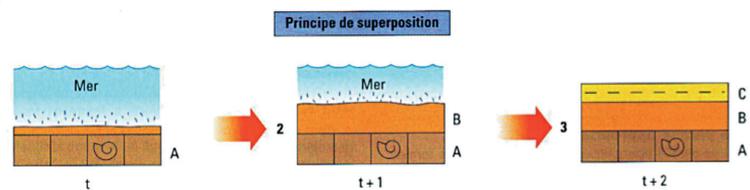
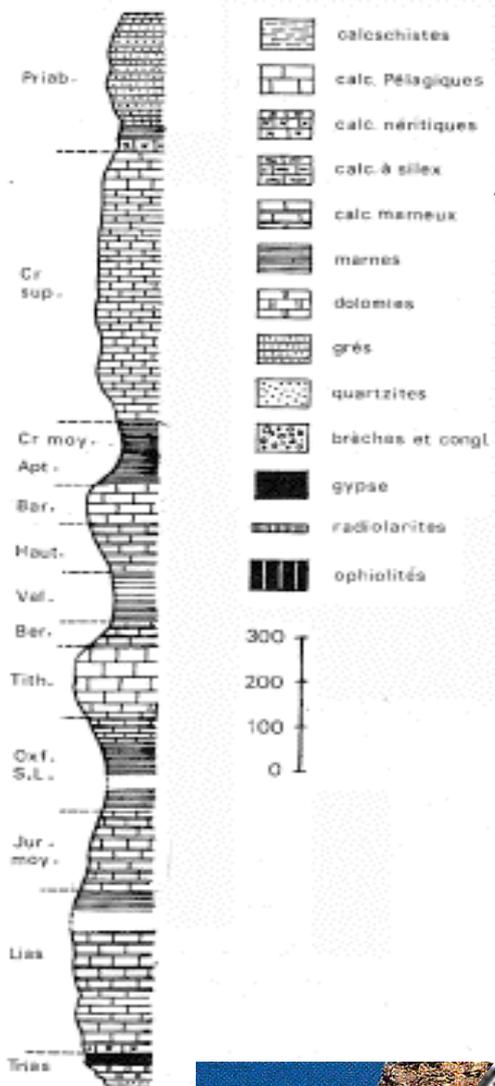


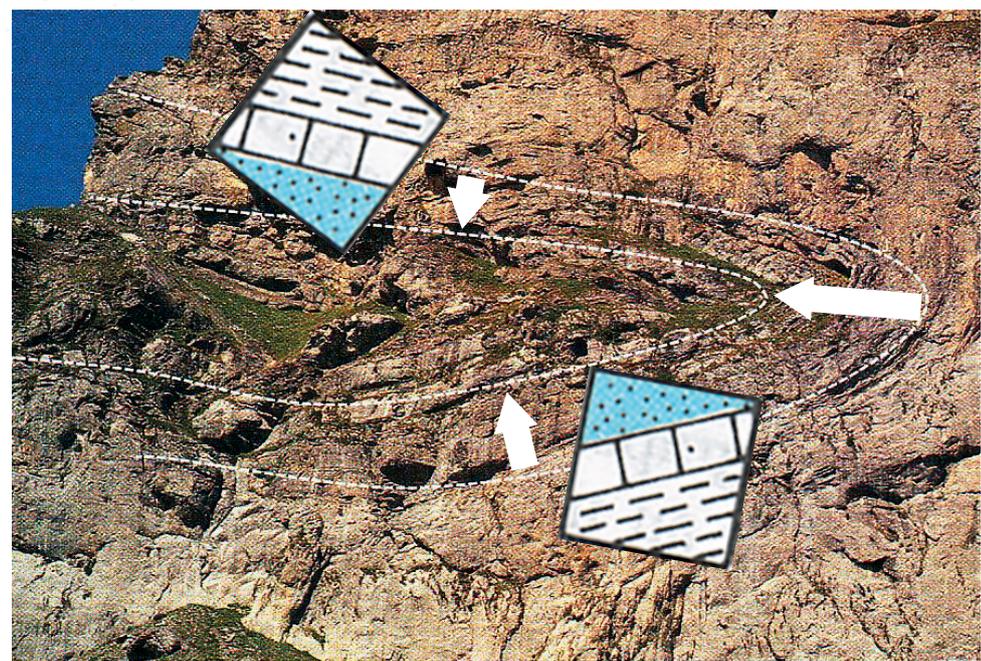
Figure 1 : principe de superposition



Le log stratigraphique se présente sous la forme d'une colonne indiquant la succession des couches géologiques. Pour chaque couche, il précise :

- son **épaisseur** : elle est quantifiée le long d'un axe vertical gradué
- sa **dureté** : elle est représentée de façon relative horizontalement. Plus une couche est dure, plus sa largeur est importante. Par exemple, les marnes forment un creux dans le log alors que les calcaires forment un bombement.
- sa **lithologie** : la nature de la roche est représentée par un figuré caractéristique
- le **contenu fossilifère**, les **figures sédimentaires** le cas échéant.

La figure ci-contre présente un exemple de log stratigraphique réalisé dans la Zone Dauphinoise des Alpes (d'après Fournier *et al.*, 2008).



Limite du principe de superposition : inversion tectonique de strates

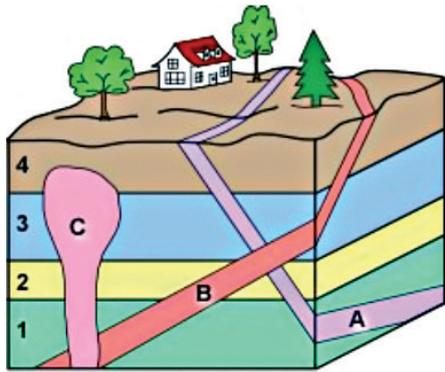


Figure 2 : principe de recoupement
(planet-terre.ens-lyon.fr)



Paysage d'Islande : La route recoupant la coulée de lave du XVe siècle est plus jeune que la coulée de lave. Cette coulée remplissant partiellement la vallée est plus jeune que la formation de la vallée.



Filon d'aplite (granite à grains fins) recoupant un granite et son enclave (sédiments métamorphisés). Le filon est plus jeune que le granite, lui-même plus jeune que l'enclave.

Figure 3 : principe d'inclusion
(planet-terre.ens-lyon.fr)



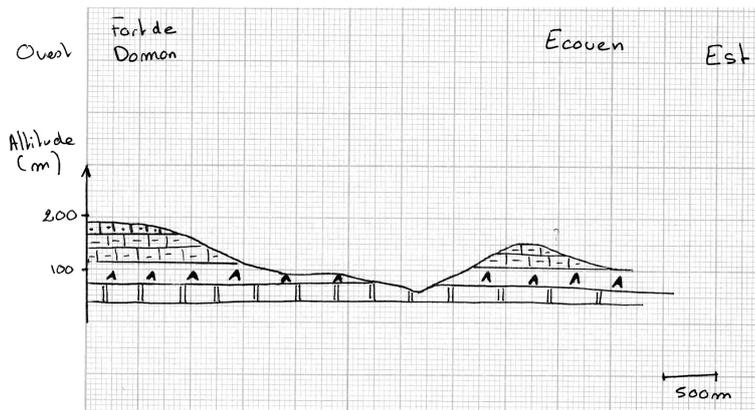
Cette roche sédimentaire est un **conglomérat de rivière**, roche sédimentaire détritique, c'est-à-dire constituée de fragments de roches arrondis (galets), issus de l'érosion d'une roche pré-existante, liés entre eux par une matrice. Les galets sont des inclusions. Ils existaient avant la formation du conglomérat.



Église de San Juan de Parícutin (XVIIIe siècle), Mexique.

L'édifice est englobé dans la coulée de lave du volcan Parícutin, émise lors de l'éruption de février 1943.

Figure 4 : principe de continuité latérale
Coupe sur la carte de L'Isle Adam (1/50 000)





 g3a calcaire et meulière de Beauce
 g2a → g1b marne à huître et calcaire
 g1a → e6e marne et gypse
 e6d calcaire de St Ouen

Limite du concept : passage latéral de faciès

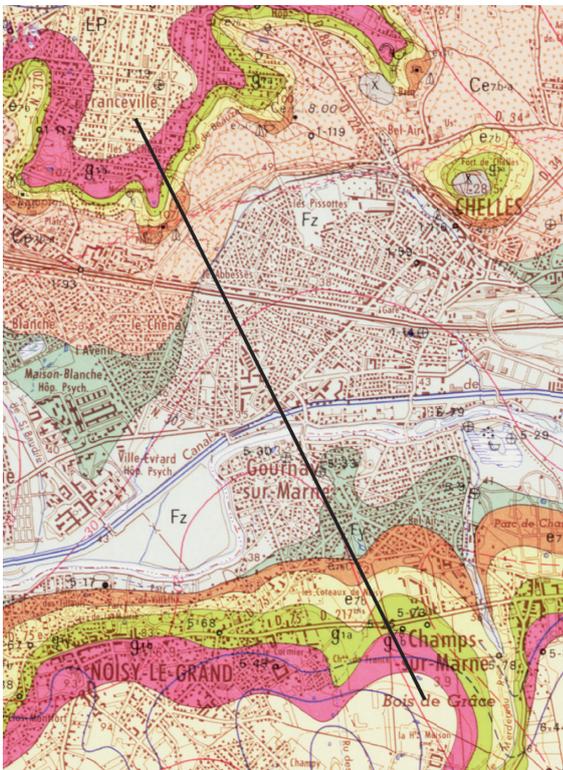
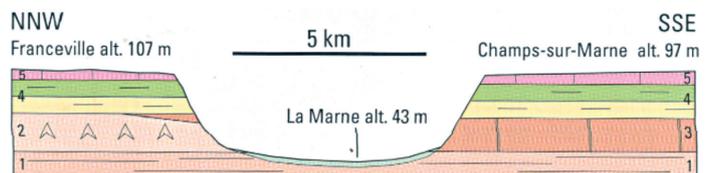


Illustration du passage latéral de faciès dans le Cénozoïque du bassin de Paris (40-35 Ma)

Un exemple historique est celui décrit par Brongniart, dans la Marne, en région parisienne. D'un côté de la vallée, se trouvent les calcaires de Champigny (faciès lacustre) et de l'autre des formations à gypse de Montmartre (faciès de lagune très salée).



