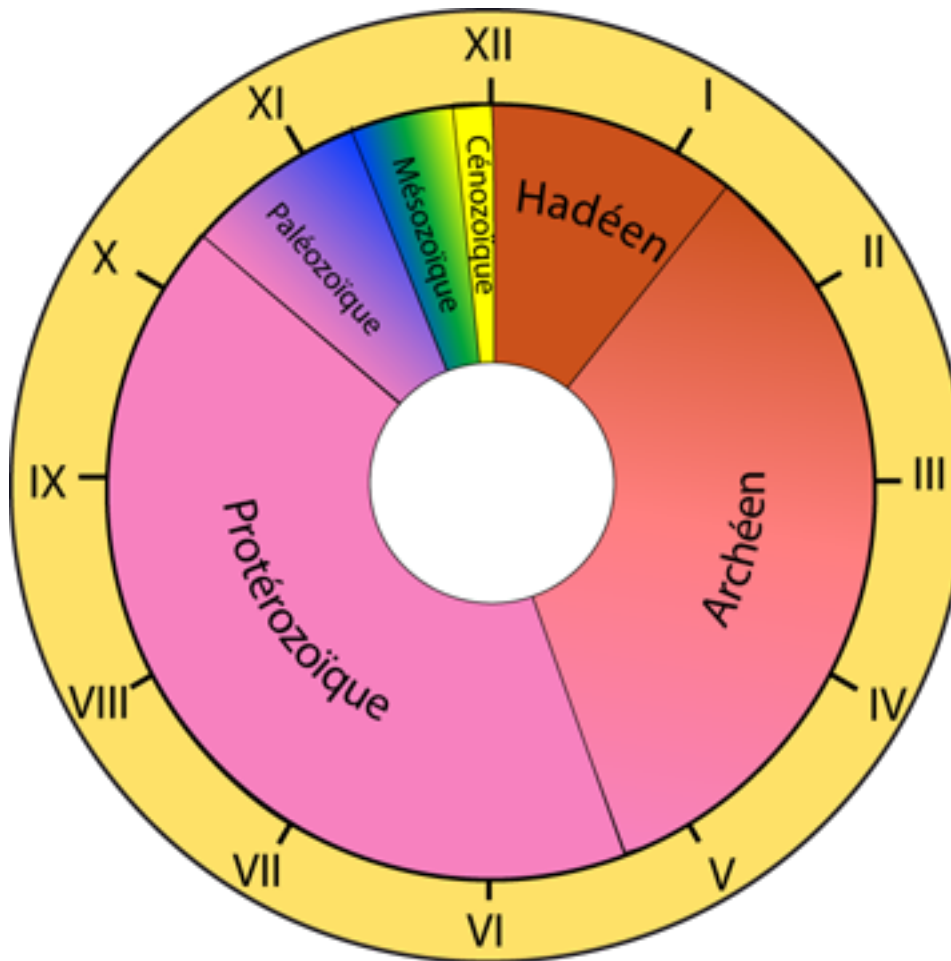


**La géologie,
une science historique**

Les repères de temps en géologie



Stratigraphie = discipline de la géologie qui étudie la succession des différentes couches sédimentaires

1. La chronologie relative

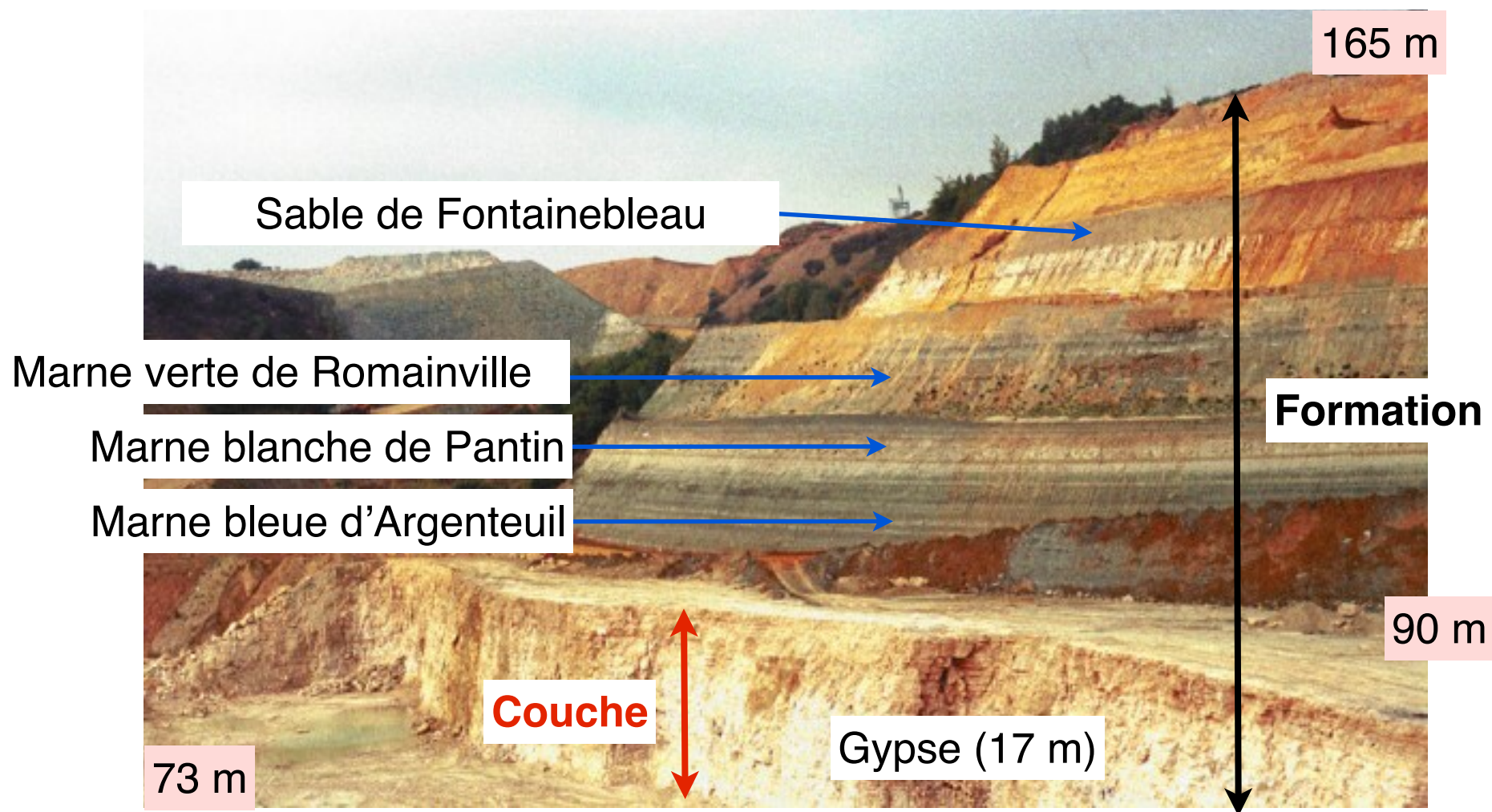
Lithostratigraphie

Biostratigraphie

Couche, formation



Carrière de Cormeilles en Parisis



Quelques définitions

Couche = strate = plus petite unité élémentaire repérable sur le terrain

Formation = ensemble de couches ayant à peu près la même nature, en dépôt uniforme. La formation est délimitée entre 2 discontinuités.

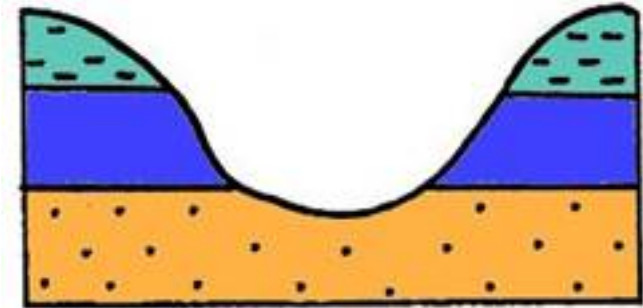
Banc = couche dure

Lit = fine couche (centimétrique ou millimétrique)

Le principe de continuité



L'âge d'une strate est la même sur toute son étendue

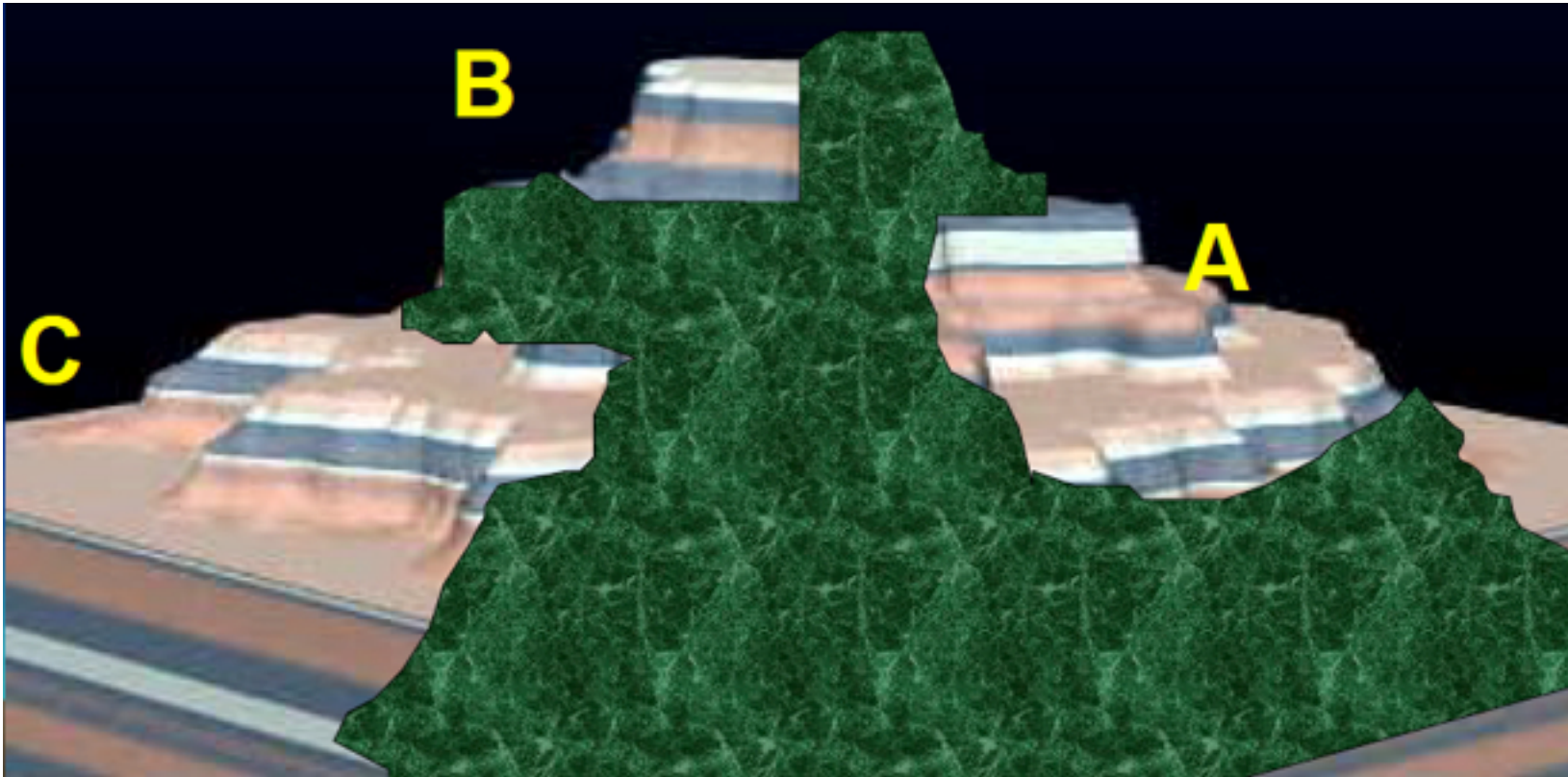


Une **déformation continue** peut affecter ultérieurement la couche (pli)

pli en chapeau de gendarme de Septmoncel (Jura)

Intérêt du principe de continuité

Toutes les strates ne sont pas visibles à l'affleurement mais on peut les relier.



Les strates s'étendent sur une surface importante : on peut reconstituer une série par corrélations à partir des observations faites sur plusieurs affleurements (ici 3 : A, B et C).

