

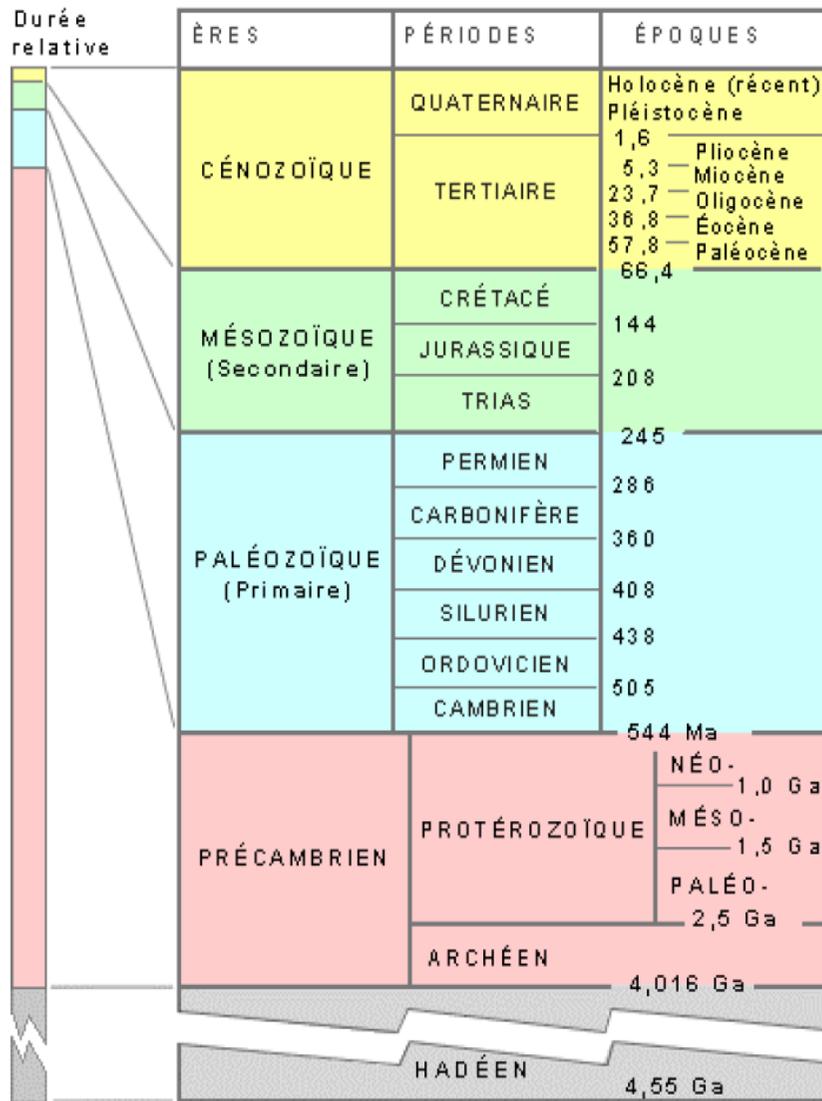


BioGeoPal - L3

Cours n° 3: Les apports des fossiles pour la datation et la paléogéographie



Grands découpages de l'échelle des temps géologiques liés à l'histoire de la Vie



Extinctions biologiques majeures

Homme

III^{re}=Nummulites, radiation des Mammifères et des plantes à fleurs

IInd=Ammonites, Dinosaures

I^{re}=Trilobites, Fusulines

- principes et les limites de la biostratigraphie
- principes et les limites de la paléobiogéographie

I. Quelques rappels de stratigraphie

II. Les fossiles permettent la datation des sédiments

A. Notion de fossile stratigraphique et exemples

B. La biostratigraphie : découpage du temps en biozones

C. Datations relative et absolue sont utilisées de manière couplée

D. Limites de la notion de biozone

III. Les fossiles permettent des reconstructions paléogéographiques

A. Principes de la biogéographie

B. Exemples de reconstitutions paléogéographiques

I. Quelques rappels de stratigraphie

Définition de la **stratigraphie**:

Science qui étudie la succession des dépôts sédimentaires dans le but **d'établir une chronologie** stratigraphique qui permet in fine de **reconstituer dans sa continuité l'histoire de la Terre** enregistrée dans les formations sédimentaires.

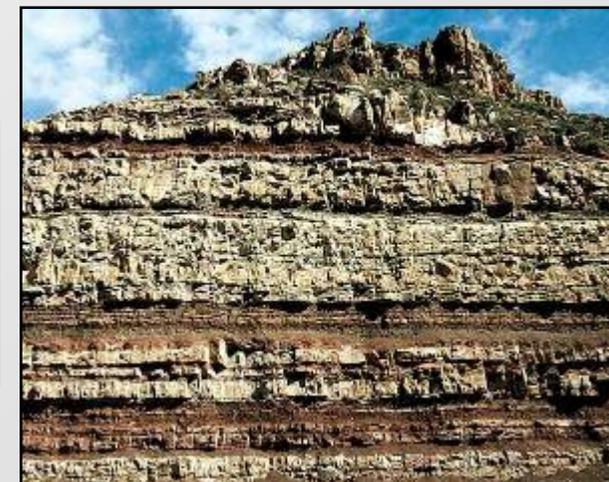
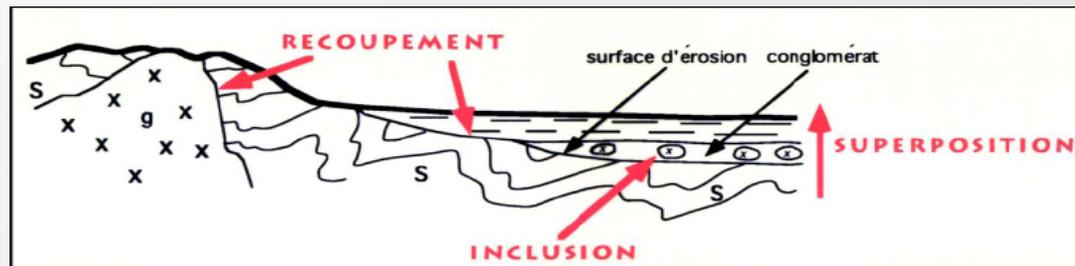
Principes de la stratigraphie:

Principe de **continuité** : une même couche a le même âge sur toute son étendue

Principe de **superposition** : de deux couches superposées non renversées par la tectonique, la plus basse est la plus ancienne

Principe de **recoupement**

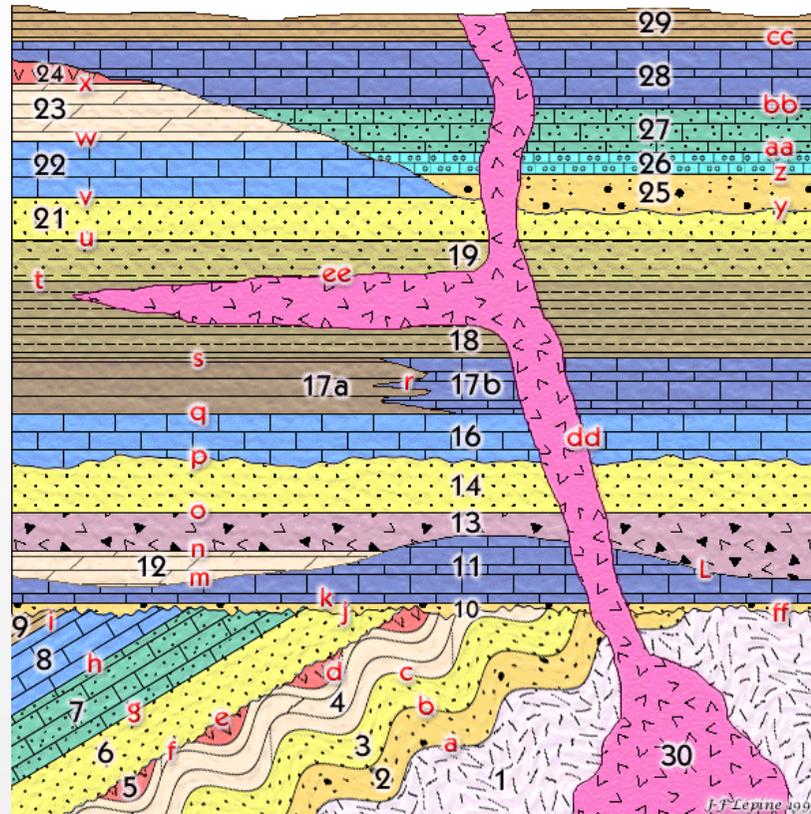
Principe **d'inclusion**



Plus récent
↑
↓
Plus ancien

Ex: principe de superposition

Reconstitution de la succession des événements géologiques



Datation relative

<http://www.er.uqam.ca/nobel/k20322/pexestrati.html>

On peut aussi étendre cet exercice à de nombreuses localités et essayer de **les corrélérer temporellement entre elles**

