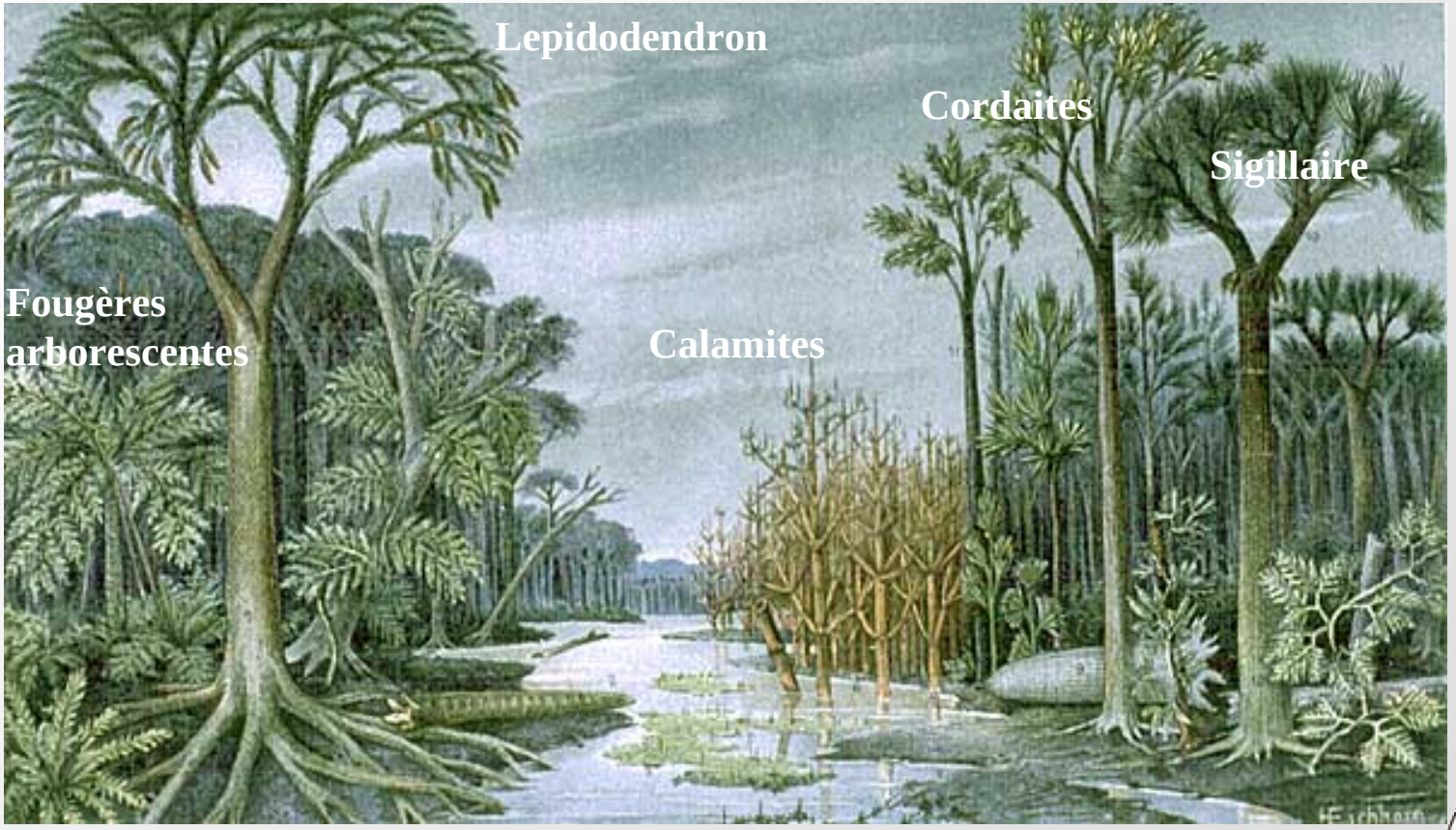
BioGeoPal - L3

Cours n° 2: Les apports des fossiles pour la reconstitution des paléoenvironnements



Forêt houillère du Carbonifère (~340 Ma)

Comment aboutit-on à cette image d'une végétation luxuriante tropicale?

Faciès: ensemble des caractères lithologiques et paléontologiques d'une roche sédimentaire dont certains permettent notamment de cerner les conditions dans lesquelles les sédiments qui ont été a l'origine de cette roche se sont déposées

<u>Exemples de faciès :</u>
Marin pélagique
Marin benthique
Marin littoral
Marin néritique

Milieu corallien
Milieu lagunaire, saumâtre
Milieu lacustre, marécageux
Milieu continental
Milieu réducteur, oxygéné...

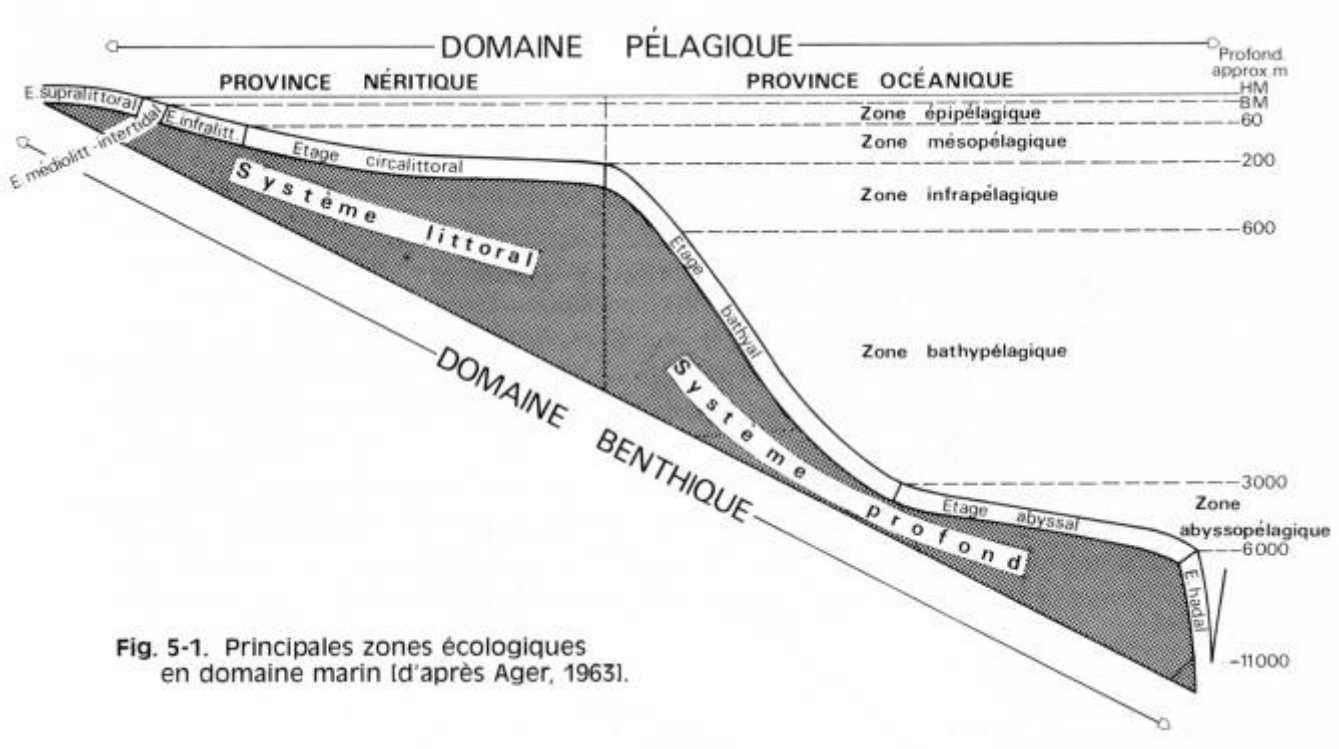


Fig. 5-1. Principales zones écologiques en domaine marin (d'après Ager, 1963).

Les variables environnementales

- Profondeur liée à la lumière, le spectre de la lumière, l'hydrodynamisme
- Température
- Salinité (constante ou variable)
- Oxygénation du milieu
- Agitation des eaux (hydrodynamisme) …

But: reconstituer les conditions de milieu de dépôt d'une roche à partir des fossiles

Il existe:

Des organismes euryhalins / D'autres sténohalins

Certains vivent dans eaux chaudes / d'autres froides

Certains ont besoin de lumière : Les végétaux chlorophylliens et les animaux herbivores demeurent localisés dans la zone photique (20 à 120 m selon les latitudes, les saisons et la turbidité des eaux). S'ils sont benthiques: ne vivent pas trop loin des cotes…

Au-delà de 300-500 m : zone aphotique → formes hétérotrophes - bactéries, animaux microphages ou carnivores.

Organismes donnent indications sur conditions paléo-environnementales

N.B: Complémentarité des renseignements

- paléontologiques
- sédimentologiques
- géochimiques…

I. Qu’est ce qu’un fossile de faciès

A. Définition: **Fossile caractéristique d’un milieu de sédimentation particulier**

Caractéristiques d’un bon fossile de faciès :

Conditions physico-chimiques restreintes de vie

Polymorphisme éventuel en fonction des conditions du milieu

Faible vitesse d’évolution

B. Comment connaît-on les conditions de vie d'un organisme?

Au cours des temps passés nombreuses espèces ont eu un optimum de vie.

1. Hypothèse pour **espèces actuelles** : toujours vécu dans les mêmes conditions= **actualisme**

2. Hypothèses pour **espèces disparues** :

a. = conditions de vie de **l'espèce actuelle la plus proche** phylogénétiquement

b. **organisation des individus** en étroit rapport avec leur mode de vie- ex. de convergences: aile / nageoire / patte.

c. **Indications données par la roche sédimentaire (faciès)** dans laquelle est trouvé l'organisme systématiquement.