Le principe de superposition



Lorsque plusieurs strates sont superposées, la couche inférieure est la plus ancienne



Affleurement : alternance de bancs durs et tendres
de roches sédimentaires

Calcaires gréseux et sables

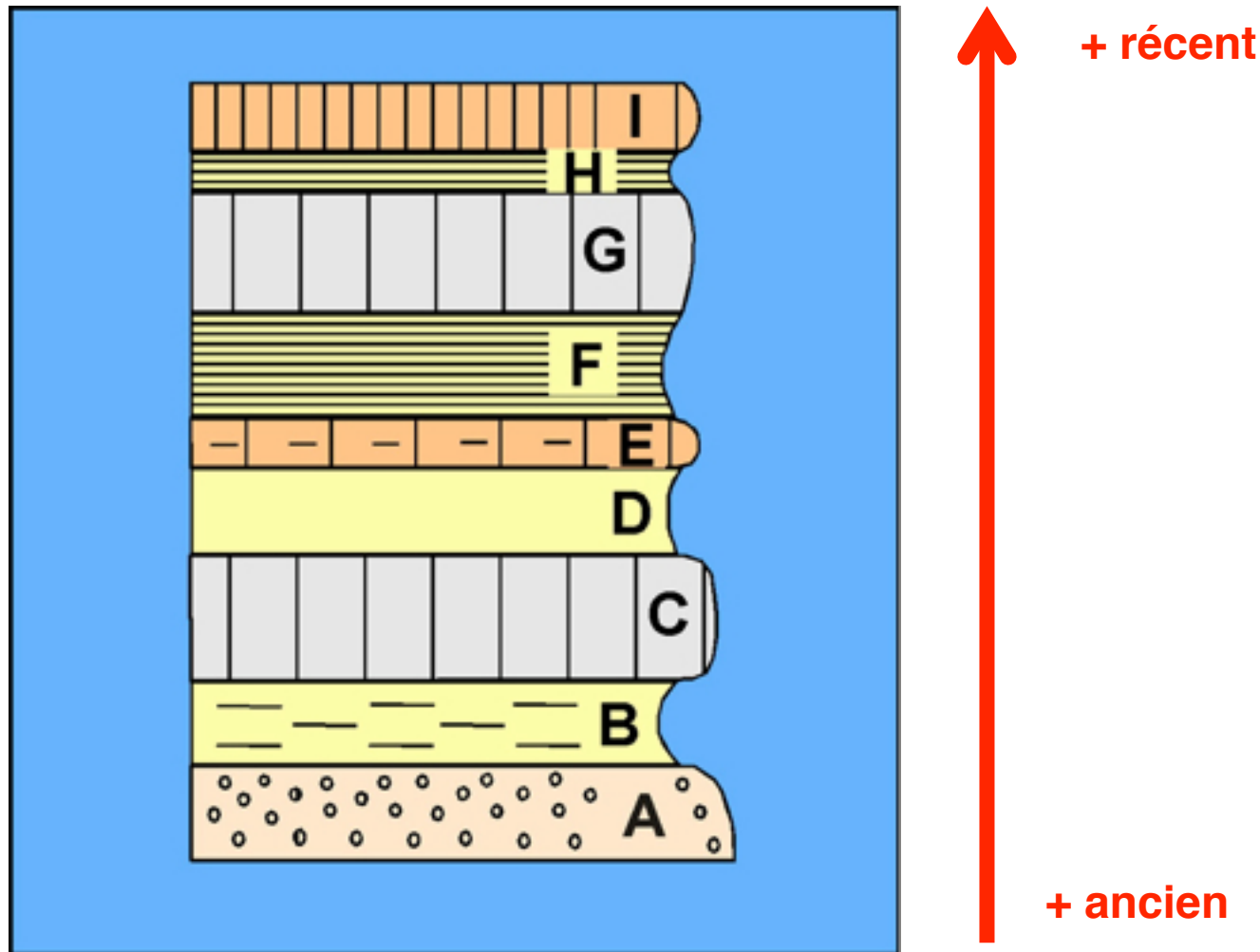
Jurassique inférieur (Sinémurien supérieur)

strates superposées

Le principe de superposition



ou de recouvrement



Respecté si la série sédimentaire n'a pas été renversée tectoniquement

Le principe de recoupement

Islande



La route recoupant la coulée de lave du XV^e siècle est plus jeune que la coulée de lave. Cette coulée remplissant partiellement la vallée est plus jeune que la formation de la vallée.

Le principe de recoupement



Roches métamorphiques plissées et foliées, recoupées par un filon granitique sans foliation ni plissement. Le filon est donc plus jeune que les roches métamorphiques. Sables d'Olonne

Le principe de recoupement

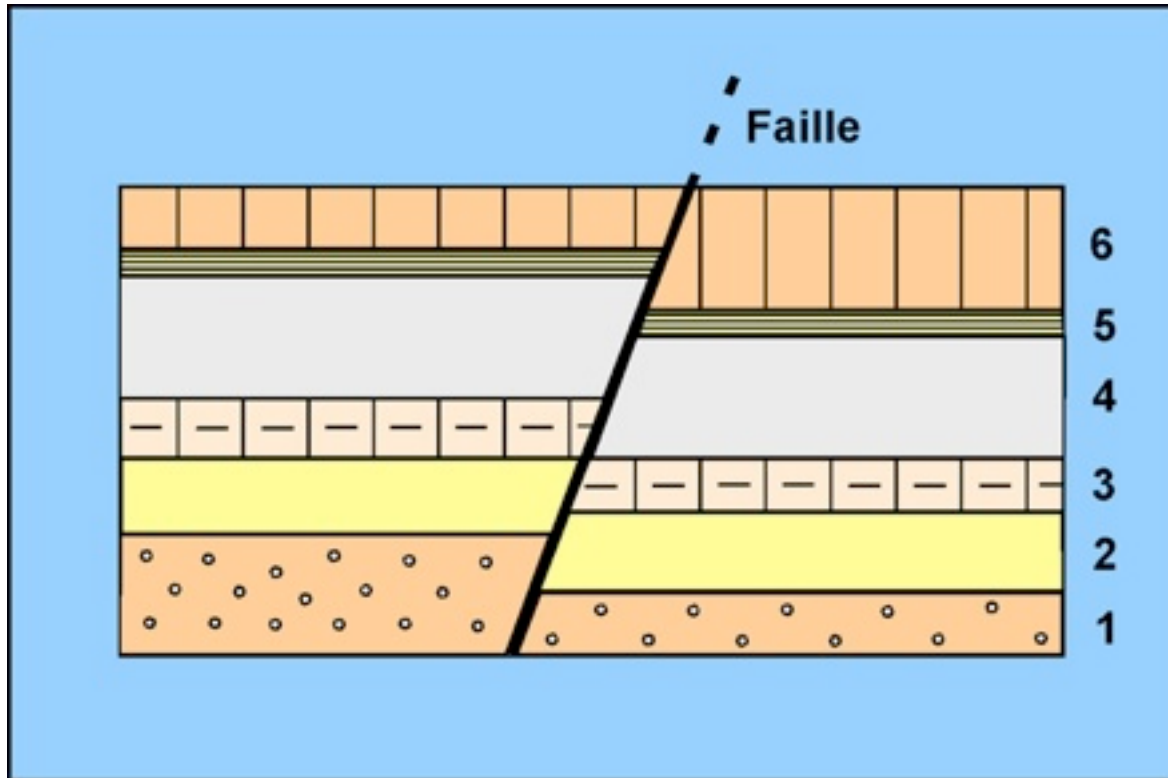
Las Vegas



Terrains volcano-sédimentaires affectés par une faille. L'ensemble est recouvert par une coulée de laves non affectée par la faille. La faille est donc postérieure aux terrains volcano-sédimentaires mais antérieure à la coulée de lave.

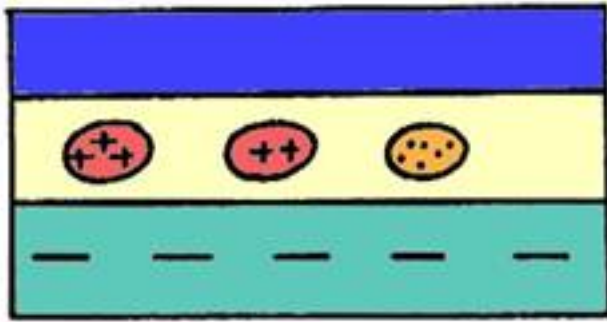
Le principe de recoupement

Toute marque qui en recoupe une autre lui est postérieure.



<http://nte-serveur.univ-lyon1.fr/geosciences/chronologie/cours/superposition.jpg>

Le principe d'inclusion



Tout objet (roches, minéraux) inclus dans un autre est plus ancien que l'encaissant.



Recouvrement par une coulée de lave et inclusion de l'église mexicaine du XVIII^{ème} siècle

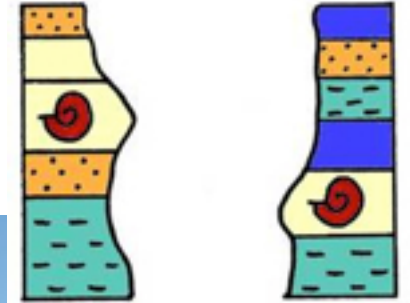


Enclave sédimentaire dans un granite (Ploumanac'h)

Le principe d'identité paléontologique

★ Deux strates qui possèdent le même contenu fossilifère sont de même âge... attention néanmoins au type de fossile...

Calcaire urgonien (-130 à -112 MA)
riche en rudistes et orbitolines



Calanques de Sugiton (vers Cassis)



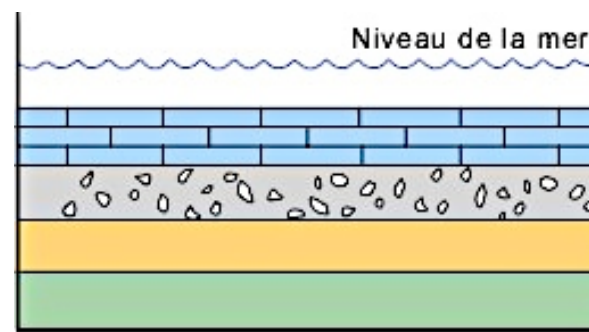
Mont Aiguille (Vercors, Isère)

Exercice de chronologie relative

Reconstituer l'histoire géologique conduisant à cet affleurement

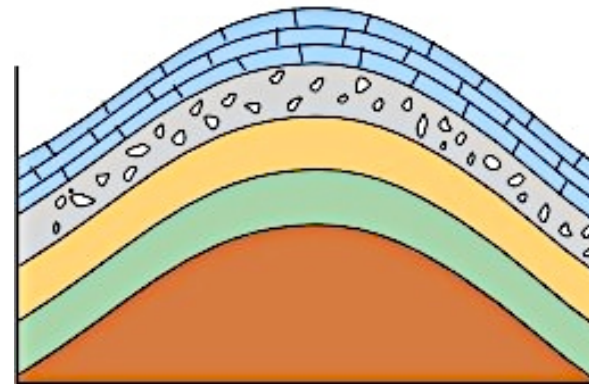


Reconstitution de l'histoire



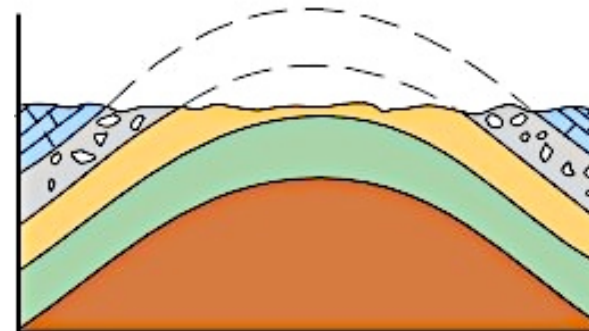
Dépôt

Les couches sédimentaires se déposent à l'horizontale



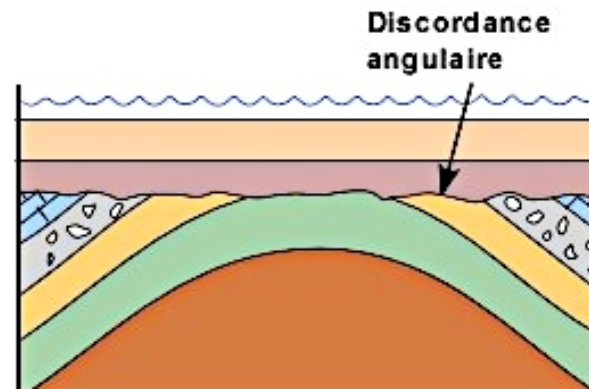
Plissement et soulèvement

Il est fréquent que les forces tectoniques de compression plissent ces couches originellement horizontales



Érosion

Les couches plissées sont subséquemment érodées et les reliefs aplanis



Nouveau dépôt

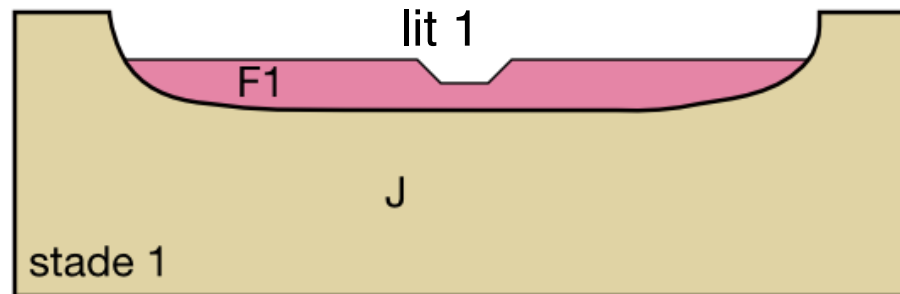
Si d'autres couches se déposent au-dessus, par exemple à la faveur d'un envahissement par la mer, il en résulte une relation d'angularité entre les deux ensembles. La surface qui sépare les deux ensembles est une discordance angulaire.