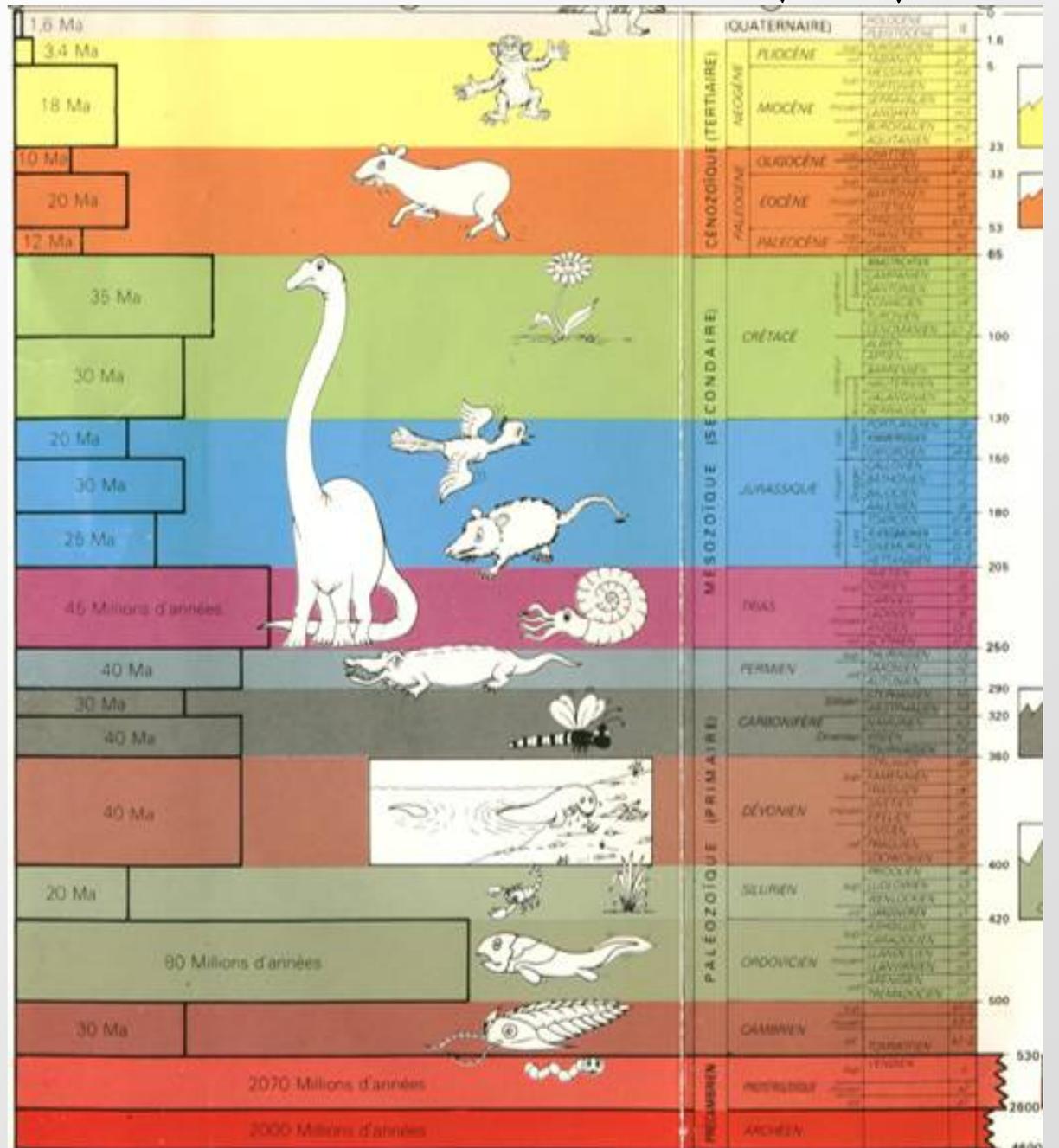
Pour cela, on définit des **étages** : intervalles spécifiques du temps géologique (=unité géochronologique) associés à une couche sédimentaire de référence appelée stratotype.

Ex: Stampien (Oligocène), stratotype à Etampes

Echelle chronostratigraphique

Périodes
Etages

Connaître les périodes par cœur!

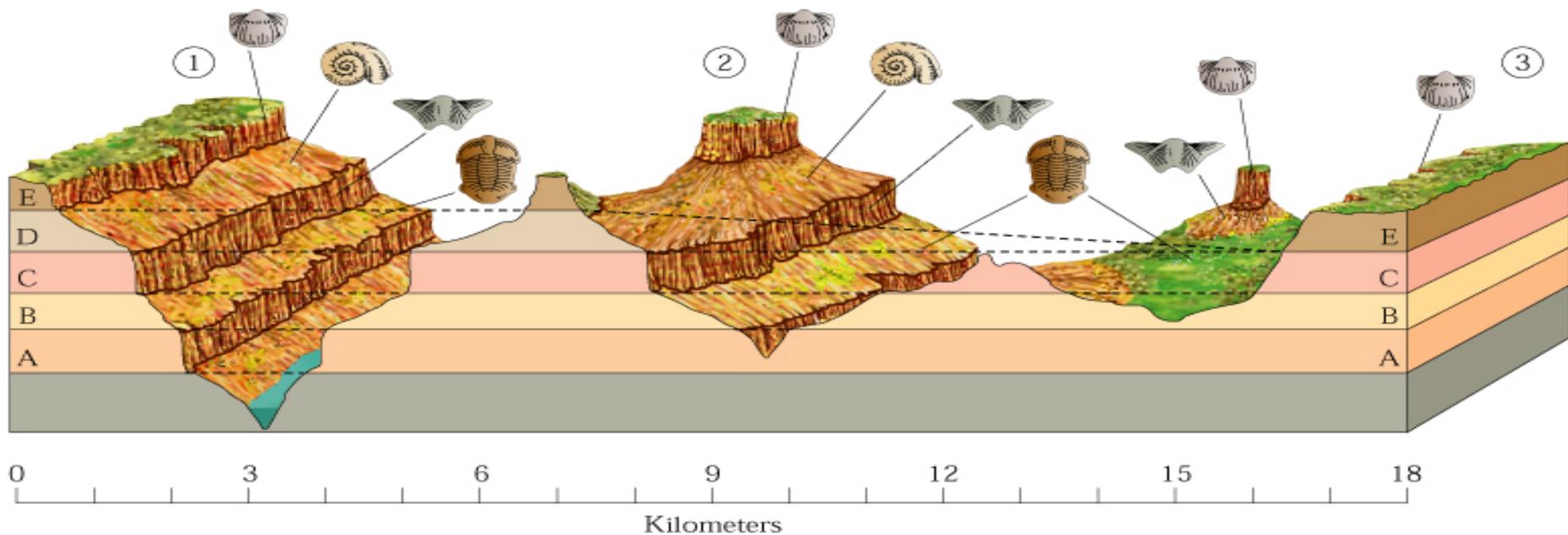


Problèmes: Comment corréler les terrains entre eux ?

Le faciès lithologique seul est peu fiable car peut se répéter dans le temps et est très dépendant du milieu considéré. Par conséquent, il y a des événements sédimentaires **diachrones**. De plus, les lacunes sont l'expression de discontinuités temporelles dans le dépôt.

Il faut donc un marqueur irréversible du temps

II. Utilisation de la biostratigraphie et ses limites



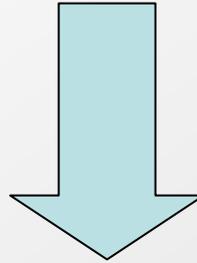
Copyright 1999 John Wiley and Sons, Inc. All rights reserved.

Evolution biologique : processus continu, non répétitif, dont le cours est irréversible = chronomètre

Principe d'identité paléontologique : deux couches possédant le même contenu fossilifère sont dites de même âge.

A. Notion de fossile stratigraphique et exemples

Fossile stratigraphique : fossile pouvant être utilisé pour le découpage temporel des strates.



- ★ **Grande abondance** (statistique)
- ★ **Grande extension géographique** (formes de dispersion, espèces pélagiques)
- ★ **Existence courte à l'échelle géologique** (évolution rapide)

1. Exemples de macrofossiles

★ Statistique pas toujours très bonne

★ Certains sont benthiques et donc corrélations à longue distance difficiles

Mais:

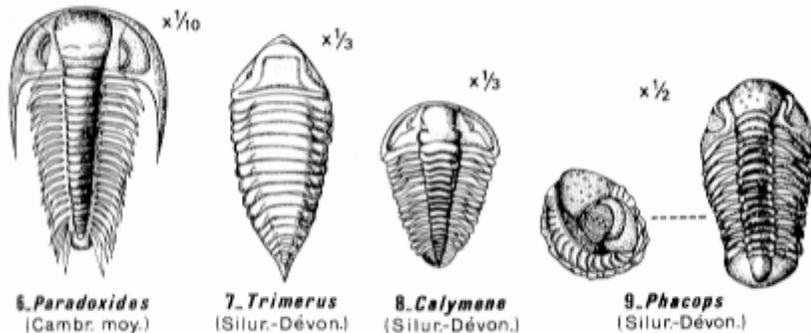
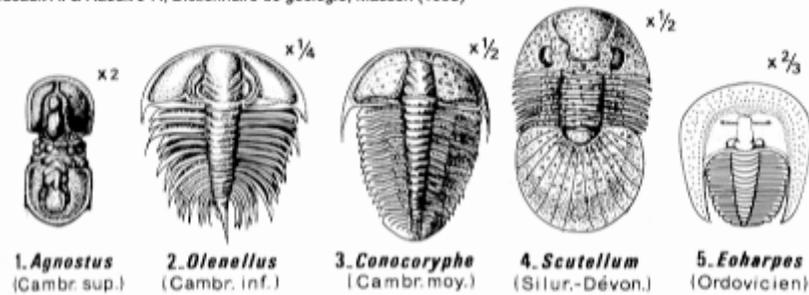
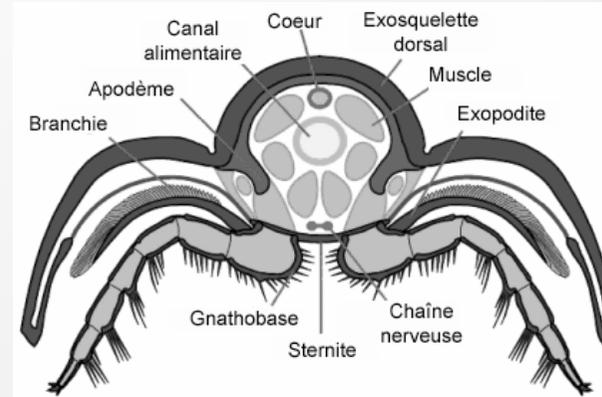
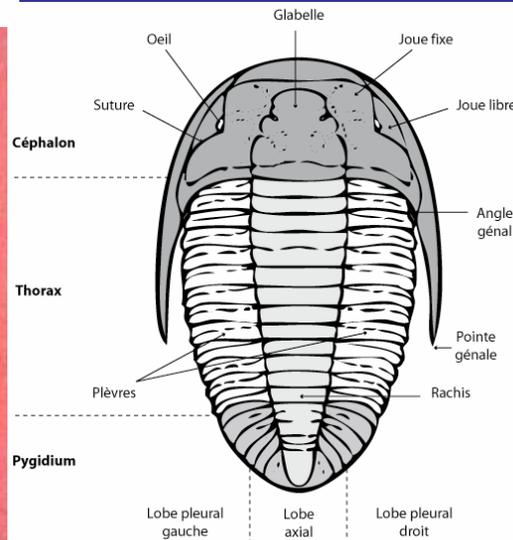
★ Faciles à reconnaître

