

SESSION 2025

AGRÉGATION EXTERNE
Concours spécial docteur

Section

SCIENCES DE LA VIE, SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

Étude de dossier scientifique

Le candidat est conduit à analyser et à présenter un dossier scientifique, fourni par le jury, tant dans sa dimension scientifique (intérêts, résultats obtenus) que dans ses dimensions éducatives, professionnelles ou citoyennes.

Le dossier peut contenir des données scientifiques (et/ ou technologiques) en langue anglaise.

Durée : 4 heures

L'usage de tout ouvrage de référence, de tout autre dictionnaire et de tout matériel électronique (y compris la calculatrice) est rigoureusement interdit.

Il appartient au candidat de vérifier qu'il a reçu un sujet complet et correspondant à l'épreuve à laquelle il se présente.

Si vous repérez ce qui vous semble être une erreur d'énoncé, vous devez le signaler très lisiblement sur votre copie, en proposer la correction et poursuivre l'épreuve en conséquence. De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, vous devez la (ou les) mentionner explicitement.

NB : Conformément au principe d'anonymat, votre copie ne doit comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé consiste notamment en la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de la signer ou de l'identifier. Le fait de rendre une copie blanche est éliminatoire.

Tournez la page S.V.P.

INFORMATION AUX CANDIDATS

Vous trouverez ci-après les codes nécessaires vous permettant de compléter les rubriques figurant en en-tête de votre copie. Ces codes doivent être reportés sur chacune des copies que vous remettrez.

AGRÉGATION SPÉCIAL DOCTEUR
Sciences de la vie, de la terre et de l'univers

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EAD	1600D	102	8085

La répartition des isotopes sur Terre : un mécanisme naturel permettant de reconstituer des éléments clés du fonctionnement de la planète Terre

Vous montrerez comment les connaissances sur la répartition des isotopes permettent de reconstituer non seulement des mécanismes biologiques et géologiques, mais aussi des grandes modifications au cours de l'histoire de la Terre.

Il n'est pas attendu une reconstitution des grandes étapes de l'histoire de la vie sur la Terre ou des principaux événements géologiques de la planète.

En vous basant sur les 5 documents fournis et sur vos connaissances, vous construirez une dissertation raisonnée et argumentée. L'exposé comprendra obligatoirement :

- une version adaptée à des élèves de lycée de l'une des figures du dossier à votre choix, en français ;
- une exploitation de tous les documents, en indiquant clairement le numéro du document exploité à chaque fois que vous y faites référence.

Document 1 : La vie d'individus du genre *Homo neanderthalensis* et *Homo sapiens* en Europe

D'après Wißing et al. (2019), Nature Scientific Reports 9 (1), 4433.

Les deux espèces ont coexisté en Europe dès l'arrivée d'*H. Sapiens* il y a 45 000 ans environ. Les recherches ont eu lieu sur différents sites de Belgique et d'Allemagne. Les études s'appuient ici sur un modèle Bayésien utilisant les isotopes stables du carbone, de l'azote et du soufre dans le collagène extrait des os des squelettes humains et de la faune locale retrouvés sur les sites.

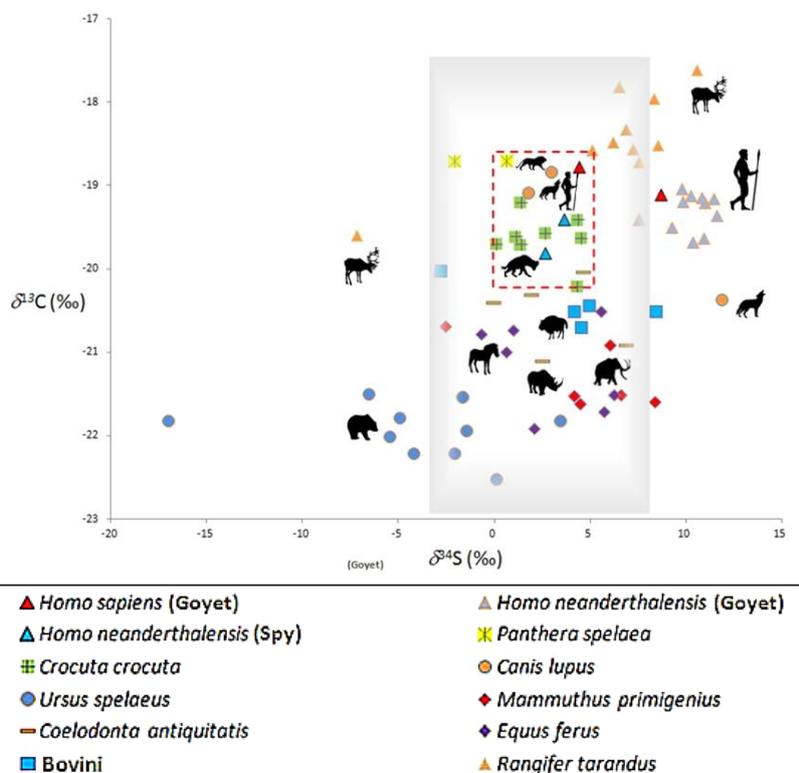
Document 1.1 : Localisation des sites de l'étude.

