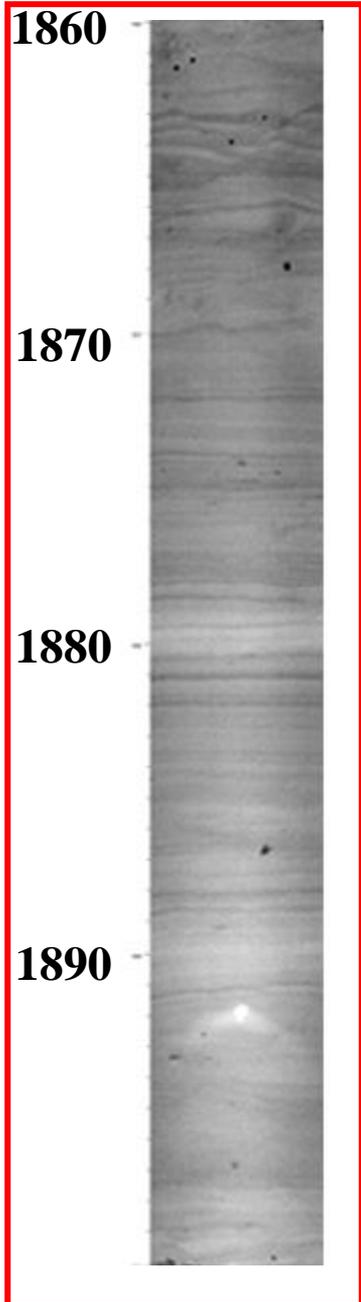


TD : Reconstruire le climat...



A PARTIR DES ARCHIVES MARINES

Iceberg, Fjord de Scoresby, Est Groenland, 70°N.
Campagne TUNU III (Oct. 2007), navire océanographique *Jan Mayen*, Univ. Tromsø (Norvège)
Jacques Giraudeau (EPOC)



1. Établir une échelle d'âge

1.1. La biostratigraphie

1.2. La chimiostratigraphie

1.3. La radiochronologie et autres méthodes de datations absolues

2. Quelques indicateurs paléoclimatiques

2.1. La teneur en carbonate/ couleur du sédiment

2.2. Le contenu en particules vêtées par les icebergs

2.3. Le contenu en microfossiles

Notion de « temps en géologie »

On distingue:

⇒ **Temps relatif** : on positionne un évènement dans le temps « **par rapport** » à un autre

⇒ Datation relative : cas de la biostratigraphie, de la chimiostratigraphie...

⇒ **Temps absolu** : **âge « précis »** des évènements

⇒ Datation absolue : exemple de la radiochronologie....

1.1. Biostratigraphie:

= datation repose sur le **contenu en fossiles**

= Étude des assemblages + étude de l'évolution des fossiles



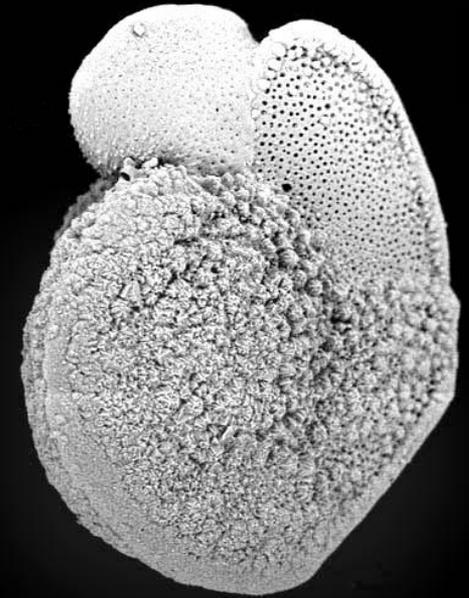
A l'échelle des temps géologiques, conduit à :

⇒ **Chronostratigraphie**: caractérisation d'un affleurement par toute la faune qu'il contient (stratotype) et comparaison avec un autre affleurement d'âge connu et contenant les mêmes fossiles.

(CF SAUCATS)

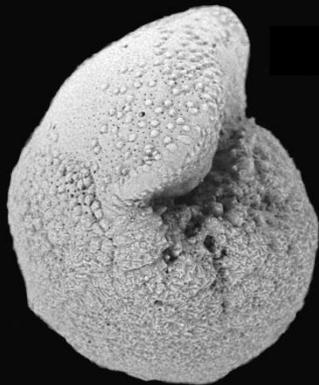
Quels groupes de fossiles utiliser?

