



Grottes d'Azé

Dossier pédagogique

LE SITE DES GROTTES D'AZE, UN TEMOIN DES CLIMATS ANCIENS DE NOTRE REGION

par Johan BARRIQUAND et Lionel BARRIQUAND

ARPA, UFR des Sciences de la terre, Université Claude Bernard, Lyon I, Villeurbanne, France

Sommaire

1. Dossier de documentation enseignant :

Introduction

Les calcaires du Jurassique : les témoins d'un climat chaud

Un massif corallien dans la Rivière Souterraine

Le témoin d'une tempête dans la Grotte Préhistorique : la lumachelle (tempestite)

La formation de concrétions : un témoin des périodes interglaciaires du Quaternaire

Le témoin d'une période glaciaire : la coulée de solifluxion du 3^{ème} étage

La microfaune du Porche de la Galerie des Aiglons : un témoin d'une période glaciaire

2. Objectifs pédagogiques

3. Proposition de fiche élève (niveau collègue /lycée adaptable par l'enseignant)

1. Dossier de documentation Enseignant

Introduction

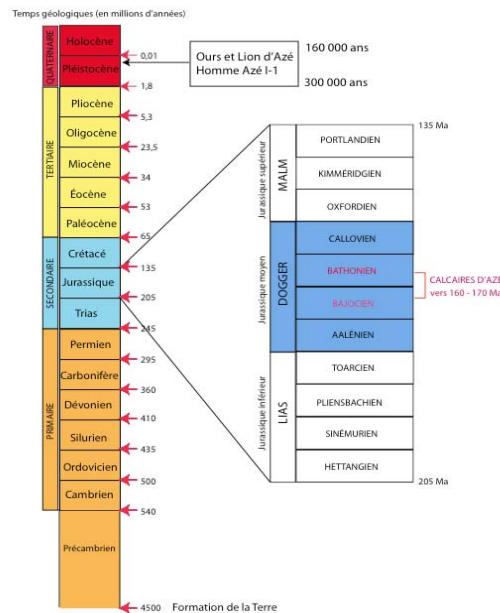
Les Grottes d'Azé sont creusées dans des calcaires datant du Bajocien et du Bathonien (Jurassique). La dissolution différentielle du calcaire a permis de mettre en évidence les fossiles associés à ces différentes périodes géologiques. Ce sont des témoins de climats chauds qu'a connu notre région lors du Secondaire.

Les périodes tempérées sont associées à la formation de concrétions (stalactites, stalagmites, planchers stalagmitiques...).

En ce qui concerne les périodes glaciaires, l'exposition au sud de la falaise calcaire a favorisé les coulées de solifluxion. L'une d'entre-elles est venue fermer un porche du réseau actif. Un autre témoin est constitué par les ossements de nombreux rongeurs datant du Dryas I (Würm) trouvés sous le porche de la Galerie des Aiglons.

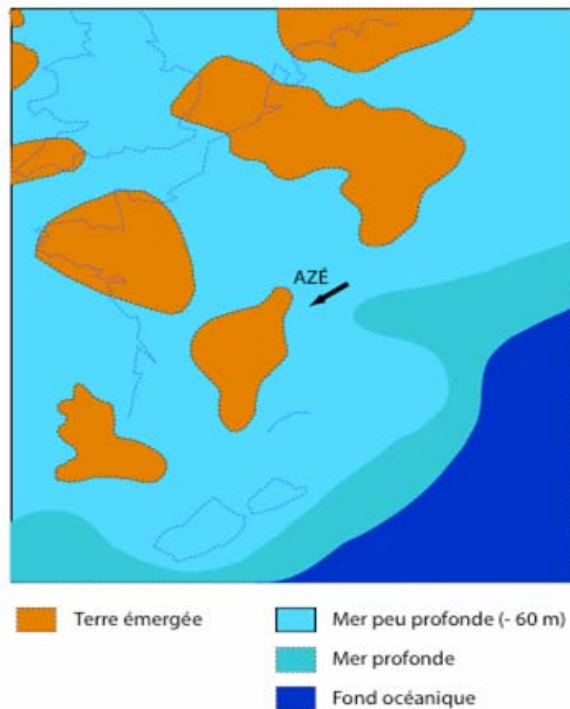
Les calcaires du Jurassique : les témoins d'un climat chaud

Les grottes d'Azé sont creusées dans le principal chaînon jurassique des monts du Mâconnais. La Rivière Souterraine se situe dans le Bajocien tandis que la Grotte Préhistorique s'ouvre dans le Bathonien inférieur. La formation du karst a mis en évidence ces différents niveaux et l'érosion différentielle des calcaires a permis de mettre en exergue de nombreux fossiles marqueurs de ces périodes chaudes.