N.B: Le terme actualisme, traduction de l'anglais actual, correspond à "réel" et non pas à "actuel".
Cette théorie était soutenue par des géologues comme l'écossais J. Hutton (1726-1797) ou Ch. Lyell (1797-1875) ; dans le contexte géologique de l'époque où régnait le catastrophisme, le terme de actual était utilisé dans le sens de réel (causes réelles). Il s'opposait aux causes imaginaires postulées par les catastrophistes qui recourait à des processus inhabituels pour expliquer le passé.

C.1. Exemple de fossiles typiques du milieu continental

Helix sp. (Gastéropode pulmoné)

(from http://www.snv.jussieu.fr/vie/dossiers/autoescargot/helixp.jpg)

Spores a double paroi (inclus pollen etc)

La plupart des végétaux ligneux

C.2. Exemple de fossiles typiques des milieux d'eau douce

Limnée (Gastéropode pulmoné)

perso.orange.fr/.../amphibiens/amphibiens.htm.

Planorbe (Gastéropode pulmoné)

≠ Ammonite

Oligocène-Actuel

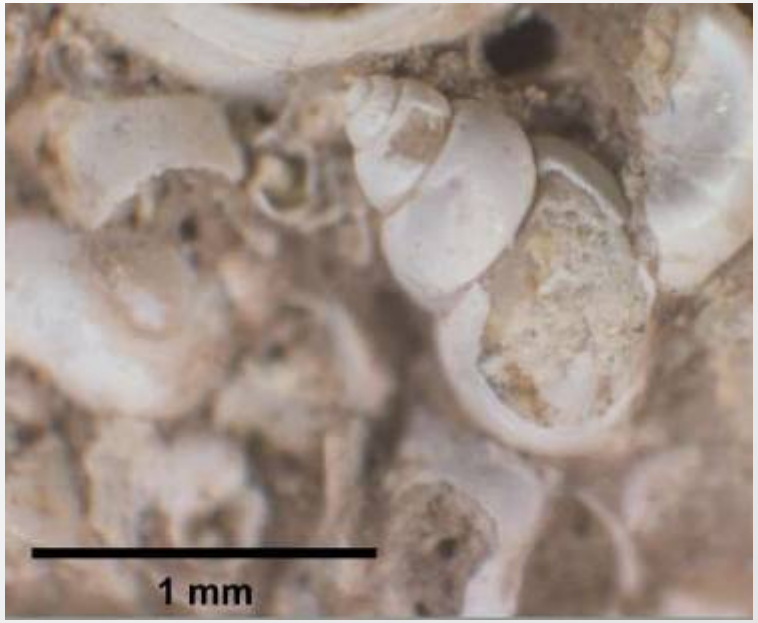
home.tele2.fr/hildoceras/Gasteropodes.htm.

Certains ostracodes (Crustacés)

Cambrien-Actuel

http://www.rngeologique-saucatslabrede.reserves-naturelles.org

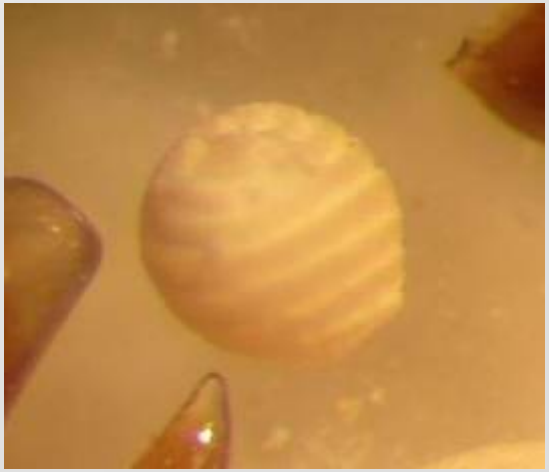
Hydrobie (Gastéropode pulmoné)



www.geognosie.de/fund/ilbenstadt.htm.

Oogone de Charophyte (Algue)

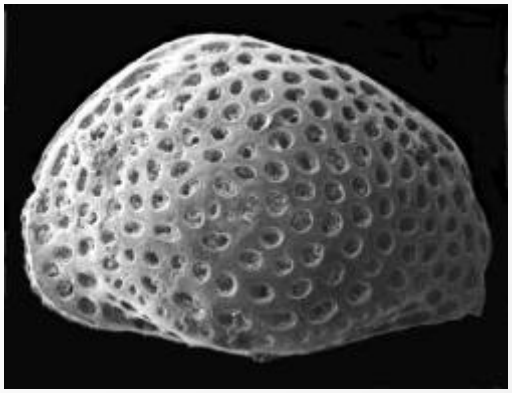
Devonien-Actuel



cherves.chez.tiscali.fr/nou03/ch132.htm.

C.3. Milieux lagunaires, saumâtres, salinité variable espèces euryhalines

Certains ostracodes (Crustacés)
Cambrien-Actuel



Potamides (gastropodes)
Tertiaire-Actuel

Ostreidés –Ostrea, Gryphea (Lamellibranches)
Trias-Actuel

Lingula (Brachiopode)
Ordovicien-Actuel

Un des rares Brachiopodes à vivre dans le milieu littoral (la plupart vivent entre 200 et 2000m)

C.4. Exemple de fossiles typiques des milieux marins

Milieux à salinité stable donc loin du rivage

Pecten (Lamellibranches)
Eocène-Actuel

Favosites sp. (Cnidaires, Tabulés)
Paléozoïque

Oursins
Primaire-Actuel

Coraux en général: milieux à salinité donnée ~25‰, faible profondeur, eaux oxygénées sans particules détritiques

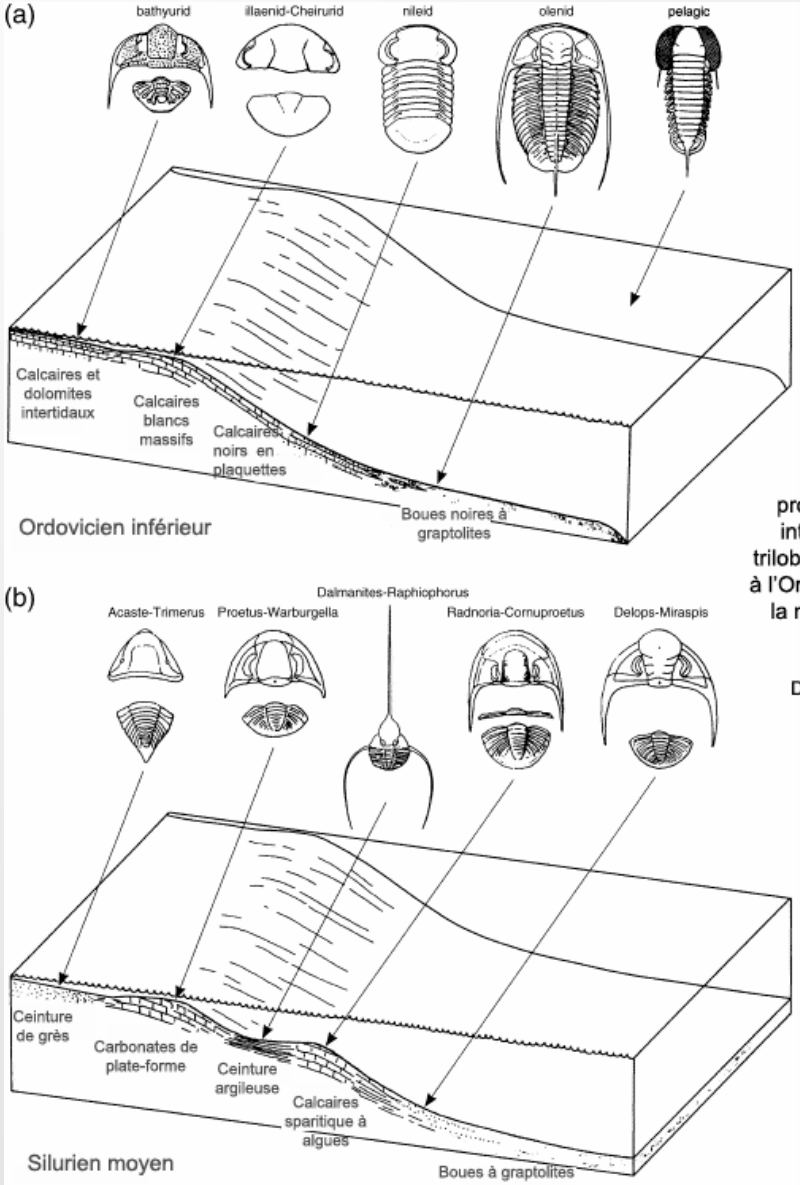
Grands Foraminifères associés aux récifs

- *Fusulina* au Permien
- *Orbitolina* au Crétacé inf.
- *Nummulites* (Abondants au Paléogène)
- Alveolinidés (*Crétacé*-Eocène-Actuel)

faciès paléontologique	informations sur le milieu de sédimentation
algues : Dasycladale, Udotéacées, Rhodophytes	milieu marin peu profond, zone littorale
ammonites	milieu marin (variables selon les ammonites)
bivalve à byssus	vie fixée sur des rochers
bivalve à siphon (sinus palléal sur les valves)	vie fouisseuse dans des vasières ou du sable
brachiopodes	milieu marin, en général plate-forme continentale, faible profondeur
coquilles épaisses	eaux chaudes
coquilles minces	eaux froides
foraminifères	milieu marin, variable selon les foraminifères
radiolaires	milieu marin, parfois de très grande profondeur

C.5. Informations paléoenvironnementales données par les Trilobites

Tous marins mais…



Biofaciès en relation avec les marges continentales : profils représentatifs des biofaciès intertidaux à profonds pour (a) les trilobites de la marge de la Laurentia à l'Ordovicien inférieur et (b) ceux de la marge du Gondwana au Silurien moyen (b).

