

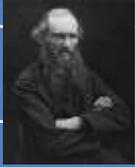
Partie GIII : La géologie, une science historique

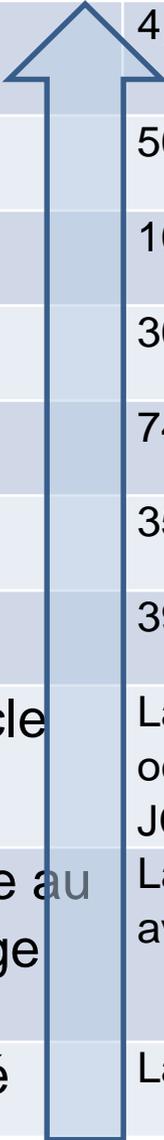
Datation relative et datation absolue



Le Grand Canyon : un livre d'histoire....

Quelques grandes étapes de l'étude de l'âge de la Terre

		Age proposé pour la Terre :
Clair Patterson 	1953	4,55 Ga
Ernest Rutherford (1871 – 1937) 	1906	500 Ma
Lord Kelvin (1824 – 1907) 	1862	100 Ma
Charles Darwin (1809 – 1882) 	1859	300 Ma
Buffon (1707 – 1788) 	1778	74 047 ans
Edmond Halley (1656 – 1743) 	1721	35 000 ans
Newton		3998 ans avant JC
James Ussher (1581 – 1656) 	XVII ^e siècle	La Création a eu lieu le 23 octobre de l'an 4004 avant JC
Flavius Joseph (37 – 100) puis Théophile d'Antioche (115 – 181) et Eusèbe (265 – 340)	Du 1 ^{er} siècle au Moyen Age	La création a eu lieu en 5 500 avant JC
Aristote (384 – 322 avant JC)	Antiquité	La Terre a toujours existé

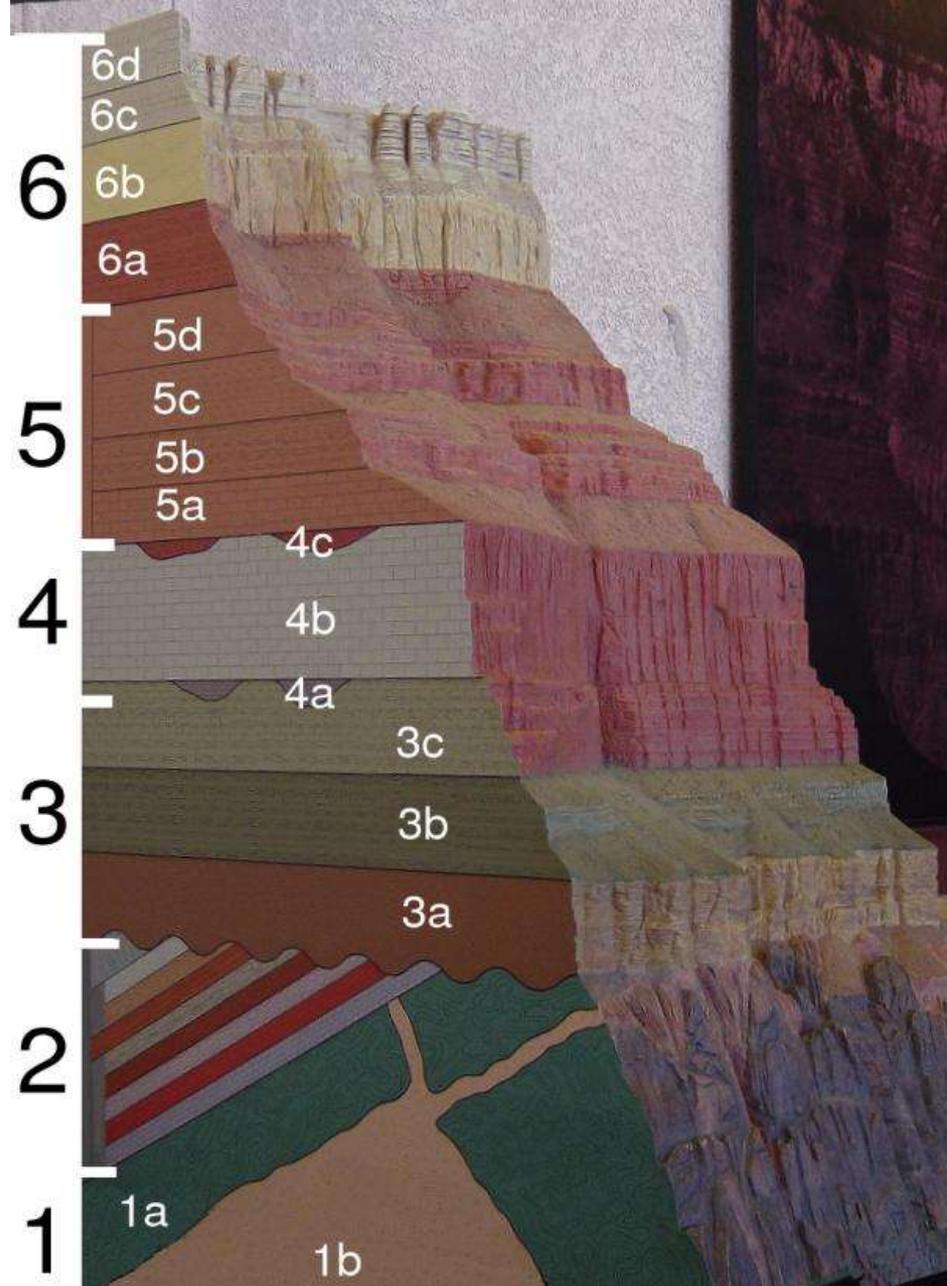




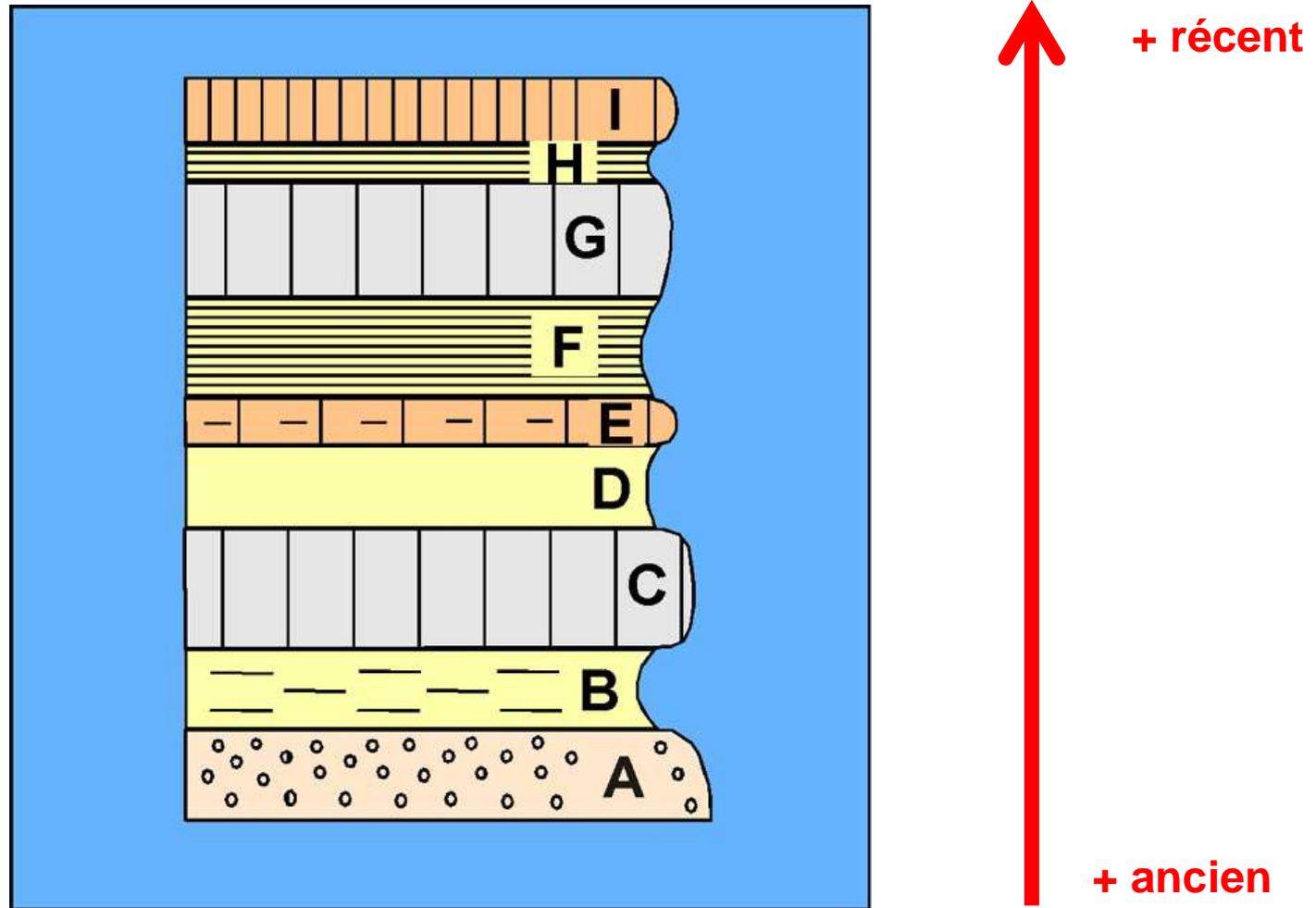
Le Grand Canyon : un livre d'histoire....

Près de 40 couches différentes de roches ont été identifiées sur les parois du Grand Canyon. Les principales formations du Grand Canyon sont :

- 6 – Hermit, Coconino, Toroweap et Kaibab
 - 6d – Calcaire de Kaibab (- 270 Ma)
 - 6c – Formation Toroweap
 - 6b – Grès de Coconino
 - 6a – *Shale* (schiste) d'Hermit
- 5 – Groupe de Supai
 - 5d – Formation d'Esplanade
 - 5c – Formation de Wescogame
 - 5b – Formation de Manakacha
 - 5a – Formation de Watahomigi
- 4 – Temple Butte, Redwall et Surprise Canyon
 - 4c – Formation de Surprise Canyon
 - 4b – Calcaire de Redwall
 - 4a – Calcaire de Temple Butte
- 3 – Groupe de Tonto
 - 3c – Calcaire de Muav
 - 3b – *Shale* (schiste) de Bright Angel
 - 3a – Grès de Tapeats
- 2 – Supergroupe du Grand Canyon
- 1 – Groupe de Vishnu
 - 1b – Granite de Zoroastre
 - 1a – Schiste de Vishnu (> 2 Ga)

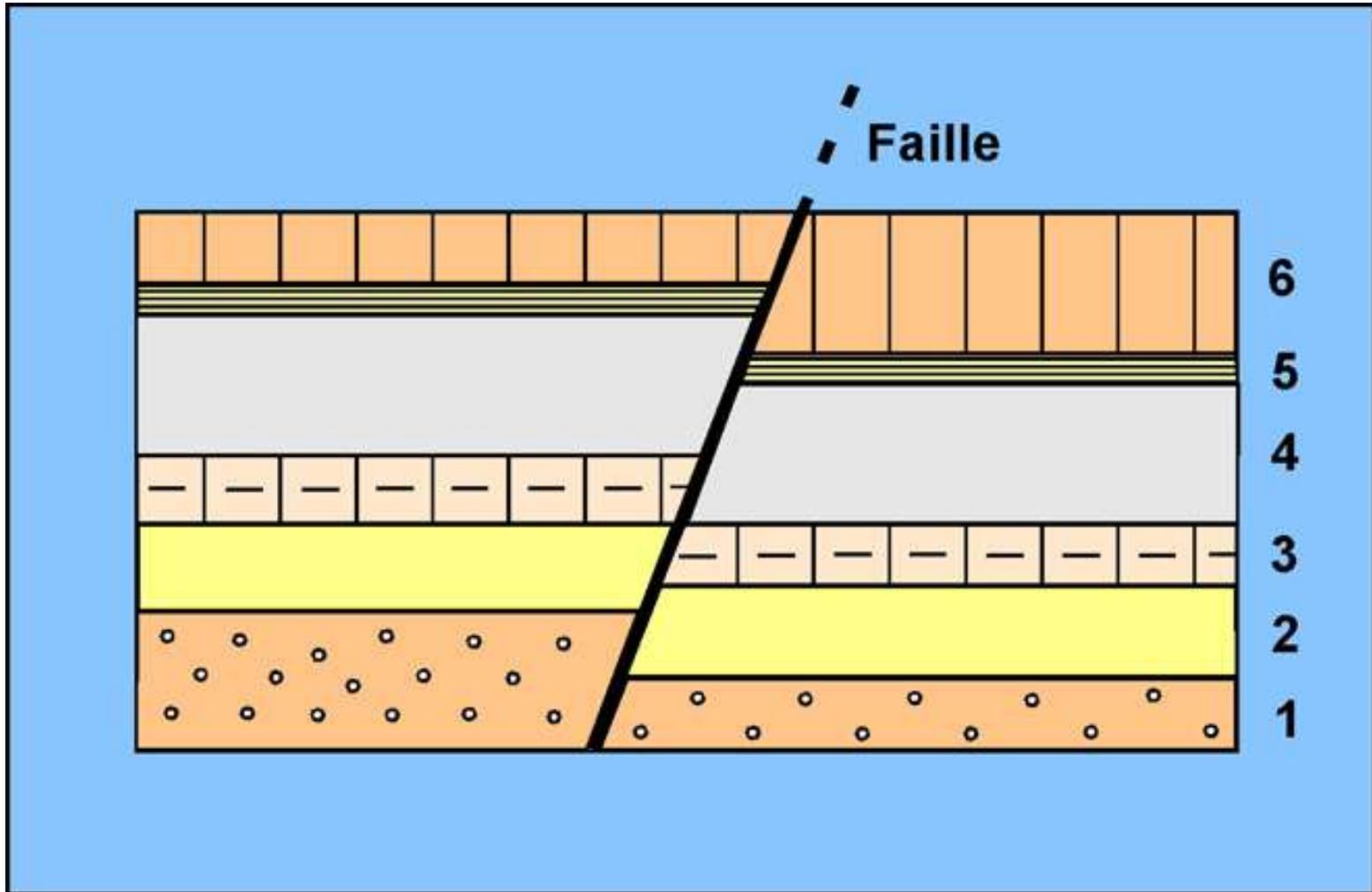


Principe de superposition



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

Principe de recoupement



Le principe de recoupement : différentes échelles d'utilisation



Route de Las Vegas à la
Vallée de la Mort



Roches métamorphiques plissées et
foliées et filon de granite, plus clair.



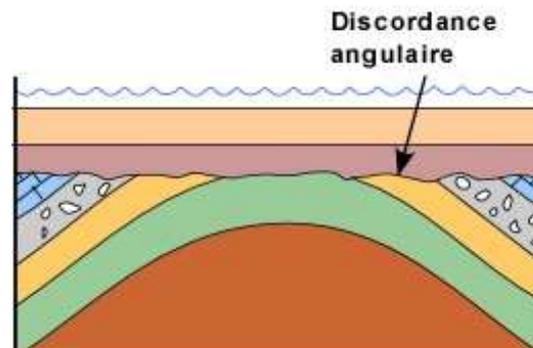
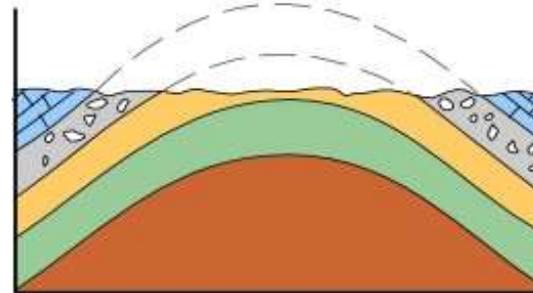
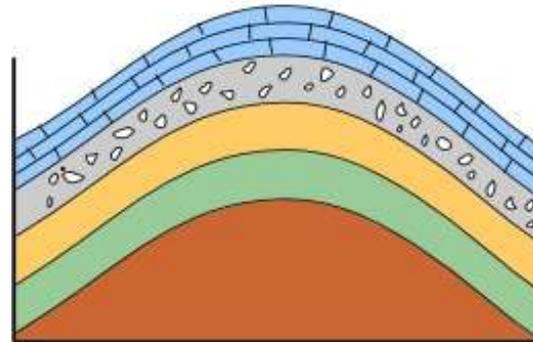
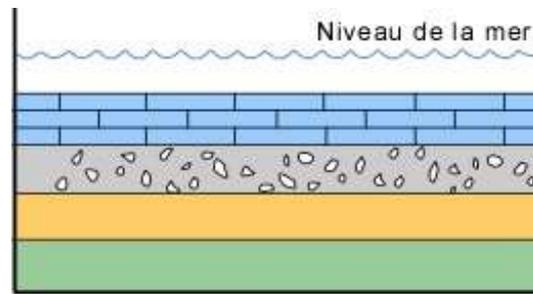
Echantillon de granite de Flamanville
(Manche).