- 1) Marnes à *Pholadomya ludensis*
- 2) Gypse de Montmartre
- 3) Calcaire de Champigny
- 4) Marne supra gypseuse
- 5) Calcaires de Brie

Figure 5 : principe d'identité paléontologique

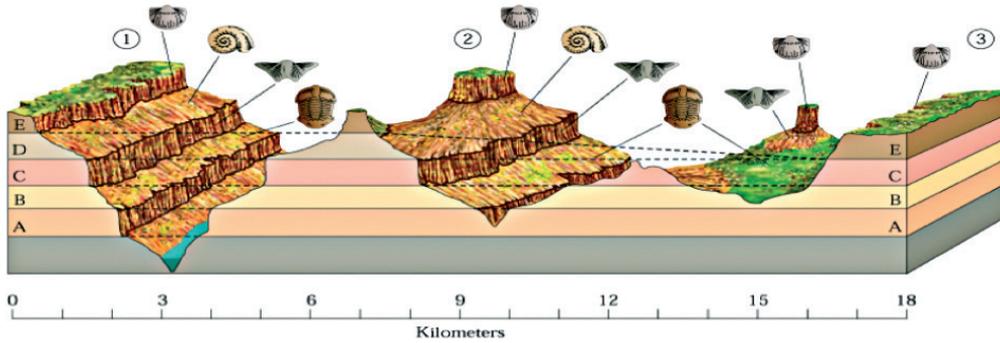
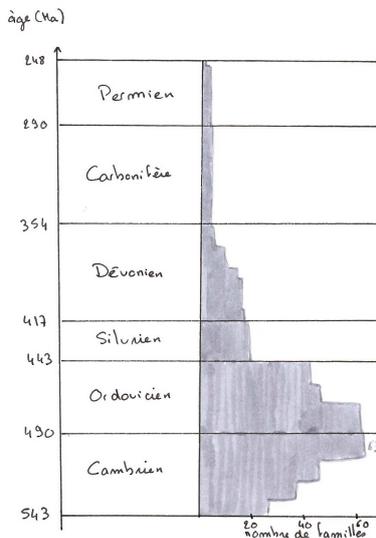
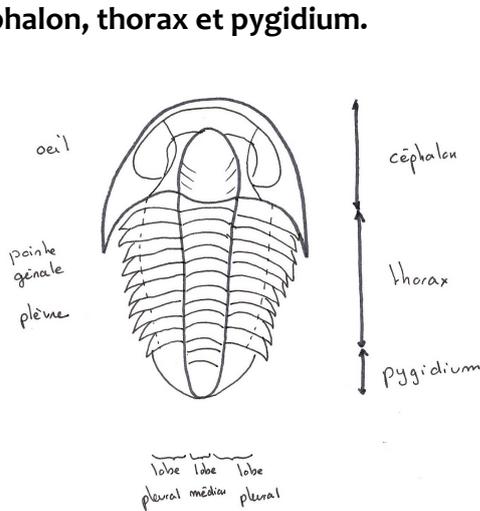


Figure 6 : Quelques exemples de familles utilisées en stratigraphie (culture générale)

Trilobites

Les trilobites sont des athropodes trilobitomorphes dont la cuticule est divisée en 3 parties : céphalon, thorax et pygidium.



Les fossiles peuvent correspondre à des individus morts ou à des exuvies (cuticule abandonnée par un individu au cours de la mue) ou encore à des traces (ichnofossiles).

Ce sont des fossiles très utilisés pour la datation du **Paléozoïque** en raison de leur quasi omniprésence dans les environnements marins. On les retrouve dans les terrains du Paléozoïque, mais c'est à la fin du Cambrien et à l'Ordovicien que leur diversification est maximale. Ils disparaissent définitivement à la crise Paléozoïque / Mésozoïque (Permien/Trias).

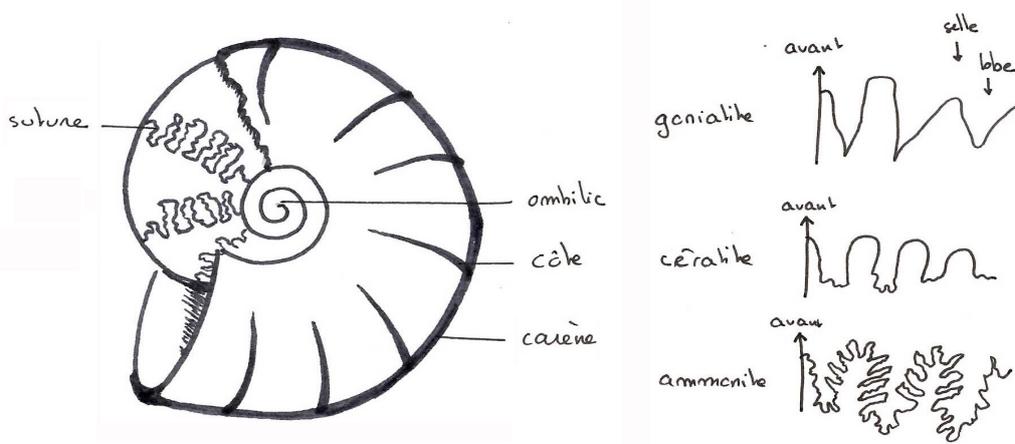
Ammonoïdés

Ces sont des céphalopodes, dont le corps mou était protégé par un test calcaire (aragonite) plus ou moins enroulé en spirale dans un plan. La coquille est divisée en plusieurs loges communiquant par un siphon : l'animal occupait la dernière loge, les autres étant remplies de gaz ou d'eau selon que l'animal montait ou descendait dans la tranche d'eau.

Les tests peuvent présenter des côtes qui assurent un renforcement du squelette et une carène sur le bord externe. Ils se différencient par :

- la géométrie des lignes de suture : ces lignes correspondent aux jonctions entre loges successives et sont caractéristiques de chaque espèce. Elles sont visibles sur les moulages internes des coquilles ou après élimination des couches externes de la coquille. On distingue les selles (convexité tournée vers l'avant) des lobes (convexité tournée vers l'arrière). La géométrie des sutures s'est diversifiée et complexifiée au cours du temps et permet de caractériser les 3 grands groupes d'ammonoïdés :

- **les goniatites** : les sutures sont simples et présentent des angles aigus.
- **les cératites** : les selles sont lisses alors que les lobes sont découpés.
- **les ammonites** : les selles et les lobes ont un aspect persillé.



- le type d'enroulement : l'enroulement peut être plan ou non (certaines espèces sont hélicoïdales à la manière des gastéropodes), les tours de spires peuvent se recouvrir les uns les autres ou non ; ils peuvent également ne pas se toucher dans le cas des coquilles déroulées.
- la position du siphon qui peut être ventral ou dorsal.

La **taille** des fossiles va de quelques millimètres à plus de 2m

Les ammonoïdés sont apparus au **Paléozoïque** et ont **disparu à la crise Crétacé/Cénozoïque**.

Chaque groupe présente une répartition temporelle caractéristique :

- goniatites: du Dévonien à la fin du Permien
- cératites : Trias
- ammonites : du Jurassique inférieur à la fin du Crétacé

Les différentes espèces de ces groupes sont utilisées pour faire des découpages temporels précis au sein de ces périodes.

Remarque : le seul représentant actuel du groupe le plus proche des ammonoïdés est le **nautilé** qui appartient aux nautiloïdés.