- ⇒ Ceux qui ont un **fort potentiel de préservation**
- ⇒ **Évolution rapide** dans le temps
- ⇒ **Forte diversité taxinomique**
- ⇒ **Large extension géographique**
- ⇒ Relativement **communs** à la surface du globe
- ⇒ Se retrouvant dans des **environnements diversifiés**



X100

100µm



X150

100µm



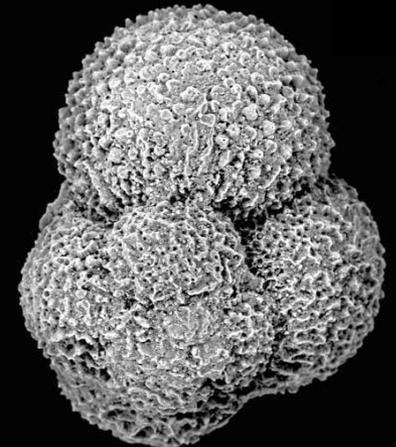
X200

100µm



X350

50µm



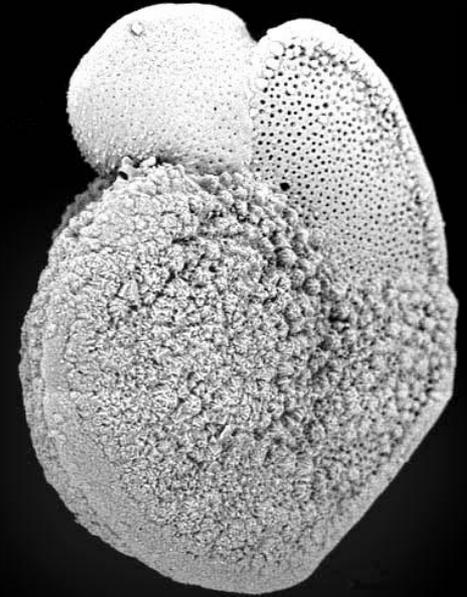
X200

100µm

Quels groupes de fossiles utiliser?

- ⇒ Coquilles de foraminifères
- prés
- ⇒ É
- ⇒ Fo
- ⇒ L
- ⇒ R
- glob
- ⇒ S
- diversités