Position des calcaires encaissants des Grottes d'Azé dans l'échelle des temps géologiques (A. et J. Argant).

Au Jurassique, le Mâconnais est à une latitude inférieure à 30°N. Le climat est globalement chaud et comparable à celui des Bahamas aujourd'hui. Azé se trouve alors sous une mer peu profonde : des récifs coralliens se forment.



Paléogéographie de l'Europe de l'Ouest vers - 160 millions d'années



NB : les pays actuels - qui n'existent alors pas - sont figurés pour permettre de mieux comprendre

Position d'Azé il y a 160 millions d'années (A. et J. Argant).

Un massif corallien dans la Rivière Souterraine :

Dans l'entrée de la Rivière souterraine, le calcaire à polypiers du Bajocien moyen est visible. Il contient de très nombreux polypiers coloniaux formant de véritables récifs que l'érosion différentielle a mis en relief. C'est un calcaire caractéristique blanc, pur et très cristallin contenant des bioclastes divers très visibles (outre les polypiers) : lamellibranches, spongiaires, échinodermes...

Intercalé entre les calcaires à polypiers, on observe un lit de calcaires à entroques (Bajocien inférieur et moyen) d'un mètre d'épaisseur. C'est une roche compacte jaune-rouge comportant des bioclastes divers extrêmement nombreux et également très visibles : outre les échinodermes dominants (articles de crinoïdes, piquants et plaques d'oursins), il contient des lamellibranches, des brachiopodes, des bryozoaires et des gastéropodes.

Le témoin d'une tempête dans la Grotte Préhistorique : la lumachelle (tempestite)

Parmi les strates du Bathonien inférieur qui sont visibles dans la Grotte Préhistorique, l'une d'entre-elles est extrêmement fossilifère : il s'agit d'une lumachelle (tempestite). Elle correspond à

un amas coquillier (brachiopodes, lamellibranches, gastéropodes, stromatolithes...) dont les fossiles sont de taille centimétrique.

L'érosion différentielle a mis en évidence de nombreux exemplaires de trigonies. Les trigonies sont des lamellibranches caractéristiques des eaux chaudes des récifs coralliens.

Les stromatolithes, également présents, sont des structures laminaires dues à la croissance de bactéries filamenteuses : des cyanophycées. Ces micro-organismes réalisent la photosynthèse. Cela implique leur développement à faible profondeur. Leur répartition paléogéographique générale se situe en bordure des côtes plates, surtout dans la zone de balancement des marées, dans des mers chaudes à tempérées.



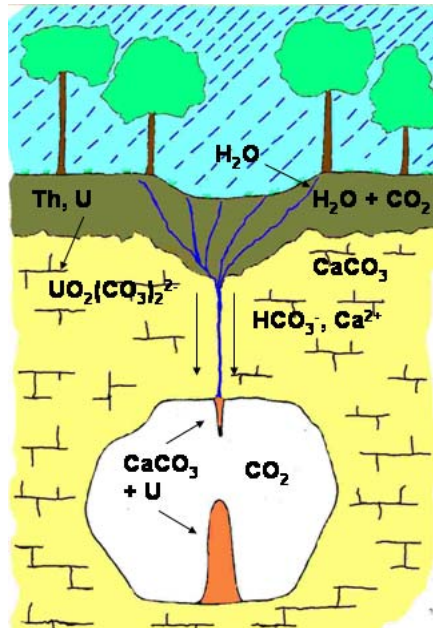
Grotte Préhistorique : exemple de Trigonies visibles dans la lumachelle, photo J. et L. Barriquand.

Cette accumulation s'est produite en une fois lors d'une tempête (cyclone). Des phénomènes équivalents existent actuellement sur les côtes des Bahamas.

Ce banc d'une soixantaine de centimètres est donc représentatif d'un événement ponctuel de courte durée : l'épaisseur d'une couche n'est pas en relation avec sa durée mais seulement avec sa continuité.

