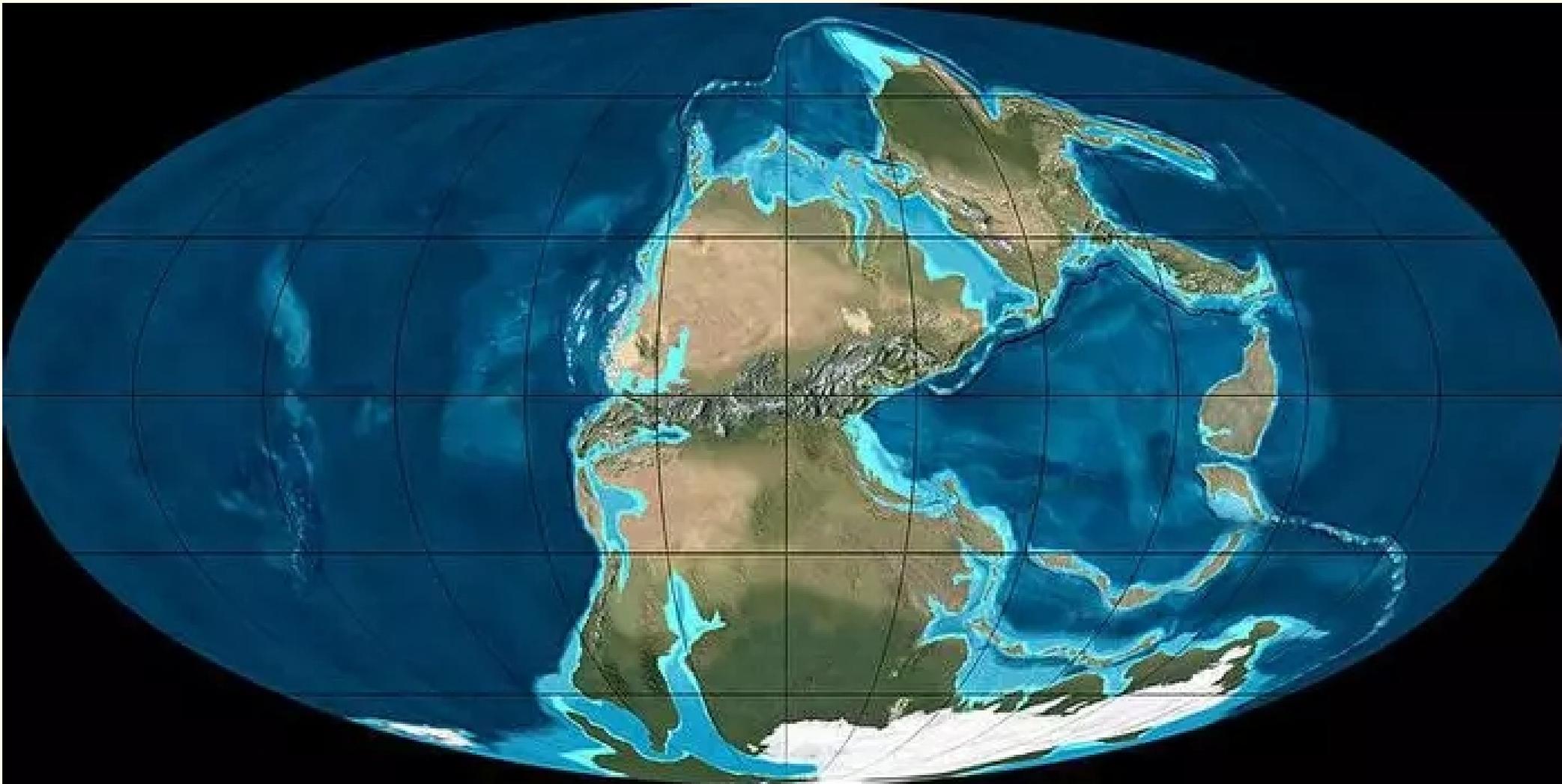


T1B1 Le passé géologique de notre planète



LaTerre, il y a 280 Ma © Ron Blakey, NAU Geology, Wikimedia Commons, cc by sa 3.0

T1B1 Le passé géologique de notre planète

Avertissements :

1- le présent document est destiné aux élèves de terminale S du lycée J H FABRE et a donc un but pédagogique. Il peut être diffusé librement.

2- certains éléments peuvent ne pas être libres de droits, l'auteur n'est pas responsable de l'usage qui peut en être fait

3-

[...

P. Mueller et D. Oppenheimer ont évalué les deux groupes de participants une semaine après le cours. Là encore, ceux qui avaient pris des notes à la main ont obtenu les meilleures performances. Ces notes, qui incluent les propres mots et l'écriture des étudiants, semblent rappeler plus efficacement les souvenirs, en recréant aussi bien le contexte (les processus de pensée, les émotions, les conclusions) que le contenu (notamment les données factuelles) de la session d'apprentissage.

Ces résultats ont des implications importantes pour les étudiants qui se fondent sur du contenu mis en ligne par les enseignants. Quand ils ne prennent aucune note, ils n'organisent pas les informations et ne les synthétisent pas dans leurs propres mots. Ainsi, ils ne s'engagent pas dans le travail mental qui favorise l'apprentissage.

...]

Pam Mueller, de l'Université de Princeton, et Daniel Oppenheimer, de l'Université de Californie à Los Angeles, 2014

4- Un cours de TS ça se mérite! (anonymes 2012)

Version

T1B1 Le passé géologique de notre planète

T1B1-a La chronologie relative

Relatif = “par rapport à”

Structure (ex. pli), événement (ex. éruption) = phénomène géologique

Les relations géométriques (superposition, recoupement, inclusion) permettent de reconstituer la chronologie relative de phénomènes géologiques de différentes natures et à différentes échelles d'observation.

5 principes de chronologie relative

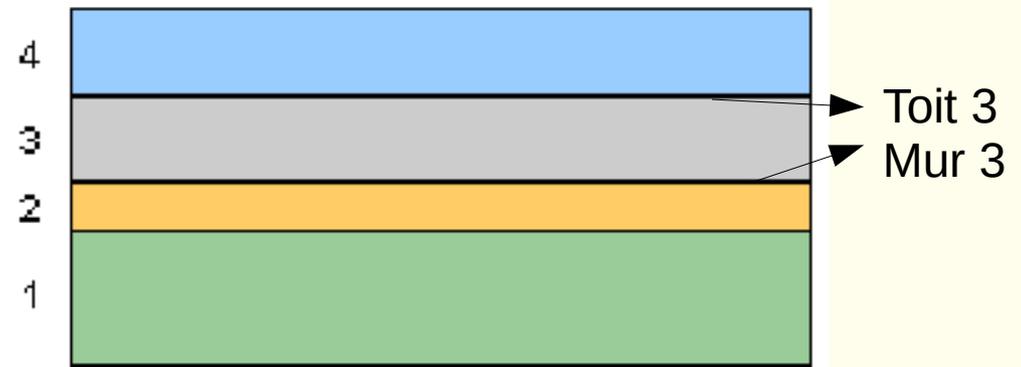
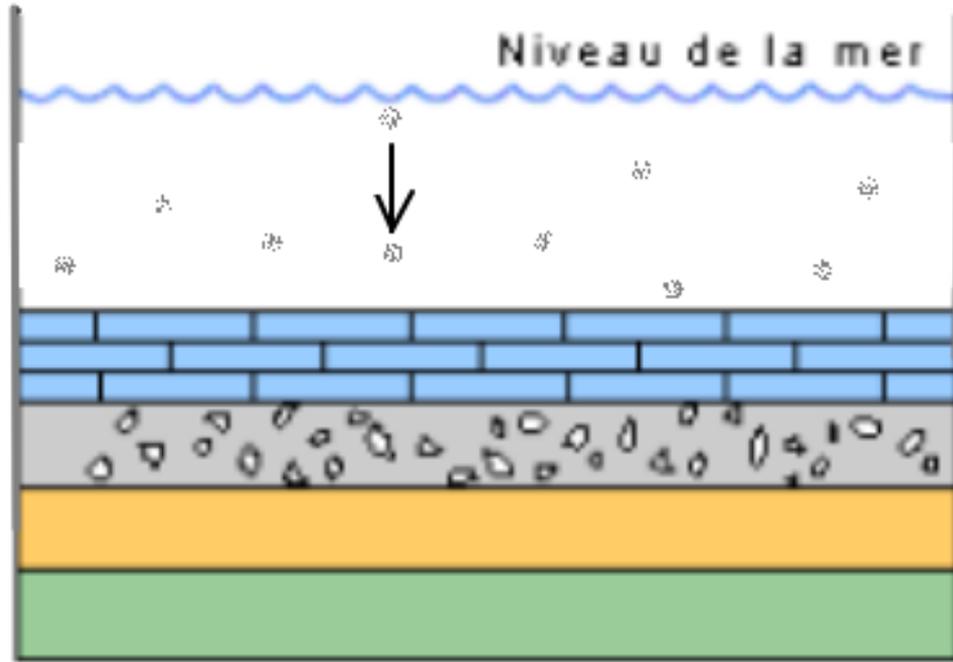
- Dépôt initial horizontal et superposition,
- Recoupement,
- Inclusion,
- Continuité latérale,
- Identité paléontologique.

+ Principe d'actualisme : par le passé les mêmes causes ont eu les mêmes conséquences que les causes actuelles.