D'après Fortey & Coks, Earth-Science Reviews **61**(3-4), 2003

D. Exemples de facies classiques:
1. Faciès houiller

Le plus connu, au **Stéphanien** (Carbonifère), qui donne la plupart des gisements français de charbon.

Fossiles végétaux abondants: **Ptéridophytes** dont lycopodes atteignant 40 mètres de hauteur (***Lépidodendrons*** *et* ***Sigillaires***), Prêles géantes (***Calamites***), Fougères arborescentes, Gymnospermes: ***Cordaïtes*** (les premières Gymnospermes arborescentes proches des conifères); Animaux: Insectes, scorpion, vertébrés tétrapodes dont amphibiens

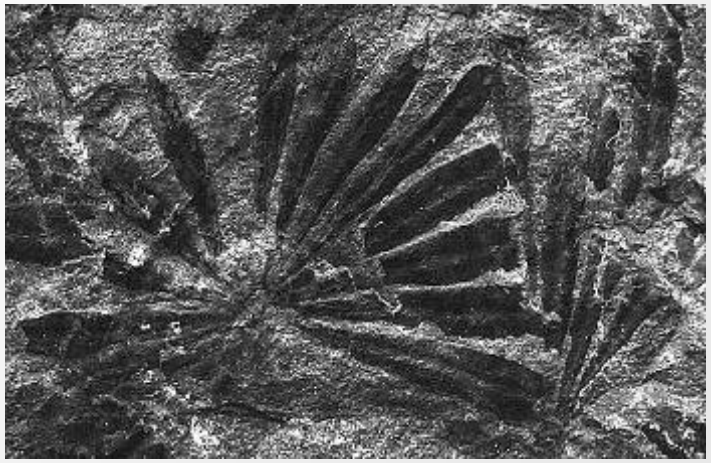
http://www.montceau-les-mines.com

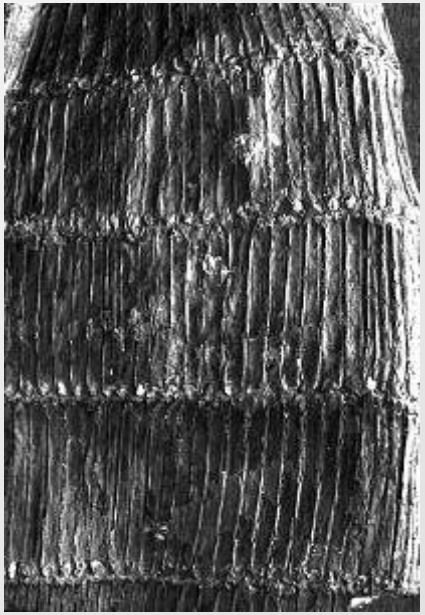
Milieu continental à lagunaire; milieux d'eau douce

N.B: On peut aller plus loin parfois sur les conditions paléoclimatiques grâce à ces fossiles de végétaux: Végétaux à bois d'été et bois de printemps manifestent l'existence de saisons sèches et de saisons humides. L'absence de ces cernes dans les végétaux de la foret houillère indique que ceux-ci vivaient en climat équatorial ou tropical sans ces saisons alternantes.

Exemples de fossiles du Stéphanien houiller

Feuilles de *Cordaïtes* (Gymnosperme)





Tronc et feuilles de *Calamites* (Ptéridophyte)

Lepidodendron (Ptéridophyte)
Traces de feuilles sur tronc et epi sporifère

Fronde de *Percopteris* (Ptéridophyte)
http://home.tele2.fr/hildoceras/Vegetaux.htm

D. Exemples de facies classiques: 2. Facies urgonien

Calcaires blancs, durs, récifaux à **rudistes** (lamellibranches comme **Requienia** ou **Toucasia**) et à **Orbitolines** (foraminifère) indiquant une sédimentation marine, dans un milieu chaud et relativement peu profond

Forme la plupart des grandes barres rocheuses dans le Vercors, la Chartreuse ou dans les calanques. Datant du Crétacé inférieur, ce faciès n'est pas exactement du même âge dans les alpes (Barrémien- Aptien inf) et dans les Pyrénées où il est un peu plus tardif (Aptien-Albien inf).

Attention: L'Urgonien n'est pas un étage mais un faciès.

Autre ex: Tithonique (faciès calcaires fins pélagiques à calpionelles et ammonites) vs. Tithonien (étage du Jurassique sup.)

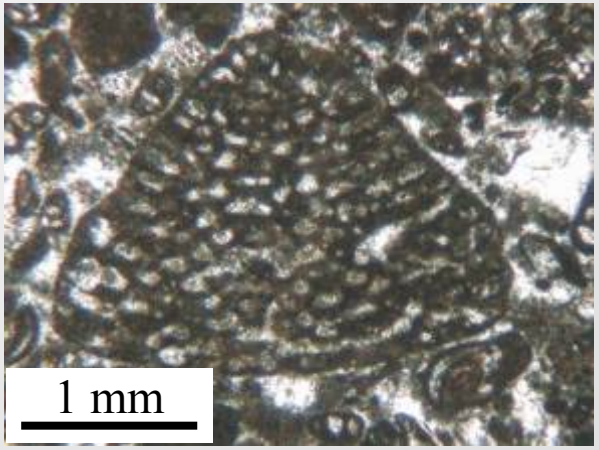
Urgonien dans les calanques (Sormiou)

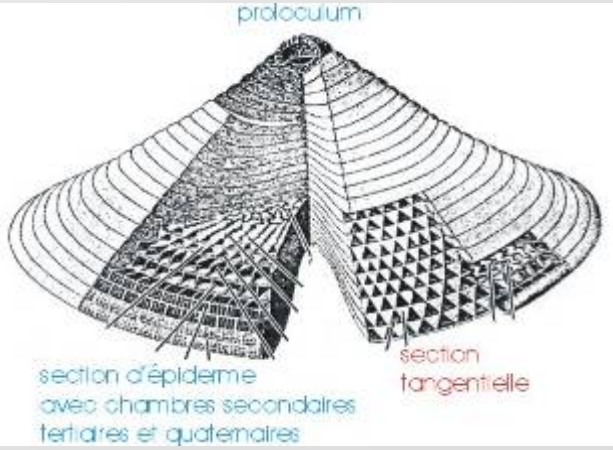
D.2. Fossiles de l'urgonien (environnement récifal)

Polypiers

http://www.geol-alp.com/chartreuse/2_roches_chartreuse

Orbitoline, grand foraminifère perforé Crétacé à Paléocène





http://www.ulg.ac.be/geolsed/TP/TP.htm

D.2. Les Rudistes

Mollusques bivalves récifaux Jurassique-Crétacé

Requiena, Crétacé inf.

Toucasia, Crétacé inf.

La valve inférieure, qui peut être la droite ou la gauche et sur laquelle l'animal est fixé, est la plus grande. La valve supérieure est nettement plus petite.

Apparus au jurassique supérieur (*Dicéras*), les rudistes ont connu un développement important au crétacé. Ils vivaient dans des mers tropicales et subtropicales où parfois ils étaient en si grand nombre qu'ils formaient des colonies en tapis denses et étendus.

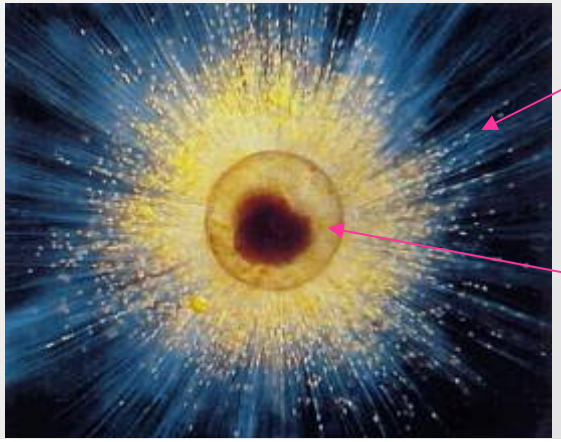
II. Utilisation des fossiles de faciès pour la reconstitution des paléoenvironnements

A. Utilisation des foraminifères

Les foraminifères sont très abondants partout, que ce soit en surface (pelagos) ou au fond de l'eau (benthos)

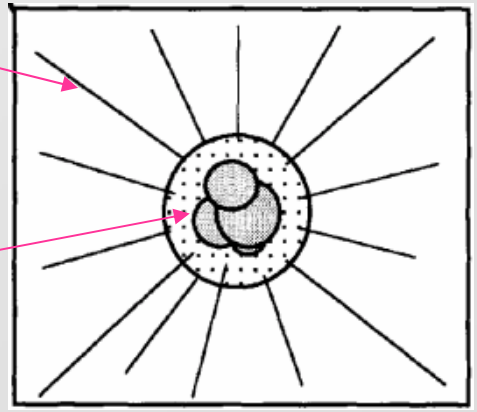
La probabilité d'en trouver dans un forage océanique est très grande
Ils forment un test qui peut être conservé dans les sédiments

- règne : PROTISTES
  - sous-règne : PROTOZOAIRES
    - embranchement : Rhizoflagellés
      - classe : RHIZOPODES
        - ordre : FORAMINIFERIDA



Pseudopodes

Pores

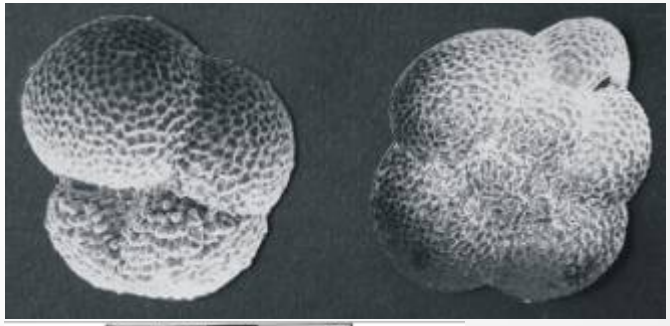


A.1. Informations sur la température à partir d'une espèce

Sens d'enroulement de ***Neogloboquadrina pachyderma*** :

senestre dans les eaux **polaires** / **dextre** dans les eaux **chaudes**

N.B: Valable pour cette espèce, différent pour d'autres espèces !