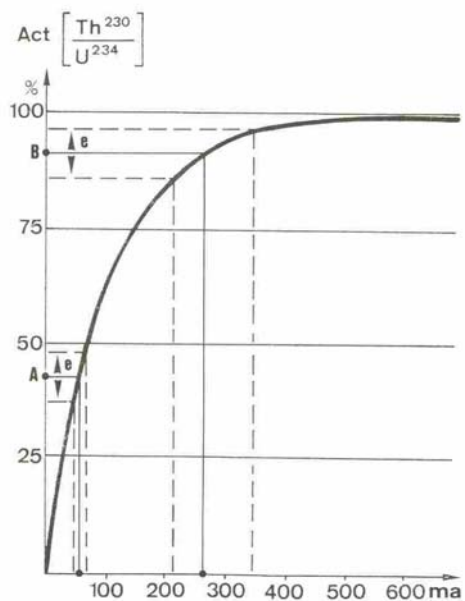
La formation de concrétions : un témoin des périodes interglaciaires du Quaternaire

Lors des périodes interglaciaires, les volumes d'eau se trouvant sous forme liquide augmentent. La végétation se développe également. Une partie des eaux de pluie traverse tout d'abord l'humus où elle s'acidifie puis s'infiltre dans les fissures de la roche. L'eau se charge progressivement en gaz (dioxyde de carbone) et en calcaire dissous. Lorsqu'elle arrive dans une cavité plus importante, l'eau se dégage du fait du changement des conditions physico-chimiques (baisse de pression, changement de température...) : elle est donc moins acide. Le calcaire dissout peut donc recristalliser en stalactite (au plafond) ou en stalagmite (au sol). Lors de son passage dans l'humus, l'eau dissout de l'uranium 234 (^{234}U) qui est soluble dans l'eau. Cet uranium se trouve piégé dans la concrétion qui se forme dans la grotte.



Le cycle de l'uranium (dessin J. et L. Barriquand, d'après Y. Quinif 1989)

L'uranium 234 n'est pas stable. Il se désintègre en thorium 230 (^{230}Th). Le thorium 230 n'est pas soluble dans l'eau ; celui qui était contenu dans l'humus n'est donc pas entraîné. Tout le thorium se trouvant dans la calcite est donc uniquement issu de l'uranium piégé dans celle-ci. La désintégration de l'uranium 234 en thorium 230 est connue et répond à une loi mathématique du type exponentielle décroissante. La mesure du rapport $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ permet donc de dater une concrétion (à condition qu'elle ait moins de 600 000 ans : limite de vie de l'uranium 234).



Evolution du rapport Th230/U234 en fonction du temps (d'après Y. Quinif 1989)

Exemple de datations des concrétions aux Grottes d'Azé :
 Les concrétions se trouvant dans la Grotte Préhistorique d'Azé ont fait l'objet de plusieurs datations par cette méthode. Le bouchon stalagmitique qui fermait la grotte à 60 mètres de l'entrée dans les années 60 a fait l'objet d'une série de datations.