★ Flottabilité des coquilles et dispersion post-mortem + stades planctoniques larvaires.

Les Trilobites (ère Primaire)

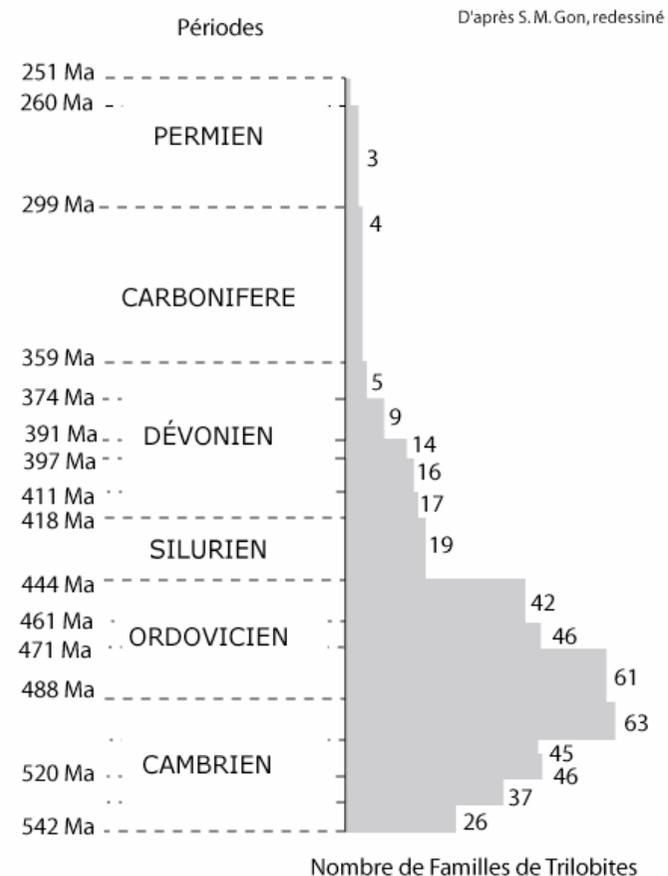


Foucault A. & Raoult J-F., Dictionnaire de géologie, Masson (1995)



Trilobites

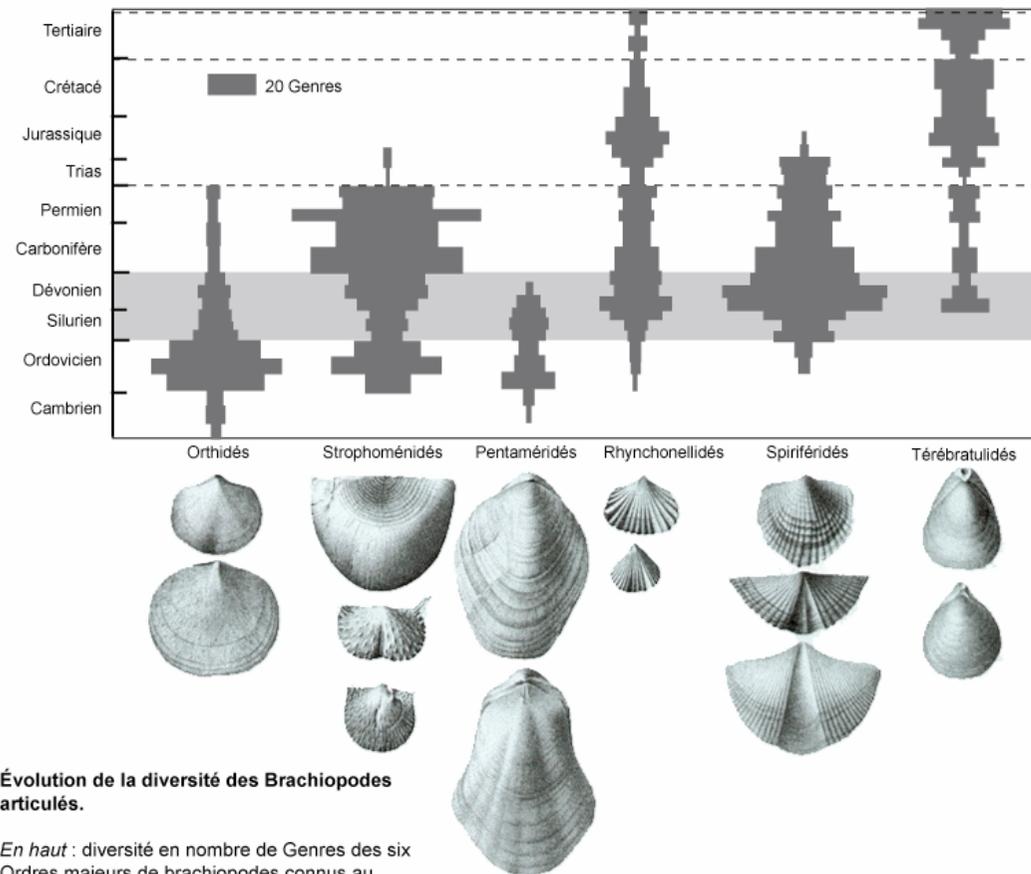
Quelques exemples de Trilobites : - Agnostidés (1) - Olenellidés (2) - Opistopariés (3 à 7) - Propariés (8 et 9). Pour 9, à gauche individu enroulé sur lui-même, à droite déroulé.



Certains Brachiopodes pour l'ère Primaire



Orthis, Primaire



Évolution de la diversité des Brachiopodes articulés.

En haut : diversité en nombre de Genres des six Ordres majeurs de brachiopodes connus au Paléozoïque. Tous étaient représentés au Silurien et au Dévonien.

En bas : Représentants paléozoïques typiques de chaque Ordre.

Données de diversité : Treatise on Invertebrate Paleontology
Illustration : James Hall's volume of the New York State Natural
History Survey (1862 -1894)

Ammonoïdés pour ères primaire-secondaire

Goniatite (ligne de suture en V)- Primaire, Cératites (l.s. en selle) - Trias, Ammonites (l.s. persillée) - Jurassique et Crétacé