T1B1 Le passé géologique de notre planète

T1B1-a La chronologie relative

Dépôt initial horizontal et superposition (roches sédimentaires)



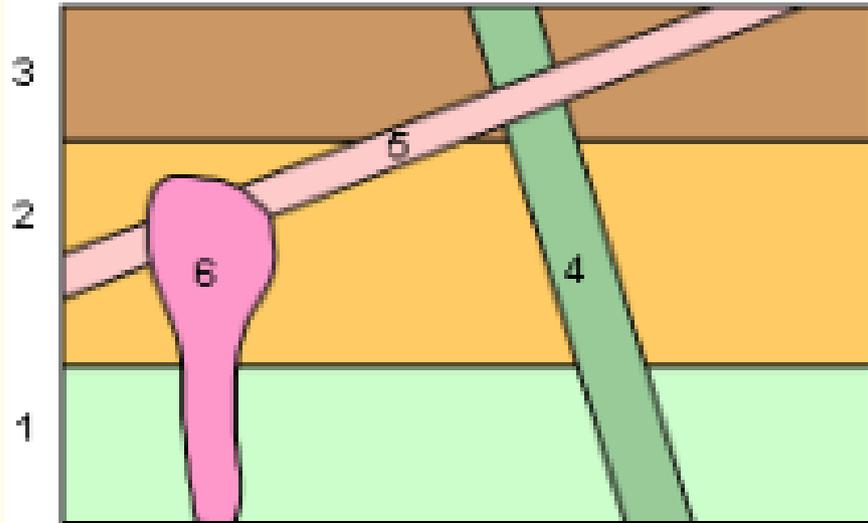
Dans les séries sédimentaires les couches supérieures sont plus récentes que les couches inférieures.

Attention aux phénomènes tectoniques (pli renversé) qui peuvent produire une superposition apparente différente.

T1B1 Le passé géologique de notre planète

T1B1-a La chronologie relative

Recoupement



Ici, l'âge relatif des couches 1, 2 et 3 est fourni par le principe de superposition. Les intrusifs 4, 5 et 6 sont plus jeunes que les couches sédimentaires horizontales dans lesquelles ils se sont introduits. De plus, comme le dyke 5 recoupe le dyke 4 et que l'intrusif 6 recoupe le dyke 5, on sait que 6 est plus jeune que 4, même si ces deux dykes ne se recoupent pas; l'ordre d'intrusion est donc 4, 5 et finalement 6.

Un phénomène est plus récent que celui qu'il recoupe.



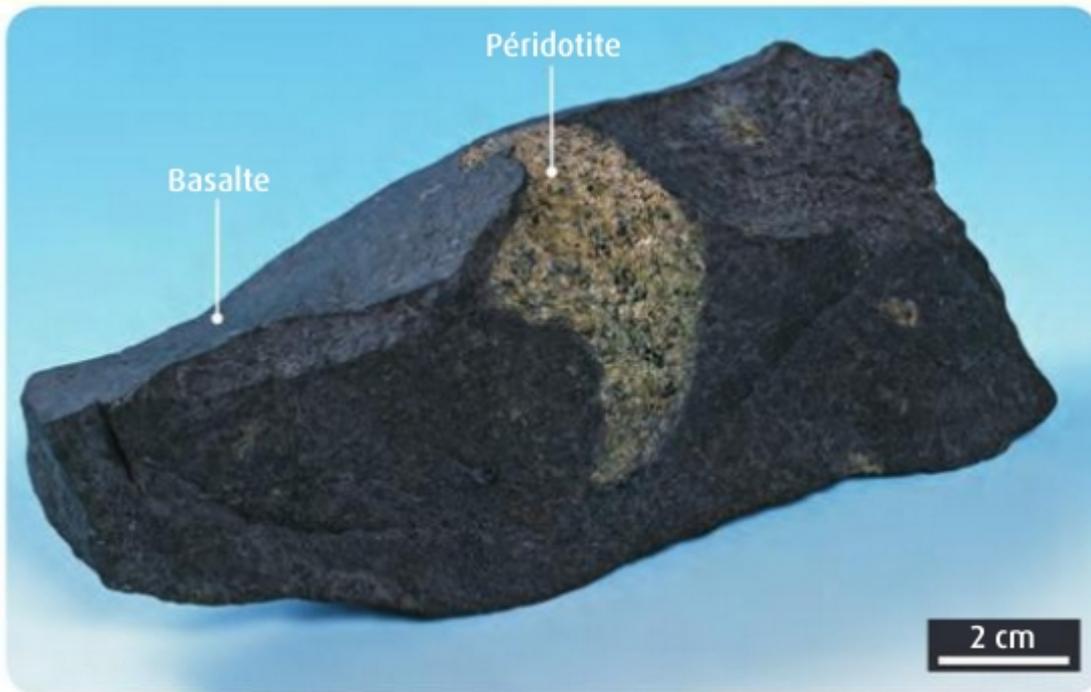
Chevauchement post-miocène

T1B1 Le passé géologique de notre planète

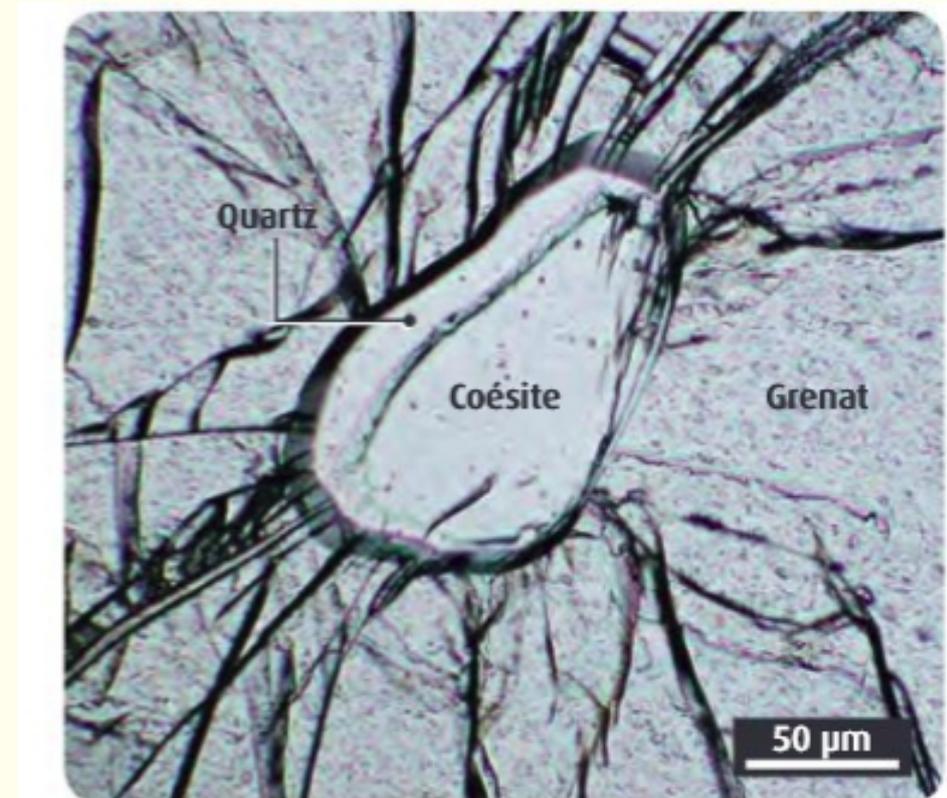
T1B1-a La chronologie relative

Inclusion

Attention!



▲ 1. Basalte à nodules de péridotite.



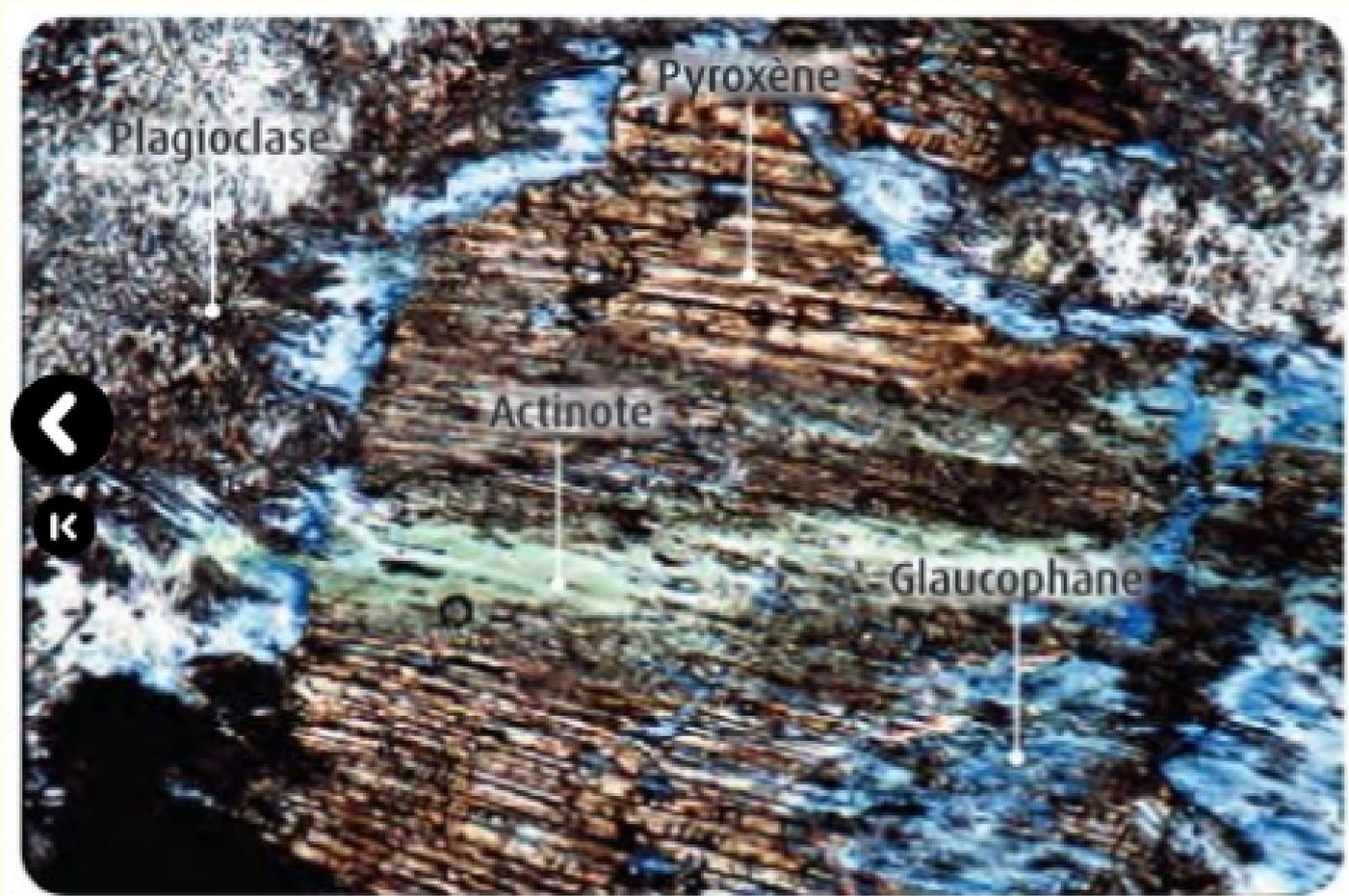
▲ 1. Inclusion de coésite dans un grenat d'éclogite observé au microscope polarisant.