Les limites aux principes

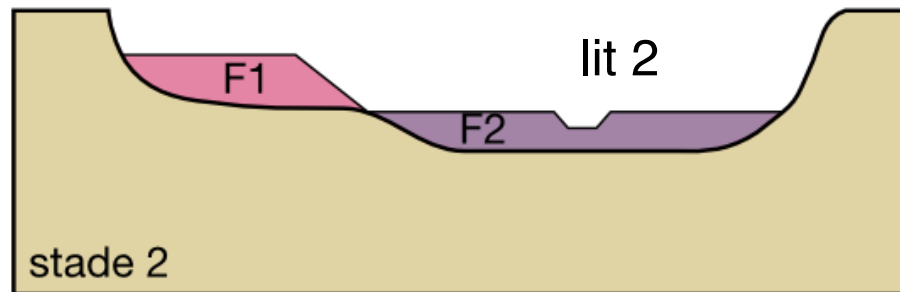


Cas des terrasses alluviales

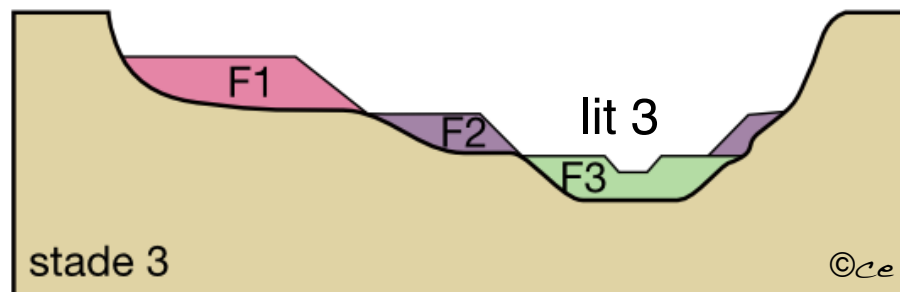
1– Dépôt d'alluvions



2 – Creusement du lit de la rivière



3 – Dépôt d'alluvions plus récentes

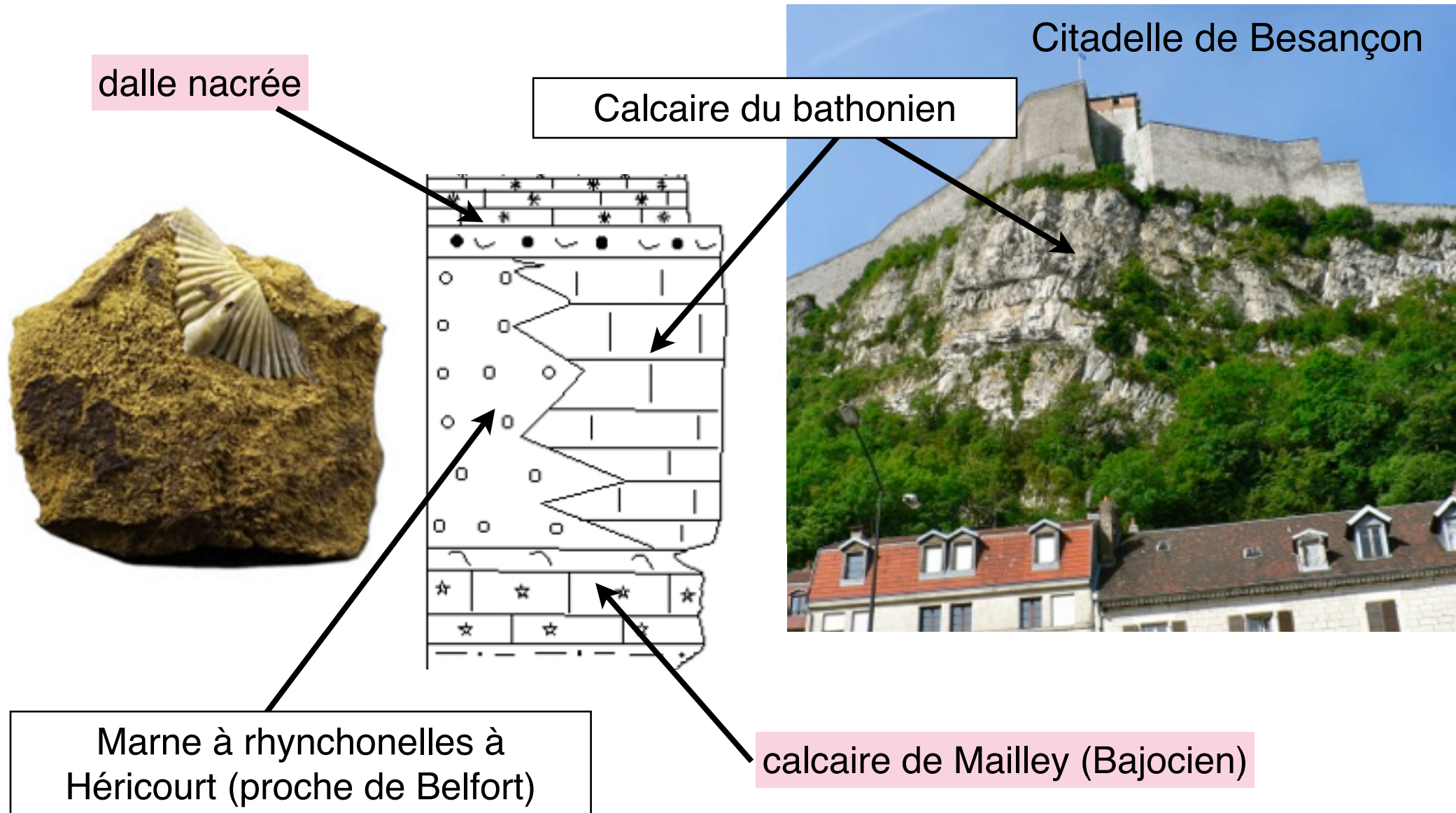


4 – Creusement des alluvions les plus récentes

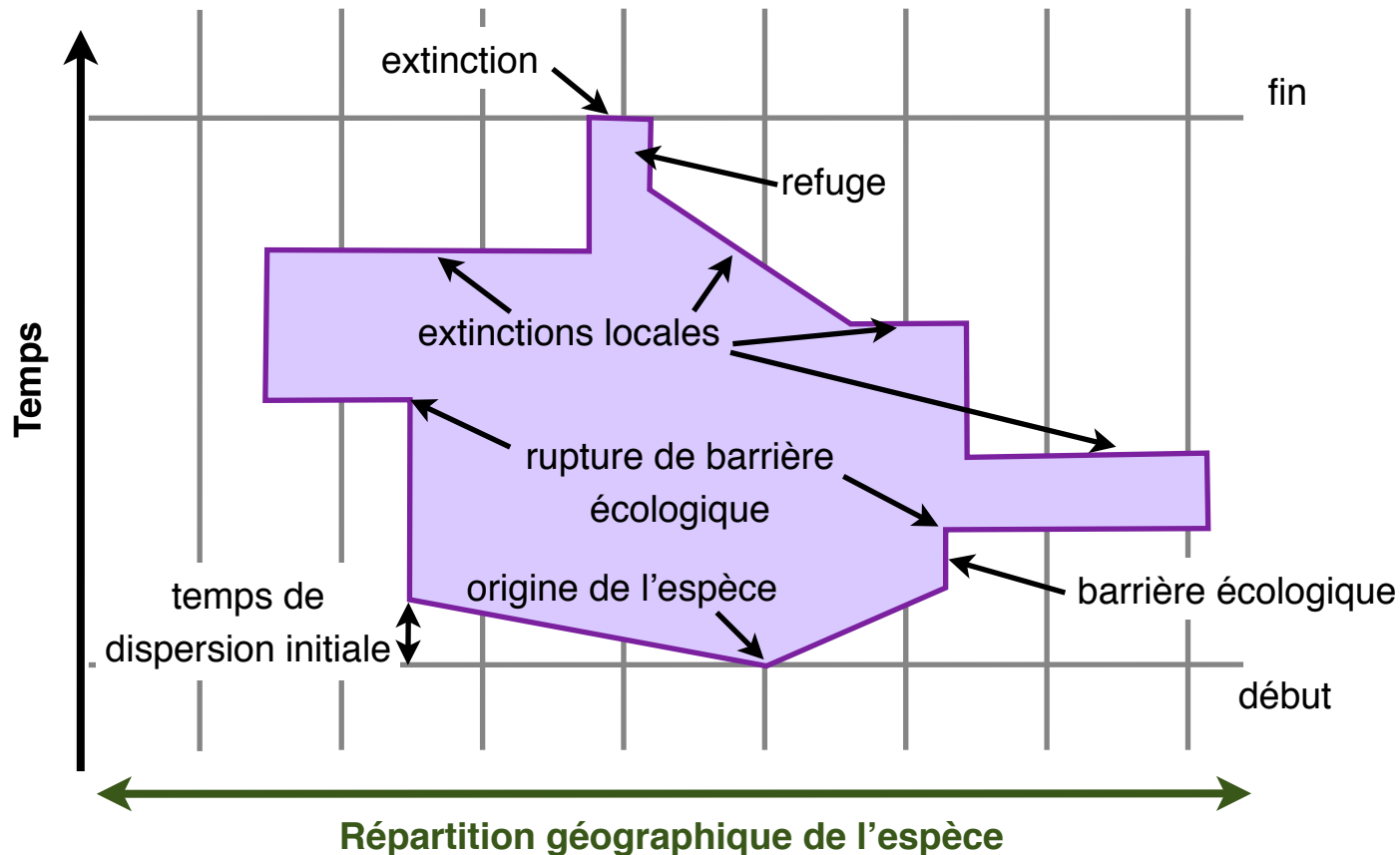
Résultat : les terrasses emboîtées les plus anciennes sont les plus hautes topographiquement

Les limites aux principes (2)

Les variations latérales de faciès



Histoire d'une espèce



Une espèce apparaît, se propage et disparaît.

Une espèce à brève durée d'existence donne des renseignements sur l'âge de la couche qui la contient : **fossile stratigraphique**.

Une espèce à forte exigence biologique, répartie dans un milieu précis constitue un fossile de faciès.

Le Nautilé, un animal panchronique

Mollusque céphalopode

2 espèces actuelles

300 espèces fossiles en 500 MA



Nautilé de Madagascar (100 MA)



Nautilé vivant, actuel (océan indien)

Il y a eu évolution mais les caractères morphologiques pour les reconnaître ont peu changé : ce fossile est donc un marqueur peu utile pour dater une strate

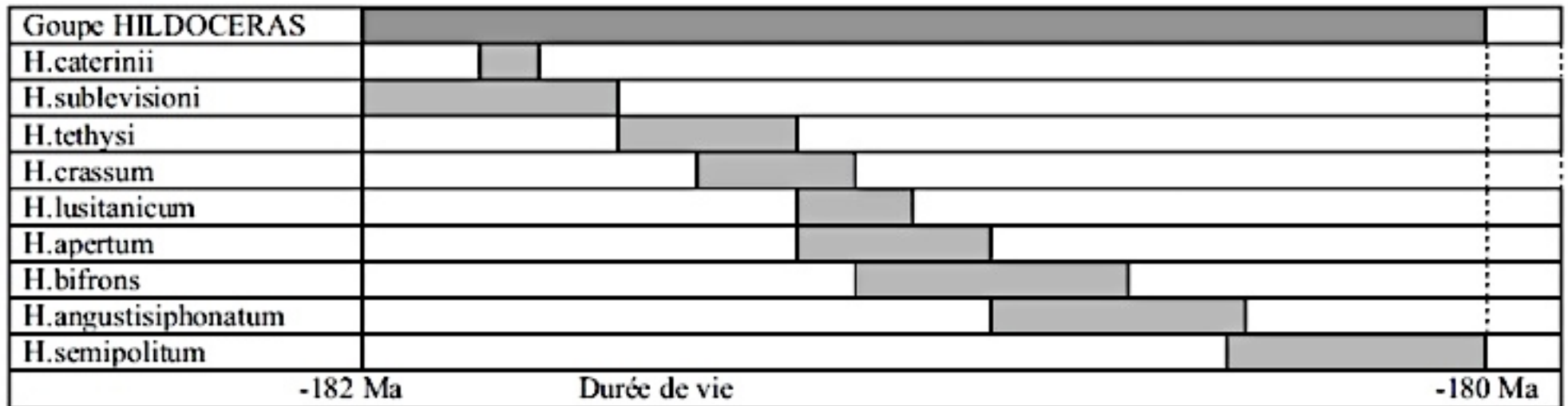
Marqueurs stratigraphiques : les ammonites



grande diversité d'espèces
d'ammonites chacune
n'ayant existé qu'une
courte période

Groupe d'ammonite *Hildoceras*

succession des espèces sur 2 Ma



Hildoceras caterinii



Hildoceras bifrons

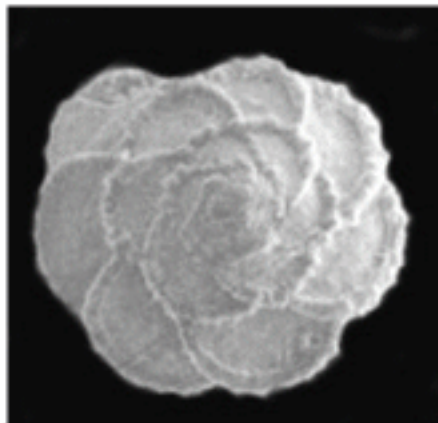


Hildoceras sublevisioni

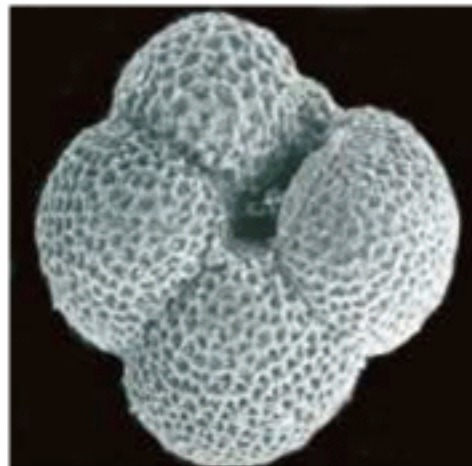
Les Foraminifères, des fossiles stratigraphiques

foraminifères fossiles de la fin du secondaire (Crétacé) et du début du Tertiaire