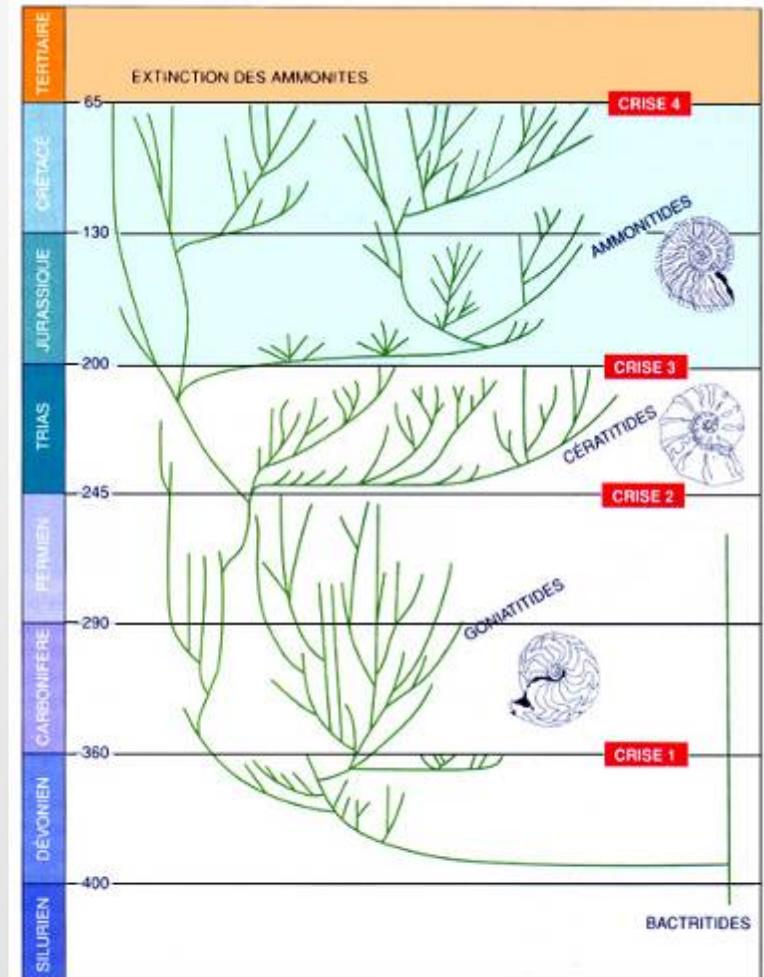
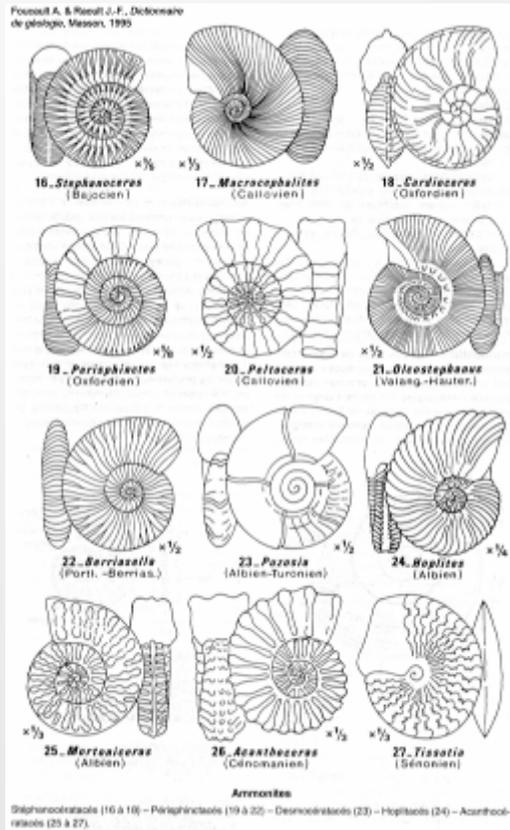
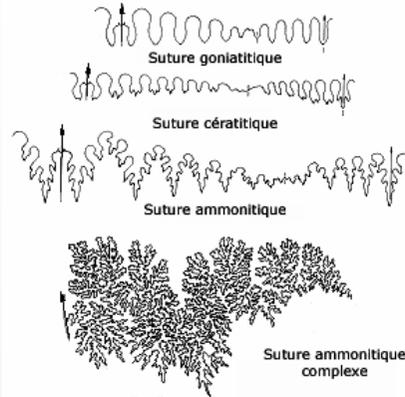
Goniatite (Primaire)



Cératite (Trias)



Ammonite (Jur/Crét)



IMPACT DES DIVERSES CRISES sur le parcours évolutif des ammonoïdés depuis leur origine au Dévonien inférieur, enracinée chez les bactritides, jusqu'à l'extinction définitive des ammonites lors de la crise fini-crétacée. Aux extinctions d'espèces succèdent des radiations de nouvelles espèces, à partir des quelques branches restantes (d'après Tintant, 1985, modifié).

Pour la Science dossier hors-série La valse des espèces, Juillet 2000

1. Exemples de microfossiles

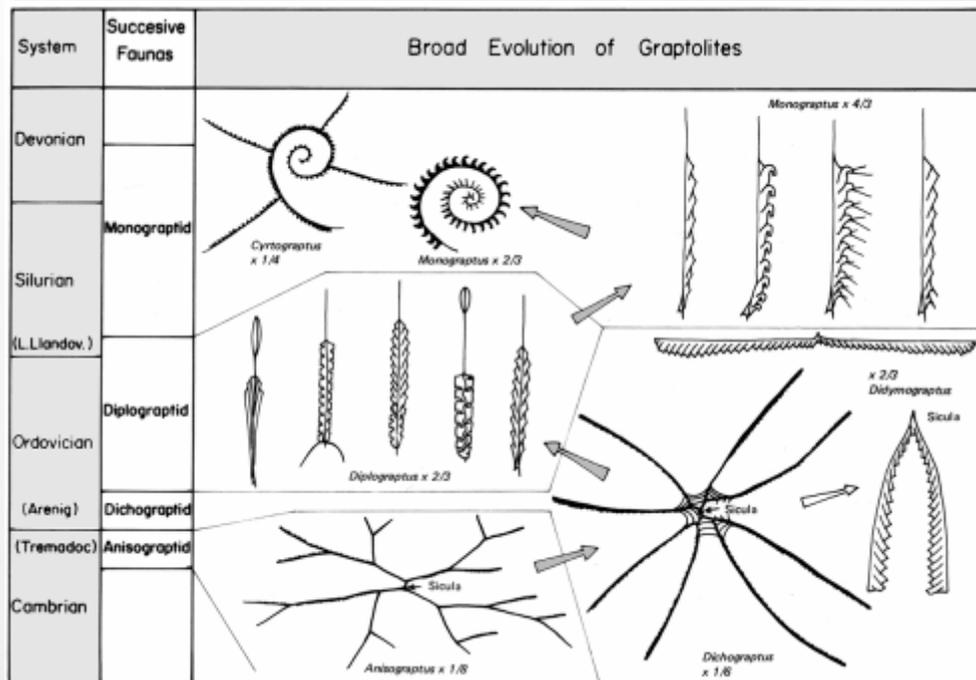
Très utilisés car :

★ **très abondants** même dans les petits échantillons que sont les carottes et dragages de sédiments marins ;

★ **planctoniques** souvent ;

★ permet souvent un **découpage temporel beaucoup plus fin** que les macrofossiles.

Graptolites (Cambrien → Carbonifère)

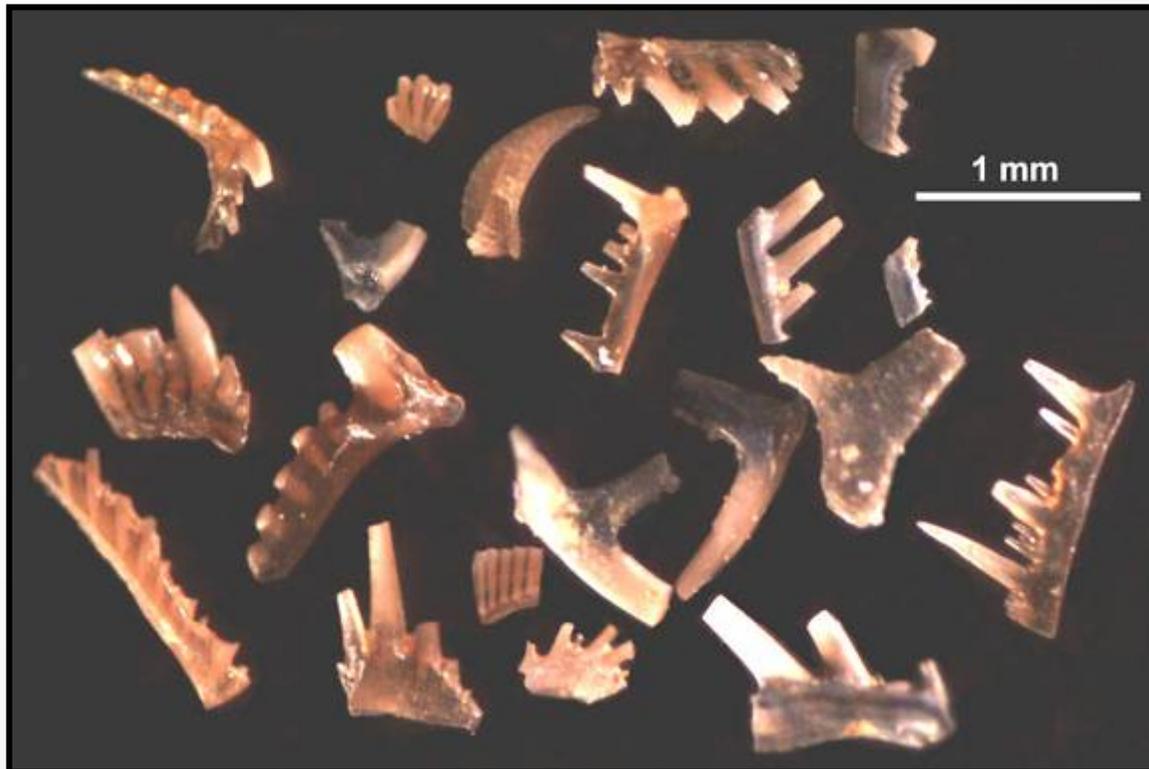


★ Colonies d'animaux, flottantes ou fixées.

★ Parenté présumée avec les Ptérobranches actuels (Hémichordés).

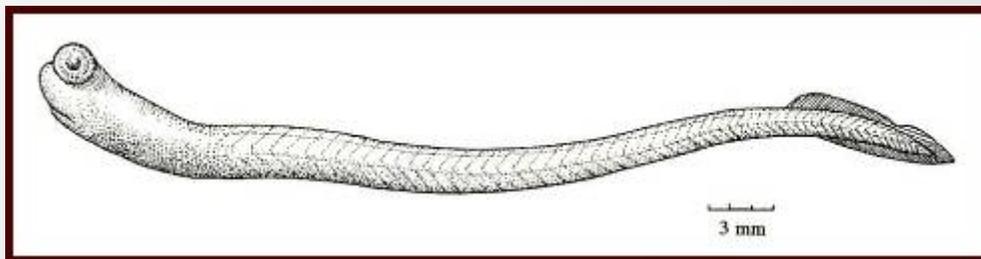
★ Connus du Cambrien au Carbonifère supérieur.