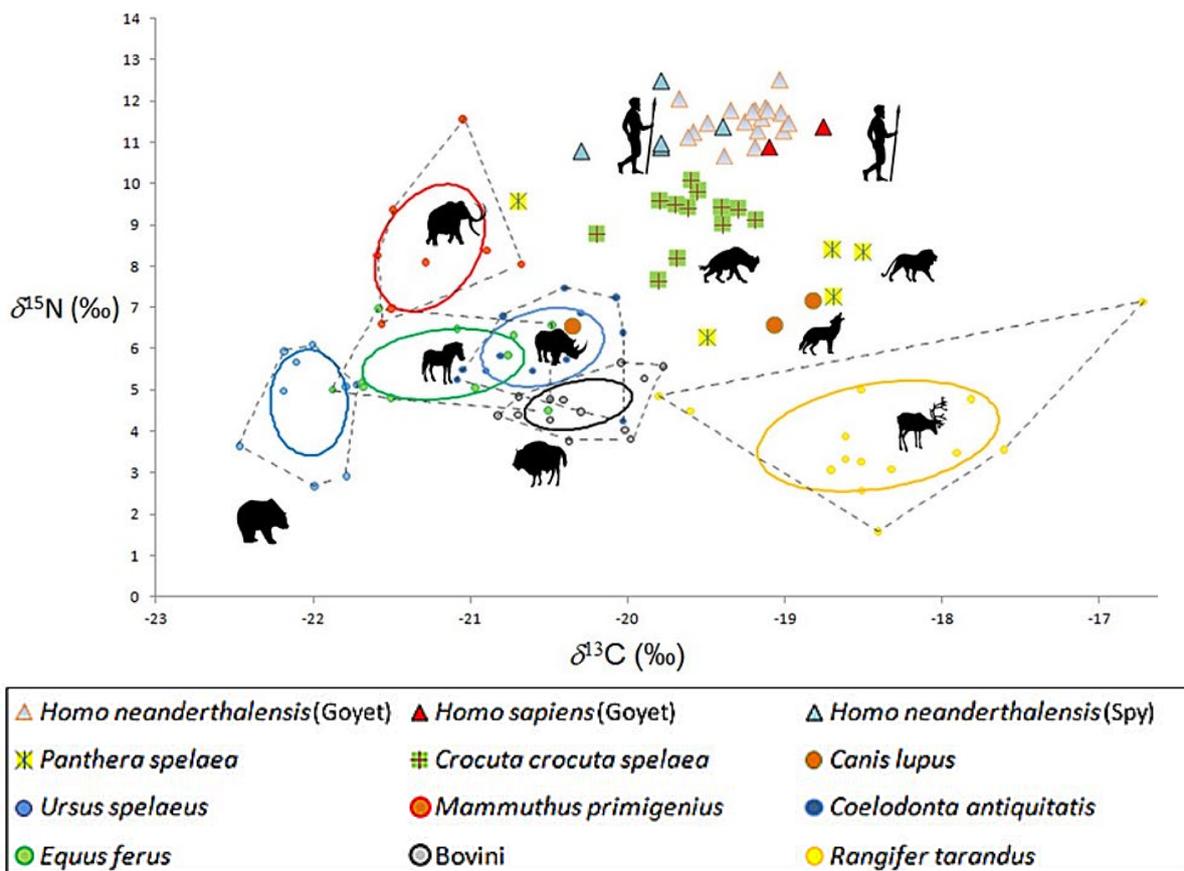
Le site Spy ne contient que des restes humains de *H. neanderthalensis*. Le site Goyet contient 2 squelettes de *H. sapiens* et 18 squelettes plus anciens de *H. neanderthalensis*. L'ensemble des sites en rouge contient des fossiles qui ont servi à étudier la faune locale de la période étudiée dans la région. Les lignes grises sont les frontières actuelles.



Document 1.2 : diagramme des valeurs du $\delta^{34}\text{S}$ et du $\delta^{13}\text{C}$ du collagène des os d'organismes de la fin du Pléistocène dans les différents sites de Belgique.

Faunal remains are from Scladina, Spy and Goyet. Different species are associated with different symbols and colors. Individuals specimens are plotted. The shaded grey rectangle represents the local sulphur signal (mean ± 2 standard deviation), the red dashed line essentially encompasses most of the carnivorous species. Carnivores reflect the average $\delta^{34}\text{S}$ values of their prey.





Document 1.3 : diagramme des valeurs du $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ du collagène des os d'organismes de la fin du Pléistocène dans les écosystèmes de Scladinia, Spy and Goyet en Belgique.

