la conductivité de l'eau, au cours des deux expériences. Sur ce graphique nous pouvons clairement voir que la conductivité de l'eau augmente plus fortement avec le calcaire qu'avec le granite. Les résultats nous indiquent que le calcaire libère plus d'ions que le granite. Nous pouvons en déduire que le calcaire s'érode plus rapidement que le granite (graphique 3).

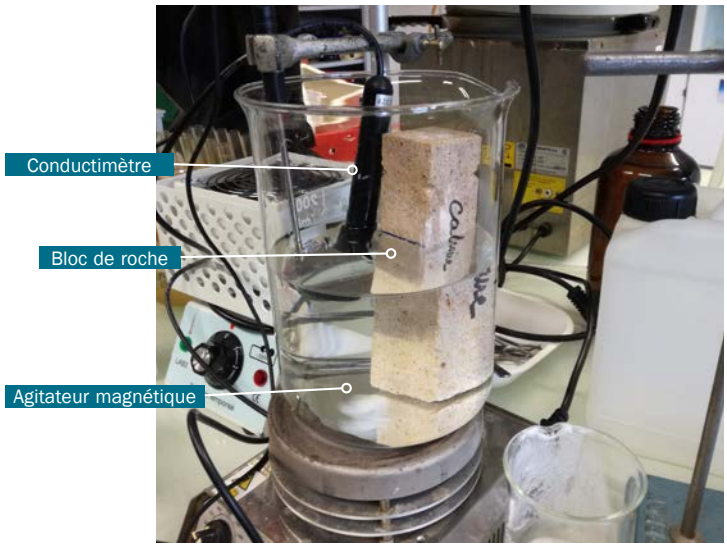
Grâce à ces expériences, nous pouvons affirmer que les gorges de la Fou sont à cet endroit là car la roche s'érode plus vite que celle autour : le calcaire s'érode plus vite que le granite et le schiste et forme des gorges.

Formation des tufs

Lors de nos sorties aux gorges de la Fou, nous avons pu observer des tufs. Pour en apprendre un peu plus sur le phénomène, nous sommes allés faire des observations sur le terrain avant d'effectuer une expérience en classe. Nous avons observé un morceau de tuf à la loupe binoculaire. Nous

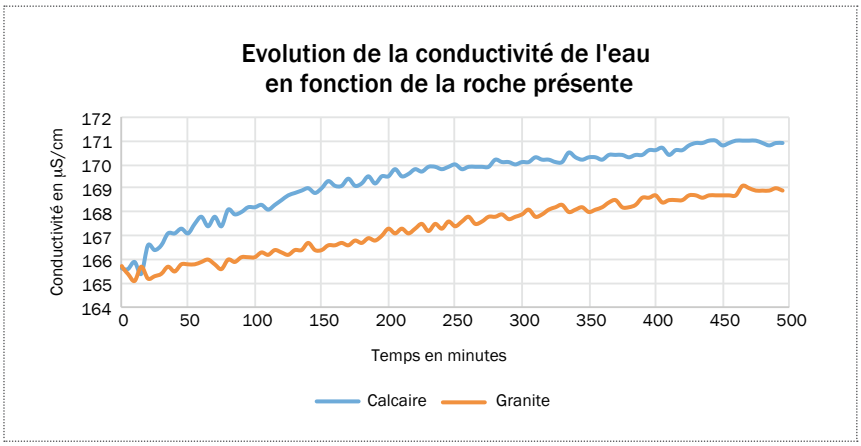


Graphique 2



Photographie du montage utilisé.

Graphique 3



Observation à la loupe binoculaire d'un fragment de tuf.

Prélèvement d'eau au niveau des tufs.

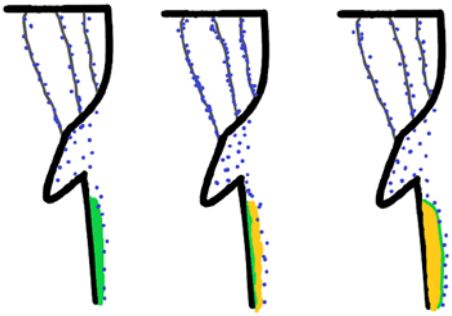
Localisation de la fracture (en jaune).

avons pu voir que c'est une roche très aérée, formée d'une sorte de mousse fossilisée et de vides. En effet, lorsque nous observons un tuf, nous avons l'impression que la mousse s'est fossilisée et s'est transformée en roche.

Afin de connaître la composition d'un tuf, nous avons déposé de l'acide chlorhydrique très concentré sur un morceau de tuf. Au bout de quelques minutes, nous avons pu observer que le calcaire a été dissous et qu'il nous reste seulement de la matière végétale. Cette expérience nous a permis d'expliquer la composition d'un tuf : il est bien formé de végétaux couverts de calcaire.

En allant sur le terrain, nous avons essayé de comprendre comment ce phénomène est possible. Lorsque l'on regarde la paroi où se trouve le tuf, nous pouvons observer deux zones différentes : l'une, toujours humide, où se trouvent le tuf et une autre où la paroi est parfois totalement sèche. Nous nous sommes alors posé la question suivante : pourquoi le tuf est-il présent seulement sur une partie de la paroi et non sur toute la paroi ?

Date	Conductimétrie (µS/cm)	
	Tuf	Ruissellement
22/10/2018	0.614	0.452
30/10/2018	0.529	0.431



Schématisation du mode de formation des tufs.

Nous avons fait des relevés d'eau au niveau des tufs et au niveau d'un ruissellement éloigné des tufs sur la même paroi. Nous avons pu constater que la conductivité n'est pas la même. La conductivité de l'eau relevée au niveau du tuf est bien supérieure à celle de l'eau relevée au niveau du ruissellement.

En retournant sur le terrain, nous avons pu observer des fractures où sort l'eau juste au-dessus des zones de tuf. Nous avons donc imaginé que l'eau va venir s'infiltrer en haut de la paroi, plus haut, dans la montagne. Elle va venir se charger en calcaire lors de son voyage dans la roche et va ensuite ressortir au niveau des fractures afin de recouvrir la matière végétale de calcaire. L'autre partie de la paroi va donc être sèche car il n'y a pas de fractures pour permettre à l'eau d'y parvenir, et lorsqu'elle est humide, l'eau qui ruisselle n'est pas passée dans la roche pour se charger en calcaire.

Un tuf, c'est donc de la mousse qui a été soumise au passage d'eau saturée en calcaire. À son passage, l'eau va venir déposer du calcaire sur le végétal et va venir transformer en quelque sorte, cette mousse en roche très friable et fragile. Lors de nos sorties en canyon, nous avons croisé de temps en temps des tufs. Il nous était interdit de monter dessus car le risque de chute due à la fragilité du tuf était très important.

Conclusion

La conductimétrie nous a donc permis de comprendre pourquoi les gorges étaient situées à cet endroit précis, et pourquoi les tufs se formaient à certains endroits seulement. Nous pouvons donc bien affirmer que la conductimétrie est une technique scientifique qui permet d'expliquer les phénomènes karstiques.

1. francois.masson0832@orange.fr