Conodontes (Protérozoïque → Trias)



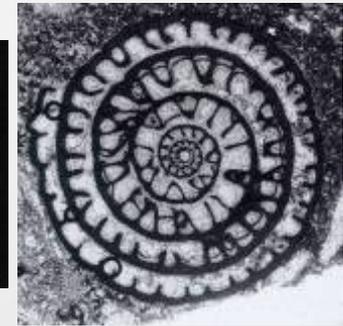
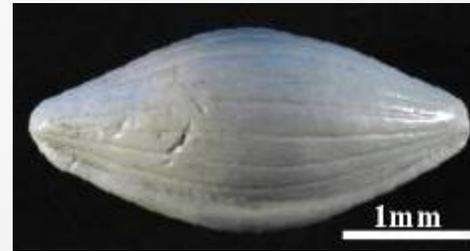
Vertébré
Chordé

Phosphate de Calcium

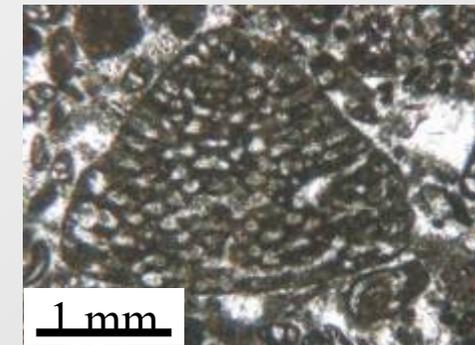


Foraminifères (Primaire → Actuel)

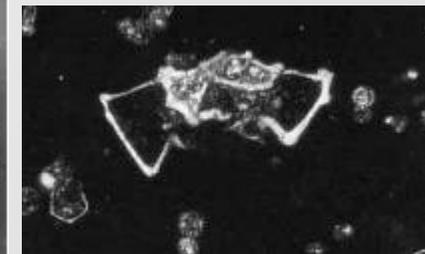
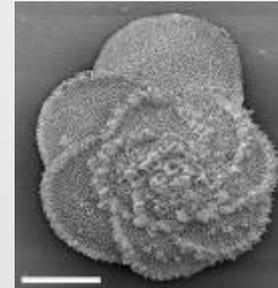
Fusulines, Carb-Permien
Extinction à la limite I/II



Orbitolines, Crétacé inf.



Globotruncana, Crétacé
Extinction: limite II/III



Nummulites, Abondants au Paléogène



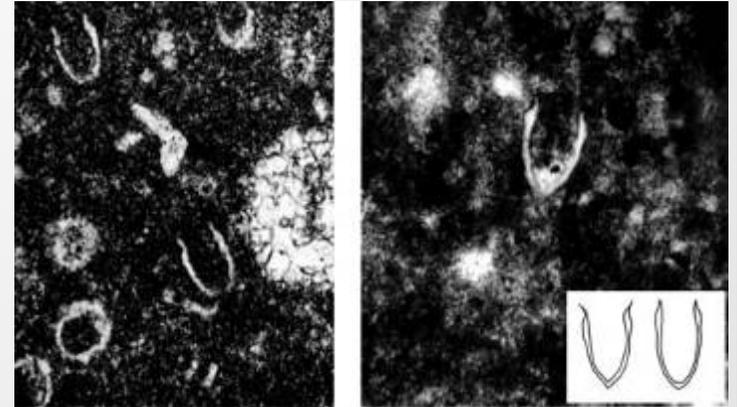
Cf. Bignot, Introduction à la micropaléontologie pour répartition stratigraphique de quelques groupes de foraminifères

Autres groupes de microfossiles d'intérêt stratigraphique

Calpionelles (Jurassique Sup-Crétacé Inf)

Protozoaire

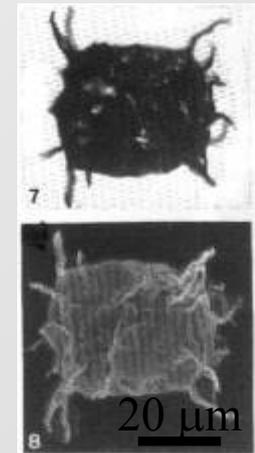
Marin, planctonique pélagique



Acritarches (Précambrien – Actuel)

Dinoflagellés?

utilisés surtout pour le Paléozoïque



Coccolithophoridés (Trias-Actuel)

Algues unicellulaires

Très abondant au Crétacé

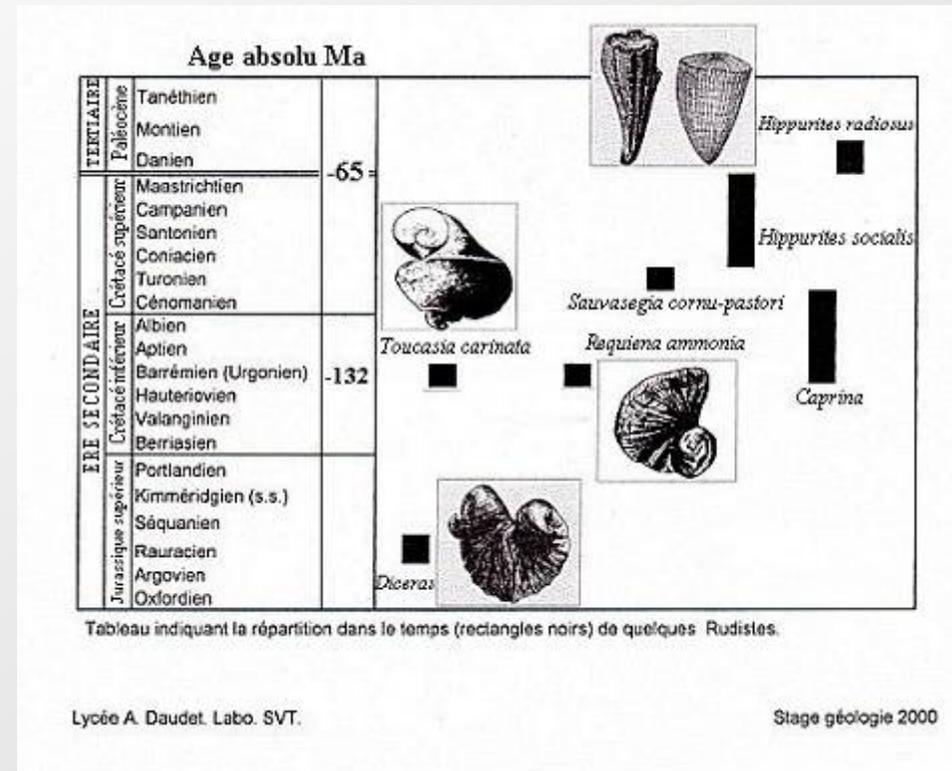
Ex: apparition de *Emiliana huxleyi* = stade 18 de l'évolution des $\delta^{18}\text{O}$.



Fossiles de faciès et fossiles stratigraphiques



Hippurites, rudistes des faciès récifaux du Crétacé Sup.



Rudistes en général sont de très bons fossiles de faciès et stratigraphiques

Synthèse

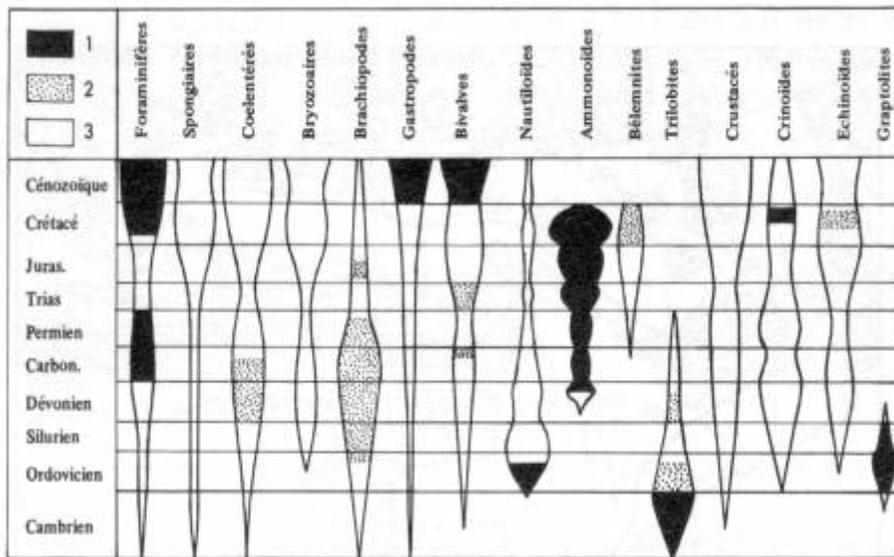
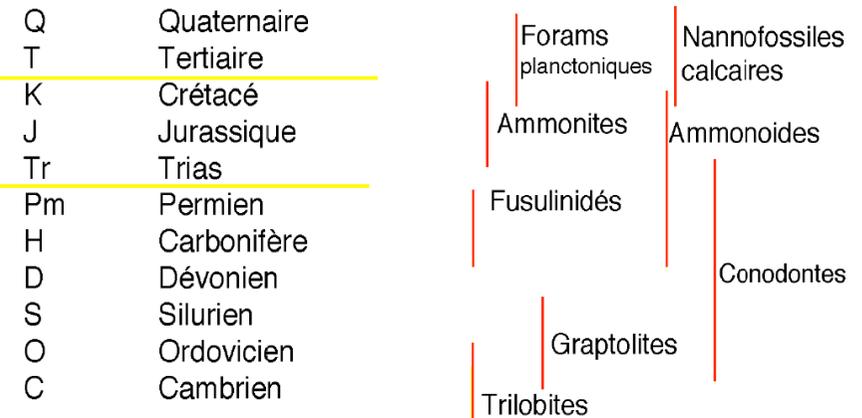


Fig. 8 – Importance biostratigraphique relative des principaux groupes d'invertébrés. 1 : Importance pour corrélations à grande distance ; 2 : Intérêt pour corrélations régionales ; 3 : Intérêt restreint ou nul pour la biozation et les corrélations (d'après C. Babin 1980).