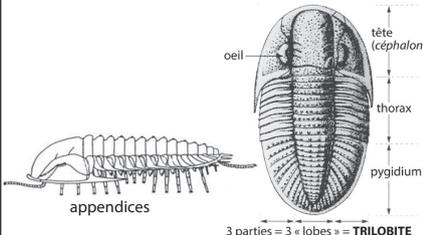
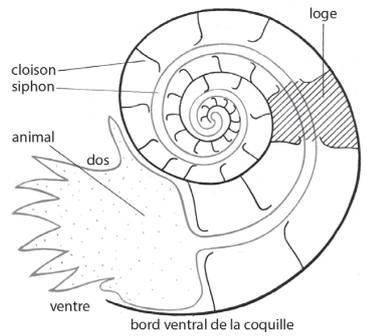
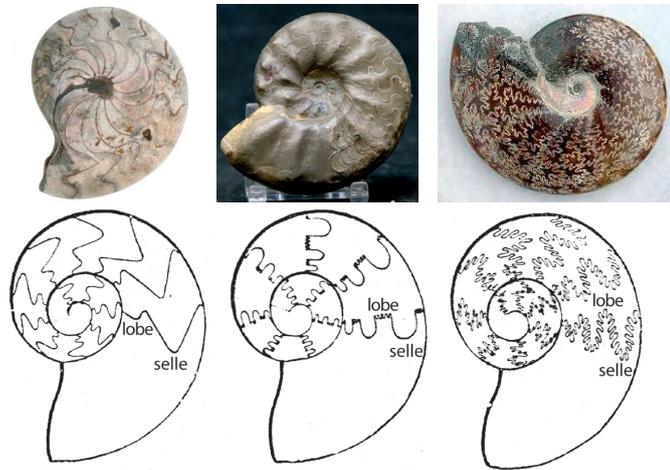
Foraminifères

Ce sont des organismes unicellulaires qui, du fait de leur taille réduite, présentent une très grande abondance dans les roches sédimentaires (leur taille varie de moins d'un mm à quelques cm). Ils présentent un test (calcaire ou non) qui peut être fossilisé.

Les foraminifères peuvent être **planctoniques** (ils forment actuellement près de 10% du zooplancton) ou **benthiques** (fixés sur le fond marin). Le nombre d'espèces fossiles est estimé à environ 38 000, celui des espèces actuelles serait compris entre 10 000 et 20 000.

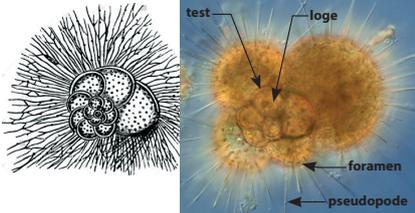
Leur grande **abondance** dans les sédiments, leur **évolution rapide** et leur très **grande répartition** dans les milieux marins font des Foraminifères d'**excellents fossiles stratigraphiques**. Ce sont aussi de très bons **marqueurs des paléo environnements** du fait de leur grande sensibilité aux conditions physico-chimiques (on peut les utiliser par exemple pour reconstituer le paléoclimat.)

Figure 7 : Fossiles stratigraphique à connaître en BCPST
(Denis, Le Bars et Geray, BCPST Marseille)

NOM DU GROUPE, CARACTÉRISTIQUES	EXEMPLES DE FOSSILE STRATIGRAPHIQUE ET ÂGE																																																																			
<p>Arthropodes TRILOBITES : corps <i>métamérisé</i> (= découpé en segments portant des <i>appendices</i>) <i>divisé en 3 lobes</i>.</p> 	<p>⇒ Panpaléozoïque</p> <ul style="list-style-type: none"> • Apparaissent dès le début du phanérozoïque • Disparaissent à la crise PT 	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>foraminifères</th> <th>gastéropodes</th> <th>bivalves</th> <th>ammonites</th> <th>trilobites</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cénozoïque</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Crétacé</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Jurassique</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Trias</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Permien</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Carbonifère</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Dévonien</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Silurien</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Ordovicien</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Cambrien</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>■ taxon d'intérêt chronostratigraphique</p>		foraminifères	gastéropodes	bivalves	ammonites	trilobites	Cénozoïque						Crétacé						Jurassique						Trias						Permien						Carbonifère						Dévonien						Silurien						Ordovicien						Cambrien					
	foraminifères		gastéropodes	bivalves	ammonites	trilobites																																																														
Cénozoïque																																																																				
Crétacé																																																																				
Jurassique																																																																				
Trias																																																																				
Permien																																																																				
Carbonifère																																																																				
Dévonien																																																																				
Silurien																																																																				
Ordovicien																																																																				
Cambrien																																																																				
<p>Mollusques GASTÉROPODES : <i>Coquille univalve dorsale torsadée</i></p> <p>Ex : <i>Bigorneau, Escargot, Limnée d'eau douce</i></p> 	<p>⇒ Panphanérozoïque</p> <ul style="list-style-type: none"> • Peu de fossiles stratigraphiques • Nombreux fossiles de faciès <p>Ex : <i>Planorbes + Limnées</i> → eau douce <i>Escargot</i> → milieu continental</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>foraminifères</th> <th>gastéropodes</th> <th>bivalves</th> <th>ammonites</th> <th>trilobites</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cénozoïque</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Crétacé</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Jurassique</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Trias</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Permien</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Carbonifère</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Dévonien</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Silurien</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Ordovicien</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Cambrien</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>■ taxon d'intérêt chronostratigraphique</p>		foraminifères	gastéropodes	bivalves	ammonites	trilobites	Cénozoïque						Crétacé						Jurassique						Trias						Permien						Carbonifère						Dévonien						Silurien						Ordovicien						Cambrien					
	foraminifères		gastéropodes	bivalves	ammonites	trilobites																																																														
Cénozoïque																																																																				
Crétacé																																																																				
Jurassique																																																																				
Trias																																																																				
Permien																																																																				
Carbonifère																																																																				
Dévonien																																																																				
Silurien																																																																				
Ordovicien																																																																				
Cambrien																																																																				
<p>Mollusques BIVALVES <i>Coquille à 2 valves</i> (Ex : <i>Moule, Huitre, Pecten...</i>)</p> 	<p>⇒ Panphanérozoïque</p> <p>Les Rudistes (= <i>Hippurites</i>), bivalves récifaux asymétriques à coquille épaisse, sont plus des fossiles de faciès témoignant d'un milieu marin chaud peu profond que des fossiles stratigraphiques.</p> <p>Leur existence s'étale du Jurassique supérieur à la crise Crétacé-Tertiaire qui les voit disparaître avec Ammonites et Dinosaures.</p> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>foraminifères</th> <th>gastéropodes</th> <th>bivalves</th> <th>ammonites</th> <th>trilobites</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cénozoïque</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Crétacé</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Jurassique</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Trias</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Permien</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Carbonifère</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Dévonien</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Silurien</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Ordovicien</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Cambrien</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>■ taxon d'intérêt chronostratigraphique</p>		foraminifères	gastéropodes	bivalves	ammonites	trilobites	Cénozoïque						Crétacé						Jurassique						Trias						Permien						Carbonifère						Dévonien						Silurien						Ordovicien						Cambrien					
	foraminifères		gastéropodes	bivalves	ammonites	trilobites																																																														
Cénozoïque																																																																				
Crétacé																																																																				
Jurassique																																																																				
Trias																																																																				
Permien																																																																				
Carbonifère																																																																				
Dévonien																																																																				
Silurien																																																																				
Ordovicien																																																																				
Cambrien																																																																				
<p>Mollusques Céphalopodes AMMONOÏDES (= AMMONITES au sens large), apparentés aux Nautilés actuels.</p>  <p><i>Coquille univalve plus ou moins enroulée dont seule la dernière loge était occupée par l'animal</i> (les autres assuraient la flottaison), les sutures (prolongements externes des cloisons entre les loges) montrent une géométrie qui se complique avec le temps et renforce la coquille.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Goniatites (<i>gone = angle, ex polygone</i>) du Paléozoïque : sutures droites ou courbes nommées selles (vers l'avant) et lobes (vers l'arrière), • Cératites du Trias : suture à selles non divisés et lobes divisés, • Ammonites (<i>au sens strict</i>) du Jurassique et du Crétacé : lobes + selles persillées.  <p>Goniatites Cératites Ammonites</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>foraminifères</th> <th>gastéropodes</th> <th>bivalves</th> <th>ammonites</th> <th>trilobites</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cénozoïque</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Crétacé</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Jurassique</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Trias</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Permien</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Carbonifère</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Dévonien</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Silurien</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Ordovicien</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Cambrien</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>■ taxon d'intérêt chronostratigraphique</p>		foraminifères	gastéropodes	bivalves	ammonites	trilobites	Cénozoïque						Crétacé						Jurassique						Trias						Permien						Carbonifère						Dévonien						Silurien						Ordovicien						Cambrien					
	foraminifères		gastéropodes	bivalves	ammonites	trilobites																																																														
Cénozoïque																																																																				
Crétacé																																																																				
Jurassique																																																																				
Trias																																																																				
Permien																																																																				
Carbonifère																																																																				
Dévonien																																																																				
Silurien																																																																				
Ordovicien																																																																				
Cambrien																																																																				

Foraminifères
Unicellulaires marins caractérisés par un test à plusieurs loges percé de nombreuses perforations (= foramen) d'où sortent des expansions cellulaires nommées pseudopodes à rôle variés (phagocytose, suspension...)

Globigérine actuelle



Un test diffère d'une coquille car il est en position corticale (ici sous la membrane plasmique) et non extérieure.