La péridotite est antérieure au basalte

T1B1 Le passé géologique de notre planète

T1B1-a La chronologie relative

Inclusion



▲ 1. Lame mince issue d'un métagabbro (vu au microscope polarisant).

Chronologie de formation des minéraux:

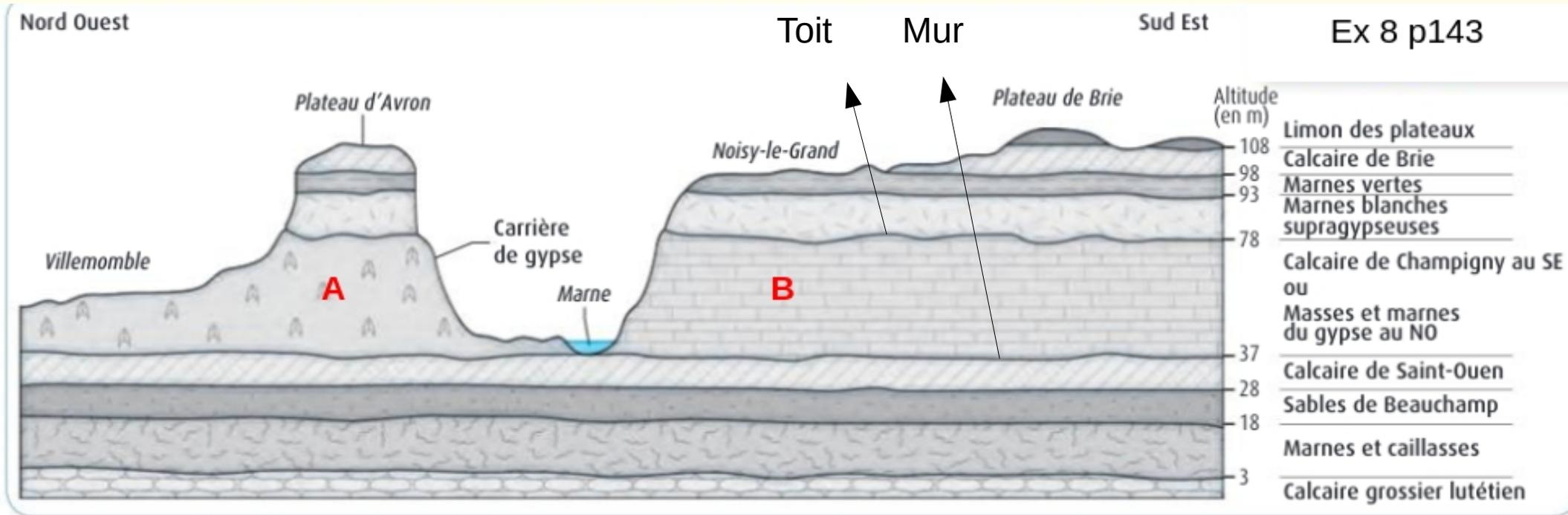
Pyroxène
Actinote
Glaucophane ↓ + récent

T1B1 Le passé géologique de notre planète

T1B1-a La chronologie relative

Continuité latérale

Un couche (même toit même mur) a le même âge sur toute son étendue.



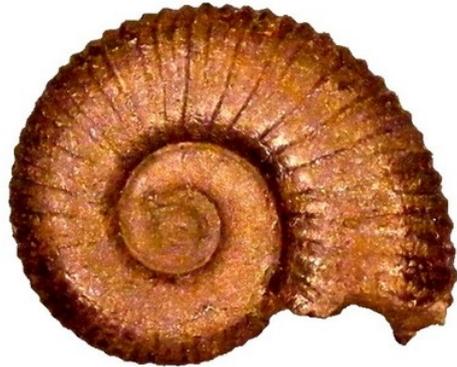
▲ 1. Coupe entre Villemomble et le plateau de Brie. Les roches de cette coupe datent du Cénozoïque.

Ici malgré des différences dans la nature des roches sédimentaires, A et B font partie d'une même couche. Les 2 dépôts sont donc simultanés!

T1B1 Le passé géologique de notre planète

T1B1-a La chronologie relative

Fossiles stratigraphiques = fossiles d'espèces ayant évolué rapidement et présentant une grande extension géographique.



Acanthoplites nolani

Divisions	Zones
Aptien supérieur	Hypacanthoplites jacobii
	Acanthoplites nolani

Divisions	Zones
Aptien moyen	Parahoplites melchioris
	Epicheloniceras martini

Divisions	Zones
Aptien inférieur	Dufrenoyia furcata
	Deshayesites deshayesi
	Deshayesites weissi
	Deshayesites oglanensis



Deshayesites deshayesi juvenile
microconch specimen R 52023-4.
Scale bar $\frac{1}{4}$ 10 mm.

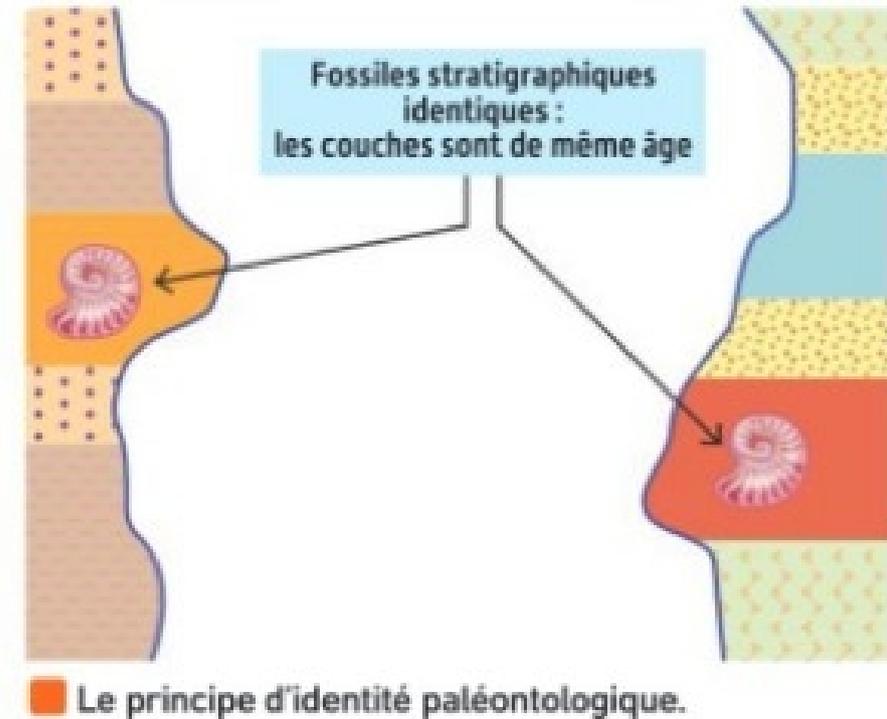
L'Aptien est un étage de la période Crétacé inférieur

T1B1 Le passé géologique de notre planète

T1B1-a La chronologie relative

Identité paléontologique

Deux couches sédimentaires qui contiennent les mêmes fossiles stratigraphiques sont du même âge. Ce principe d'**identité paléontologique*** permet de donner un âge identique à deux couches pour lesquelles il est impossible d'appliquer le principe de continuité (couches situées dans deux affleurements différents). Il permet inversement d'éviter les erreurs qui résulteraient de la ressemblance entre des couches distantes (elles ne sont pas nécessairement du même âge).



