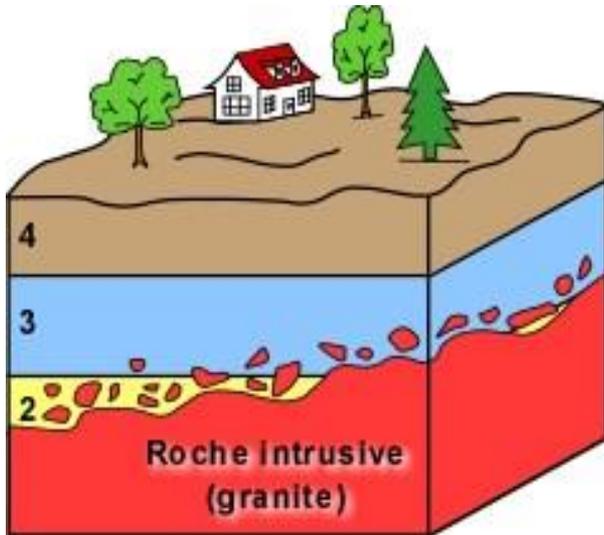


On reconnaît deux principaux types de discordances : la **discordance d'érosion** et la **discordance angulaire**.

### a) La discordance d'érosion



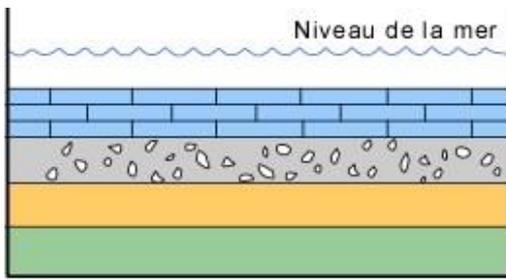
On a ici un contact irrégulier (discordant) entre une masse intrusive (le granite) et une couche sédimentaire. Normalement, on serait enclin à conclure que l'intrusion est plus jeune que la couche 2 puisqu'elle la recoupe. Mais la couche 2 contient des fragments du granite et n'a pas été métamorphisée par le batholite (absence d'auréole de métamorphisme de contact). On doit par conséquent conclure que le granite est plus ancien que la couche 2 et bien évidemment que les couches 3 et 4 qui recouvrent 2 en concordance.

**Chronologie** : Après sa mise en place de façon intrusive, le granite est remonté jusqu'à la surface par isostasie puis a été érodé. Les fragments de granite issus de son érosion ont été ensuite incorporés dans les sédiments des couches 2 et 3 transgressives sur le massif. L'intrusion est donc plus ancienne que les couches sédimentaires.

<http://www2.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/s4/datations.relatives.html>

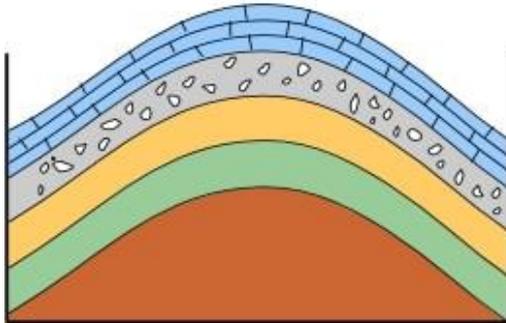
Cette surface irrégulière entre la roche plutonique et la roche sédimentaire 2 est une **discordance d'érosion**.

Important à retenir ! Cette discordance d'érosion **représente du temps géologique** où non seulement il n'y a pas eu de dépôt mais où il y a eu aussi érosion de la roche intrusive.



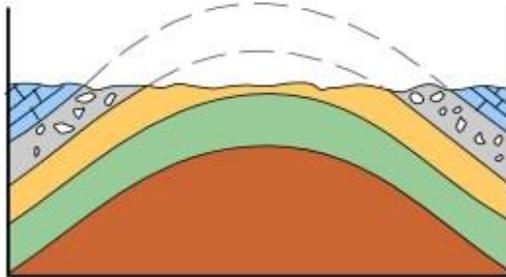
### Dépôt

Les couches sédimentaires se déposent à l'horizontale.



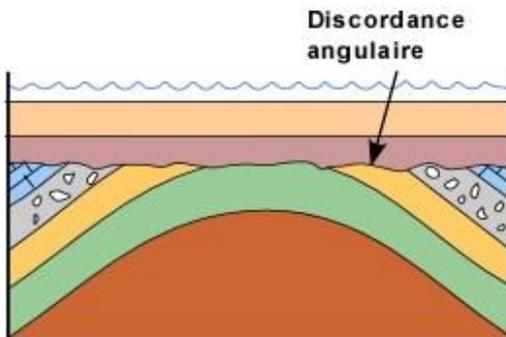
### Plissement et soulèvement

Lors d'une orogénèse, les forces tectoniques de compression plissent les couches originellement horizontales. La mer se retire (régression) et la sédimentation marine s'arrête.



### Érosion

Les couches plissées, maintenant à l'air libre, sont érodées et les reliefs aplanis.



### Nouveaux dépôts ⇒ discordance angulaire et transgression

Si la mer envahit de nouveau la région (transgression), de nouvelles couches sédimentaires se déposent au fond de l'eau en position horizontale. Il en résulte une relation d'angularité entre ces dépôts marins et leur substratum. La surface d'érosion qui sépare les deux ensembles est une discordance angulaire.

## b) La discordance angulaire



Discordance angulaire de la Pointe du Payré (85) - La surface de discordance est plane.



Grès rouges du Dévonien  
(strates peu pentées)

Grauwackes du Silurien  
(strates verticalisées)

Discordance angulaire de Siccar Point (Ecosse) – Cliché Dave Souza



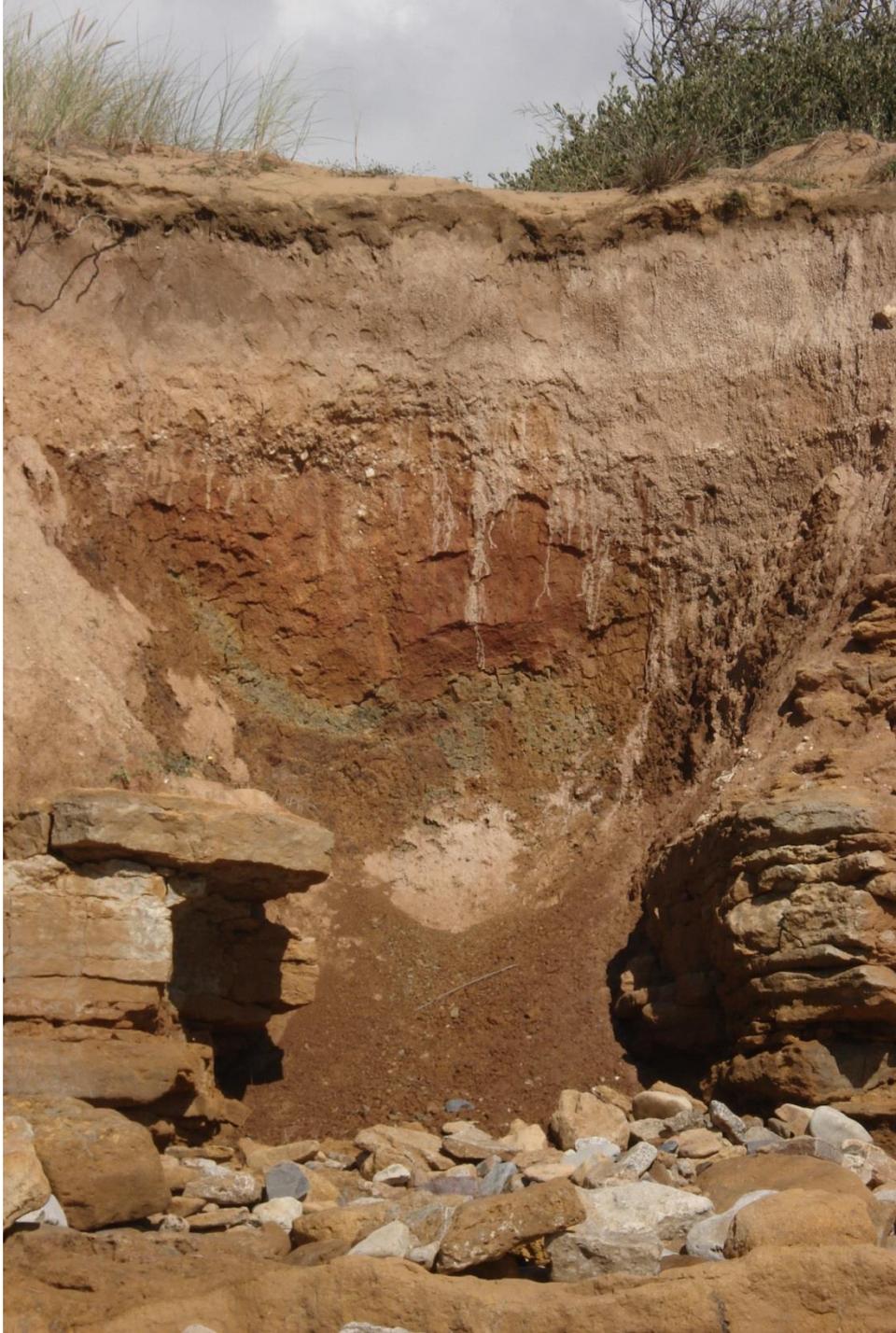
Discordance angulaire entre « ruffes » permienes et coulée basaltique quaternaire (Hérault)



**Discordance Quaternaire - Jurassique  
inférieur (Hettengien)  
Anse de la République – Les Bourries  
(85)**

Selon Bocquier (1935) et Ters (1953), des coulées de solifluxion würmiennes auraient rempli lors du dernier interglaciaire des marmites de géant formées à la surface d'une plate-forme marine hettangienne constituée ici de strates de calcaire jaune dit « Nankin ».

On parle parfois d'une discordance de ravinement.



**Détail de la discordance de ravinement**



## **Carrière de falun des Perrières Doué-la-Fontaine (49)**

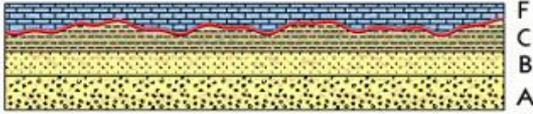
### **Stratification entrecroisée**

Les lits sécants sont postérieurs aux lits coupés.

Ces discordances angulaires sont liées d'une part au régime de transgressions et de régressions et d'autre part aux variations de la courantologie dans la « mer des faluns ».

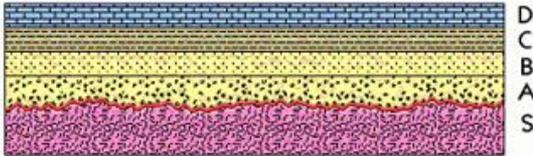
## Types de contacts discordants

### - discordance simple



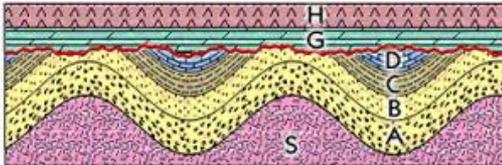
Une séquence sédimentaire transgressive continue (A à C et peut-être D et E), soulèvement, régression. Érosion complète de D-E. (disparition des couches), érosion partielle de C. Transgression et sédimentation de F. Le contact entre C et F est discordant, c'est une surface de discordance.

### - discordance sur le socle (discordance majeure)



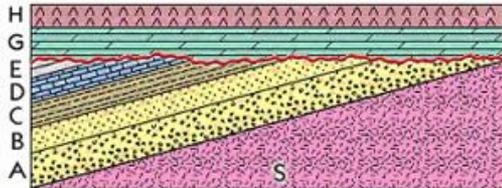
Soulèvement d'un socle (S), érosion longue, transgression et sédimentation d'une séquence sédimentaire (A à D). Le contact entre S et A est discordant, c'est une surface de discordance.

### - discordance angulaire sur structure plissée



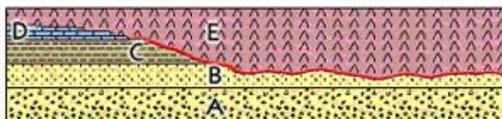
Une séquence sédimentaire transgressive continue (A à D et peut-être E et F) sur un socle (S), plissement, soulèvement, érosion, transgression et sédimentation de H et G. Le contact entre G et les autres couches est une discordance angulaire.

### - discordance angulaire sur structure monoclinale



Une séquence sédimentaire transgressive continue (A à E et peut-être F) sur un socle (S), basculement, soulèvement, érosion, transgression et sédimentation de G et H. Le contact entre G et les autres couches est une discordance angulaire.

### - lacune d'érosion locale



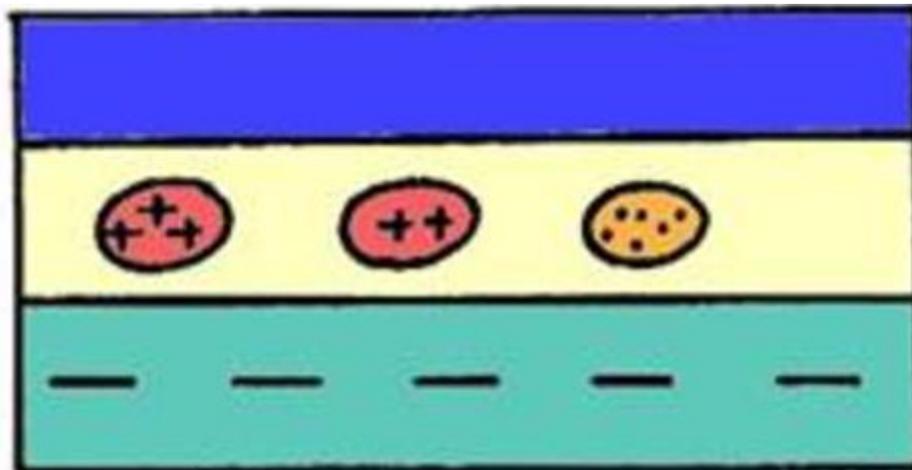
Une séquence sédimentaire transgressive continue (A à D), érosion puis sédimentation de E. Le contact entre la couche E et les couches B, C, D est une lacune d'érosion (non une discordance) puisque les couches n'ont disparu que localement lors d'une période d'érosion de durée restreinte (sans soulèvement ni régression).



# Important à retenir !

**Une discordance représente toujours du temps, beaucoup de temps !**

# C- Principe d'inclusion



**Le principe d'inclusion postule qu'un objet inclus dans un autre est plus ancien que lui.**



Insectes piégés dans de l'ambre

a) Conglomérats (Poudingues et brèches)



Poudingue – Nappe de Champcella (Hautes-Alpes)



Brèches de la base du Trias – Environs de Lodève (Hérault)



Blocs de brèches – Base du Trias – Environs de Lodève (Hérault)



« Poudingue de Cesson » - Grève des Courses – Langueux (22)



Fragments de quartz et de schistes dans le conglomérat de base dit « Nougat »  
du Lias inférieur - Anse St Nicolas - Jard/mer



Galets de quartz dans le Poudingue de la Butte aux Moulins - Mouilleron-en-Pareds (85)

## b) Inclusions magmatiques



Inclusion de péridotite à spinelle dans du basalte (Hérault)



Inclusion de péridotite à spinelle dans du basalte (Hérault)



Enclaves de gabbro dans du granite rose - La Grève rose – Trébeurden (22)

c) Inclusions sédimentaires dans des roches magmatiques



**Enclave sédimentaire sombre dans du  
granite rose type La Clarté  
Port de Trozoul – Le Castel  
Trébeurden (22)**

Les enclaves apparaissent nettement litées (alternance millimétrique de lits arkosiques clairs et de lits grauwakeux sombres), ce qui traduit une origine sédimentaire.

Elles sont incluses dans le granite rose à gros grain type La Clarté d'âge Carbonifère.

Elles sont donc antérieures à la mise en place de ce granite.



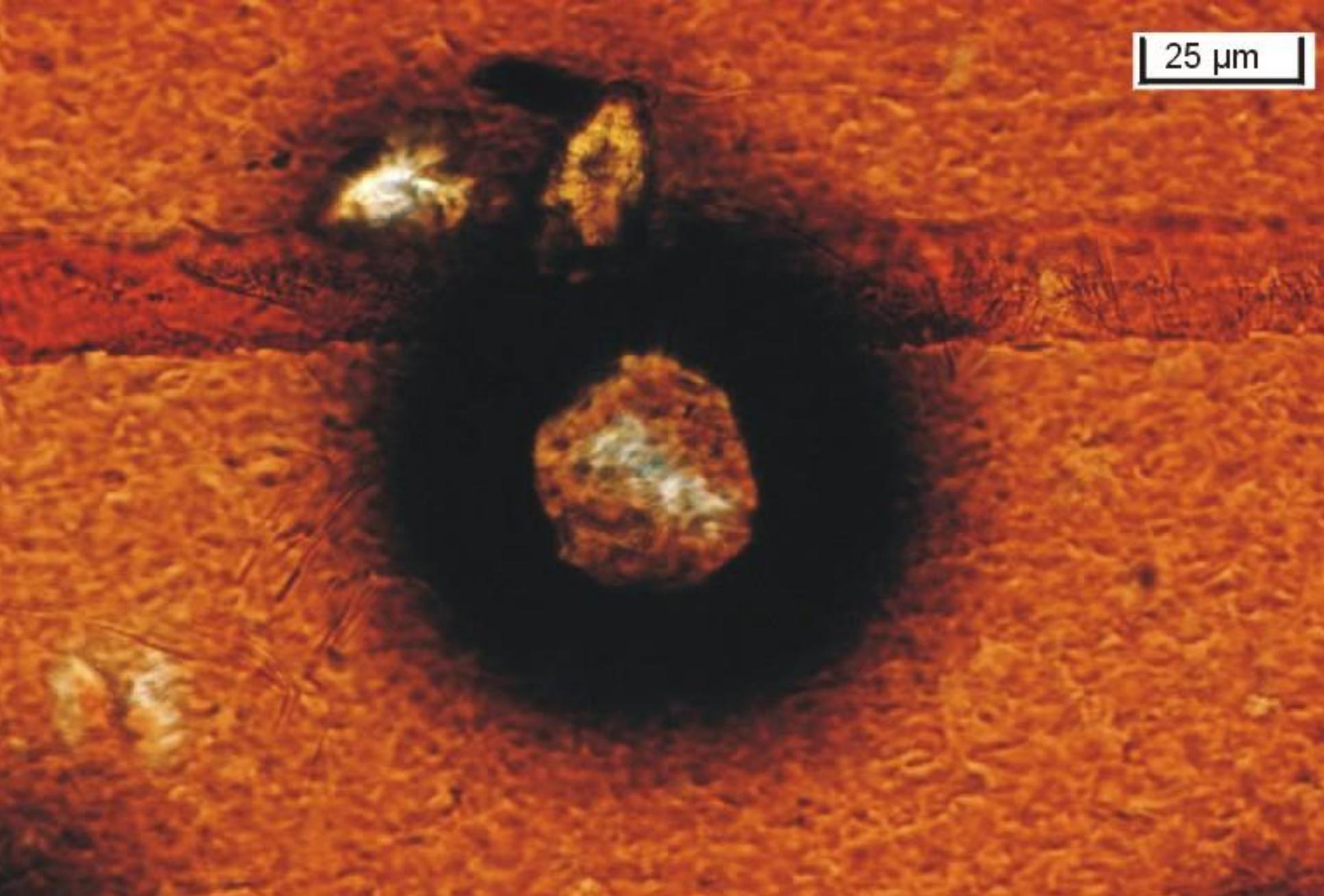
Vue détaillée d'une enclave sédimentaire dans le granite rose de Trébeurden

d) Inclusions à l'échelle des minéraux



Inclusions de zircon dans un cristal de biotite

25  $\mu\text{m}$



Détail d'un zircon – L'uranium contenu dans le zircon a endommagé le réseau cristallin de la biotite.

e) Cas particulier du Principe d'inclusion :  
les couronnes réactionnelles



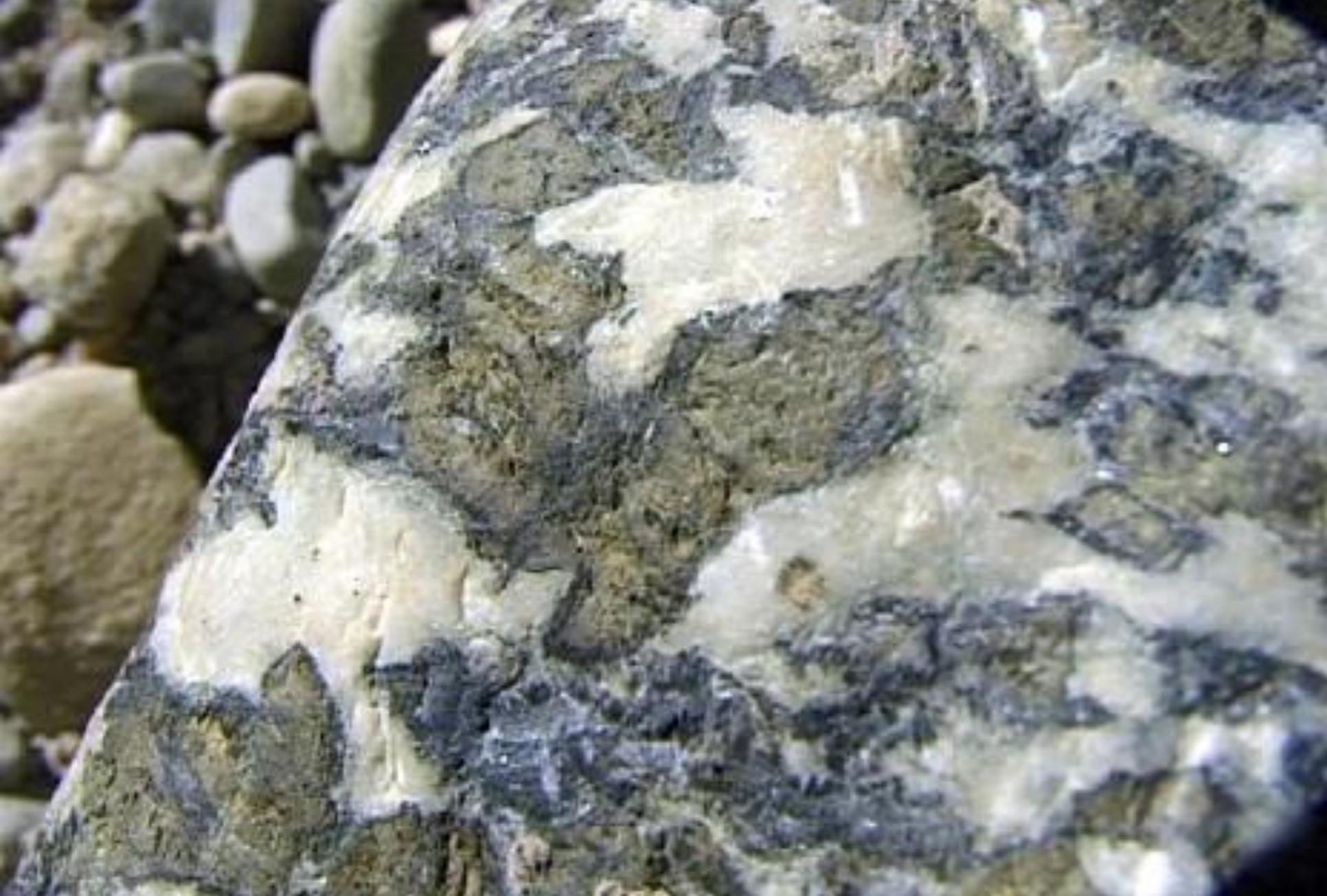
Gabbro non ou peu altéré du Chenaillet (Hautes-Alpes)