Principaux groupes de fossiles utilisés en biostratigraphie (milieu marin) :

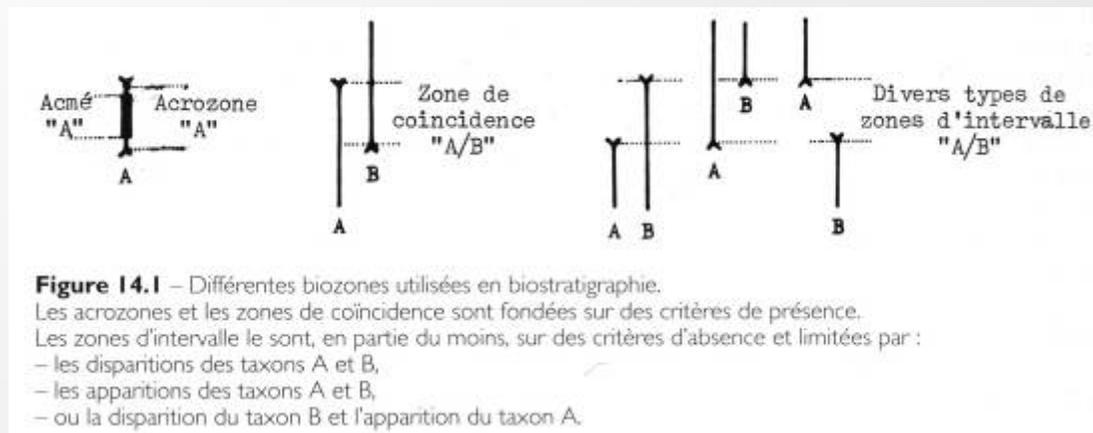


Proterozoic
Archéen

B. La biostratigraphie : découpage du temps en biozones

Biozone= division de base biostratigraphique correspondant au volume de terrains correspondant à l'extension verticale et horizontale (géographique) de deux ou plusieurs taxons chacun de ceux n'occupant pas obligatoirement le même espace.

Plusieurs types de biozones



Biozone d'extension=acrozone (apparition-disparition)

Biozone d'acmé

Biozone de coïncidence

Biozone d'intervalle (≠ cas)

Exemples de biozones :

Zone à *Orbitolites complanatus* et
Nummulites variolatus (Eocène-Lutétien)

Exemple de découpage stratigraphique en biozones

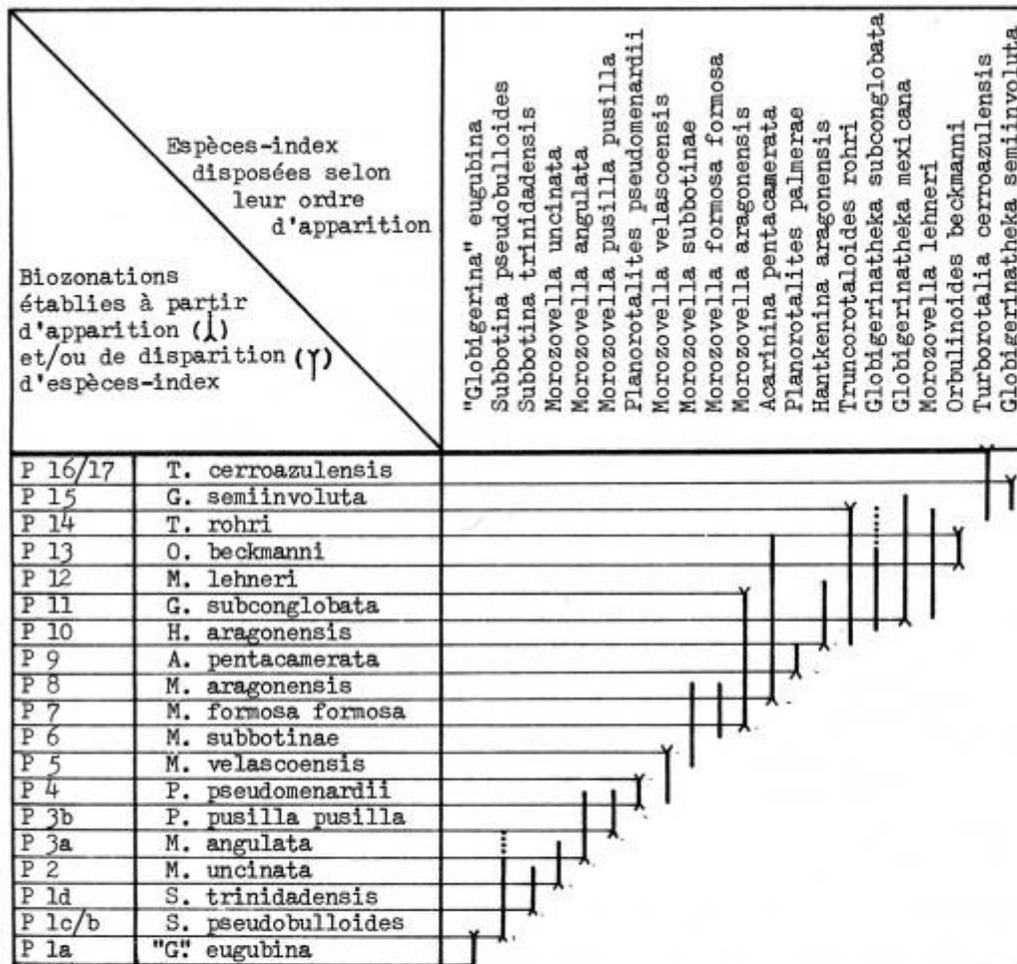


Figure 14.2 – Succession de quelques Foraminifères planctoniques du Paléocène et de l'Éocène, rangés par ordre d'apparition.

Ces espèces-index (ou taxons-guides) définissent, soit par leur apparition (FAD), soit par leur disparition (LAD), des bioévénements repères qui servent à découper le temps en biozones. Certaines biozones (P1a, P4...) sont des acrozones. Les autres sont des zones d'intervalle limitées soit par des disparitions (P 5...) soit par des apparitions (P 1 b/c...), soit par une disparition et une apparition (P 12).

Ce document (aujourd'hui historique) établi par H. Bolli en 1957 et 1966 à partir de sondages et d'affleurements isolés dans l'île Trinidad (Amérique centrale) a été depuis affiné et reconnu valable pour l'ensemble du domaine téthysien.

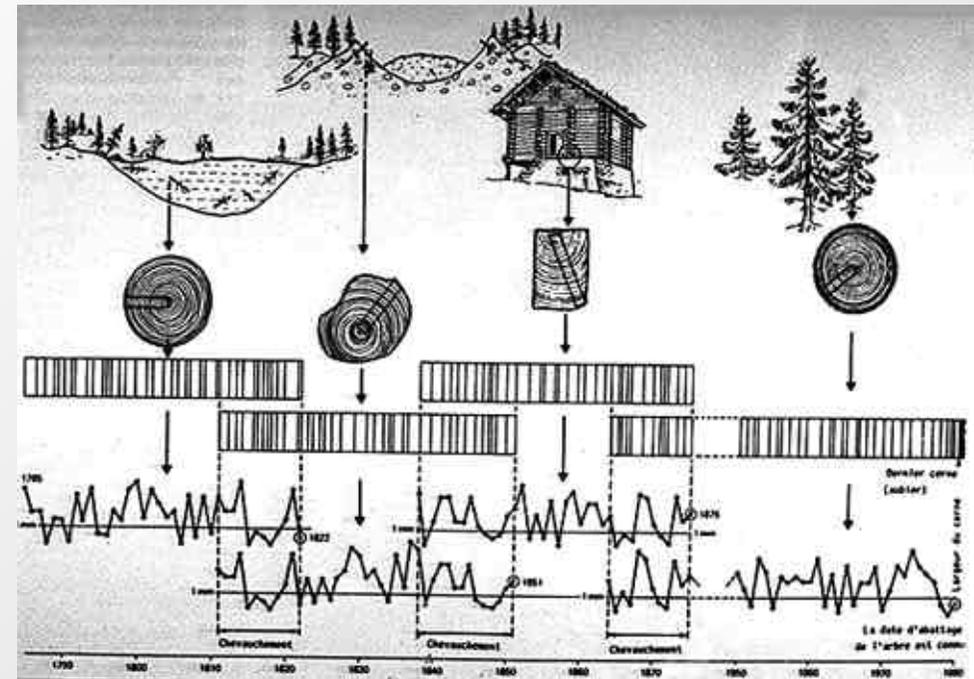
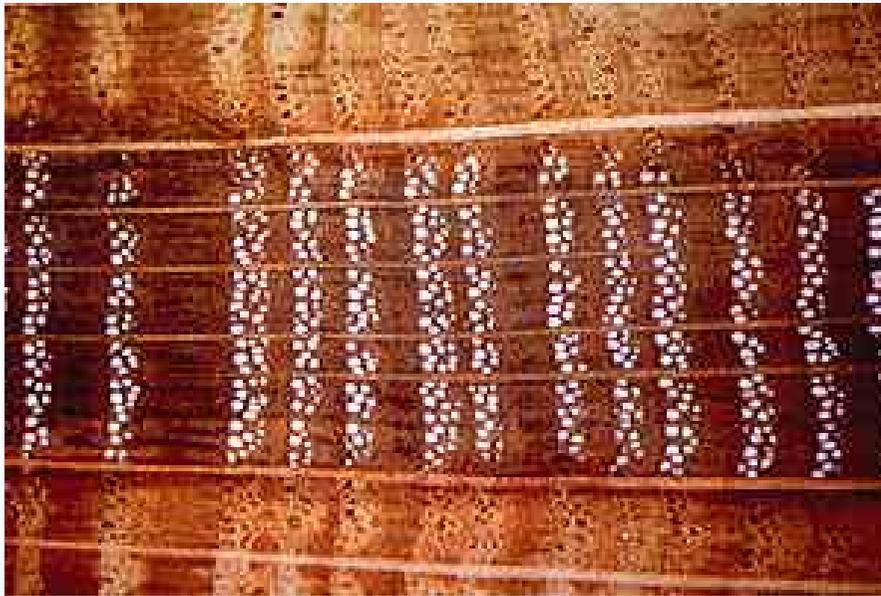
Grande résolution temporelle

La durée d'une zone est d'environ 1 Ma, mais peut parfois être de l'ordre de quelques centaines de milliers d'années (au Toarcien qui a une durée d'environ 6 Ma, on a distingué 26 biozones à Ammonites !)