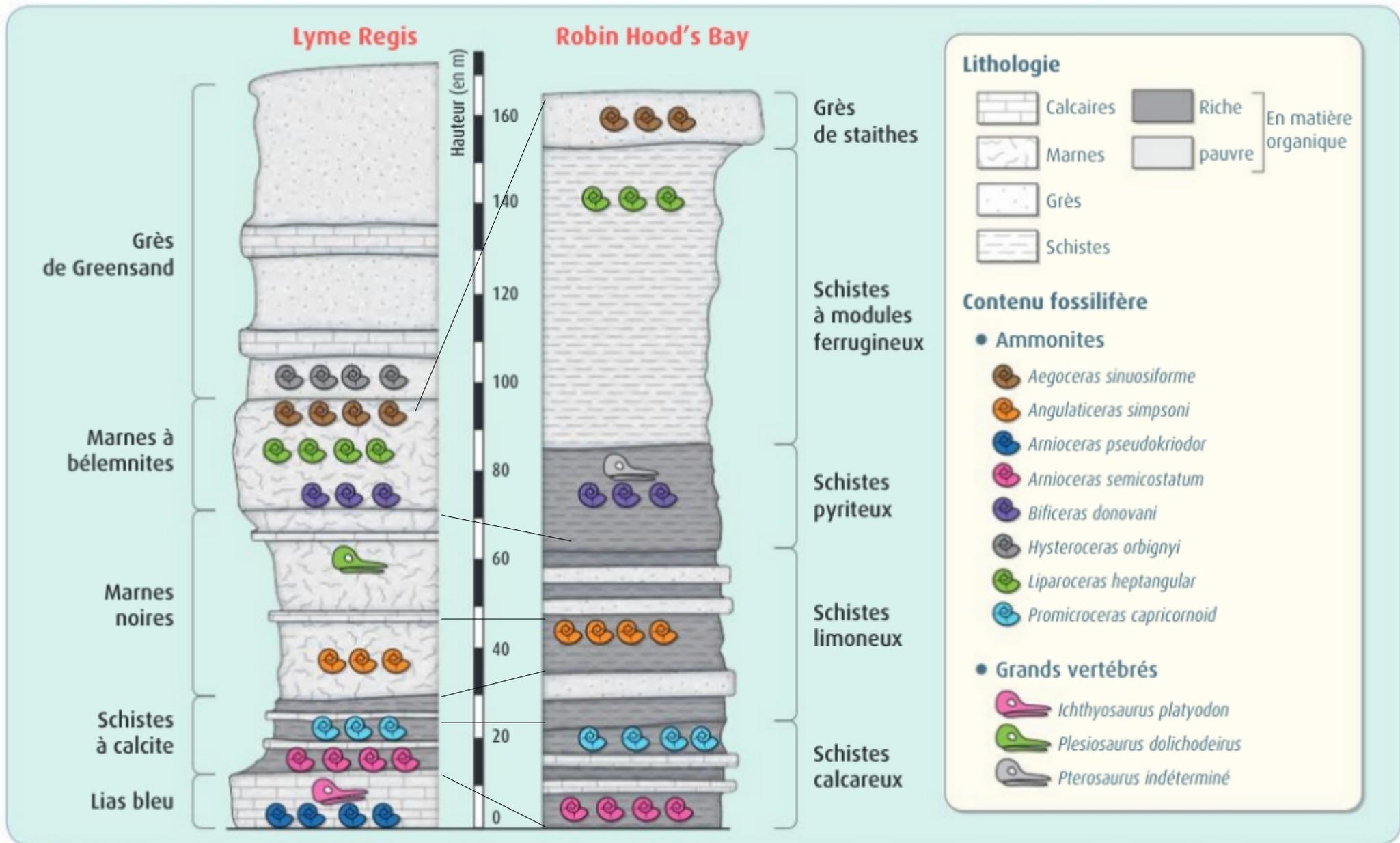
L'identification d'associations fossiles identiques dans des régions géographiquement éloignées permet d'établir des corrélations temporelles entre formations géologiques.

T1B1 Le passé géologique de notre planète

T1B1-a La chronologie relative

Identité paléontologique

Livre p 127

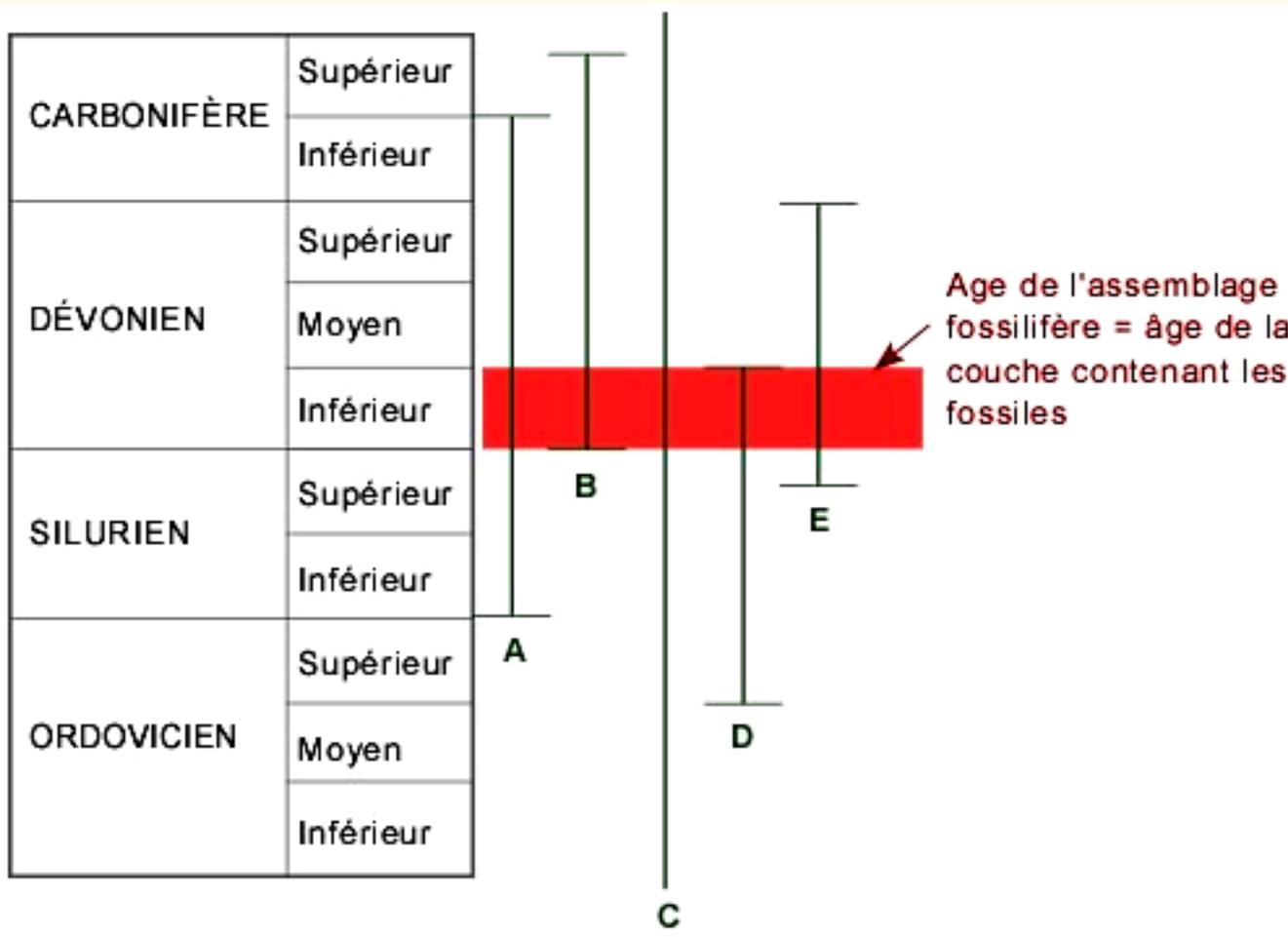


T1B1 Le passé géologique de notre planète

T1B1-a La chronologie relative

Les associations de fossiles stratigraphiques sont utilisées pour caractériser des intervalles de temps.

Fossiles



L'assemblage de fossiles permet de définir un étage du dévonien:

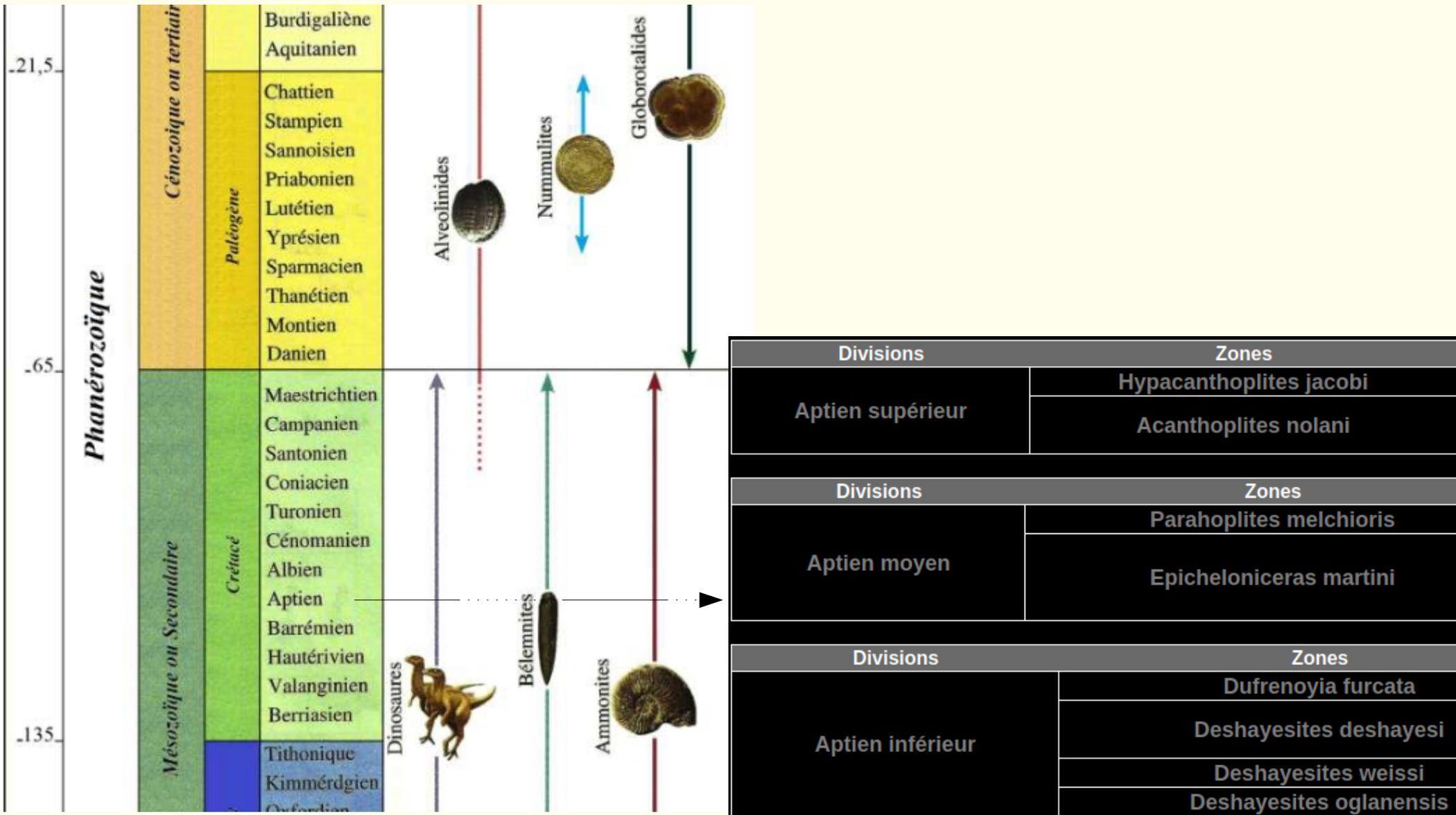
Le Dévonien inférieur.