Méta-gabbro à hornblende – Présence d'une auréole de hornblende verte autour du pyroxène noir-brun, entre pyroxène et plagioclase blanc



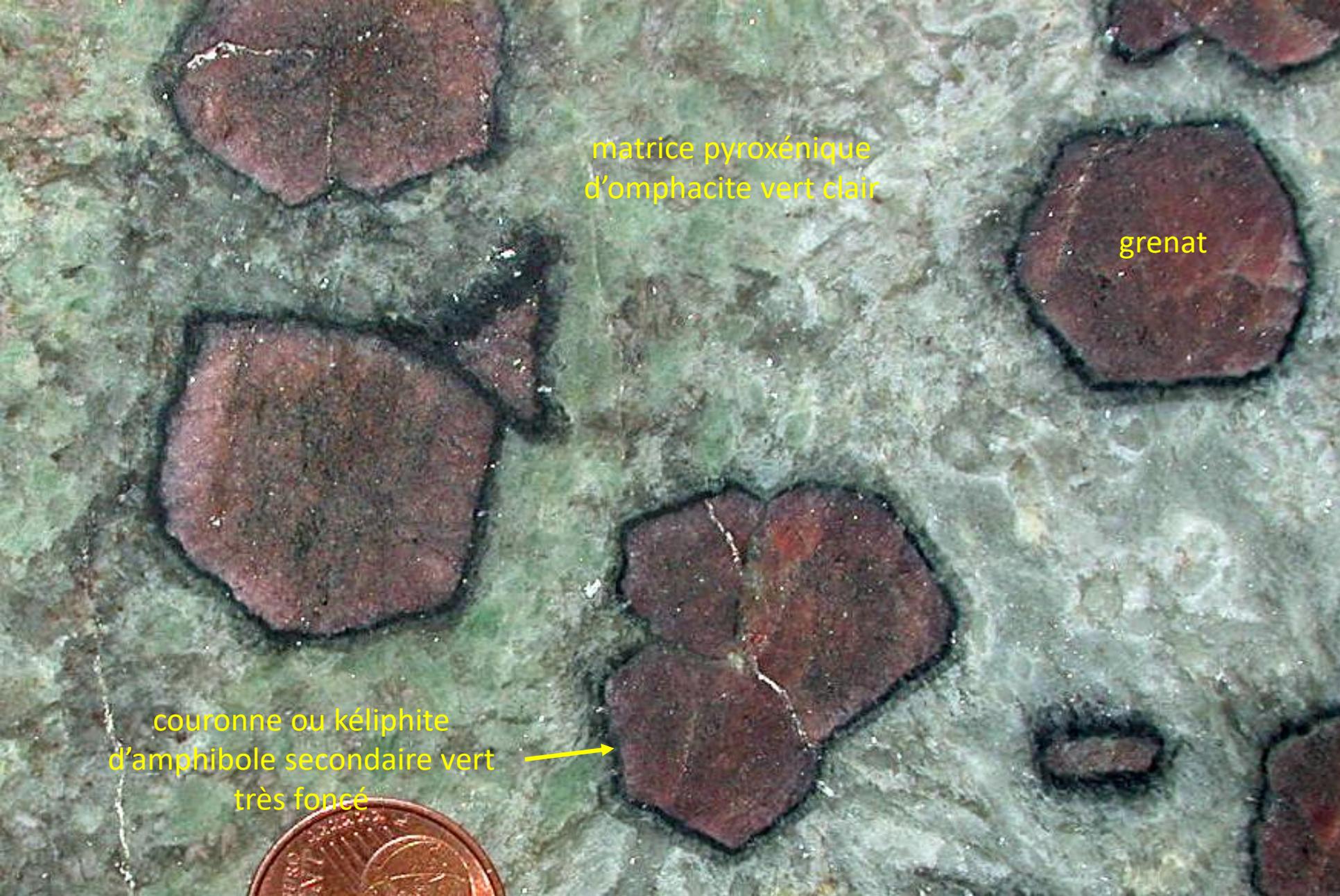
Méta-gabbro à glaucophane – Présence d'une auréole de glaucophane bleue autour du clinopyroxène (couleur bronze), entre pyroxène et plagioclase blanc



Détail de la diapositive précédente



« Ocelles » de quartz – Présence d'une auréole réactionnelle noire de pyroxène  
Baie Sainte-Anne – Trégastel (22)



matrice pyroxénique  
d'omphacite vert clair

grenat

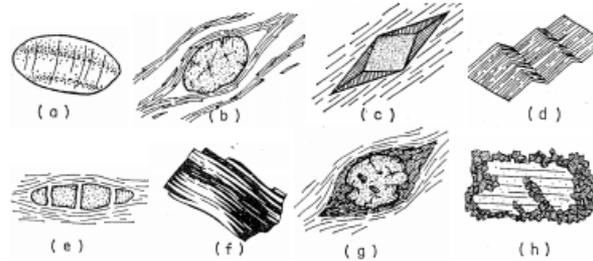
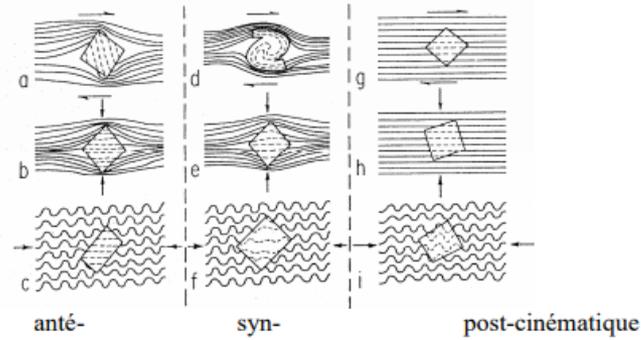
couronne ou kéliphite  
d'amphibole secondaire vert  
très foncé →

Auréole réactionnelle d'amphibole entre le grenat et le pyroxène  
La Compointerie – Saint-Philbert-de-Grand-Lieu (44)

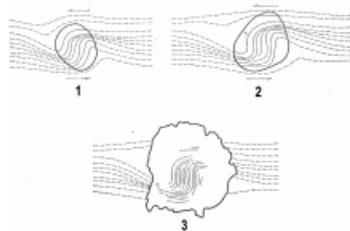
f) Minéraux anté-, syn- ou postcinématiques

# GEOMETRIE ET DETERMINATION DES MINERAUX

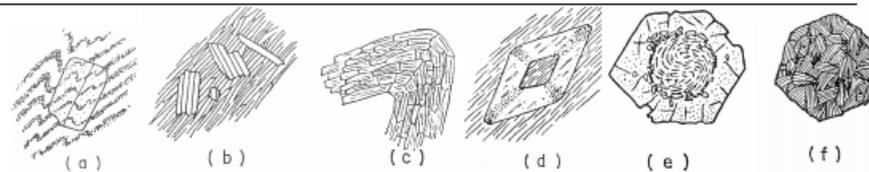
## ANTE- SYN- ET POST- CINEMATIQUE



Exemples de minéraux anté-cinématiques.



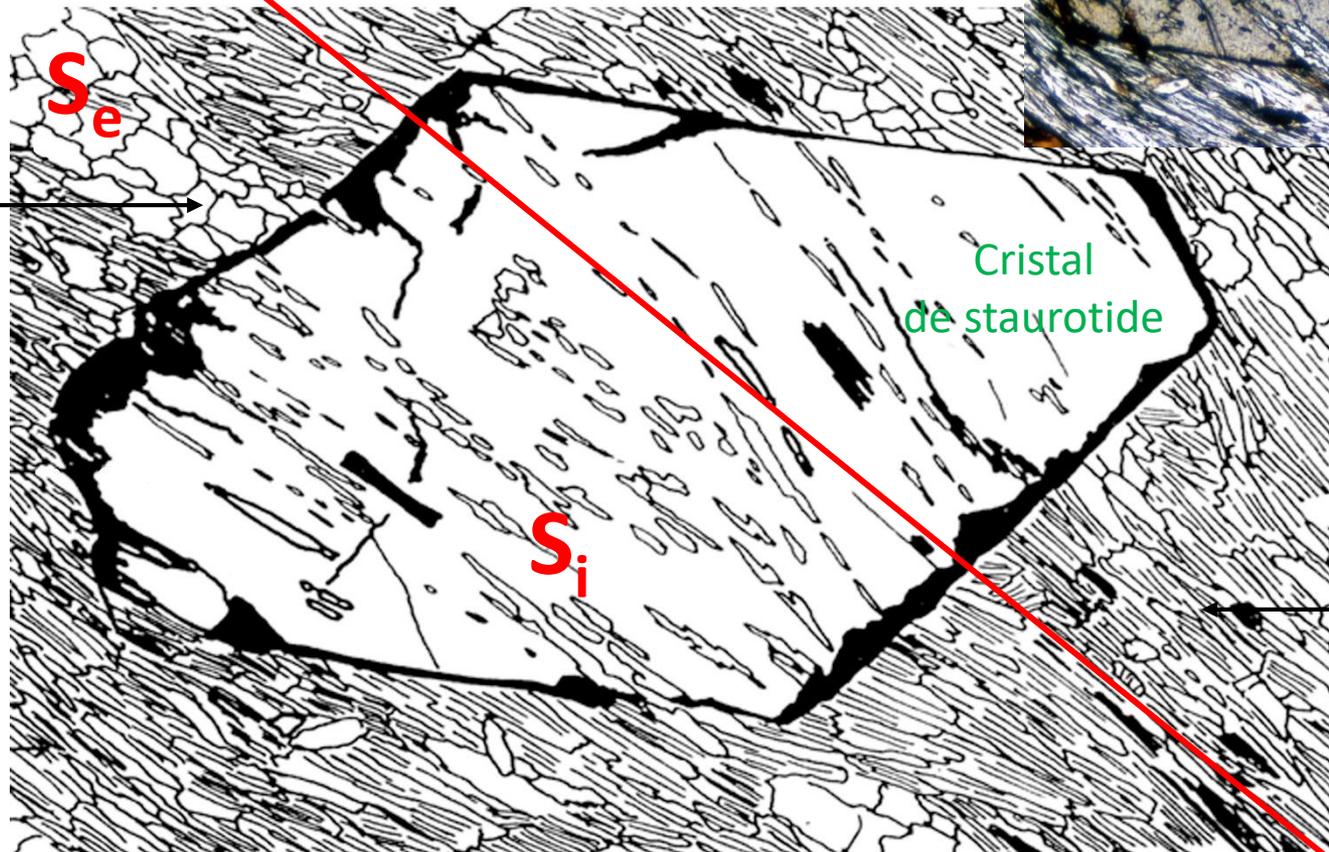
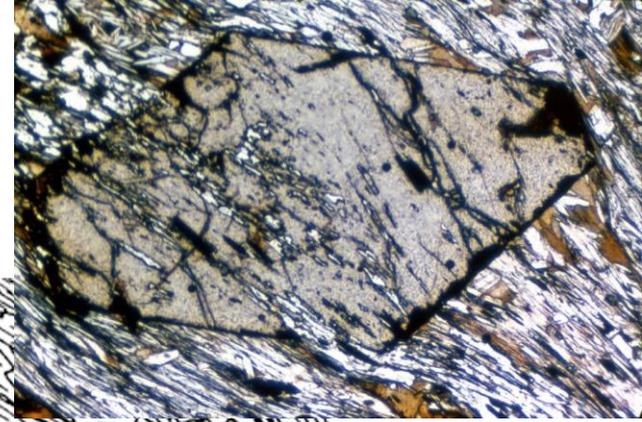
Formation d'un grenat hélicitique syn-cinématique



Exemples de minéraux post-cinématiques

☐ Minéraux post-cinématiques

Le plan de la schistosité externe est matérialisé par les alternances de lits millimétriques de quartz et de phyllites (mica)



$S_e$

Cristal de staurotide

$S_i$

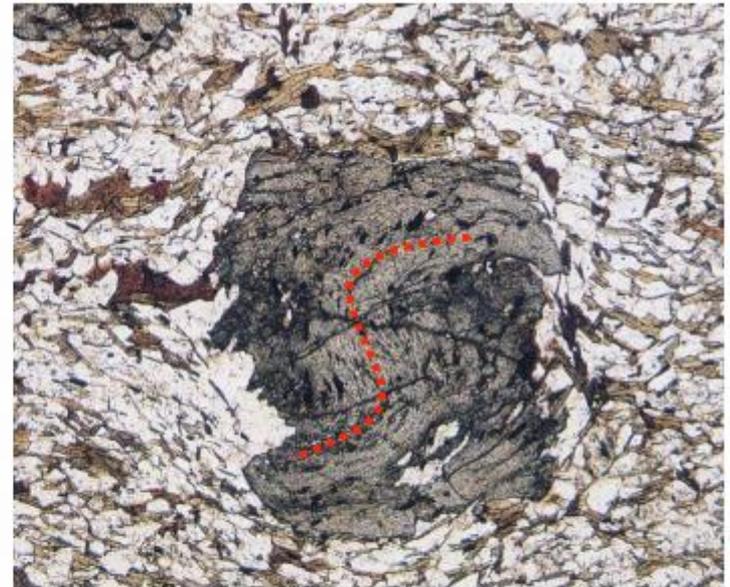
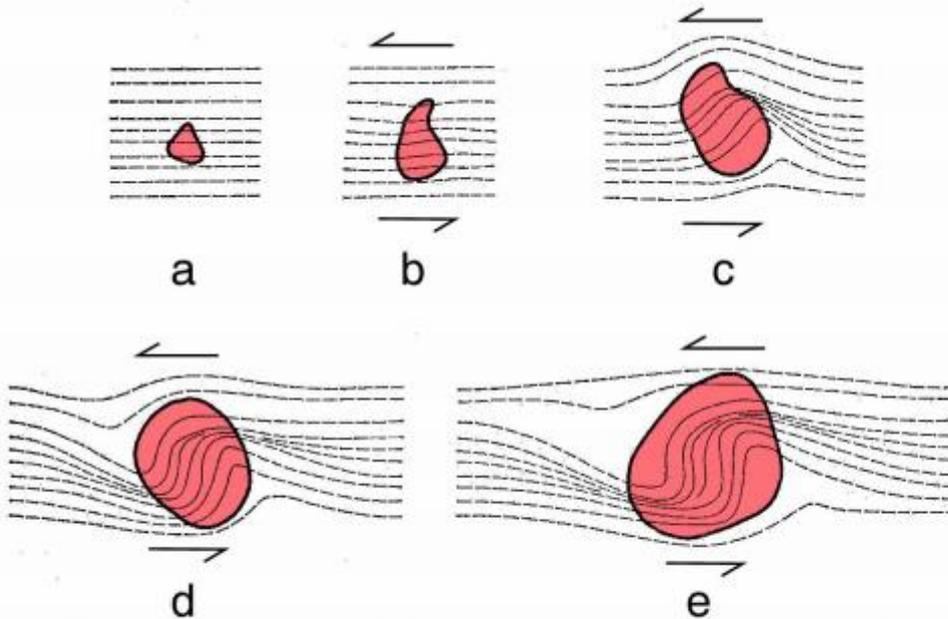
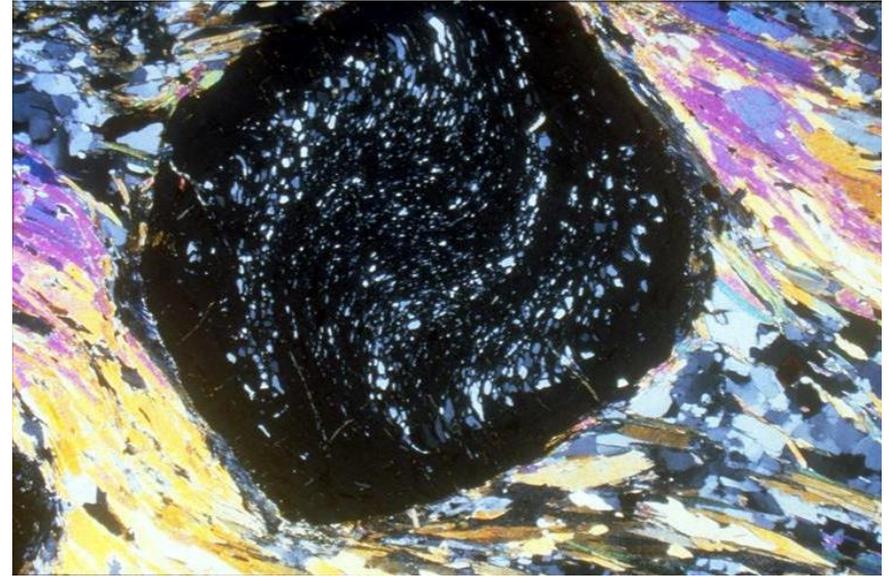
lit de quartz

lit de phyllites

$S_e$  (schistosité externe) et  $S_i$  (schistosité interne) sont en continuité, dans le prolongement l'une de l'autre.

Lame mince d'un micaschiste à staurotide

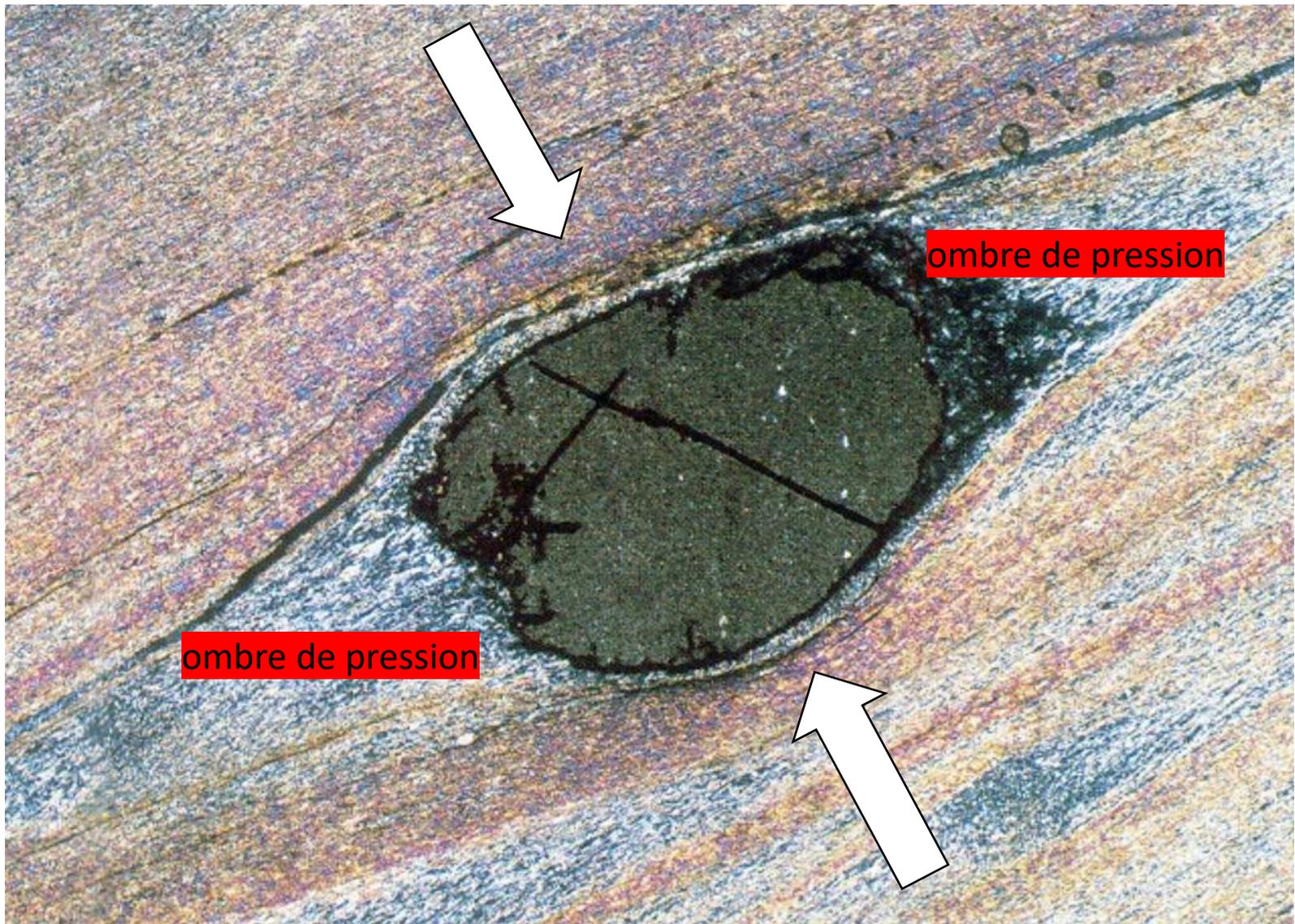
□ Minéraux syn-cinématiques



**Evolution de la forme d'un minéral et de la schistosité lors d'un cisaillement senestre**

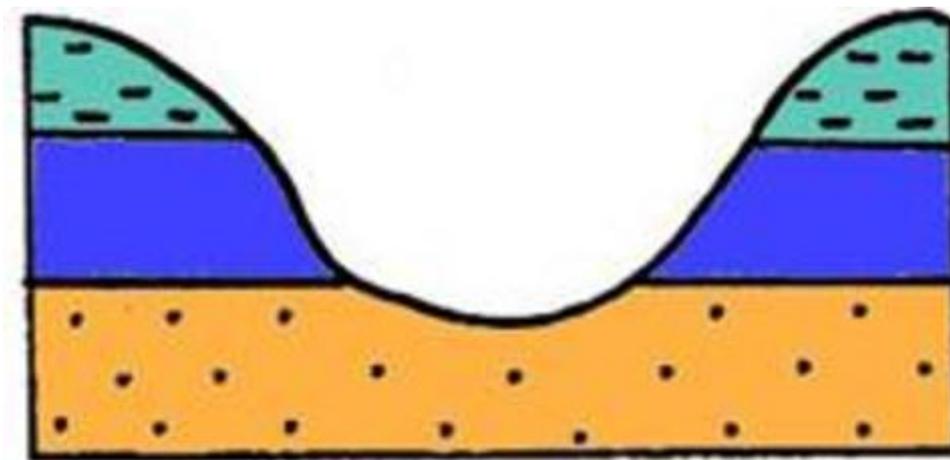
**Grenat hélicitique syn-dynamique**

☐ Minéraux anté-cinématiques



Lame mince d'un micaschiste à grenat

## D- Principe de continuité



**Le principe de continuité stipule que, si deux couches séparées dans l'espace (discontinuités d'affleurement), sont limitées par les mêmes couches à la base et au sommet, elles sont de même âge.**

a) Caractérisation de la continuité latérale :  
Observation de panoramas

Les corrélations banc par banc sont exceptionnelles.

Mais dans les régions désertiques, fortement entaillées par l'érosion, le principe de corrélation latérale peut être facilement appliqué.



**Paysage de Mauritanie** – La structure étant tabulaire dans toute la région, on peut conclure de façon quasi-certaine à la continuité de la barre supérieure sombre qui chapote les deux plateaux.