LES MICROFOSSILES



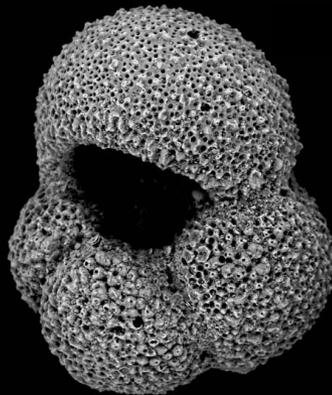
X100

100µm



X150

100µm



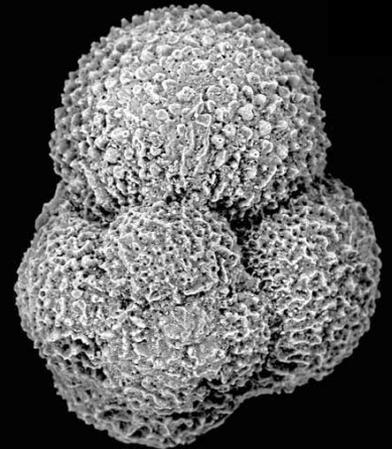
X200

100µm



X350

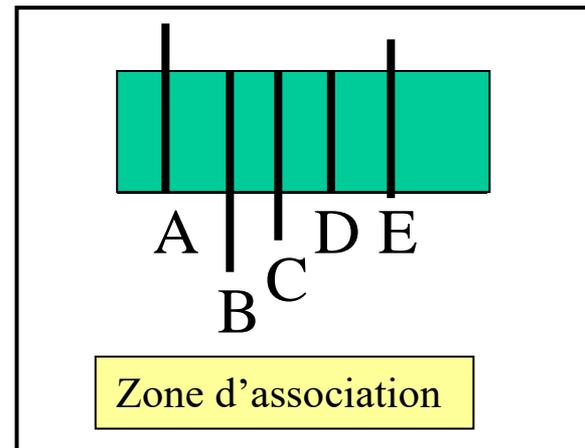
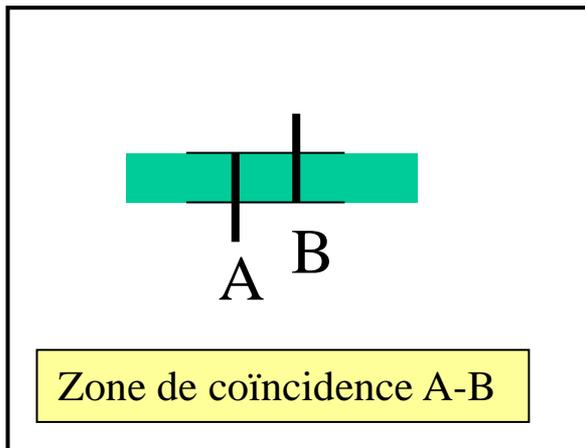
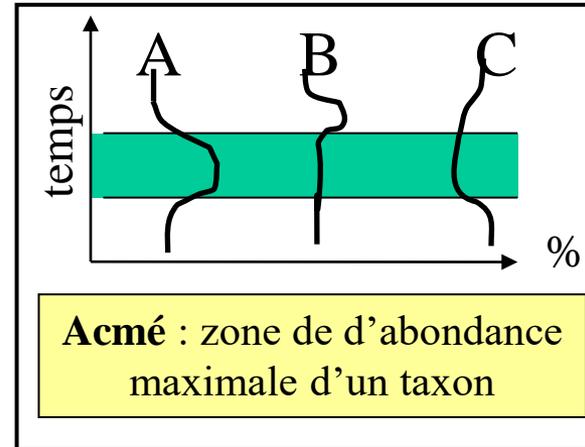
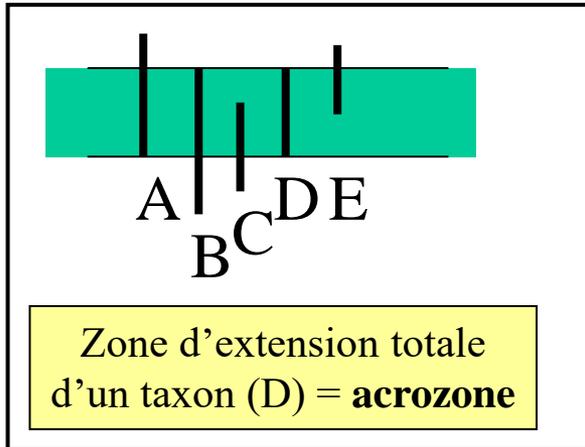
50µm