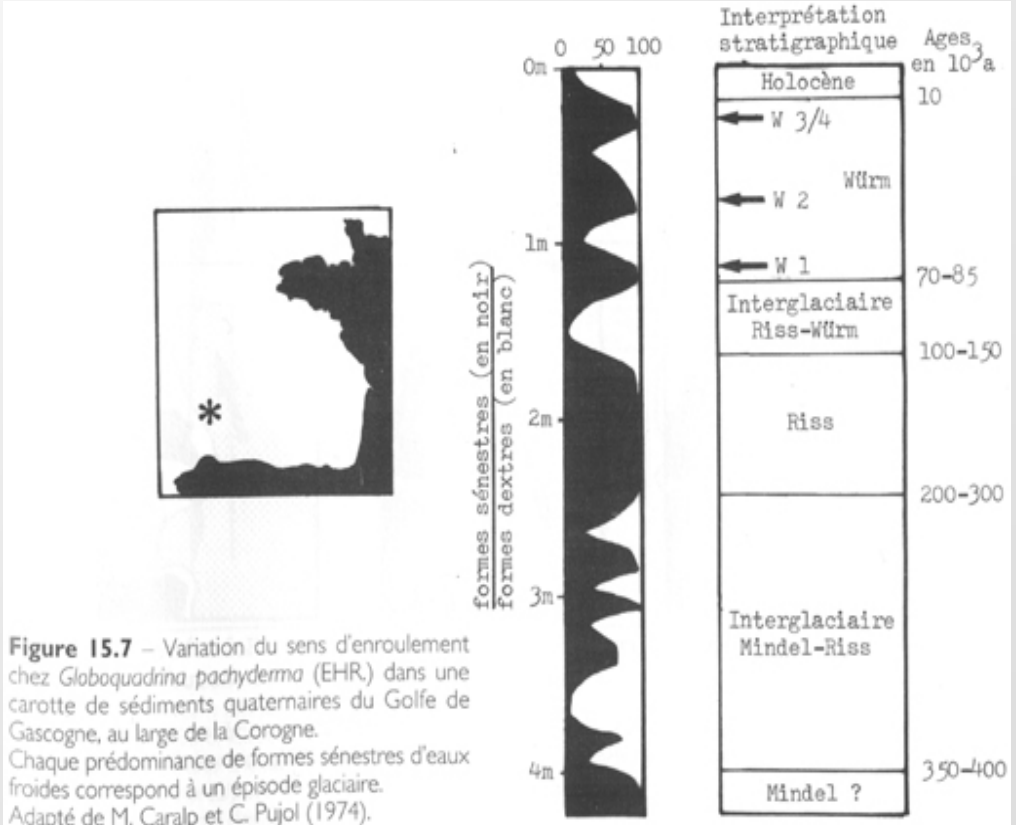


Figure 15.7 – Variation du sens d'enroulement chez *Globoquadrina pachyderma* (EHR.) dans une carotte de sédiments quaternaires du Golfe de Gascogne, au large de la Corogne.
Chaque prédominance de formes sénestres d'eaux froides correspond à un épisode glaciaire.
Adapté de M. Caralp et C. Pujol (1974).

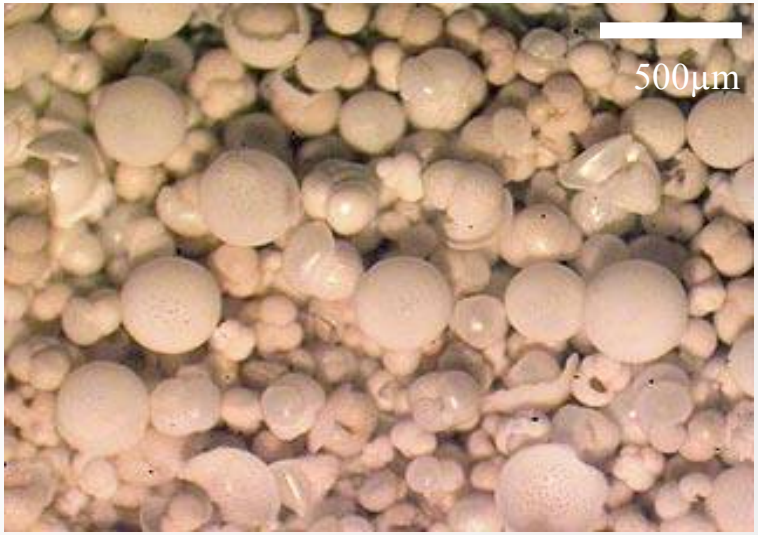
Bignot, Introduction à la Micropaléontologie

D'autres exemples de microorganismes pélagiques:

Radiolaire (protozoaires) : eaux chaudes / diatomées (algues unicellulaires) : eau douce ou eaux froides

A.2. Informations données par les foraminifères sur la profondeur

A partir d'un sédiment, on peut les extraire… …puis calculer le rapport benthique/planctonique



Benthiques, tests massifs

Planctoniques, tests « légers », globuleux avec peu de loges

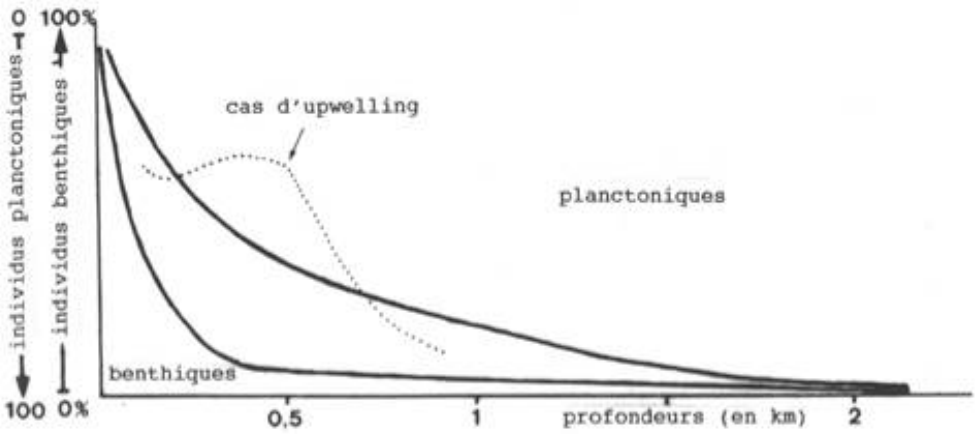
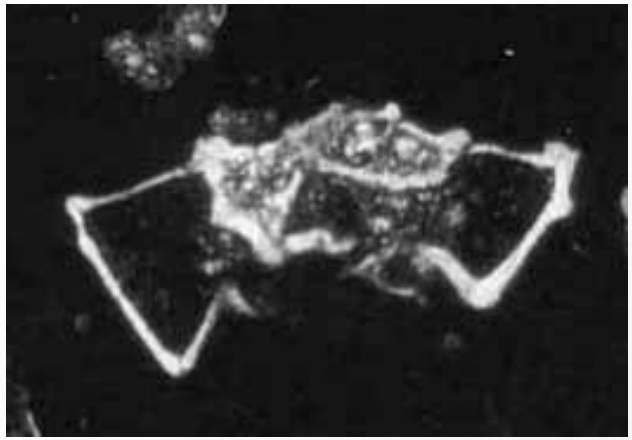


Figure 15.2 – Évolution du rapport Foraminifères planctoniques/Foraminifères benthiques dans les sédiments actuels en fonction de la profondeur.
Une remontée du taux des benthiques autour des profondeurs -100 à -500 mètres traduit la présence d'un upwelling.

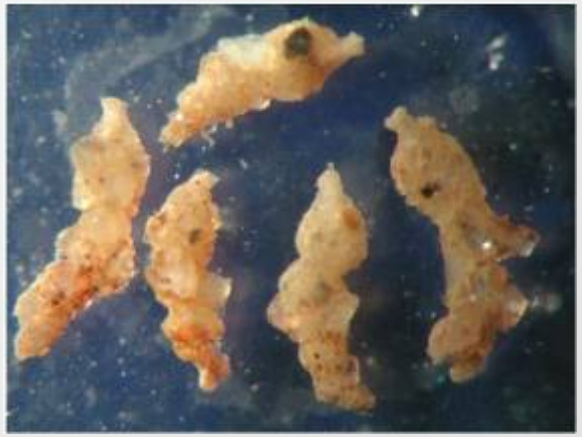
Bignot, Introduction à la Micropaléontologie

A.3. En fonction de la nature du test et du caractère planctonique/benthique: accès à la distance au rivage



Globotruncana (II), pélagique

Nummulite (III), benthique à test hyalin



Benthique à test agglutiné (Actuel)