Paysage du canyon du Colorado



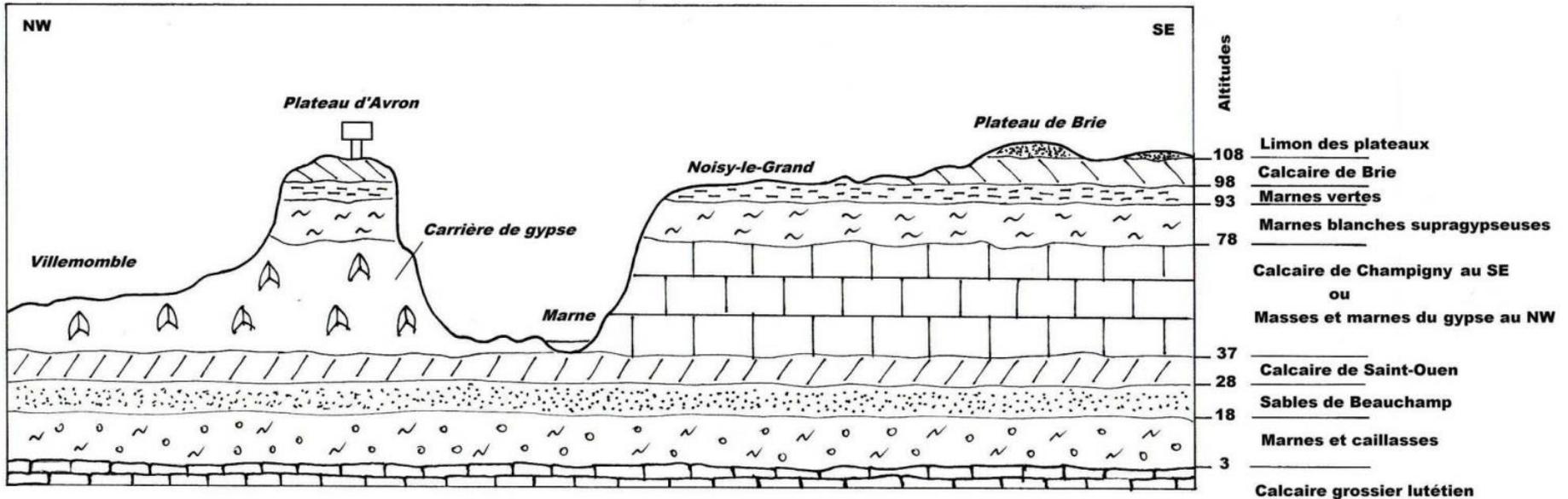
Paysage du canyon du Colorado



Falaise de craie et de silex – Etretat (Manneporte)

**b ) Corrélations à distance et Passage latéral de faciès**

## Un exemple de corrélation à distance par encadrement



2013 L. Cella, d'après carte géologique et notice Lagny.

Lors du creusement du tunnel de Chalifert, on a pu observer directement le synchronisme du gypse et du calcaire de Champigny-sur-Marne : les deux couches sont en continuité et passent de l'une à l'autre par des indentations.

**Coupe des plateaux de la vallée de la Marne montrant le passage du gypse au Nord-Ouest au calcaire de Champigny au Sud-Est**

## Comment expliquer alors cette variation latérale de faciès au Priabonien (ex-Ludien – Eocène supérieur)?

Elle s'explique par une variation du niveau marin, de la position de la ligne de rivage.

Au Priabonien inférieur, la mer s'avance et forme un golfe : le golfe « ludien » qui dépasse la vallée de la Seine entre Nogent-sur-Seine et Montereau. Mais cette mer, étendue et peu profonde, régresse bien vite au Priabonien moyen.

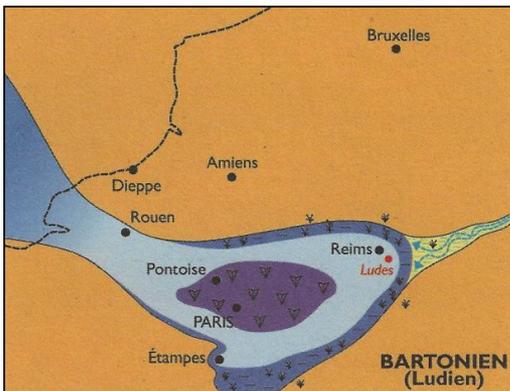
Au Sud de la Marne, entre Paris et Montereau, de grands lacs se forment et engendrent le Calcaire de Champigny à fossiles d'eau douce (faciès continentaux) ; au Nord de la Marne, entre Creil et Paris, subsistent des lagunes, tantôt ouvertes sur le golfe marin qui y apportent des marnes parfois fossilifères, tantôt fermées et là, sous un climat assez chaud et sec, l'évaporation engendre les masses de gypse (faciès saumâtres).

### Remarque :

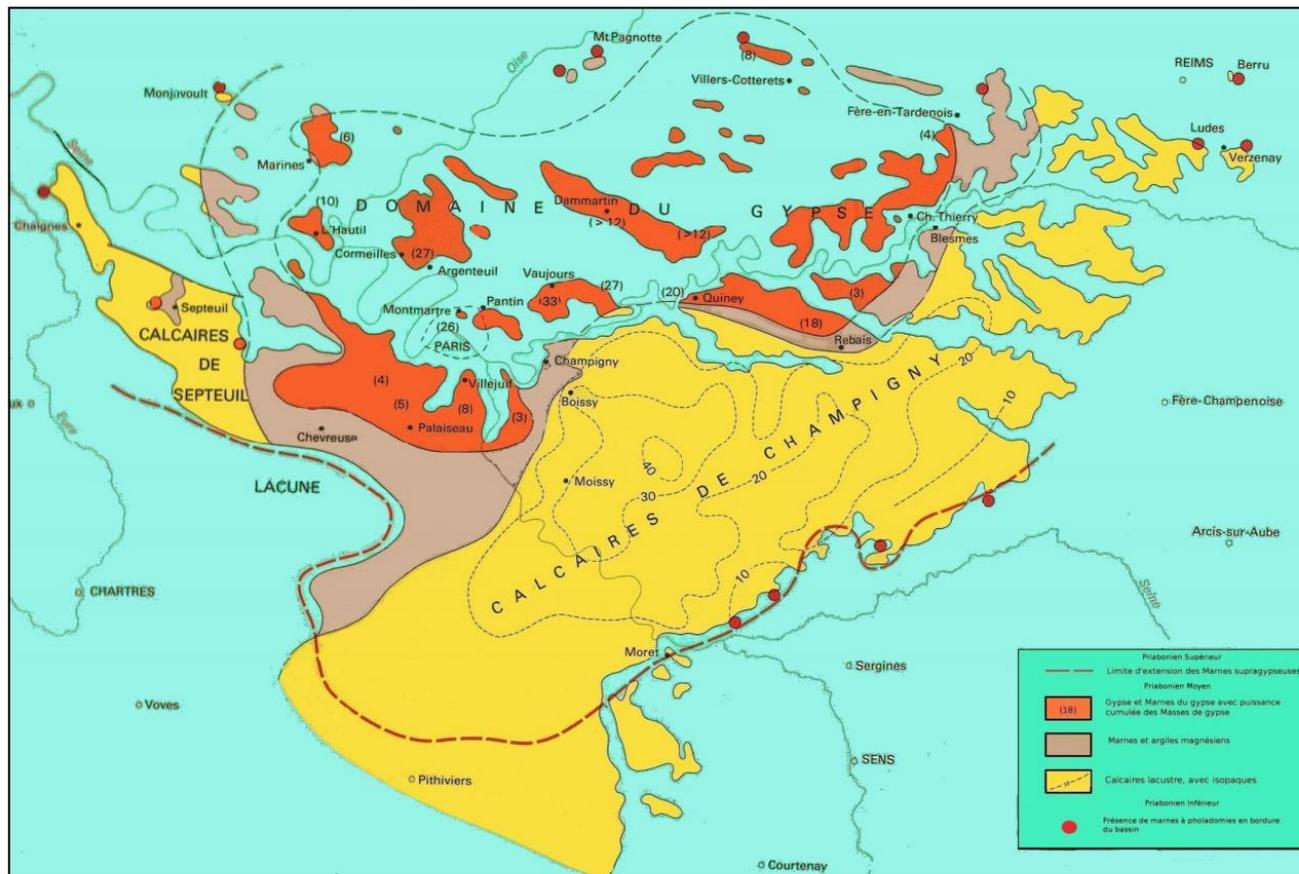
Le gypse est une roche saline, une évaporite de formule  $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ . C'est donc un sulfate.

L'analyse isotopique du soufre ( $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ ) des gypses priaboniens a montré que leur composition est éloignée de celle du sulfate océanique de l'ère Tertiaire et beaucoup plus compatible avec celle du sulfate de l'époque Permo-Triasique, ce qui est un argument en faveur d'un recyclage des séries permotriasiques salifères présentes à l'Est du bassin de Paris (Keuper des Vosges et de Lorraine).

**NB :** C'est dans ces lagunes que se sont enlisés ou sont arrivés sous forme de cadavres charriés par les rivières de nombreux Mammifères (*Palaeotherium*, *Xiphodon*, *Anoplotherium*...) qui ont fait la gloire de CUVIER (1769-1832) et de la Paléontologie naissante.



Extension des mers et terres au cours du Priabonien (Ludien) dans le bassin de Paris.



Distribution du faciès du Priabonien (Ludien) autour de Paris.

[http://jubilotheque.upmc.fr/fonds-geolreg/GR\\_000408\\_001/document.pdf?name=GR\\_000408\\_001.pdf](http://jubilotheque.upmc.fr/fonds-geolreg/GR_000408_001/document.pdf?name=GR_000408_001.pdf)

<http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k4086098/f785.image.r=stanislas%20meunier%20ecole%20d'agriculture%20champigny.langFR>

Le Principe de continuité peut s'appuyer dans un premier temps uniquement sur la nature lithologique des couches.

L'exemple précédent montre qu'il est facile de synchroniser, de corrélérer à l'échelle locale les couches de marnes vertes et blanches, discontinues, par leur couleur.

Mais il montre aussi que du calcaire (le calcaire de Champigny) peut passer latéralement à du gypse du fait de la paléogéographie, à cause d'une petite variation du niveau marin !

A une échelle régionale, il est donc facile d'imaginer que des variations latérales de faciès peuvent être très fréquentes.

Et à l'échelle du pays, le Principe de continuité basé uniquement sur des critères lithologiques peut même devenir complètement faux :

- ainsi, le calcaire Nankin d'Aurignac d'âge fini-Crétacé (diapo 42) n'est pas du tout contemporain du calcaire Nankin de Jard-sur-Mer d'âge Hettangien (début du Jurassique) !

- et dans le même ordre d'idée, le Priabonien du Bassin Parisien à calcaire et masses gypseuses n'a rien à voir par exemple avec le Priabonien des Alpes constitué par le Flysch des Aiguilles d'Arves au Col du Lautaret (diapo 103).



Le Principe de continuité basé uniquement sur la nature lithologique des couches doit être réfuté.

**Des couches de même âge (= isochrones) peuvent présenter des faciès différents tout simplement parce qu'elles se sont formées dans des paléoenvironnements différents.**

**Inversement, des couches de même faciès ne sont pas obligatoirement de même âge ! Elles sont alors hétérochrones ou diachrones.**

**Il faut donc se méfier !**

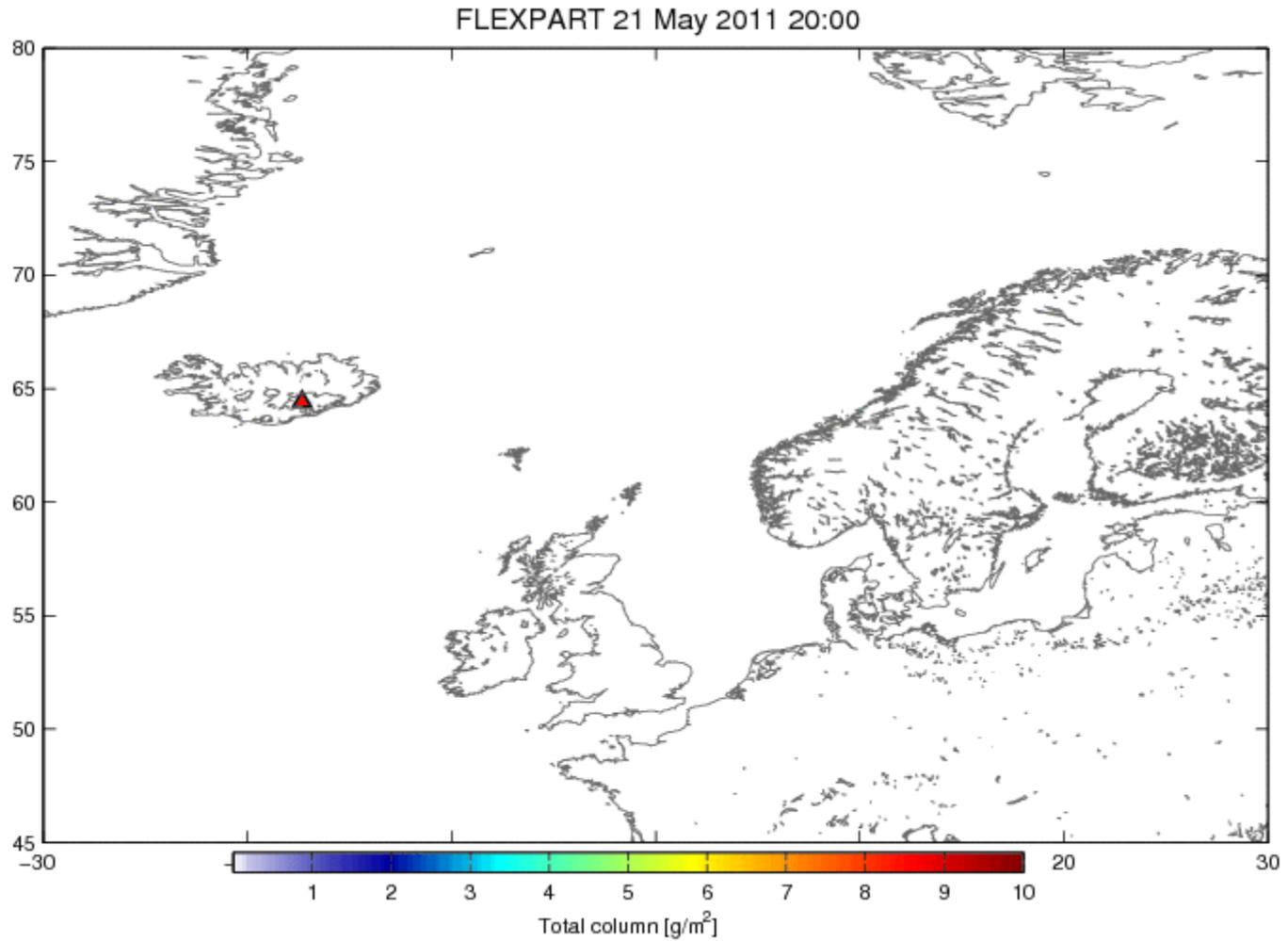
## c ) Corrélations à l'échelle mondiale : la Stratigraphie événementielle

- éruptions volcaniques (niveaux de cendres volcaniques)
- impacts météoritiques (couches à Iridium)



<https://www.youtube.com/watch?v=PAsVhIDVdJ0>

# Eruption du Grimsvötn (volcan islandais) – Mai 2011



# Rappels

En étudiant la carte d'Aurignac, on ne s'est intéressé dans un premier temps qu'à la nature des roches, leur lithofaciès et aux relations géométriques des couches ou des formations entre elles.

On a fait de la **lithostratigraphie**. La **lithostratigraphie** est l'étude des empilements sédimentaires d'un point de vue géométrique et pétrographique.

Et on a pu établir une première chronologie : une **chronologie lithostratigraphique** ou **lithochronologie**.

Mais les roches, essentiellement les roches sédimentaires qui se sont formées dans l'eau et éventuellement des roches de faible métamorphisme, peuvent renfermer des fossiles.

Et l'évolution nous a appris depuis DARWIN que les espèces animales et végétales se sont succédées à la surface de la Terre de façon progressive et irréversible.

**On peut donc également utiliser les fossiles pour dater relativement des couches et établir des corrélations à distance.**

C'est ce qu'on a fait dans un deuxième temps à Aurignac.

On a fait alors de la **biostratigraphie**. La **biostratigraphie** est l'étude des empilements sédimentaires du point de vue de leur contenu paléontologique.

Et on a pu préciser la lithochronologie précédente par une seconde chronologie : une **chronologie biostratigraphique** ou **biochronologie**.

## B. Les méthodes paléontologiques de la chronologie relative

Parallèlement au développement des méthodes géométriques de datation relative par la superposition, les recoupements et les discordances, une autre méthode de datation a vu le jour au milieu du XIX<sup>ème</sup> siècle. C'est la méthode de datation par les fossiles.

## **Historique**

En creusant dans des couches horizontales à des fins de construction de canaux en Angleterre, William SMITH vers 1790 s'est rendu compte que d'un site à l'autre, il retrouvait toujours la même succession de roche. Il en était rendu au point que, s'il commençait à creuser dans un type donné de roche, il pouvait prédire quelle roche il retrouverait ensuite. Non seulement cela était vrai pour la composition de la roche, mais aussi pour les fossiles qu'il y trouvait. En effet, les couches dans lesquelles il creusait étaient très riches en fossiles. William SMITH voyait très bien que, pour une couche donnée, l'assemblage des fossiles qui s'y trouvaient différait des assemblages des couches sous- et sus-jacentes. De plus, l'ordre vertical dans lequel il retrouvait ces divers assemblages était le même d'un site à l'autre. Il venait de découvrir la « loi des faunes successives » ... mais sans trop le savoir.

Ce n'est que 70 ans plus tard que Charles DARWIN (1859) publia dans son ouvrage « L'Origine des espèces » sa théorie de l'évolution qui mettait en évidence que les espèces se modifiaient avec le temps.

**Par extrapolation, chaque période devait donc être caractérisée par un assemblage d'espèces qui lui était propre. En conséquence, connaissant l'assemblage fossilifère présent dans une couche géologique, il devenait ainsi possible de la dater.**

On s'est aussi rendu compte, très vite, que certains fossiles ont eu une durée de vie très longue alors que d'autres n'ont vécu que dans un intervalle de temps très court.

**Ce sont ces derniers qui vont être les plus utiles en datation relative.**

# A- Définition d'un fossile - Mécanismes de la fossilisation

## Définition de fossile

Sommairement définis, les fossiles sont des restes d'animaux ou des témoignages de leur activité (traces, empreintes, moulages) ou des restes de végétaux conservés dans les roches sédimentaires.

## Mécanismes de la fossilisation



[La fossilisation](http://blog.ac-versailles.fr/pagnolsvt/public/Lafossilisation/index.html)

<http://blog.ac-versailles.fr/pagnolsvt/public/Lafossilisation/index.html>

### Autre site

[http://www.trilobites.fr/presentation/fossile/fossile\\_f.htm](http://www.trilobites.fr/presentation/fossile/fossile_f.htm)

On utilise communément deux façons de dater les couches en biostratigraphie :

- par les fossiles stratigraphiques
- et par assemblages fossilifères.

### **1- La méthode des fossiles stratigraphiques encore appelés « fossiles index » ou « fossiles pilotes » ou « fossiles guides »**

Cette méthode utilise évidemment les fossiles à courte durée de vie qui indiquent des âges bien précis. Une couche contenant un de ces fossiles pourra donc être datée avec assez de précision. Cependant, on ne trouve pas toujours de tels fossiles.

### **2- La méthode des assemblages fossilifères : chronozones et biozones**

Cette méthode se fonde sur la somme des fossiles trouvés dans une couche donnée. On assume que tous les fossiles trouvés ensemble dans une couche sédimentaire représentent des organismes qui ont tous vécu au même moment.

# B- Notion de fossile stratigraphique

L'élément de base en biostratigraphie est le **fossile stratigraphique** ou **fossile index** ou **fossile pilote** ou **fossile guide**.

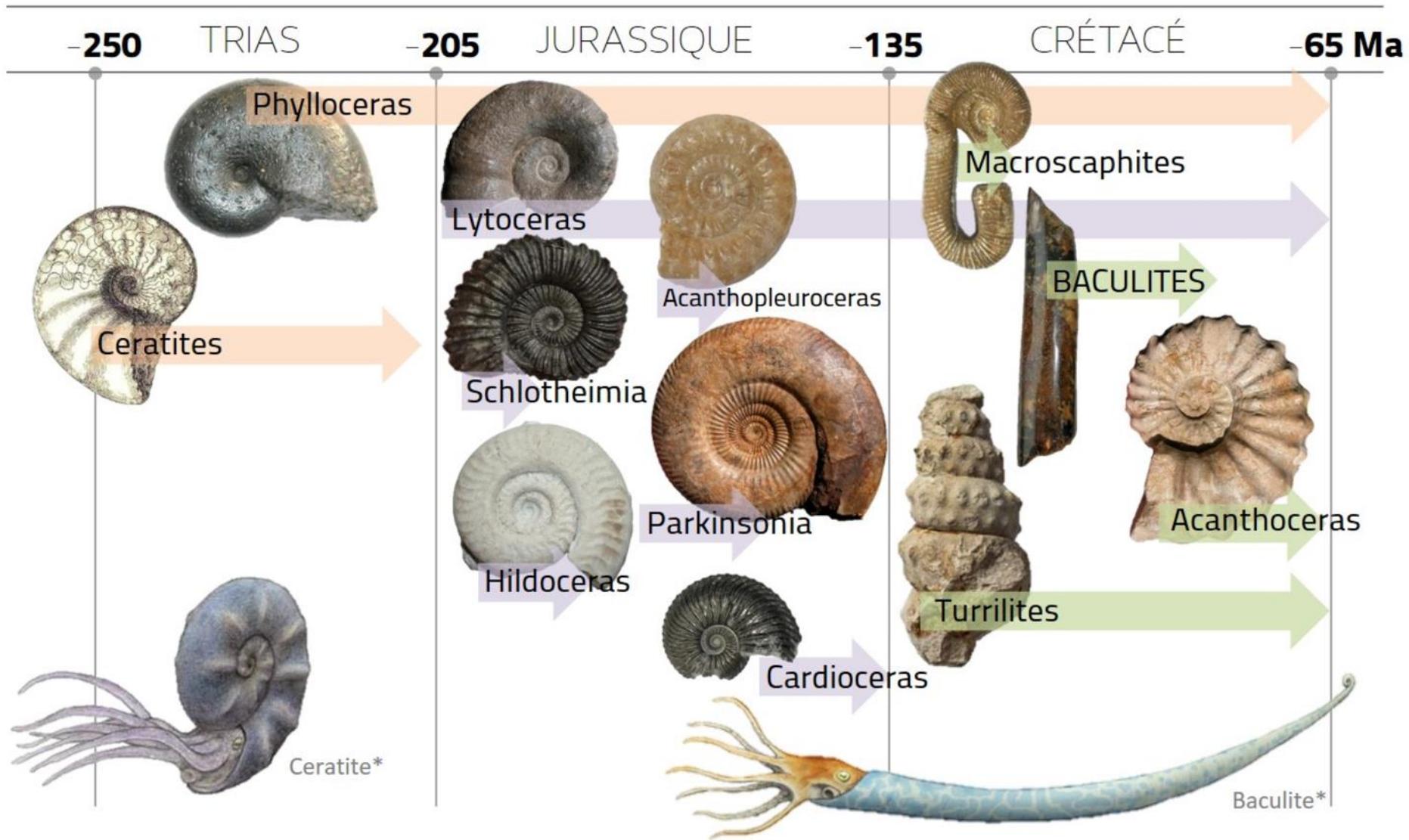
Les fossiles stratigraphiques sont, dans l'idéal, des formes **bien caractéristiques** (pour être facilement identifiables), **abondantes** (pour être facilement trouvées) et « opportunistes », c'est-à-dire ayant une **répartition temporelle courte** et une **répartition spatiale large** c'est-à-dire peu dépendantes des milieux de sédimentation à l'inverse des **fossiles dits de faciès**.