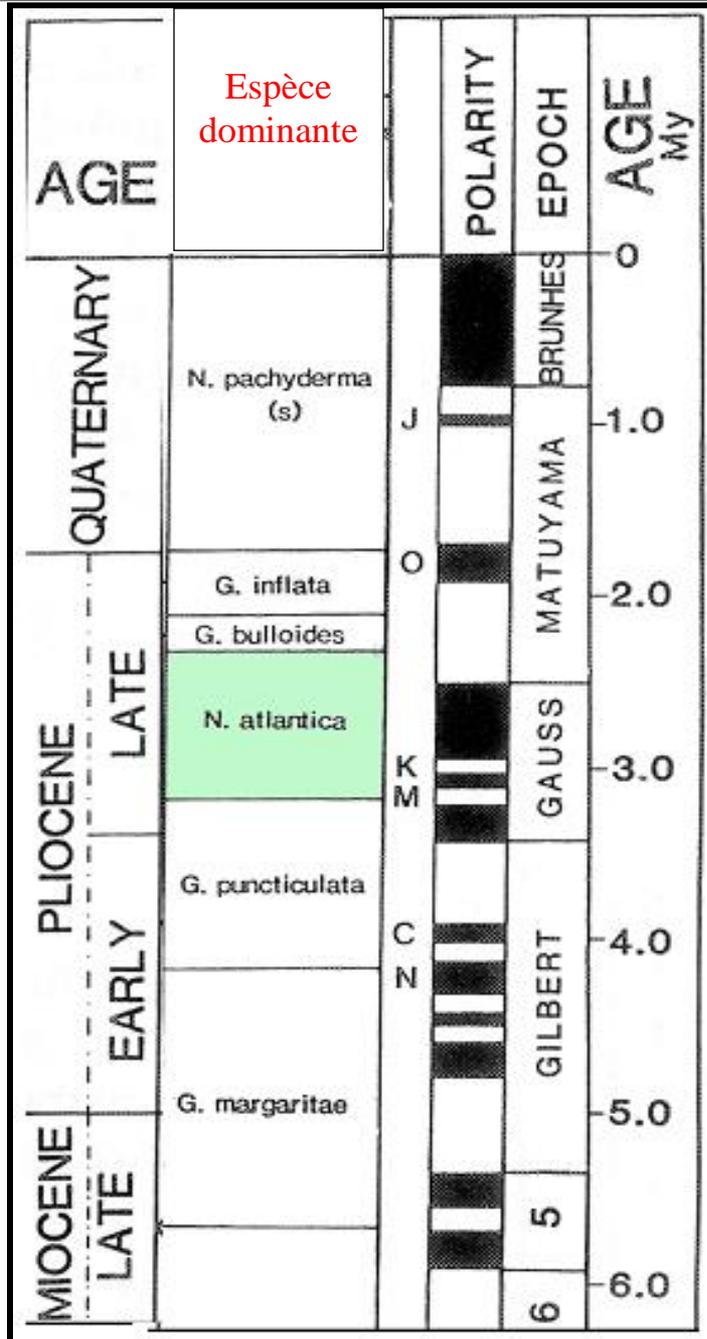


X200

100µm

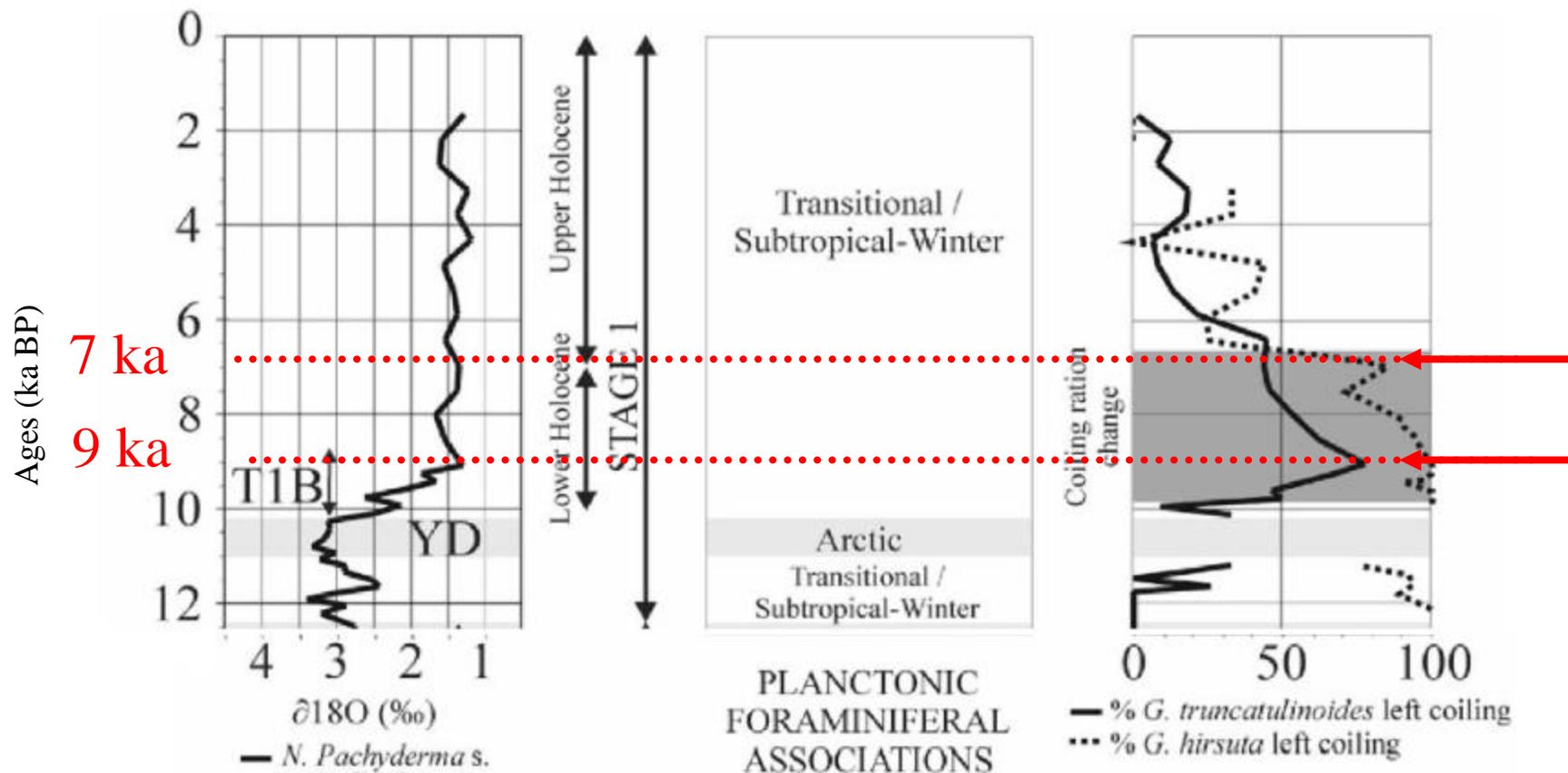
On établit un canevas chronologique à partir :
 des apparitions - disparitions
 des abondances maximales
 des associations