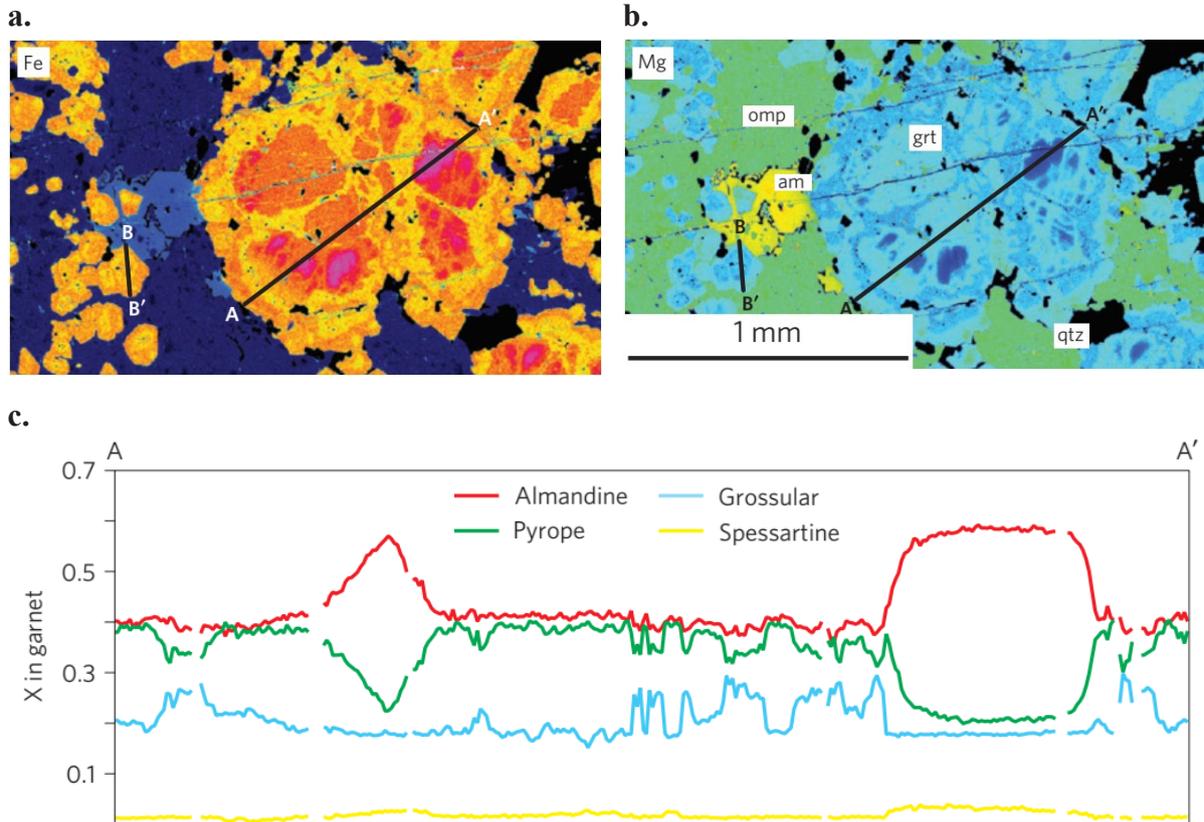
Herbivores' core niches (=standard ellipse areas) in total niche (dashed convex hulls) were calculated using SIBER (Stable Isotope Bayesian Ellipses in R). Omnivores and carnivores are displayed as individual specimens. Silhouettes represent species attribution.

L'approche SIBER est une approche statistique dans le logiciel R qui permet de fournir des intervalles de valeurs pour $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ à partir des échantillons analysés et de la variabilité associée.

Document 2 : L'exploitation du couple Lu/Hf dans un grenat d'une éclogite alpine

D'après Herwartz D. et al (2011), *Nature Geoscience* 4 (3), 178-183.

Des grenats issus d'éclogites provenant de la région alpine de Trescolmen, au sein de la marge européenne et au nord de la ligne insubrienne ont été analysés. Les compositions chimiques et minéralogiques des grenats ont été déterminées en différents points.



Document 2.1 : Détermination de la composition d'un grenat dans un échantillon d'éclogite du Trescolmen.

Element map of Fe(a) and Mg(b). In b, bluish colours are garnet (grt), green is omphacite (omp), yellow is amphibole (am) and black denotes quartz (qtz).

c. Compositional cross-section through large garnet crystals. Location of cross section A-A' is indicated in a-b.