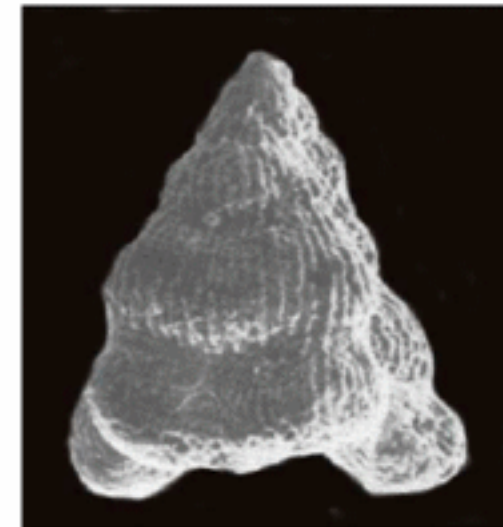
		-71,3 Ma			-65,5 Ma			-61,7 Ma		
		Crétacé			Tertiaire					
groupes	genres	Santonien	Campanien	Maastrichtien	Danien	Montien	Thanétien			
Hétérohélécidés	Heterohelix									
	Pseudotextularia									
	Racemiguembelina									
Globotruncanidés	Hedbergella									
	Globotruncana									
	Abathomphalus									
Globigérinidés	Globigerina									



Globotruncana
taille : entre 1mm et 0,25mm –
photo fiche ECE



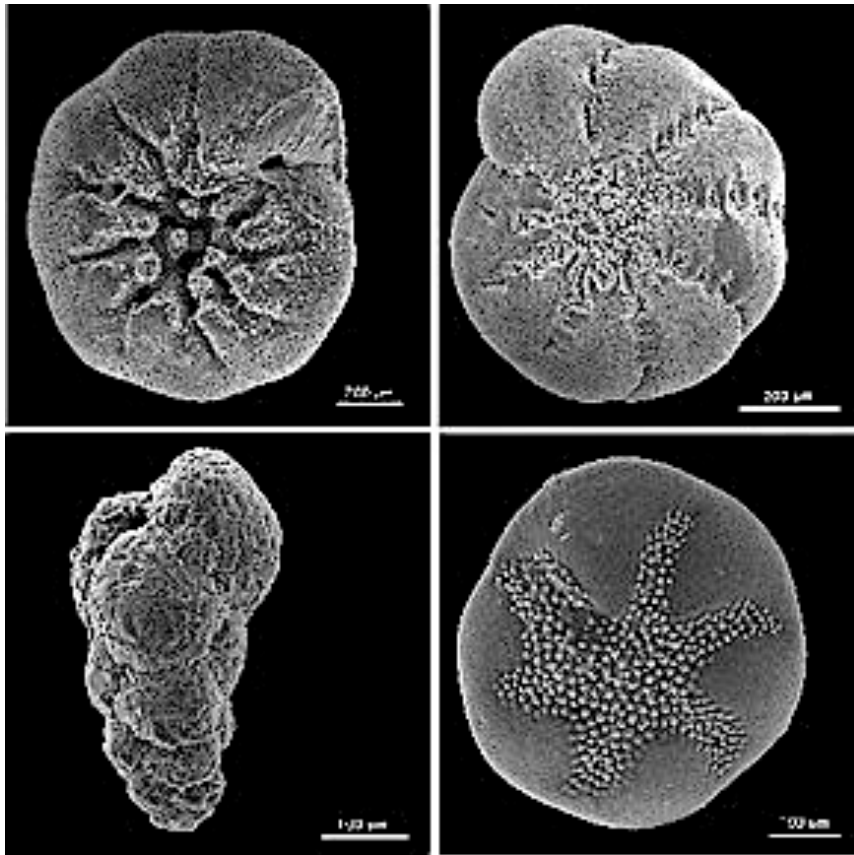
Globigerina
Ø approximatif : 0,25mm
photo fiche ECE



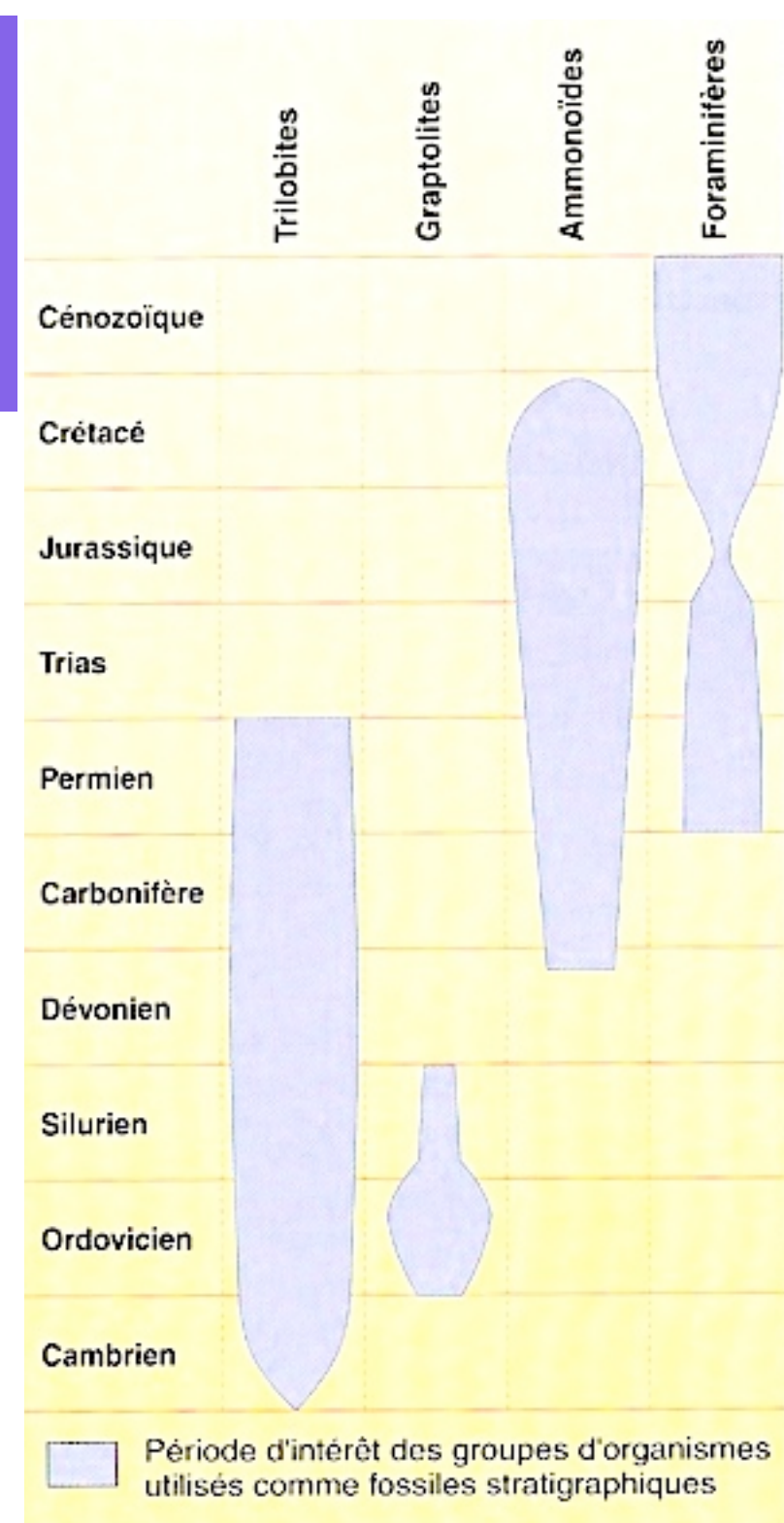
Heterohelix
photo fiche ECE

0,5 mm

Répartition dans le temps de quelques fossiles stratigraphiques



Foraminifères benthiques
Protozoaires



Ere primaire : trilobite et graptolites

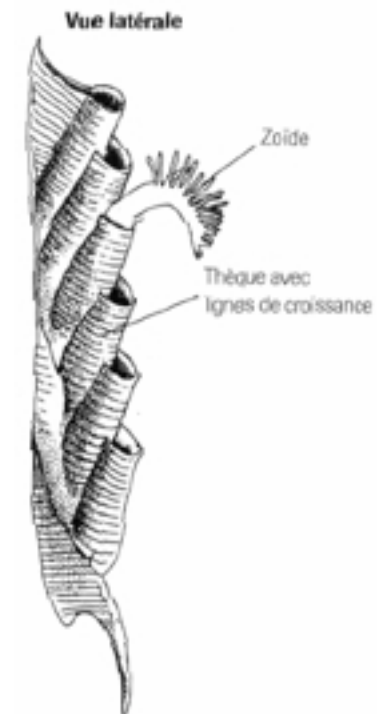
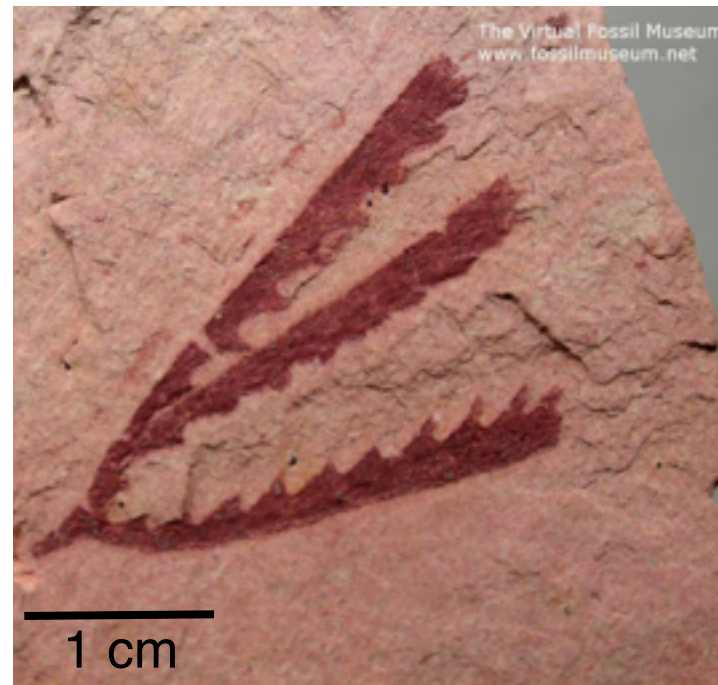
Trilobites arthropodes marins

du Cambrien (- 540 MA)
au Permien (- 250 MA)



Graptolites prochordés coloniaux

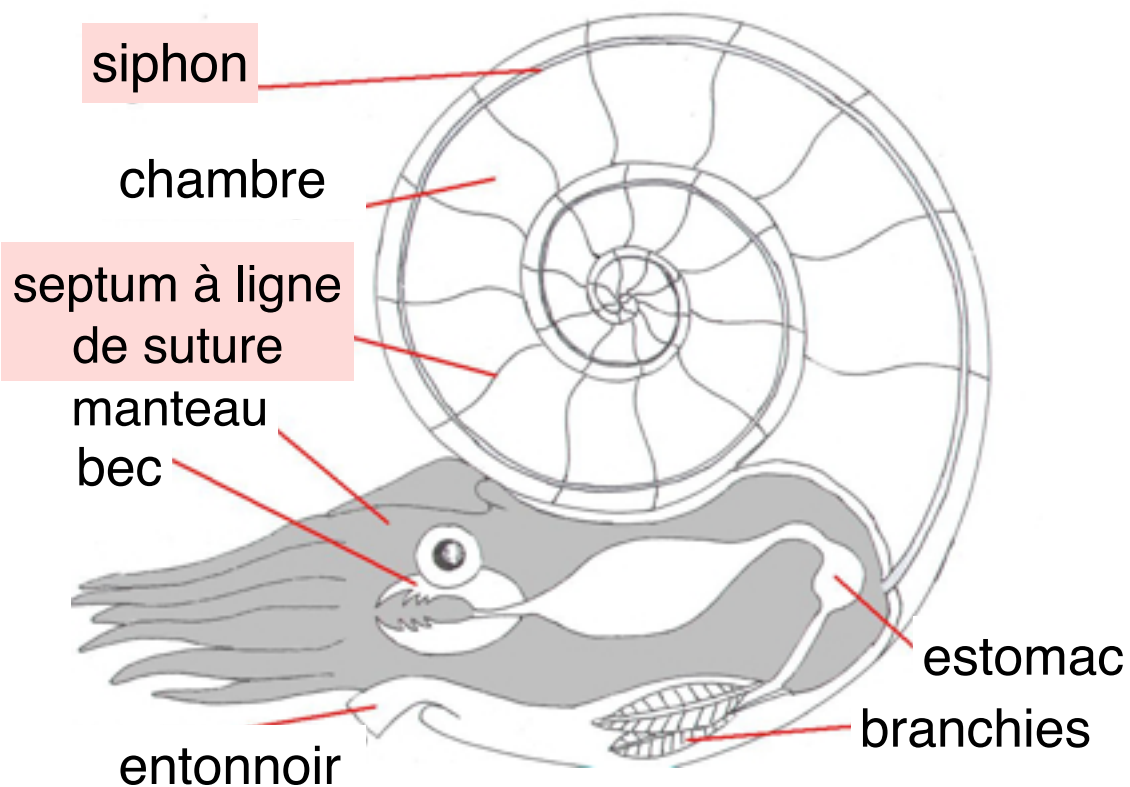
de l'Ordovicien (- 485 MA)
au Silurien (- 415 MA)