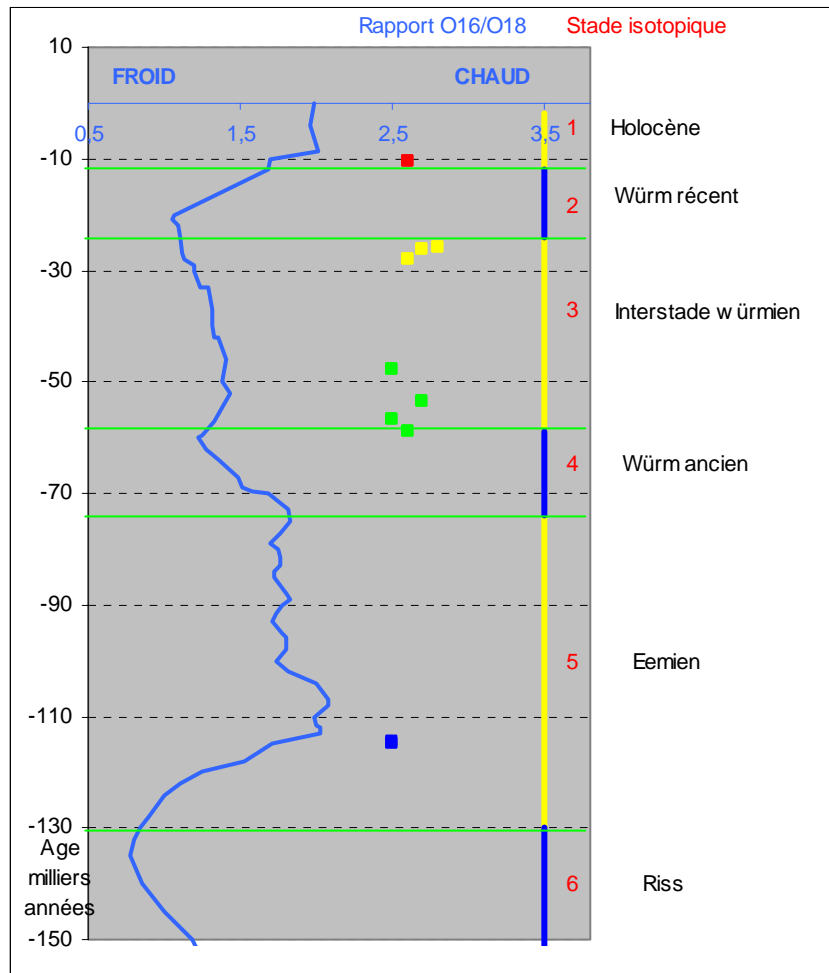


Vue partielle du plancher stalagmitique situé à 60 mètres de l'entrée de la Grotte Préhistorique, photo J. et L. Barriquand.

Les résultats suivants ont été obtenus :

Rapport $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$	Age (milliers d'années)	Période isotopique
0.091 ± 0.004	10.3 (+0.4/-0.5)	1
0.214 ± 0.037	25.7 (+5.2/-4.8)	3
0.217 ± 0.028	26.3 (+4.0/-3.8)	3
0.229 ± 0.006	28.1 (+0.7/-0.8)	3
0.359 ± 0.009	47.8 (+1.5/-1.5)	3
0.392 ± 0.011	53.5 (+2.0/-2.0)	3
0.410 ± 0.015	56.7 (+2.8/-2.7)	3
0.423 ± 0.007	58.9 (+1.4/-1.4)	3
0.661 ± 0.013	114.6 (+4.2/-4.1)	5

Si nous comparons ces dates avec les périodes isotopiques définies à partir du rapport des isotopes de l'oxygène ($^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$) obtenues dans la calotte glaciaire, nous obtenons :



Nous pouvons donc voir que le bouchon stalagmitique s'est formé pendant des périodes tempérées du Quaternaire.

Le témoin d'une période glaciaire : la coulée de solifluxion du 3^{ème} étage

La sortie naturelle du 3^{ème} étage de la grotte de la Rivière Souterraine est colmatée par des sédiments contenant de nombreux éclats cryoclastiques grossiers. Ils se sont détachés des affleurements rocheux lors des dernières périodes glaciaires. Ils ont ensuite été entraînés par une coulée de solifluxion. Ce phénomène est typique des bases des versants sud des plateaux calcaires bourguignons.

A Azé, la découverte de la grotte de la Rivière Souterraine a permis de mettre en évidence un de ces exemples. La galerie visitable butte aujourd'hui sur une coupe sédimentaire montrant les dépôts contenant de nombreux éclats cryoclastiques qui sont venus fermer le porche de la cavité.

Nous pouvons résumer le paysage périglaciaire de cette époque en disant que le plateau au-dessus des grottes devait être un domaine steppique. Lors des phases de gel, des lentilles de glace se forment dans les 30 premiers centimètres du sol. Lors des phases de dégel, au printemps, la partie supérieure du remplissage de la vallée de La Mouge et de ses abords devait en partie dégeler. Les lentilles de glace libéraient alors de grandes quantités d'eau qui ne pouvaient pas s'infiltrer du fait de l'imperméabilité temporaire des niveaux plus profonds encore gelés. Le ruissellement qui se créait alors pouvait entraîner la formation d'une lame d'eau pouvant provoquer la formation de coulées de solifluxion.