Enclave sombre de sédiments
métamorphisés (cornéenne) et filons
clairs de granite.

La déformation continue



Reconstitution de l'histoire

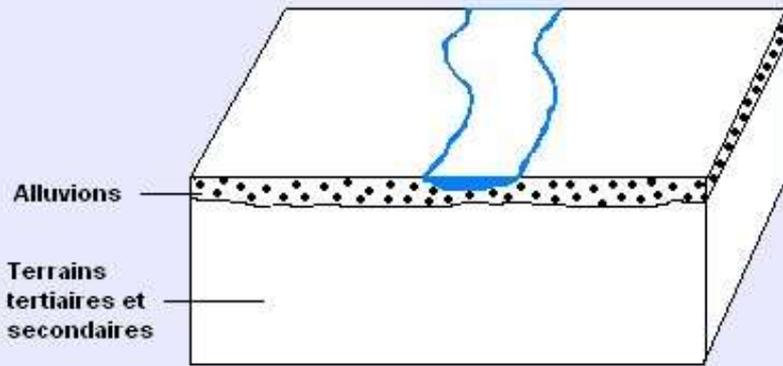


Principe d'inclusion

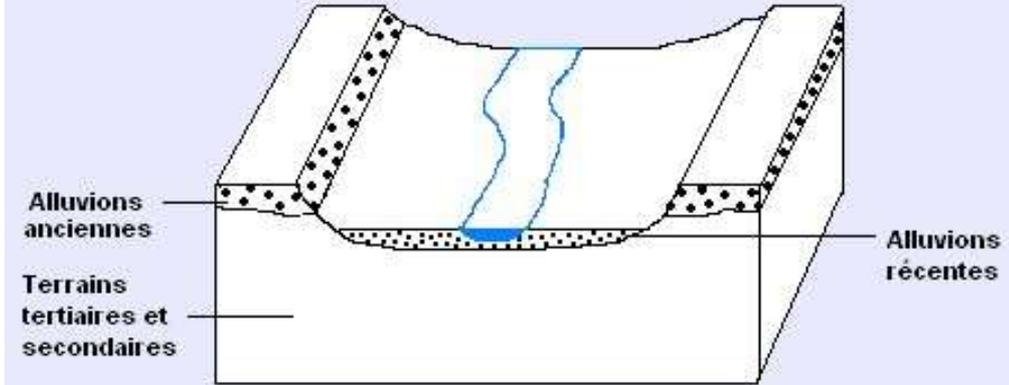


Granite de Ploumanach'
et enclaves sédimentaires (cornéennes)

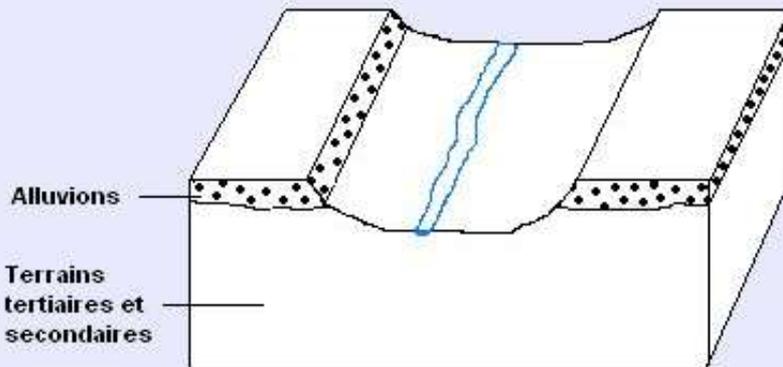
Des limites d'application de ces principes : exemple des terrasses alluviales



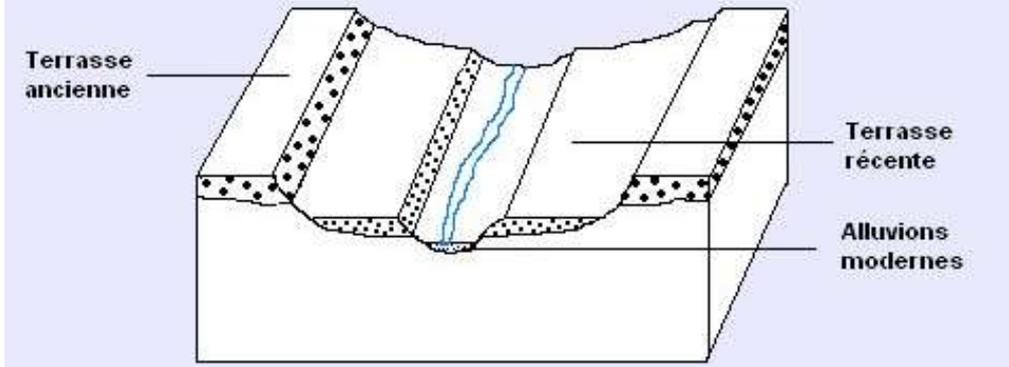
1 – Dépôt d'alluvions



3 – Dépôt d'alluvions plus récentes



2 – Creusement du lit de la rivière

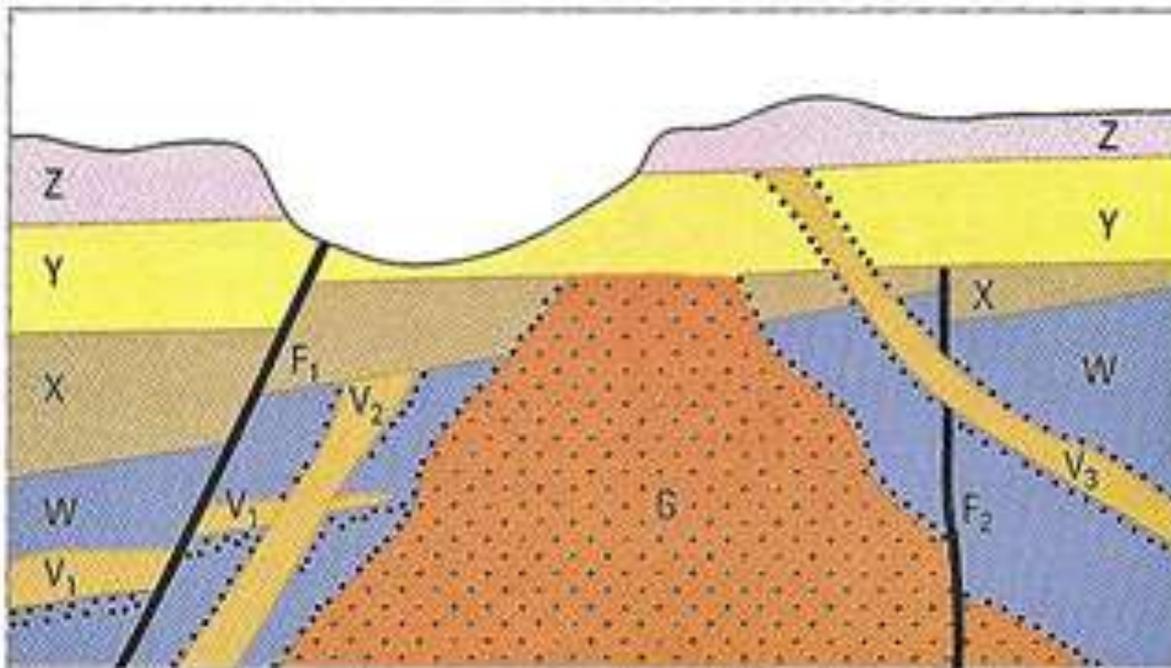


4 – Creusement des alluvions les plus récentes

→ Résultat : des terrasses étagées, les plus anciennes étant les plus hautes topographiquement

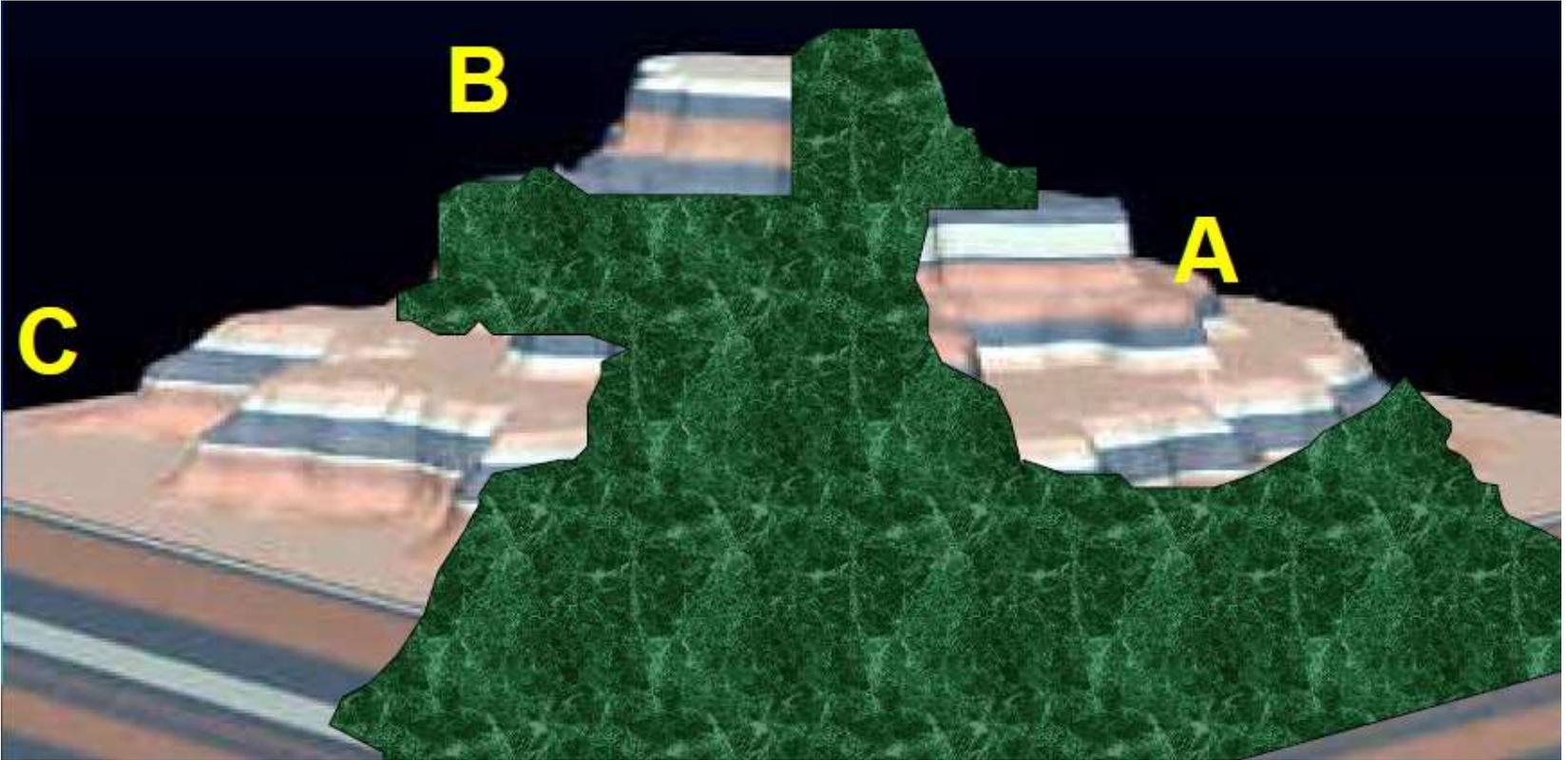
Document 3. Déduisez la chronologie des évènements ayant conduit à la mise en place de ces structures.

Le document ci-dessous présente une coupe géologique (théorique). On distingue quatre séries sédimentaires (W, X, Y et Z), un massif granitique G, trois formations volcaniques notées V_1 , V_2 et V_3 et deux failles F_1 et F_2 . Les petits points signalent des roches ayant subi des transformations minéralogiques après la mise en place de G ou de V.



Une coupe géologique théorique.

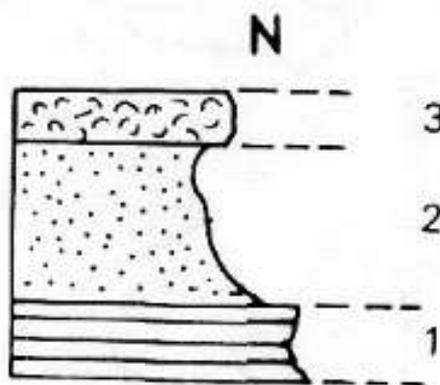
Principe de continuité



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).

**Formation des
SABLES DE
FONTAINEBLEAU**

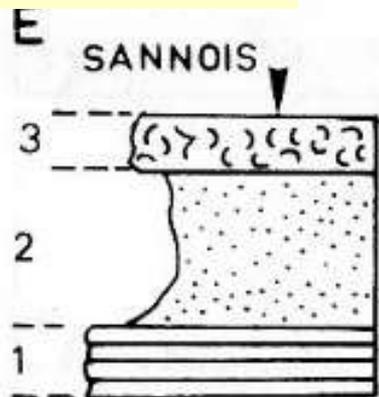
Sables blancs très
purs avec des lentilles
de grès et de rares
fossiles de
Mollusques bien
identifiés



