

TP ST-H LA MESURE DU TEMPS : OUTILS ET MÉTHODES

Capacités exigibles

- Exploiter les principes de la stratigraphie pour réaliser une datation relative de deux événements géologiques.
- Exploiter les informations qu'apportent les fossiles pour dater (fossiles stratigraphiques) ou reconstituer un paléoenvironnement (fossiles de faciès).
- Exploiter les données d'une crise biologique pour justifier le découpage stratigraphique.
- Appliquer les différentes techniques de datation relative et absolue sur des exemples divers.

I. DATATION RELATIVE DE DEUX ÉVÈNEMENTS GÉOLOGIQUES

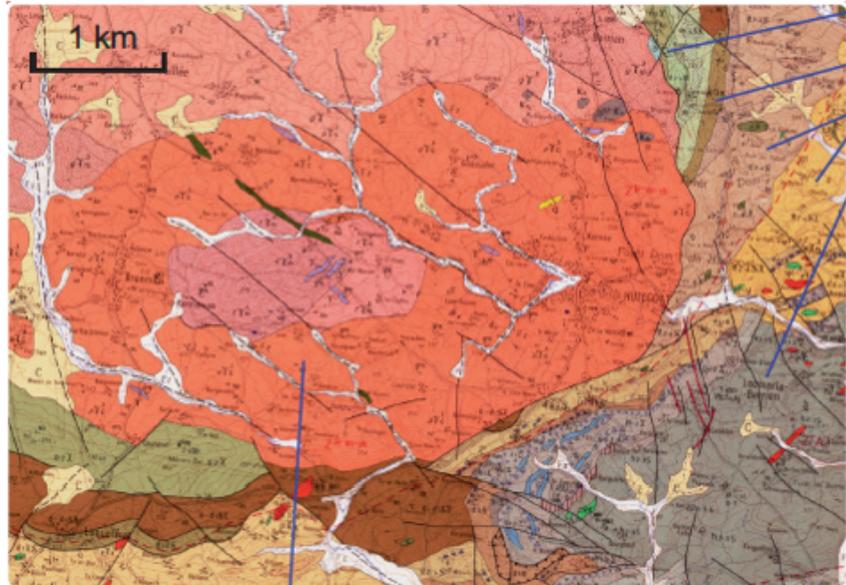
A. Datation de la mise en place d'un granite

La datation relative d'un pluton est possible lorsque celui-ci est intrusif dans une série sédimentaire et lorsque lui-même est recouvert de terrains sédimentaires discordants. Le meilleur encadrement est obtenu en identifiant le terrain le plus récent touché par le métamorphisme de contact et le terrain le plus ancien qui recouvre le pluton, n'est pas affecté par le métamorphisme et contient éventuellement des fragments issus de l'érosion du pluton. L'exemple du pluton armoricain du Huelgoat permet d'illustrer ces notions.

L'extrait de la carte géologique au 1/50 000 du Huelgoat (document 1) porte sur la bordure sud-est du massif granitique du même nom.

1. *À partir de la lecture de cette carte (a- vue générale ; b- vue de détail) et des légendes associées, déterminez, arguments à l'appui, l'âge de mise en place de ce pluton granitique.*
2. *La présence d'un contact par faille entre le granite du Huelgoat et les terrains $d_{2-4}S$ remet-il en cause votre raisonnement ?*

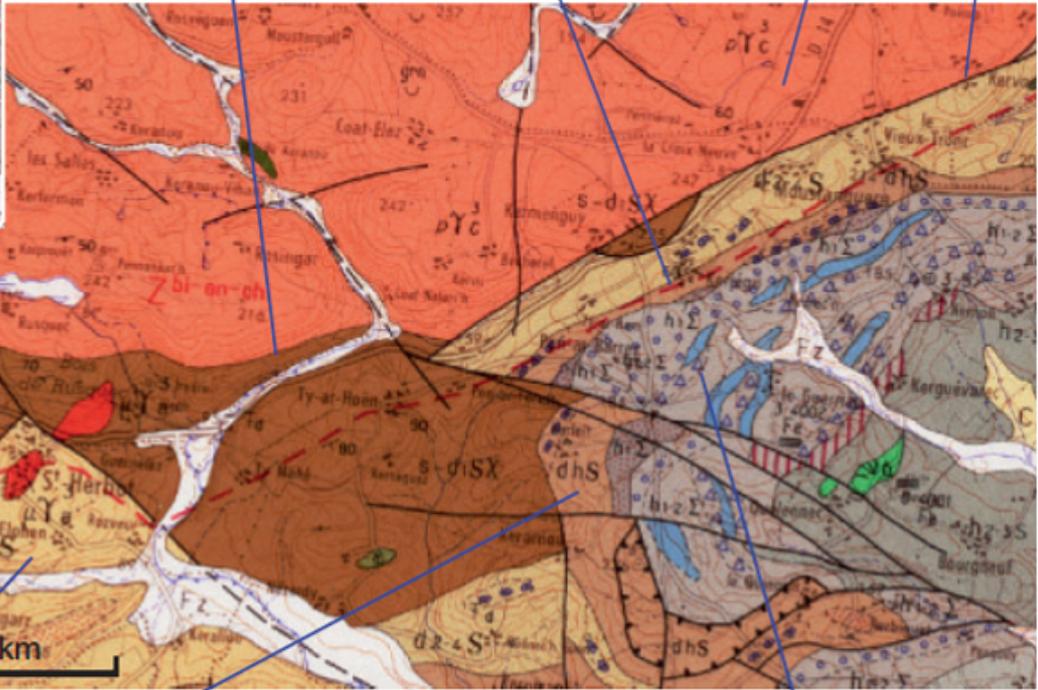
(a)



Ordovicien-Silurien
 Siluro-Dévonien
 Dévonien
 Carbonifère

granite du Huelgoat

(b)



contact stratigraphique limite de l'auréole de métamorphisme de contact granite du Huelgoat faille

s-d₁SX : phyllades à andalousite et cordiérite du Siluro-Dévonien

d₂₋₄S : phyllades à andalousite et chloritoïde du Dévonien

dhS : conglomérats à galets de phyllades à andalousite du Dévono-Carbonifère

h₁₋₂ : conglomérats à galets de granite, quartzites et phyllades à andalousite du Carbonifère inférieur

A. Datation de la mise en place d'un granite

1. (a) *La vue d'ensemble du massif montre que ce pluton intrusif recoupe les formations sédimentaires allant de l'Ordovicien au Dévonien inférieur et moyen (d2-4S). Sa mise en place est donc postérieure au Dévonien moyen mais, comme aucun terrain ne le recouvre en dehors des colluvions quaternaires (C), il n'est pas possible d'encadrer précisément sa mise en place.*

(b) *L'auréole de métamorphisme de contact touche les terrains allant du Silurien au Dévonien moyen (d2-4) et jouxte la formation du Dévono-Carbonifère (dh) suggérant un possible effet thermométamorphique (métamorphisme de contact). Toutefois le fait qu'il s'agisse de conglomérats (roches sédimentaires et non métamorphiques) contenant des galets de phyllades (schistes) à andalousite démontre que l'intrusion était déjà en place à cette période et soumise à l'érosion.*

Ceci est confirmé par la formation carbonifère (h1-2) dont les conglomérats contiennent cette fois-ci des galets de granite. Ce pluton s'est ainsi mis en place après le Dévonien moyen et avant le Dévono-Carbonifère

2. *Le fait que le contact se fasse ici par faille entre d2-4S et le granite n'empêche pas de conclure à une intrusion post-Dévonien moyen puisque les terrains d2-4S sont affectés par le métamorphisme. On retiendra qu'un contact par faille avec des terrains non métamorphisés n'aurait cependant aucune valeur informative sur la chronologie, ne correspondant en rien à une couverture discordante.*

B. Reconstitution d'une chronologie à partir d'une carte

Le **document 2** est un extrait du site Géoportail des cartes au 1/50 000 ème de Falaise et Condé-sur-Noireau, assemblées. Ces villes se trouvent en Normandie. Vous disposez de ces deux cartes ainsi que de la carte de France au millionième.