Nous ne disposons pas aujourd'hui d'éléments de datations fiables qui permettent de dater ce phénomène. Nous pouvons simplement dire que la coulée de solifluxion a entraîné avec elle des vestiges osseux et des silex. Parmi les os, on trouve des restes de chevaux. Ceux-ci sont attribuables à l'espèce *Equus caballus germanicus*. C'est le cheval classique de la première partie du Pléistocène supérieur (autour de 100 000 ans). La microfaune est représentée par le Souslik, cette espèce présente un caractère steppique (aujourd'hui Europe centrale à la Sibérie). Elle marque donc un climat froid. L'analyse des outils découverts lors des travaux a permis de dire que cette industrie appartient à l'époque moustérienne et s'apparente à une technologie Levallois au faciès défini sous le nom de type Ferrassie. Ce type d'outillage correspond aux outils réalisés par l'Homme de Neandertal au début du Würm (entre 115 000 et 75 000 ans). On peut conclure que la coulée de solifluxion date d'une des périodes froides du Würm.

La microfaune du Porche de la Galerie des Aiglons : un témoin d'une période glaciaire

Les fouilles conduites sous le porche de la Galerie des Aiglons de 2000 à 2002 ont permis de mettre à jour des milliers d'ossements et de dents de petits animaux (microfaune). L'étude de cette faune, réalisée par M. Jeannet, montre que les espèces représentées forment un ensemble homogène en rapport avec un climat froid.

Parmi les animaux recensés ici, nous notons la présence d'espèces représentant des régions à climats continentaux et arctiques :

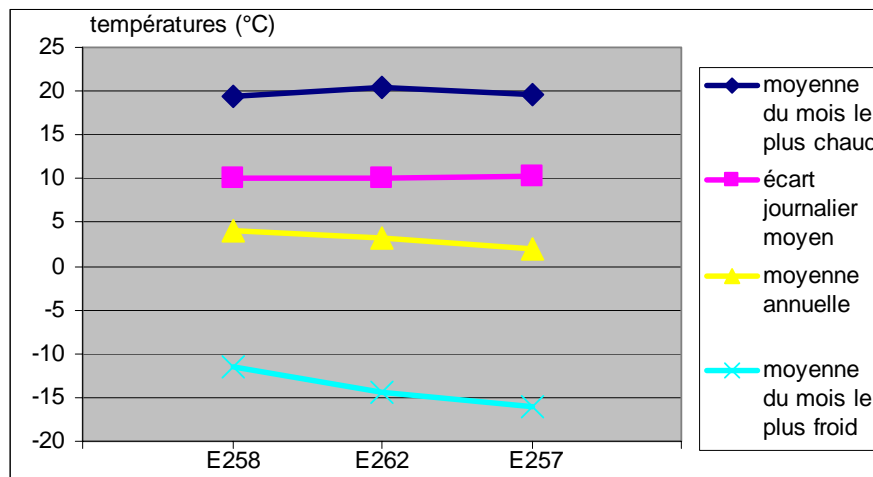
- le campagnol des hauteurs : c'est un habitant des steppes d'Asie centrale et de la bande méridionale de la Toundra ;
- le campagnol économe ou campagnol nordique : il se trouve souvent associé au lemming à collier au nord de la Sibérie ou, plus souvent, au campagnol des hauteurs durant la dernière glaciation ;
- le lemming à collier : c'est le plus septentrional de tous les rongeurs. Il a conquis les îles de l'océan Arctique (Nouvelle Zemble, Wrangle et Alaska). C'est un marqueur essentiel et sa présence annonce systématiquement les phases froides des diverses glaciations ;
- deux écureuils terrestres (Sousliks) qui sont actuellement domiciliés dans la plaine russe ;

- le lièvre siffleur ou Pika : celui retrouvé à Azé occupe aujourd'hui la partie occidentale de la Sibérie et le Kazakhstan, sous un climat continental.

A travers ce bestiaire, on reconnaît la plupart des proies habituellement chassées par la chouette Harfang et le renard polaire.

Les espèces tempérées sont quasiment absentes de ce bestiaire ; ce qui permet de placer ce dépôt à la période pléni-glaciaire du Würm, vraisemblablement durant l'une des périodes du Dryas (confirmé par datation ¹⁴C).