➔ **Panphanérozoïque mais quelques espèces notables**

- **Foraminifères benthiques** = vivant sur le fond (milli à centimétriques)
 Ex : *Nummulites* du Paléogène en forme de pièces de monnaie
- **Foraminifères planctoniques** = en suspension dans la masse d'eau (< 1mm)
 - *Globotruncanidés* à test caréné abondants au Mésozoïque
 - *Globigérinidés* à test arrondi abondants au Cénozoïque

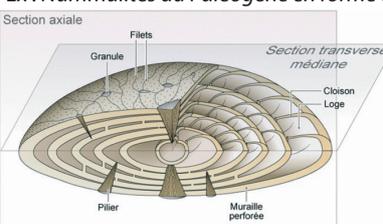
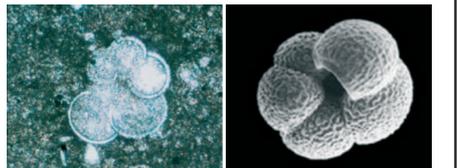
	
<p>Paléocène inférieur Globigérine (20 µm) à test arrondi</p>	
<p>Crétacé supérieur Globotruncana (500 µm) à test caréné</p>	

Figure 8 : quelques exemples fossiles du Paléozoïque (gauche) et du Mésozoïque (droite) (UPMC)

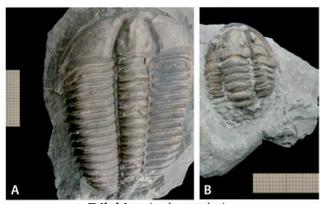
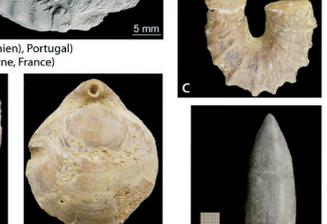
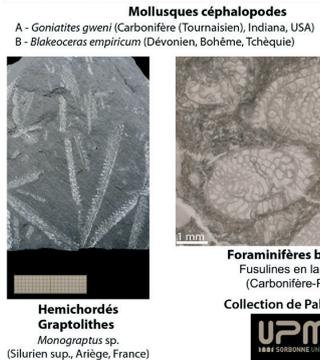
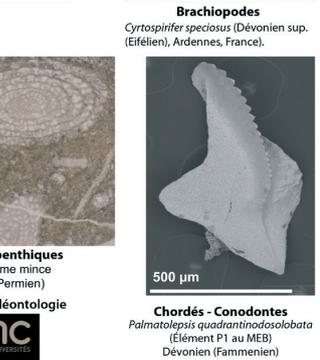
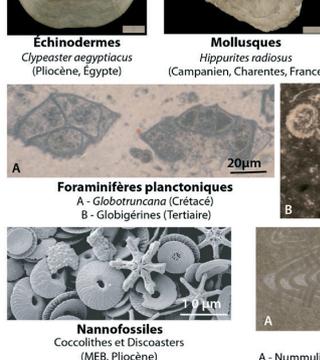
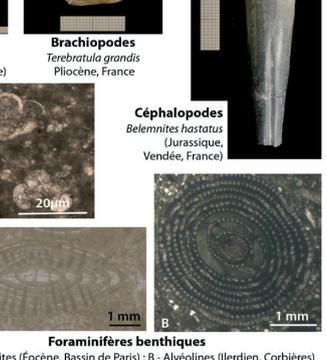
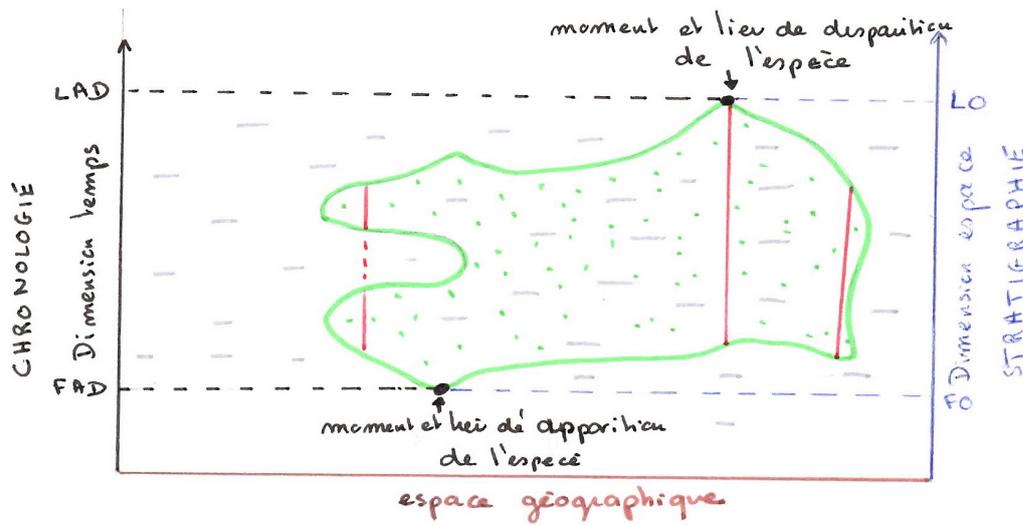
 <p>Trilobites (arthropodes) A - <i>Conocoryphe sulzeri</i> (Cambrien, Bohême, Tchéquie) B - <i>Flexicalymene</i> sp. (Silurien, Ohio, USA)</p>	 <p>Coraux (Cnidaires, Tetracoralliaires) A - <i>Hexagonaria hexagona</i> (Dévonien, Ardennes, Belgique) B - <i>Halystis catenularia</i> (Silurien sup., Gothland, Suède)</p>	 <p>Mollusques Céphalopodes A - Cérite (Trias de Madagascar) B - Ammonite : <i>Dayiceras dayiceroides</i> (Jurassique (piënsbachien), Portugal) C - Ammonite : <i>Ancyloceras matheroni</i> (Crétacé de Haute-Marne, France)</p>	
 <p>Mollusques céphalopodes A - <i>Goniatites gweni</i> (Carbonifère (Tournaisien), Indiana, USA) B - <i>Blakeoceras empiricum</i> (Dévonien, Bohême, Tchéquie)</p>	 <p>Brachiopodes <i>Cyrtospirifer speciosus</i> (Dévonien sup., Eifélien, Ardennes, France).</p>	 <p>Echinodermes <i>Clypeaster aegyptiacus</i> (Pliocène, Egypte)</p>	 <p>Mollusques <i>Hippurites radiosus</i> (Campanien, Charentes, France)</p> <p>Brachiopodes <i>Terebratula grandis</i> (Pliocène, France)</p>
 <p>Hemichordés Graptolites <i>Monograptus</i> sp. (Silurien sup., Ariège, France)</p>	 <p>Foraminifères benthiques Fusulines en lame mince (Carbonifère-Permien)</p> <p>Collection de Paléontologie</p> 	 <p>Foraminifères planctoniques A - <i>Globotruncana</i> (Crétacé) B - Globigérines (Tertiaire)</p>	 <p>Céphalopodes <i>Belemnites hastatus</i> (Jurassique, Vendée, France)</p> <p>Foraminifères benthiques A - Nummulites (Éocène, Bassin de Paris); B - Alvéolines (Illelien, Corbières)</p>

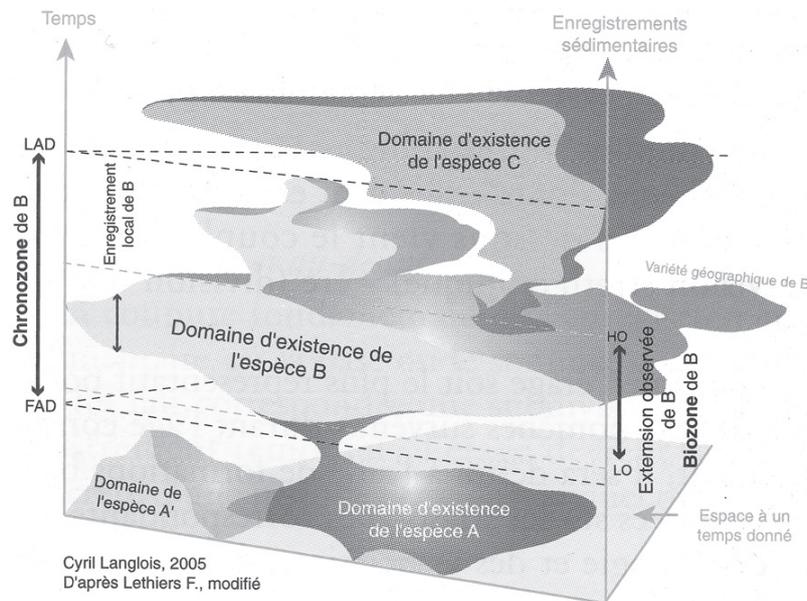
Figure 9 : Notion de biozone et chronozone



— topozones : extension de l'espèce dans un site donné.

••• biozone

— chronozone



Cyril Langlois, 2005
D'après Lethiers F., modifié

L'apparition de l'espèce et sa disparition peuvent avoir lieu dans des régions différentes. FO et FAD ne sont pas toujours identiques : en effet dans le cas où très peu d'affleurements présentent le FO de l'espèce, la probabilité pour que cette apparition corresponde à l'apparition réelle de l'espèce dans le temps (FAD) est faible.

Figure 10 : Les 27 stratotypes définis en France.



Quelques exemples d'étages

Nom de l'étage	Auteurs	Origine	Fossile
Aquitaniens	Mayer-Eymar, 1858	Aquitaine	Coccolite, foraminifère
Lutétien	De Lapparent, 1883	<i>Lutetia</i> (Paris en latin)	Foraminifère
Campanien	Coquand, 1857	Champagne	Crinoïde
Cénomaniens	D'Orbigny, 1847	Le Mans	Foraminifère (globotruncanidés)
Toarcien	D'Orbigny, 1849	Thouars	Ammonite
Sinémurien	D'Orbigny	Semur-en Auxois (Côte d'Or)	Ammonite
Roadien	Furnish, 1973	Road, Texas	Conodonte

Figure 11 : un exemple de stratotype, le Toarcien
(in Galbrun et al., 1994)

Le stratotype du Toarcien a été décrit pour la première fois par d’Orbigny en 1849 au niveau d’une carrière située au Nord-Ouest de Thouars (Centre-Ouest de la France). Différentes approches stratigraphiques (lithostratigraphie, biostratigraphie, magnétostratigraphie, chiostratigraphie) ont par la suite permis de déterminer des horizons distincts au sein du Toarcien.