Aucun de ces fossiles pris individuellement n'aurait pu fournir une chronologie aussi précise.

T1B1 Le passé géologique de notre planète

T1B1-a La chronologie relative

Les coupures dans les temps géologiques sont établies sur des critères paléontologiques : l'apparition ou la disparition de groupes fossiles.



T1B1 Le passé géologique de notre planète

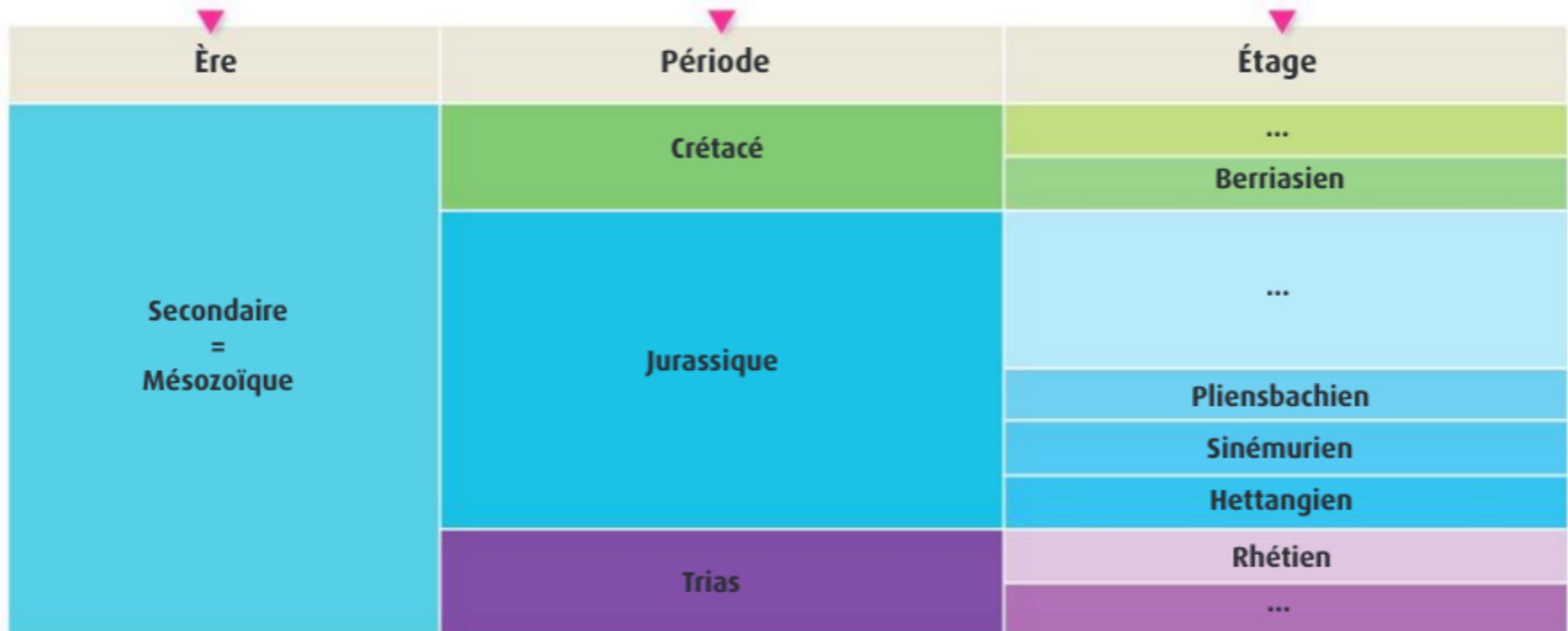
T1B1-a La chronologie relative

La superposition des intervalles de temps, limités par des coupures d'ordres différents (**ères, périodes, étages**), aboutit à l'échelle stratigraphique. (voir 2ième de couverture livre)

Livre p 137

L'échelle stratigraphique

- Valeur internationale
- Coupures de différents ordres :



T1B1 Le passé géologique de notre planète

T1B1-b La datation absolue

La désintégration radioactive (phénomène nucléaire) est un phénomène

- continu,
- irréversible et
- indépendant des conditions physico-chimiques.



Pierre Curie (1859-1906) observe qu'une émanation gazeuse produite par le radium perd exponentiellement son activité qui diminue de moitié tous les 3 jours, 24 heures et 42 minutes et en déduit, en 1902... "Qu'ainsi, une mesure absolue du temps, indépendante des observations astronomiques était possible, car la variation d'abondance d'un élément radioactif mesure un temps écoulé".

http://www.ulb.ac.be/sciences/gigc/index_fichiers/cours/geochim%20isotopique/cours_geochimie_isotopique_chapitre2.html#2234

La demi-vie d'un élément radioactif est caractéristique de cet élément.

T1B1 Le passé géologique de notre planète

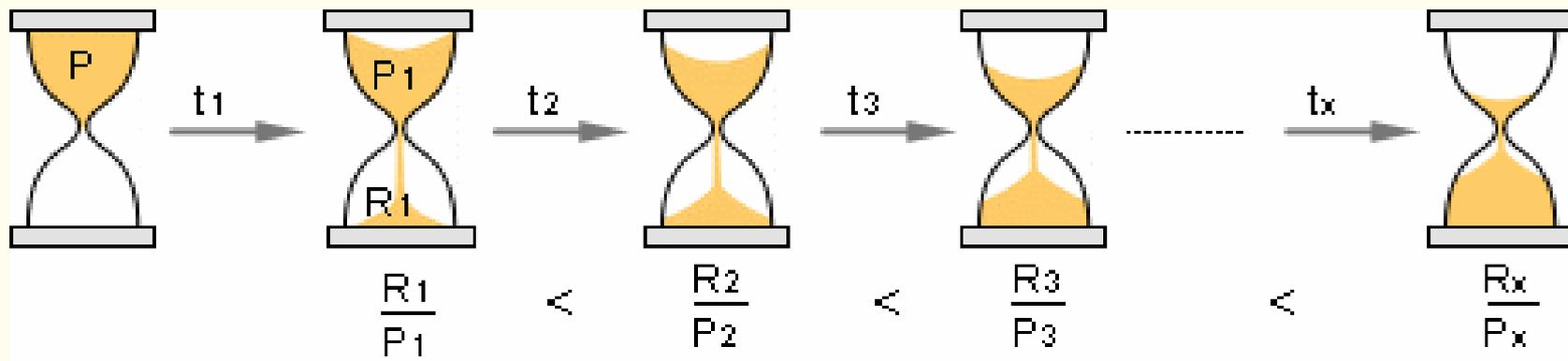
T1B1-b La datation absolue

La quantification de l'élément père radioactif et de l'élément fils radiogénique permet de déterminer l'âge des minéraux constituant une roche.



Nombre de désintégration par an = constante = λ

Couple P / F



T1B1 Le passé géologique de notre planète

T1B1-b La datation absolue

La quantification de l'élément père radioactif et de l'élément fils radiogénique permet de déterminer l'âge des minéraux constituant une roche.



Zircons centimétriques - joaillerie

Composition { 90% $ZrSiO_4$
10% Hf* Nd* Ce La U*....

Couleurs liées aux impuretés

Élts radioactifs => datation, le plus âgé # 4Ga



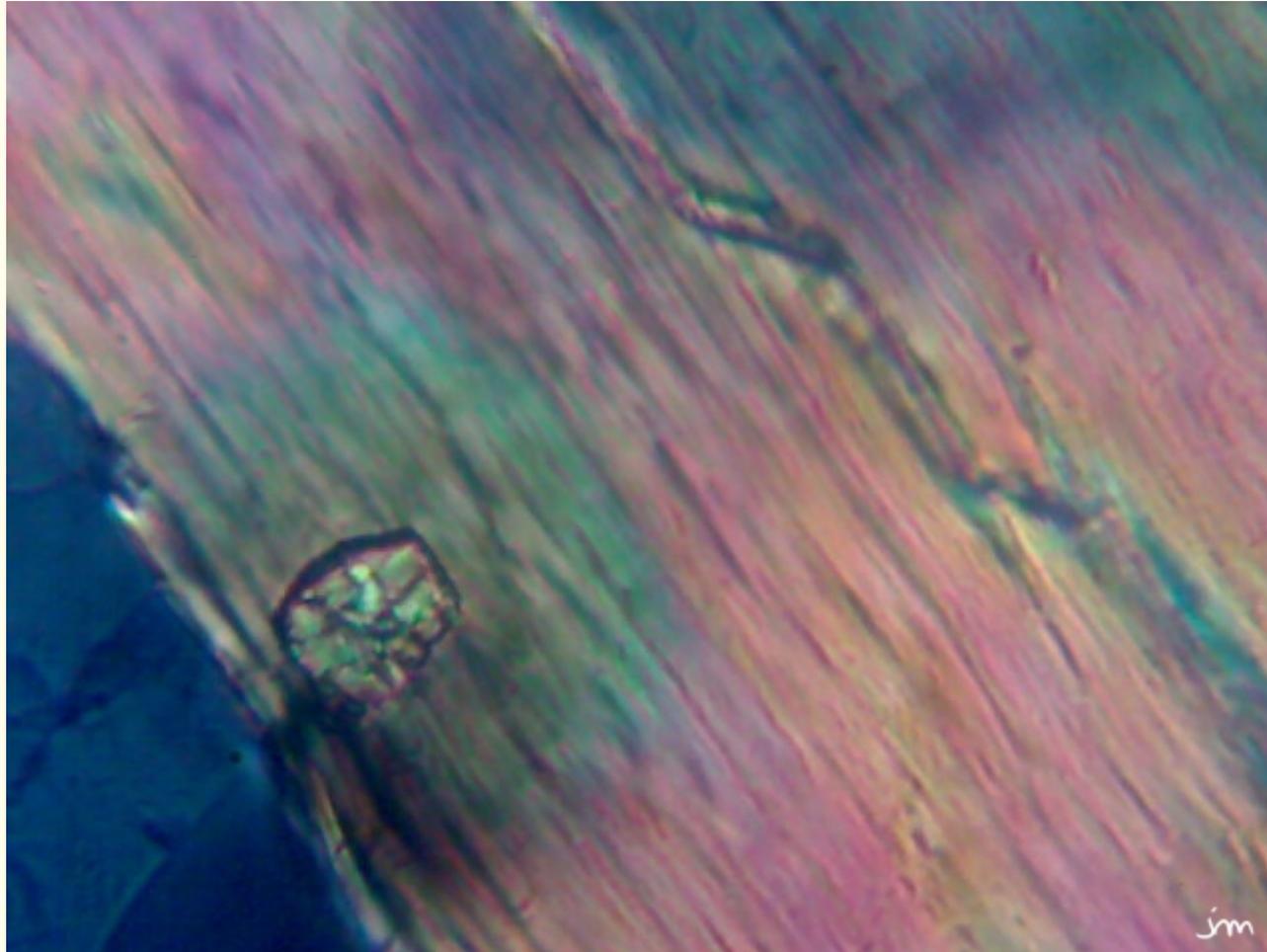
Les roches, en particulier magmatiques peuvent contenir des éléments radioactifs.