Bignot, Introduction à la Micropaléontologie

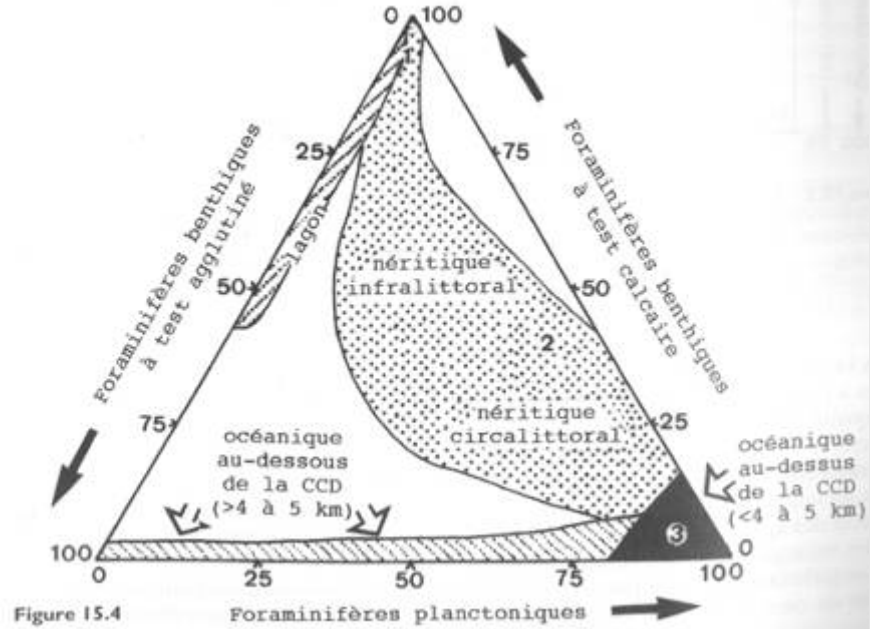


Figure 15.4

Figure 15.4 – Diagramme triangulaire de F.G. Stehli-K.U. Gräfe (1999) dans lequel l'emplacement d'un gisement est fixé par les proportions relatives dans sa taphocénose des individus de Foraminifères benthiques à tests agglutinés, des Foraminifères benthiques à tests calcaires (porcelanés et hyalins) et, enfin, des Foraminifères planctoniques.
Les plages délimitant les différents faciès ont été établies à partir de biocénoses rencontrées dans la nature actuelle.
À titre d'exemple, trois gisements classiques ont été portés sur le diagramme
1) falun lutétien de Grignon (Bassin de Paris) : milieu marin infralittoral et/ou lagon; profondeur de l'ordre du mètre.
2) craies cénomaniennes du Boulonnais (id.) : milieu néritique circalittoral; profondeur de l'ordre de la centaine de mètres.
3) calcaire danien de Bidart (près Biarritz, Aquitaine) échantillonné quelques mètres au-dessus de la limite K/T : milieu océanique : profondeur de l'ordre du millier de mètres.
En grande partie selon K.U. Gräfe (1999) in *Pol. Pol. Pol.*, 153 (1), p. 53, fig. 7c.

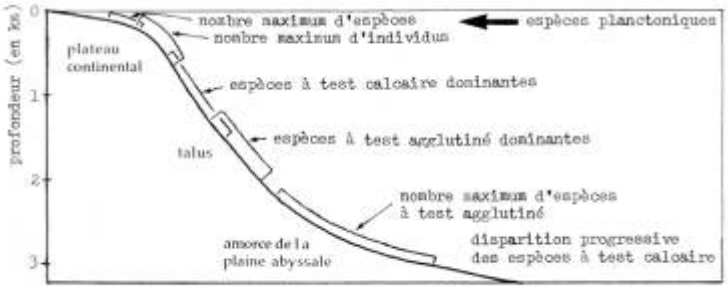
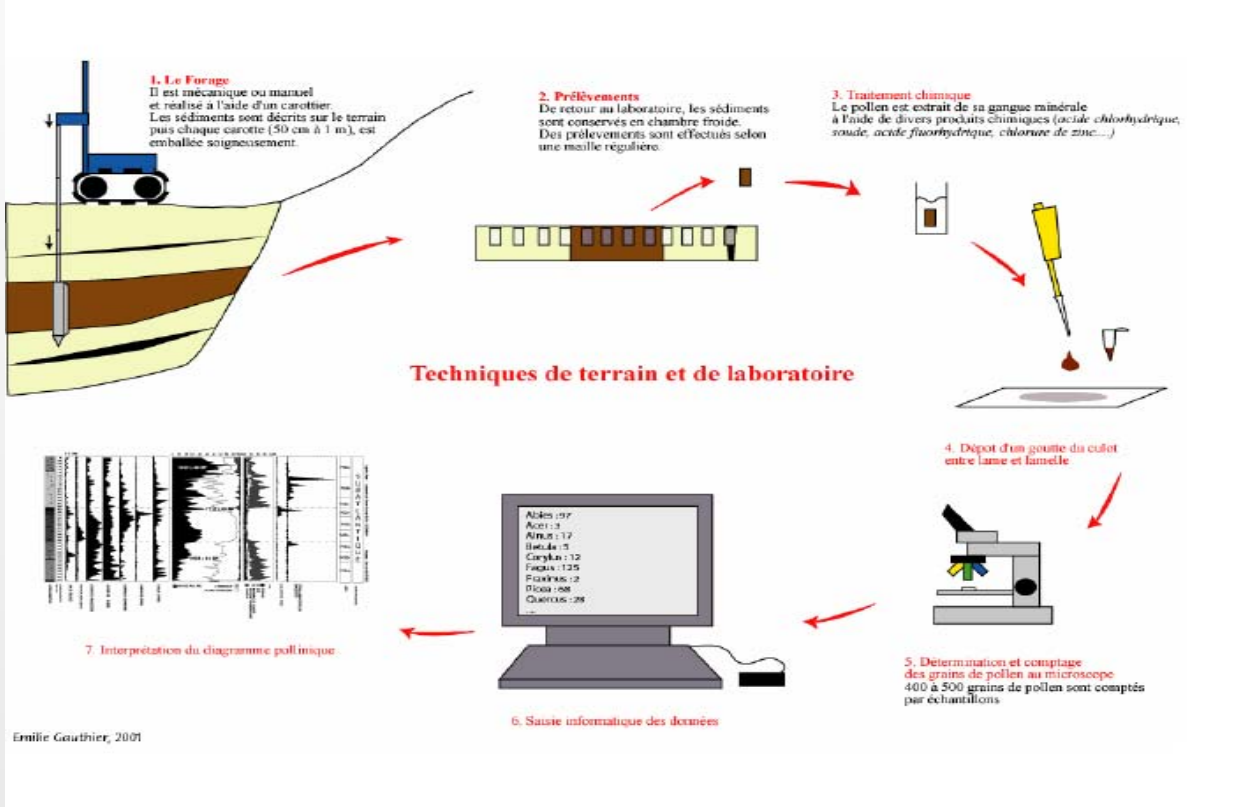


Figure 3.6 – Répartition actuelle des Foraminifères en fonction de la profondeur.

B. Utilisation des matrices de transfert: exemple des diagrammes polliniques

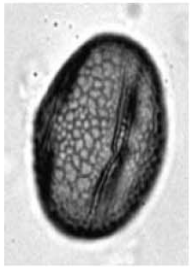
L'information devient difficile à traiter lorsque l'on utilise un assemblage de plusieurs espèces. On procède alors à une analyse statistique des populations présentes dans les sédiments qui permettent d'obtenir une estimation de certaines conditions physico-chimiques du paléo-environnement.

Exemple: fonctions de transfert définies à l'aide des pollens pour estimer les paléo-températures et paléo-précipitations sur les continents = diagrammes polliniques

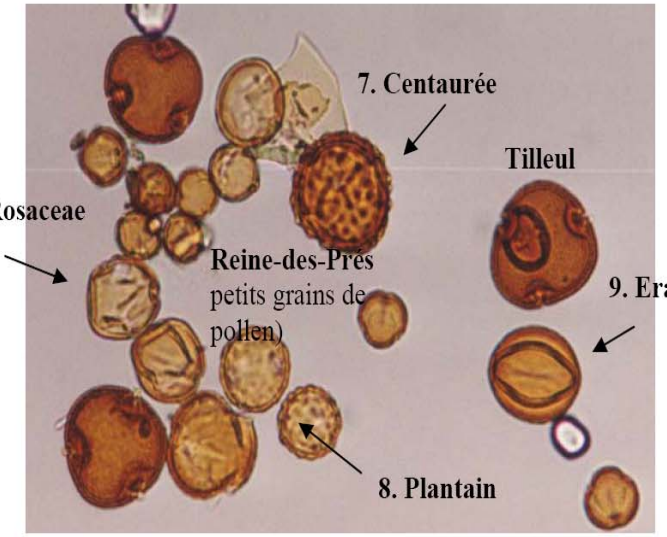


B.1. Détermination et dénombrement des espèces de pollen dans les différentes couches d'un sédiment