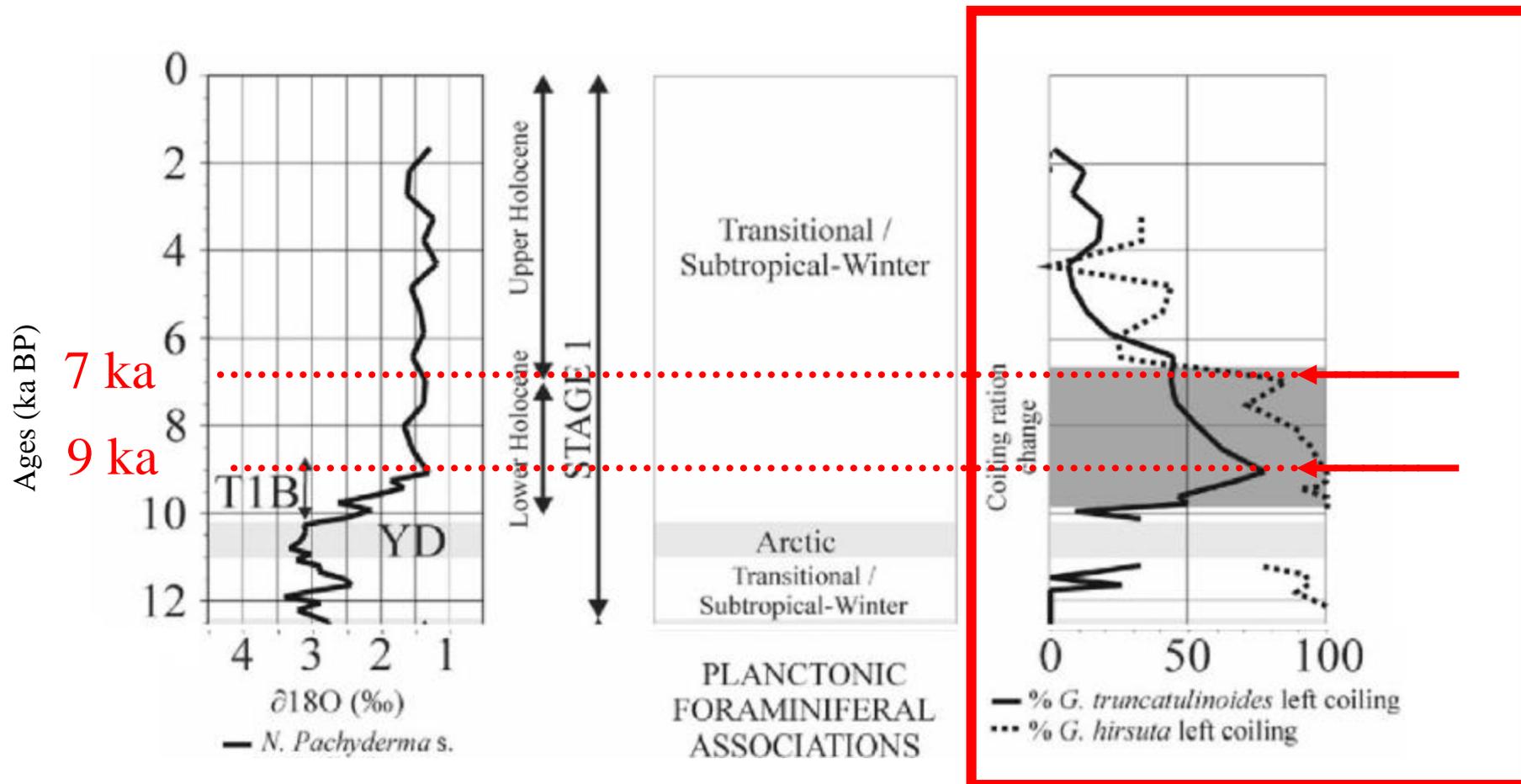


Exemples de relais d'espèces sur les derniers 6 millions d'années
(Weaver and Clement, 1986)

Exemple pour le Quaternaire récent dans le Golfe de Gascogne:



Exemple pour le Quaternaire récent dans le Golfe de Gascogne:



= relais faunistique bien daté au sein des populations de foraminifères (disparition des individus s'enroulant vers la gauche)

TD : Reconstruire le climat à partir des archives marines

1. Établir une échelle d'âge

1.1. La biostratigraphie

1.2. La chimiostratigraphie

1.3. La radiochronologie et autres méthodes de datations absolues

2. Quelques indicateurs paléoclimatiques

2.1. La teneur en carbonate/ couleur du sédiment

2.2. Le contenu en particules vêtées par les icebergs

2.3. Le contenu en microfossiles

1. 2. Chimiostratigraphie: basée sur des variations de composition des isotopes stables au cours du temps.