T1B1 Le passé géologique de notre planète

T1B1-b La datation absolue

Les roches, en particulier magmatiques peuvent contenir des éléments radioactifs.

“Vu en TP”



Auréole de pléochroïsme dans un cristal de biotite
(LPA, Obj x40)

T1B1 Le passé géologique de notre planète

T1B1-b La datation absolue

Les roches, en particulier magmatiques peuvent contenir des éléments radioactifs.

Exemple: Le couple $^{87}\text{Rb}/^{87}\text{Sr}$; lors de la cristallisation le rubidium prend la place du potassium et le strontium celle du calcium

Composition chimique des minéraux d'un granite ex 4 p 160

Minéraux	Composition chimique
Quartz	SiO_2
Feldspaths potassique	KAlSi_3O_8
Feldspaths plagioclase	$\text{Si}_3\text{AlO}_8\text{Na} - \text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_8\text{Ca}$
Biotite	$\text{K}(\text{Mg,Fe})_3(\text{OH,F})_2(\text{Si}_3\text{AlO}_{10})$
Muscovite	$\text{KAl}_2[(\text{OH,F})_2\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$

T1B1 Le passé géologique de notre planète

T1B1-b La datation absolue

Les datations sont effectuées sur des roches magmatiques ou métamorphiques, en utilisant les roches totales ou leurs minéraux isolés.



Granite rose

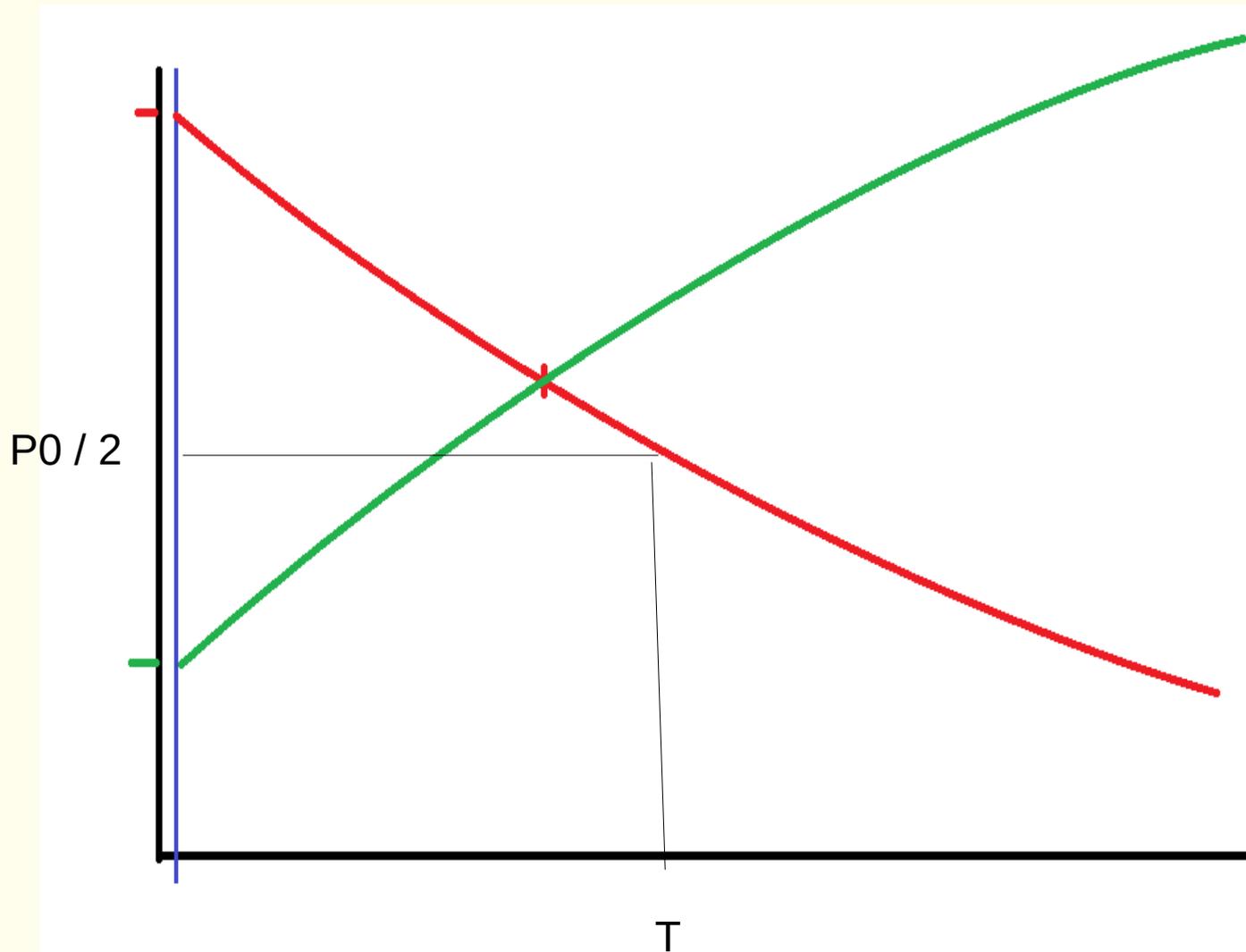


Gneiss

T1B1 Le passé géologique de notre planète

T1B1-b La datation absolue

La quantification de l'élément père radioactif et de l'élément fils radiogénique permet de déterminer l'âge des minéraux d'une roche.



Un phénomène:
(1) $P = P_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$

T1B1 Le passé géologique de notre planète

T1B1-b La datation absolue

Un phénomène:

$$(1) P = P_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

Une équation fondamentale (voir TD):

$$(2) F = F_0 + P \cdot (e^{\lambda \cdot t} - 1)$$

Différentes méthodes de datation absolue (voir TD):

^{14}C → P0 et F0 connus → résolution directe à partir de (1)

K/Ar → F0 connu mais 2 fils → résolution directe à partir de (2)

Rb/Sr → P0 et F0 inconnus → résolution graphique à partir de (2)

U/Pb → plusieurs pères et plusieurs fils → résolution graphique

T1B1 Le passé géologique de notre planète

T1B1-b La datation absolue

Les chronomètres usuels diffèrent aussi par la période de l'élément père.

Couple	Période (années)	Domaine de datation	Échantillons datés
$^{14}\text{C} / ^{14}\text{N}$	5730	< 40 000 ans	Os, bois, matières organiques
$^{40}\text{K} / ^{40}\text{Ar}$	$1,31 \cdot 10^9$	1Ma à 4 500 Ma	Roches magmatiques
U / Pb	$4,5 \cdot 10^9$ $0,7 \cdot 10^9$	1Ma à 4 500 Ma	Riches en Uranium (zircons)
$^{87}\text{Rb} / ^{87}\text{Sr}$	$49,9 \cdot 10^9$	10Ma à 4 500 Ma	Roches magmatiques Fk, pyroxènes, amphiboles, biotite, zircon
$^{147}\text{Sm} / ^{143}\text{Nd}$	$106 \cdot 10^9$	200Ma à 4 500 Ma	

Le choix du chronomètre dépend de l'âge supposé de l'objet à dater.
Si phénomène très récent choisir un couple avec T petit,
Si phénomène très ancien choisir un couple avec T grand
car il faut pouvoir mesurer F et P dans l'échantillon.

T1B1 Le passé géologique de notre planète

T1B1-b La datation absolue

Il est possible de dater un objet géologique sous 3 hypothèses :

- Hermeticité**
- Cogénicité**
- Absence de fractionnement isotopique**

Si les résultats sont incohérents alors l'une au moins de ces hypothèses doit être rejetée.

L'âge obtenu est celui de la fermeture du système considéré.

Cette fermeture correspond à l'arrêt de tout échange entre le système considéré et l'environnement.

Par exemple quand un cristal solide se forme à partir d'un magma liquide ou bien à la mort de l'organisme (^{14}C).