Almandine : $\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$; Grossular (grossulaire) : $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$

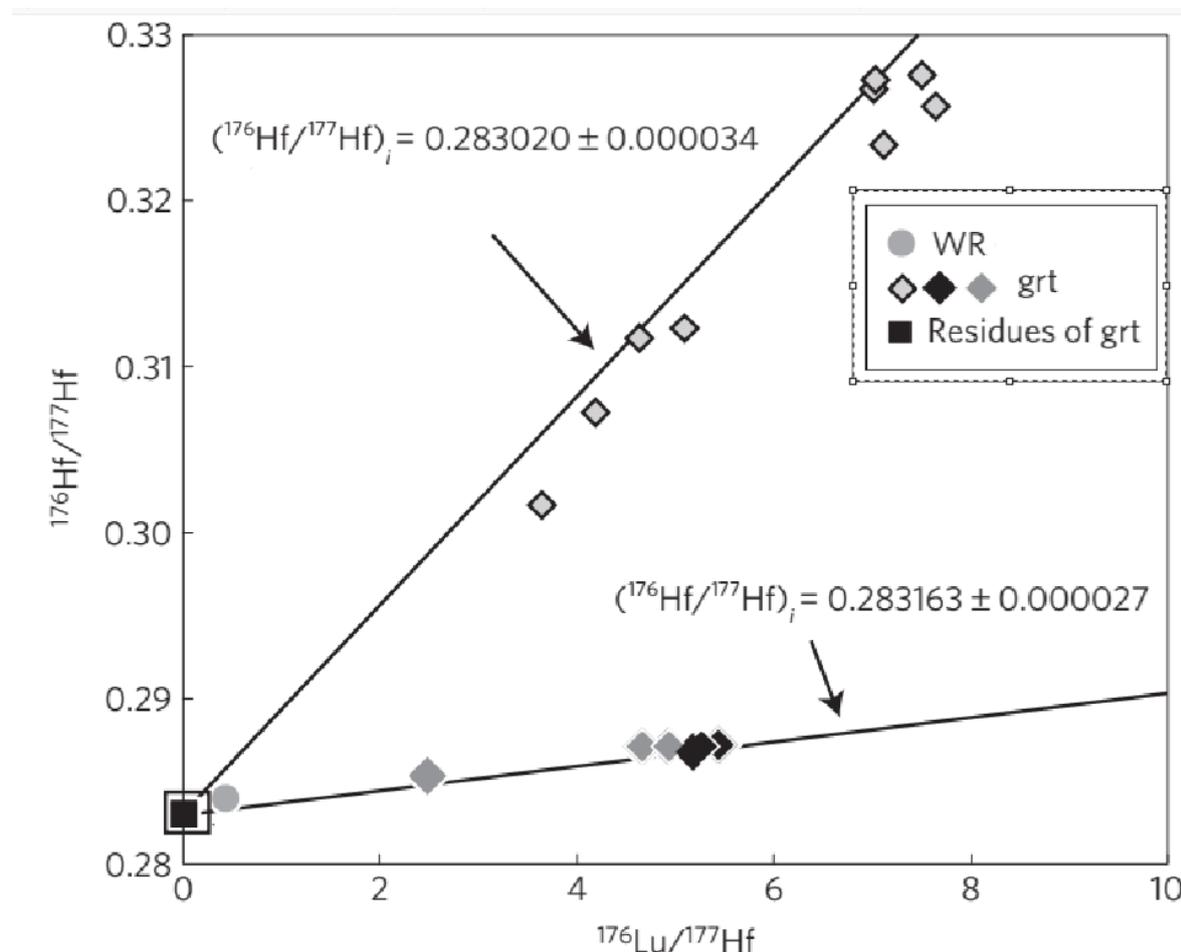
Pyrope : $\text{Mg}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$; Spessartine : $\text{Mn}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$

Le lutécium possède un isotope radioactif ^{176}Lu qui se désintègre en élément fils radiogénique ^{176}Hf . Le lutécium existe sous une forme stable ^{177}Lu , tout comme l'hafnium existe sous la forme ^{177}Hf . Un minéral comme le grenat possède dès sa formation du lutécium ^{177}Lu et de l'hafnium ^{177}Hf .

La constante de désintégration associée vaut $\lambda_{\text{Lu}} = 1,8 \cdot 10^{-9} \cdot \text{an}^{-1}$.

La demi-vie de ^{176}Lu est de $3,86 \cdot 10^9$ ans.

L'utilisation du couple Lu-Hf est similaire à celle du couple Rb/Sr.



Document 2.2 : Courbes isochrones des éclogites du Trescolmen.