Cet étage est actuellement défini à partir de deux affleurements : la carrière choisie par d’Orbigny, carrière dite « de Vrines » et une autre carrière proche située à Airvault.

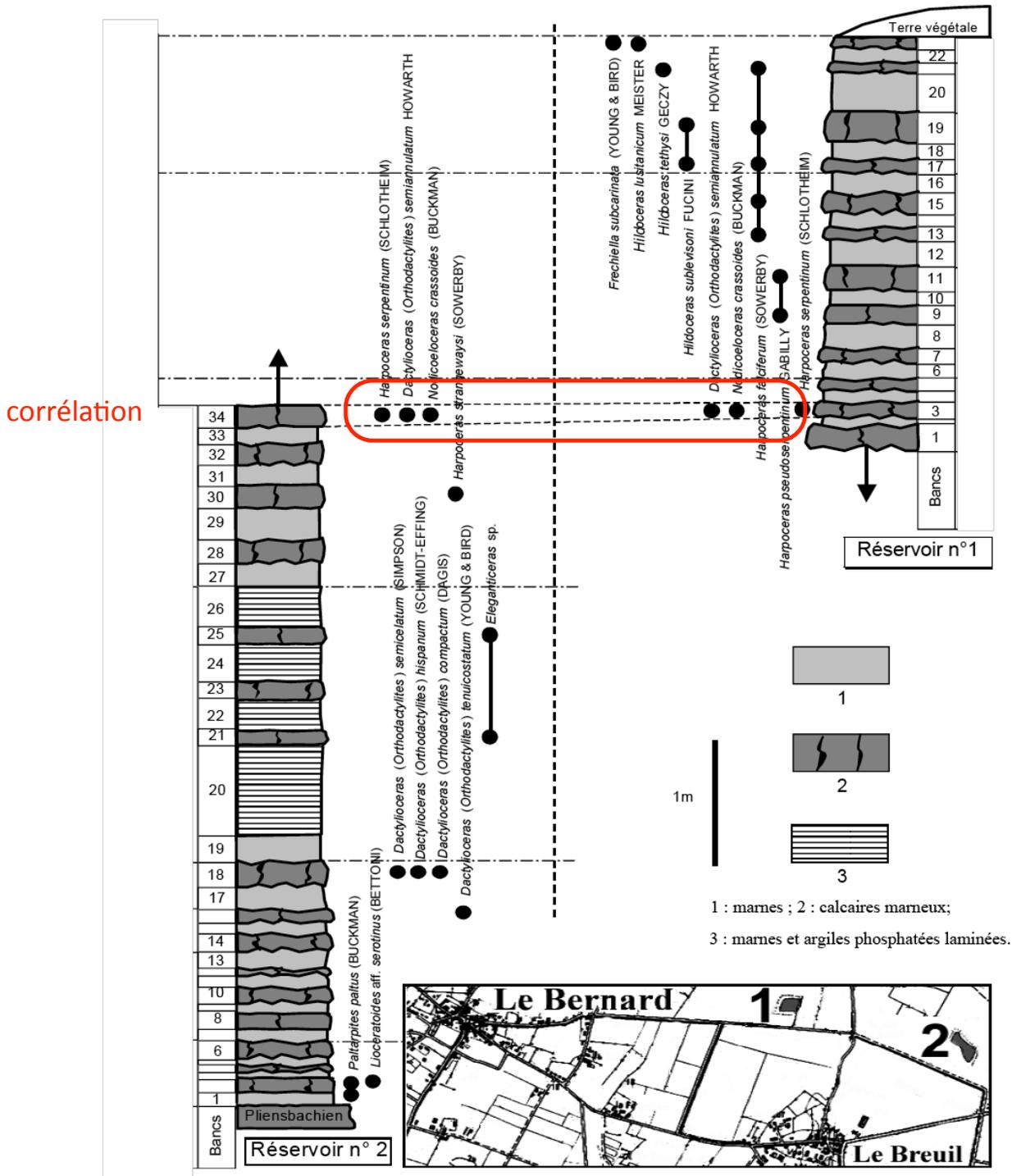


Figure 12 : Quelques exemples de GSSP
(d'après www.stratigraphy.org)

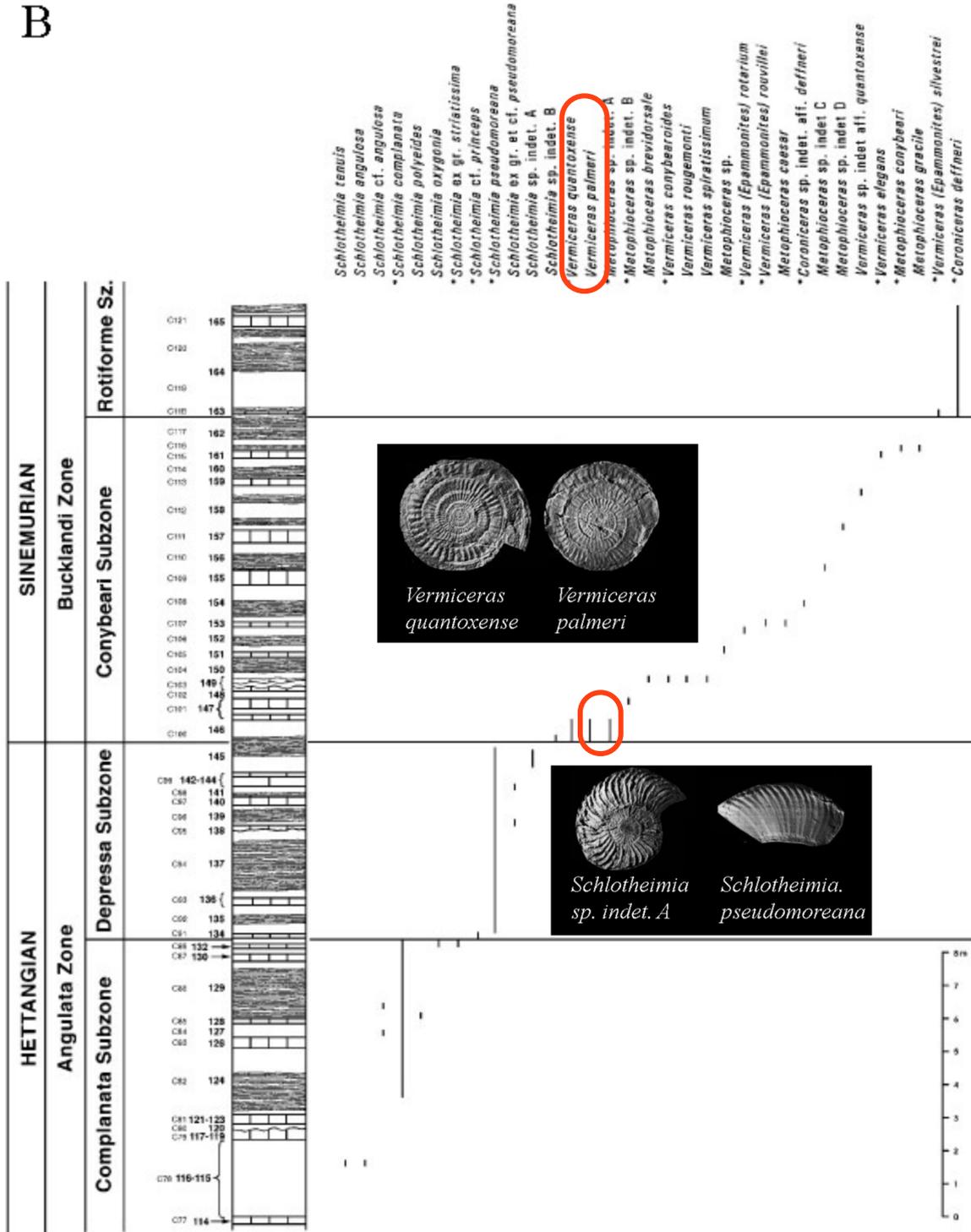
Etage	Localisation du clou d'or	Evénements
Aquitaniens	Carrosio (Italie) 44.6589°N 8.8364°E	Première apparition (FAD) du foraminifère <i>Paragloborotalia kugleri</i> . Proche de la disparition du nanofossile <i>Reticulofenestra bisecta</i>
Sinemurien	East Quantoxhead (Angleterre) 51.1909°N 3.2364°W	Première apparition (FAD) d'ammonites du genre <i>Vermiceras</i> (<i>Vermiceras quantoxense</i> et <i>Vermiceras palmeri</i>)
Roadien	31.8767°N 104.8768°W	Première apparition (FAD) du conodonte <i>Jinogondolella nankingensis</i>

Figure 13 : Exemple d'un GSSP : la limite Hettangien-Sinemurien
(extrait et adapté d'après Bloos, G. et Page, K. (2002) *Episodes* vol.25, n°1, 22-28)

La base du Sinémurien, deuxième étage du Jurassique inférieur après l'Hétangien, est définie au niveau d'une falaise située dans le sud-ouest de l'Angleterre (à proximité de la ville d'East Quantoxhead). Cette falaise d'environ 27m est formée de strates bien identifiables (sur la photo ci-dessous, chaque strate est identifiée par un numéro) et présentant une répétition cyclique de schistes bitumineux - marne - calcaire - marnes. Le niveau repère du Sinémurien ou GSSP se situe dans un niveau de schiste bitumineux (strate 145 des figures A et B) : il est caractérisé par l'apparition de deux ammonites : *Vermiceras quantoxense* et *Vermiceras palmeri* (figure B ci-dessous).