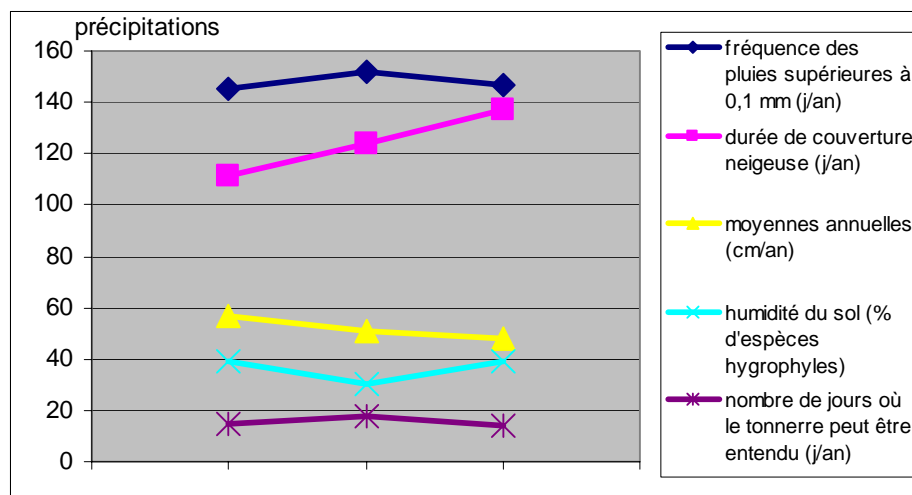
L'étude des données climatiques propres à ces espèces a permis à M. Jeannet d'établir les diagrammes environnementaux suivants (exemple pour 3 niveaux stratigraphiques donnés E258, E262 et E257) :



Graphique M. Jeannet.

Diagramme des températures : la qualité continentale de la microfaune est parfaitement traduite dans les degrés thermiques enregistrés. Des moyennes annuelles étagées entre 0 et 5°C caractérisent un climat extrêmement rigoureux. Une amplitude voisine de 30°C entre les extrêmes évoque un climat de type continental.

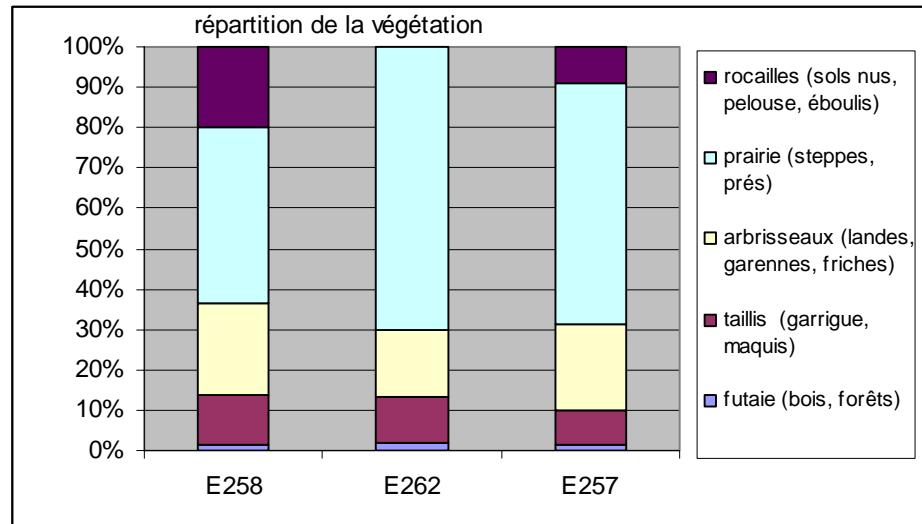
En comparaison, aujourd'hui la température moyenne annuelle à Mâcon est de 11°C, l'écart journalier moyen est de 8°C, la température moyenne du mois le plus froid est de -1°C et la température moyenne du mois le plus chaud est de 25°C.



Graphique M. Jeannet.

Diagramme des précipitations : les précipitations reflètent les conséquences des conditions climatiques. Plus les périodes sont froides, plus la quantité de pluie diminue et plus la durée d'enneigement augmente.

En comparaison, aujourd'hui le nombre jour où il y a de la neige est de 16 par an à Mâcon, le nombre de jours où le tonnerre peut être entendu à Mâcon est de 30 et la moyenne annuelle des précipitations est de 84 cm en 157 jours.



Graphique M. Jeannet.

Diagrammes de répartition de la végétation : les conditions précédentes ne sont pas favorables aux espèces forestières. Le milieu découvert occupe une grande part du paysage.