- Une répartition temporelle courte sous-entend une **évolution rapide**.
- Une répartition spatiale large est favorisée quand l'espèce présente **un stade pélagique au cours de son cycle de vie**. Les organismes unicellulaires planctoniques (Foraminifères planctoniques, Radiolaires...) et tous les Métazoaires à larves planctoniques (Crustacés, Echinodermes...) possèdent cette particularité.

**Autrement dit, une espèce animale (en général) ou végétale (plus rarement) est un bon fossile stratigraphique si elle est ubiquiste (présente dans de nombreux environnements), à évolution rapide, d'assez petite taille pour bien se conserver et être facilement identifiable.**

**Ils vont permettre des corrélations à distance en appliquant le Principe d'identité paléontologique.**

Exemples de bons fossiles stratigraphiques



## Groupes utilisés en biostratigraphie

D'autres groupes sont utilisés.

Pour le Paléozoïque, la biochronologie est basée sur les Trilobites, les Graptolites, les Brachiopodes et les Echinodermes.

Pour le Mésozoïque, ce sont les Ammonites, les Bélemnites, les Oursins...

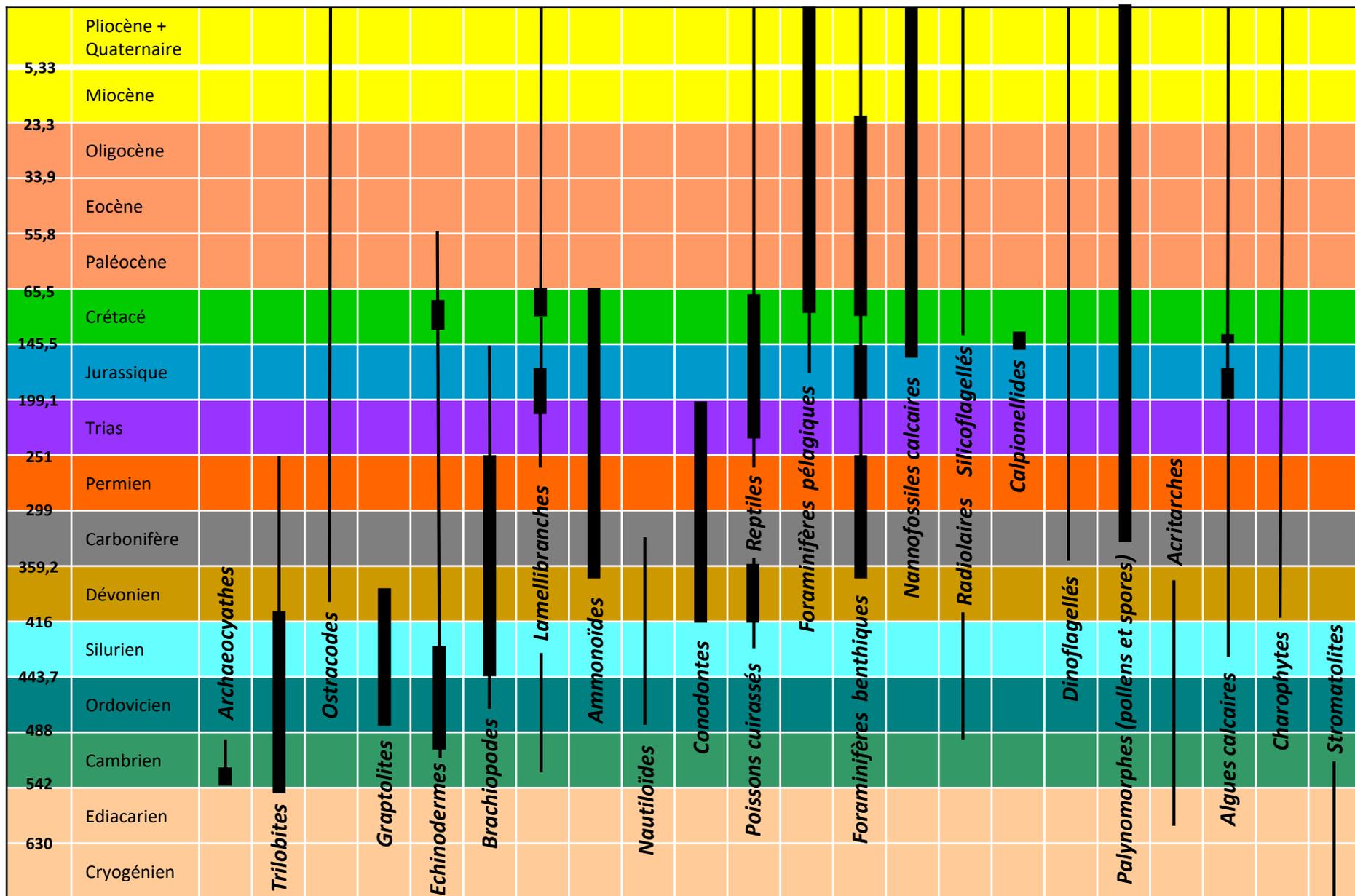
Pour le Cénozoïque, ce sont les Gastéropodes et, plus rarement, les dents de Requins.

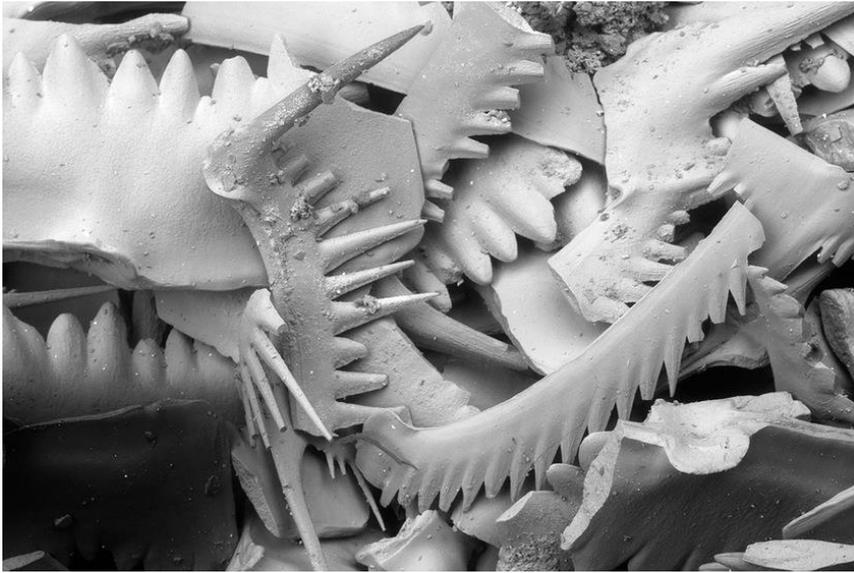
Aujourd'hui, on utilise surtout, pour le Mésozoïque et le Cénozoïque, les microfossiles. C'est vrai qu'ils ne sont observables qu'au microscope (c'est un inconvénient) mais leur petite taille est compensée par leur grand nombre, leur forte densité dans un échantillon de roche. D'autre part, ils présentent tous un fort taux d'évolution, les plus petites variations de la morphologie de leurs tests pouvant être appréciée au MEB.

Ces groupes de microfossiles sont :

- les Conodontes qui représenteraient des dents microscopiques de Chordés (Vertébrés primitifs à corde mais sans squelette vertébral),
- les Foraminifères (Protozoaires à coquille calcaire),
- les Radiolaires (Protozoaires à test siliceux),
- les Acritarches (organismes microscopiques de classification incertaine).

On peut aussi ajouter les spores et les pollens des végétaux supérieurs.





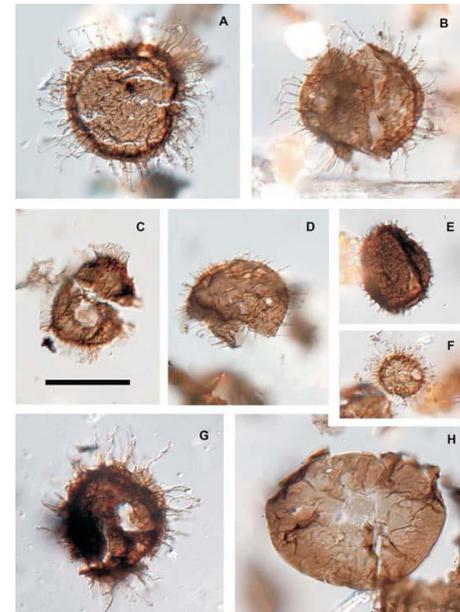
Conodontes



Foraminifères

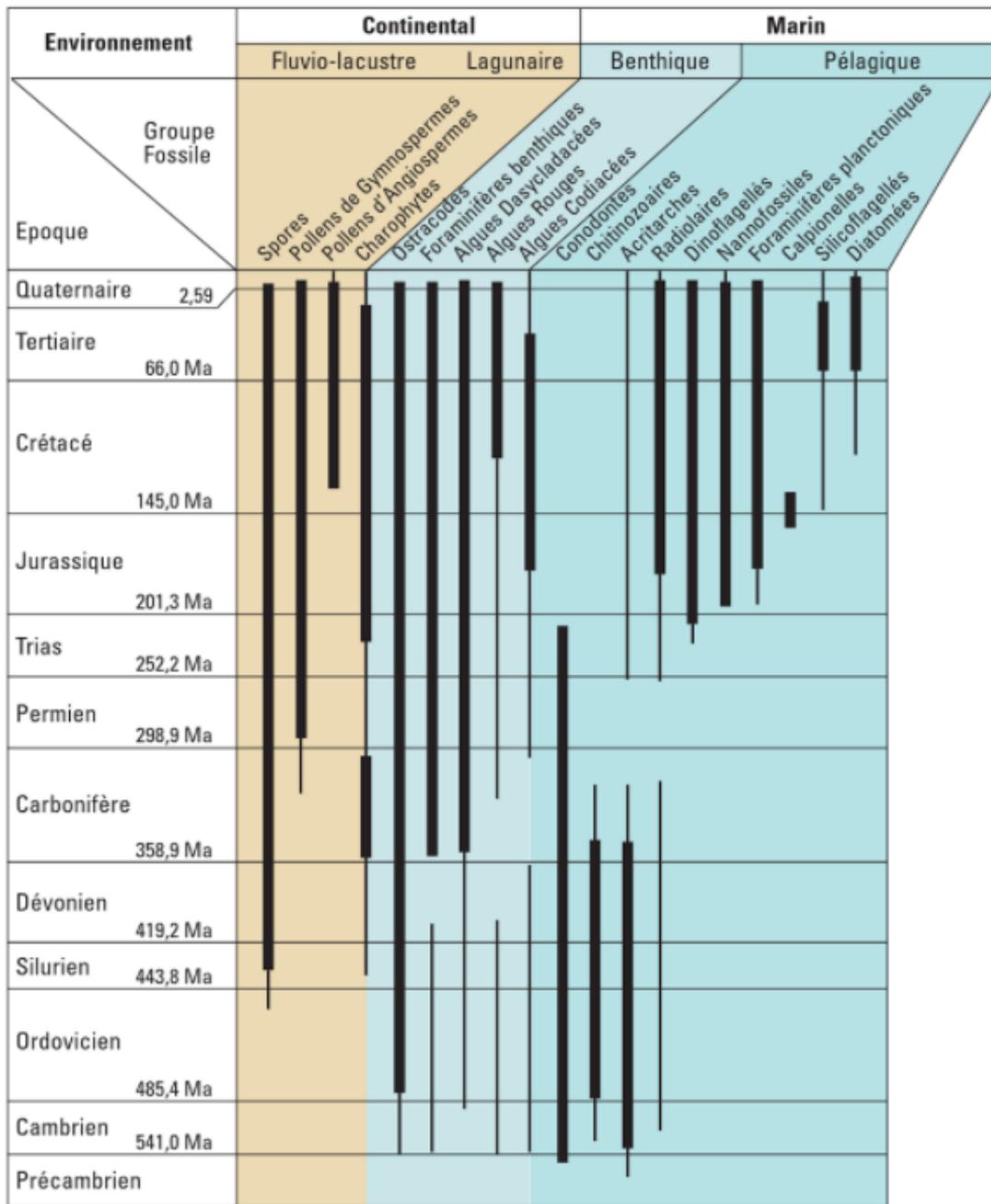


Radiolaires



Acritarches

Les microfossiles peuvent être utilisés  
comme de bons indicateurs de faciès.



### Principaux groupes de Microfossiles utilisés en biostratigraphie

« Les roches, mémoire du temps » -

G. MASCLE

Exemples de mauvais fossiles stratigraphiques :  
les fossiles panchroniques

## Les espèces panchroniques ou « fossiles vivants »

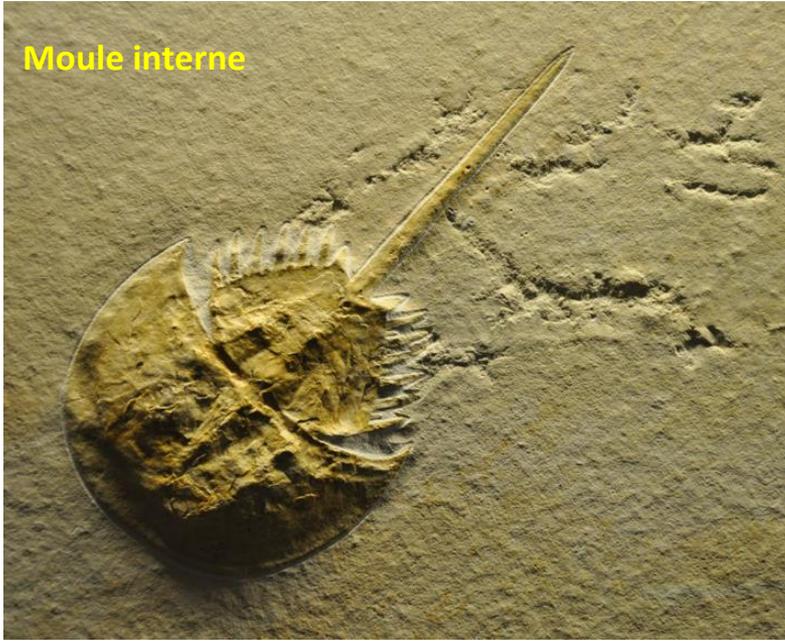
Les Limules, Arthropodes marins actuels vivant sur des fonds sablo-vaseux, sont connues depuis le Cambrien moyen (520 Ma) et n'ont pratiquement pas évolué depuis.

Cela signifie que ce sont des organismes particulièrement bien adaptés à leur biotope et qui n'ont pas connu de concurrents ou de prédateurs pour les éliminer.

Les Limules sont des **espèces panchroniques** souvent qualifiées de « fossiles vivants » tout comme les Nautilus, les Coelacanthes...

**Limules fossiles (à gauche) et Limules actuelles (à droite)**

**Moule interne**



**Moule externe**



# Les fossiles de faciès

## Les fossiles de faciès

Leur intérêt essentiel est qu'il s'agit de fossiles inféodés à un milieu de sédimentation strict. Les fossiles de faciès permettent donc de reconstituer, si l'on applique le Principe de l'actualisme, les conditions qui régnaient localement lors du dépôt des sédiments. Ce sont des indicateurs précieux pour les reconstitutions des paléoenvironnements (paléogéographie et paléoécologie du site).

Exemple : les **Coraux** qui signent un milieu récifal caractérisé par une eau peu profonde, claire, relativement chaude et bien oxygénée. Leur présence indique un climat de type tropical.

**Point important** : Les fossiles de faciès peuvent également être d'excellents fossiles stratigraphiques à l'échelle d'un même bassin. Tel est le cas des **Rudistes**.



Corail fossile

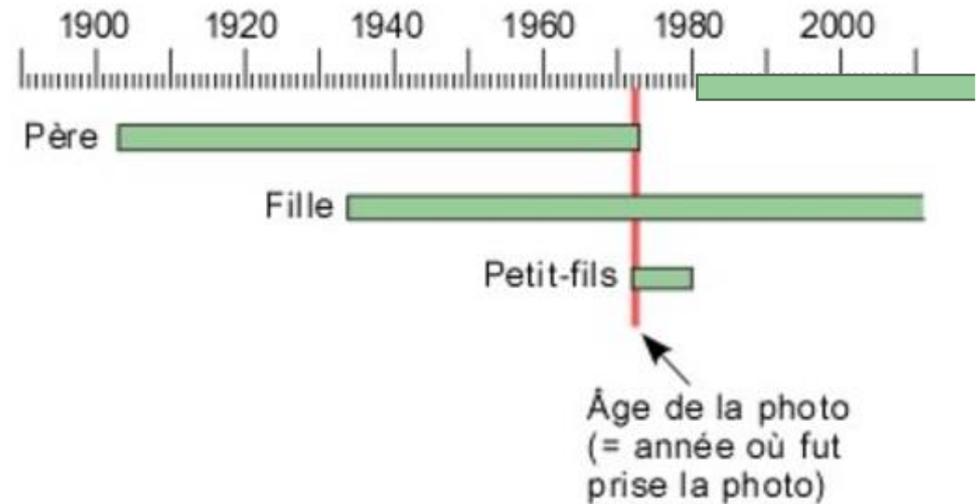


Corail actuel

C- La méthode  
des assemblages fossilifères  
en biostratigraphie

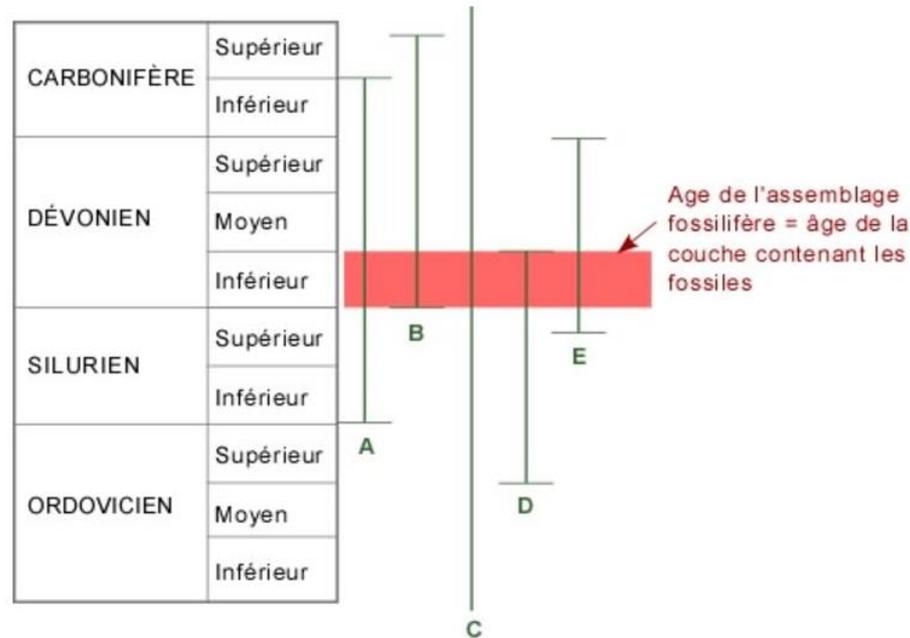
## Principe

Supposons que l'on veuille connaître la date à laquelle a été prise la photo ci-dessous.



L'âge de cette photo de famille, c'est-à-dire le moment où a été pris le cliché, est relativement facile à déterminer si on sait que le père a vécu de 1903 à 1973, que sa fille née en 1934 est toujours en vie et que le petit-fils est né en 1972. La seule période où ces trois personnes ont été vivantes en même temps est la période 1972-73.

On utilise la même technique avec les fossiles. Prenons un assemblage de fossiles A, B, C, D et E qui se trouvent dans une même couche.



Si on sait que A est connu du Silurien inférieur au Carbonifère inférieur, que B est connu du Dévonien inférieur au Carbonifère supérieur, que C a une durée de vie très longue qui va de l'anté-Ordovicien au post-Carbonifère, que D a vécu de l'Ordovicien supérieur au Dévonien inférieur et E du Silurien supérieur au Dévonien supérieur, la seule période où ces cinq espèces ont pu coexister est le Dévonien inférieur.

**En conséquence, la couche qui contient cette association faunistique date du Dévonien inférieur.**

**Aucune de ces espèces fossiles prises individuellement n'aurait pu fournir un âge aussi précis.**

Application : exemple du Toarcien

# « Cours élémentaire de Paléontologie et de Géologie stratigraphiques » - 1849

d' Alcide d'Orbigny (1802 - 1857)

Volume 1

<http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k6260677z/f1.image>

Volume 2 fascicule 1

<http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k62515307/f8.image>

Volume 2 fascicule 2

<http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k6556148t/f91.image>

**9<sup>e</sup> Étage : TOARCIEN, d'Orb.**

*Première apparition des genres Teredo, Pholas.*

*Règne des genres Mistriosaurus, Ptycholepis, Belemnosepia, Thecocyathus.*

*Zone des Ammonites bifrons (Valcotii) et serpentinus, du Belemnites irregularis, du Turbo subplicatus, du Leda rostralis, de l'Ostrea Knorrii, du Pentacrinus vulgaris, du Thecocyathus mactra.*

§ 1936. **Dérivé du nom.** Les motifs qui nous ont déterminé, pour les deux étages précédents, à ne conserver aucun des noms qui avaient seulement pour base la composition minéralogique, parlent plus haut encore pour celui-ci. On voit, du reste, par la synonymie, combien ce caractère trompeur a fait varier l'opinion des géologues à son égard, et combien il serait difficile de conserver un nom qui eût une application générale. C'est dans le but de ramener les choses à leur véritable horizon que nous avons, depuis quelques années, désigné cet étage comme *lias supérieur*, et que nous croyons devoir, aujourd'hui, lui substituer le nom d'*étage toarcien*, la ville de Thouars, *Toarcium* (Deux-Sèvres), nous en ayant offert un si bel et si riche développement dans ses environs, que ce point peut être regardé, dès lors, comme étalon, comme point type.

Les carrières de Vrines, près de Thouars, ont été choisies comme référence mondiale (ou **stratotype**) d'un étage du Jurassique inférieur : le Toarcien ( - 183 à - 176 Ma).