Ere secondaire : ammonite et belemnite

Ammonites mollusques céphalopodes nombreuses espèces

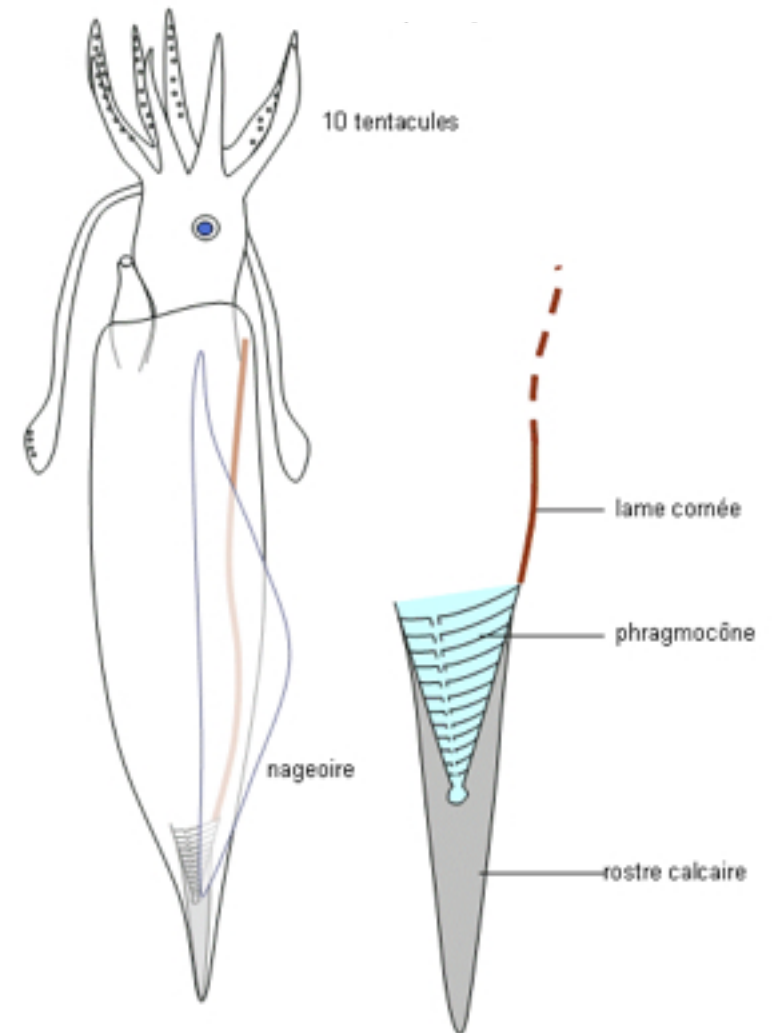
du Dévonien (- 300 MA)
au Crétacé (- 65 MA)



critère de reconnaissance des espèces

Belemnites mollusques céphalopodes

du Trias (- 250 MA)
au Crétacé (- 65 MA)



Ere tertiaire : nummulite et turritelle

Nummulite foraminifère

au Paléogène (paléocène - oligocène)
de - 65 MA à - 23,5 MA



Turritelle mollusque céphalopode

de -65 MA à l'actuel



Notion de biozone et chronozone



Biozone = ensemble des couches contenant une association d'espèces

Chronozone = durée d'une biozone

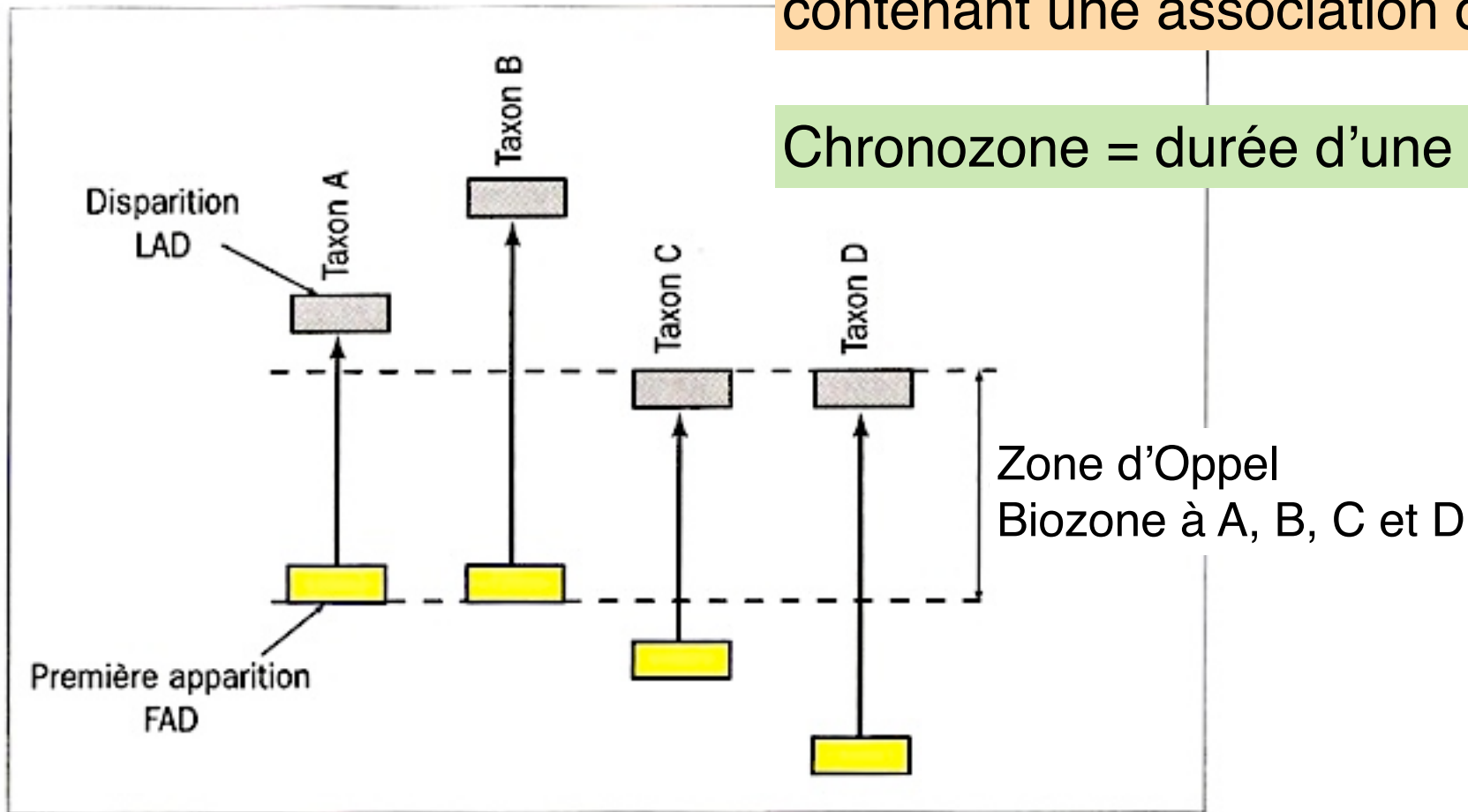


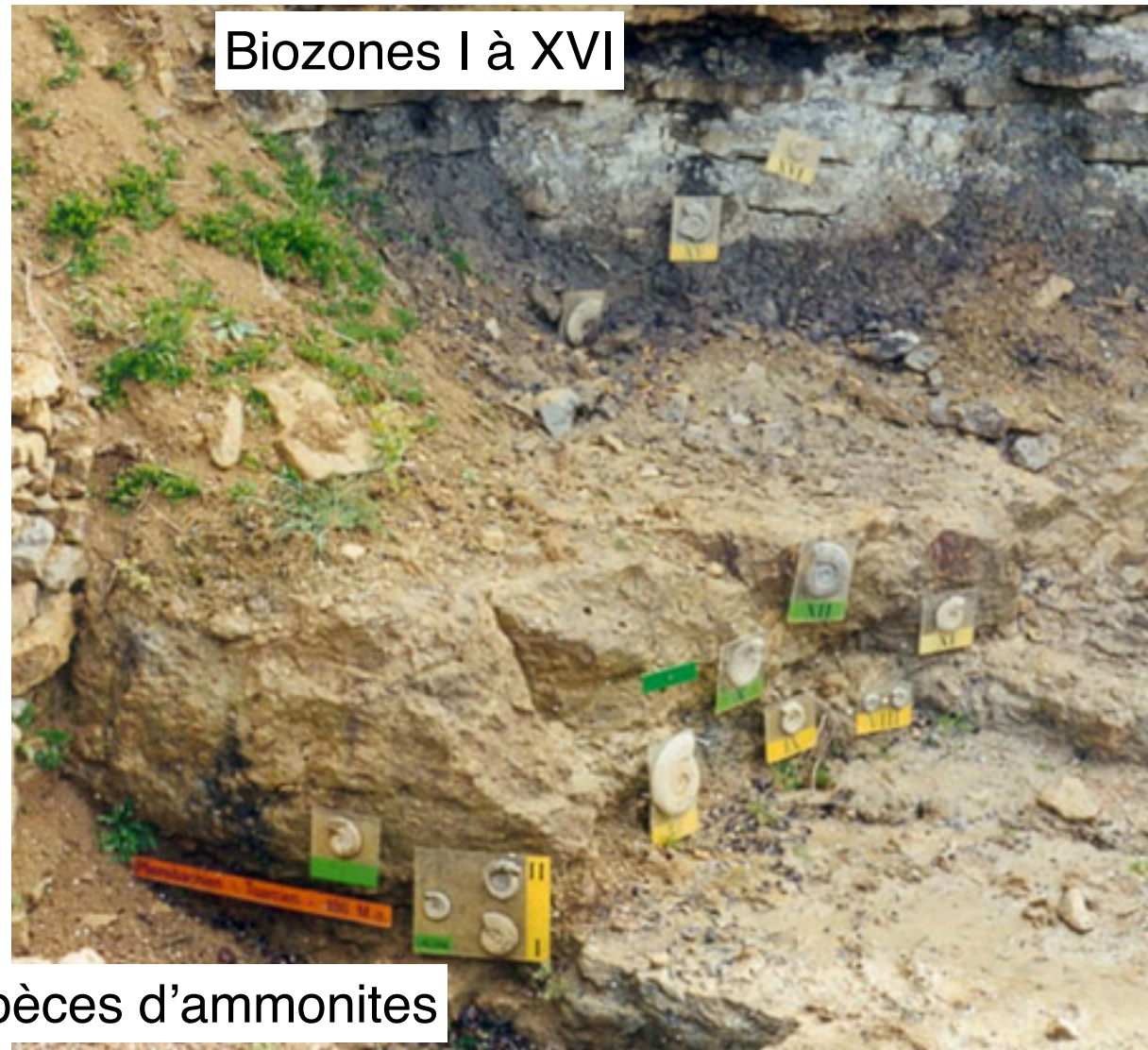
Figure 6.2. La notion de biozone (A. Oppel)

Une biozone est définie par le domaine de recouvrement de deux taxons (ou plus). La première apparition d'un taxon (FAD) est indiquée par un rectangle jaune et sa disparition (LAD) par un rectangle gris.