Abondamment utilisées pour la prospection de matières utiles (pétrole, charbons).

N.B: la datation absolue n'est pas plus précise que la datation relative!

Autre exemple de datation relative très précise utilisant les fossiles: la dendrochronologie



Chaque année, l'arbre produit un anneau ou cerne de croissance. La largeur des cernes varie chaque année.

Reconstitution pour chaque essence végétale et région des indices de croissance année par année

Pour dater une pièce de bois, on recherchera par comparaison la position de sa courbe dans la courbe générale .

D. Limites de la biostratigraphie

Hypothèse de travail: les **biozones sont isochrones partout** donc on peut **corréler entre différents endroits**

Mais:

1. **Il faut des fossiles préservés:** Problème au Précambrien, dans les roches magmatiques et dans les roches métamorphiques.
2. Il faut pouvoir **séparer différentes espèces** ce qui n'est pas toujours aisé lorsqu'on a un **glissement évolutif continu** (=anagenèse, cf. Cours 4)
3. Les **espaces occupés par les espèces sont limités** par le climat, des barrières naturelles...
=Provincialisme

D. Limites de la biostratigraphie

Quand il y a **migration d'une espèce** d'une zone à l'autre: durée d'extension est réduite à l'endroit où elle migre / lieu d'origine. **Biozone n'est pas une unité temporelle**, et certains biohorizons sont **diachrones**.

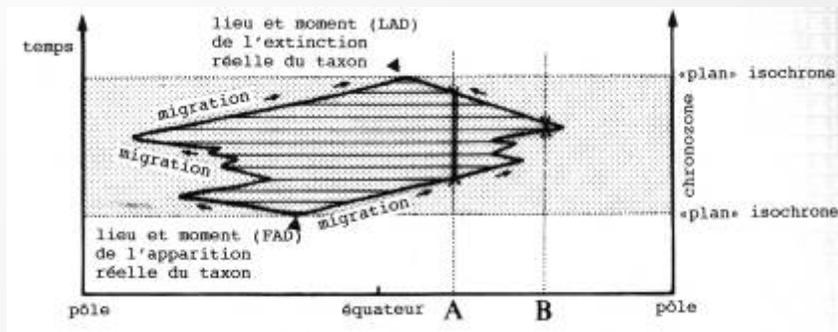


Figure 14.3 – Relation entre une biozone (aire en hachures horizontales), ici acrozone, unité biostratigraphique définie par l'extension dans le temps et dans l'espace d'un taxon donné, et une chronozone (aire en pointillé), unité chronostratigraphique indépendante des phénomènes biologiques (autres que les moments de l'apparition (FAD) et de la disparition (LAD) du taxon-guide), et valable pour l'ensemble de la planète. La biozone a une extension latitudinale variable dans le temps et, ce qui est plus fâcheux, une durée variable selon la latitude. Aux points A et B, la biozone n'est pas de même durée, car elle est comprise entre le moment de l'arrivée (LO) et le moment du départ (HO) du taxon en ces 2 points, en fonction des variations du milieu.

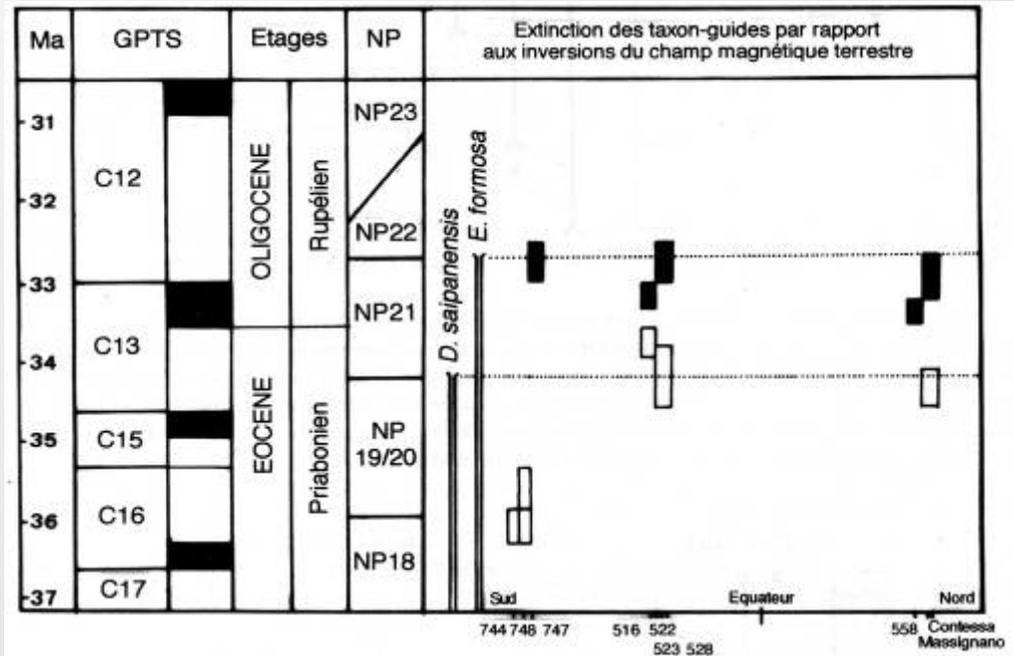


Figure 14.4 – Position et durée de la biozone à nannofossiles calcaires NP21 (ou à *Ericsonia subdisticha*) en fonction de la latitude, par rapport aux inversions du champ magnétique terrestre (chrons 12 à 17) considérées comme étant synchrones à l'échelle de la planète.

La disparition de l'espèce-index *E. formosa* fixant la limite supérieure de la biozone n'est pas rigoureusement synchrone, il s'en faut d'environ 0,5 Ma. Quant à la disparition de *D. saipanensis* elle se manifeste plus précocement (de 2 Ma) aux hautes latitudes dans l'hémisphère sud que sous les Tropiques et dans l'hémisphère nord, ce qui retire toute valeur aux corrélations stratigraphiques effectuées en dehors des domaines tropicaux et nordiques.

D'après des données de W.A. Berggren et al (1995).

Une solution partielle: Raccordement des bizones de différents groupes

Ma	GPTS # (NMI) + normal (DASC) - inverse	Echelle standard	BIOZONATIONS			
			FORAMINIFÈRES PLANCTONIQUES Berggren & Miller 1988	NANNOFOSSILES CALCAINES Martini 1971	"GRANDES" FORAMINIFÈRES BENTHIQUES Serra-Kiel & al. 1998	CHAROPHYCES Riveline & al. 1996
-35	C16	Priabonien	P 17/P 16 <i>Turbootalia</i> <i>oceanusulcata</i> P.1.	NP 21 <i>Ziisoonia</i> <i>subdisticha</i>	SB20	<i>Stephanochara</i> <i>vectensis</i>
			C17	Bartoniien	P 15 <i>Porticulaspheera</i> <i>assilivoluta</i>	NP 19/20 <i>Sphenolithus</i> <i>pseudoretiana</i> <i>Isthmolithus</i> <i>recurvus</i>
-40	C18	Bartoniien			P 14 <i>Trochotrochoides</i> <i>rohri</i>	NP 17 <i>Discosaster</i> <i>salpinxensis</i>
			C19	Lutétien	P 13 <i>Globigerinopsis</i> <i>beckmanni</i>	NP 16 <i>Chiasmolithus</i> <i>solitus</i>
P 12 <i>Neroceras</i> <i>labrovi</i>	NP 15 <i>Chiasmolithus</i> <i>alatus</i>	SB16			SB15	
-45	C20	Lutétien	P 11 <i>Globigerinobulba</i> <i>subconglobata</i>	NP 14 <i>Discosaster</i> <i>subglobosus</i>	SB14	<i>Maedleriella</i> <i>emborgeri</i>
			C21	Lutétien	P 10 <i>Raschkeia</i> <i>aragonensis</i>	
-50	C22	Yprésien			P 9 <i>Planorotalites</i> <i>palmosa</i>	NP 12 <i>Marthasterites</i> <i>triboculatus</i>
			P 8 <i>Neroceras</i> <i>aragonensis</i>	NP 11 <i>Discosaster</i> <i>indusensis</i>	SB10	SB9
-55	C23	Yprésien	P 7 <i>Neroceras</i> <i>formosa</i>	NP 10 <i>Marthasterites</i> <i>costatus</i>	SB8	<i>Peckichara</i> <i>pivotevsi</i>
			P 6 <i>Neroceras</i> <i>subretianae</i>	NP 9 <i>Discosaster</i> <i>multiradiatus</i>	SB7	
-60	C24	Yprésien	P 5a + P5 <i>Neroceras</i> <i>valerianensis</i>	NP 8 <i>Helicolithus</i> <i>riedelii</i>	SB5	<i>Peckichara</i> <i>disersas</i>
			C25	Thanetien	P 4 <i>Globanomalina</i> <i>pseudomaverdii</i>	
-65	C26	Selandien			P 3b <i>Neroceras</i> <i>paucella</i>	NP 6 <i>Helicolithus</i> <i>klempfelli</i>
			P 3a <i>Neroceras</i> <i>angulata</i>	NP 5 <i>Fasciculithus</i> <i>tympetiformis</i>	SB1	SB1
-65	C27	Danien	P 2 <i>Planorbis</i> <i>subglobosus</i>	NP 4 <i>Ellipsolithus</i> <i>macellus</i>	SB1	<i>Peckichara</i> <i>liobregatensis</i>
			P 1c <i>Subbotina</i> <i>trilineata</i>	NP 3 <i>Chiasmolithus</i> <i>sericus</i>	SB1	
-65	C28	Danien	P 1b/a <i>Terebratulina</i> <i>pseudobulboides</i>	NP 2 <i>Crociplanolithus</i> <i>sericus</i>	SB1	SB1
-65	C29	Danien	P 1a <i>Terebratulina</i> <i>pseudobulboides</i>	NP 1 <i>Marshallia</i> <i>lividus</i>	SB1	SB1