Sur le site vous verrez :

Dans la Grotte Préhistorique :

- concrétions (stalactites, stalagmites, draperies, planchers stalagmitiques)
- strate de lumachelle (tempestite)

Dans la grotte de la Rivière Souterraine :

- calcaire à polypiers
- calcaire à entroques
- coulée de solifluxion

Dans le parc :

- porche de la Galerie des Aiglons
- dépôts de pente (coulée de solifluxion)

A proximité du site vous verrez :

- une vallée sèche

2. Objectifs pédagogiques :

Les climats :

- exploitation de données de terrain
- mesure de changements climatiques à différentes échelles de temps
- restitution d'un cadre local dans un contexte régional voire global
- réinvestir des informations dans un bilan résumant les notions essentielles

3. Exploitation sur le terrain et en classe

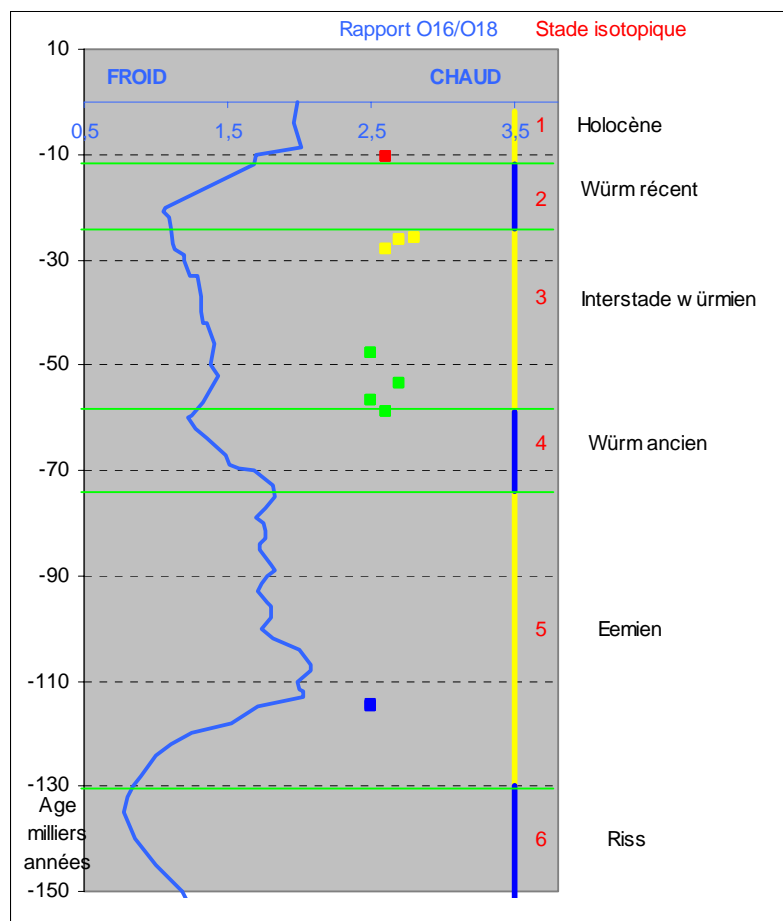
Fiche géologie

**Proposition de fiche élève
niveau lycée adaptable par
l'enseignant**

A) La Grotte Préhistorique :

Le bouchon stalagmitique

1. Rappelez brièvement le mode de formation des concrétions.
2. Lors de son passage dans l'humus, l'eau de pluie dissout et entraîne de l'uranium 234 (^{234}U). Cet uranium se retrouve ensuite piégé dans la concrétion qui se forme dans la grotte.
L'uranium 234, radioactif, se désintègre en thorium 230 (^{230}Th) selon une loi mathématique de type exponentielle décroissante. La mesure du rapport $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ permet donc de dater une concrétion.
Si nous comparons les dates obtenues à Azé avec les périodes isotopiques définies à partir des isotopes de l'oxygène ($^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$) obtenues dans les calottes glaciaires, nous obtenons :



- a. A quelles périodes se sont développées les concrétions de la Grotte Préhistorique ?
- b. A quelles phases climatiques cela correspond-il ?
- c. Connaissant le mode de formation des concrétions, expliquez pourquoi elles n'ont pas pu s'accroître entre ces périodes.

La lumachelle

1. Ce banc rocheux typique s'est mis en place lors d'une tempête. L'accumulation des débris coquilliers est due au brassage des fonds marins de l'époque.
 - a. Cette mer du Bathonien inférieur était-elle profonde ? Justifiez.
 - b. Quel laps de temps représente ce lit fossilifère ?
 - c. L'épaisseur d'une couche est-elle représentative de sa durée ou de sa continuité ?