Stratotype d'unité



nombreuses espèces d'ammonites



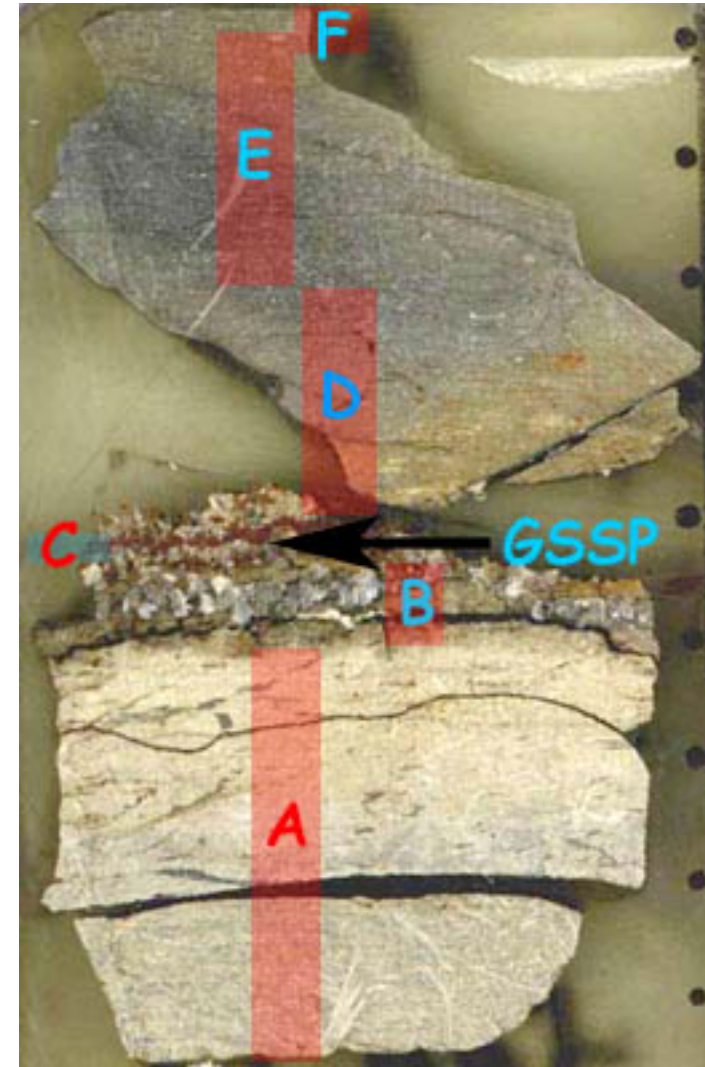
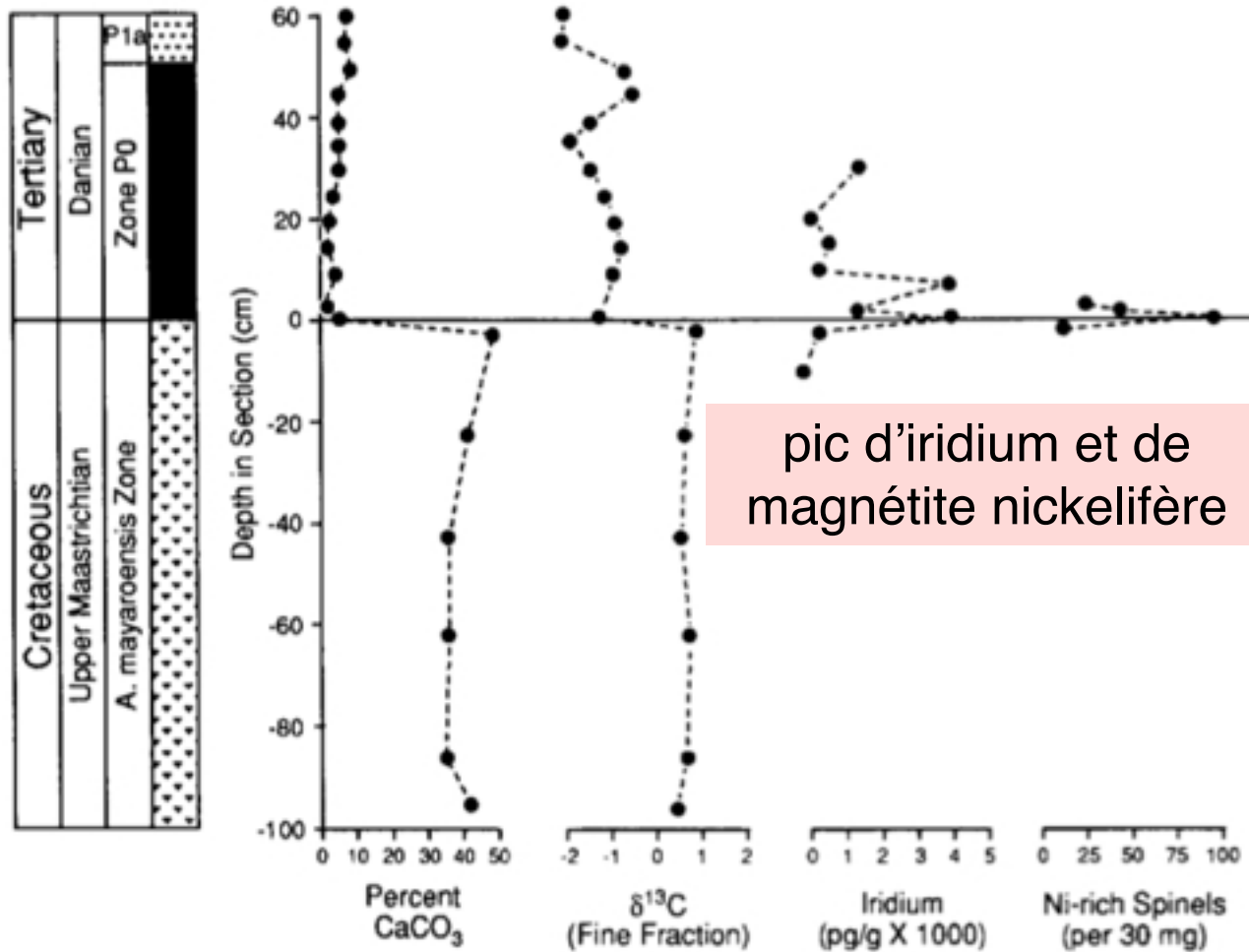
Biozones I à XVI

Carrière type du Toarcien près de Thouars (Deux-Sèvres)

Jurassique inférieur

Stratotype de limite

Site de El Kef (Tunisie) : stratotype de limite Crétacé- Tertiaire



Le clou d'or

Un clou d'or ou GSSP est la limite entre deux étages géologiques, un point stratotypique Mondial (PSM). Il doit répondre à 10 critères dont :

- accessibilité et repères sur le site
- dépôt épais et riche en fossiles
- présence de radioisotopes pour le dater précisément...



clou d'or de la limite danien / sélandien à 61,1 MA à Zumaia (Espagne)

GSSP = Global Stratotype Section and Point

Les unités stratigraphiques



Unités définies sur le terrain

Unités lithostratigraphiques

définies à l'aide du faciès

couche

formation

Unités biostratigraphiques

définies par la présence de fossiles

biozone

Unités correspondant à des intervalles de temps

chronozone

étage

période, système

ère

+ petit intervalle de temps

+ grand intervalle de temps

Fossile de faciès

Orbitoline

foraminifère de milieu marin chaud, bien oxygéné et peu profond



1,5 cm

Bilan : chronologie relative... sans âges



actuel

ERE	Système
QUATERNAIRE	
CENOZOIQUE ou TERTIAIRE	Néogène
	Paléogène
MESOZOIQUE ou SECONDAIRE	Crétacé
	Jurassique
	Trias
PALEOZOIQUE ou PRIMAIRE	Permien
	Carbonifère
	Dévonien
	Silurien
	Ordovicien
	Cambrien
PRECAMBRIEN	Protérozoïque
	Archéen

----- limite

----- grande crise

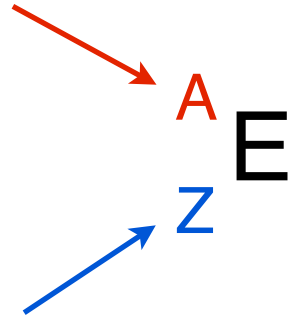
le plus ancien

2. La datation absolue

Les éléments chimiques



nombre de masse = nombre de protons Z + nombre de neutrons N



numéro atomique = nombre de protons (= d'électrons)

Un même élément a toujours le même nombre de protons Z mais le nombre de neutrons peut varier $\Rightarrow$ isotopes ayant des masses différentes.

^{12}C , ^{13}C et ^{14}C sont les 3 isotopes du carbone

isotopes stables

isotope radioactif

^{12}C 99%
 ^{13}C 1%
 ^{14}C $10^{-10}\%$

Les transformations radioactives

émission α

un noyau émet 2 protons + 2 neutrons (= 1 noyau d'hélium = particule α)

spontané si $A > 147$. Exemple : ${}_{92}^{238}\text{U} \rightarrow {}_{90}^{234}\text{Th} + {}_2^4\text{He}$

émission β^-

1 neutron est converti en 1 proton + 1 électron + 1 antineutrino $\Rightarrow Z$ devient $Z+1$

Exemple : ${}_{37}^{87}\text{Rb} \rightarrow {}_{38}^{87}\text{Sr} + e^- + \text{antineutrino}$

capture électronique

un noyau incorpore un électron (de son cortège ou non). Cet électron réagit avec un proton et donne un neutron et un neutrino. Alors Z devient $Z-1$ et il y a libération de rayons.

Exemple : ${}_{19}^{40}\text{K} \rightarrow {}_{18}^{40}\text{Ar} + \text{neutrino} + \text{rayons X}$

émission β^+ : rare

émission γ

fission spontanée

Loi de décroissance radioactive



Probabilité qu'un atome se désintègre pendant dt vaut λdt avec
 λ = constante de désintégration = constante radioactive

$$\frac{dP}{dt} = -\lambda \cdot P$$

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

P teneur actuelle en élément père

P_0 teneur initiale en élément père

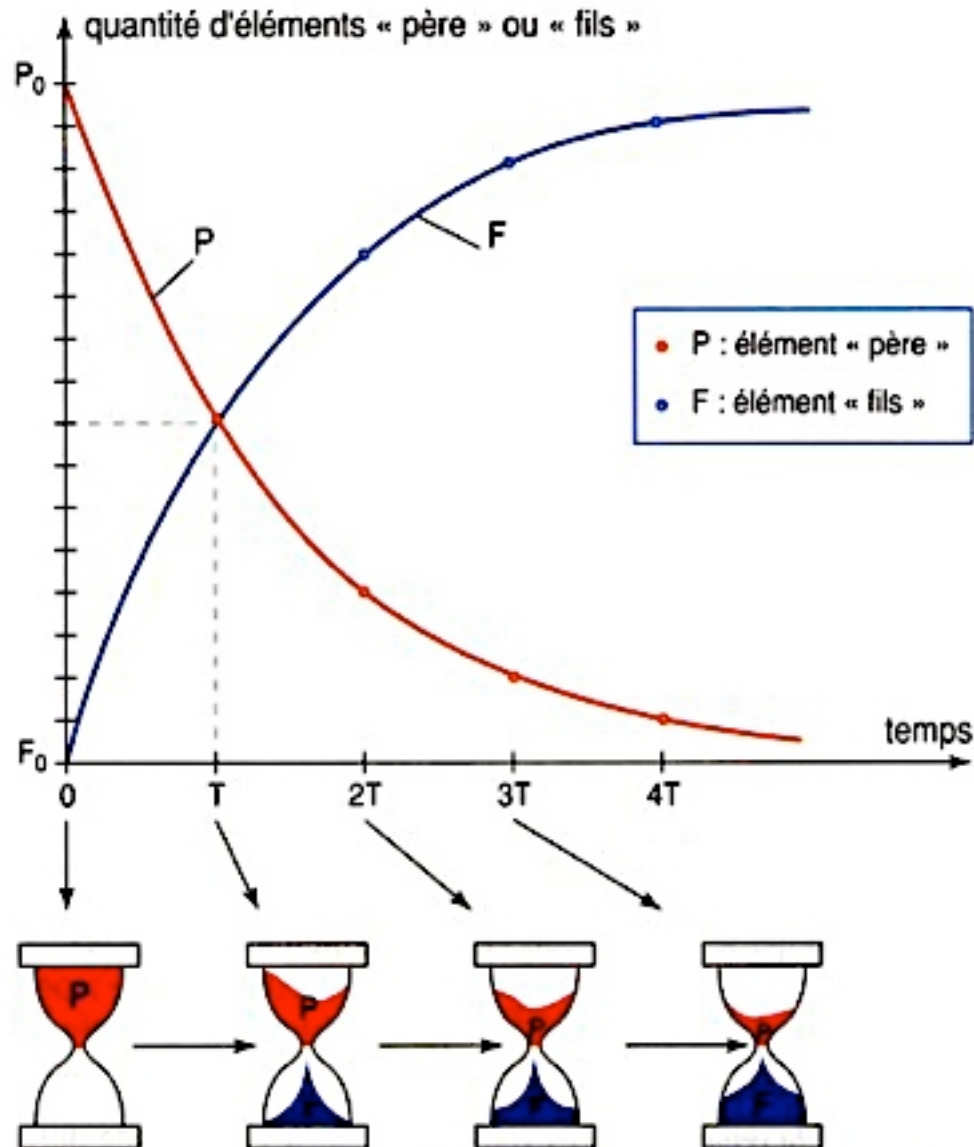
période = durée nécessaire à la réduction de moitié de la
quantité de l'élément père

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

Loi de décroissance radioactive



Loi de Rutherford et Soddy (1902)



Devenir de l'élément fils



L'élément fils est aussi détectable et mesurable : on peut l'employer pour mesurer le temps

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

$$\text{or : } F = F_0 + (P_0 - P)$$

F teneur actuelle en élément fils

F_0 teneur initiale en élément fils

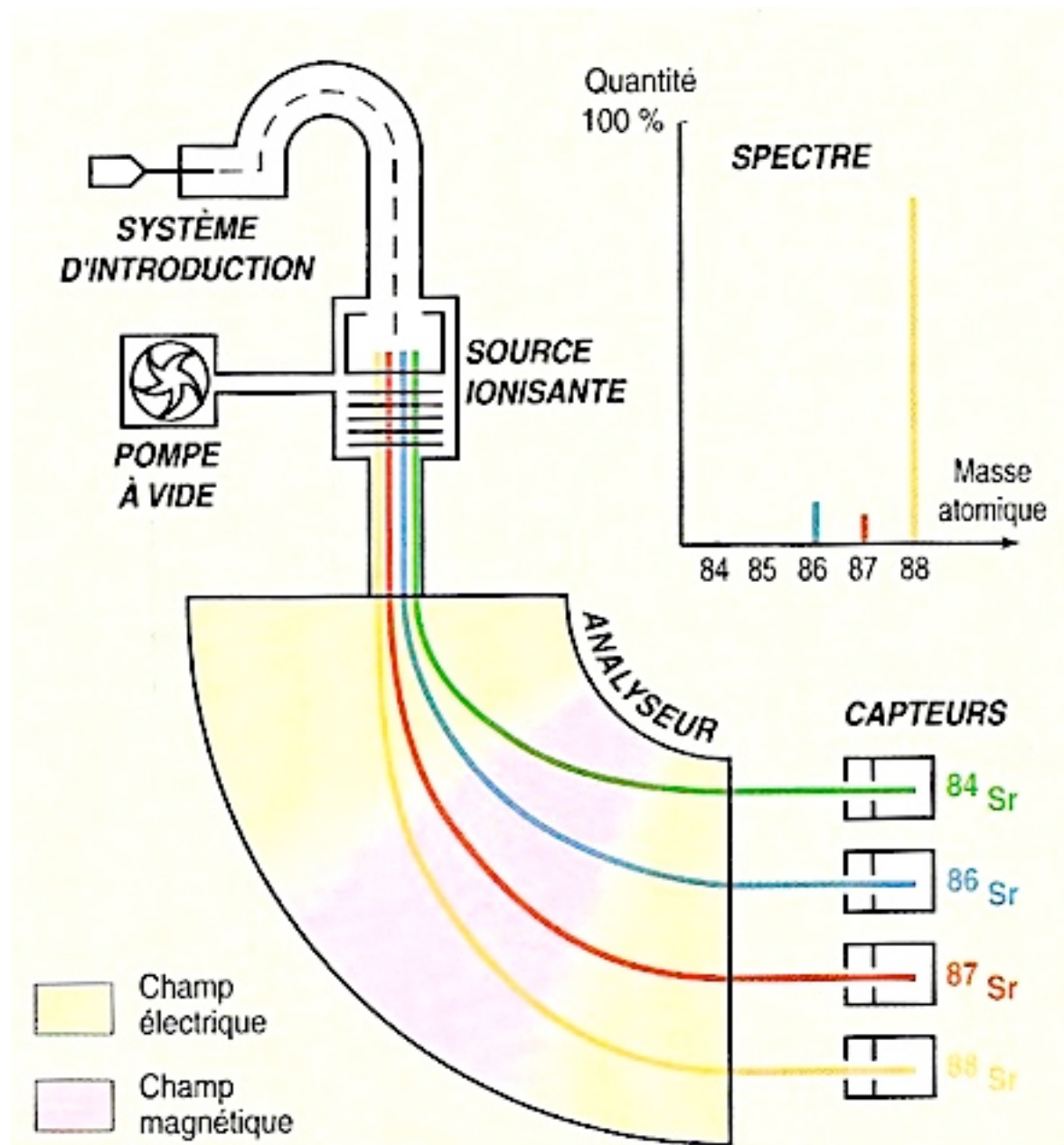
$$\text{D'où : } F = F_0 + (P \cdot e^{\lambda t} - P)$$