WR : Roche entière

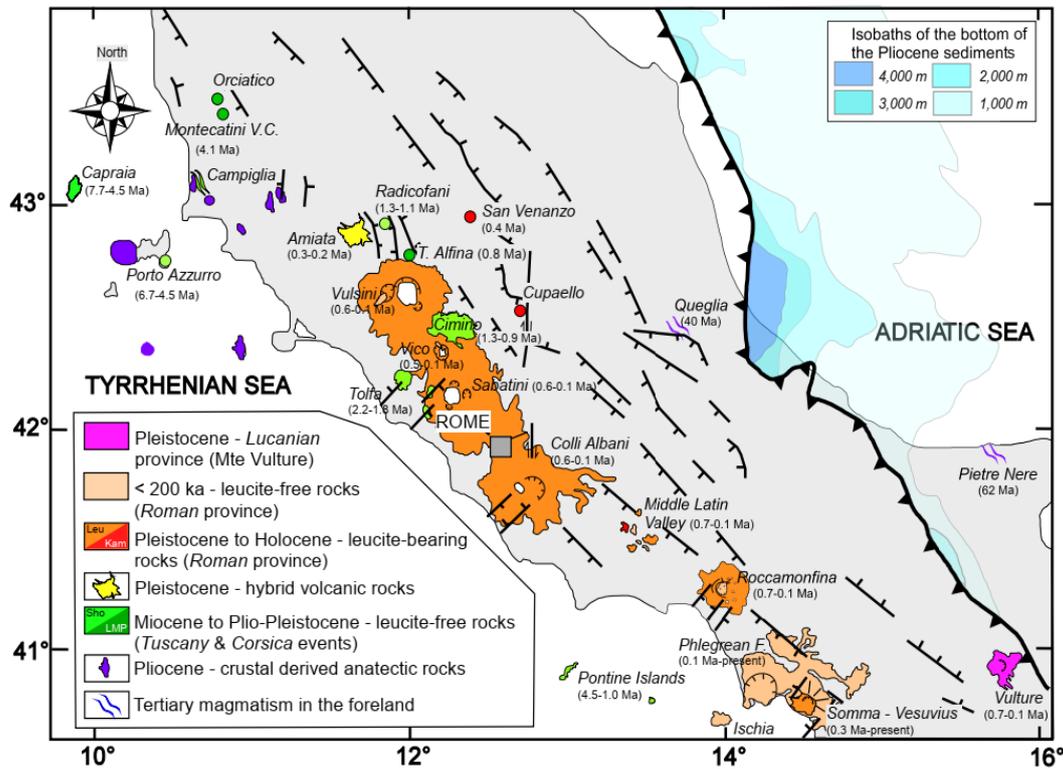
grt : Grenats issus de la même roche (chaque point correspond à un grenat différent)

Document 3 : Le magmatisme du mont Amiata

D'après Conticelli C. et al (2015), *Italian Journal of Geosciences* 134 (2), 266-290.

Le mont Amiata est un petit volcan composé de trachytes et de latites (apparentées aux trachyandésites). Ce volcan s'est mis en place entre -305 et -231 ka. L'étude qui suit s'est intéressée à ce magmatisme dans le cadre plus large du magmatisme en Italie.

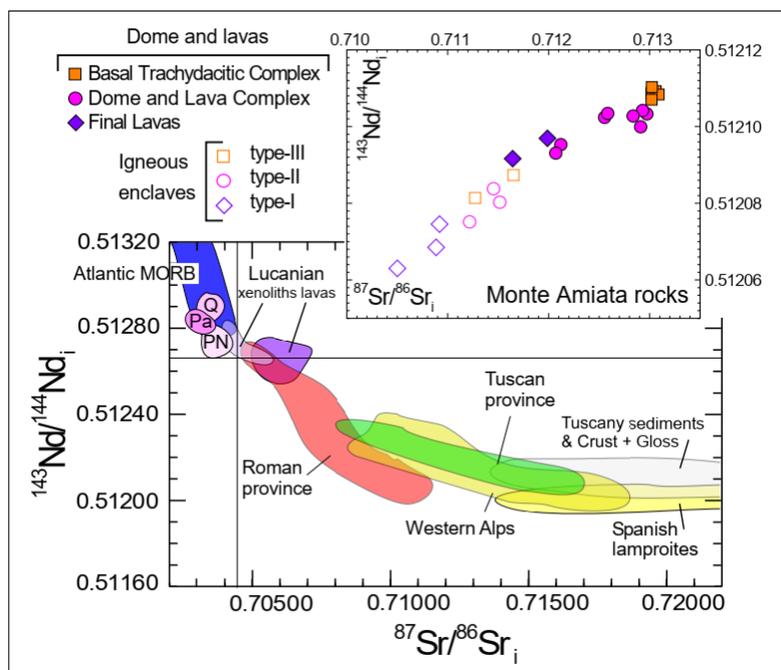
Document 3.1 : Carte géologique illustrant quelques provinces magmatiques italiennes.



Document 3.2 : Diagramme $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ et $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ des roches volcaniques du mont Amiata et des enclaves associées (encart).

Le diagramme dans son ensemble montre les gammes de valeurs pour d'autres roches volcaniques méditerranéennes.

Q: Queglia (à l'est d'Amiata sur le document 3.1) ;
 Pa: Pachino, un volcan situé sur la côte sud-est de la Sicile ;
 PN: Pantelleria, une île volcanique située au sud-ouest de la Sicile ;
 MORB : Basalte des dorsales océaniques.