B



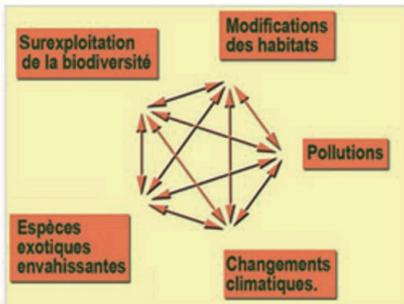
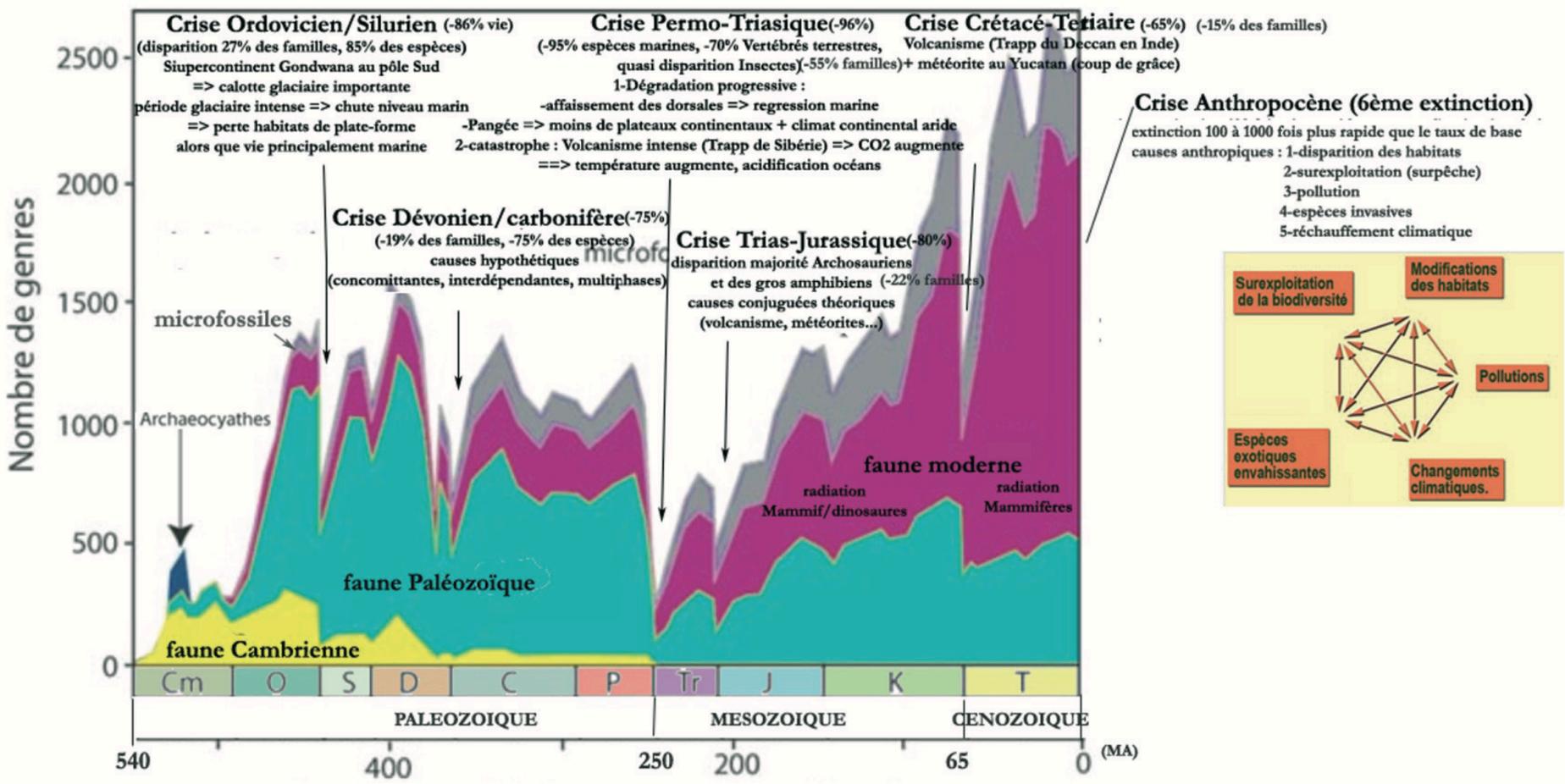


Figure 14 : les 6 crises du vivant du Phanérozoïque (Denis, Le Bars et Geray, BCPST Marseille)



INTERNATIONAL CHRONOSTRATIGRAPHIC CHART

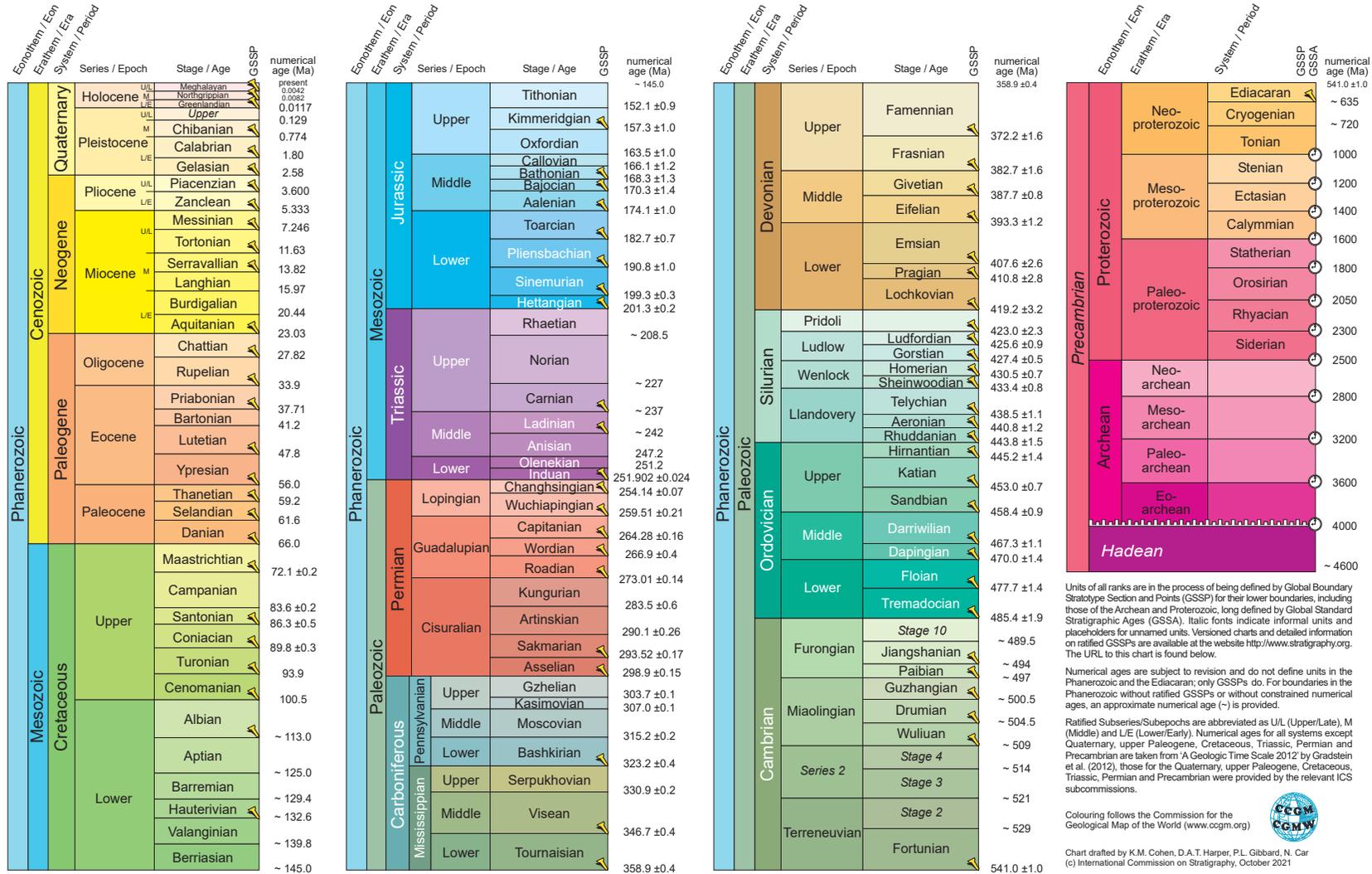
www.stratigraphy.org

International Commission on Stratigraphy

v 2021/10



Figure 15 : l'échelle chronostratigraphique (www.stratigraphy.org)



Units of all ranks are in the process of being defined by Global Boundary Stratotype Section and Points (GSSP) for their lower boundaries, including those of the Archean and Proterozoic, long defined by Global Standard Stratigraphic Ages (GSSA). Italic fonts indicate informal units and placeholders for unnamed units. Versioned charts and detailed information on ratified GSSPs are available at the website <http://www.stratigraphy.org>. The URL to this chart is found below.