1. *Après avoir situé la zone étudiée sur la carte au millionième, identifiez la structure de teinte sombre orientée N110, localisée entre le granite d'Athis (en rouge noté γ_c) et la zone verte notée βK .*
2. *En vous servant du **document 2b**, proposez une chronologie des évènements ayant conduit à cette organisation.*

PALÉOZOÏQUE

Ordovicien

O5-6

O4-5

O3

O2

Cambrien

k-01

k4

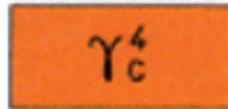
k3G

k2

k1

PROTÉROZOÏQUE SUPÉRIEUR

Plutonisme cadomien



Granodiorite à cordiérite d'Athis et de Quinquefougère

Métamorphisme



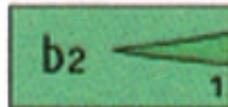
Briovérien métamorphisé au contact des granodiorites d'Athis et de Quinquefougère

bK - Cornéennes à biotite, muscovite et cordiérite

bS - Schistes tachetés

1 - Limite des auréoles du métamorphisme de contact

Briovérien supérieur



Formation de la Laize. Flysch : grès, siltites, argillites noires

1 - faisceaux de bancs à dominante gréseuse



B. Reconstitution d'une chronologie

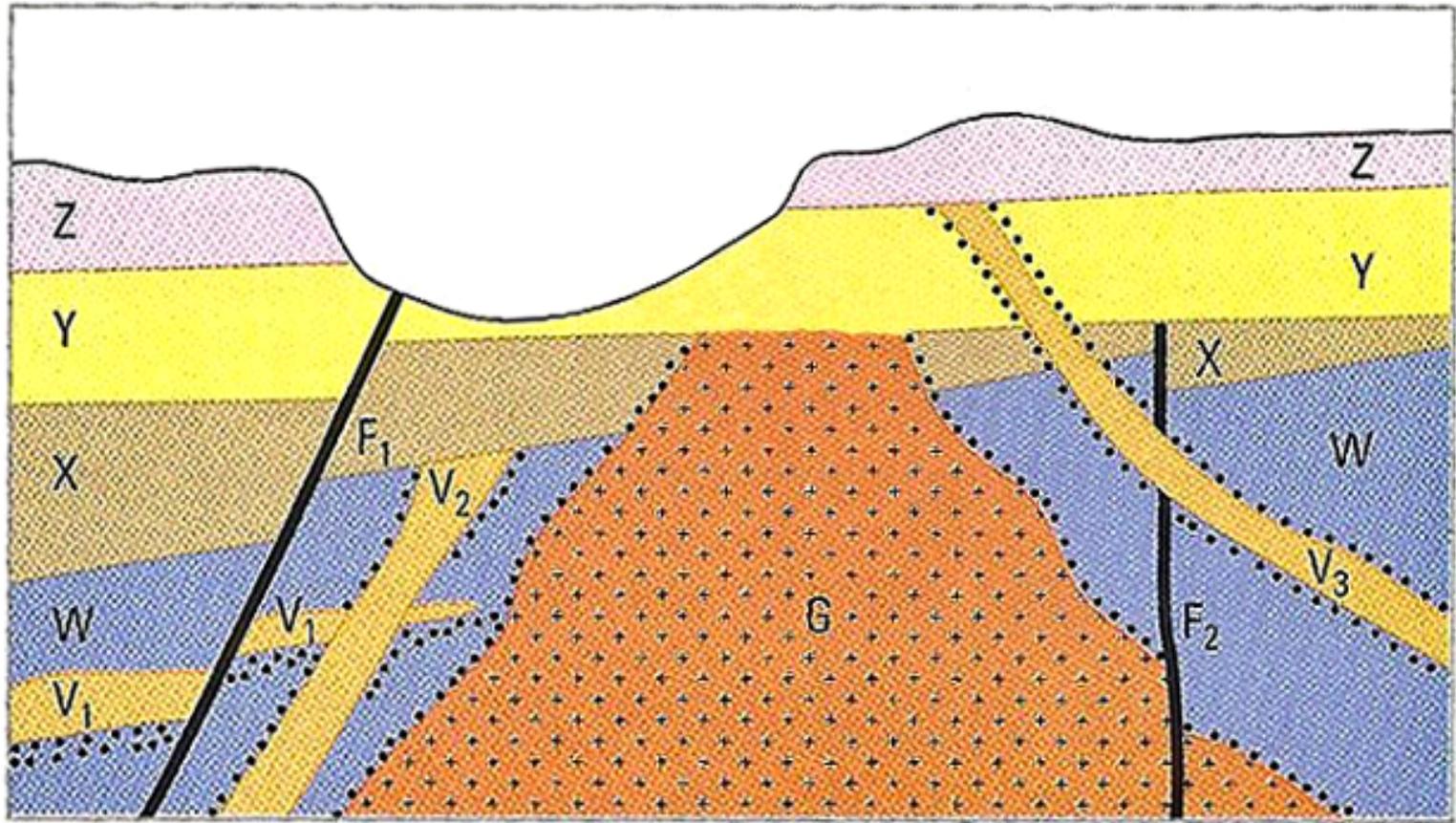
3. Synclinal dont on voit la terminaison au SE. Les roches du centre sont les plus jeunes (k2) et sont entourées par du k1b et du k1a, plus anciens.

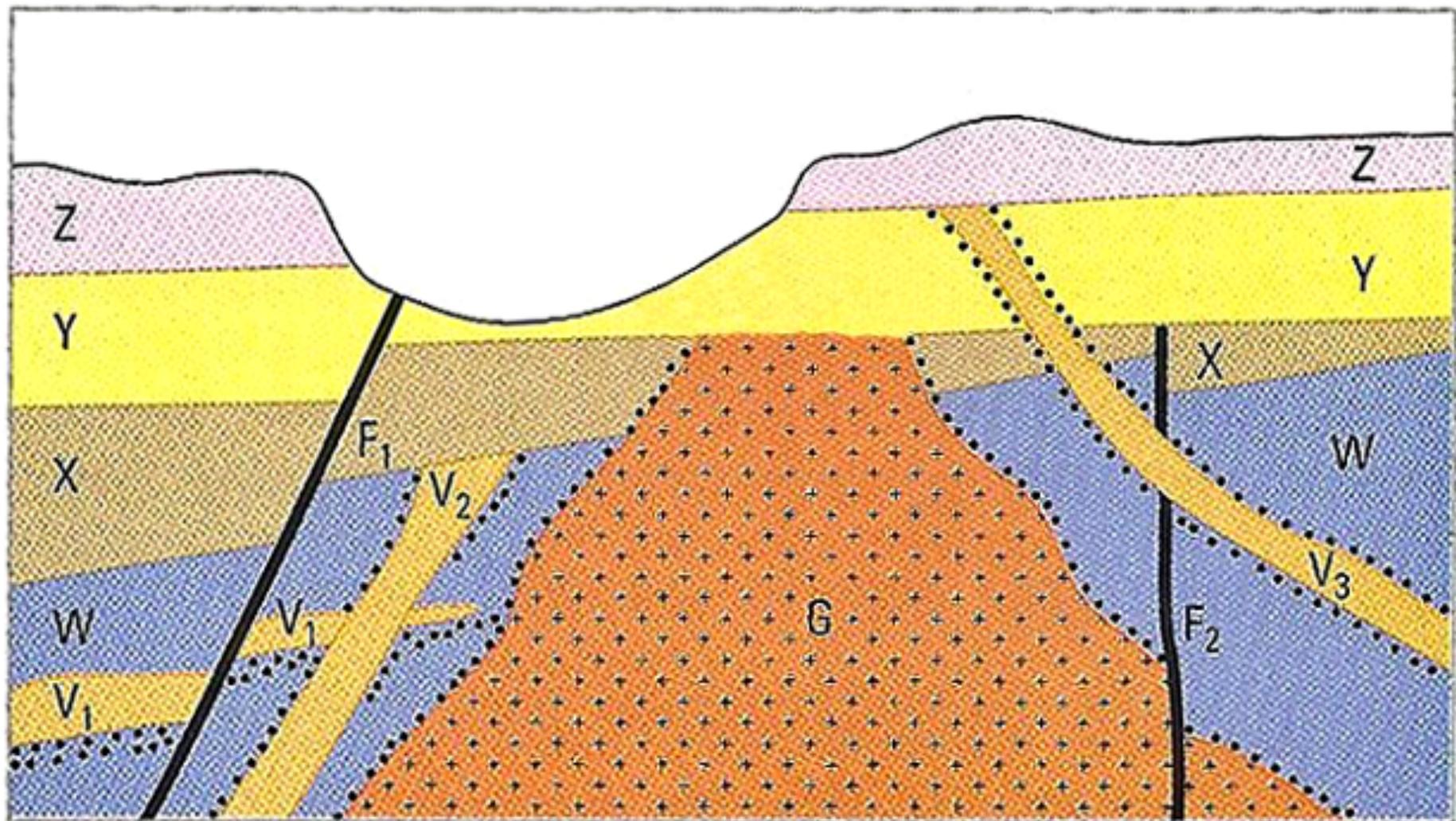
4. Le granite intrusif a métamorphisé les flysch du briovérien mais le synclinal n'est pas affecté. Le granite s'est donc mis en place après le briovérien mais avant le cambrien. Le cambrien est plissé ce qui signifie que indique une déformation soouple postérieure au dépôt. La présence des failles entre granite et flysch métamorphisé et entre synclinal et flysch indique une déformation cassante postérieure. L'indication de flanc inverse dans le k1a du flanc nord et la présence de vé affectant le granite et dirigés vers le NE, suggère une faille inverse: hra,ite et synclinal sont chavauchés par le flysch. Des alluvions quaternaires reposent en discordance sur l'ensemble des roches (points triples) indiquant un dépôt postérieur.