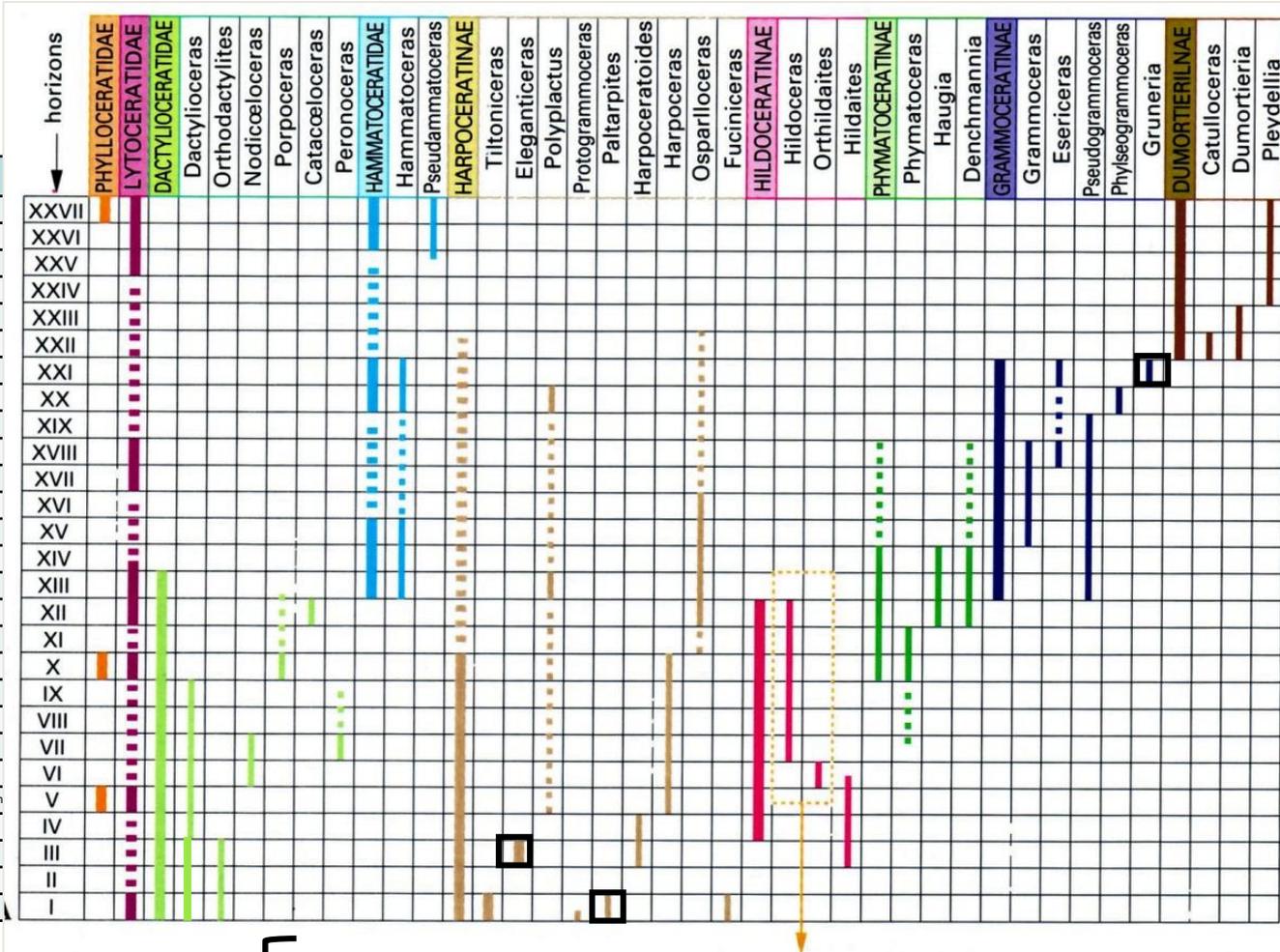




J. Gabilly a ensuite regroupé ces 27 horizons en 8 entités plus grandes ou **biozones**, chaque biozone étant caractérisée par une association d'espèces d'Ammonites bien spécifique mais surtout par une espèce qui lui est exclusive. Il donne le nom de cette espèce à la biozone.

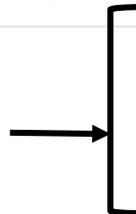
**Biozones  
de  
Gabilly**

	Zones	Sous-zones	Horizons
Toarcien supérieur	Aalensis	<i>Buckmani</i>	Buckmani
		<i>Aalensis</i>	Aalensis
		<i>Mactra</i>	Subcompta
	Pseudoradiosa	<i>Pseudoradiosa</i>	Explanata
		<i>Levesquei</i>	Levesquei
	Insigne	<i>Insigne</i>	Gruneri
		<i>Fallaciosum</i>	Insigne
		<i>Fascigerum</i>	Fascigerum
	Thouarsense	<i>Thouarsense</i>	Thouarsense
		<i>Doertense</i>	Doertense
<i>Bingmanni</i>		Bingmanni	
<i>Vitiosa</i>		Vitiosa	
Toarcien moyen	Variabilis	<i>Illustris</i>	Illustris
		<i>Variabilis</i>	Variabilis
		<i>Semipolitum</i>	Semipolitum
	Bifrons	<i>Bifrons</i>	Bifrons
		<i>Lusitanicum</i>	Lusitanicum
		<i>Sublevisoni</i>	Commune
Toarcien inférieur	Serpentinus ou Serpentinum	<i>Falciferum</i>	Falciferum
		<i>Pseudo-serpentinum</i>	Pseudo-serpentinum
		<i>Strangewaysi</i>	Strangewaysi
	Tenuicostatum	<i>Elegantulum</i>	Elegantulum
		<i>Semicelatum</i>	Semicelatum
		<i>Costatum</i>	Paltus



<http://www.ammonites.fr/index.htm>

**Espèces indices des 8 biozones de J. Gabilly  
(en allant du bas vers le haut)**



- 1- *Dactylioceras tenuicostatum*
- 2- *Harpoceras serpentinum*
- 3- *Hildoceras bifrons*
- 4- *Haugia variabilis*
- 5- *Grammoceras thouarsense*
- 6- *Hammatoceras insigne*
- 7- *Dumortieria pseudoradiosa*
- 8- *Pleydellia aalensis*

Certains horizons sont définis par une seule espèce d'Ammonite. Ainsi en est-il de :

- l'horizon 1 défini par la seule présence de *Paltarpites paltus* : le nom de genre « *Paltarpites* » est donné par la colonne verticale du tableau de droite et le nom d'espèce « *paltus* » par la ligne horizontale du tableau de gauche.

*NB : L'espèce est encadrée en noir dans le tableau de droite.*

- de l'horizon 3 par *Eleganticerias elegantulum*

- ou de l'horizon 21 par *Gruneria gruneri*.

En revanche, l'horizon 14 est défini par l'association des genres « *Hammatoceras* » + « *Osperlioceras* » + « *Haugia* » + « *Denckmannia* » + « *Pseudogrammoceras* ».

Il se différencie de l'horizon précédent 13 par le fait qu'il ne possède pas le genre « *Polyplectus* ».

Il se distingue aussi de l'horizon 15 par l'absence de « *Grammoceras* ».

Sous-étages	Zones	Sous-zones	Horizons	N°
Toarcien supérieur	Aalensis	<i>Lugdunensis</i>	Buckmani	XXXIV
			Lugdunensis	XXXIII
		<i>Mactra</i>	Celtica	XXXII
			Mactra	XXXI
	Tectiforme		XXX	
	Pseudoradiosa	<i>Pseudoradiosa</i>	Pseudoradiosa	XXIX
			Munieri	XXVIII
		<i>Levesquei</i>	Insignisimilis	XXVII
	Dispansum	<i>Gruneri</i>	Gruneri	XXVI
			Pachu	XXV
		<i>Insigne</i>	Cappucinum	XXIV
	Thouarsense ou Bonarelli	<i>Fallaciosum</i>	Fallaciosum	XXIII
			<i>Fascigerum</i>	Fascigerum
		<i>Thouarsense</i>	Thouarsense	XXI
Doerntense			XX	
<i>Bingmanni</i>		Bingmanni	XIX	
Toarcien moyen	Variabilis	<i>Vitiosa</i>	Vitiosa	XVIII
		<i>Illustris</i>	Phillipsi	XVII
			Illustris	XVI
		<i>Variabilis</i>	Variabilis	XV
	Bifrons	<i>Bifrons</i>	Semipolitum	XIV
			Bifrons	XIII
			Apertum	XII
			Lusitanicum	XI
		<i>Sublevisoni</i>	Tethysi	X
Sublevisoni			IX	
Toarcien inférieur	Serpentinum	<i>Falciferum</i>	Douvillei	VIII
			Pseudoserpentinum	VII
		<i>Elegantulum</i>	Strangewaysi	VI
	Tenuicostatum	<i>Semicelatum</i>	Elegantulum	V
			Semicelatum	IV
		<i>Paltus</i>	Tenuicostatum	III
			Crosbeyi	II
	Paltus	I		

La zonation standard  
du Toarcien  
aujourd'hui  
(S. Elmi et al., 1997)

34 horizons au lieu de 27 !

Notions de biozone, chronozone, phylozone...

Biozone d'une espèce

On appelle « biozone d'une espèce » l'ensemble des couches, le volume de roches sédimentaires contenant tous les individus de l'espèce considérée et que l'on peut donc distinguer facilement des ensembles de couches situées au-dessous et au-dessus où l'espèce indice est absente.

En un lieu donné, la biozone est donc limitée par deux repères biologiques :

- une limite inférieure qui correspond à la première observation de l'espèce indice dans la série stratigraphique, son « apparition » (**FO = « First Occurrence »** ou **FAD = « First Appearance Datum »**)
- et une limite supérieure correspondant à sa dernière observation, sa « disparition » (**LO = « Last Occurrence »** ou **LAD = « Last Appearance Datum »**).

**La biozone et ses limites constituent d'excellents marqueurs. La biozone est l'unité biostratigraphique par excellence.**

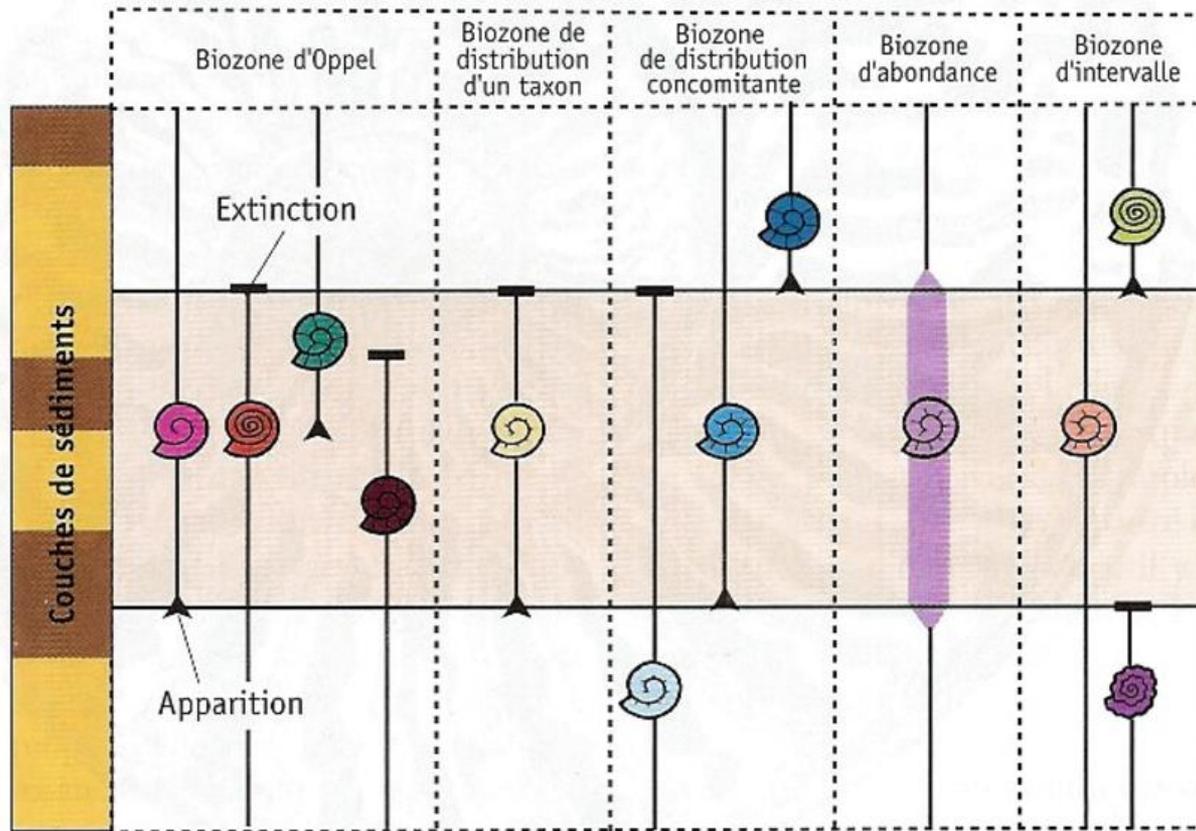
Aussi les biostratigraphes, suite aux travaux d'Orbigny, ont-ils découpé l'épaisseur des roches sédimentaires fossilifères (donc les temps phanérozoïques) en une pile de biozones. C'est une **échelle biostratigraphique à valeur d'échelle biochronologique**.

*Remarque : Pour le Jurassique, période pendant laquelle les Ammonites ont pullulé et se sont diversifiées, le découpage en biozones utilise exclusivement la distribution verticale d'espèces d'Ammonites bien caractéristiques.*

**La zonation  
standard  
du Callovien**

Sous-étages	Biozones	Espèce indice de la zone
Oxfordien inférieur	<i>densiplicatum</i>	<i>Cardioceras densiplicatum</i>
	<i>cordatum</i>	<i>Cardioceras cordatum</i>
	<i>mariae</i>	<i>Quenstedtoceras mariae</i>
Callovien supérieur	<i>lamberti</i>	<i>Quenstedtoceras lamberti</i>
	<i>athleta</i>	<i>Peltoceras athleta</i>
Callovien moyen	<i>coronatum</i>	<i>Erymnoceras coronatum</i>
	<i>jansoni</i>	<i>Kosmoceras jason</i>
Callovien inférieur	<i>calloviense</i>	<i>Sigaloceras calloviense</i>
	<i>herveyi</i>	<i>Macrocephalites herveyi</i>
Bathonien supérieur	<i>discus</i>	<i>Clydoniceras discus</i>
	<i>aspidoides</i>	<i>Oppelia aspidoides</i>
	<i>hodsoni</i>	<i>Procerites hodsoni</i>

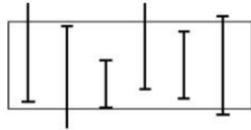
## Différents types de biozones



Les biozones sont des tranches de sédiments caractérisées par leur contenu en fossiles.

La **biozone dite d'OPPEL** est définie par une association unique de fossiles que l'on ne retrouve nulle part ailleurs. La **biozone de distribution d'un taxon** est la zone où une espèce (ou un genre) donnée est exclusivement présente. La **biozone de distribution concomitante** est définie, à sa base, par l'apparition d'une espèce et, à son sommet, par la disparition d'une autre. La **biozone d'abondance** correspond aux sédiments où une espèce est abondante, sans être nécessairement absente au-dessus et en dessous. Enfin, la **biozone d'intervalle** est limitée par deux événements (d'apparition **ou** de disparition).

## Biozone d'association ou cénozone (biozone d'Oppel)



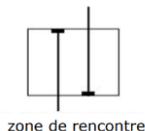
Zone caractérisée par la coexistence de plusieurs espèces, les taxons constitutifs de l'association pouvant dépasser les limites de la zone.

## Biozone de distribution stricte



Zone caractérisée par l'extension d'une seule espèce.

## Biozone de distribution concomitante



Zone caractérisée par le chevauchement, le recouvrement entre une espèce qui disparaît à sa limite supérieure et une autre qui apparaît à sa limite inférieure ⇒ zone de rencontre.

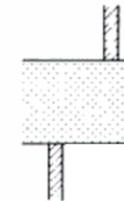
## Biozone d'abondance ou d'apogée-acmé



Zone définie par l'épanouissement d'une espèce.

Pour une espèce donnée, on caractérise son apparition (FO = First Occurrence ou FAD = First Appearance Datum), son apogée (AZ = Acmé Zone) et sa disparition (LO = Last Occurrence ou LAD = Last Appearance Datum).

## Biozone d'intervalle



Zone caractérisée par l'absence de taxon-indexe entre la disparition d'un taxon à sa limite inférieure et l'apparition d'un nouveau taxon à sa limite supérieure.

Distinction entre biozone et chronozone

La biozone a donc une répartition verticale facilement observable en un site donné. Et si l'on date par radiochronologie la couche de première apparition (FO) et la couche de disparition (LO) de l'espèce indice, on peut avoir accès à sa durée d'existence au lieu donné.

Mais ces repères biostratigraphiques que sont la « FO » et la « LO » ne sont pas synchrones d'un lieu à un autre, *a fortiori* d'une région à une autre.

En effet, quand une espèce indice « apparaît » en un lieu donné (FO), elle provient la plupart du temps par migration d'une région voisine où elle est apparue plus tôt !

⇒ Les FO sont alors diachrones.

De même, quand une espèce « disparaît » en un lieu donné parce que les conditions environnementales changent, elle peut se maintenir ailleurs.

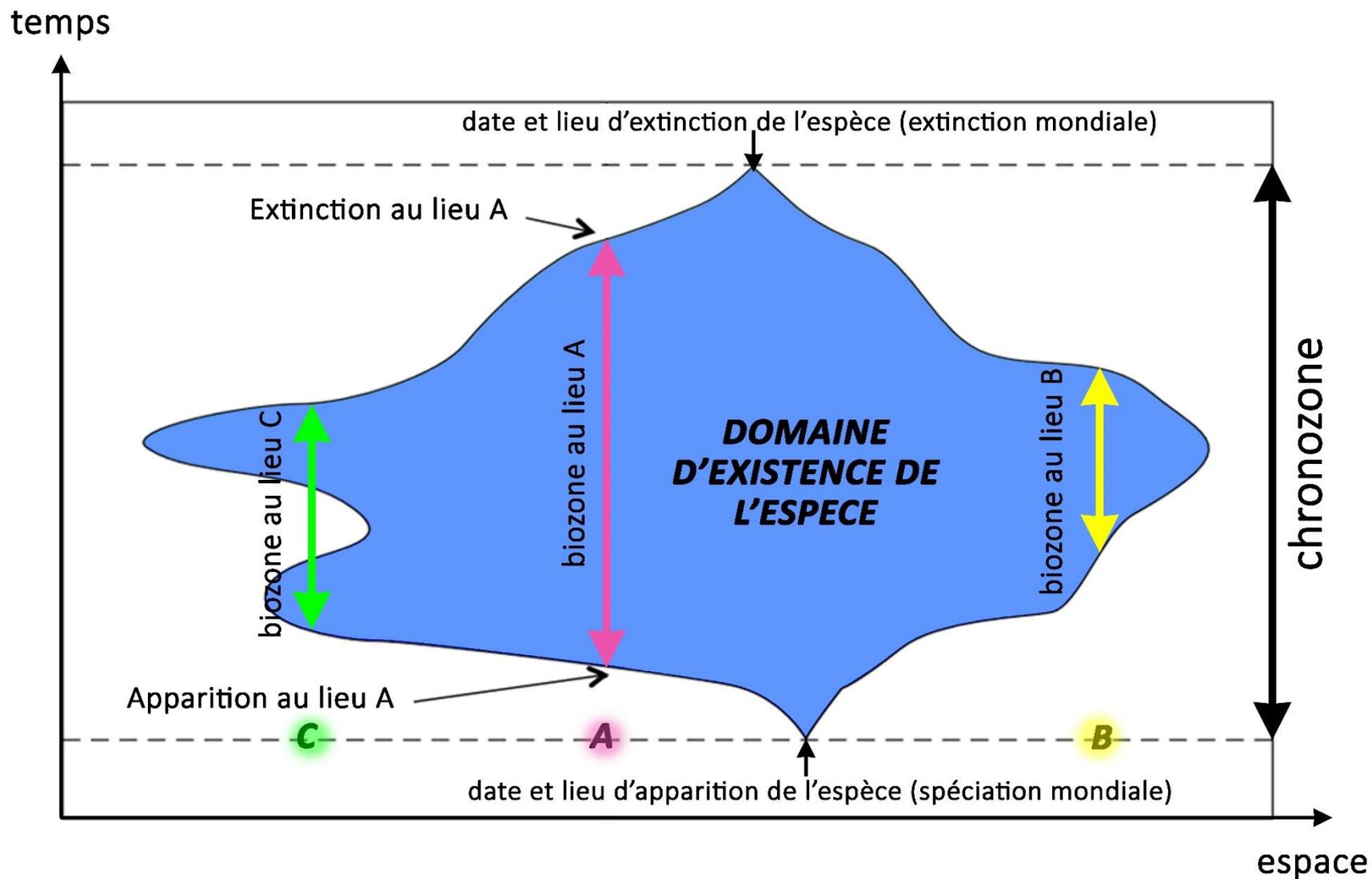
⇒ Les LO sont encore diachrones.

**NB** : Lorsque les conditions environnementales changent, la sédimentation est généralement modifiée elle aussi ; en conséquence, le faciès lithologique change et certains faciès sont parfois incapables d'assurer une bonne fossilisation.

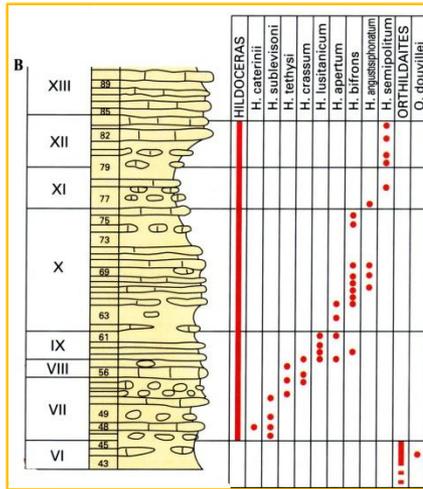
**Une biozone, si elle est un très bon marqueur biostratigraphique, une unité biostratigraphique, ne constitue pas une unité chronostratigraphique.**

La chronozone constitue l'unité chronostratigraphique idéale. Mais c'est une notion théorique. Elle représente en effet la durée d'existence d'une espèce indice depuis sa première apparition à la surface de la Terre et qui coïncide avec sa spéciation jusqu'à son extinction finale, paramètres spatiaux-temporaires impossibles de déterminer précisément.

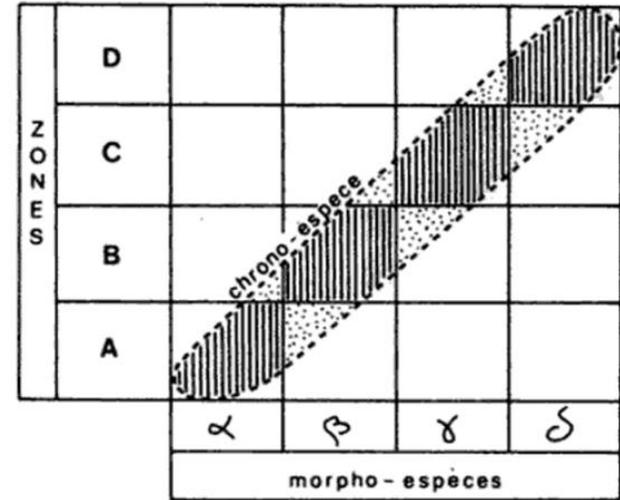
On peut approcher sa durée en intégrant les FO et LO de toutes les biozones du fossile marqueur à la surface du globe !



Phylozone



On a l'impression que les différentes espèces d'Hildoceras se succèdent dans le temps. L'horizon X pourrait constituer une phylozone à *Hildoceras bifrons*



Il n'y a pas de coupure réelle entre les zones définies par les taxons (morpho-espèces).