Meulières

ERMENONVILLE

Marnes à huîtres

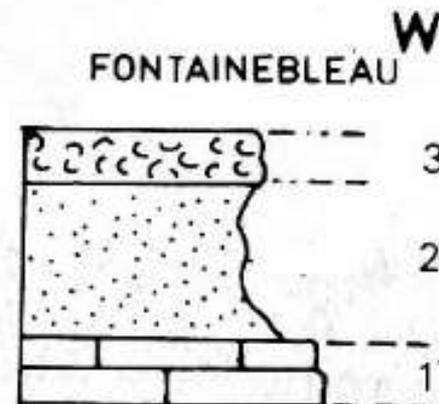


Marnes à huîtres

Meulières

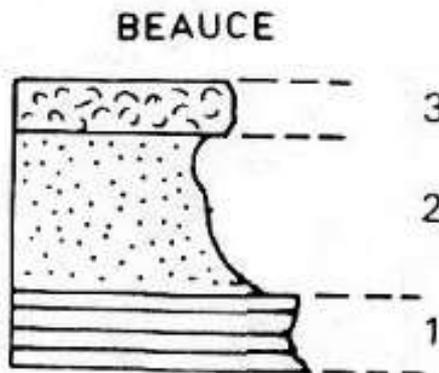
PARIS

Meulières

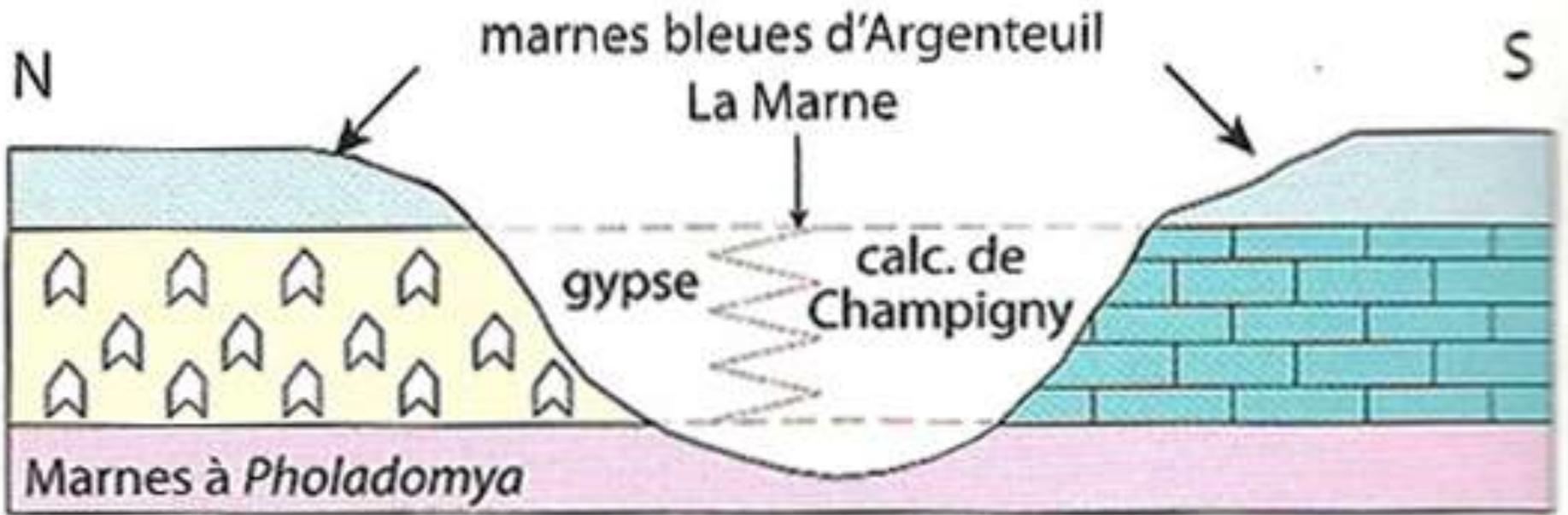


*Calcaires
lacustres*

Meulières



Marnes à huîtres



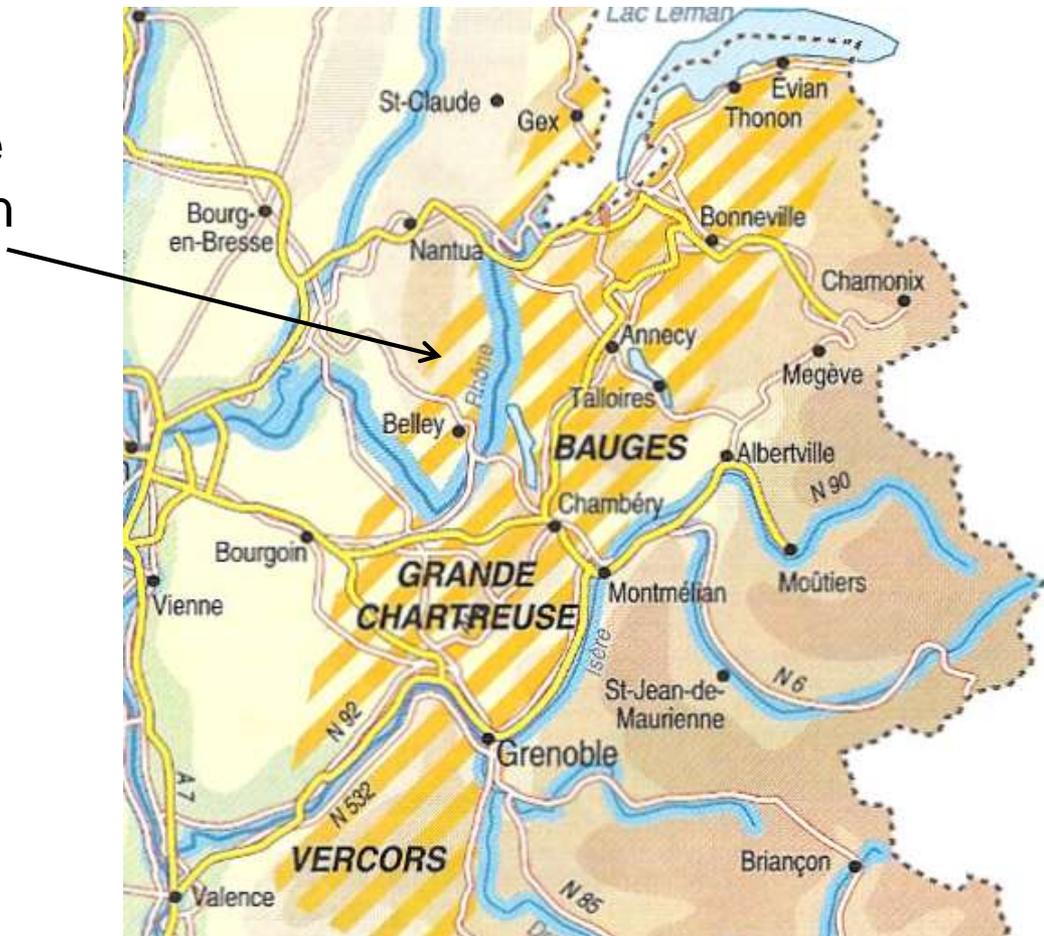
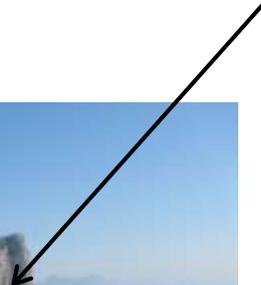
Document 1. Un passage latéral de faciès dans l'Eocène supérieur du bassin de Paris.

Principe d'identité paléontologique



**Rochers des Fiz
(Haute-Savoie) en haut
et Mont Aiguille
(Vercors, Isère) en bas**

Calcaire
Urgonien



Les coraux, des fossiles de faciès



La grande barrière de corail (Australie)

Conditions de vie des coraux :

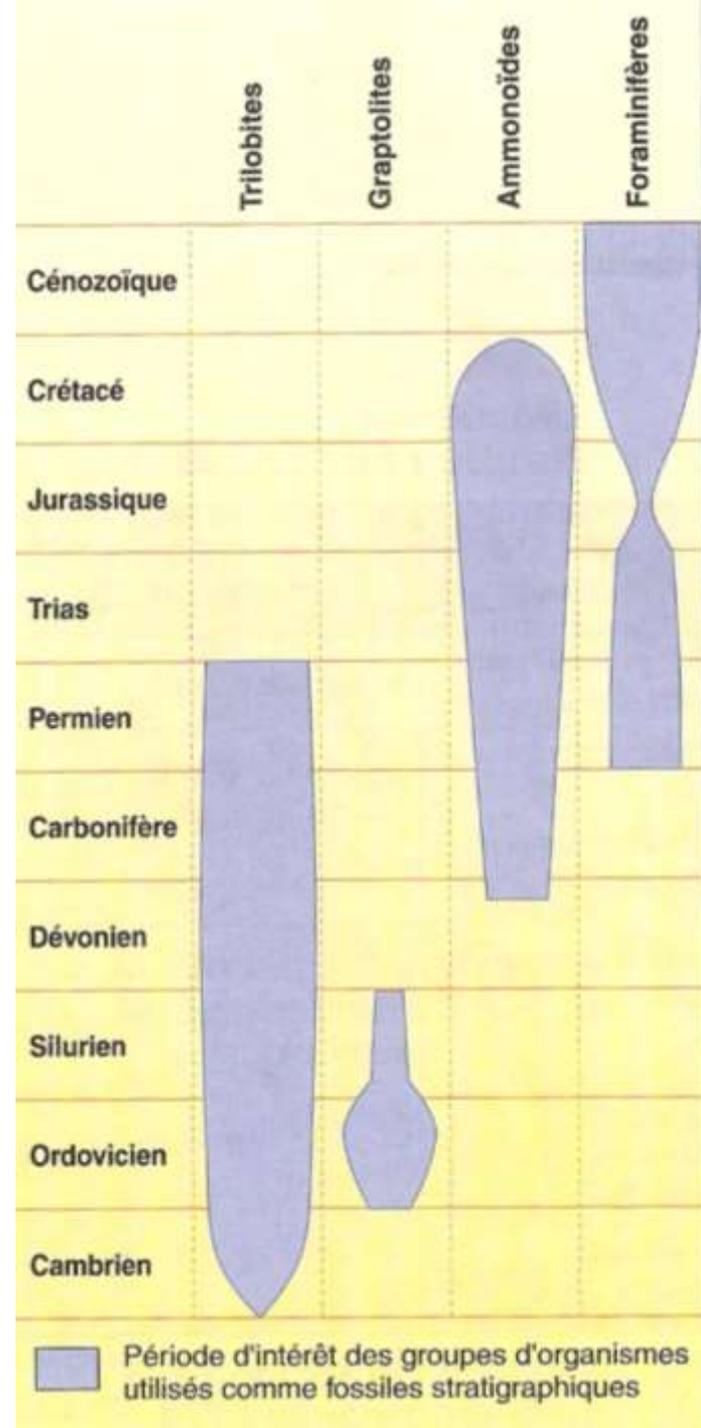
- Milieu marin
- Eaux peu profondes, transparentes, bien oxygénées
- Température optimale : 25 à 30 °C



Répartition dans le temps de quelques fossiles stratigraphiques



Ammonite
(Dévonien sup. – fin Mésozoïque)



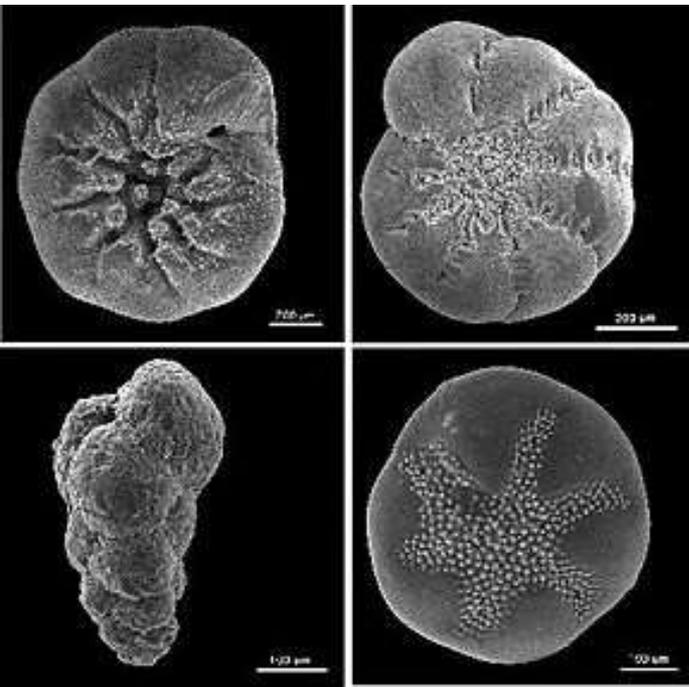


Graptolites : *Amplexograptus*,
Ordovicien, Amérique du nord.



Trilobites : Arthropodes marins ayant
vécu du Cambrien au Permien.

Quelques fossiles stratigraphiques



Foraminifères benthiques.

Les Foraminifères sont des Protozoaires
apparus Cambrien inférieur.

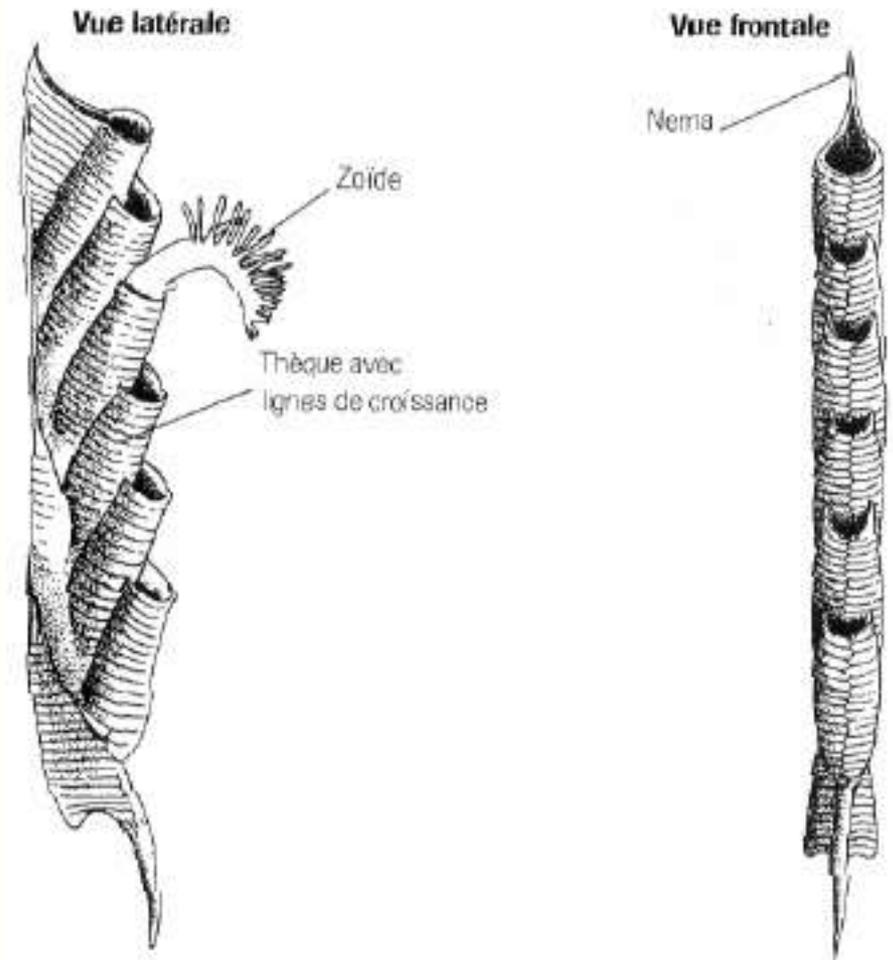
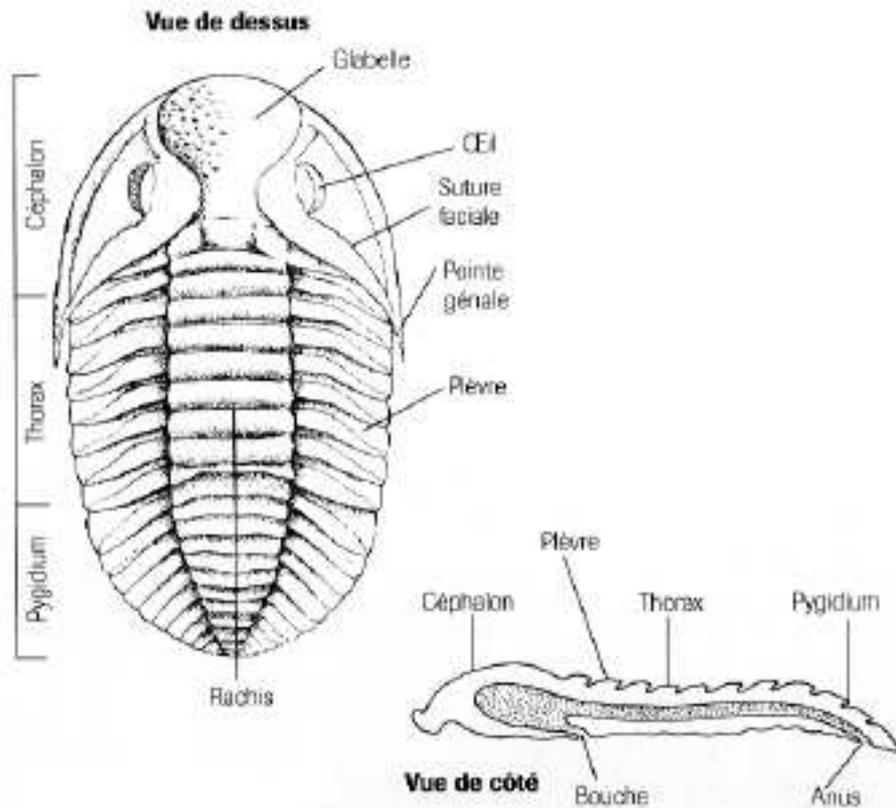
Ere Primaire