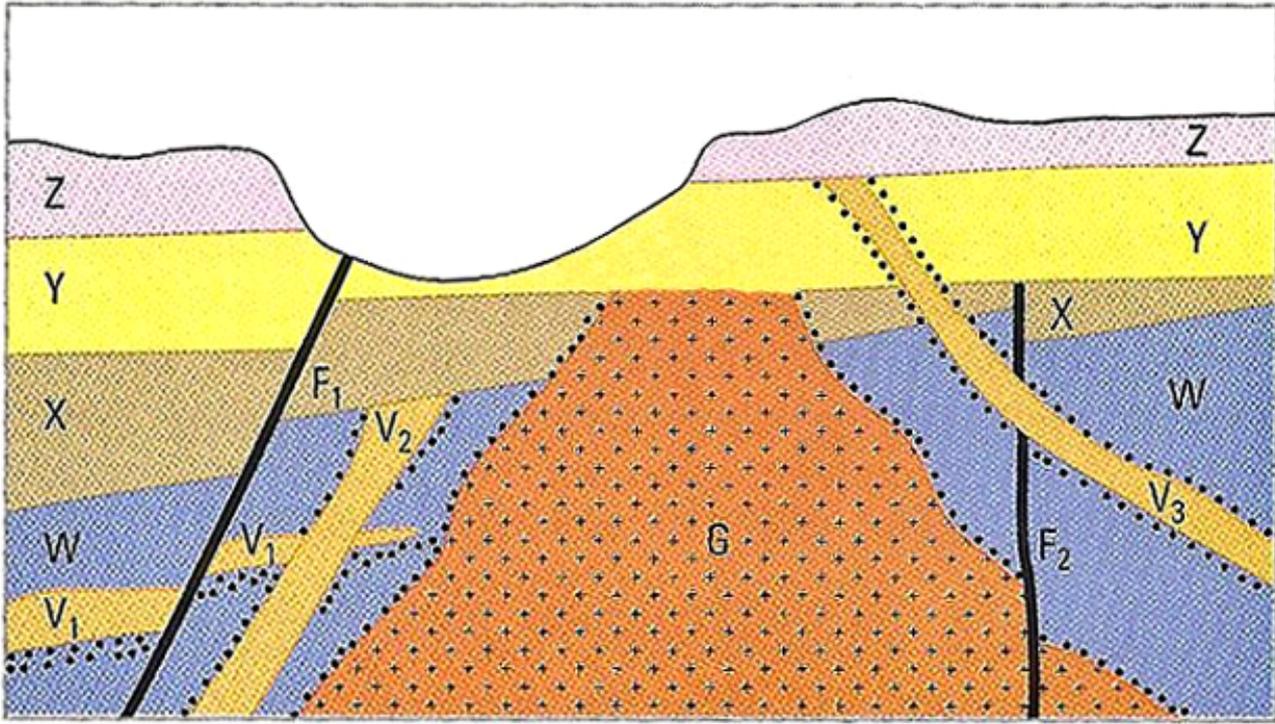
C. Reconstitution d'une chronologie à partir d'une coupe

Le document ci-dessous présente une coupe géologique théorique. On distingue 4 séries sédimentaires (W, X, Y et Z), un massif granitique G, 3 formations volcaniques notées V₁, V₂ et V₃ et 2 failles F₁ et F₂. Les petits points signalent des roches ayant subi des transformations minéralogiques après la mise en place de G ou de V.

1. Reconstituez l'histoire géologique de la région illustrée par cette coupe en décrivant de manière justifiée la suite des événements visibles.







Erosion

Z

F1 ?

V3 ?

Y

Erosion

F2

G

X

V2

V1

W



II. BIOZONES À AMMONITES ET INFORMATIONS STRATIGRAPHIQUES

L'étude des ammonites fonde la définition de nombreuses biozones au Jurassique et au Crétacé qu'il a été possible de dater en relation avec d'autres informations issues de la chronologie absolue. Le **document 3** montre les biozones à ammonites définies dans le callovo-oxfordien, étages du jurassique, et des logs stratigraphiques de deux séries sédimentaires observés en Bourgogne (log de Larrey en côte d'or) et dans le Jura (log de Crotenay).

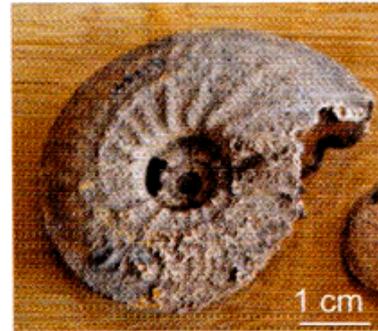
1. *Comparez les logs à l'oxfordien.*
2. *Estimez les taux de sédimentation de chaque région à partir des biozones communes.*
3. *Quelle conclusion sur les conditions de sédimentation à l'oxfordien pour ces deux régions ?*

Biozones à ammonites
du Callovo-Oxfordien (Jurassique)

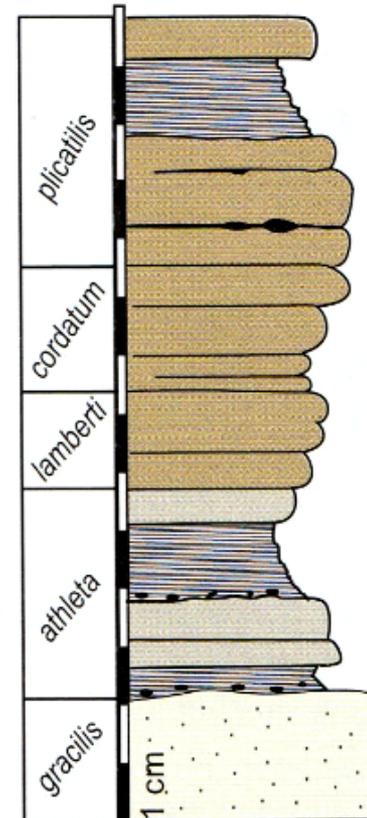
étage	âge (Ma)	biozones à ammonites
Oxfordien	156	<i>Epipeltoceras bemammatum</i>
	157	<i>Per. bifurcatus</i>
	158	<i>Gregoruceras transversarium</i>
	159	<i>Perisphinctes plicatilis</i>
	160	<i>Cardioceras cordatum</i>
	161	<i>Quenstedtoceras mariae</i>
Callovien	162	<i>Quenstedtoceras lamberti</i>
		<i>Pelto. athleta</i>
		<i>Ery. coronatum</i>
	163	<i>Rein. anceps</i>
	164	<i>Macrocephalites gracilis</i>
	<i>Bull. bullatus</i>	



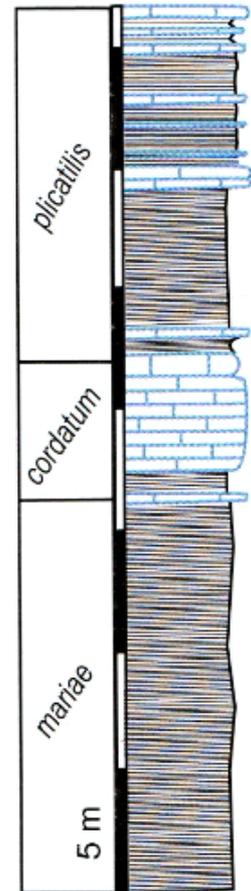
Perisphinctes
(Masur©Wikimedia)



Cardioceras
(Hectonichus©Wikimedia)



Larrey (Côte d'Or)



Crotenay (Jura)

Document 4 : Biozones à ammonites définies dans le callovo-oxfordien, étages du jurassique, et des logs stratigraphiques de deux séries sédimentaires observés en Bourgogne (log de Larrey en côte d'or) et dans le Jura (log de Crotenay).

L'échelle verticale est indiquée en bas des logs. Ces formations renferment des ammonites dont les noms d'espèces sont indiqués.

II. BIOZONES À AMMONITES ET INFORMATIONS STRATIGRAPHIQUES

1. L'oxfordien est représenté par 3 (Crotenay) ou 2 (Larrey) biozones : les corrélations montrent que la biozone à *mariae* manque en Bourgogne ce qui traduit un hiatus ou une lacune de sédimentation. La sédimentation a été discontinuée.