Numerical ages are subject to revision and do not define units in the Phanerozoic and the Ediacaran; only GSSPs do. For boundaries in the Phanerozoic without ratified GSSPs or without constrained numerical ages, an approximate numerical age (~) is provided.

Ratified Subseries/Subepochs are abbreviated as U/L (Upper/Late), M (Middle) and L/E (Lower/Early). Numerical ages for all systems except Quaternary, upper Paleogene, Cretaceous, Triassic, Permian and Precambrian are taken from 'A Geologic Time Scale 2012' by Gradstein et al. (2012); those for the Quaternary, upper Paleogene, Cretaceous, Triassic, Permian and Precambrian were provided by the relevant ICS subcommittees.

Colouring follows the Commission for the Geological Map of the World (www.ccmw.org)



Chart drafted by K.M. Cohen, D.A.T. Harper, P.L. Gibbard, N. Car (c) International Commission on Stratigraphy, October 2021

To cite: Cohen, K.M., Finney, S.C., Gibbard, P.L. & Fan, J.-X. (2013; updated) The ICS International Chronostratigraphic Chart. Episodes 36: 199-204.

URL: <http://www.stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2021-10.pdf>

Figure 16 : Désintégration d'un élément radioactif dans un système fermé

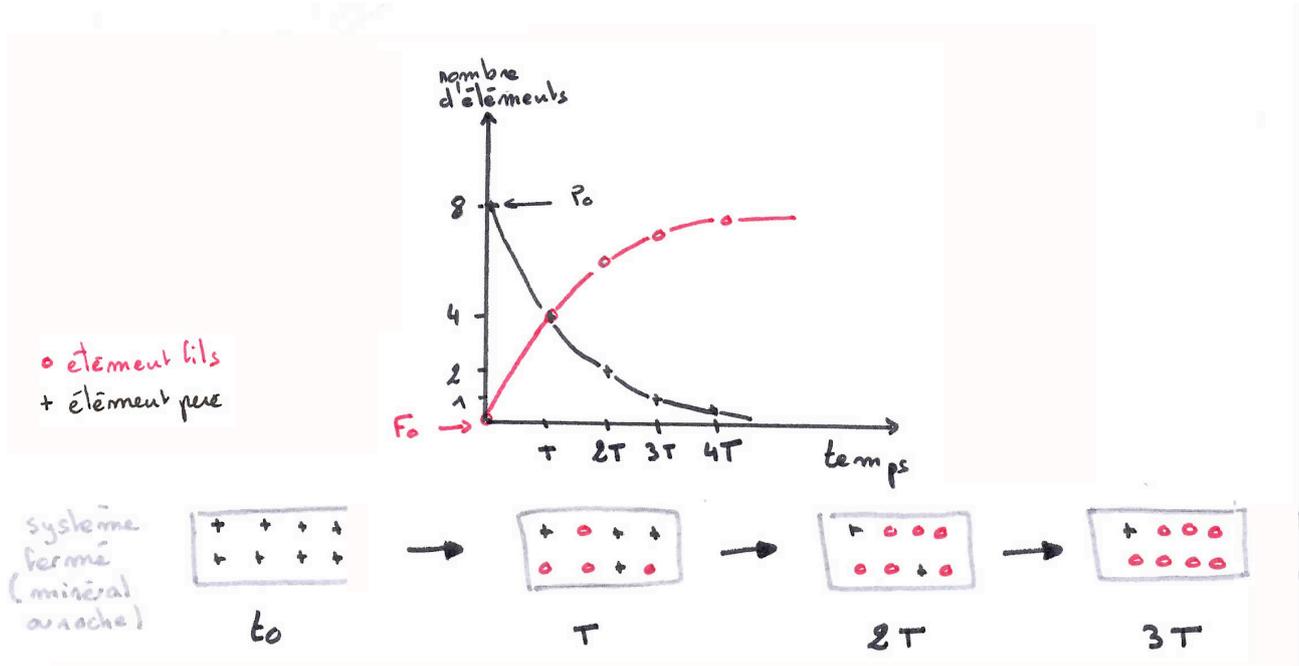


Figure 17 : Modèle de fonctionnement d'un spectromètre de masse.

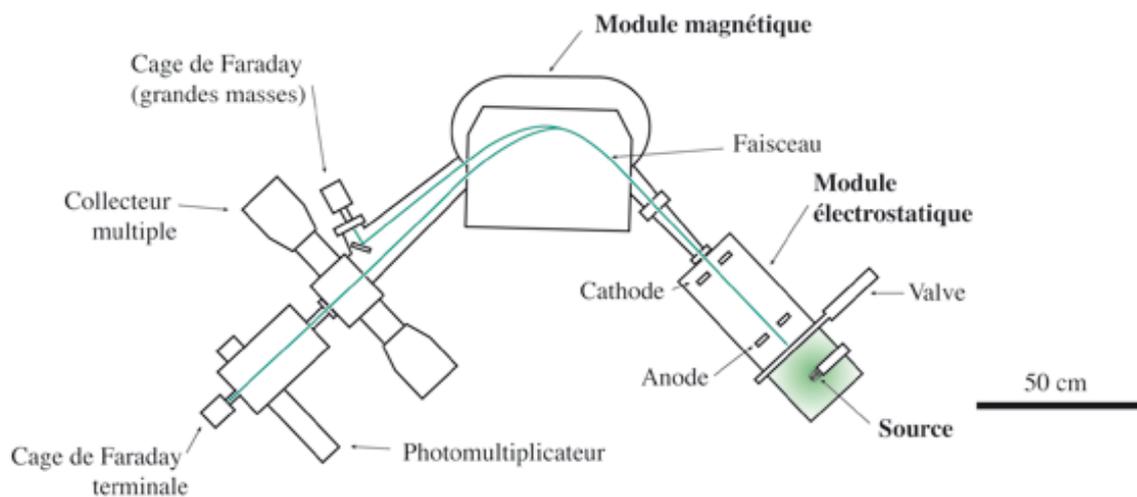


Schéma de principe d'un spectromètre de masse (modifié du VG Elemental plasma instrument)

Un spectromètre de masse se compose de 4 modules successifs :

- une source : un filament sur lequel est déposé le produit de la dissolution du ou des minéraux à dater. Son chauffage ionise et volatilise les isotopes à doser.
- un module électrostatique qui accélère les ions selon leur charge et leur masse. A charge égale, les ions les plus lourds ont la plus grande vitesse en sortie du module.
- un module magnétique qui dévie les ions selon leur vitesse. Les ions les plus lourds sont les moins déviés.
- un module d'analyse qui compte les abondances relatives des différents isotopes. Un standard de concentration connue peut être ajouté à l'échantillon pour convertir ces abondances relatives en concentrations.

Figure 18 : Température de fermeture de différents minéraux et pour différents chronomètres

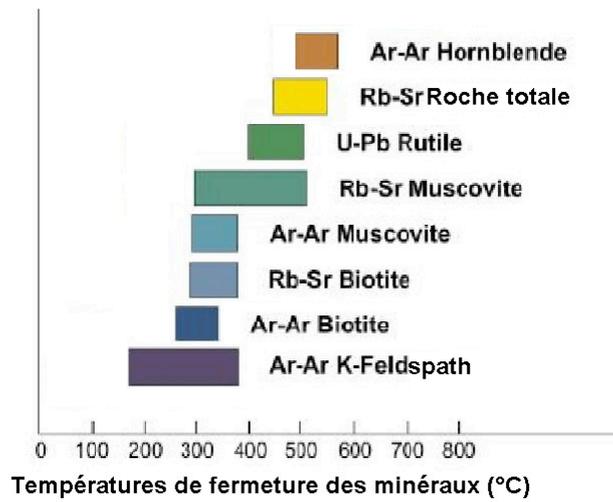
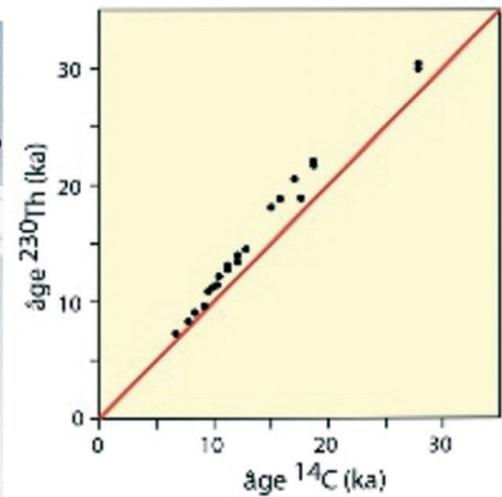
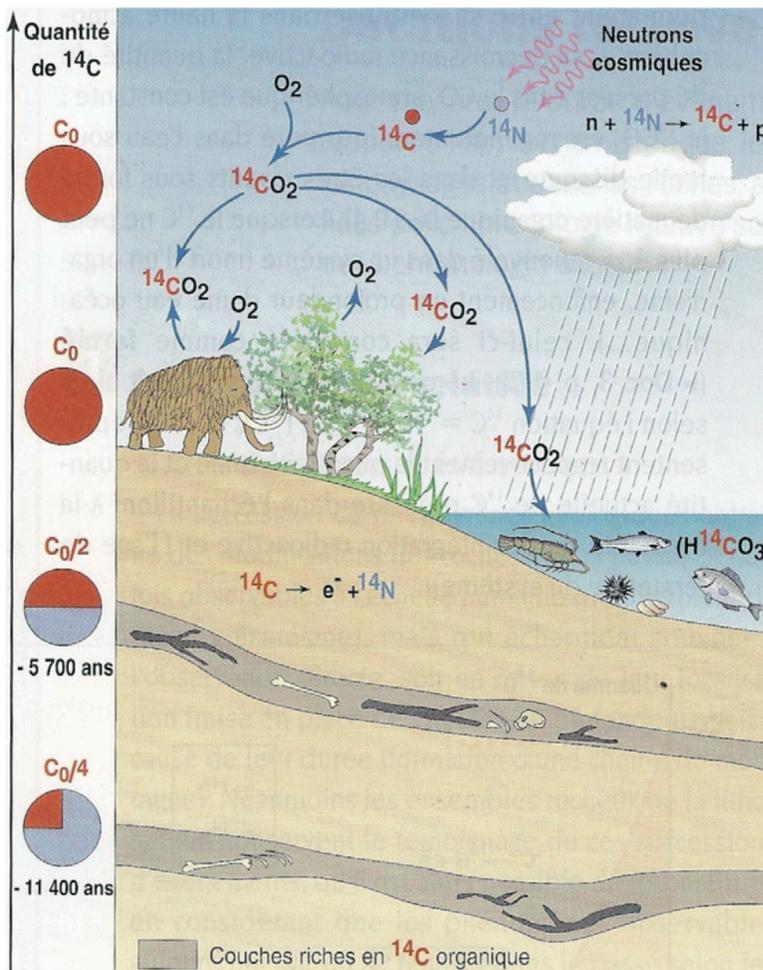