Trilobites

Arthropodes marins

Graptolithes

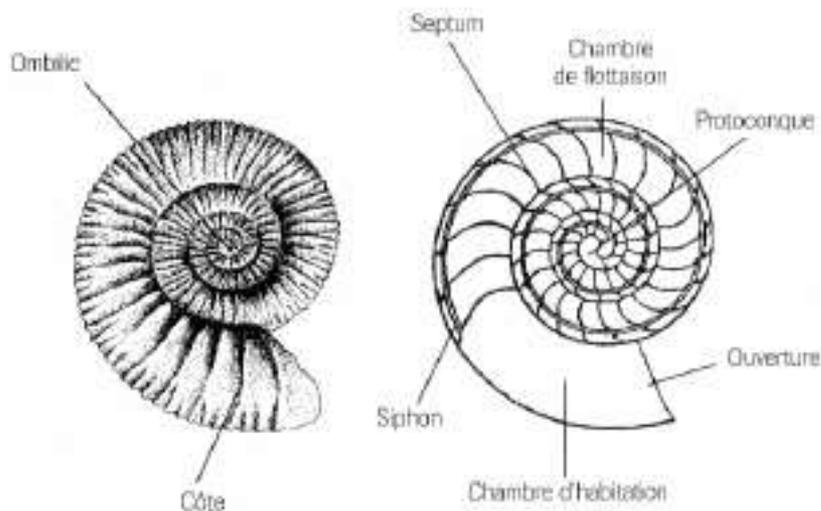
Prochordés coloniaux



Ere Secondaire

Ammonites

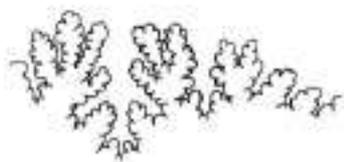
Mollusques Céphalopodes



Types de lignes de suture



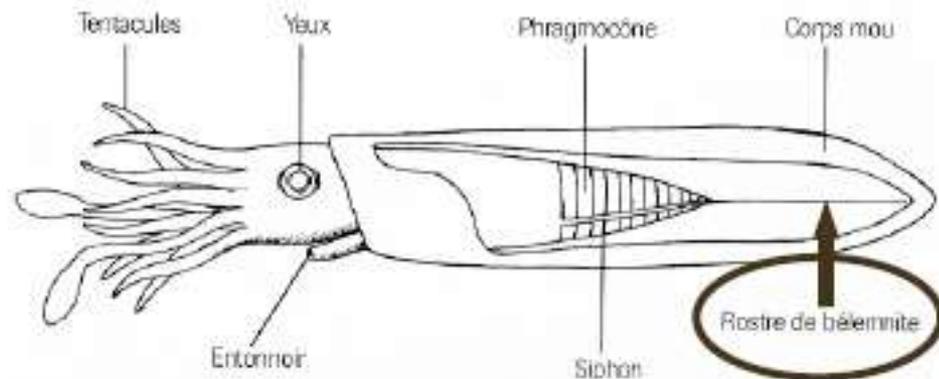
Goniatite



Ammonite

Rostres de Belemnites

Mollusques Céphalopodes

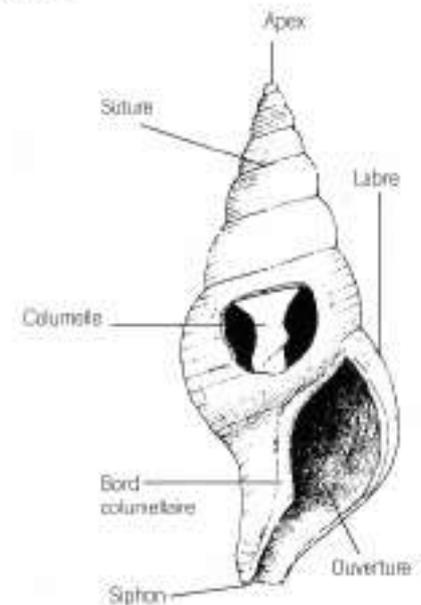
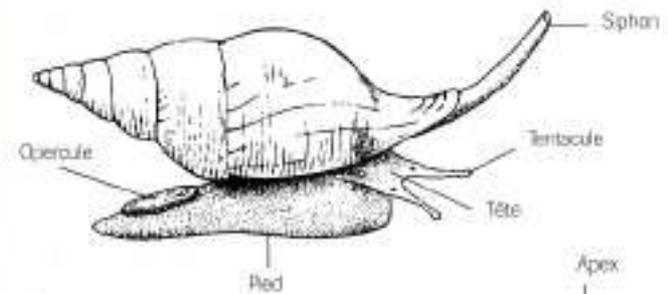


Ere Tertiaire

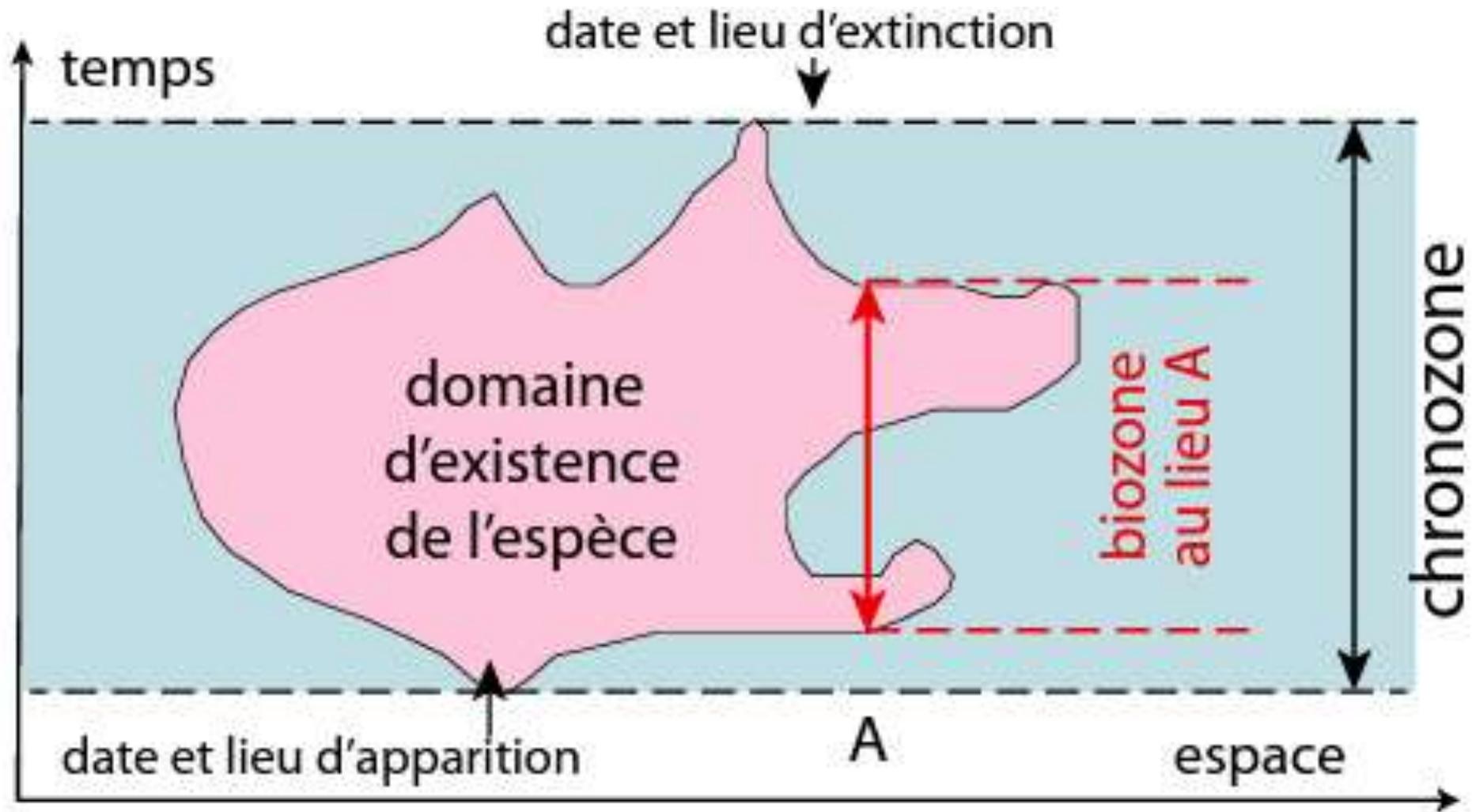
Nummulites Foraminifères



Turritelle Mollusque Gastéropode



Document 2. Notions de BIOZONE et CHRONOZONE



Document 2. Notions de BIOZONE et CHRONOZONE

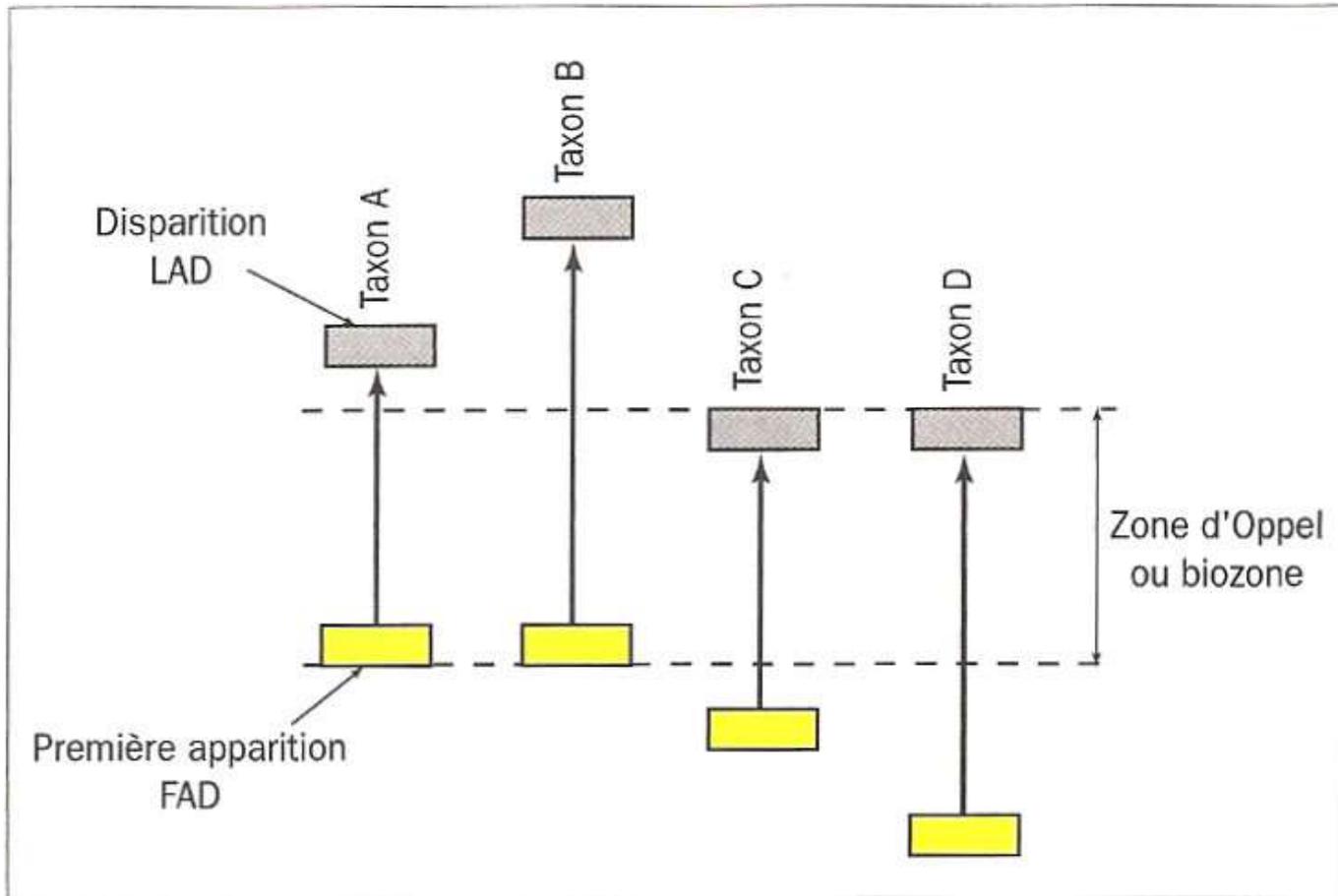
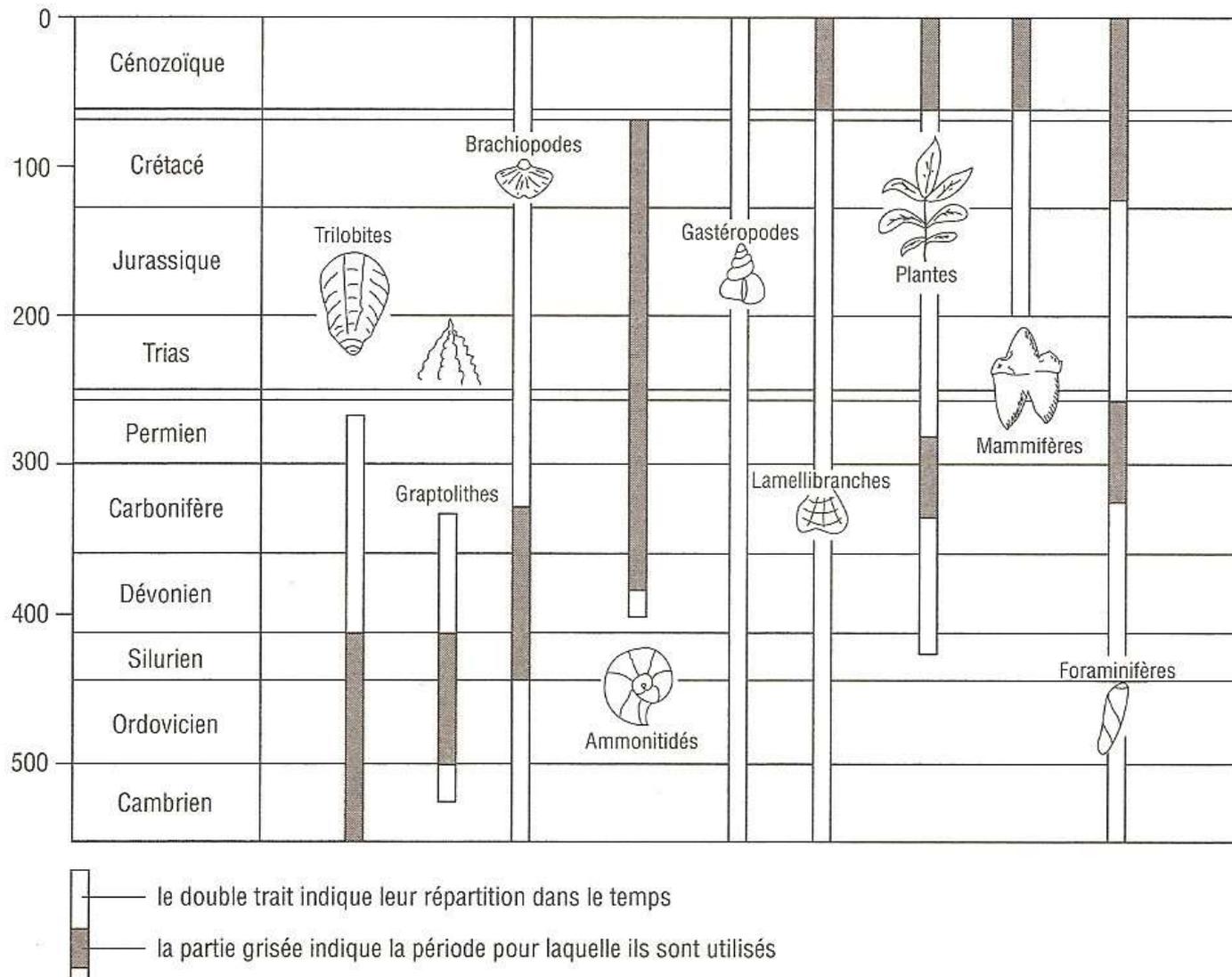


Figure 6.2. La notion de biozone (A. Oppel)

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.