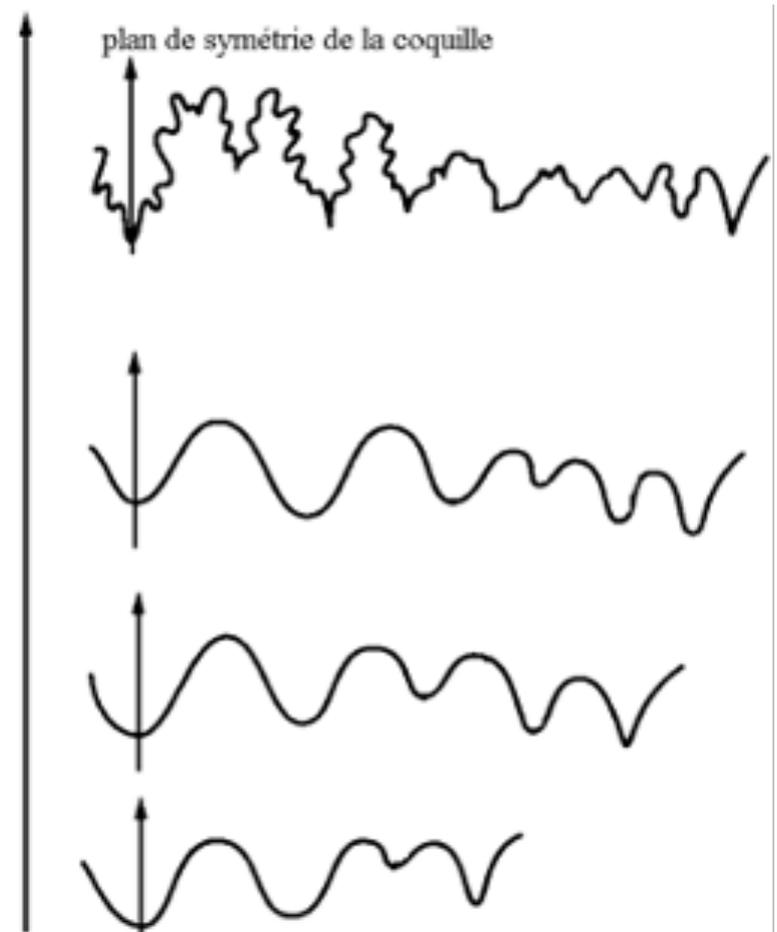
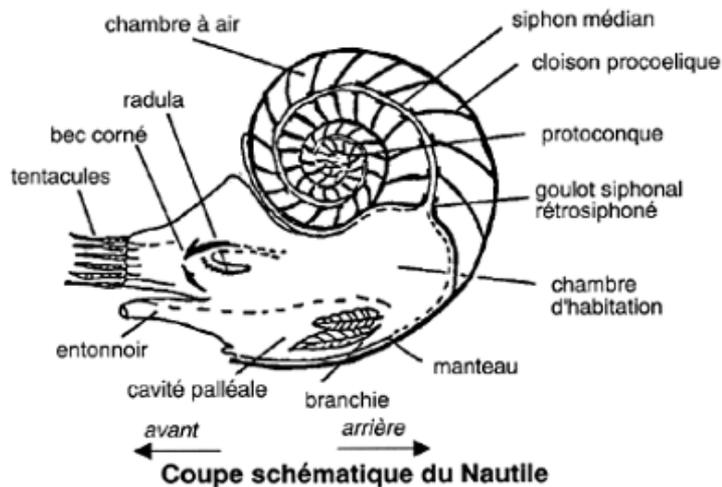
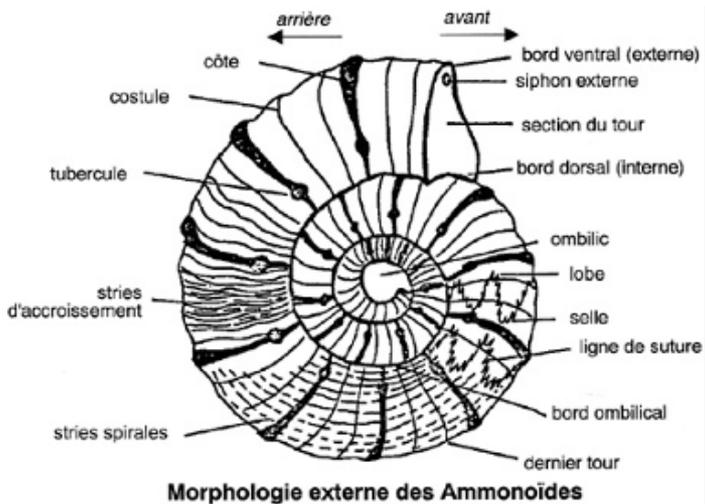
2. La connaissance des durées des biozones et de leur épaisseur permet d'estimer des taux de sédimentation variables d'une biozone à l'autre.

	<i>mariae</i>	<i>cordatum</i>	<i>plicatilis</i>
Larrey		2,1/1 = 2,1 cm/Ma	4,3/1 = 4,3 cm/Ma
Crotenay	16/0,6 = 26,6 m/Ma	5,7/1 = 5,7 m/Ma	14/1 = 14 m/Ma

3. Les conditions de sédimentation entre les 2 milieux sont très différentes : La Coupe de Bourgogne présente des taux de sédimentation très faibles associés à des hiatus alors que la Coupe du Jura est une série complète avec des taux d'alimentation beaucoup plus élevés.

La nature des fossiles traduit des environnements marins mais dont les caractères étaient très différents au plan de la subsidence du bassin et ou des apports sédimentaires.

Les ammonites sont des céphalopodes éteints depuis la fin du Mésozoïque. Elles possédaient une coquille qui s'est donc facilement fossilisée et qui montre un certain nombre de changements plus ou moins graduels dans le temps. On appelle ligne de suture le contact entre les cloisons et la paroi de la coquille. À certaines périodes, ces lignes de suture se compliquent par apparition de lobes et de selles et par le développement de circonvolutions que l'on appelle un persillage. À d'autres périodes, on assiste au contraire à une simplification des lignes de suture. Certaines de ces évolutions sont itératives, c'est-à-dire que l'on assiste à plusieurs reprises à des complexifications ou simplifications des lignes de suture.



1. *Expliquez pourquoi l'évolution de la ligne de suture peut correspondre à une adaptation à la vie en milieu profond.*
2. *Quel phénomène géodynamique global peut entraîner la régression des espèces à ligne de suture simple ?*
3. *Quel phénomène géodynamique global peut permettre la diversification des espèces à ligne de suture simple ?*

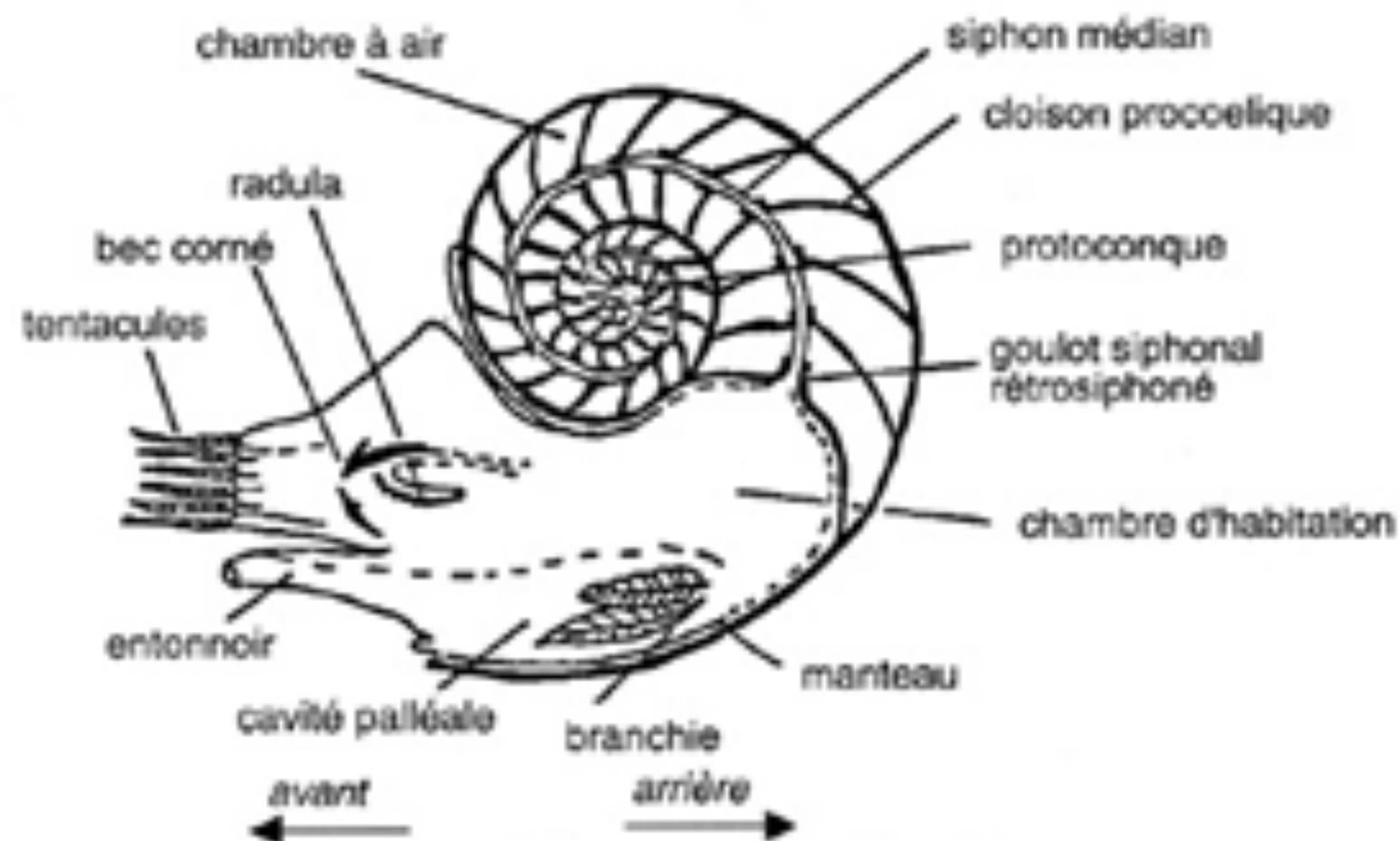
4. Plus la ligne de suture est complexe plus la résistance mécanique est grande. On peut donc penser que la complexité de la ligne de suture traduit une profondeur de vie plus grande.