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

Le choix des isotopes

couple père/fils	rayonnement	période (an)	λ (an ⁻¹)	minéraux datés
²³⁸ U / ²⁰⁶ Pb	α et β^-	4,53.10 ⁹	1,54.10 ⁻¹⁰	minerais d'uranium et thorium zircons
²³⁵ U / ²⁰⁷ Pb	α et β^-	0,73.10 ⁹	9,72.10 ⁻¹⁰	
²³² Th / ²⁰⁸ Pb	α et β^-	13,9.10 ⁹	4,99.10 ⁻¹¹	
⁸⁷ Rb / ⁸⁷ Sr	β^-	48,8.10 ⁹	1,42.10 ⁻¹¹	biotite, muscovite, feldspath, amphibole, pyroxène
⁴⁰ K / ⁴⁰ Ar	capture électronique + rayons γ	1,27.10 ⁹	58.10 ⁻¹⁰	
¹⁴ C / ¹⁴ N	β^-	5750	1,2.10 ⁻⁴	bois, os, coquille

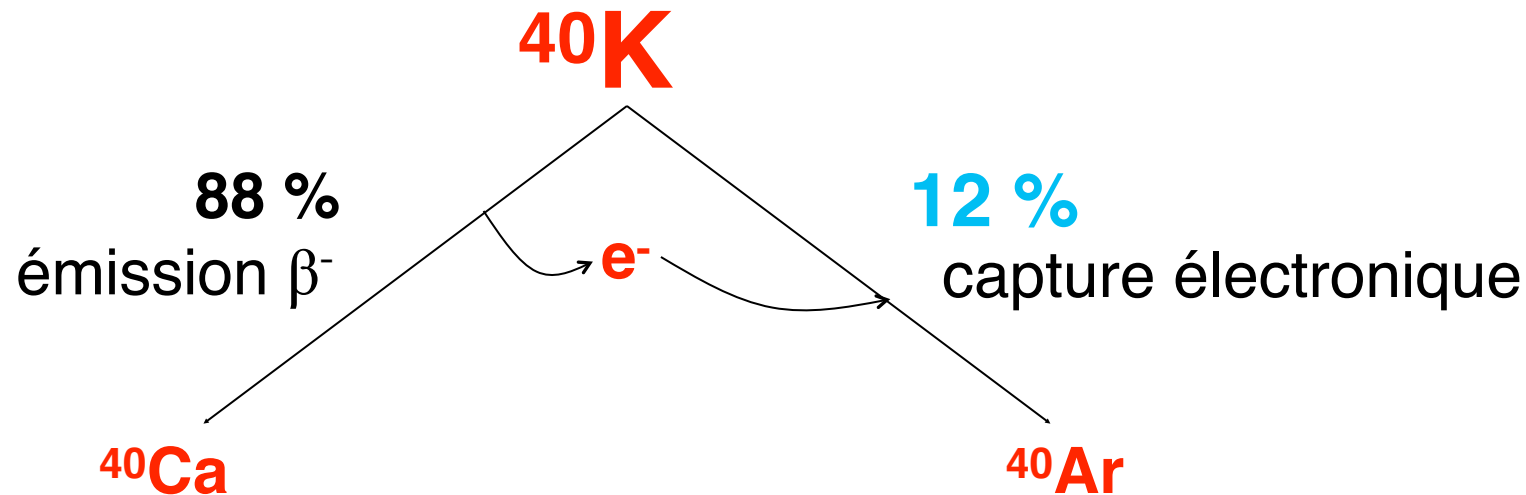
Le spectromètre de masse



La méthode K / Ar



Le potassium peut se désintégrer de 2 manières



$$\lambda_{\text{Ar}} = 5,54 \cdot 10^{-10} \text{ an}^{-1}$$

$$T_{\text{Ar}} = 1,27 \cdot 10^9 \text{ an}$$

L'équation $F = F_0 + P (e^{\lambda t} - 1)$ devient alors :

$$^{40}\text{Ar} = \underbrace{^{40}\text{Ar}_0}_{=0} + 0,12 \cdot ^{40}\text{K} (e^{\lambda t} - 1)$$

Le couple Rb / Sr



$$\lambda = 1,42 \cdot 10^{-11} \text{ an}^{-1}$$

$$T = 48,8 \cdot 10^{19} \text{ an}$$

$$^{87}\text{Sr} = ^{87}\text{Sr}_0 + ^{87}\text{Rb} \cdot (e^{\lambda t} - 1)$$

équation à 2 termes inconnus

MAIS $\left(\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}\right)_0$ identique pour les minéraux d'une même roche

L'équation précédente devient :

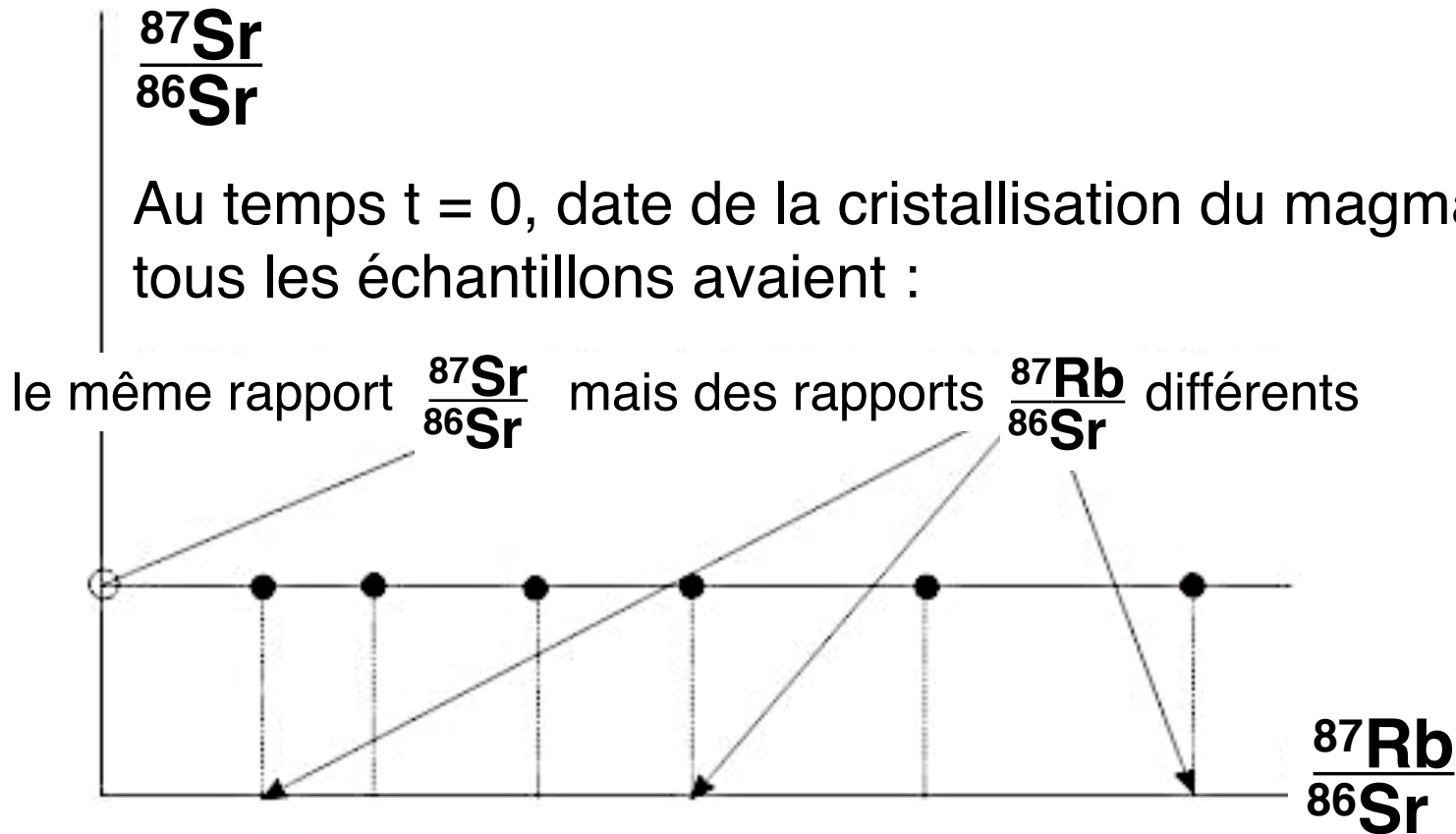
$$\left(\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}\right) = \left(\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}\right)_0 + \left(\frac{^{87}\text{Rb}}{^{86}\text{Sr}}\right) \cdot (e^{\lambda t} - 1)$$

Terme inconnu mais constant pour tous les minéraux d'une même roche : c'est le rapport initial

Mesure de l'âge d'un granite



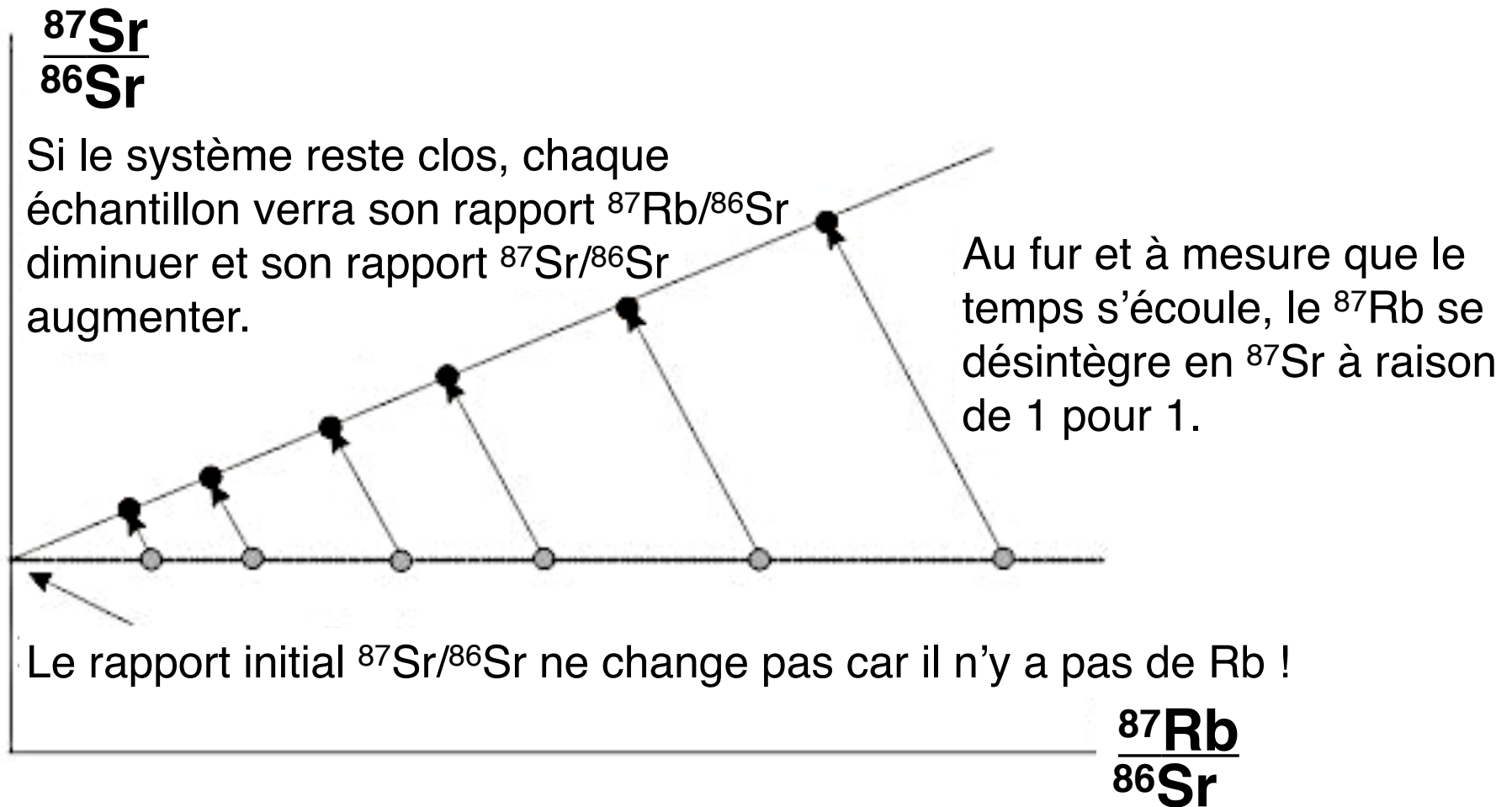
Un massif de granite est échantillonné en divers endroits.
Le magma initial avait un rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ identique partout.