La zone inférieure A renferme à côté de la forme primitive dominante  $\alpha$  des représentants d'une morpho-espèce plus évoluée  $\beta$ .

De même, la zone immédiatement supérieure B, renferme à côté de la forme nouvelle apparue  $\beta$  et devenue dominante des représentants de la morpho-espèce primitive  $\alpha$  et des représentants d'une nouvelle morpho-espèce plus évoluée  $\gamma$ .

Les zones A et B sont des phylozones.

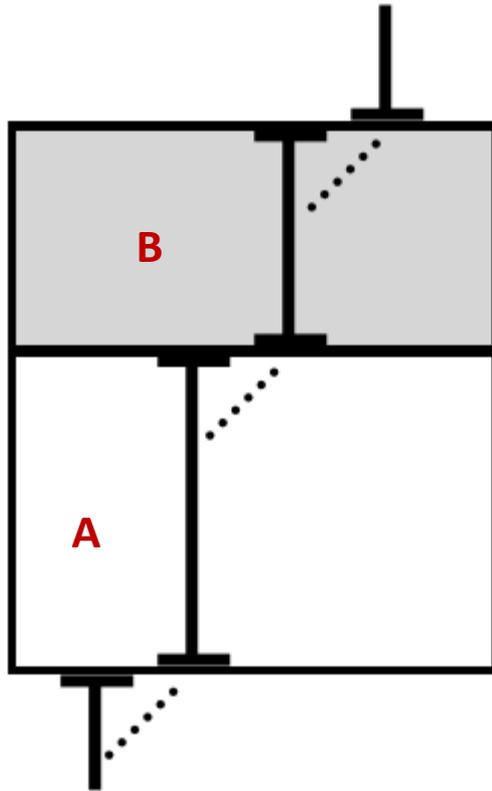
La phylozone peut donc être assimilée à une biozone d'association d'espèces appartenant à un même phylum.

La phylozone porte le nom de l'espèce dominante.

Les phylozones sont des biozones basées sur l'idée de l'évolution progressive des formes par enchaînement d'espèces au sein de « phylums ». Elles sont définies par l'apparition ou la disparition de formes successives (ou la combinaison des deux phénomènes) au sein d'un même taxon : elles sont *monotaxiques*.

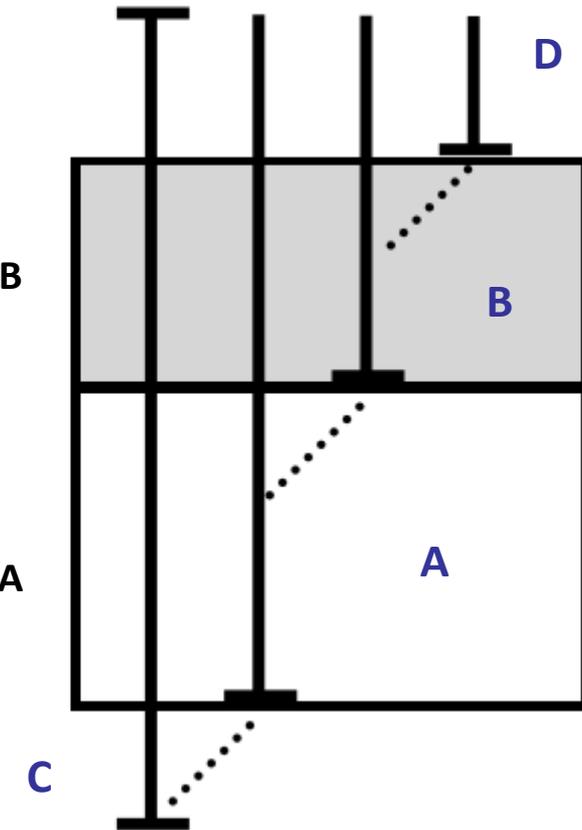
Biozone de distribution stricte de B

Biozone de distribution stricte de A



Phylozone de B

Phylozone de A



Biozone d'association de C, A, B et D

Biozone d'association de C, A et B

### Relais phylétique par anagénèse

Une espèce nouvelle B apparaît quand une précédente A disparaît.

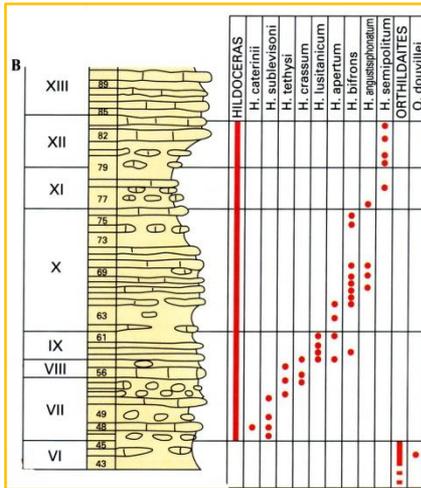
La biozone de distribution stricte du taxon B succède à la biozone de distribution stricte du taxon A. Il n'y a pas concomitance (recouvrement).

NB : Certains auteurs considèrent que les phylozones ont valeur de chronozones.

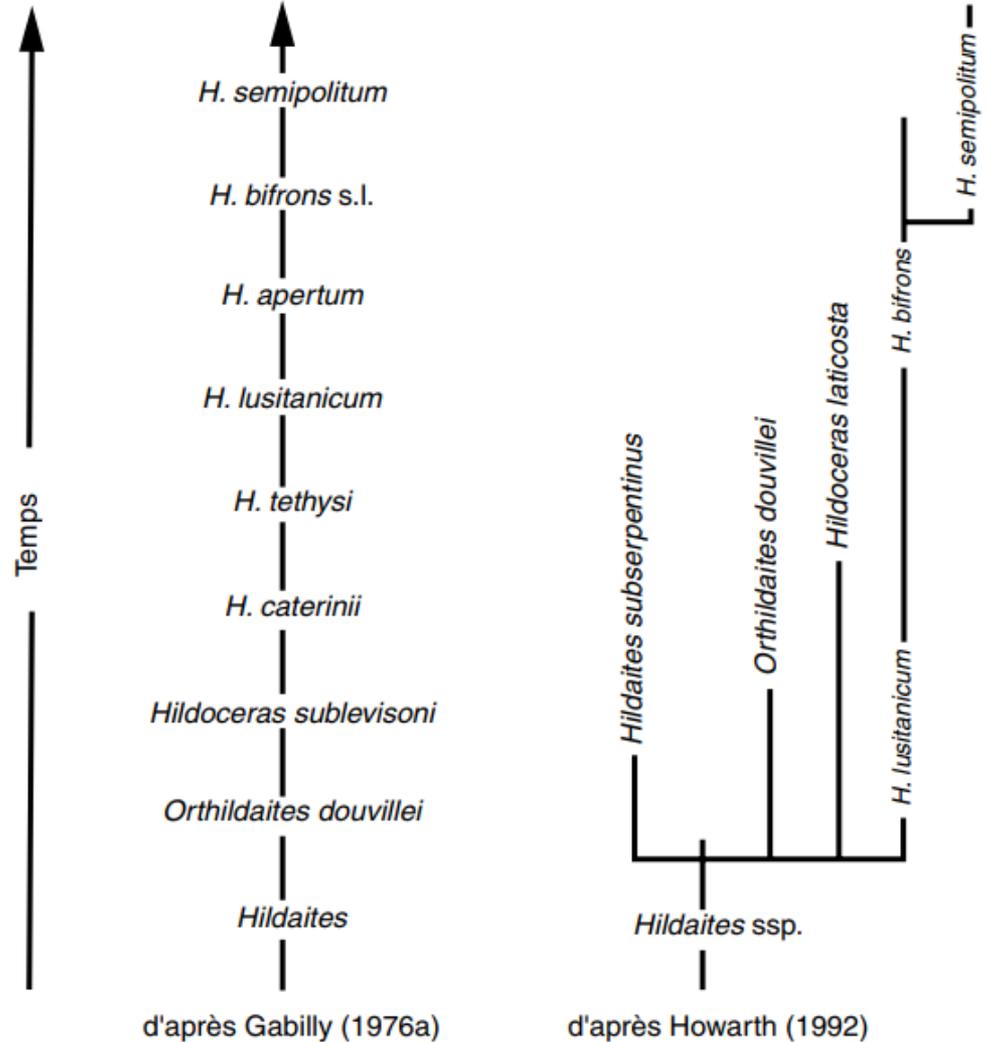
### Relais phylétique par cladogénèse

Une espèce B apparaît au cours de l'apogée d'une espèce A.

Il y a alors obligatoirement une biozone de distribution concomitante des taxons A et B.



Horizon X = phylozone à *Hildoceras bifrons*



## Hypothèses évolutives pour les Hildoceratinae

d'après GABILLY (1976) et HOWARTH (1992)

Étage	sous-étage	zonation
Languedocien	supérieur	biozone à <i>Eccaparadoxides macrocercus</i>
	moyen	biozone à <i>Bailiella souchoni</i>
		zone d'intervalle à <i>Jincella convexa</i>
	inférieur	phylozone à <i>Solenopleuropsis (Solenopleuropsis) rouayrouxi</i>
		phylozone à <i>Solenopleuropsis (Solenopleuropsis) multigranifera</i>
		phylozone à <i>Solenopleuropsis (Solenopleuropsis) monceretorum</i>
		biozone à <i>Solenopleuropsis (Manublesia) thoralis</i>
Caesaraugustien	supérieur	phylozone à <i>Solenopleuropsis (Manublesia) levisilimbata/rubra</i>
		phylozone à <i>Solenopleuropsis (Manublesia) verdiagana</i>
		phylozone à <i>Solenopleuropsis (Manublesia) ribeiro</i>
	moyen	phylozone à <i>Pardailhania szuyi</i>
		phylozone à <i>Pardailhania multispinosa</i>
		phylozone à <i>Pardailhania hispida</i>
	inférieur	superbiozone à <i>Badulesia granieri</i>
		biozone à <i>Badulesia tenera</i>
	Léonien	supérieur
moyen		biozone à <i>Eccaparadoxides szuyi</i>
inférieur		biozone à <i>Acadoparadoxides mureroensis</i>

La stratigraphie du Cambrien moyen est en cours de travail. Il existe plusieurs échelles stratigraphiques locales, dont voici celle utilisée dans le Sud de l'Europe. Elle est applicable au Maroc, en Espagne, en France, en Italie et en partie en Allemagne et en Tchéquie. Elle a été établie à partir de la zonation de Trilobites que l'on rencontre en Espagne (pour le Léonien et le Caesaraugustien) et dans le sud de la France (Languedocien).

## Ammonites et Crinoïdes

Campanien	<i>B. polyplacum</i>
	<i>B. mucronata</i>
	<i>G. quadrata granularis</i>
	<i>G. quadrata</i>
	<i>G. granulata/quadrata</i>

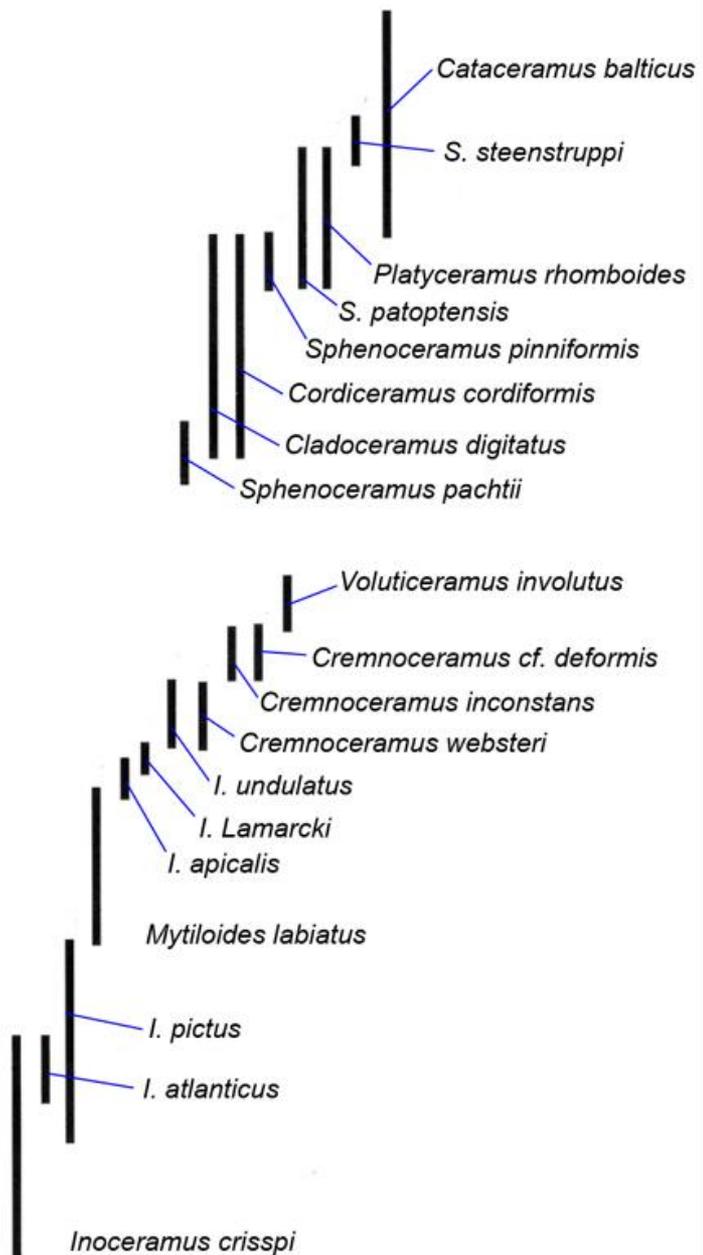
Santonien	<i>M. testudinarium</i>
	<i>U. socialis</i>
	<i>G. granulata</i>
	<i>G. westfalica/granulata</i>
	<i>G. westfalica</i>
	<i>Texanites</i>

Coniacien	<i>P. serratomarginatus</i>
	<i>G. margae</i>
	<i>P. tridorsatum</i>
	<i>F. petrocoriensis</i>

Turonien	<i>S. neptuni</i>
	<i>C. woolgari</i>
	<i>M. nodosoides</i>
	<i>W. coloradoense</i>

Cénomannien	<i>N. juddii</i>
	<i>M. geslinianum</i>
	<i>C. naviculare</i>
	<i>A. jukesbrownei</i>
	<i>T. acutus</i>
	<i>T. costatus</i>
	<i>M. dixoni</i>
	<i>M. saxbii</i>
	<i>N. carcitanense</i>

## Inocérames

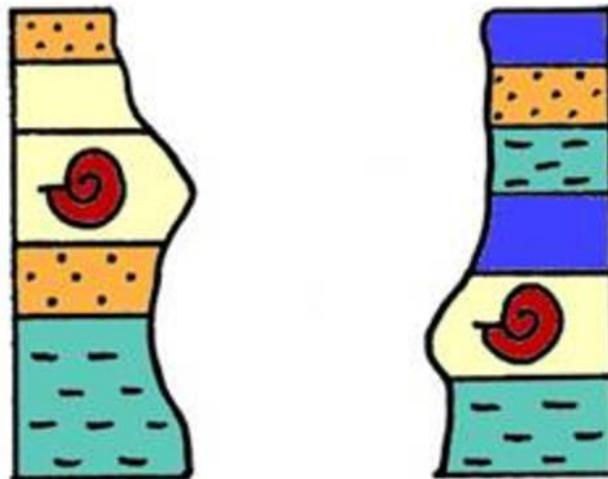


Autre exemple de phylozones (?)  
basées sur les Inocérames

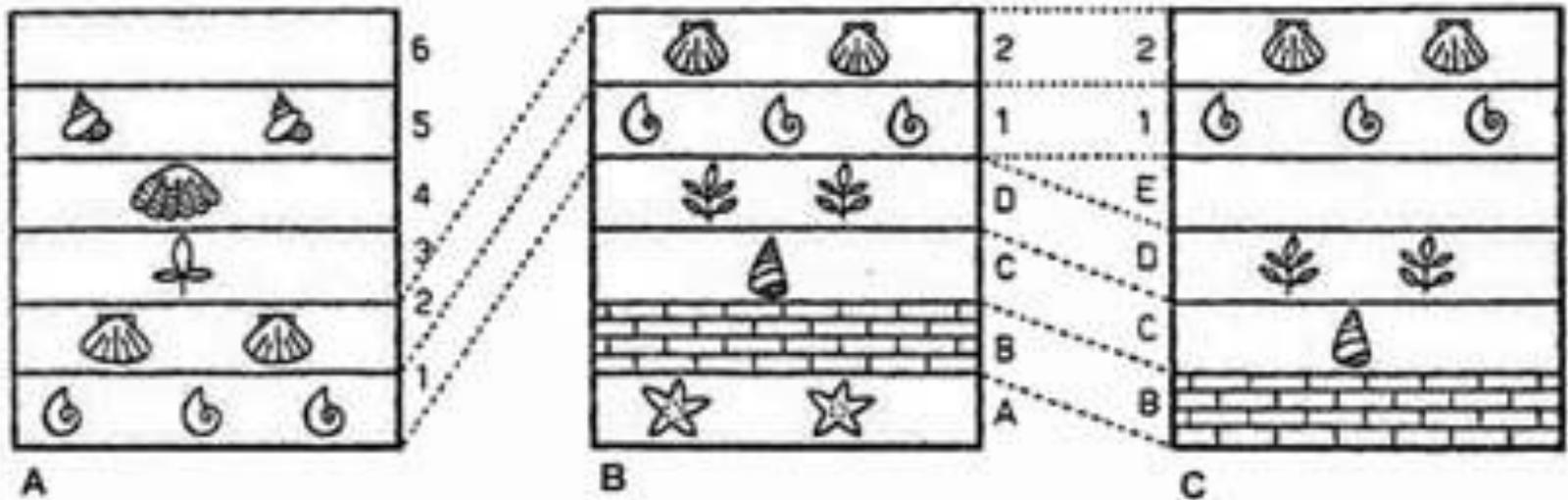
**Les fossiles stratigraphiques vont permettre des corrélations par application du Principe d'identité paléontologique.**

D- Corrélations à distance  
grâce aux fossiles stratigraphiques

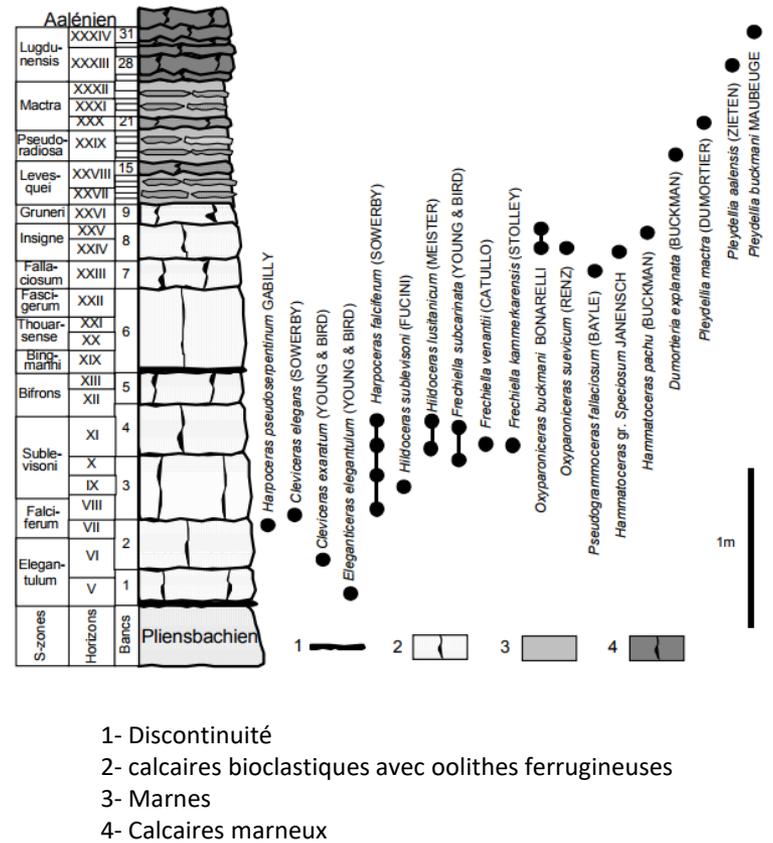
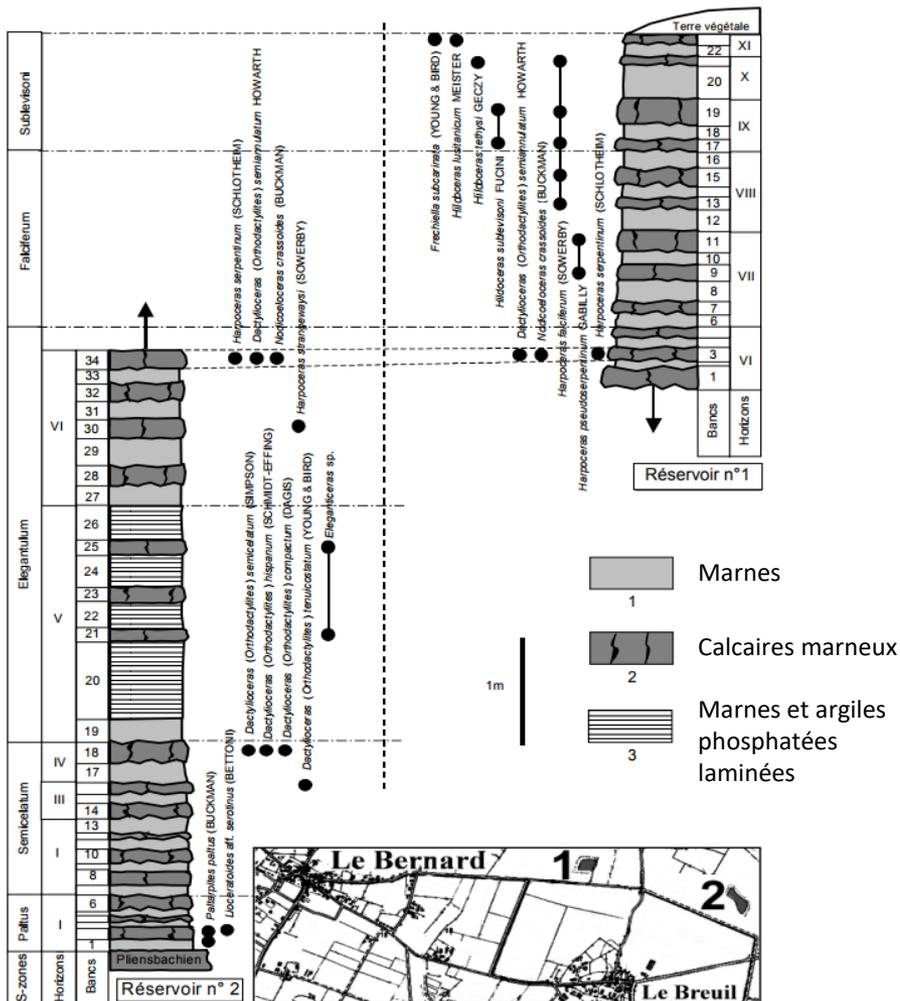
## Principe d'identité paléontologique et corrélations à distance



Le « principe d'identité paléontologique » stipule que deux couches géologiques qui ont le même contenu fossilifère sont de même âge. On peut donc corréler les biozones.