T1B1 Le passé géologique de notre planète

T1B1-b La datation absolue ; méthode **K / Ar** doc 2 p 150 et doc 3 p 151

$^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}_{(\text{gaz})} \rightarrow \mathbf{F0 = 0}$ connu mais 2 fils \rightarrow résolution directe à partir de (2)

$^{40}\text{K} \rightarrow ^{40}\text{Ar} + \text{énergie-particule}$ ou bien $^{40}\text{K} \rightarrow ^{40}\text{Ca} + \text{énergie-particule}$

$$\lambda_{\text{Ar}} = 0,581 \cdot 10^{-10} \text{ an}^{-1}$$

$$\lambda_{\text{Ca}}$$

En 1 an il s'est désintégré $\lambda_{\text{Ar}} + \lambda_{\text{Ca}} = 5,543 \cdot 10^{-10}$ atomes de ^{40}K

Seuls $0,581 \cdot 10^{-10}$ de ces atomes ont donné ^{40}Ar

Soit une proportion de $\lambda_{\text{Ar}} / (\lambda_{\text{Ar}} + \lambda_{\text{Ca}}) = 0,105$ càd 10,5%

L'équation fondamentale (2) $\mathbf{F = F0 + P. (e^{\lambda \cdot t} - 1)}$ devient :

$$\mathbf{^{40}\text{Ar} = 0,105 \cdot ^{40}\text{K} \cdot (e^{\lambda \cdot t} - 1)}$$

$$\text{Avec } \lambda = (\lambda_{\text{Ar}} + \lambda_{\text{Ca}}) = 5,543 \cdot 10^{-10} \text{ an}^{-1}$$

$\Rightarrow t = ?$

Voir TD

Voir aussi développement mathématique doc2 p 150

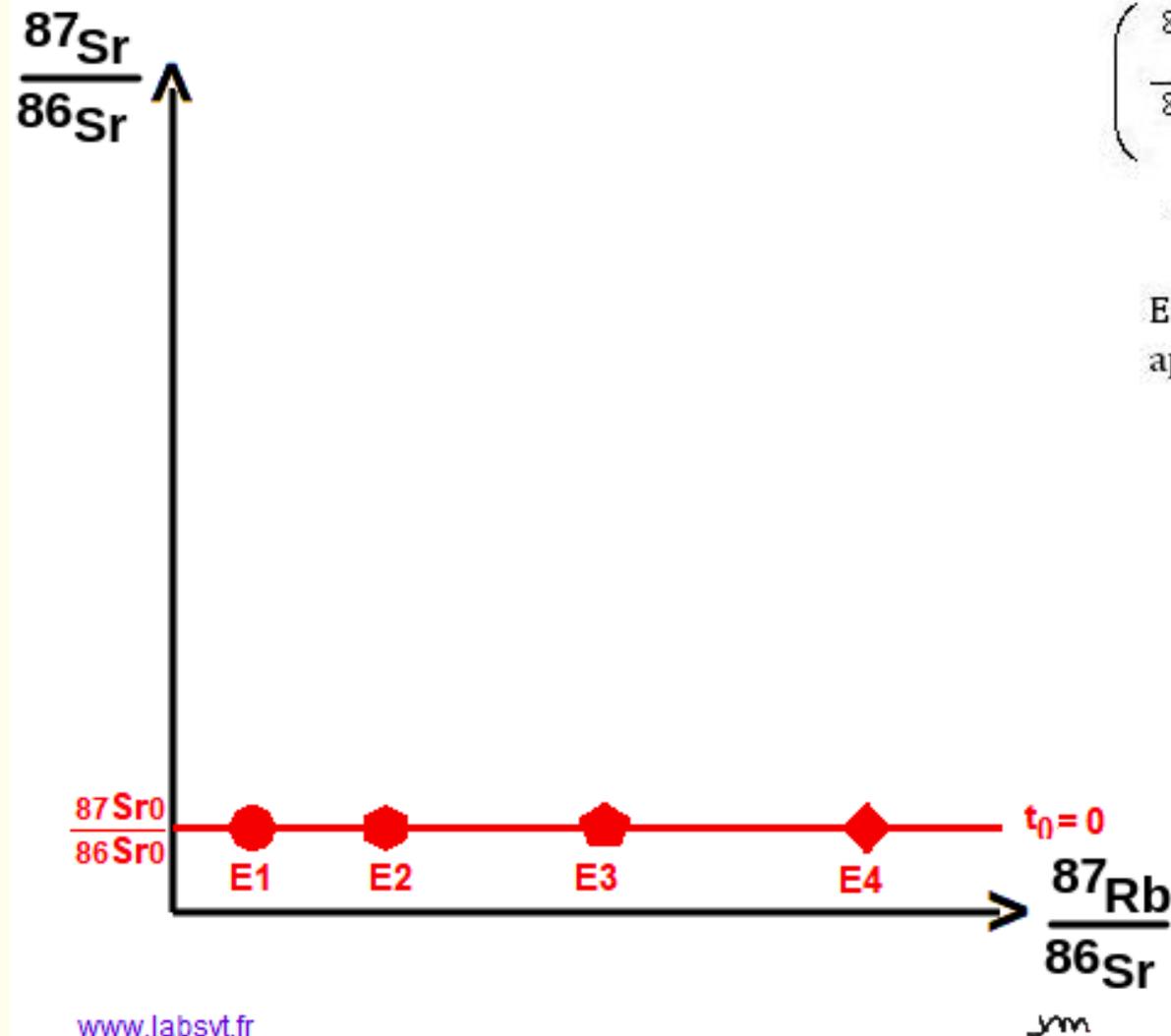
T1B1 Le passé géologique de notre planète

T1B1-b La datation absolue ; méthode Rb / Sr pp 148-149

$^{87}\text{Rb}/^{87}\text{Sr} \rightarrow P_0$ et F_0 inconnus \rightarrow résolution graphique à partir de (2)

L'équation fondamentale est une droite dans un repère particulier: (voir TD)

(2) $F = F_0 + P \cdot (e^{\lambda \cdot t} - 1)$ et ^{86}Sr stable non radiogénique



$$\left(\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}} \right) = \left(e^{\lambda t} - 1 \right) \left(\frac{^{87}\text{Rb}}{^{86}\text{Sr}} \right) + \left(\frac{^{87}\text{Sr}_0}{^{86}\text{Sr}_0} \right)$$

Y = A . X + B

Equation fondamentale de la radiochronologie appliquée au couple Rubidium-Strontium

$$t = \frac{\ln(a + 1)}{\lambda}$$

T1B1 Le passé géologique de notre planète

T1B1-b La datation absolue ; méthode **U / Pb** doc 3 p 152 & doc 4 p 153

U et Pb piégés dans les zircons par exemple

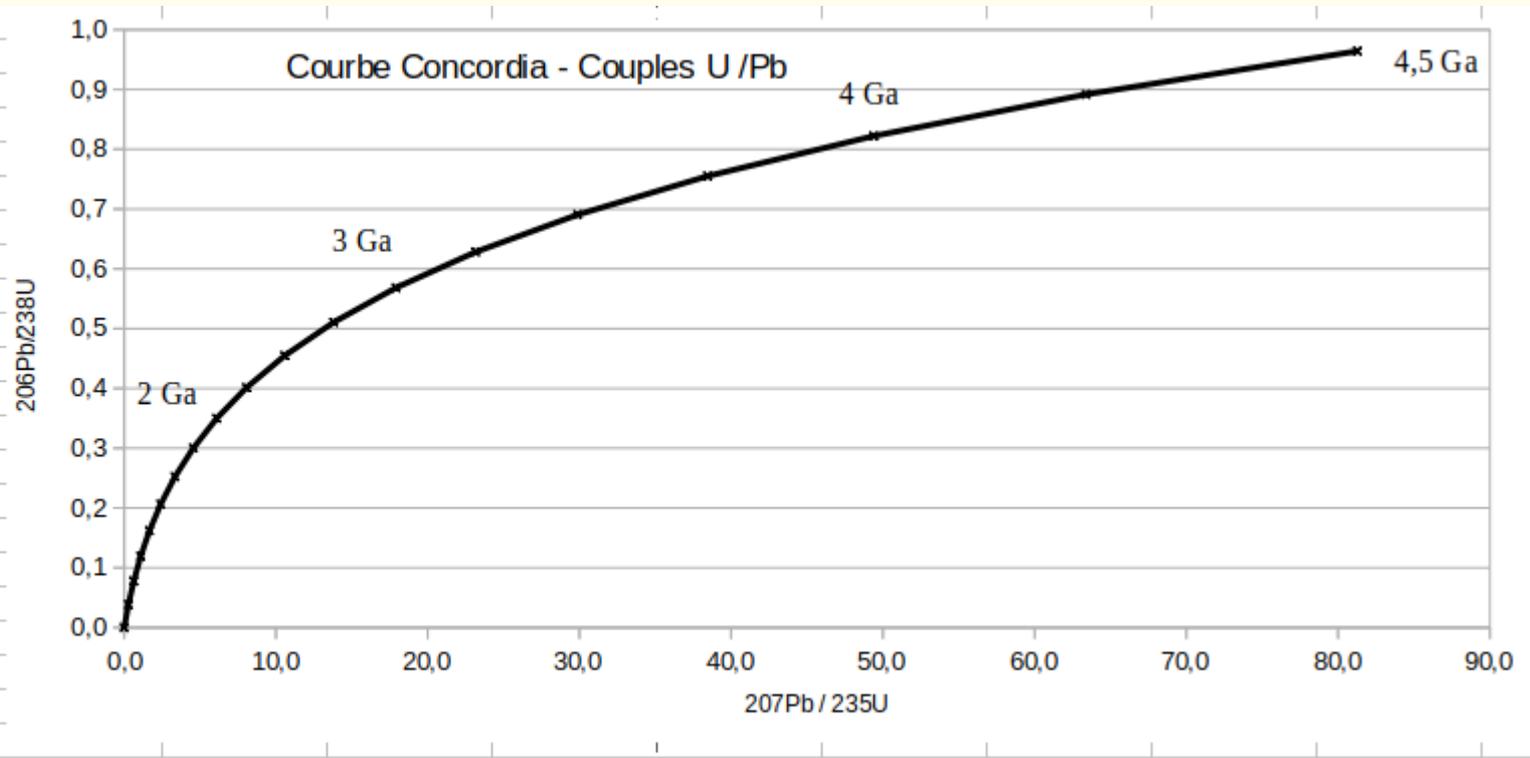
Zircons laissent fuir Pb au dessus de 900°C => F0 = 0

2 isotopes de l'uranium => 2 équations fondamentales avec F0 = 0

Si hermeticité et pas de fractionnement isotopique => tous les minéraux cogénétiques doivent suivre ces 2 équations fondamentales simultanément.