5. La régression des espèces à ligne de suture simple traduit donc une augmentation de la tranche d'eau c'est-à-dire une variation eustatique que l'on peut assimiler à une transgression marine.

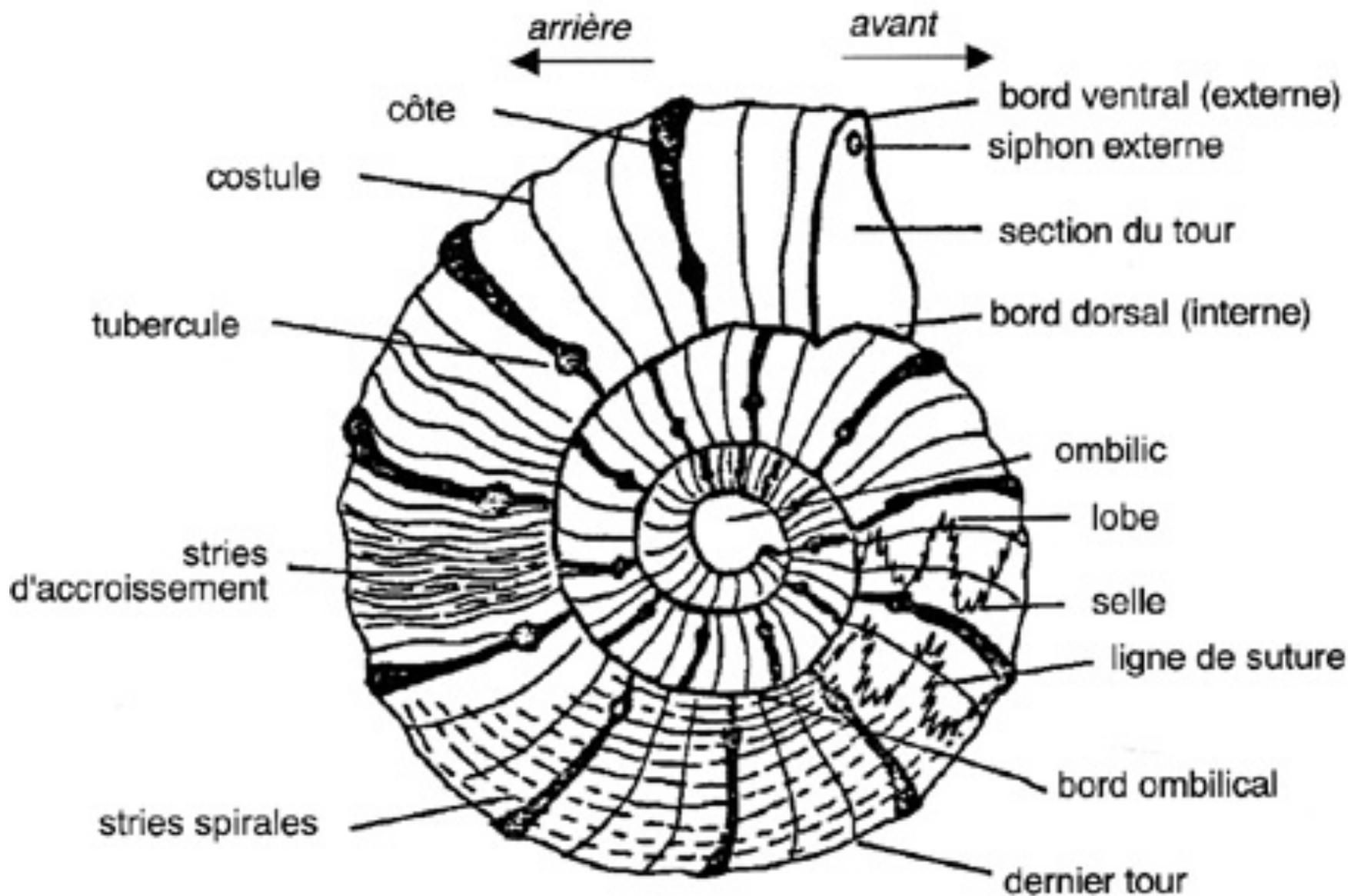
6. La diversification des espèces à ligne de suture simple c'est-à-dire vivant sous une faible tranche d'eau peut être associée à une augmentation de surface recouverte d'eau et donc une plus grande diversité des milieux de vie.

6. La diversification des espèces à ligne de suture simple c'est-à-dire vivant sous une faible tranche d'eau peut être associée à une diminution de la tranche d'eau que l'on peut assimiler à une régression marine. De nouvelles zones peu profondes apparaissent créant une diversité des milieux de vie et donc une plus grande variabilité spécifique (cf cours BCPST 2 sur évolution et sélection naturelle).

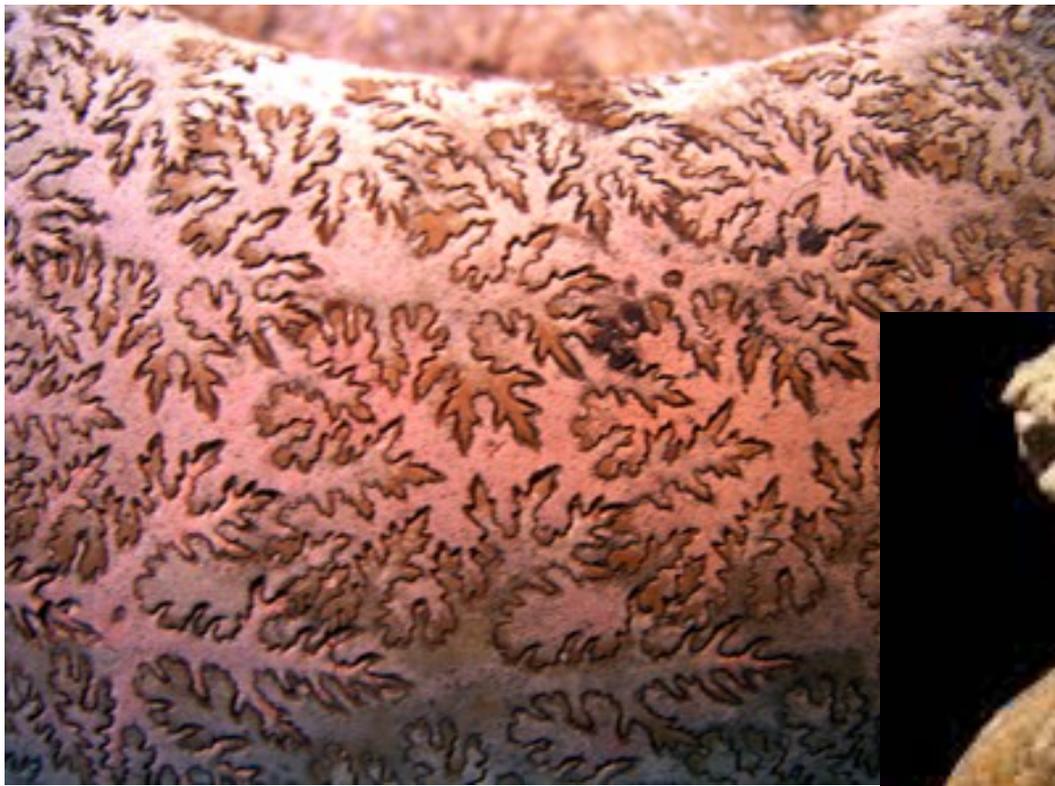
7. L'unité de profondeur dans cette relation est le kilomètre 2,5 étant la profondeur moyenne des dorsales océaniques. La valeur la constante peut être associée au taux de suffisance thermique qui est lié à la densité de la lithosphère océanique dont la valeur augmente avec le refroidissement qu'elle subit au fur et à mesure de son éloignement de l'axe de la dorsale.