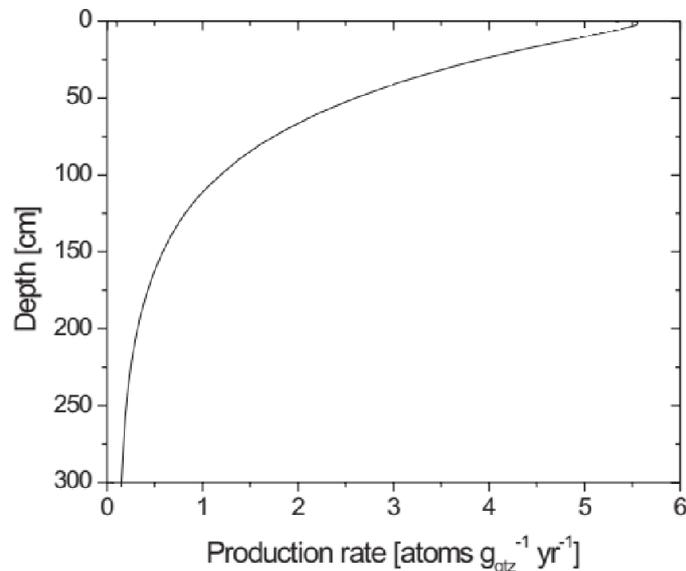
Document 4 : Le béryllium des roches de surface

D'après Ivy-Ochs C. and Kober F (2008), *Quaternary Science Journal* 57 (1), 179-209.

Le béryllium ^{10}Be est un isotope radioactif qui se forme par spallation dans l'atmosphère et à la surface de la Terre. La spallation est une réaction chimique suite à une collision avec une particule incidente de haute énergie qui forme de nouveaux noyaux de plus petites masses atomiques. Le ^{10}Be se forme principalement à partir de l'oxygène ^{16}O , notamment dans les quartz.

Le ^{10}Be se désintègre en ^9Be . Sa demi-vie est de 1,51 Ma.

L'aluminium ^{27}Al est aussi un élément radioactif qui se forme de manière similaire et qui se désintègre en aluminium ^{26}Al avec une demi-vie de 716 ka.



Document 4.1 : La production de ^{10}Be dans les quartz en fonction de la profondeur.

$$C(t) = \frac{P(0)}{\lambda + \frac{\rho\varepsilon}{\Lambda}} \left(1 - e^{-\left(\lambda + \frac{\rho\varepsilon}{\Lambda}\right)t} \right)$$

$P(0)$: production annuelle dans l'échantillon en $\text{atomes.g}^{-1}.\text{an}^{-1}$.

t : temps d'exposition de la surface, en années.

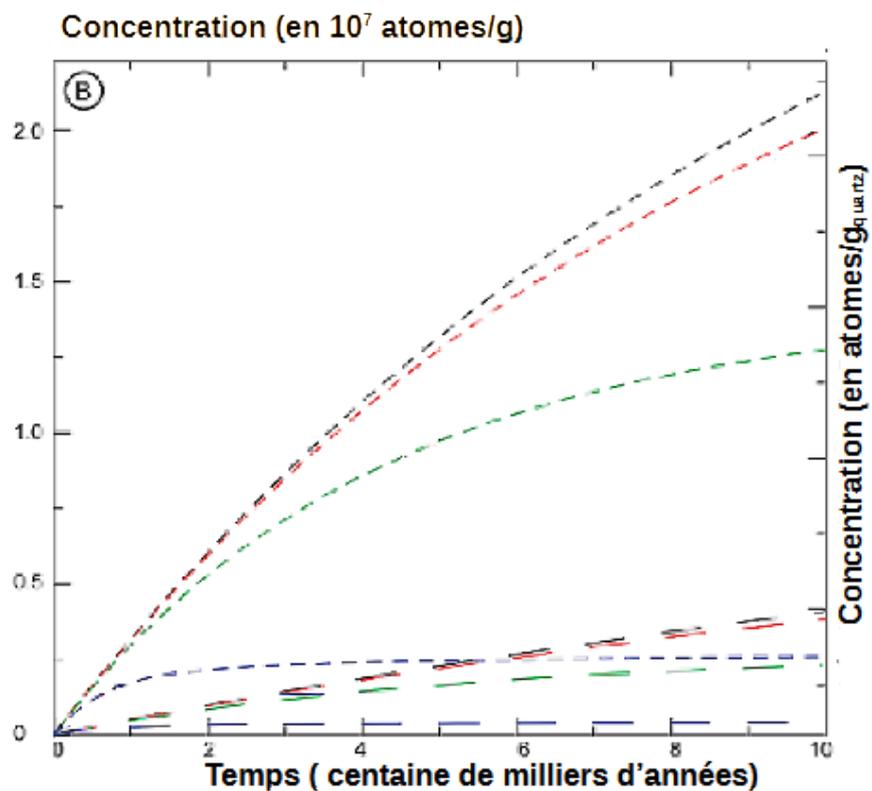
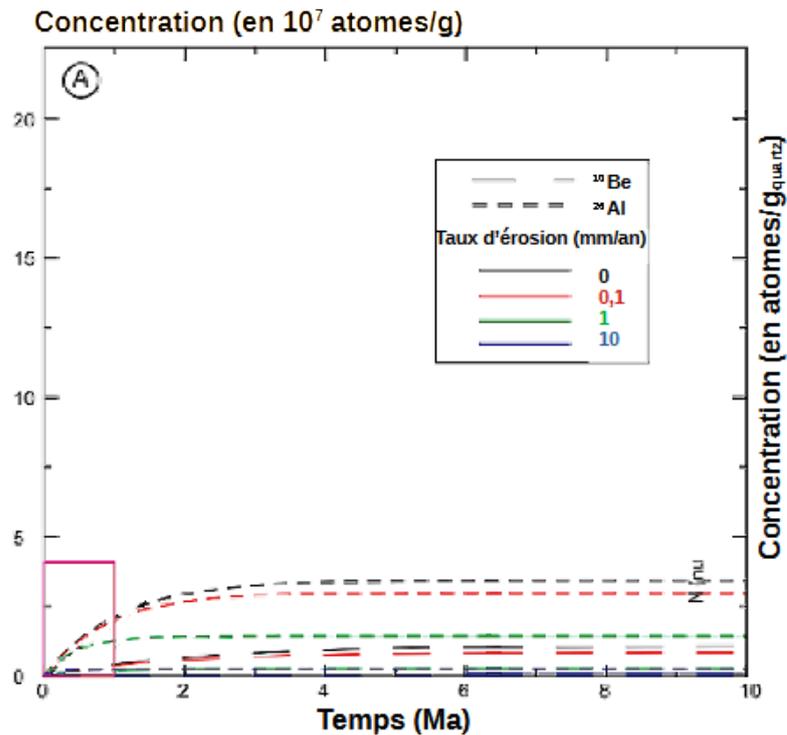
λ : constante de désintégration en an^{-1} .