Figure 19 : Datation grâce au ¹⁴C



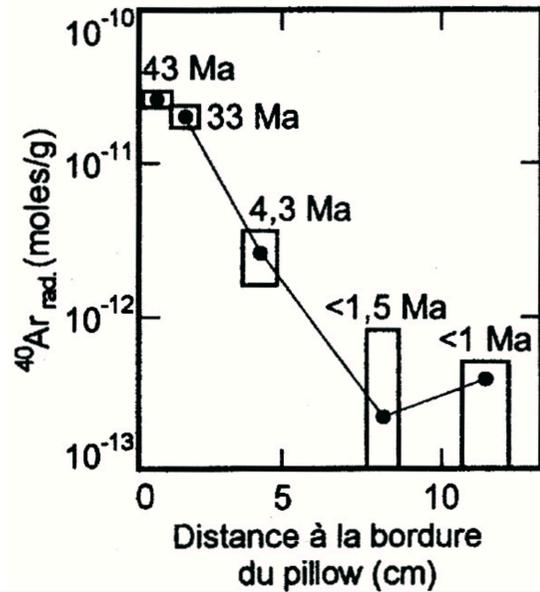
Calibration à partir d'une courbe d'étalonnage

Comparaison des âges ¹⁴C et U/Th des coraux de la Barbade → les âges ¹⁴C sont sous-estimés à partir de 8000 ans et doivent être vieillis

Fermeture du système ¹⁴C

Figure 20 : Datation par la méthode K/Ar

Sur la figure, sont reportées les données sur un pillow lava actuel. On y voit que les parties externes, qui ont été rapidement trempées, ont conservé davantage d'Ar hérités que les parties internes qui ont eu le temps de dégazer.



Exemple de rapports concordants (donnant le même âge) → âge de la cristallisation

Exemple de rapports discordants → perte en Pb par ré-ouverture du système → **DISCORDIA**

Figure 21 : Datation par la méthode U/Pb

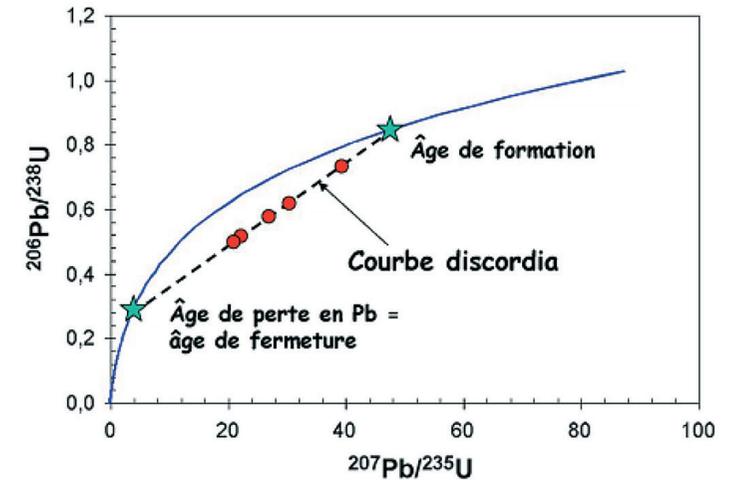
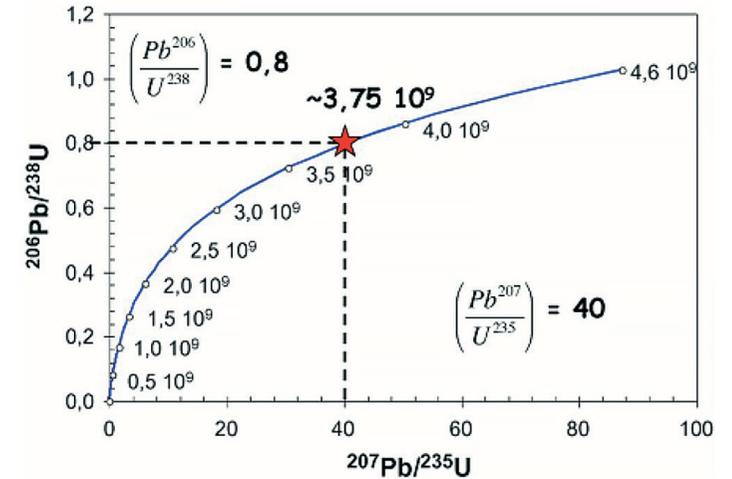


Figure 22 : Principales unités de l'échelle chronostratigraphique à connaître en BCPST (Denis, Le Bars et Geray, BCPST Marseille)

- ⌘ L'unité de base de l'échelle est l'**étage** correspondant à une durée appelée **âge**.
- ⌘ Plusieurs étages sont regroupés en **séries** correspondant à une durée appelée **époque**.
→ *Exemple* : le **Jurassique moyen**.
- ⌘ Plusieurs séries sont regroupées en **système** correspondant à une durée appelée **période**.
Un système est délimité par des discontinuités importantes correspondant souvent à des régressions de grande ampleur.
→ *Exemple* : le **Jurassique**, séparé du Crétacé par une régression qui a provoqué l'émersion de presque tout le territoire français.
- ⌘ Plusieurs systèmes sont regroupés en **érathème** correspondant à une durée appelée **ère**.
Un érathème est délimité par des crises.
→ *Exemple* : l'**ère mésozoïque**, délimité par la crise Permo-Trias (250 Ma) et la crise Crétacé-Paléogène (65 Ma).
- ⌘ **Les éonothèmes** sont les plus grands regroupements, la durée associée est l'**éon**.
→ *Exemple* : le **Phanérozoïque**.

Il y a 4 **ÉONS**, les 3 premiers regroupés sous le terme **précambrien**

- ⊛ **Hadéen** de 4,6 à 4 Ga : bombardement météoritique, aucune roche terrestre n'a cet âge (seuls des zircons isolés).
- ⊛ **Archéen** 4 à 2,5 Ga : Terre ultrachaud tectonique hyperactive de miniplaques
- ⊛ **Protéozoïque** de 2,5 Ga à 540 Ma : macrofossiles très rares (vie primitive)
- ⊛ **PHANÉROZOÏQUE** à partir de 540 Ma découpé en 3 **ères** selon les types de fossiles qu'on trouve dans les terrains :
 - ⊛ **Paléozoïque** (ancienne ère I) (Trilobites et Goniatites) divisé en **6 périodes** :
 - Cambrien - Ordovicien - Silurien - Dévonien (sortie des eaux) - Carbonifère (forêts de fougères arborescentes), Permien
 - « **Cambronne aurait, s'il eut été dévot, carbonisé son père** »
 - ⊛ **Mésozoïque** (ancienne ère II) (Cératites, Ammonites, Dinosaures non aviens, Globotruncanidés) divisé en **3 périodes**
 - Trias, Jurassique, Crétacé
 - ⊛ **Cénozoïque** (anciennes ères III + IV) (Globigérines) comprenant **3 périodes**
 - Paléogène, Néogène, Quaternaire (débutant à 2,5 Ma avec l'apparition du genre *Homo*).

Cependant pour le Cénozoïque, ce sont souvent les systèmes (séries) qui sont utilisées (notamment en cartographie).
Le Cénozoïque comprend 7 systèmes :
→ Paléocène, Eocène, Oligocène, Miocène, Pliocène, Pleistocène, Holocène (débutant au dernier maximum glaciaire (Wurm) il y a 11.700 ans).

« La **pâle Eowin** oblige **Merry** et **Pipin** à **picoler hard** »

BILAN : Les principes de datation relative associés à l'étude du contenu des strates ont permis de proposer une datation relative des couches sédimentaires.
L'échelle chronostratigraphique présente une corrélation de cette datation relative à des âges absolus obtenus par des méthodes de radiochronologie.