Coupe schématique du Nautille



Morphologie externe des Ammonoïdes



La profondeur d'un océan en fonction de l'âge de la lithosphère océanique est donnée par la relation :

$$\text{Profondeur} = 2,5 + 0,35 \sqrt{\text{âge}} \text{ avec l'âge en Ma.}$$

7. *Indiquez l'unité de la profondeur dans cette relation et justifiez la valeur de la constante.*
8. *Expliquez les conséquences d'une variation de l'activité des dorsales sur l'eustatisme et l'évolution des ammonites.*

7. L'unité de profondeur dans cette relation est le kilomètre, 2,5 km étant la profondeur moyenne des dorsales océaniques. La valeur de la constante peut être associée au taux de subsidence thermique qui est lié à la densité de la lithosphère océanique dont la valeur augmente avec le refroidissement qu'elle subit au fur et à mesure de son éloignement de l'axe de la dorsale.

8. En première approximation, on peut considérer que la largeur de l'ensemble des fonds océaniques reste constante (puisque la production de croûte océanique est compensée par sa subduction). Mais c'est la morphologie des fonds océaniques qui va changer la hauteur du niveau marin. En effet, des variations du volume de la dorsale se produisent lors du refroidissement de la croûte océanique par subsidence thermique : c'est chaud = c'est en relief, c'est froid, ça s'enfonce. Ainsi, lorsque l'activité d'une dorsale augmente, la morphologie du fond de l'océan en question change et la dorsale prend la forme d'un triangle plus pointu. Le volume océanique disponible devient alors plus faible. Comme le volume d'eau, lui, reste constant, l'eau va nécessairement envahir les plateaux continentaux (transgression marine associée à une forte activité des dorsales). Il faut raisonner sur l'ensemble des océans qui communiquent tous entre eux. L'activité des dorsales a varié au cours des temps géologiques. Au Crétacé supérieur quasiment toutes les dorsales du monde s'accélérent, donc "gonflent", et par conséquent la mer monte. Les ammonites à ligne de suture persillée vont donc être plus abondantes.

III. DATATION ABSOLUE

A. Datation d'une lave du massif des monts Dore (Puy-de-Dôme)

Dans les laves du sommet (trachyte) du Puy de Sancy on a mesuré une concentration de ^{40}K de $0,106 \cdot 10^{-6}$ mole/gramme et une concentration en ^{40}Ar de $2,056 \cdot 10^{-12}$ mole/gramme. $\lambda = 5,8 \cdot 10^{-11} \text{ an}^{-1}$

1. *Pourquoi peut-on utiliser le potassium pour dater un trachyte, lave alcaline ?*
2. *Pourquoi a-t-on une concentration nulle en Argon lors de la fermeture du système ?*
3. *Datez ces laves.*

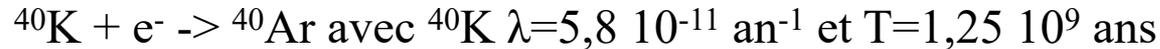
1. K est présent dans les feldspaths potassiques, minéraux conférant aux roches magmatiques leur caractère alcalin.

2. Ar est un gaz qui présente une grande fugacité. Il diffuse alors hors des réseaux cristallins et sa quantité est considérée nulle à la fermeture du système ($F_0 = 0$).

3. Application de la formule : $t = (1/\lambda) \cdot ({}^{40}\text{Ar}_t / {}^{40}\text{K}_t)$ soit $[(1/5,8) \times 10^{11}] \times (2,056 \cdot 10^{-12} / 0,106 \cdot 10^{-6}) = [(2,056/0,6148)] \times 10^5 = 3,34417697 \times 10^5 = 334\,417,7$ soit 335 000 ans environ.

$$F = F_0 + P(e^{\lambda t} - 1)$$

Le potassium 40 se désintègre en donnant de l'argon 40. On a :



L'argon est un gaz, dans le cas de roches volcanique il va dégazer lors de l'arrivée du magma en surface. Au moment de la fermeture du système on a donc $F_0 = 0$. Il ne reste donc que l'argon produit depuis la fermeture du système. On prend donc $F = F_0 + P(e^{\lambda t} - 1)$ avec $F_0 = 0$ soit :

$$F = P(e^{\lambda t} - 1) \text{ soit } t = \frac{1}{\lambda} \ln\left(\frac{F}{P} + 1\right) = \frac{1}{\lambda} \ln\left(\frac{{}^{40}\text{Ar}}{{}^{40}\text{K}} + 1\right)$$

Il suffit donc de mesurer le rapport ${}^{40}\text{Ar}/{}^{40}\text{K}$ pour dater la roche.

Cette méthode nécessite bien sûr que la roche contienne du potassium, elle est inapplicable aux roches plutoniques qui refroidissent lentement en profondeur et piège donc l'argon initial, il faut également que l'argon présent ait été conservé ce qui implique que la roche n'ait pas subi d'évènements thermiques ultérieurs à la mise en place même de faible intensité.

B. Datation d'une lave de la chaîne des Puys (Puy-de-Dôme)

On a mesuré la radioactivité du ^{14}C présent dans des morceaux de bois carbonisés trouvés dans les cendres trachytiques du Puy de Lemptegy. Cette radioactivité est directement liée à la quantité de ^{14}C présent. La valeur mesurée dans le bois calciné est de 4,75 dpm (désintégrations atomiques par gramme d'échantillon et par minute) alors qu'elle est de 13,56 dpm dans un fragment de bois actuel.

1. Pourquoi peut-on utiliser la méthode au ^{14}C pour dater du bois ? Et pour dater le volcanisme de la chaîne des Puys ?
2. Sachant que la période de ^{14}C est de 5 730 ans, dater l'épisode volcanique trachytique du Puy.

$$P = P_0 e^{-\lambda t}$$

Le ^{14}C se combine au dioxygène de l'air et conduit au $^{14}\text{CO}_2$ qui peut entrer dans la matière organique grâce à la photosynthèse. Il s'intègre dans la matière vivante de la même manière que le ^{12}C : sa quantité est donc stable dans un organisme vivant, en proportions équivalentes à celles de l'atmosphère.

$$t = \frac{1}{\lambda} \text{Ln} \frac{P_0}{P} = \frac{1}{\lambda} \text{Ln} \frac{^{14}\text{C}_0}{^{14}\text{C}}$$

La période de désintégration du ^{14}C est de 5 730 ans. Le carbone 14 est un isotope utilisé pour des datations d'épisodes de moins de 50 000 ans (Quaternaire récent). Il permet de dater des restes d'êtres vivants. Très employé par les historiens, il a un usage plus restreint en géologie.

1. Les végétaux sont des organismes vivants qui échangent du CO₂ avec leur environnement (photosynthèse, respiration). A leur mort, les échanges s'arrêtent par fermeture du système biologique. Les coulées de laves ensevelissent les organismes sur leur passage entraînant leur mort immédiate. On peut donc considérer que la mort des arbres et donc la fermeture du système est contemporaine de la coulée de lave.

2. On définit la période = demi-vie (T) comme le temps nécessaire à la désintégration de la moitié des éléments radioactifs présents. Ainsi au bout de 5730 ans, en supposant que la production de ¹⁴C est invariante, la valeur actuelle (13,56 dpm) sera diminuée de moitié.

La valeur du bois calciné étant de 4,75 dpm, elle correspond à t, moment de la fermeture du système.

On applique ces valeurs à la formule générale : $t = 1/\lambda \ln (^{14}\text{C}_0/^{14}\text{C}_t)$

Comme $T = \ln 2/\lambda$ alors $\lambda = \ln 2/T = \ln 2/5730$

$t = T/\ln 2 \times \ln (13,56/4,75) = 5730 \times (\ln 2,854/\ln 2) = 5730 \times 1,512 = 8656$ ans

Cette valeur est cohérente avec les données de la littérature (dernière éruption du puy de Dôme vers 5760 av.J-C).