## Exemples vendéens



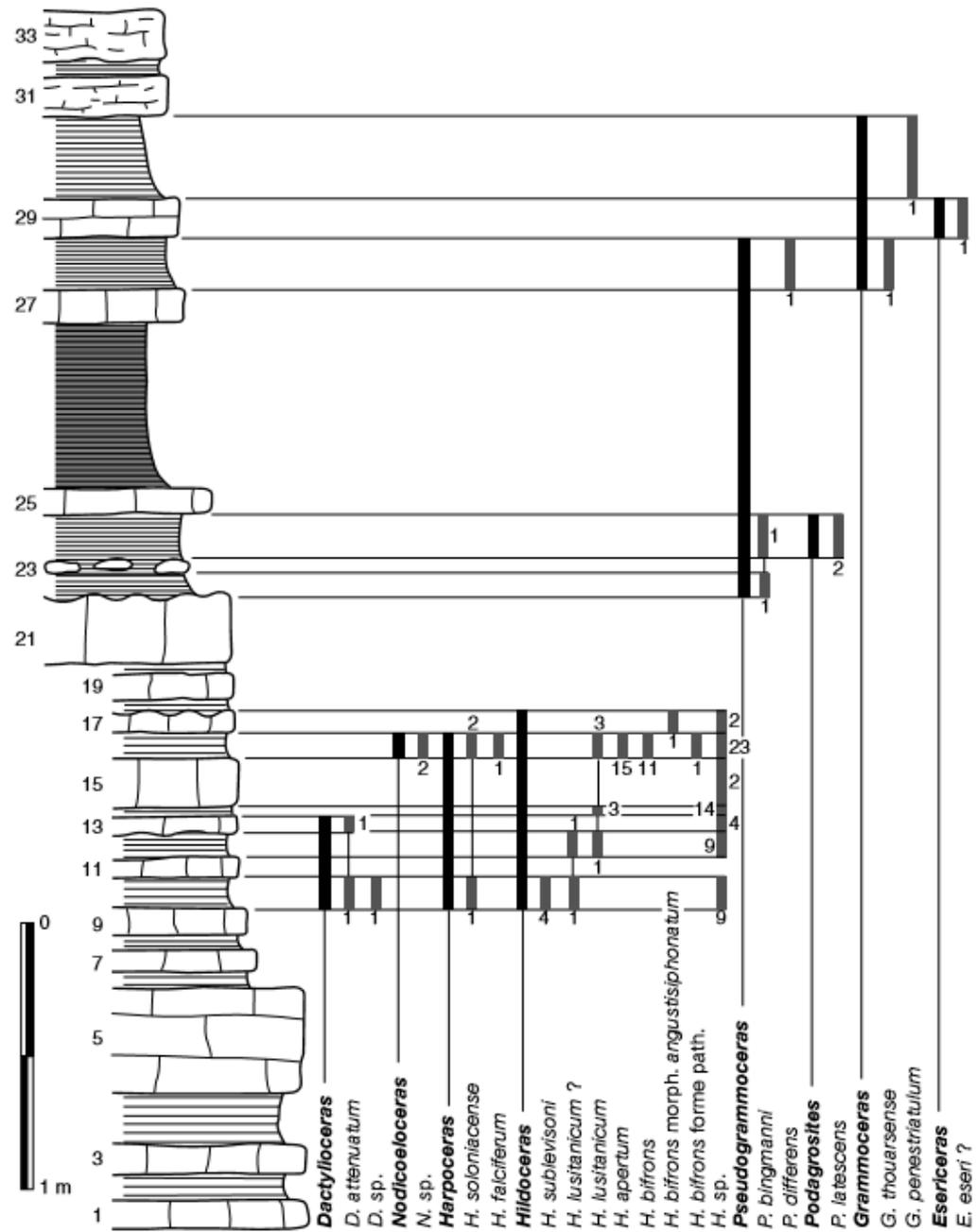
**Toarcien inférieur et moyen du Bernard (85)**  
 Succession lithologique, chronostratigraphie et biostratigraphie des Ammonites

**Toarcien supérieur, moyen et supérieur de La Gouraudière à Mauzé-Thouarsais (79)**  
 Succession lithologique, chronostratigraphie et biostratigraphie des Ammonites

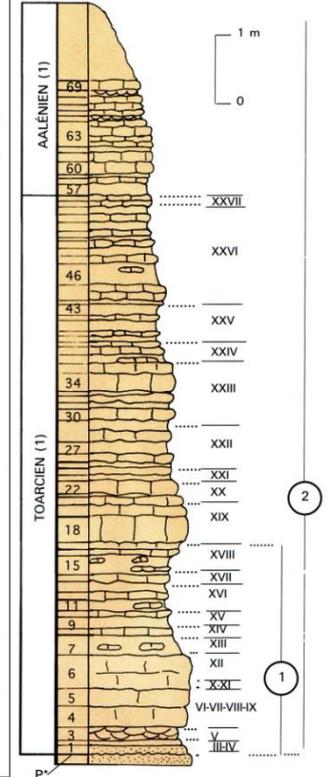
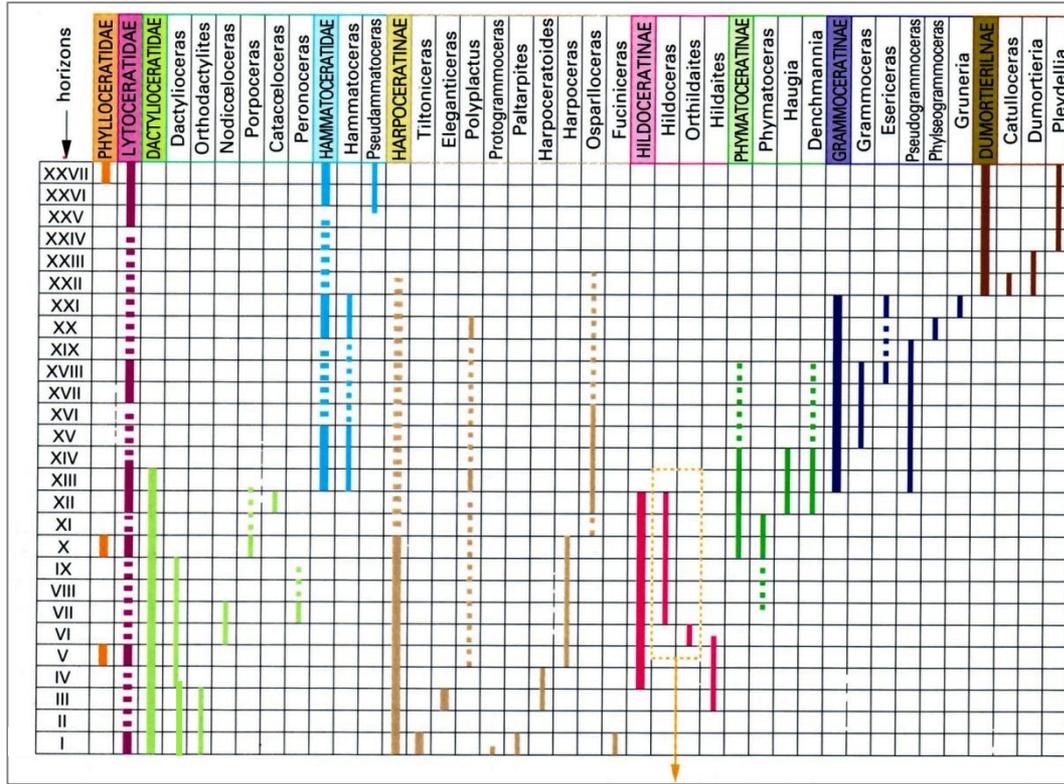
# Coupe de Chantonay (85)

## Succession lithologique, chronostratigraphie et biostratigraphie des Ammonites

Les chiffres placés sous les histogrammes verticaux indiquent le nombre de spécimens récoltés

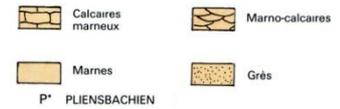
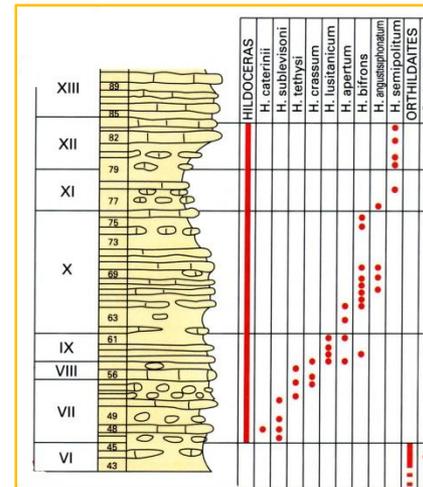


	Zones	Sous-zones	Horizons
Toarcien supérieur	Aalensis	<i>Buckmani</i>	Buckmani
		<i>Aalensis</i>	Aalensis
		<i>Mactra</i>	Mactra
	Pseudoradiosa	<i>Pseudoradiosa</i>	Explanata
		<i>Levesquei</i>	Levesquei
	Insigne	<i>Insigne</i>	Gruneri
		<i>Insigne</i>	Insigne
	Thouarsense	<i>Fallaciosum</i>	Fallaciosum
		<i>Fascigerum</i>	Fascigerum
		<i>Thouarsense</i>	Thouarsense
		<i>Bingmanni</i>	Bingmanni
	Toarcien moyen	Variabilis	<i>Vitiosa</i>
<i>Illustris</i>			Illustris
<i>Variabilis</i>			Variabilis
Bifrons		<i>Sempolium</i>	Sempolium
		<i>Bifrons</i>	Bifrons
		<i>Sublevisoni</i>	Lustanicum Commune Sublevisoni
Toarcien inférieur	Serpentinus ou Serpentinum	<i>Falciferum</i>	Pseudo-serpentinum Falciferum
		<i>Strangewaysi</i>	Strangewaysi
	Tenuicostatum	<i>Semicelatum</i>	Semicelatum
		<i>Costatum</i>	Paltus



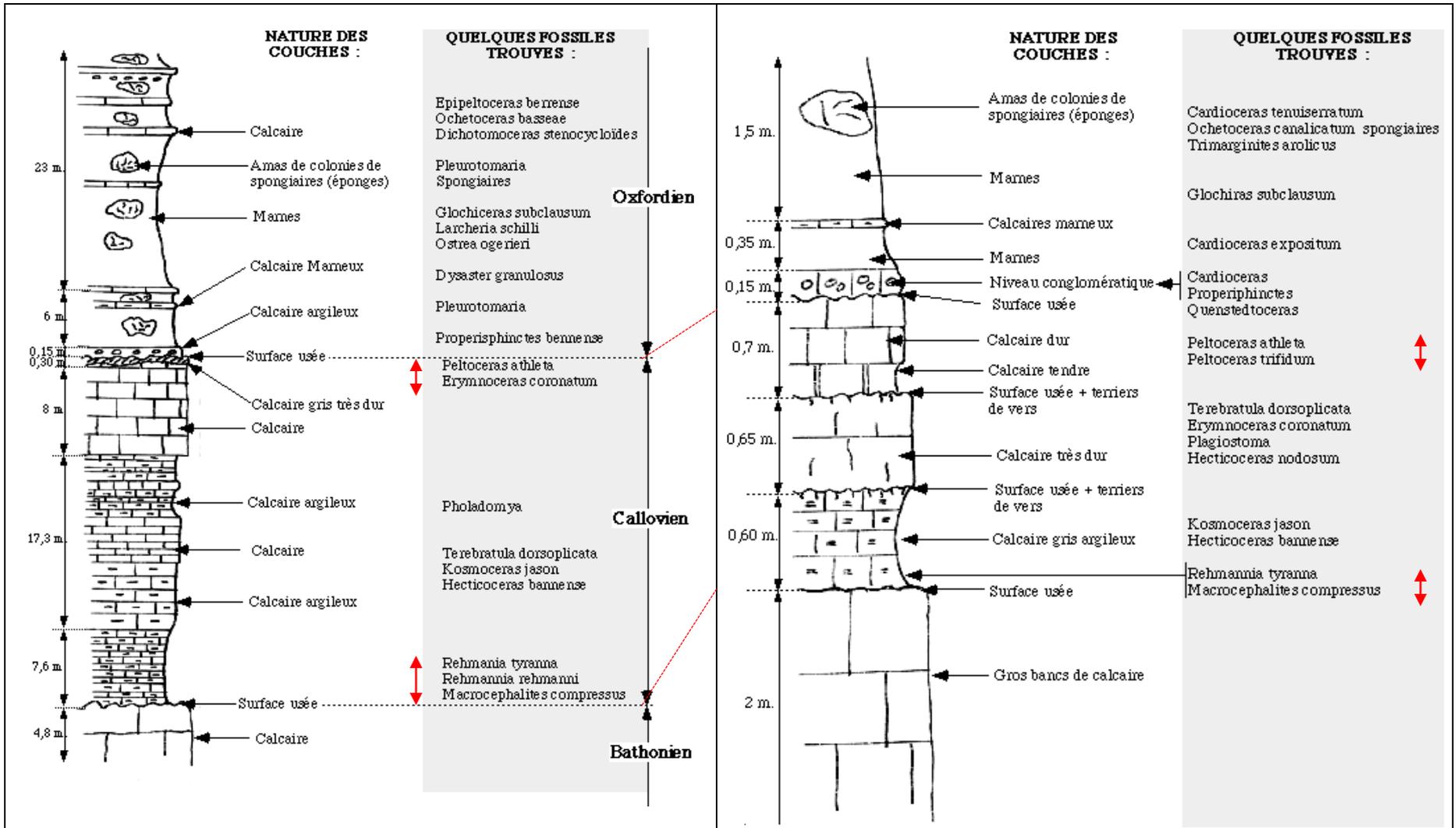
## Espèces indices des 8 biozones de J. Gabilly

- 1- *Dactylioceras tenuicostatum*
- 2- *Harpoceras serpentinum*
- 3- *Hildoceras bifrons*
- 4- *Haugia variabilis*
- 5- *Grammoceras thouarsense*
- 6- *Hammatoceras insigne*
- 7- *Dumortieria pseudoradiosa*
- 8- *Pleydellia aalensis*



Par comparaison des diapos 255 et 256, on peut mettre en parallèle la couche 10 de la coupe de Chantonay avec l'horizon VII de la coupe de Thouars du fait de la présence d'*Hildoceras sublevisoni* et la couche 28 avec les horizons XVI et XVII du fait de la présence de *Grammoceras thouarsense* et de l'absence d'*Esericeras* qui apparaît dans la couche 29.

Cette partie de la coupe de Chantonay, de la couche 10 à la couche 28, correspond donc à des terrains d'âge Toarcien moyen à milieu du Toarcien supérieur.



Carrière de Pamroux près de Saint-Maixent (79)

Carrière de la vallée du Clain – Nord de Poitiers (86)

On peut corréler les deux affleurements grâce aux Ammonites et délimiter le Callovien dans la carrière de la vallée du Clain.

En opérant ainsi, de proche en proche, on a pu construire l'échelle des temps géologiques.

A la suite de d'Orbigny et depuis 1878, date de création du Congrès Géologique International et qui se réunit depuis régulièrement tous les 4 ans, la définition de l'étage a évolué.

**Un étage est une unité chronostratigraphique définie à partir d'une coupe de référence (stratotype), caractérisée par un ensemble de critères paléontologiques, lithologiques ou géochimiques de valeur universelle.**

Le stratotype est choisi aussi proche que possible de la première séquence historique. Ainsi, le stratotype de Thouars est toujours la référence de l'étage Toarcien.

Mais dans le cas où la séquence historique ne serait plus accessible, pour une cause ou pour une autre (coupe en mauvais état, disparition à la suite d'une exploitation de carrière ou de l'urbanisation, imprécision de la définition d'origine...), une ou plusieurs coupes de référence sont définies aussi proches que possible et dénommées **para- ou néostratotypes**.

C'est le cas pour le Barrémien dont il n'a pas été possible de retrouver la coupe de définition à Barrême et dont la référence actuelle se trouve à Angles, à 25 km de Barrême.

De même, le stratotype devant avoir une signification dans une aire géographique suffisamment importante, et donc choisi dans une formation marine, des étages historiques comme le Conchylien, le Salifère, le Falunien créés par d'Orbigny ou d'autres apparus plus tard comme le Sannoisien ou le Ludien correspondant à des faciès lagunaires ou estuariens ont été supprimés.

**Enfin, un stratotype doit être accessible à tous ceux qui le demandent.**

**D'après « Les roches, mémoire du temps » de G. Mascles**

# Etablissement d'une échelle stratigraphique internationale des temps géologiques

Application des principes  
de chronologie relative



Reconstitution de la chronologie des événements géologiques à  
l'échelle locale puis régionale



Recoupements généralisés des histoires géologiques régionales  
à l'échelle d'un continent puis du globe



Calendrier de référence couvrant l'histoire de la Terre :  
**Échelle stratigraphique internationale des temps géologiques.**

# Echelle stratigraphique internationale des temps géologiques

## ECHELLE DES TEMPS GÉOLOGIQUES

ÈRE	PÉRIODE	EPOQUE	ETAGE		
Cénozoïque	Quaternaire	HOLOCÈNE			
		PLÉISTOCÈNE	CALABRIEN		
	NÉOGÈNE	PLIOCÈNE	PLAISANCIEN	ZANCLÉEN	
			MIOCÈNE	MESSINIEN	TORTONIEN
		SERRAVALLIEN		LANGHIEN	
		BURDIGALIEN		AQUITANIEN	
		PALÉOÈNE OU NUMMULITIQUE	OLIGOCÈNE	CHATTIEN	RUPÉLIEN
	EOCÈNE			PRIABONIEN	BARTONIEN
			LUTÉTIEN	YPRÉSIEN	
		PALÉOCÈNE	THANÉTIEN	MONTIEN	
Mésozoïque	CRÉTACÉ	SUPÉRIEUR	MAESTRICHTIEN	CAMPANIEN	
			SANTONIEN	CONIACIEN	
			TURONIEN	CÉNOMANIEN	
			INFÉRIEUR	ALBIEN	APTIEN
				BARRÉMIEN	HAUTERIVIEN
		VALANGINIEN		BERRIASIEN	

ÈRE	PÉRIODE	EPOQUE	ETAGE	
Mésozoïque	JURASSIQUE	MALM	TITHONIEN	KIMMÉRIDGIEN
			OXFORDIEN	
			DOGGER	CALLOVIEN
		BAJOCIEN		AALÉNIEN
		LIAS		TOARCIEN
			DOMERIEN	CARIXIEN
	SINÉMURIEN		HETTANGIEN	
	TRIAS	SUPÉRIEUR	RHÉTIEN	NORIEN
			CARNIEN	
			MOYEN	LADINIEN
INFÉRIEUR	SCYTHIEN			
Paléozoïque	PERMIEN	SUPÉRIEUR	THURINGIEN	
		INFÉRIEUR	SAXONIEN	
	CARBONIFÈRE	SILÉSIEN	STÉPHANIEN	WESTPHALIEN
			NAMURIEN	
		DINANTIEN	VISÉEN	TOURNAISIEN
	DÉVONIEN			
	SILURIEN			
	ORDOVICIEN			
	CAMBRIEN			
PRÉCAMBRIEN	ALGONKIEN			
	ARCHÉEN			

L'échelle stratigraphique divise le temps en unités chronostratigraphiques (étages, époques, périodes et ères) reconnaissables dans les formations géologiques, sur l'ensemble de la Terre. Elle est admise par la communauté scientifique.

▪ L'étage, autrefois division de base de la stratigraphie et défini par ses caractères lithologiques et paléontologiques, est conservé uniquement pour son intérêt historique. Il porte le nom du lieu où il a été décrit.

**Un étage est un empilement de biozones.**

▪ Les étages sont regroupés en époques puis périodes.

▪ L'ère est la division la plus grande.

Les grandes coupures, entre les différentes ères et périodes, correspondent à des événements majeurs dans l'histoire de la Terre (ouverture des océans, orogénèses...) et de la vie (crises biologiques, apparitions et/ou disparitions de groupes plus ou moins importants d'êtres vivants).

# Événements géologiques

# Evolution et **Grandes crises biologiques** (★)

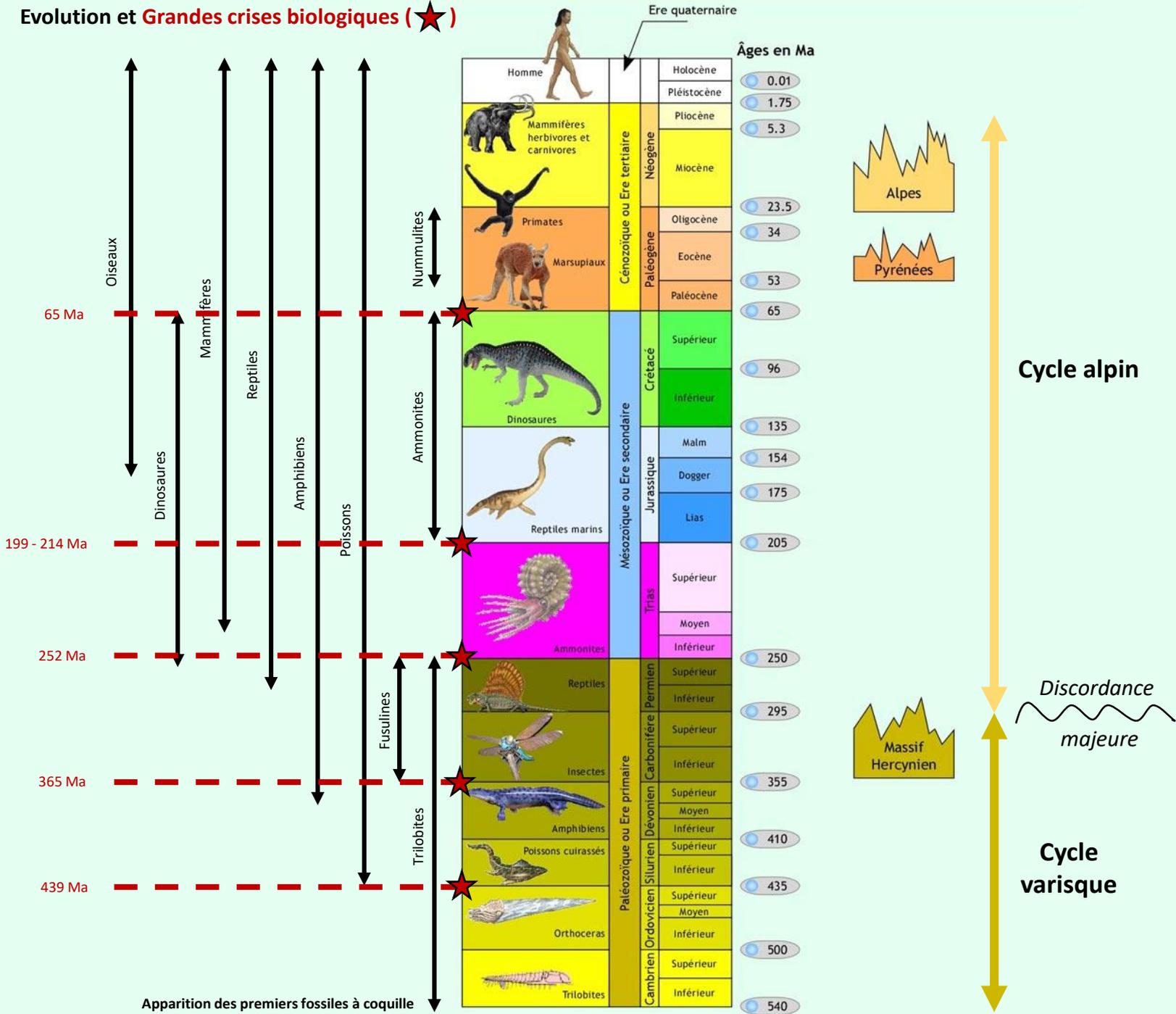
**Succession de glaciations**

**Ouverture de l'Atlantique Nord** (entre Groenland et Norvège)  
**Collision Inde-Asie (55 Ma)**

**Ouverture de l'Atlantique Sud**

**Ouverture de l'Atlantique Central** (entre Amérique du Nord et Afrique du Nord)

**Formation de la Pangée**





# INTERNATIONAL CHRONOSTRATIGRAPHIC CHART

www.stratigraphy.org

International Commission on Stratigraphy

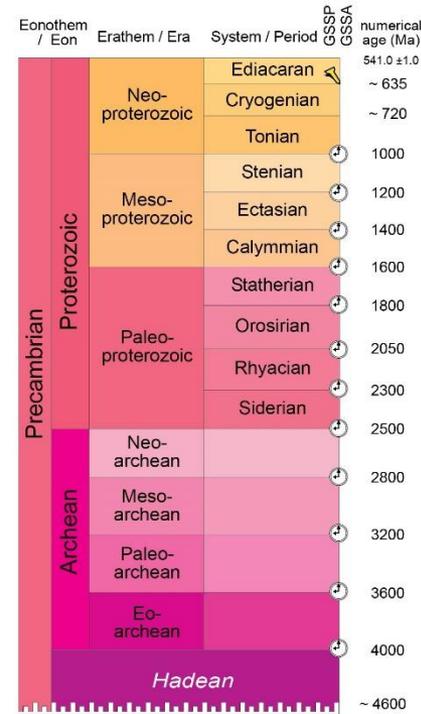
v 2017/02



Eonothem / Eon Erathem / Era System / Period	Series / Epoch	Stage / Age	GSSP	numerical age (Ma)
Phanerozoic	Quaternary	Holocene		present
		Upper Pleistocene		0.0117
		Middle Pleistocene		0.126
		Lower Pleistocene		0.781
	Pliocene	Calabrian		1.80
		Gelasian		2.58
		Piacenzian		3.600
		Zanclean		5.333
		Messinian		7.246
	Miocene	Tortonian		11.63
		Serravallian		13.82
		Langhian		15.97
		Burdigalian		20.44
		Aquitanian		23.03
	Oligocene	Chattian		27.82
		Rupelian		33.9
		Priabonian		37.8
		Bartonian		41.2
		Lutetian		47.8
	Eocene	Ypresian		56.0
		Thanetian		59.2
		Selandian		61.6
		Danian		66.0
Maastrichtian			72.1 ± 0.2	
Upper Cretaceous	Campanian		83.6 ± 0.2	
	Santonian		86.3 ± 0.5	
	Coniacian		89.8 ± 0.3	
	Turonian		93.9	
	Cenomanian		100.5	
	Albian		~ 113.0	
	Aptian		~ 125.0	
	Barremian		~ 129.4	
	Hauterivian		~ 132.9	
	Valanginian		~ 139.8	
Lower Cretaceous	Berriasian		~ 145.0	