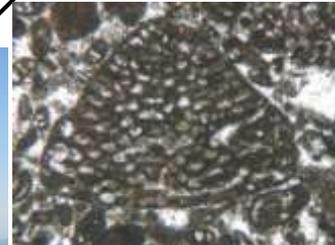
Document 5. Principaux groupes fossiles utilisés pour établir la zonation biostratigraphique.



Exemple de zone nommée d'après une espèce index : la vire à Orbitolines de l'Urgonien



Calcaire Urgonien



Orbitoline petit côté de la photo ~2,5 mm)



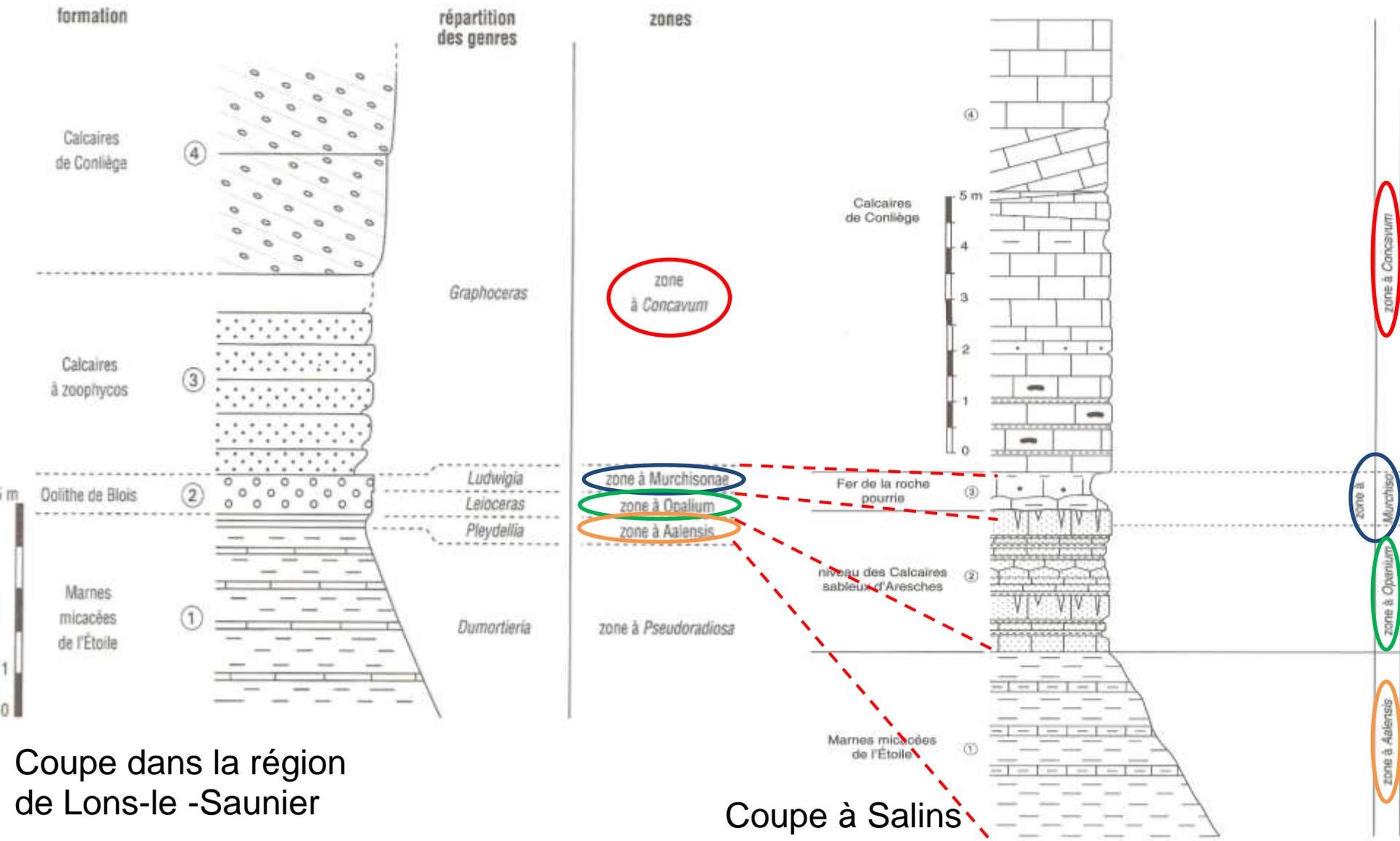
La vire à orbitolines au nord des Haberts du Charmant Som (Chartreuse)

La vire des couches à orbitolines marque la limite entre la "masse urgonienne inférieure", la plus épaisse (plus de 200 m., soit les 3/4 de la hauteur totale) et la "masse urgonienne supérieure", plus mince (50 à 100 m.).

Rochers des Fiz (Haute-Savoie) en haut et Mont Aiguille (Vercors, Isère) en bas

Un exemple de corrélation régionale reposant sur la biostratigraphie

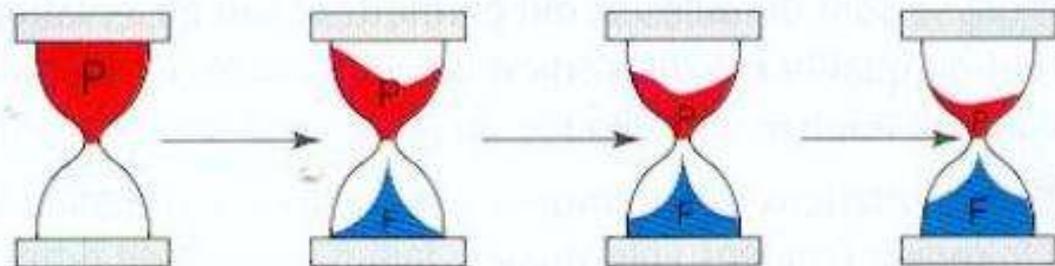
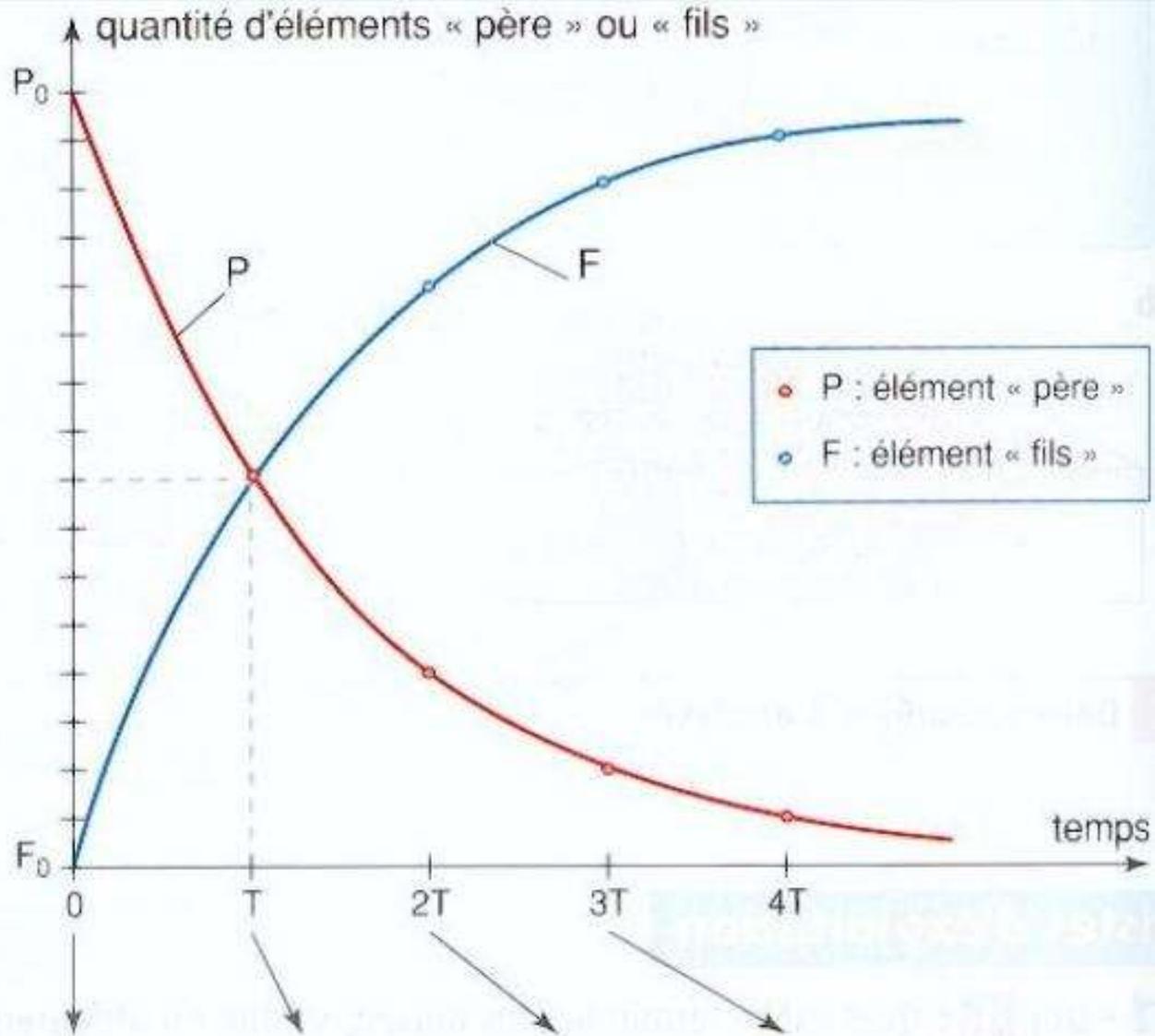
Malgré une succession différente des faciès, la succession des genres d'Ammonites est identique dans les deux régions.



Coupe dans la région de Lons-le -Saunier

Coupe à Salins

Evolution au cours du temps de la quantité d'élément père radiogène et d'élément fils radiogénique.



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

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

P teneur actuelle en élément père
P₀ teneur initiale en élément père

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

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

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

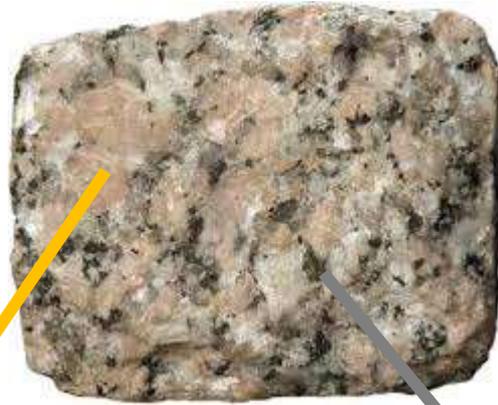
F teneur actuelle en élément fils

F_0 teneur initiale en élément fils

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

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

Granite



Orthose



Biotite



Isotopes

Abondance
(% molaire)

^{39}K

44 %

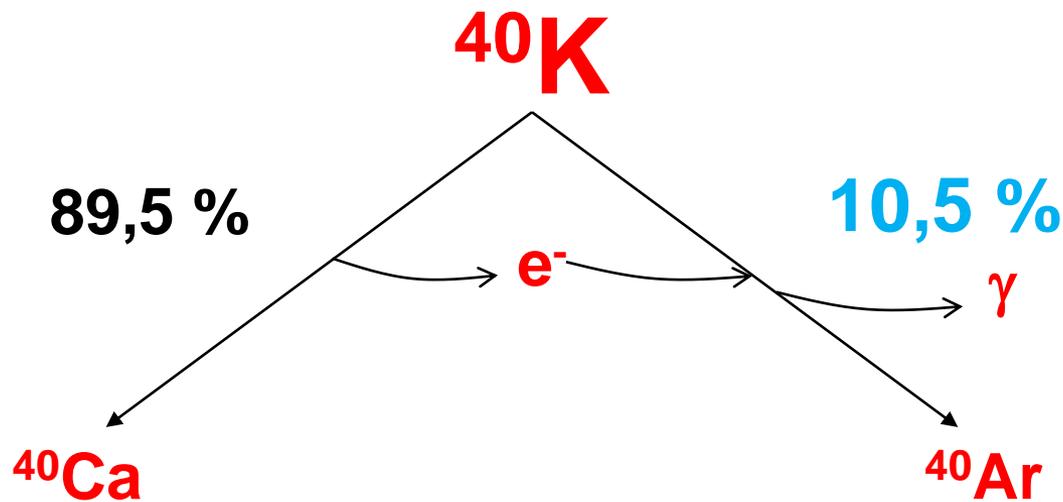
^{40}K

1 %

^{41}K

44 %





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

$$T_{\text{Ar}} = 1,25 \cdot 10^9 \text{ an}$$

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

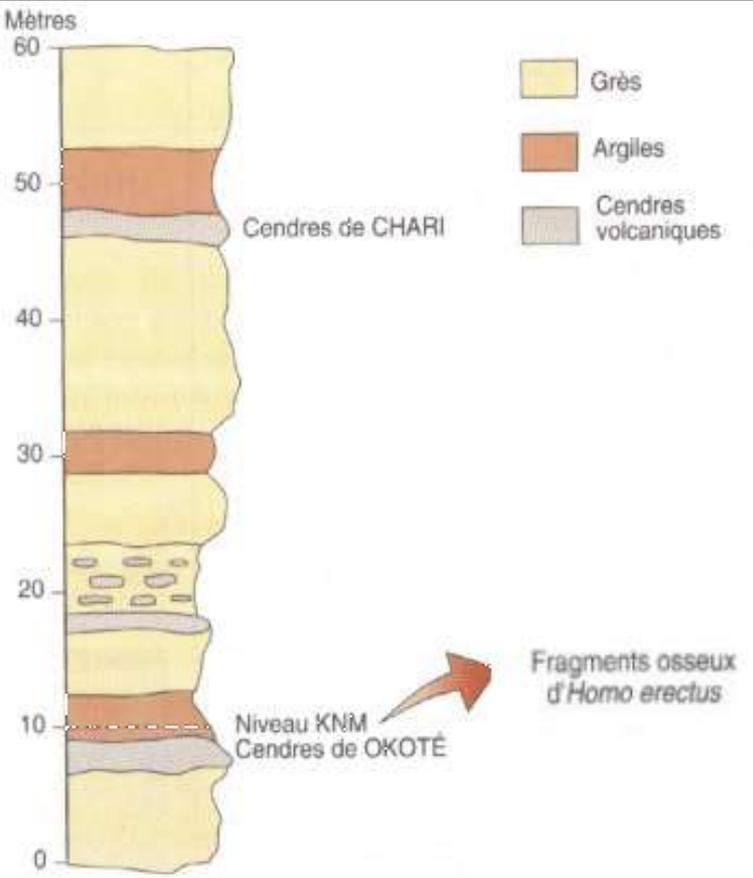
$$^{40}\text{Ar} = ^{40}\text{Ar}_0 + 0,105 ^{40}\text{K} (e^{\lambda t} - 1)$$

Cas du couple K / Ar

Exercice 4

Extrait de la colonne stratigraphique de Koobi Fora.
 Les niveaux argileux renferment de nombreux restes de Mammifères.
 Le niveau NKM contient de nombreux ossements d'*Homo erectus*.

Résultats isotopiques obtenus sur les feldspaths potassiques des cendres volcaniques de Okoté.