2. Parmi les fossiles, les trigonies dominent. Ces lamellibranches sont typiques d'eaux chaudes de récifs coralliens.
 - a. Quel était le climat de l'époque ?
 - b. Comment appelle-t-on actuellement ce genre de tempête sous des climats équivalents ?

B) La Rivière Souterraine :

Salle des Polypiers

1. L'étage géologique est le Bajocien inférieur, caractérisé par des calcaires à polypiers ainsi que par des calcaires à entroques. Les entroques sont des pièces calcaires superposées, de symétrie pentaradiée, constituant la structure d'animaux appelés des crinoïdes.

A quels grands groupes d'animaux se rattachent :

- les polypiers ?
- les crinoïdes ?

2. Les polypiers nécessitent une eau chaude (plus de 18°C) et peu profonde (moins de 10 à 15 mètres) car ils se nourrissent de plancton.

- a. Pourquoi ne peuvent-ils pas se développer à une bathymétrie plus importante ?
- b. Où se développent aujourd'hui les polypiers ?
- c. Qu'en déduisez-vous sur le climat de la région il y a 170 millions d'années ?
- d. A quel grand principe vous référez-vous ?
- e. Pourquoi n'a-t-on plus le même climat de nos jours ?

La coulée de solifluxion

1. Lors de sa mise en place, cette coulée de solifluxion a entraîné avec elle des silex et des ossements. Certains sont des restes de chevaux attribuables à l'espèce *Equus caballus germanicus*, cheval classique du Pléistocène supérieur (autour de 100 000 ans).

- a. Quel âge peut-on attribuer à cette coulée de solifluxion ?
- b. A quel grand principe vous référez-vous ?

2. La microfaune est représentée par le Souslik (écureuil terrestre). Cette espèce se rencontre aujourd'hui de l'Europe centrale à la Sibérie.

- a. Quel est le climat actuel de ces régions du monde ?
- b. Qu'en déduisez-vous pour le climat d'alors à Azé ?
- c. A quel grand principe vous référez-vous ?
- d. A quelle(s) grande(s) phase(s) climatique(s) cela correspond-il ?

Sortie du 3^{ème} étage

Une coulée de solifluxion se produit lorsque de grandes quantités d'eau libérées ne peuvent pas s'infiltrer du fait de l'imperméabilité temporaire des niveaux plus profonds. Le ruissellement qui se créait alors sur la partie supérieure du remplissage de la Vallée de la Mouge et de ses versants pouvait entraîner la formation d'une lame d'eau pouvant provoquer la formation d'une coulée de solifluxion.

- a. A quelle saison s'est produite cette coulée de solifluxion ?
- b. A quoi est due l'imperméabilité temporaire des terrains sous-jacents ?

C Synthèse

Faites un bilan chronologique récapitulant les différents climats que la région a subi et qui sont enregistrés dans les grottes d'Azé.

D) Exploitation en classe :

Suggestion : exploiter les documents sur la « microfaune du porche de la Galerie des Aiglons » présentés dans le dossier de documentation Enseignant.

Bibliographie :

Barriquand Johan et Lionel, Quinif Yves et Argant Alain : Grotte d'Azé (Saône-et-Loire, France) – Bilan et interprétation des datations U/Th, *Geologica Belgica* (2006 9/3-4 p309-321).

Berger Sophie et Martin-Barriquand Johan : Grottes d'Azé : étude stratigraphique et lithologique, Licence des Sciences de la Terre, Dijon 1995.

Combiér J. et Merle C. : Le site d'Azé 2, dépôt de pente moustérien, Institut de Recherche du Val de Saône Mâconnais

Jeannet Marcel dans rapport de fouilles Barriquand Johan et Lionel (2002) : La microfaune du porche de la Galerie des Aiglons

Guerin C. et Patou-Mathis M. : Les grands mammifères plio-pléistocènes d'Europe

Quinif Yves : La datation uranium-thorium, *Speleochronos* n° 1 (1989), Cerak Faculté Polytechnique de Mons (Belgique).

Simonnot Guy : Grottes d'Azé, *Eléments de géologie*. Sous le Plancher numéro hors série juin 2003, Comité départemental de Spéléologie de Saône-et-Loire.