Eonothem / Eon Erathem / Era System / Period	Series / Epoch	Stage / Age	GSSP	numerical age (Ma)
Phanerozoic	Jurassic	Tithonian		~ 145.0
		Upper Kimmeridgian		152.1 ± 0.9
		Lower Kimmeridgian		157.3 ± 1.0
		Oxfordian		163.5 ± 1.0
		Callovian		166.1 ± 1.2
		Bathonian		168.3 ± 1.3
		Bajocian		170.3 ± 1.4
		Aalenian		174.1 ± 1.0
		Toarcian		182.7 ± 0.7
		Pliensbachian		190.8 ± 1.0
	Triassic	Upper Norian		~ 208.5
		Lower Norian		~ 227
		Carnian		~ 237
		Ladinian		~ 242
		Anisian		247.2
	Permian	Lower Olenekian		251.2
		Induan		251.2
		Changhsingian		251.902 ± 0.024
		Wuchiapingian		254.14 ± 0.07
		Lopingian		259.1 ± 0.5
	Carboniferous	Upper Guadalupian		265.1 ± 0.4
		Wordian		268.8 ± 0.5
		Roadian		272.95 ± 0.11
Kungurian			283.5 ± 0.6	
Artinskian			290.1 ± 0.26	
Pennsylvanian	Sakmarian		295.0 ± 0.18	
	Asselian		298.9 ± 0.15	
	Gzhelian		303.7 ± 0.1	
	Kasimovian		307.0 ± 0.1	
	Moscovian		315.2 ± 0.2	
Mississippian	Upper Bashkirian		323.2 ± 0.4	
	Serpukhovian		330.9 ± 0.2	
	Visean		346.7 ± 0.4	
	Tournaisian		358.9 ± 0.4	

Eonothem / Eon Erathem / Era System / Period	Series / Epoch	Stage / Age	GSSP	numerical age (Ma)
Phanerozoic	Devonian	Upper Famennian		372.2 ± 1.6
		Lower Famennian		382.7 ± 1.6
		Frasnian		382.7 ± 1.6
		Givetian		387.7 ± 0.8
		Eifelian		393.3 ± 1.2
	Silurian	Lower Emsian		407.6 ± 2.6
		Pragian		410.8 ± 2.8
		Lochkovian		419.2 ± 3.2
		Pridoli		423.0 ± 2.3
		Ludlow		425.6 ± 0.9
	Ordovician	Wenlock Homerian		427.4 ± 0.5
		Sheinwoodian		430.5 ± 0.7
		Telychian		433.4 ± 0.8
		Llandovery Aeronian		438.5 ± 1.1
		Rhuddanian		440.8 ± 1.2
	Cambrian	Hirnantian		443.8 ± 1.5
		Katian		445.2 ± 1.4
		Sandbian		453.0 ± 0.7
		Darriwilian		458.4 ± 0.9
		Dapingian		467.3 ± 1.1
	Terreneuvian	Lower Floian		470.0 ± 1.4
		Tremadocian		477.7 ± 1.4
		Stage 10		485.4 ± 1.9
Furongian Jiangshanian			~ 489.5	
Paibian			~ 494	
Series 3	Guzhangian		~ 497	
	Drumian		~ 500.5	
	Stage 5		~ 504.5	
	Stage 4		~ 509	
	Stage 3		~ 514	
Stage 2	Stage 2		~ 521	
	Stage 2		~ 529	
	Fortunian		541.0 ± 1.0	



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). 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.

Numerical ages for all systems except Lower Pleistocene, Upper Paleogene, Cretaceous, Triassic, Permian and Precambrian are taken from 'A Geologic Time Scale 2012' by Gradstein et al. (2012); those for the Lower Pleistocene, Upper Paleogene, Cretaceous, Triassic, Permian and Precambrian were provided by the relevant ICS subcommissions.

Colouring follows the Commission for the Geological Map of the World (<http://www.cgm.org>)

Chart drafted by K.M. Cohen, D.A.T. Harper, P.L. Gibbard (c) International Commission on Stratigraphy, February 2017

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/ChronostratChart2017-02.pdf>





# Mais remarques importantes !

**Le stratotype idéal est celui qui aurait enregistré une sédimentation continue, sans aucun hiatus, pendant toute la période correspondante.**

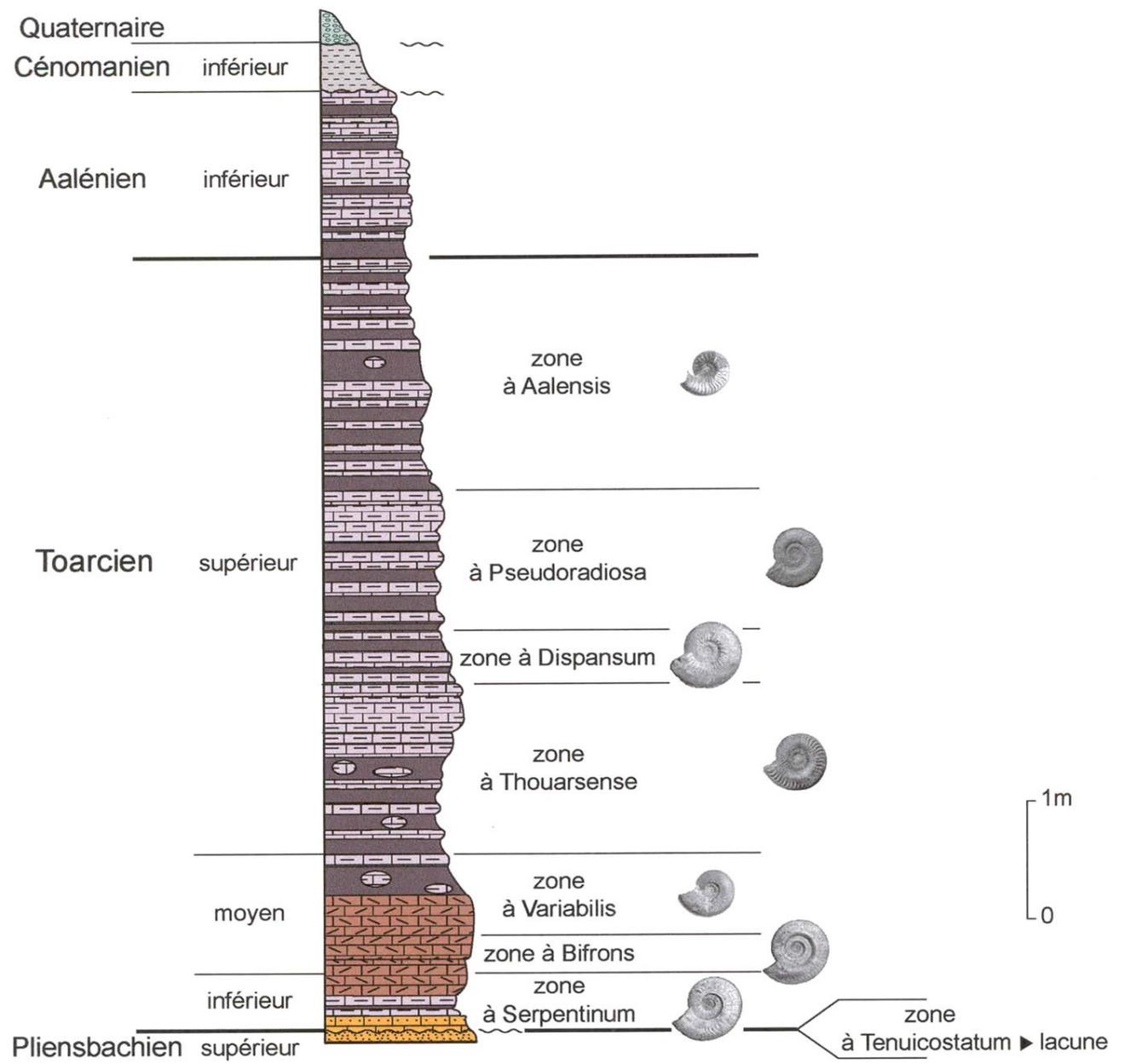
**Or, les stratotypes historiques ont été définis au XIX<sup>ème</sup> siècle en France et en Angleterre, dans le Bassin anglo-parisien (voir diapositive 23 – carte de J.-E. Guettard – 1746), dont on sait aujourd’hui qu’il s’agit d’un bassin intracratonique subsident où la mer n’a jamais été très profonde.**

**Cela explique pourquoi ces stratotypes historiques qui sont donc des séries sédimentaires de plateformes littorales ont des faciès très variés, sont très riches en fossiles... mais inconvénient, ils ont aussi enregistré le temps de façon discontinue (nombreuses lacunes, surfaces d’érosion...) du fait des transgressions et régressions successives.**

**Conséquence : Les stratotypes historiques ne sont donc que les intervalles entre les « barreaux » de l’échelle stratigraphique, si les « barreaux » représentent les hiatus.**

L'échelle stratigraphique  
aujourd'hui - Les GSSP  
(Global boundary Stratotype  
Section and Point)

**Document Didier Poncet**  
 (Centre d'interprétation  
 géologique du Thouarsais)



Succession des zones à ammonites sur le stratotype du Toarcien

La délimitation des étages pose souvent problèmes.

Si l'on prend l'exemple du Toarcien, il est marqué à sa base par une discordance qui présente tous les aspects d'une discordance d'érosion. Il y a donc lacune.

Certainement que le sommet du Pliensbachien a été érodé et donc que des horizons manquent. Certainement qu'au dessus de cette discordance donc à la base même du Toarcien, des horizons antérieurs à l'horizon 1 de J. Gabilly manquent aussi.

C'est pourquoi depuis les années 1970, afin d'améliorer la définition des étages, on tend maintenant à définir des **stratotypes dits « de limite »** ou **GSSP (Global boundary Stratotype Section and Point)** là où on est « certain » que la sédimentation a été continue et que le passage entre les deux étages successifs se soit fait avec le moins de hiatus possible.

**Des GSSP ont ainsi été définis loin de leur stratotype d'origine** : par exemple, les GSSP Danien/Selandien et Selandien/Thanétien (limite Paléocène - Eocène) ont été positionnés à Zumaïa (Pays basque espagnol) alors que les stratotypes historiques sont au Danemark pour le Danien et le Selandien (Île de Seeland), en Angleterre pour le Thanétien.

**Pas de GSSP non plus à Vrines ! La limite inférieure (Pliensbachien-Toarcien) a été définie en 2014 à Peniche au Portugal, la limite supérieure (Toarcien-Aalénien) en 2000 à Fuentelsaz dans la province de Guadalajara, en Espagne.**

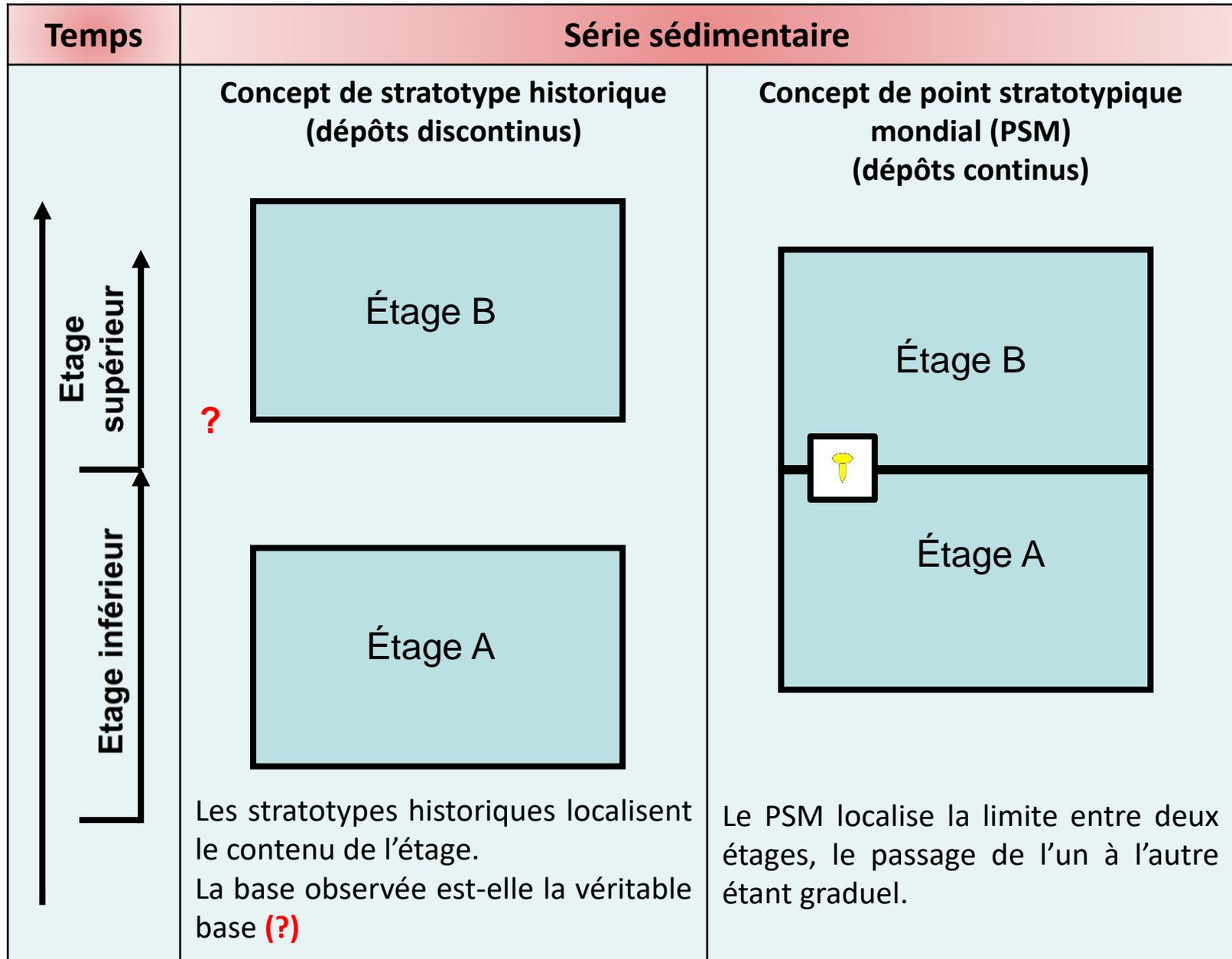
Le GSSP repère est matérialisé sur l'affleurement par un « **clou d'or** » (**Golden Point**). Ce point définit la base de l'étage supérieur. On le nomme aussi **PSM : Point Stratotypique Mondial**.



Un des deux Clous d'or de la plage de Zumaia (Pays basque espagnol)



## Les deux types de stratotypes



Un GSSP doit répondre à différents critères :

- Être accessible à tous les chercheurs,
- Relever d'une série continue donc marine pélagique,
- Présenter des dépôts sans complication structurale et sans perturbations fortes type bioturbation, remaniement, érosion... ,
- Ne pas présenter de changement de lithologie (de faciès). L'absence de changement de faciès à la limite réduira le risque de hiatus de dépôt et favorisera la lecture des variations données par les divers outils stratigraphiques énumérés ci-dessous,
- Avoir un bon enregistrement paléontologique,
- Se prêter à la magnétostratigraphie et à la chimiostratigraphie ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$ , Strontium, Mg, Mn...), paramètres qui permettront d'expliquer une éventuelle variation de la microfaune par modifications du climat ( $\delta^{18}\text{O}$ ), de l'ensoleillement ( $\delta^{13}\text{C}$ ) ou inversions brusques du champ magnétique responsables alors de mutations...
- Contenir des radioisotopes permettant une datation absolue.

## Les 6 GSSP français :

- Tercis-les-Bains, Landes, pour le Maastrichtien (2001)
- Le Mount Risou, Hautes-Alpes, pour le Cénomaniens (2002)
- Le Ravin du Bès, Bas-Auran, Alpes de Haute Provence, pour le Bathonien (2008)
- La colline de la Serre près de Cabrières, Montagne Noire, Hérault, pour le Tournaisien (1990)
- La Carrière de Coumiac près de Cessenon, Montagne Noire, Hérault pour le Famennien (1993)
- Le Col du Puech de la Suque, Montagne Noire, Tarn, pour le Frasnien

## Les sites français candidats GSSP :

- La Charce, Drôme, pour le Hauterivien
- Le Mont Crussol (limite Ardèche-Drôme) ou Canjuers (Var) pour le Tithonien
- Savouron, Hautes-Alpes, pour l'Oxfordien

<https://www.youtube.com/watch?v=R2vInQyPvr4>

La **limite Crétacé/Tertiaire** (66,0 Ma), est sans doute l'événement le plus connu de l'histoire de la Terre ; on le fait couramment et abusivement correspondre à la disparition des Dinosaurés et des Ammonites (crise K-T).

Le GSSP du **Danien** (premier étage du Tertiaire) est à la base d'une couche d'argile bien précise située en Italie, près de Gubbio, col de la Bottacione, ou à **Elf Kef** (Tunisie), ou encore à Bidard (France)... Ici, le critère retenu n'est pas l'apparition d'un fossile, mais le pic observé dans le taux d'iridium, anomalie attribuée à la chute de la météorite de Chicxulub (Presqu'île du Yucatan, Mexique).

En 1991, la coupe d'El Kef en Tunisie a été choisie comme Global Stratotype Section and Point (GSSP) pour définir cette transition.

Cette coupe présentait en effet les différents critères nécessaires à la détermination de la limite K/T à savoir :

a) Le passage de dépôts souvent crayeux du Maastrichien à un lit d'argile presque dépourvu en carbonates et riche en matière organique (MO), souvent sombre, de 60 cm d'épaisseur surmonté par les marnes argileuses du Danien.

b) Un mince niveau rouge-jaune (oxydation) de quelques mm à la base du lit d'argile montrant une anomalie élevée de la teneur en iridium, contenant aussi des spinelles nickélifères et des quartz « choqués ».

c) Une chute du rapport  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$  des carbonates dans les basses et moyennes latitudes, interprétée comme une réduction de la productivité phytoplanctonique.

d) Un pic en carbone organique suggérant une mortalité en masse, voir des incendies généralisés sur le continent (très controversé).

e) L'apparition de nouvelles espèces de foraminifères planctoniques au-dessus du niveau rouge, la disparition des espèces tropicales et subtropicales de grande taille à tests complexes et fortement ornementés, la survivance et l'apparition des espèces cosmopolites de petite taille à tests simples et moins ornementés dans le Danien.

En 2003, la coupe d'El Kef a été déclarée en danger après la construction d'un barrage en amont.

Un nouveau site devait donc être désigné pour le GSSP.

Il a été choisi près de Gubbio, au col de la Bottacione.

## Exemples de critères utilisés pour les GSSP du Miocène à l'Holocène

Période	Epoque	Etage	Age (en Ma)	Critère
Quaternaire	Holocène	Atlantique boréale	0,01	climatique : fin du Dryas récent
	Pléistocène	Tanantien	0,13	climatique : base de l'interglaciaire Eémien
		Ionien	0,78	magnétique : inversion du Brunhes-Matuyama
		Calabrien	1,81	magnétique (inversion) + biologique (entre dernières occurrences respectives de <i>Cyclococcolithus macintyeri</i> et <i>Discoaster brouweri</i> ) + sédimentologique (calcaires marins sur des vases à pétroles nommées sapropels)
		Gelasien	2,59	magnétique, biologique, sédimentologique
Néogène	Pliocène	Plaisancien	3,6	magnétique, biologique, sédimentologique
		Zancléen	5,33	magnétique, biologique, sédimentologique
	Miocène	Messinien	7,25	magnétique, biologique (1 <sup>e</sup> occurrence de <i>Globorotalia myotumida</i> )
		Tortonien	11,61	magnétique, biologique, sédimentologique
		Serrevallien	13,82	magnétique, biologique
		Langhien	15,97	magnétique, biologique
		Burdigalien	20,43	magnétique, biologique

Prochain gros travail pour les stratigraphes : trouver le clou d'or de l'Anthropocène !

**Trouver le clou d'or de l'Anthropocène !**

[https://www.sciencesetavenir.fr/fondamental/geologie/les-geologues-du-monde-entier-sont-a-la-recherche-du-clou-d-or\\_104313](https://www.sciencesetavenir.fr/fondamental/geologie/les-geologues-du-monde-entier-sont-a-la-recherche-du-clou-d-or_104313)