Niveaux	Numéro de l'analyse	⁴⁰ K atomes / g	⁴⁰ Ar atomes / g
Cendres de Okote	1	8,54.10 ¹⁶	8,4.10 ¹²
	2	8,65.10 ¹⁶	8,15.10 ¹²
	3	8,53.10 ¹⁶	8,09.10 ¹²
	4	8,46.10 ¹⁶	8,37.10 ¹²
Cendres de Chari	1	7,46.10 ¹⁶	5,86.10 ¹²
	2	7,58.10 ¹⁶	6,22.10 ¹²
	3	7,30.10 ¹⁶	5,91.10 ¹²
	4	7,41.10 ¹⁶	5,88.10 ¹²

Exercice 4

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

$$e^{\lambda t} - 1 = {}^{40}\text{Ar} / 0,105 {}^{40}\text{K}$$

Or : $e^{\lambda t} - 1 \approx \lambda t$ D'où :

$$t = {}^{40}\text{Ar} / (0,105 {}^{40}\text{K} \cdot \lambda)$$

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

→ Âge compris
entre 1,7 et 1,35 Ma

Niveaux	Numéro de l'analyse	${}^{40}\text{K}$ atomes / g	${}^{40}\text{Ar}$ atomes / g	t (an)
Cendres de Okote	1	$8,54 \cdot 10^{16}$	$8,4 \cdot 10^{12}$	1 690 917
	2	$8,65 \cdot 10^{16}$	$8,15 \cdot 10^{12}$	1 619 729
	3	$8,53 \cdot 10^{16}$	$8,09 \cdot 10^{12}$	1 630 424
	4	$8,46 \cdot 10^{16}$	$8,37 \cdot 10^{12}$	1 700 811
Cendres de Chari	1	$7,46 \cdot 10^{16}$	$5,86 \cdot 10^{12}$	1 350 392
	2	$7,58 \cdot 10^{16}$	$6,22 \cdot 10^{12}$	1 410 659
	3	$7,30 \cdot 10^{16}$	$5,91 \cdot 10^{12}$	1 391 764
	4	$7,41 \cdot 10^{16}$	$5,88 \cdot 10^{12}$	1 364 143

Rb se substitue à K
Sr se substitue à Ca



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

$$T = 48,8 \cdot 10^9 \text{ an}$$

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

termes inconnus !

Cas du couple Rb / Sr

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

termes inconnus !

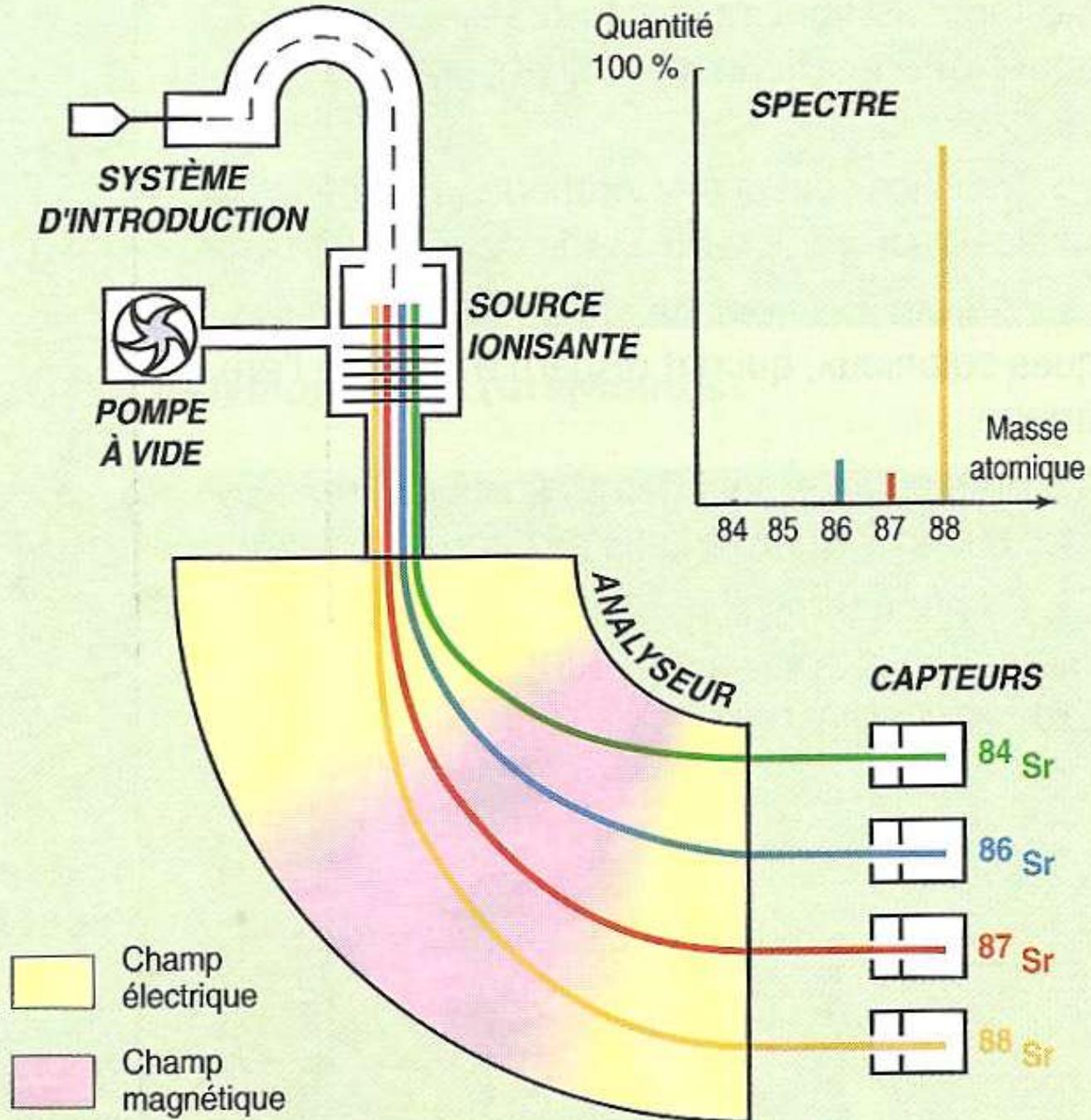
MAIS : $({}^{87}\text{Sr}/{}^{86}\text{Sr})_0$ identiques pour les minéraux d'une même roche

L'équation précédente devient :

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

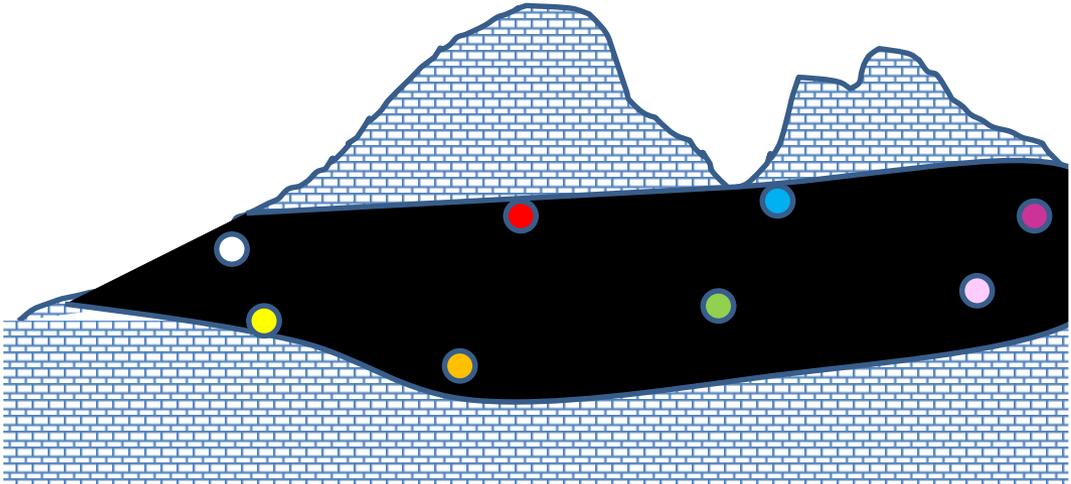
Terme inconnu mais constant pour tous les minéraux d'une même roche :
c'est le rapport initial

Document 6. Principe d'un spectromètre de masse



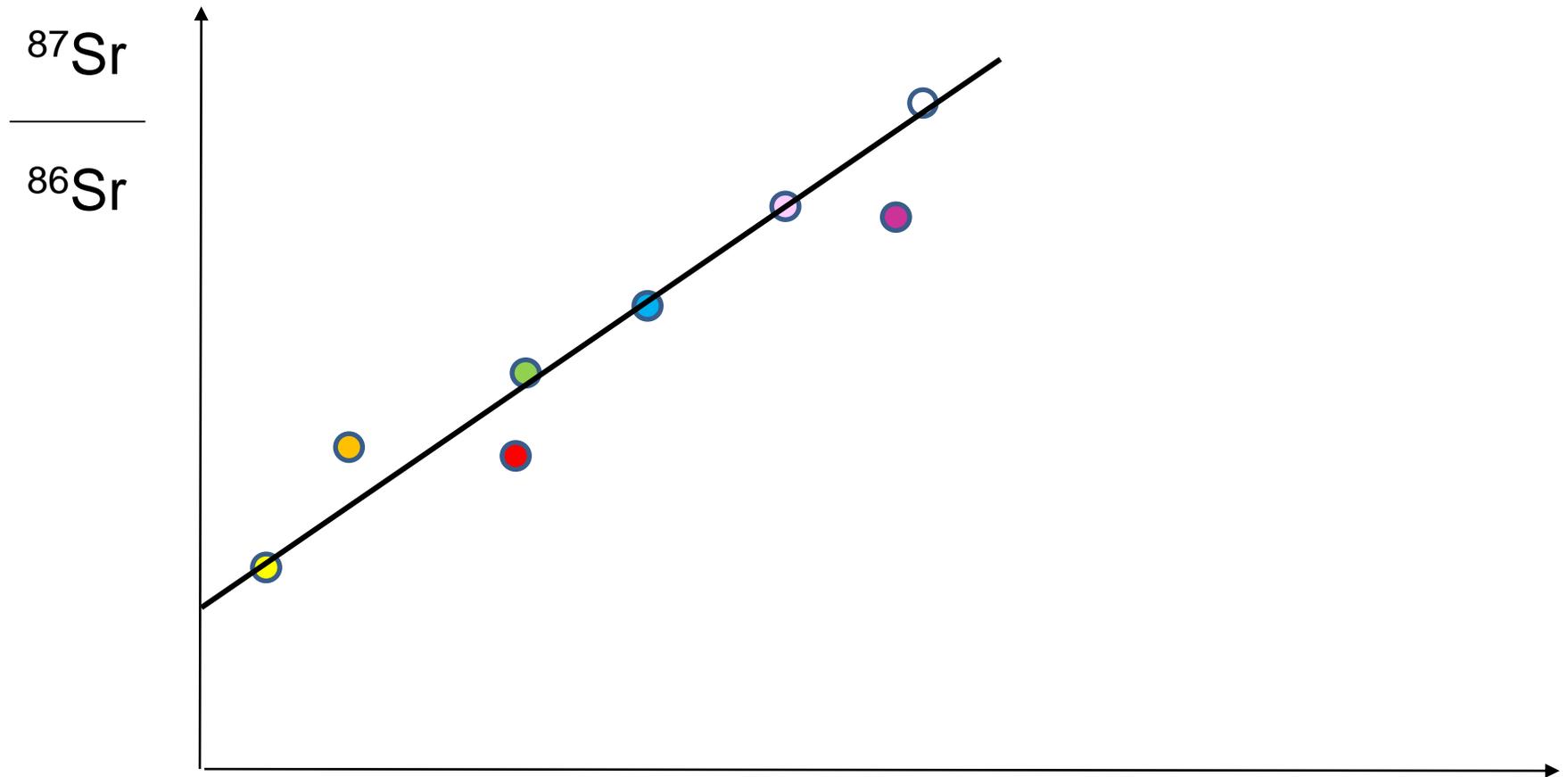


Datation absolue d'un granite



échantillonnages

Construction de l'isochrone

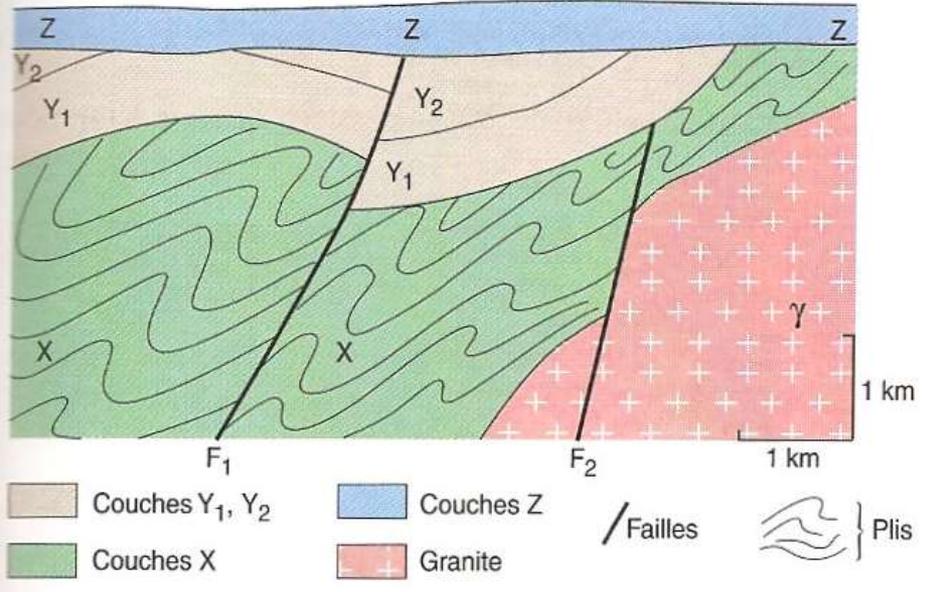


$$\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}} = \left(\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}\right)_0 + \frac{^{87}\text{Rb}}{^{86}\text{Sr}} \cdot (e^{\lambda t} - 1)$$
$$Y = a X + b$$

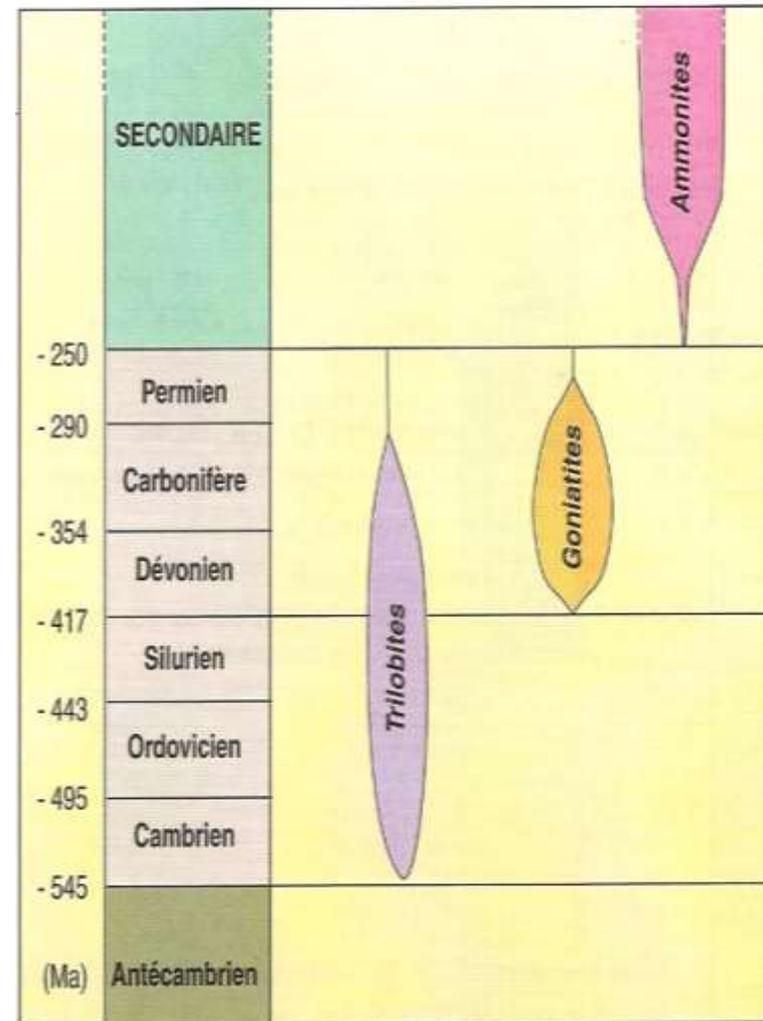
Y et X déterminés par spectrométrie de masse

Exercice 5

← Coupe géologique simplifiée.