4. Pollen de Pin

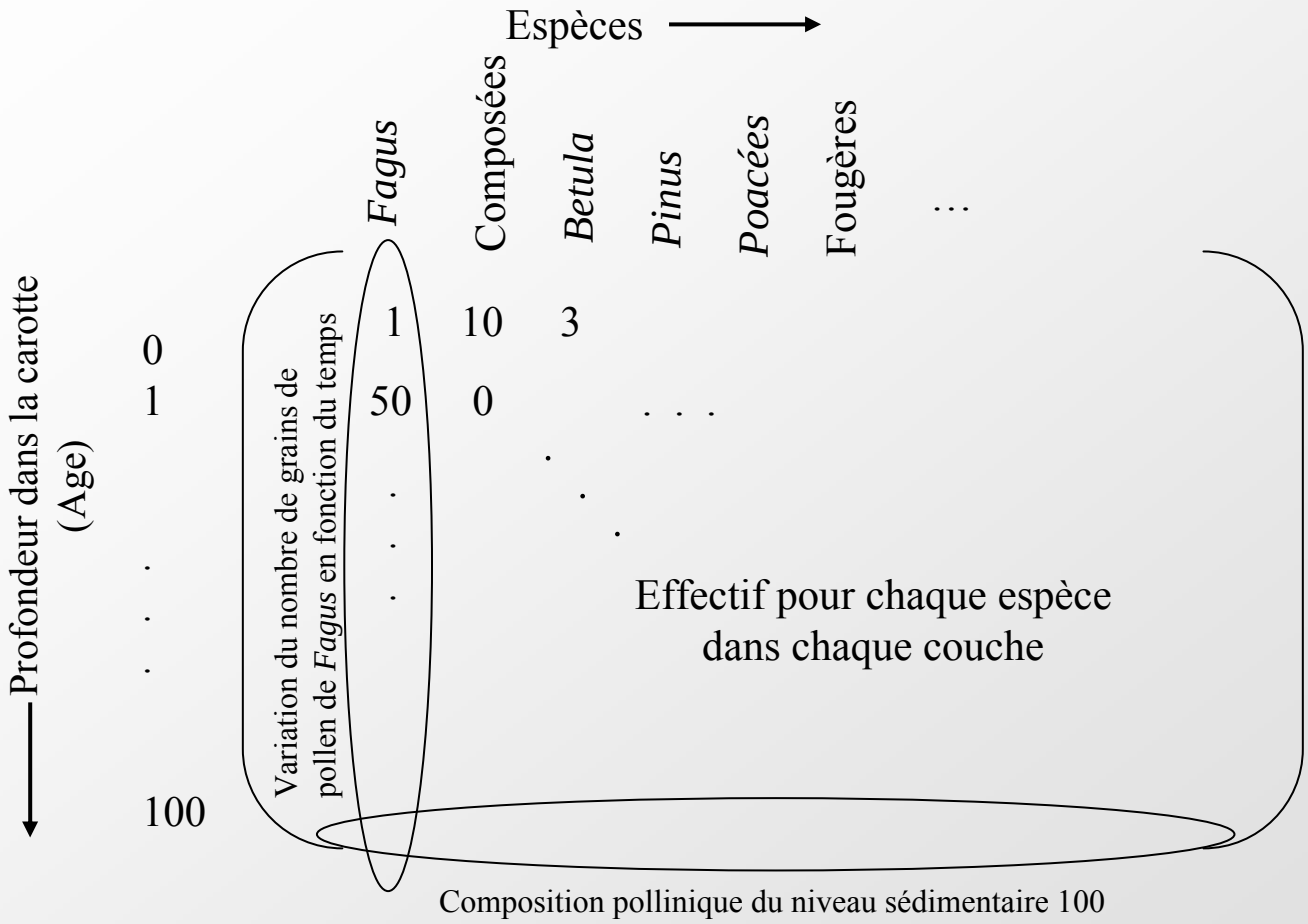


5. Pollen de trèfle



Taxons	Nombre de grains de pollen compté	Pourcentages
Pinus (pin)	1	0,43
Alnus (aulne)	2	0,86
Betula (bouleau)	4	1,72
Corylus (noisetier)	5	2,15
Tilia (tilleul)	2	0,86
Hedera (lierre)	1	0,43
AP (total pollen d'arbre)	15	6,43
NAP (total pollen d'herbacées)	218	93,56
Poaceae (graminées)	15	6,44
Cerealia	5	2,15
Composées	181	77,68
Cichorieae	**180**	**77,25**
Anthemideae	1	0,43
Chenopodiaceae	6	2,58
Brassicaceae	4	1,72
Fabaceae	1	0,43
Apiaceae	1	0,43
Plantes d'eau (*Potamo* et *Typha*)	5	2,15
Fougères	31	11,74
Monolètes	27	10,23
Trilètes	4	1,51
Total pollen	**264**	

B.2. Traitement statistique des données



L'analyse définit des assemblages constitués d'un ensemble d'espèces qui ont le même comportement vis à vis des variations vis-à-vis de la température et/ou des précipitations.

Traitement statistique

$\Rightarrow$ f(Abondance des différentes espèces)=g(Température, précipitations)

B.3. Exemple de diagramme pollinique

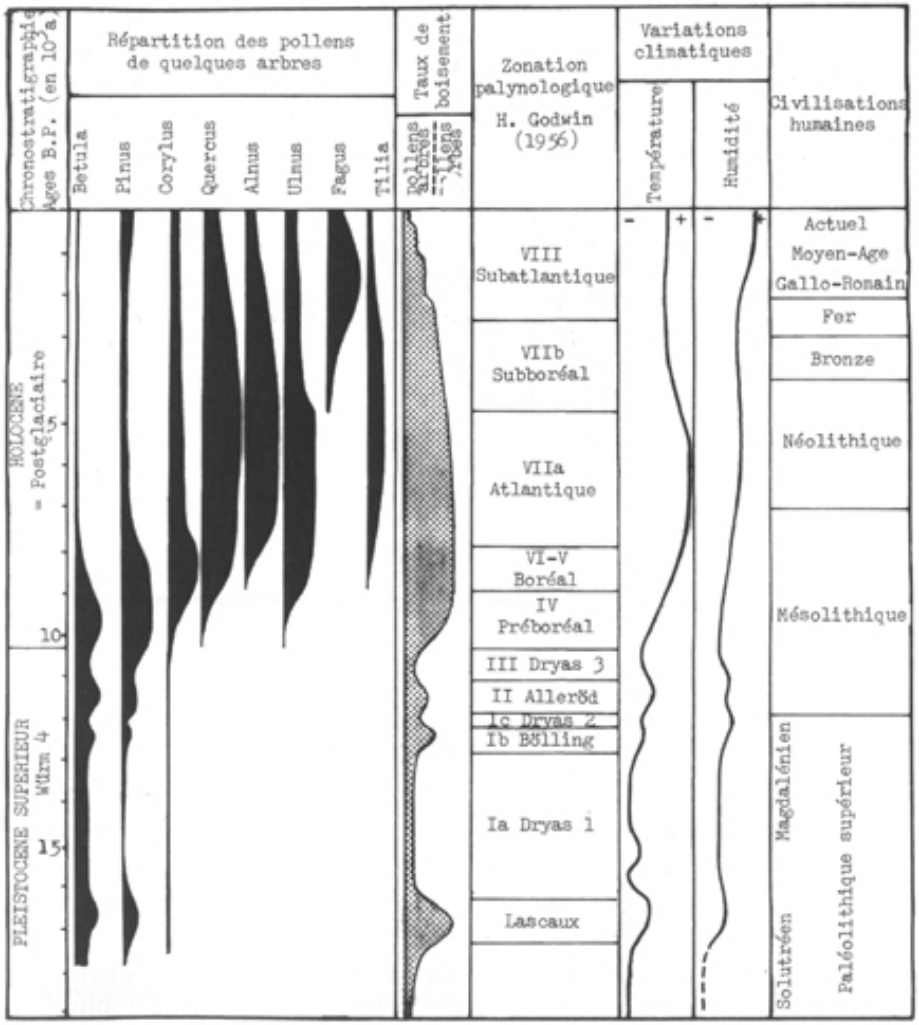


Figure 15.10 – Évolution de la végétation dans le NW de la France au cours des derniers 20000 ans. Le climat très froid au Würm entraîne des paysages de toundra sans arbres, ou de taïga à pins et bouleaux rabougris. À partir du Postglaciaire, le réchauffement et l'augmentation des précipitations permettent l'installation de forêts de pins, puis celle d'une chênaie mixte, enfin d'une hêtraie. Le défrichement, estimé à l'aide du taux de boisement (= pollens d'arbres/pollens d'herbes), s'amorce au Néolithique pour s'accélérer depuis l'époque romaine. En grande partie d'après des données d'H. Elhai (1963)

Même chose avec les foraminifères: permet d'estimer les paléotempératures à 1°C près

C. Utilisation de la composition isotopique du test des foraminifères

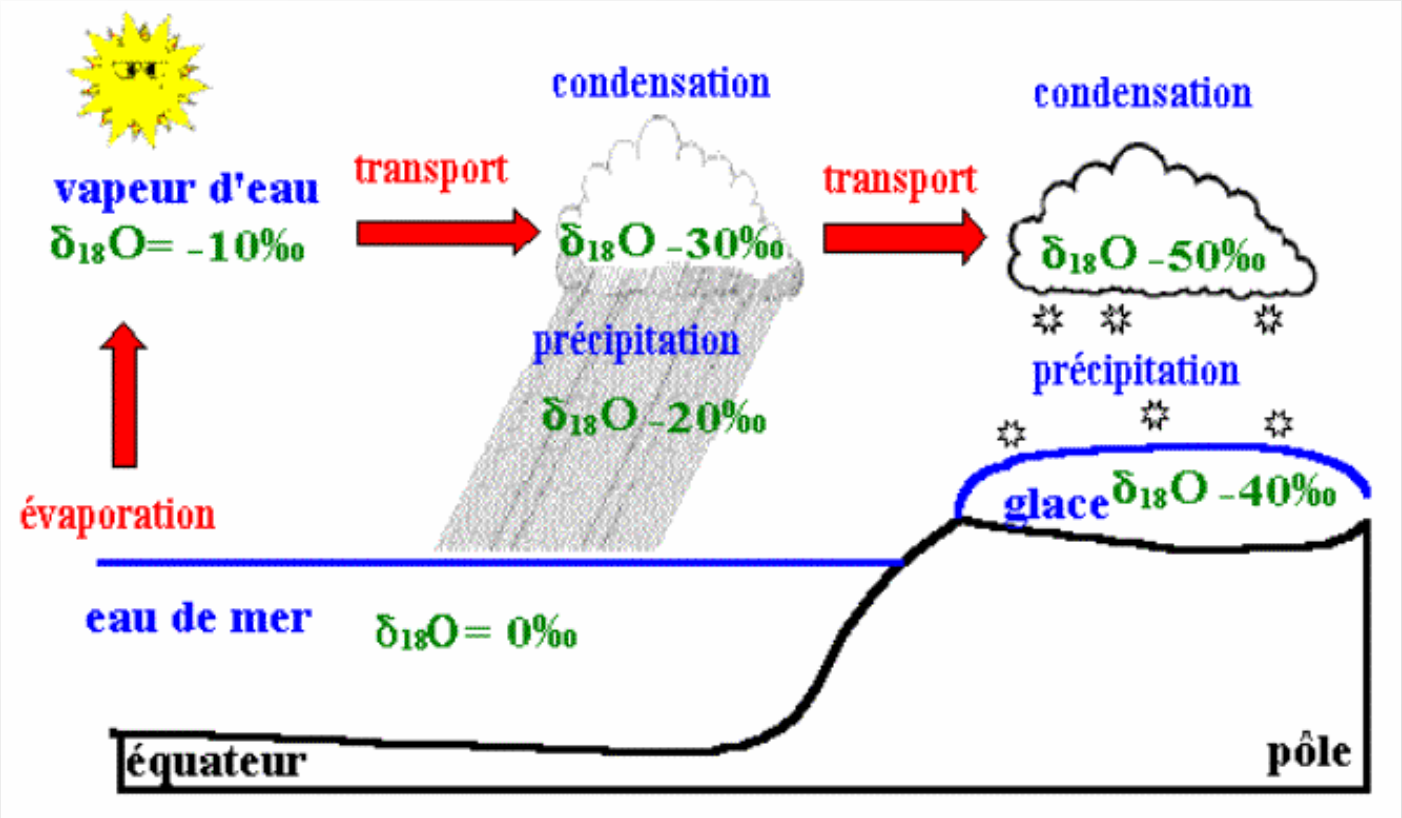
→ Composition isotopique en oxygène des tests de foraminifères