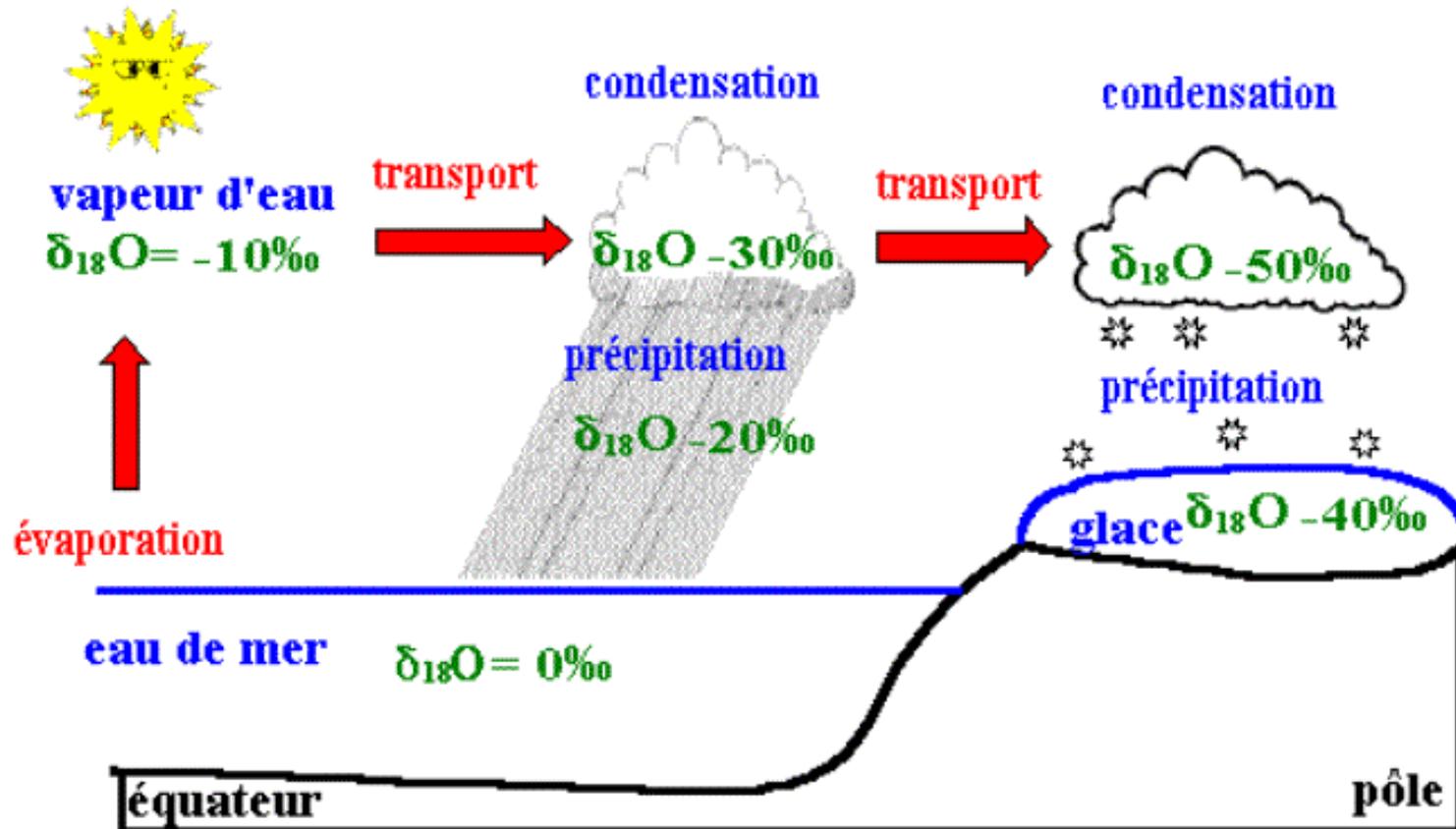
Deux exemples, parmi les plus communément utilisés en paléocéanographie:

=> $\delta^{18}\text{O}$

=> Le rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$

Les isotopes de l'oxygène : le $\delta^{18}\text{O}$

2 isotopes stables pour l'oxygène: ^{18}O (lourd) et ^{16}O (léger)
 = partie intégrante du cycle de l'eau et donc de la vie.....