Echelle biostratigraphique.



Couches	Contenu en fossiles
Z	Ammonites
Y ₂	Trilobites - Goniatides
Y ₁	Trilobites

Contenu en fossiles des couches Y₁, Y₂ et Z.
Concentrations isotopiques des minéraux du granite γ.

Minéraux	⁸⁷ Rb / ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr / ⁸⁶ Sr
Orthose	4,1045	0,7425
Mica noir	50,9524	1,1428
Mica blanc	30,0000	0,9677

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

Exercice 5

Isochrone pour les minéraux du granite

Minéraux	$^{87}\text{Rb} / ^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$
Orthose	4,1045	0,7425
Mica noir	50,9524	1,1428
Mica blanc	30,0000	0,9677

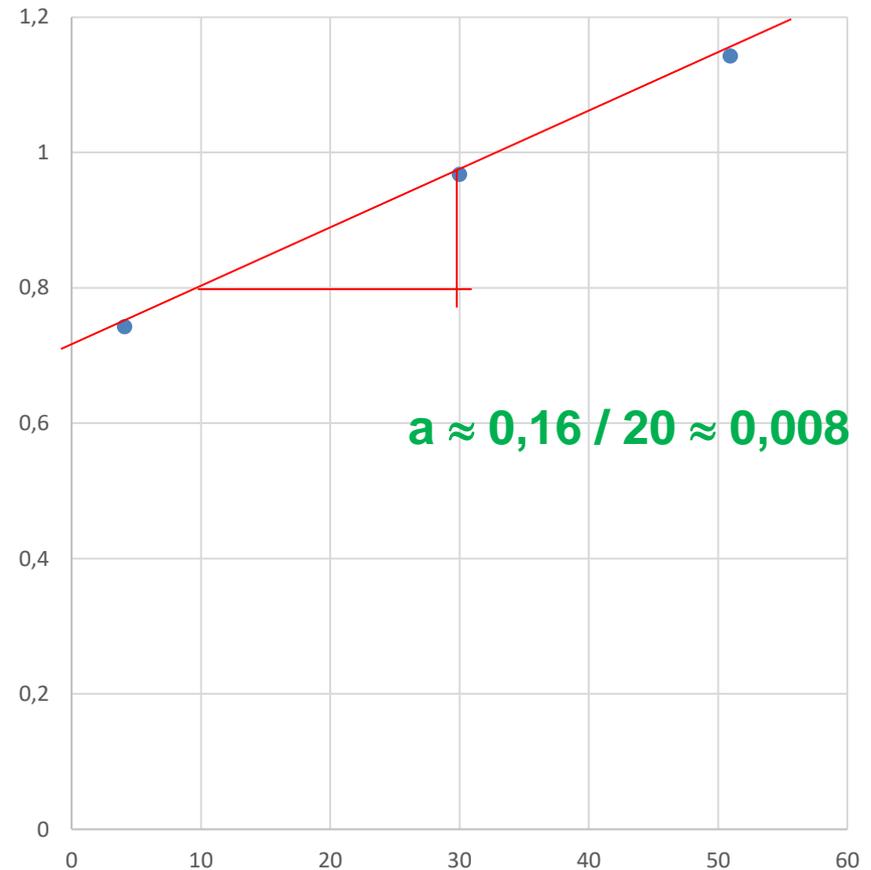
$$a = (e^{\lambda t} - 1)$$

Or : $e^{\lambda t} - 1 \approx \lambda t$ D'où :

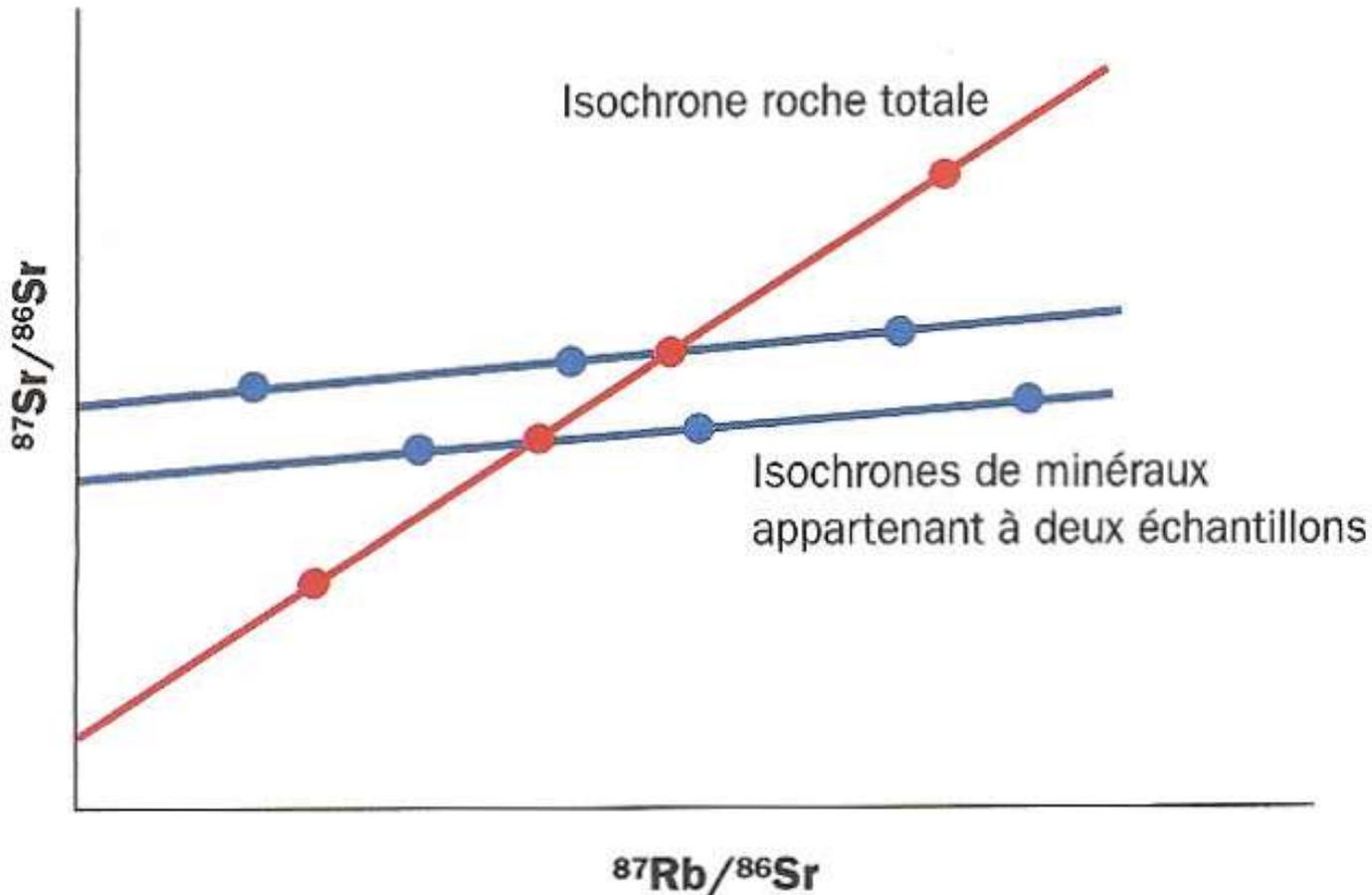
$$a \approx \lambda t \quad \text{et} \quad t \approx a/\lambda$$

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

A.N. : $t = 0,008 / 1,42 \cdot 10^{-11} \approx 570 \text{ Ma}$



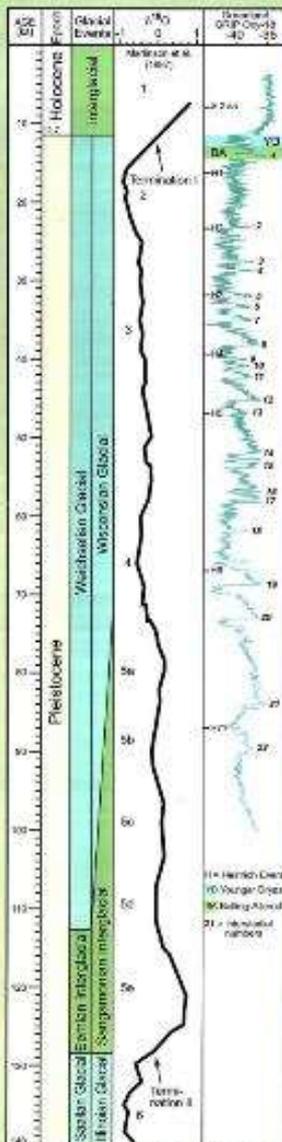
Cas des roches métamorphiques



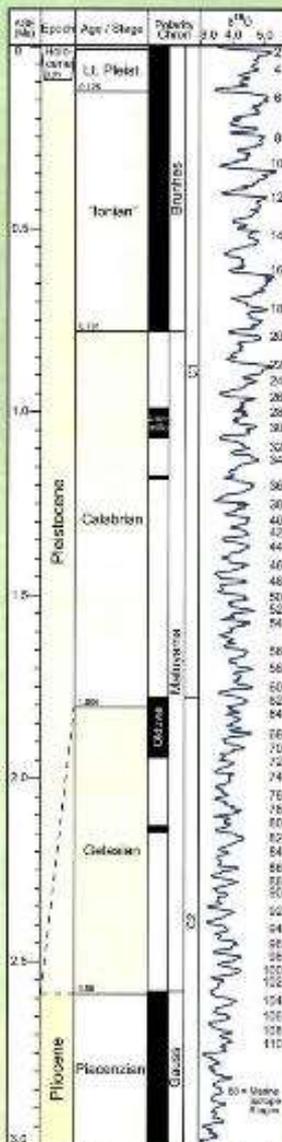
Document 7. Isochrones Rb-Sr sur roche totale et sur minéraux d'un granite métamorphisé.

PHANEROZOIC

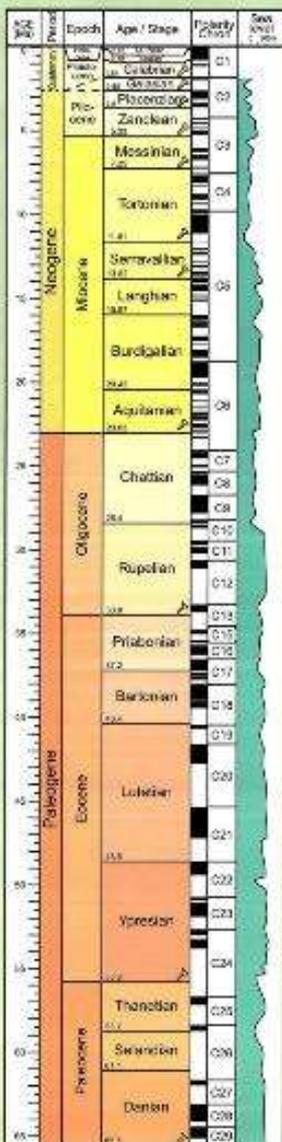
LAST GLACIAL CYCLE



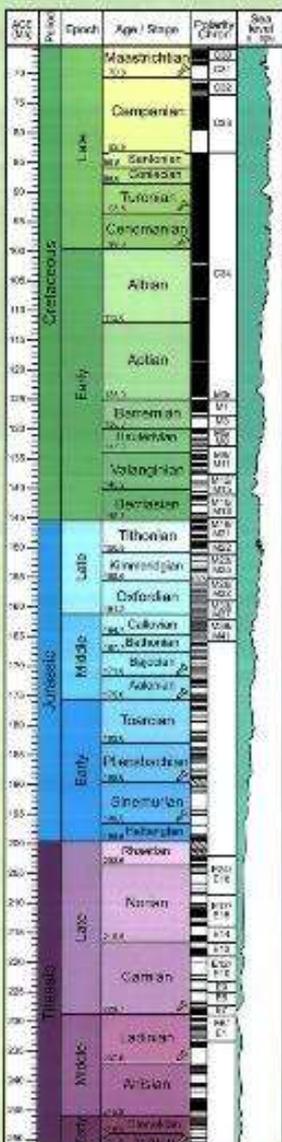
QUATERNARY



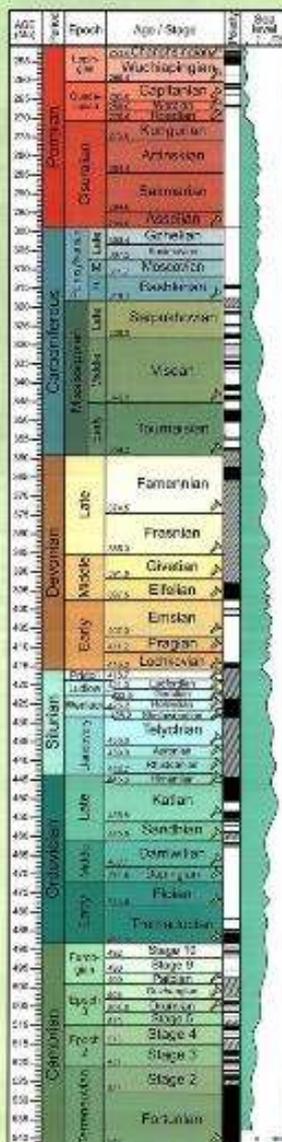
CENOZOIC



MESOZOIC



PALEOZOIC



PHANEROZOIC & PRECAMBRIAN



Legend:
 ■ Normal polarity
 ■ Reversed polarity
 ■ Uncertain polarity
 ▲ red bed
 ▲ GSSP

For details see:
 "A Geologic Time Scale 2008" by F. M. Gradstein, J. G. Ogg, A. G. Smith et al. (2004) with Cambridge University Press, and "The Concise Geologic Time Scale" by J.G. Ogg, S. Ogg and F.M. Gradstein (2006), and the website of the International Commission on Stratigraphy (ICS) www.stratigraphy.org

This chart was produced by Gert Ogg using the Scale Creator software. <http://www.earthsci.org>



Unités définies sur le terrain		Unités correspondant à des intervalles de temps	
Unités lithostratigraphiques (définies à l'aide du faciès)	Unités biostratigraphiques (définies par la présence de fossiles)	Unités chronostratigraphiques (ensembles des couches déposées pendant une unité de temps)	Unités géochronologiques (unités de temps représentant une durée)
groupe formation membre banc	biozone	érathème système étage chronozone ère période âge chron

Document 8. Terminologie **des unités stratigraphiques.**

Les unités couramment utilisées sont en gras.

(J.J. Bernard et coll. « Le temps en géologie » Hachette éducation ed. 1995)

Document 9.

Divisions stratigraphiques des temps géologiques.