2 isotopes stables pour l'oxygène: ^{18}O (lourd) et ^{16}O (léger)

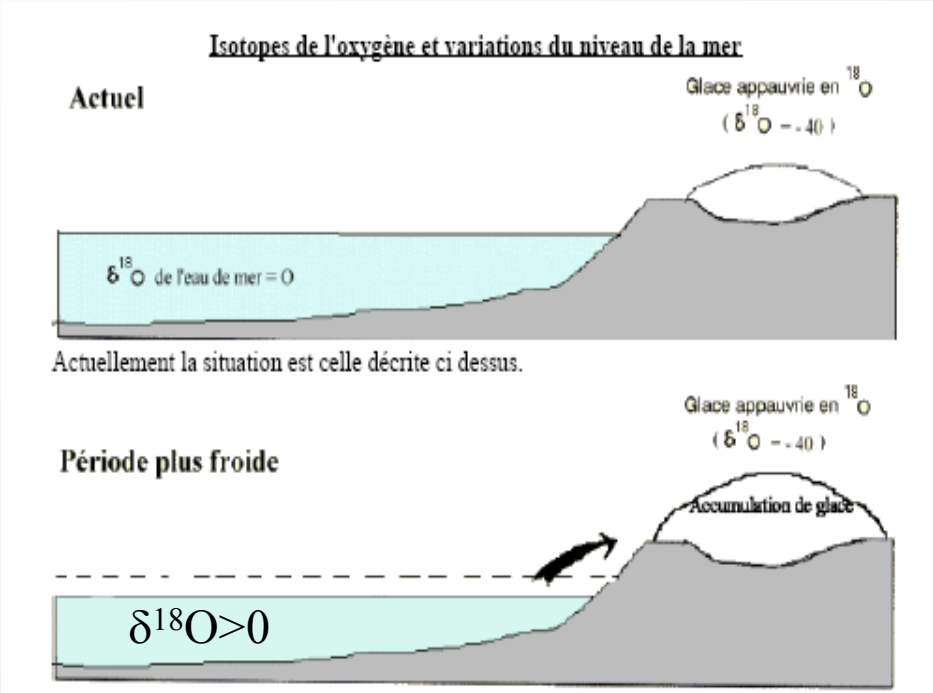
Le $\delta^{18}O$ est défini ainsi:

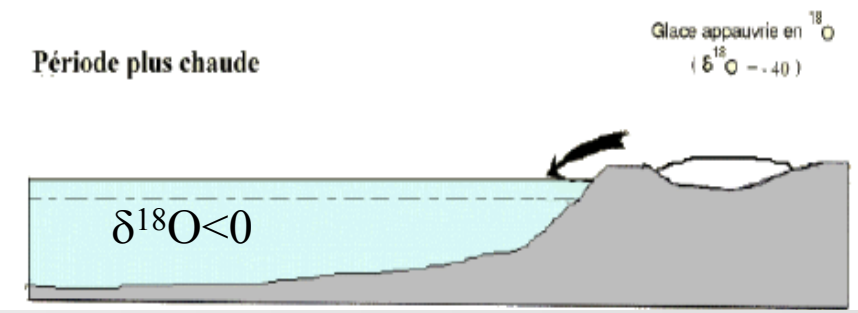
$$\delta^{18}O\ (‰) = \left[\left(\frac{\{^{18}O/^{16}O\}_{échantillon} - \{^{18}O/^{16}O\}_{standard\ PDB}}{\{^{18}O/^{16}O\}_{standard\ PDB}} \right)\right] \times 1000$$

Plus il est négatif, plus l 'échantillon est riche en ^{18}O relativement à l'^{16}O



Variations du niveau de la mer et variations de la composition isotopique de l'eau de mer





Relation fondamentale entre le $\delta^{18}O$ du test des foraminifères, le $\delta^{18}O$ de l'eau environnante et la Température

$$\mathbf{T° = 16{,}9 - 4{,}4\ (\delta^{18}O_{foraminifères} - \delta^{18}O_{eau})}$$

→ Problème: on a 2 variables : $\delta^{18}O_{eau}$ et T

Hypothèse de travail: La température du fond ne change pas au cours des temps (~4°C).

Par conséquent:

Les **foraminifères benthiques** donnent le $\delta^{18}O$ de l'eau (signal global de changement du **volume des glaces**, et donc du niveau marin).

Connaissant le $\delta 18O_{eau}$, on a accès avec les **foraminifères planctoniques** aux **<u>températures de surface des océans</u>**.

En conclusion: il faut séparer les foraminifères benthiques des foraminifères pélagiques puis mesurer le $\delta^{18}O$ sur chacune des fractions

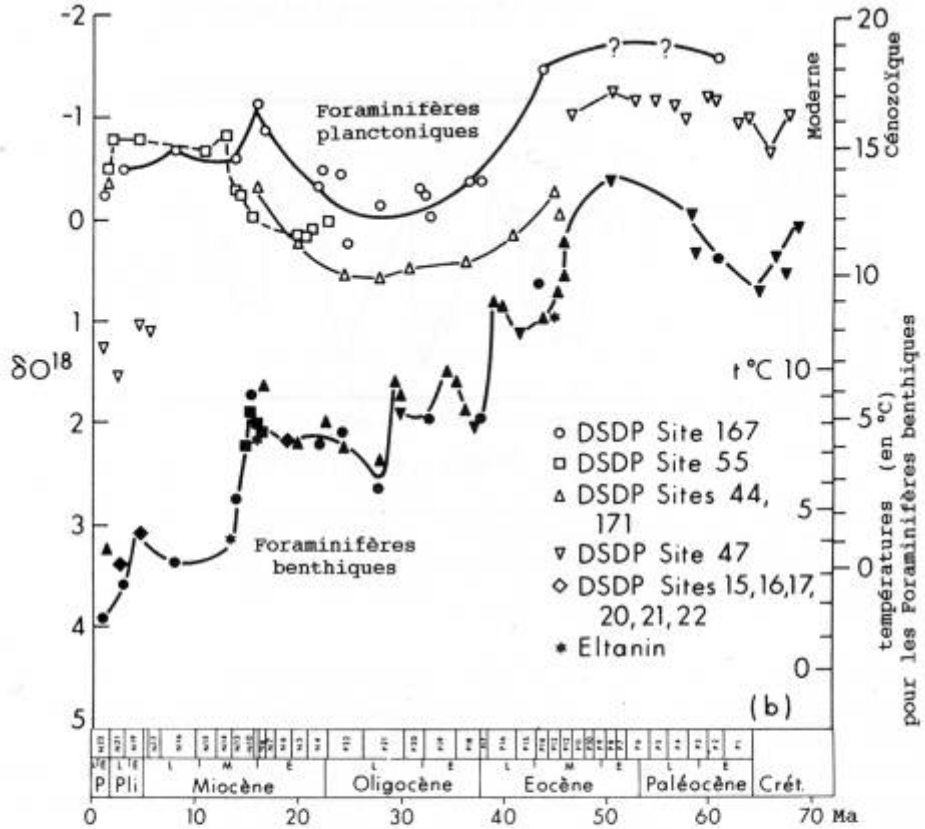


Figure 15.14 – Évolution de la composition isotopique de l'oxygène des tests de Foraminifères benthiques et planctoniques. Ces tests proviennent de plusieurs séries sédimentaires continues, aux basses latitudes, fournies par des sondages DSDP effectués dans le Pacifique nord. Quelques points proviennent de sites de l'Atlantique Sud et du Sud Pacifique.

Les échelles des températures « Actuel » et « Cénozoïque » sont calculées avec des eaux ambiantes dont les $\delta^{18}O$ sont respectivement égaux à - 0,08 et -1,00.

Les températures des biotopes superficiels à Foraminifères planctoniques sont au cours du Paléocène-Éocène supérieures de 5°C environ à celles des biotopes profonds à Foraminifères benthiques.

Tout au long des temps cénozoïques, les températures diminuent, et spécialement celles des biotopes profonds dont la décroissance s'accélère vers la limite éocène-oligocène. Ce moment où les courbes benthique et planctonique divergent fixe le début du refroidissement accéléré des eaux profondes, et donc l'installation de la psychrosphère et des premières calottes glaciaires.

Selon S. M. Savin (1977) in *Ann. Rev. Earth. Planet. Sci.*, 5, p. 333, fig. 3b.

Reproduit avec la permission d'Annual Review of Earth and Planetary Sciences.