ρ : masse volumique de l'échantillon en g.cm^{-3} .

ε : taux d'érosion en cm.an^{-1} .

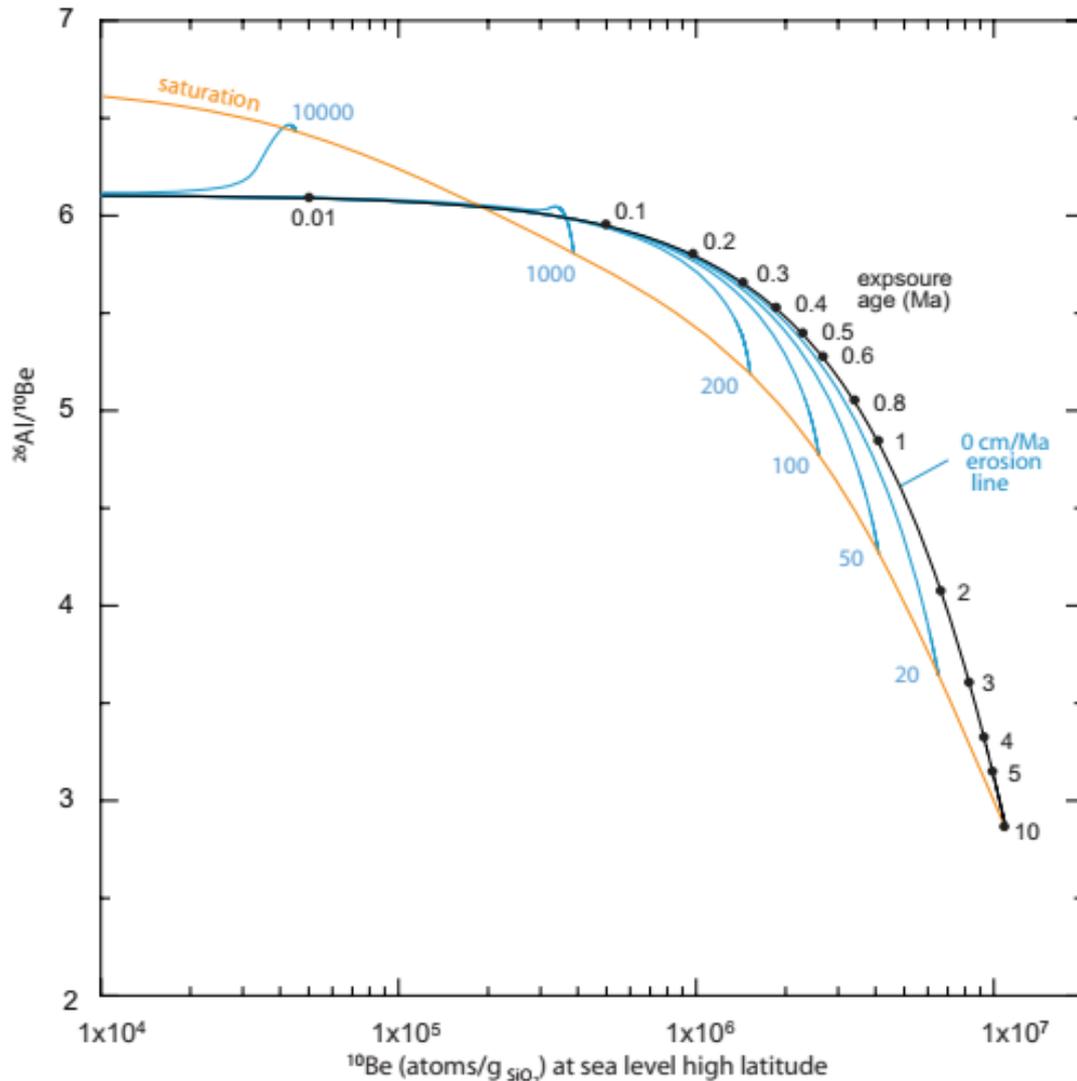
Λ : longueur d'atténuation (ou longueur d'absorption) g.cm^{-2} .