Phanérozoïque

4 Eons :

1. L'Hadéen (-4 600 à -3 800 Ma)
Formation de la Terre et de la Lune

2. L'Archéen (-3 800 à -2 500 Ma)
Apparition de la vie

3. Le Protérozoïque (-2 500 à -530 Ma)
Apparition des pluricellulaires

1+2+3= le Précambrien

4. Le Phanérozoïque (depuis - 530 Ma)
Essor de la vie

+ Hadéen = 4,5 Ga → 3,8 Ga

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

L'étage

Unité de base de l'échelle chronostratigraphique

La référence : le stratotype

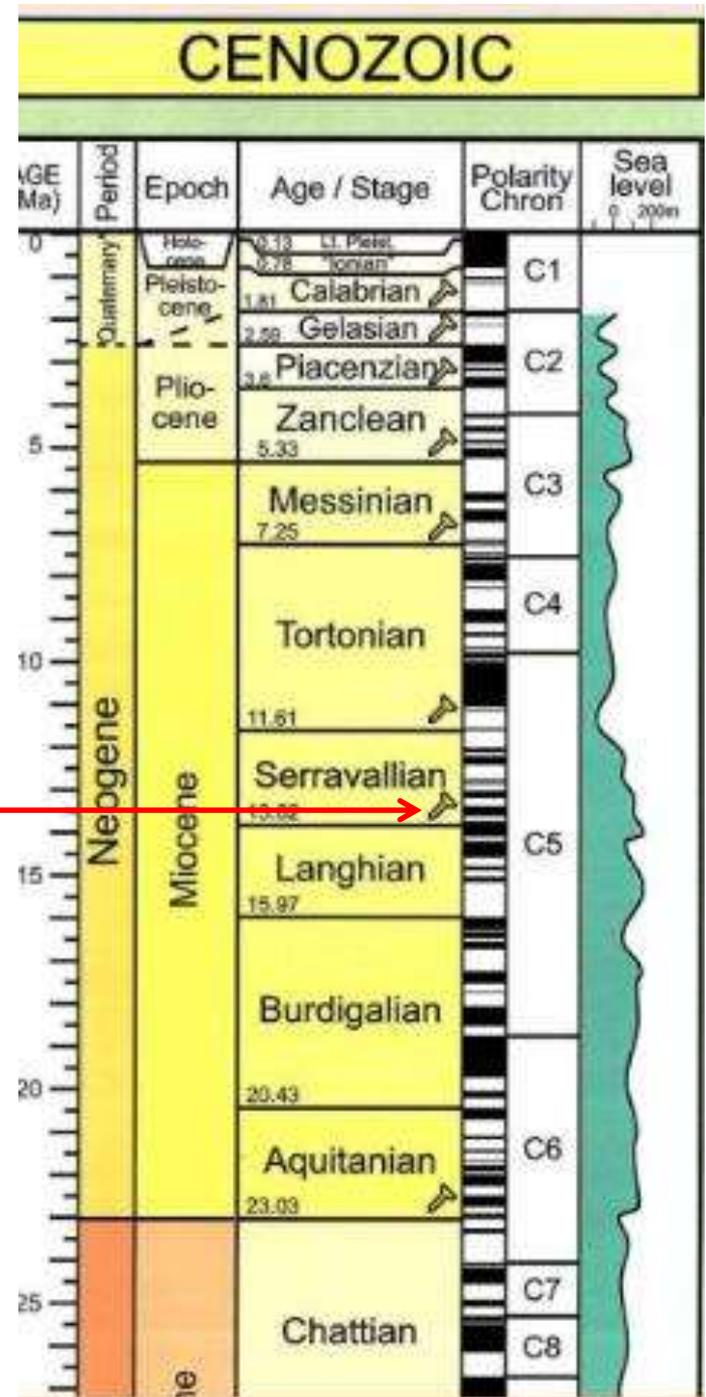
Le nom d'un étage est dérivé d'un lieu (localité ou région type) suivi du suffixe -ien



GSSP ou « clou d'or »



GSSP
Dévonien -
Carbonifère



Document 9.

Divisions stratigraphiques des temps géologiques.

Phanérozoïque

4 Eons :

1. **L'Hadéen** (-4 600 à -3 800 Ma)
Formation de la Terre et de la Lune

2. **L'Archéen** (-3 800 à -2 500 Ma)
Apparition de la vie

3. **Le Protérozoïque** (-2 500 à -530 Ma)
Apparition des pluricellulaires

1+2+3= le Précambrien

4. **Le Phanérozoïque** (depuis - 530 Ma)
Essor de la vie

+ Hadéen = 4,5 Ga → 3,8 Ga

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

Les schistes de Burgess

Parc National Yoho, Rocheuses canadiennes



Découverts en 1909, leur signification n'a été comprise que dans les années 1970.

Une reconstitution de la faune de Burgess, témoin de l' « explosion cambrienne »

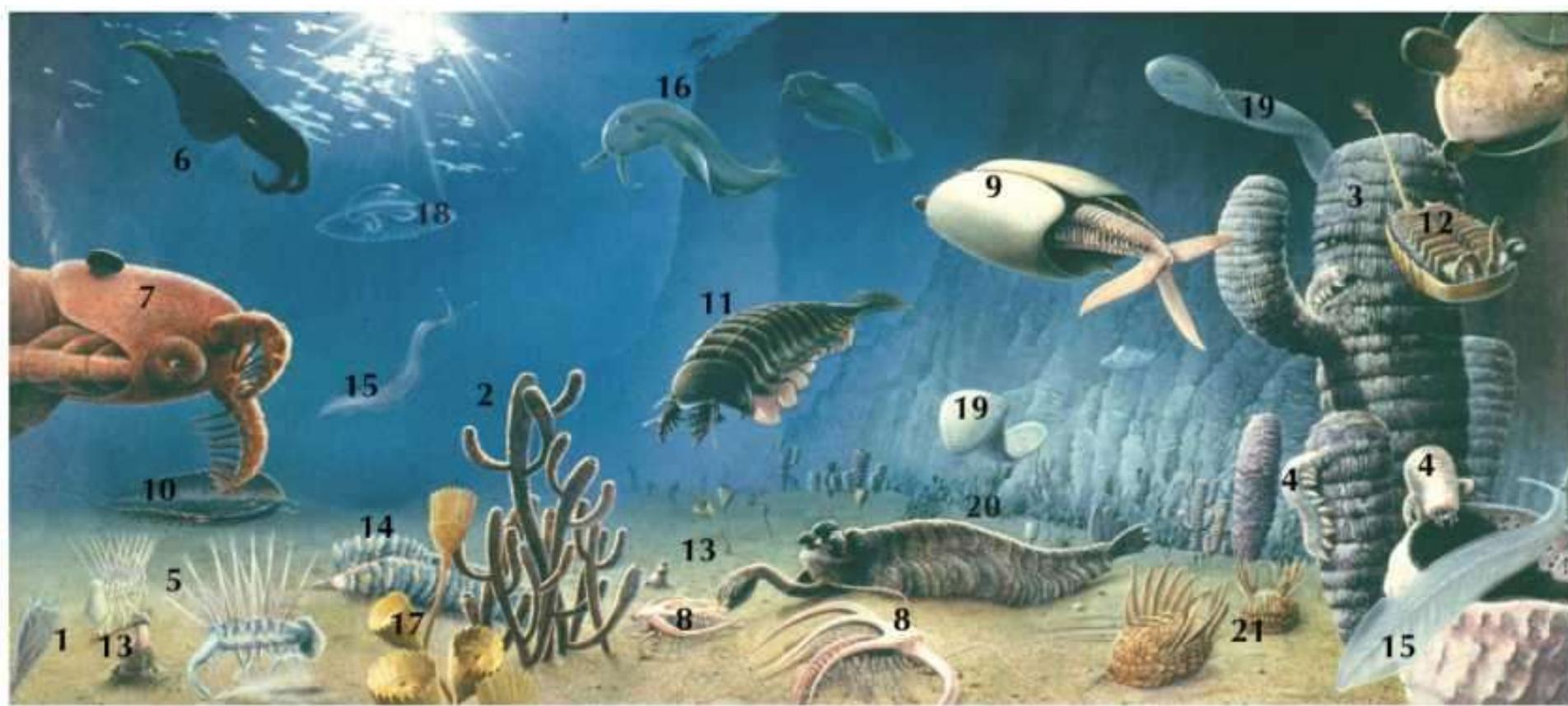


FIGURE 10.15. Restoration of the Burgess Shale fauna. Key to the animals is as follows. Sponges: *Pirania* (1), *Vauxia* (2), *Wapkia* (3). Lobopods: *Aysheaia* (4), *Hallucigenia* (5). Anomalocaridids: *Anomalocaris* (6), *Laggania* (7). Arthropods: *Marrella* (8), *Odaraia* (9), trilobite *Olenoides* (10), *Sanctacaris* (11), *Sarotrocercus* (12). Priapulid: *Ottoia* (13). Polychaete annelid: *Canadia* (14). Chordate: *Pikaia* (15). Animals of disputed or uncertain affinity: *Amiskwia* (16), *Dinomischus* (17), *Eldonia* (18), *Odontogriphus* (19), *Opabinia* (20), *Wiwaxia* (21).

Les ères et périodes

Durée relative

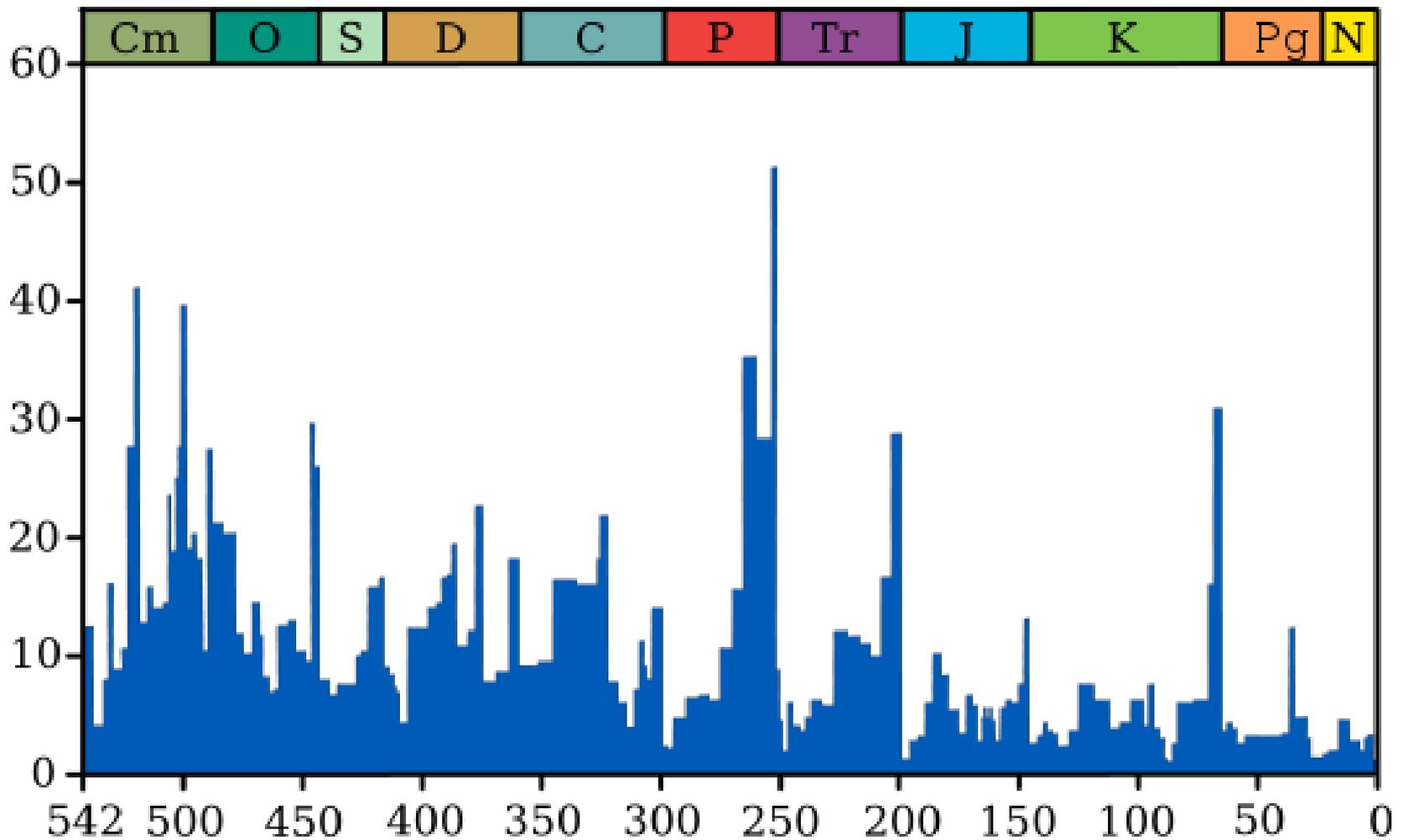
ÈRES	PÉRIODES	ÉPOQUES
CÉNOZOÏQUE	QUATERNAIRE	Holocène (récent)
		Pléistocène
	TERTIAIRE	1,6 — Pliocène
		5,3 — Miocène
		23,7 — Oligocène
MÉSOZOÏQUE (Secondaire)	36,8 — Éocène	
	57,8 — Paléocène	
PALÉOZOÏQUE (Primaire)	66,4 — CRÉTACÉ	
	144 — JURASSIQUE	
	208 — TRIAS	
	246 — PERMIEN	
	286 — CARBONIFÈRE	
	360 — DÉVONIEN	
PRÉCAMBRIEN	408 — SILURIEN	
	438 — ORDOVICIEN	
	505 — CAMBRIEN	
	544 Ma — PROTÉROZOÏQUE	
ARCHÉEN	NÉO- 1,0 Ga	
	MÉSO- 1,5 Ga	
	PALÉO- 2,5 Ga	
HADÉEN	4,03 Ga	
	4,55 Ga	

Extinctions biologiques majeures



Leur fin est le plus souvent marquée par une crise biologique

Intensité des extinctions marines à travers le temps



Pourcentage apparent de genres d'animaux marins
ayant disparu au cours d'un intervalle de temps.

Document 10.
Echelle des
temps
géologiques avec
les principaux
évènements.

Eon	Ere	Période	Époque	Âge (Ma)	Notation	Couleur	Oroge-nèse	Événements importants		
PHANÉROZOÏQUE	CÉNOZOÏQUE	Quaternaire	Holocène	0,012	q	Saumon	Alpine	Fin de la dernière glaciation		
			Pléistocène	2,6	q	Jaune		Glaciations quaternaires		
		Néogène	Pliocène		p			Premiers Hominidés		
			Miocène	m	Orange			Collision Europe - Apulie Collision Inde Eurasie Premiers Primates Premières Graminées		
		Paléogène	Oligocène	g						
			Éocène	e						
			Paléo-cène	e						
		MÉSOZOÏQUE	Crétacé	Sup.	66	c		Vert	Hercynienne Caldéonienne Cadomienne	Crise biologique (crise K/T) ←
				Inf.						Subduction de l'océan alpin
			Jurassique	Sup.	145	j ou l (si inf. Lias)		Bleu		Premières Angiospermes ←
	Moy.			Premiers Oiseaux						
	Inf.			Ouverture Atlantique Sud						
	Trias		Sup.	201	t	Violet	Crise biologique ←			
			Moy.				Premiers Mammifères ←			
			Inf.				Crise biologique ←			
	PALÉOZOÏQUE		Permien	252	r	Rouge	Formation de la Pangée			
			Carbonifère	298	h	Bleu-vert	Premiers reptiles			
		Forêts houillères du Carbonifère ←								
		Dévonien	358	d	Marron	Crise biologique ←				
			Sortie des eaux des Vertébrés ←							
Silurien		419	s	Vert pâle	Apparition Insectes					
Ordovicien		443	o	Vert turquoise	Premiers végétaux vasculaires terrestres					
Cambrien		485	k	Vert kaki	Crise biologique ←					
	Premiers Vertébrés									
PRECAMBRIEN	PROTERO-ZOÏQUE	541	b (carte de France)	Rose-orange	Explosion cambrienne (schistes de Burgess) ←					
	ARCHÉEN	2 500		Rose	Faune d'Ediacara (-575 à -540 Ma) ← Premiers Eucaryotes (- 1,8 Ga)					
	HADÉEN	4 000			Oxygénation de l'atmosphère (- 2,3 Ga) Apparition de la photosynthèse (- 2,8 Ga) Premières Bactéries (- 3,8 Ga) ← Plus vieilles roches connues (- 3,8 Ga) ← Formation de la Terre (-4,55 Ga) ←					