C. Datation de l'orthogneiss de Landivisiau (Finistère)

En 2009, l'équipe de Marcoux a daté un certain nombre de roches magmatiques et métamorphiques du Massif armoricain grâce à la méthode de la Concordia. Ils ont réalisé par spectrométrie de masse la mesure des éléments atomiques U et Pb sur des zircons du granite. $\lambda_{238} = 1,55125 \cdot 10^{-10} \text{ a}^{-1}$ $\lambda_{235} = 9,8485 \cdot 10^{-10} \text{ a}^{-1}$

Echantillon	Concentrations					Rapports isotopiques				
	Minéral	pds (μg)	U (ppm)	Pb rad (ppm)	Pb com (pg)	Pb $\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	Pb $\frac{^{208}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	Pb/U $\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	Pb/U $\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	Pb $\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$
[1]				[2]	[3]	[4]	[4]	[4]	[4]	[4]
Orthogneiss de Landivisiau (LA 8)										
1	8, bag, nm0	4	323	26,9	30	238	0,12	$0,0826 \pm 2$	$0,6604 \pm 56$	$0,05798 \pm 44$
2	8, all, nm0	4	425	33,0	33	263	0,12	$0,0767 \pm 2$	$0,6138 \pm 50$	$0,05803 \pm 42$
3	6, tra, m0	34	362	30,1	45	1444	0,09	$0,0844 \pm 3$	$0,6748 \pm 26$	$0,05800 \pm 12$
4	6, tra, nm0	4	197	15,8	28	156	0,10	$0,0808 \pm 4$	$0,6462 \pm 120$	$0,05800 \pm 100$

1. Compléter le tableau ci-dessous et construire une courbe Concordia en utilisant les temps proposés.
2. Placer les points donnés par les analyses pétrochimiques sur la courbe Concordia et dater la roche de Landivisiau.

couple $^{238}\text{U} / ^{206}\text{Pb}$ de constante λ_{238} $^{238}_{92}\text{U} \rightarrow ^{206}_{82}\text{Pb} + 6\ ^0_{-1}\text{e} + 8\ ^4_2\text{He}$ avec $\lambda_{238} = 1,55125 \cdot 10^{-10} \text{ a}^{-1}$

couple $^{235}\text{U} / ^{207}\text{Pb}$ de constante λ_{235} $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{207}_{82}\text{Pb} + 4\ ^0_{-1}\text{e} + 7\ ^4_2\text{He}$ avec $\lambda_{235} = 9,8485 \cdot 10^{-10} \text{ a}^{-1}$

En utilisant la relation $F = F_0 + P(e^{\lambda t} - 1)$ adaptée aux deux couples, on obtient :

$$(^{206}\text{Pb})_t = (^{206}\text{Pb})_0 + ^{238}\text{U} (e^{\lambda_{238}t} - 1) \quad \text{et} \quad (^{207}\text{Pb})_t = (^{207}\text{Pb})_0 + ^{235}\text{U} (e^{\lambda_{235}t} - 1)$$

Les minéraux de **zircon** adoptent un comportement particulier : lorsqu'ils cristallisent, à 900°C , leur réseau cristallin est incompatible avec l'élément fils radiogénique donc le plomb diffuse hors du zircon. Ainsi, $(^{206}\text{Pb})_0 = (^{207}\text{Pb})_0 = 0$. Le système se ferme donc au passage sous 900°C (ce qui équivaut à la température de cristallisation d'un granite).

$$\text{On obtient alors : } \left(\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}\right)_t = (e^{\lambda_{238}t} - 1) \quad \text{et} \quad \left(\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}\right)_t = (e^{\lambda_{235}t} - 1)$$

t	1,0.10 ⁹	0,8.10 ⁹	0,6.10 ⁹	0,5.10 ⁹	0,45.10 ⁹	0,4.10 ⁹	0,3.10 ⁹	0,2.10 ⁹
$\left(\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}\right)_t$		1,1987	0,8056	0,6362	0,5576	0,4828	0,3437	0,2177
$\left(\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}\right)_t$		0,1320	0,0974	0,0805	0,0722	0,0639	0,0475	0,0314

1. Détermination des rapports manquant pour t = 1.0.10⁹

On utilise les formules $\left(\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}\right)_t = (e^{\lambda_{238}t} - 1)$ et $\left(\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}\right)_t = (e^{\lambda_{235}t} - 1)$

$$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U} = e^{0,98485} - 1 = \mathbf{1,67410243}$$

$$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} = e^{0,155125} - 1 = \mathbf{0,167657961}$$

2. Les mesures effectuées sur les 4 minéraux de cette roche ne donnent exactement pas les mêmes valeurs mais leur variabilité reste contenue dans la marge d'erreurs (2 fois l'écart-type). On calcule la valeur moyenne pour chaque couple et on la replace sur la courbe tracée. Le point se situe juste sous la courbe concordia suggérant que le système n'est resté sans doute pas resté totalement clos.

Calcul des valeurs moyennes de $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} = 0,081125$ et de $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U} = 0,6488$

On utilise les formules suivantes:

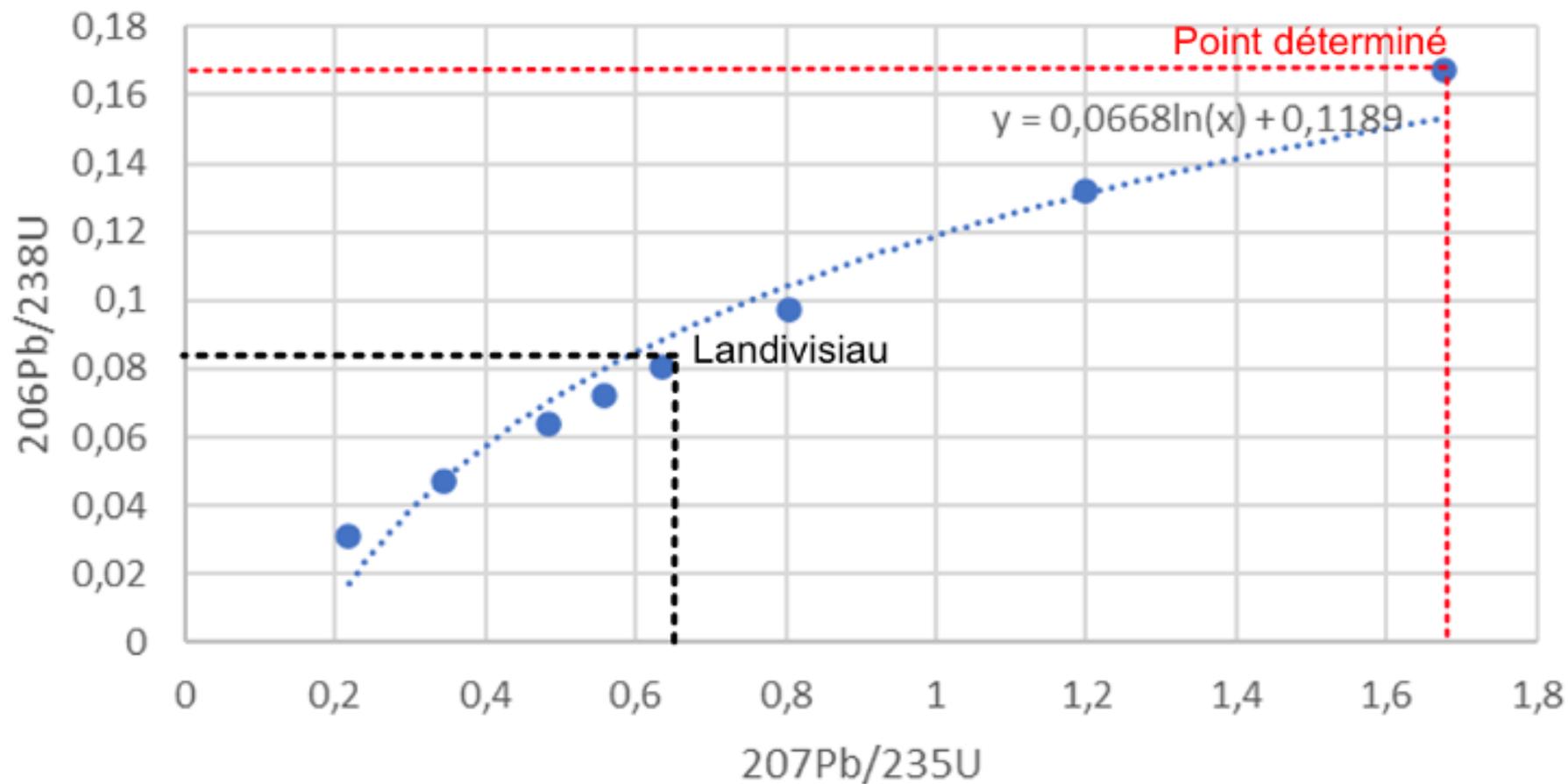
$$t = (1/\lambda) \cdot \ln[1 + (^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U})] \text{ et } t = (1/\lambda') \cdot \ln [1 + (207\text{Pb}/235\text{U})]$$

$$t = (1/\lambda_{238}) \cdot \ln [1 + (^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U})] = 1/1,55125 \cdot 10^{-10} \times \ln (1 + 0,081125) = 0,644641 \cdot 10^{10} \times 0,078 = 0,0502833 \cdot 10^{10} = 502 \text{ Ma}$$