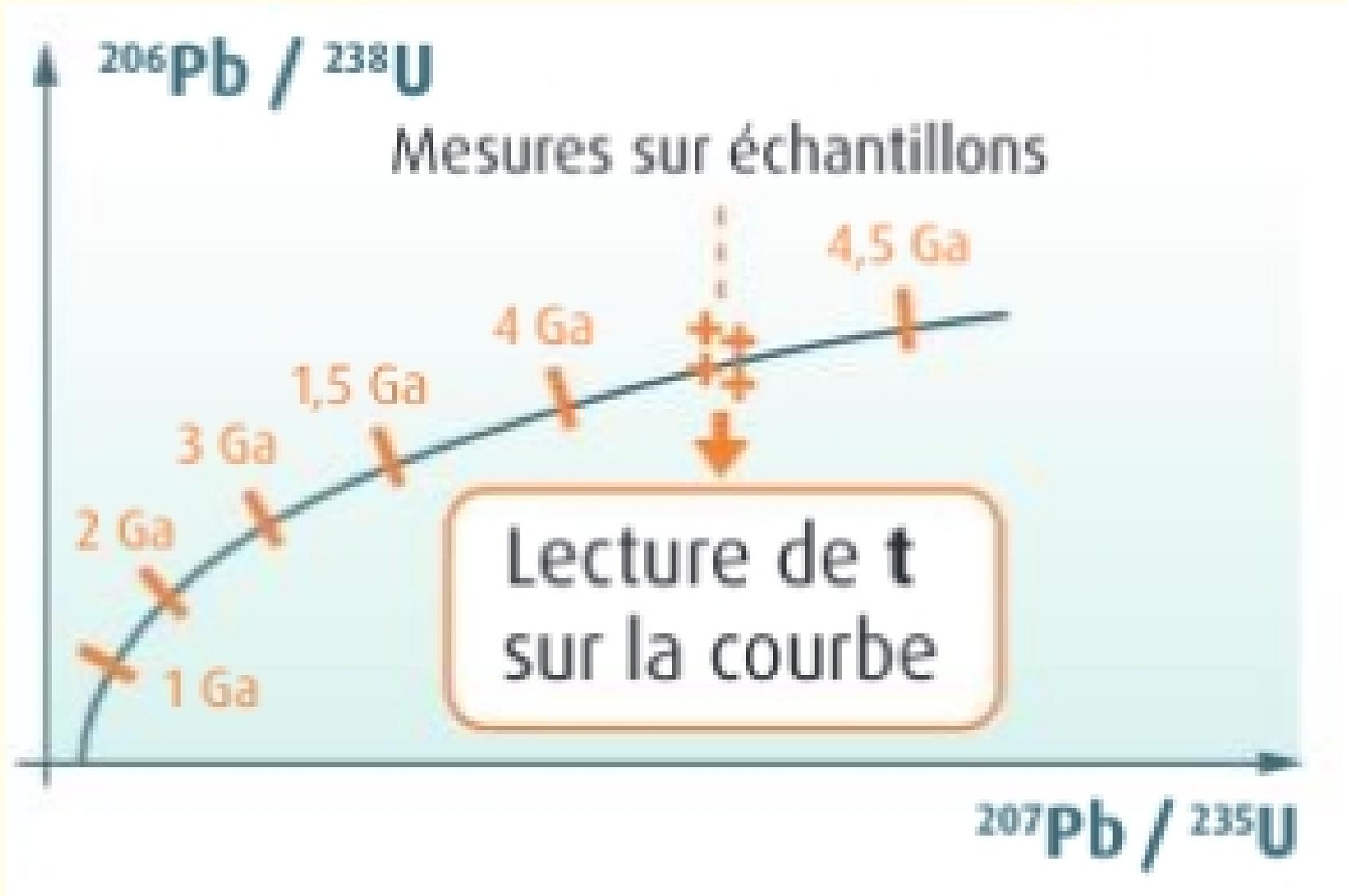
Voir TD

Temps en Ga	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$
5	133,3	1,1
4,75	104,1	1,0
4,5	81,3	1,0
4,25	63,4	0,9
4	49,4	0,8
3,75	38,4	0,8
3,5	29,9	0,7
3,25	23,2	0,6
3	17,9	0,6
2,75	13,8	0,5
2,5	10,6	0,5
2,25	8,1	0,4
2	6,1	0,3
1,75	4,6	0,3
1,5	3,3	0,3
1,25	2,4	0,2
1	1,7	0,2
0,75	1,1	0,1
0,5	0,6	0,1
0,25	0,3	0,0
0	0,0	0,0



T1B1 Le passé géologique de notre planète

T1B1-b La datation absolue ; méthode **U / Pb** doc 3 p 152 & doc 4 p 153



T1B1 Le passé géologique de notre planète

T1B1-b La datation absolue

Des températures de fermeture différentes pour différents minéraux expliquent que des mesures effectuées sur un même objet tel qu'une roche, avec différents chronomètres, puissent fournir des valeurs différentes (en particulier dans le cas des zircons qui laissent fuir le plomb).

=> la résolution des 2 équations fondamentales séparément pour les couples $^{235}\text{U} / ^{207}\text{Pb}$ et $^{238}\text{U} / ^{206}\text{Pb}$ peut donner des âges différents pour différents minéraux.

Mais dans un minéral les 2 équations sont simultanément vraies.

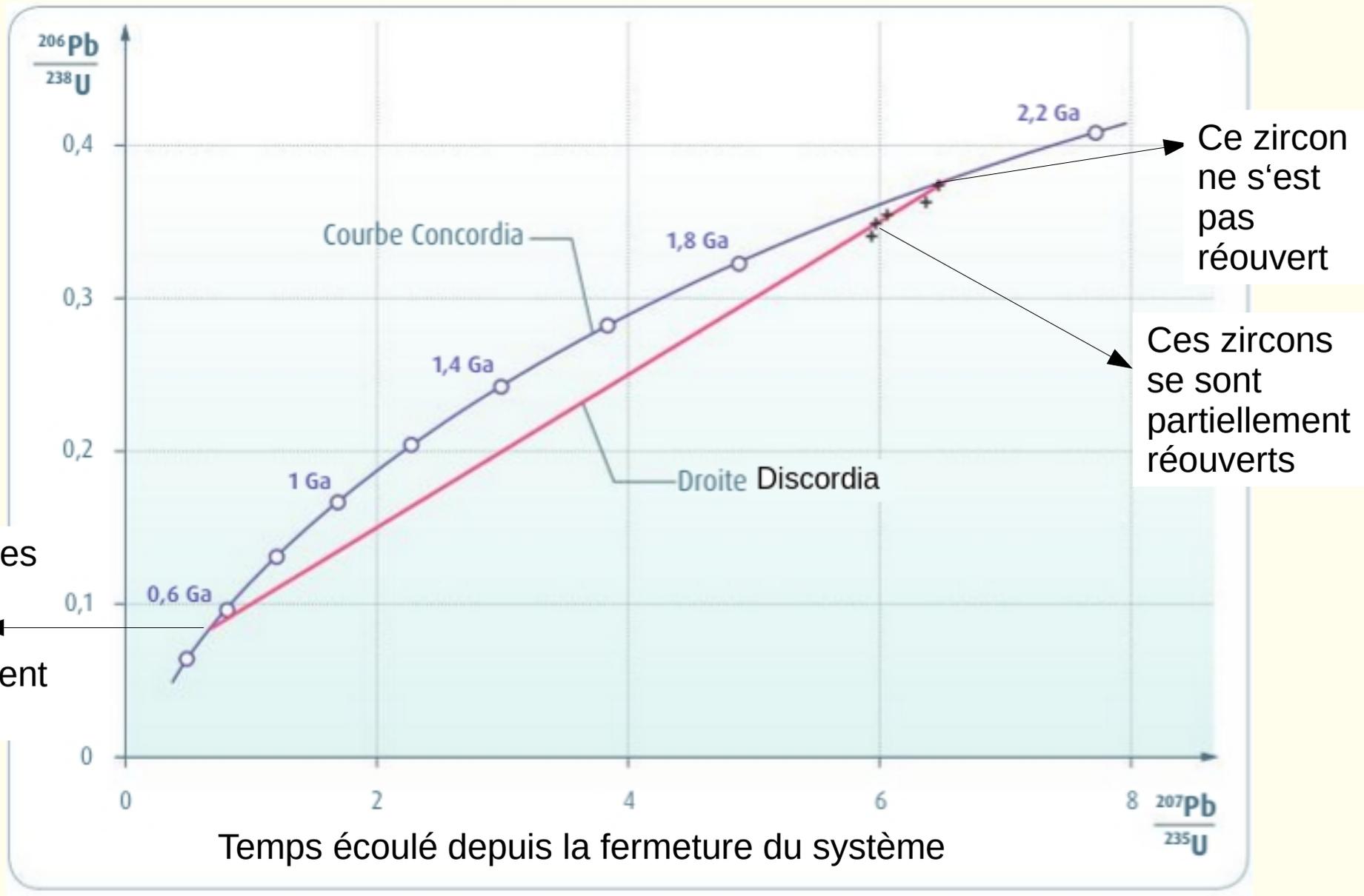
=>

Utilisation d'une courbe étalon = **Courbe concordia**

Tracé d'une droite = **Discordia**

T1B1 Le passé géologique de notre planète

T1B1-b La datation absolue ; méthode **U / Pb** doc 3 p 152 & doc 4 p 153



+ = points obtenus à partir des mesures actuelles dans différents zircons

T1B1 Le passé géologique de notre planète

Notions fondamentales : chronologie, datations relative et absolue, fossiles stratigraphiques, chronomètres.

Limites : La connaissance de l'échelle stratigraphique internationale n'est pas attendue.

On se limite en chronologie absolue à l'étude des roches magmatiques pour laquelle la fermeture du système est due à l'abaissement de la température au-delà d'un certain seuil.

L'étude des principes physiques de la désintégration des éléments radioactifs servant aux datations et les développements mathématiques permettant de déterminer l'âge des roches ne sont pas exigibles.