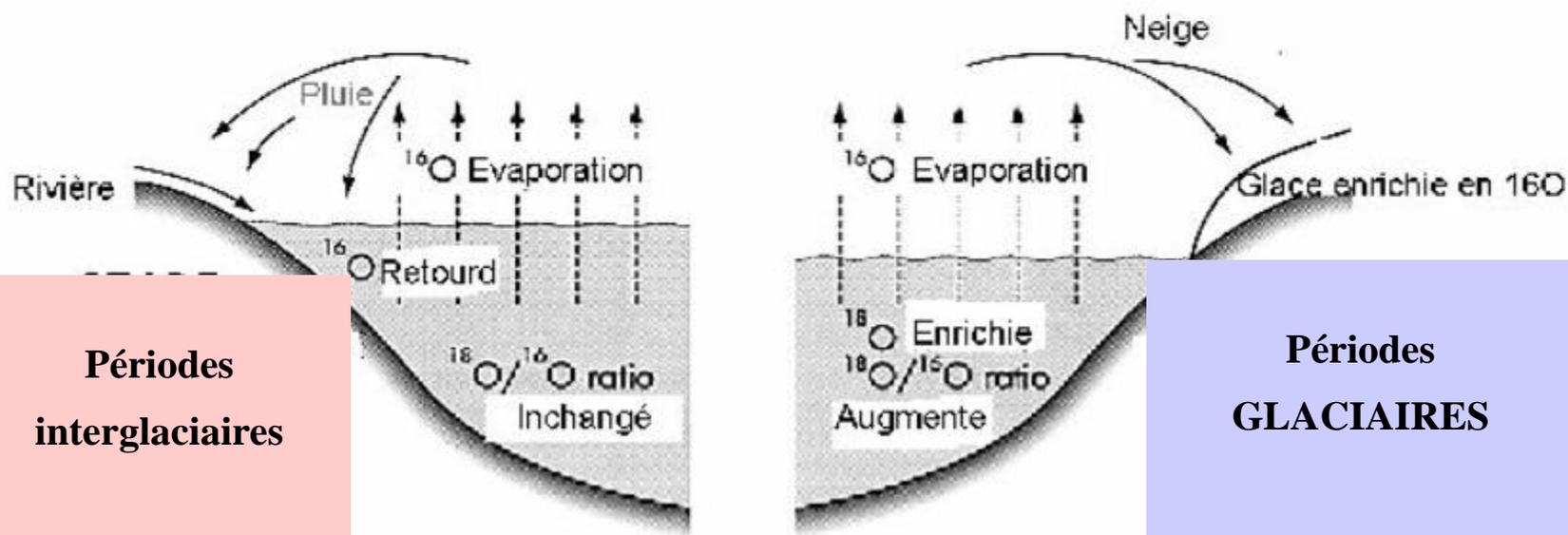
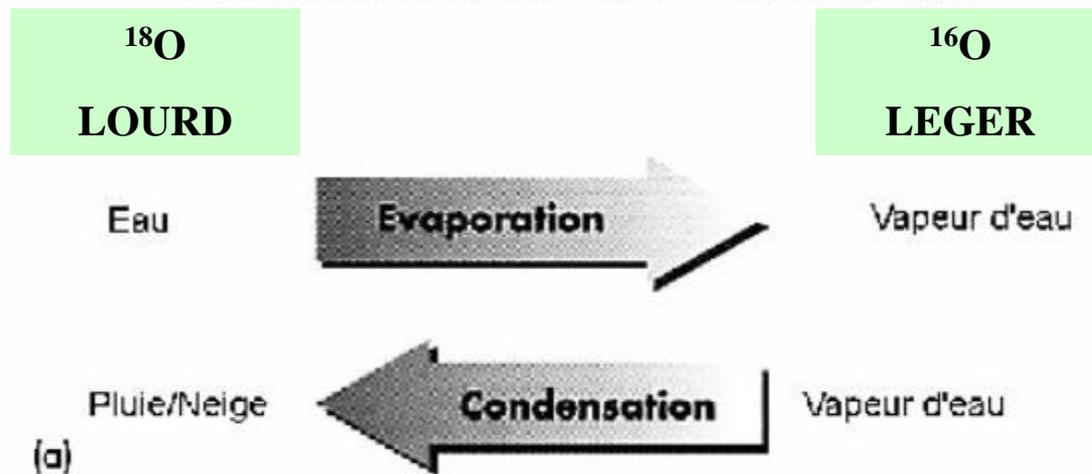
Les isotopes de l'oxygène : le $\delta^{18}\text{O}$

Les organismes à tests calcaires tels que les foraminifères marins élaborent leur test (CaCO_3) à partir des molécules en solution dans l'eau de mer (HCO_3^-) : en équilibre donc avec cette eau de mer... L'analyse par spectrométrie de masse des carbonates de ces tests permet donc de calculer un $\delta^{18}\text{O}$ défini ainsi :

$$\delta^{18}\text{O} \text{ en } \text{‰} = \left[\frac{\left[\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right]_{\text{échantillon}}}{\left[\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right]_{\text{PDB}}} - 1 \right] \times 1000$$

où le rapport $\left[\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right]_{\text{PDB}}$ correspond au rapport isotopique de référence nommé "PeeDee Belemnite" (Rostre de bélemnite de la formation 'PEEDEE' aux USA).