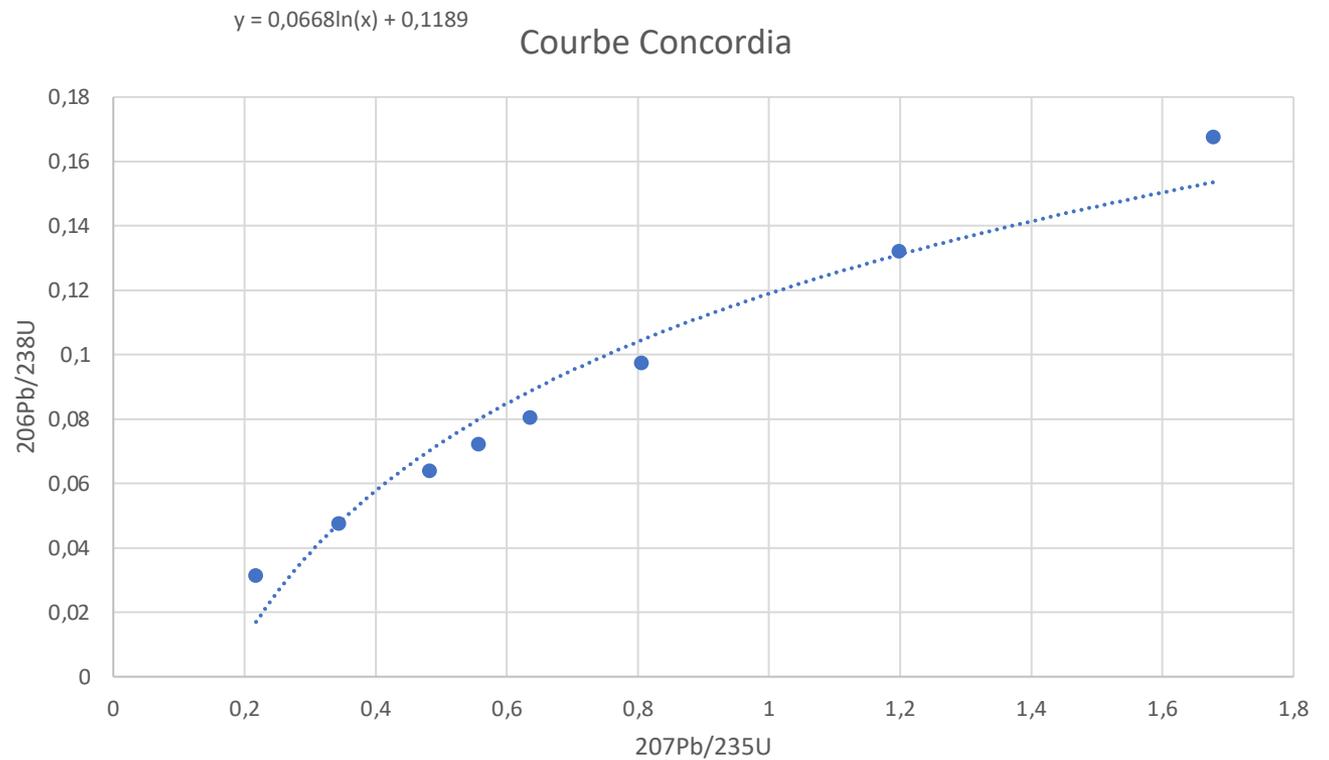
$$t = (1/\lambda_{235}) \cdot \ln [1 + (^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U})] = 1/9,8485 \cdot 10^{-10} \times \ln (1 + 0,6488) = 0,101 \cdot 10^{10} \times 0,50000477 = 0,0505048228 \cdot 10^{10} = 505 \text{ Ma}$$

Les âges déterminés indépendamment par les 2 méthodes sont pratiquement les mêmes aux incertitudes près. Les valeurs correspondent à un épisode métamorphique cadomien.

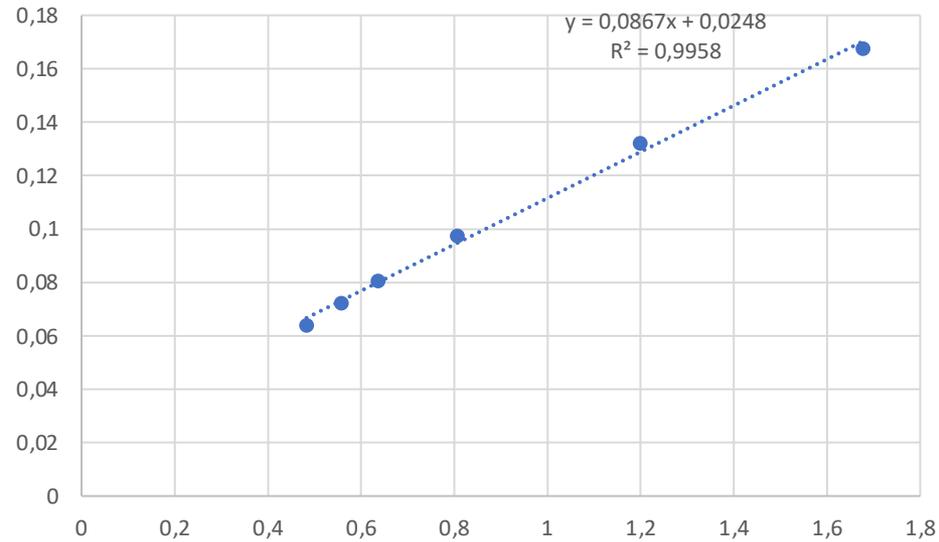
Courbe Concordia



1,6774	0,1676
1,1987	0,132
0,8056	0,0974
0,6362	0,0805
0,5576	0,0722
0,4828	0,0639
0,3437	0,0475
0,2177	0,0314



1,6774	0,1676
1,1987	0,132
0,8056	0,0974
0,6362	0,0805
0,5576	0,0722
0,4828	0,0639



$$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}} = 0,0867 \frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}} + 0,0248$$

D. Datation de roches ayant subi une évolution ultérieure

Des gneiss affleurant sur l'île de Guernesey ont été étudiés. Plusieurs dizaines de zircons ont été analysés et donnent des séries de données dont sont extraits les rapports isotopiques ci-dessous (les chiffres ont été arrondis).

Échantillon	1	2	3	4	5
$\left(\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}\right)_t$	0,352	0,328	0,304	0,287	0,255
$\left(\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}\right)_t$	6,1	5,57	5,23	4,85	4,27

Quelques analyses de zircons : <http://m.pourcher.free.fr/2018/TermSPE/THEME1B/Exercice-Datation-U-Pb.pdf>

1. Positionnez les points et tracez la droite les reliant sur le graphique Concordia ci-dessous. Justifier le terme de Discordia pour la droite obtenue.
2. Déterminez les 2 âges pour lesquels la Discordia recoupe la Concordia.
3. Proposez une hypothèse au fait que les teneurs en plomb sont moins élevées que sur la Concordia.
4. Attribuez à chaque âge sa signification géologique.

1. Une **réouverture du système par métamorphisme** entraîne une diffusion d'éléments entre un zircon et les minéraux voisins, à l'origine de rapports $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ et $^{206}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ discordants. Le point est alors situé en dehors de la Concordia. Dans ce cas, divers zircons séparés de la même roche se placent sur **une droite nommée Discordia**, recoupant la Concordia en **deux points** :

- **le plus ancien (intercept haut)** correspond à **l'âge initial**,
- **le plus jeune (intercept bas)** à **l'âge de l'évènement métamorphique** ayant provoqué les échanges.

2. Âges (cf courbe)

3. La quantité de plomb est plus faible sur la discordia car le métamorphisme ayant réouvert le système, l'élément fils provenant de la désintégration de l'uranium a pu s'échapper du réseau cristallin. Les minéraux de **zircon** adoptent un comportement particulier : lorsqu'ils cristallisent, à 900°C , leur réseau cristallin est incompatible avec l'élément fils radiogénique donc le plomb diffuse hors du zircon. Ainsi, $(^{206}\text{Pb})_0 = (^{207}\text{Pb})_0 = 0$. Le système se ferme donc au passage sous 900°C (ce qui équivaut à la température de cristallisation d'un granite).

4. La droite nommée Discordia, recoupant la Concordia en deux points :

- le plus ancien (intercept haut) correspond à l'âge initial,
- le plus jeune (intercept bas) à l'âge de l'évènement métamorphique ayant provoqué les échanges.