D. Quelques autres exemples de reconstitution paléo-environnementales

+ **Salinité** - ostracodes *(p 200 du Bignot)*

Les **paléosalinités** peuvent être déduites de la présence d'évaporites, des teneurs en certains éléments-traces (Ba, Sr) ; cependant, les indications les plus fines sont fournies par les êtres vivants : organismes sténohalins / euryhalins. Ostracodes sont de précieux indicateurs.

+ **Niveaux marins, Paléoplages**– coraux.

En admettant que les coraux vivent juste sous la surface de la mer, on peut retracer les variations liées à la surrection du continent et/ou la variation du niveau de la mer (eustatisme). Ex: On retrouve à la Barbade des coraux fossiles vieux de 125 000 ans situés à 40 m au dessus du niveau de la mer.

Les tranches d'eau faibles ou proches de l'exondation sont aussi reconnaissables aux rides d'oscillation, aux pistes de locomotion laissées par des animaux tels que des reptiles ou des oiseaux venant de la terre ferme (paléo-plages).

+ **Direction et sens des paléocourants** - Orientation des coquilles

(p 117,118,119 de Babin)

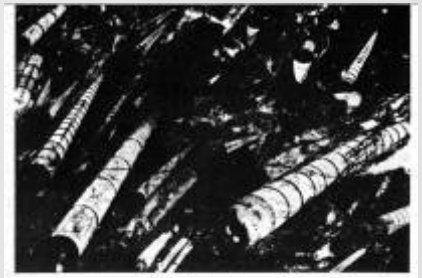


Fig. 5-45. Orientation post-mortem par des courants de coquilles de Nautiloïdes orthocônes du Silurien (d'après Doucet in Müller, 1976).

+ **Energie du milieu** (vagues, courants).

Les coquilles sont plus ou moins désarticulées, cassées selon hydrodynamisme. L'action des vagues et des courants entretient l'agitation des eaux, ce qui assure le renouvellement des nutriments, favorise l'établissement d'animaux suspensivores ; les exosquelettes, les coraux par exemple, seront massifs pour offrir moins de prise aux vagues. Inversement, une eau calme favorise la décantation de la matière organique collectée par les organismes détritivores et limivores.

+ **Ecologique-évolutif : Paléorégimes alimentaires** (dents des vertébrés etc…).

III. Limites de l'utilisation des fossiles pour la reconstitution des paléo-environnements

A. Problèmes liés à la Taphonomie

Transport post-mortem des coquilles à travers le talus ⇒ fossiles des eaux peu profondes présents dans des sédiments profonds.

Diagenèse: s'il y a dissolution et reprécipitation sélective des coquilles carbonatées (cf. TD2)
De plus, le système se rééquilibre isotopiquement avec les fluides diagénétiques et on perd l'information sur la température d'origine.

La dissolution des carbonates étant une fonction croissante de la pression, les tests calcaires sont entièrement dissous sous une profondeur appelée profondeur de compensation des carbonates = CCD, ils ne reste que des tests siliceux ce qui limite l'utilisation des foraminifères. Dans la partie équatoriale de l'océan Pacifique, la CCD se situe vers 5000 m de profondeur.

B. Problèmes liés à l'actualisme

Théorie simple et efficace mais il y a évolution des êtres vivants qui peuvent s'adapter au cours du temps à de nouvelles conditions…

organismes	milieu de vie des fossiles	milieu de vie actuel
crinoïdes (Echinodermes)	côtiers (secondaire, tertiaire)	abyssaux
globigérines (Foraminifères)	faible profondeur, plateau continental (crétacé)	grande profondeur
Trigonia (lamellibranches)	mers chaudes (secondaire)	mers chaudes ou climats tempérés

Autre exemple: **effet "vital"** pour le $\delta^{18}O$ = variation du fractionnement isotopique en fonction de l'espèce analysée et de la taille de l'individu.

$\Rightarrow$ Comment alors connaître le fractionnement induit par des espèces disparues?

Conclusions

Définition, caractéristiques et exemples de fossiles de faciès

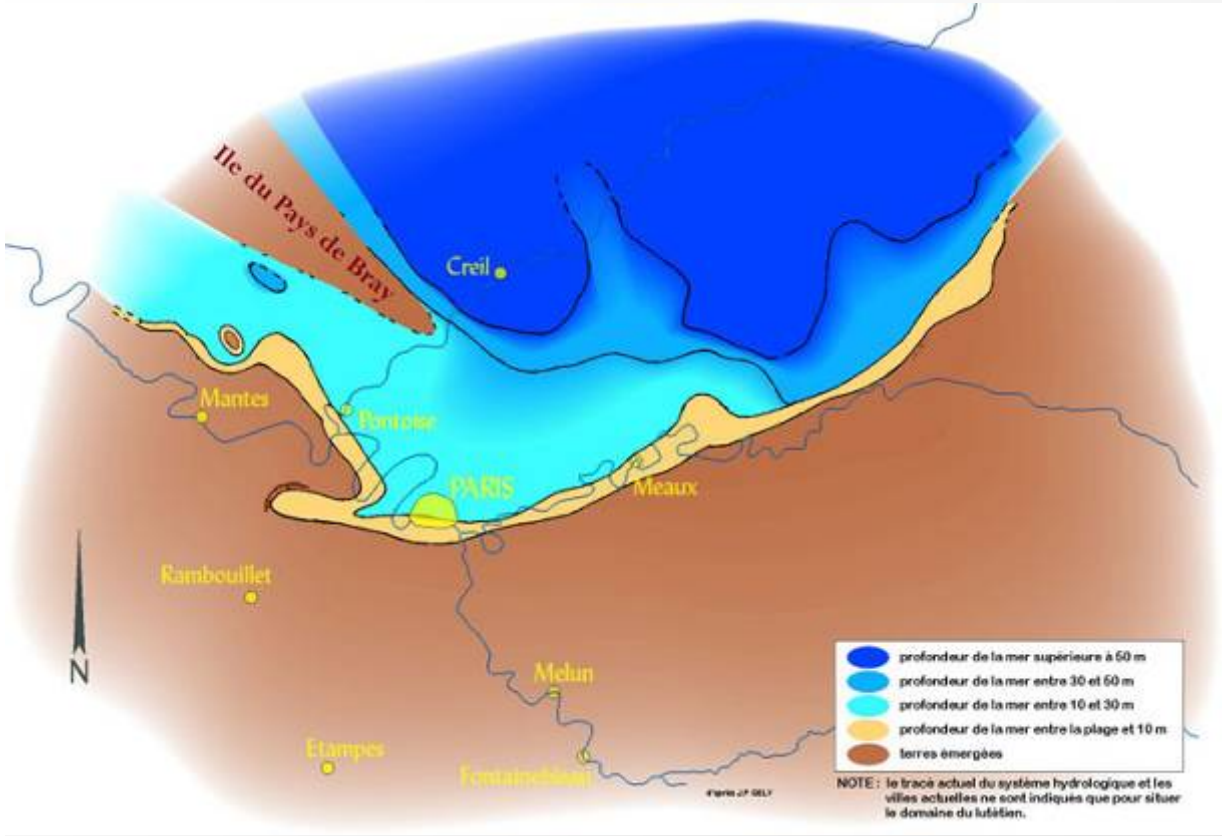
Comment reconstituer des paléo-environnements à l'aide des fossiles: T, salinité, profondeur, précipitations

Tous les fossiles ne sont pas caractéristiques d'un milieu donné, certain ont un large spectre écologique;

De plus après avoir reconstituer les conditions d'un paléoenvironnement, il nous faut encore le dater:

Nous verrons Mercredi l'utilisation des fossiles stratigraphiques pour la datation des couches sédimentaires…

Variation du niveau de la mer au cours des temps géologiques



Etendue de la mer sur le Bassin Parisien au Lutétien inférieur

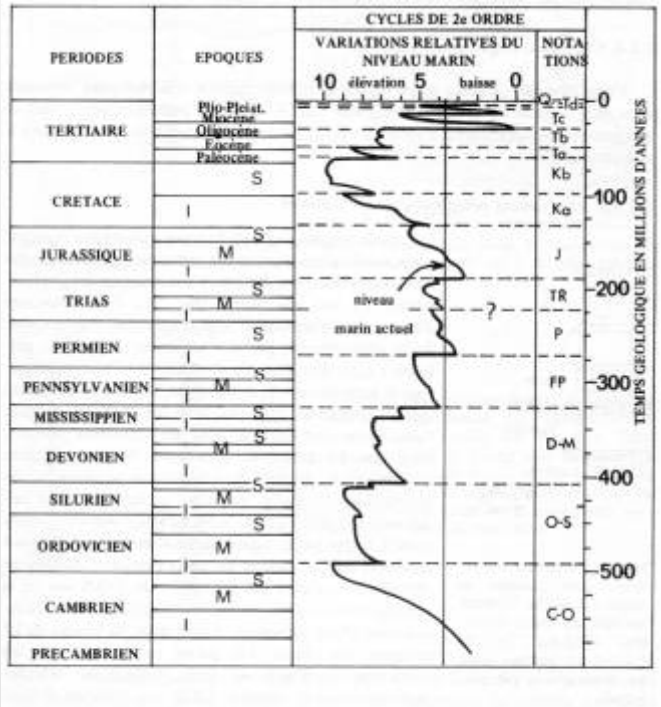


Fig. 30 – Cycles majeurs des variations globales du niveau marin d'après P.R. Vail (1977).

cycles sédimentaires dans le Bassin Parisien (transgression/régression)

Comment reconstitue t'on ces variations?

Autre exemple de faciès: la pierre à liards, Lutétien du bassin Parisien…

Pierre à liards

La roche est constituée de *Nummulites laevigatus*, grand foraminifere benthique.
Echelle = 2 cm

http://www.mnhn.fr/mnhn/geo/collectionlutetien/liards.html

Dépôt marin peu profond, mer chaude