Document 4.2 : Détermination de la concentration en radionucléides cosmogéniques (comme ^{10}Be ou ^{26}Al) en fonction du temps d'exposition à la surface de la Terre.



Document 4.3 : Variations des concentrations en ^{10}Be et ^{26}Al en fonction de différentes vitesses d'érosion d'une surface.

L'équilibre séculaire est atteint quand la production d'un isotope est compensée par ses pertes par désintégration radioactive et érosion. En B, le détail du graphique A sur le premier million d'années.



Document 4.4 : Diagramme du rapport $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$ en fonction de la concentration en ^{10}Be au cours du temps.

Continuously exposed, non-eroding surfaces evolve along the bold black line. Continuously exposed surfaces eroding with steady-state erosion follow the trajectories (blue lines) that splay downward from the no-erosion line. The red line joins points of final $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$ ratios with the given erosion rates but is not an evolution line. The prescribed area is called the « steady-state erosion island ». Samples that plot below the steady-state erosion island experienced a more complex exposure that involves periods of burial. Samples may also plot below their erosion island if thick slabs have spalled off.

Burial : enfouissement

To splay : s'écarter

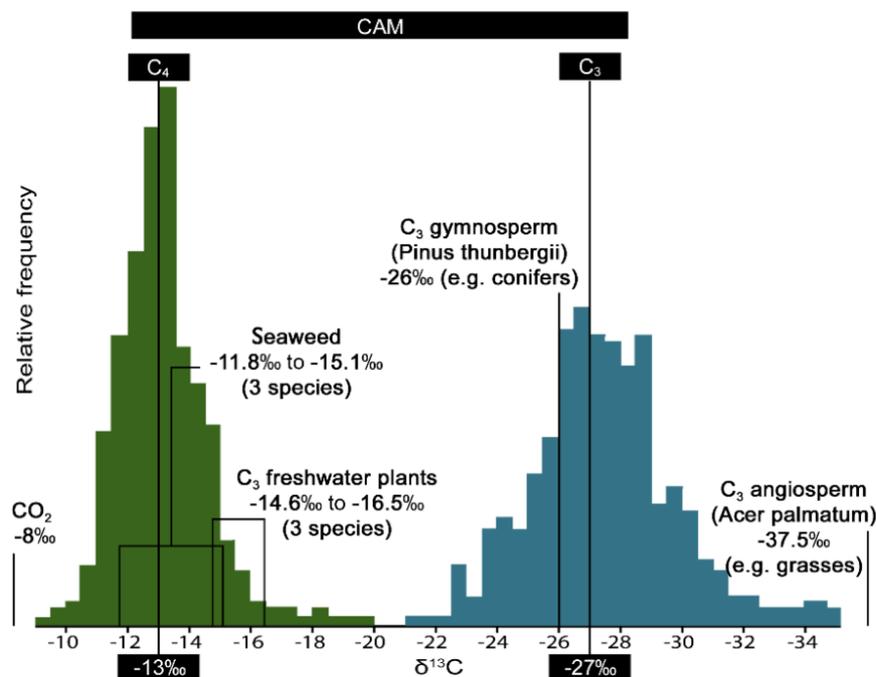
To spall off : s'écailler

Document 5 : Les isotopes du carbone au cours de la photosynthèse

D'après Reiffarth et al. (2016), The Science of The Total environment, 565, 8-27

D'après O'Leary H (1988), Biosciences 38 (5), 328-336.

Document 5.1 : Les valeurs du $\delta^{13}\text{C}$ d'espèces végétales dans le monde actuel.



Les résultats sont la compilation de près de 1000 analyses dans 5 laboratoires différents.

Document 5.2 : Quelques étapes aboutissant à un fractionnement isotopique.

Processus		$\Delta\delta$ (‰)
Équilibre	Solubilité du CO ₂ dans l'eau	1,1
	Hydratation du CO ₂	-9
Transport	Diffusion du CO ₂ dans l'air	4,4
	Diffusion du CO ₂ en solution aqueuse	0,7
Chimiques	Hydratation spontanée du CO ₂	6,9
	Hydratation du CO ₂ catalysée par l'anhydrase carbonique	1,1
	Formation de HCO ₃ ⁻ à partir de phosphoenolpyruvate catalysée par la phosphoenolpyruvate carboxylase (PEPC)	2
	Carboxylation du ribulose-1,5-biphosphate catalysée par la rubisco	29