→ Découpe plus fine du temps
→ Corrélatons quelque soit le paléoenvironnement

Figure 14.7 – Exemple de correspondance, entre quelques biozonations corrélées entre elles, avec l'échelle des inversions magnétiques (GPTS) et avec les âges radiométriques proposés pour le Paléogène. Quatre biozonations seulement ont été prises en considération.

Deux fondées sur des microfossiles planctoniques (d'après W. Berggren et R. K. Miller 1988) : Foraminifères (P) et nannofossiles calcaires (NP), valables à l'échelle de la planète au moins en ce qui concerne les faciès océaniques des régions (sub)tropicales.

La biozonation SBZ (« Shallow benthic ») qui s'appuie sur les associations de grands Foraminifères benthiques (d'après J. Serra-Kiel et al. 1998) s'applique aux environnements marins néritiques de la ceinture téthysienne (= subtropicale).

La dernière établie à partir des Charophycées (d'après J. Riveline et al. 1996) prend en compte les faciès lacustres.

Un tel tableau, qu'il aurait été loisible de compléter en y ajoutant d'autres biozonations (à petits Foraminifères benthiques, à Ostracodes, à Radiolaires, à Silicoflagellidés, à Diatomées, à Dinoflagellés, etc.), permet de corréler les sédiments continentaux avec les marins, tant océaniques que néritiques.

Il aurait également été possible d'aborder ce que l'on appelle la « Stratigraphie intégrée », en y adjoignant les courbes de variations des rapports isotopiques de l'oxygène et du carbone, ainsi que la succession des séquences eustatiques.

Document élaboré à partir de données extraites des « chartes » 2 et 3 de P.-Ch. de Graciansky et al. (1999).

III. Les assemblages fossilistiques permettent des reconstructions paléogéographiques

A. Principes de la biogéographie

Chaque espèce peut espérer rencontrer des biotopes convenables à l'intérieur d'un périmètre potentiel de répartition ; cependant les aires réellement occupées sont toujours moins étendues. Cette distribution est contrainte par :

-des facteurs climatiques (barrière climatique). Exemple de la zonation latitudinale pour de nombreuses espèces

-les paramètres de géographie physique : océans (barrière hydrologique), chaînes de montagnes (barrière topographique).

Barrières : limitent l'extension des espèces

Bioprovince= aire commune de répartition de différentes espèces

La biogéographie étudie la distribution spatiale des espèces et définit des **provinces** fauniques et florales

B. Objectifs de la paléobiogéographies et exemples

La paléobiogéographie se fonde sur les mêmes principes mais utilise les fossiles

- Buts: -retracer la position passée des continents en complément du paléomagnétisme
-Documenter la dynamique des populations et les processus évolutifs

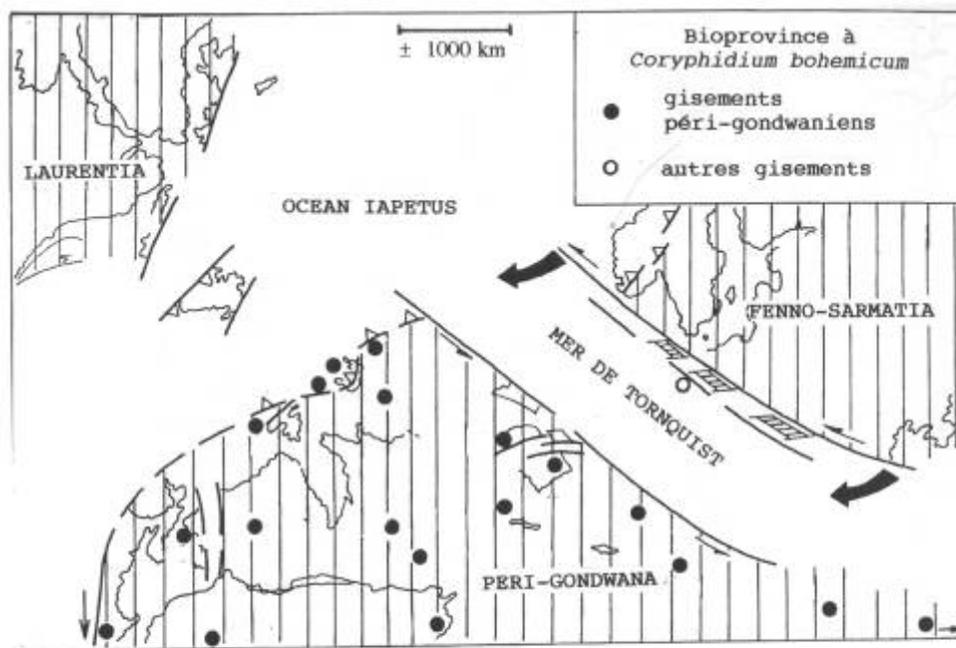


Figure 15.20 – L'association à *Coryphidium bohemicum* (Acritarche) d'âge ordovicien inférieur (autour de 470-490 Ma), caractéristique des milieux néritiques péri-gondwaniens a été retrouvée (rarement) en bordure du continent balte mais jamais sur la marge laurentienne. Ce provincialisme est expliqué par la conjugaison de deux causes :
– une première barrière d'ordre climatique, le Gondwana, localisé sous les hautes latitudes à proximité du pôle Sud, étant soumis à un climat froid, à l'inverse de la Laurentia située sous l'Équateur.
– une seconde, d'ordre géographique, le Gondwana étant séparé de la Laurentia par une mer relativement étroite (Mer de Tornquist) et de la Laurentia par un très large océan (Océan Iapetus).
Selon M. Vávrdová (1997) in *Rev. Palaeobot. Palyn.*, 98 (1-2), p. 35, fig. 2.
Reproduit avec l'aimable autorisation d'Elsevier Science.

Cf. aussi Wegener, dérive des continents

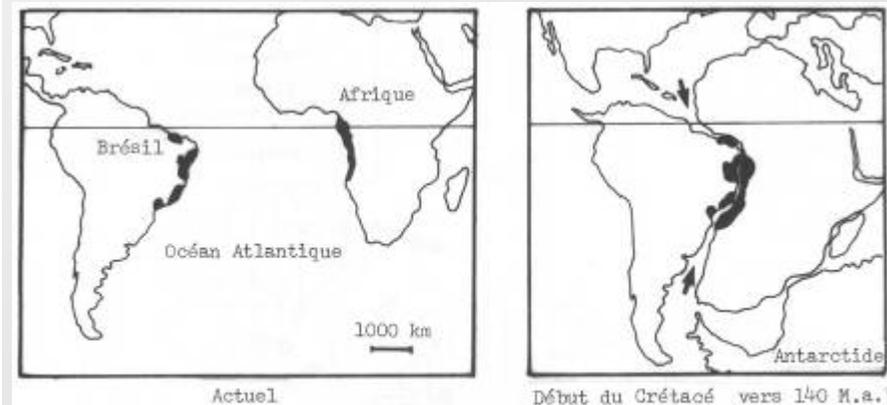


Figure 15.19 – Position actuelle (à g.) et position il y a 130 Ma (à d.) des sédiments wealdiens du Brésil et d'Afrique centrale, initialement mis en place dans des lacs échelonnés le long d'un fossé d'effondrement (ou rift continental) amorce du futur Océan Atlantique.

Tirés de Bignot, introduction à la micropaléontologie

Les fossiles, indicateurs paléogéographiques. Exemple de la formation de l'isthme de Panama (~3Ma)

- Le « grand échange américain.
 - Transfert de faune N-S et S-N
 - Compétition

Nombres et pourcentages des genres de mammifères terrestres, immigrés et autochtones, en Amérique du Nord et en Amérique du Sud, au cours des derniers 9 Ma. Remarquez la vague d'immigration, à partir de -3 Ma. D'après Marshall *et al.* (1982) © American Association for the Advancement of Science, avec l'autorisation de l'éditeur.