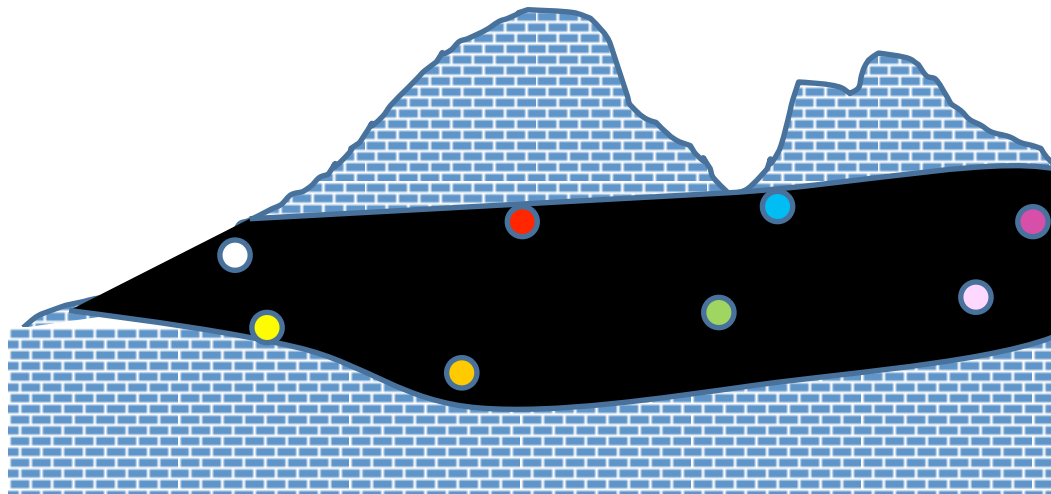
Evolution du système



La quantité de ^{87}Rb diminue en donnant naissance à autant de ^{87}Sr

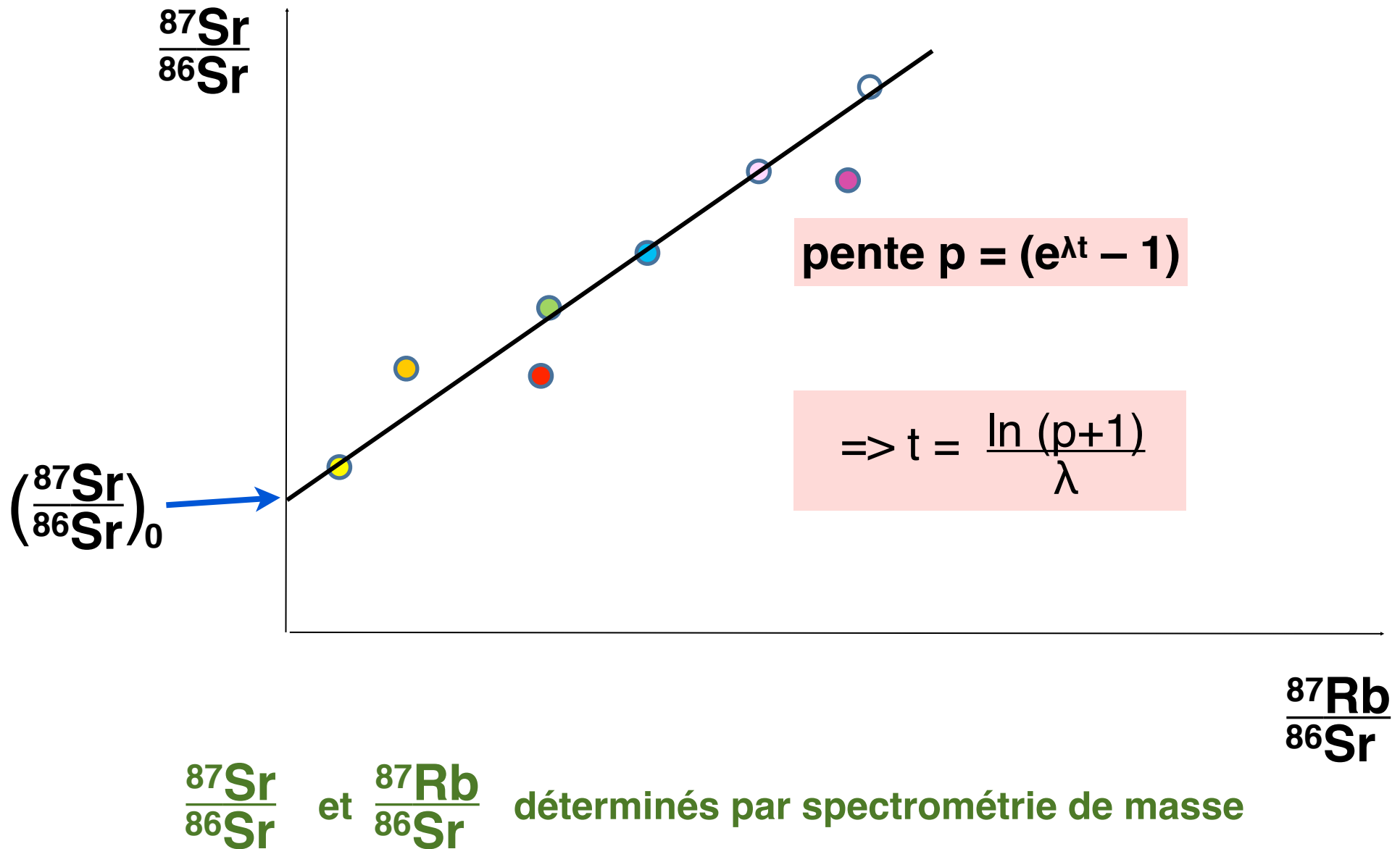


Exemple : datation absolue d'un massif granitique



échantillonnages

Construction de l'isochrone

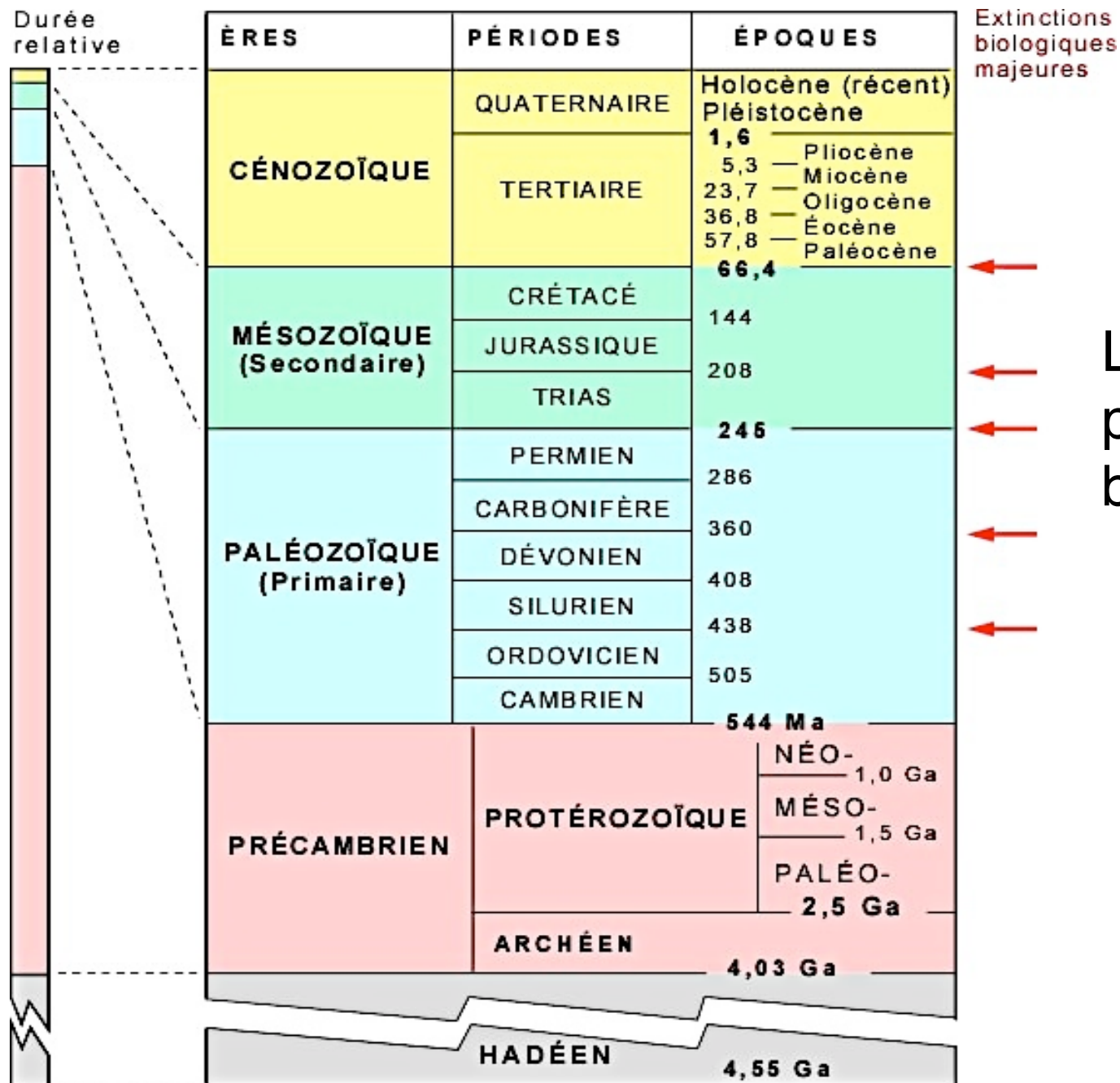


Bilan de l'échelle stratigraphique



Age (Ma)	ERE	Système
	QUATERNAIRE	
2	CENOZOIQUE ou TERTIAIRE	Néogène
25		Paléogène
65		
144	MESOZOIQUE ou SECONDAIRE	Crétacé
205		Jurassique
245		Trias
290	PALEOZOIQUE ou PRIMAIRE	Permien
360		Carbonifère
400		Dévonien
425		Silurien
495		Ordovicien
530		Cambrien
2500	PRECAMBRIEN	Protérozoïque
3800		Archéen

Avec des durées relatives



Limites marquées
par une crise
biologique

Echelle stratigraphique

Échelle stratigraphique internationale

Enthème	Erathème	Système	Série	Etage	Age en Ma
Phanérozoïque	Cénozoïque	Quaternaire	Holocène		0,0117
		Pliocène	Supérieur		0,126
			"Ionien"		0,761
			Catlabrien		1,806
			Gelasien		2,558
Phanérozoïque	Cénozoïque	Néogène			
		Miocène	Plaisancien		3,600
			Zandéen		5,332
			Messinien		7,246
			Tortonien		11,608
			Serravalien		13,82
			Langhien		15,97
			Burdigalien		20,43
			Aquitanién		23,03
		Paléogène	Oligocène		
Phanérozoïque	Cénozoïque	Paléogène	Chattien		28,4 ± 0,1
			Rupélien		33,9 ± 0,1
			Priabonien		37,2 ± 0,1
			Bartonien		40,4 ± 0,2
			Lutétien		48,6 ± 0,2
			Yprésien		55,8 ± 0,2
			Thanétien		58,7 ± 0,2
			Selandien		- 61,1
			Danien		
		Paléocène	Maastrichtien		65,5 ± 0,3
			Campanien		70,6 ± 0,6
			Santonien		83,5 ± 0,7
			Coniacien		83,8 ± 0,7
			Turonien		- 88,6
			Cénomanién		93,5 ± 0,8
			Albien		99,8 ± 0,9
			Aptien		112,0 ± 1,0
			Barémien		125,0 ± 1,0
			Hauterivién		130,0 ± 1,5
Phanérozoïque	Cénozoïque	Paléocène	Valanginién		- 133,9
			Bemiasien		140,2 ± 3,0
					145,5 ± 4,0
		Crétacé	Supérieur		
		Paléozoïque	Inférieur		

Enthème	Erathème	Système	Série	Etage	Age en Ma
Phanérozoïque	Mésozoïque	Jurassique			
		Trias	Supérieur		
Phanérozoïque	Mésozoïque	Trias	Moyen		
		Permien	Supérieur		
Phanérozoïque	Mésozoïque	Permien	Inférieur		
		Carbonifère	Supérieur		

Enthème	Erathème	Système	Série	Etage	Age en Ma
Phanérozoïque	Paléozoïque	Dévonien			
		Silurien	Supérieur		
Phanérozoïque	Paléozoïque	Silurien	Moyen		
		Ordovicien	Supérieur		
Phanérozoïque	Paléozoïque	Ordovicien	Moyen		
		Cambrien	Supérieur		

	Enthème	Erathème	Système	Age en Ma
Précambrien	Protérozoïque	Neo-protérozoïque	Édiacarien	542
			Cryogénien	635
			Tonien	850
		Mésoproterozoïque	Sténien	1000
			Ectasién	1200
			Calymmien	1400
		Paléoproterozoïque	Stathérien	1600
			Orosirien	1800
			Rhyacien	2050
			Sidérien	2300
	Archeen	Néoarchéen		2500
		Mésoarchéen		2800
		Paléoarchéen		3200
				3600
		Eoarchéen		4000
				4800
	Hadéen			

* Le statut du quaternaire n'est, à ce jour pas encore fixé

* Les âges des séries et les étages du Cambrion sont en attente de ratification.

Echelle de février 2008 d'après le travail de la Commission Internationale de Stratigraphie.

International Commission on Stratigraphy.
http://www.stratigraphy.org