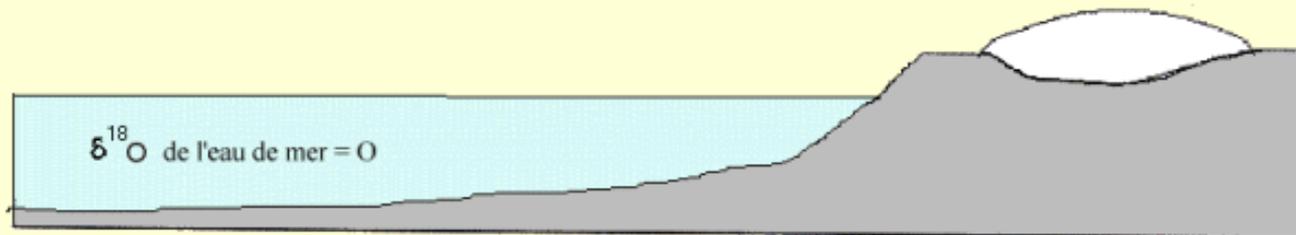
LES ISOTOPES DE L'OXYGENE



Actuel

Glace appauvrie en ^{18}O
($\delta^{18}\text{O} = -40$)

$\delta^{18}\text{O}$ de l'eau de mer = 0



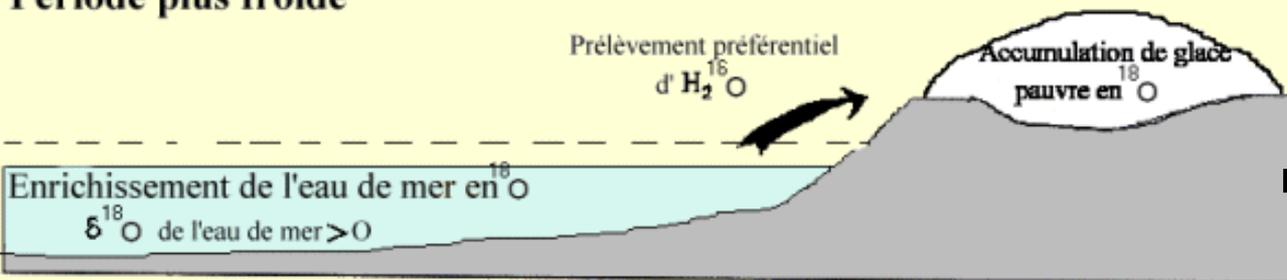
Période plus froide

Glace appauvrie en ^{18}O
($\delta^{18}\text{O} = -40$)

Prélèvement préférentiel
d' H_2^{16}O

Accumulation de glace
pauvre en ^{18}O

Enrichissement de l'eau de mer en ^{18}O
 $\delta^{18}\text{O}$ de l'eau de mer > 0



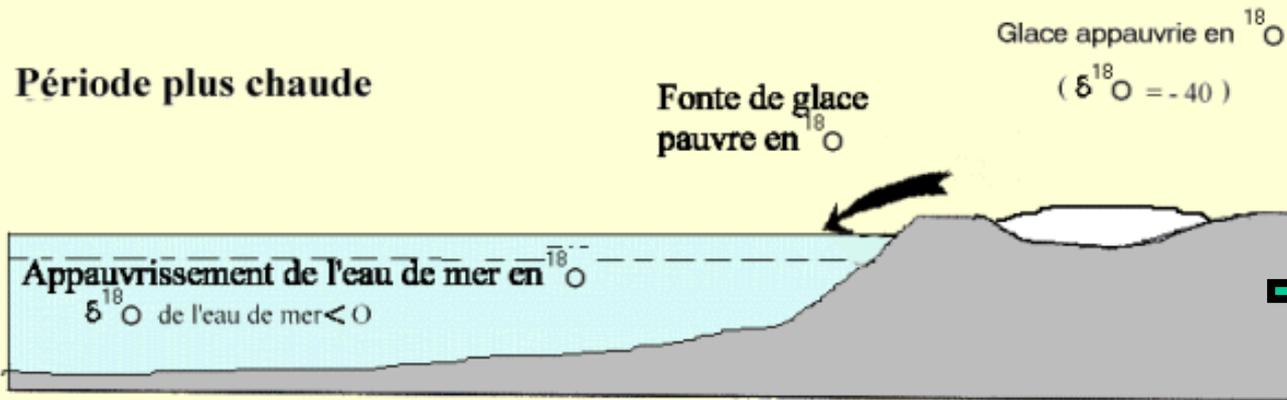
La proportion de ^{18}O
augmente
dans les tests des micro-
organismes

Période plus chaude

Glace appauvrie en ^{18}O
($\delta^{18}\text{O} = -40$)

Fonte de glace
pauvre en ^{18}O

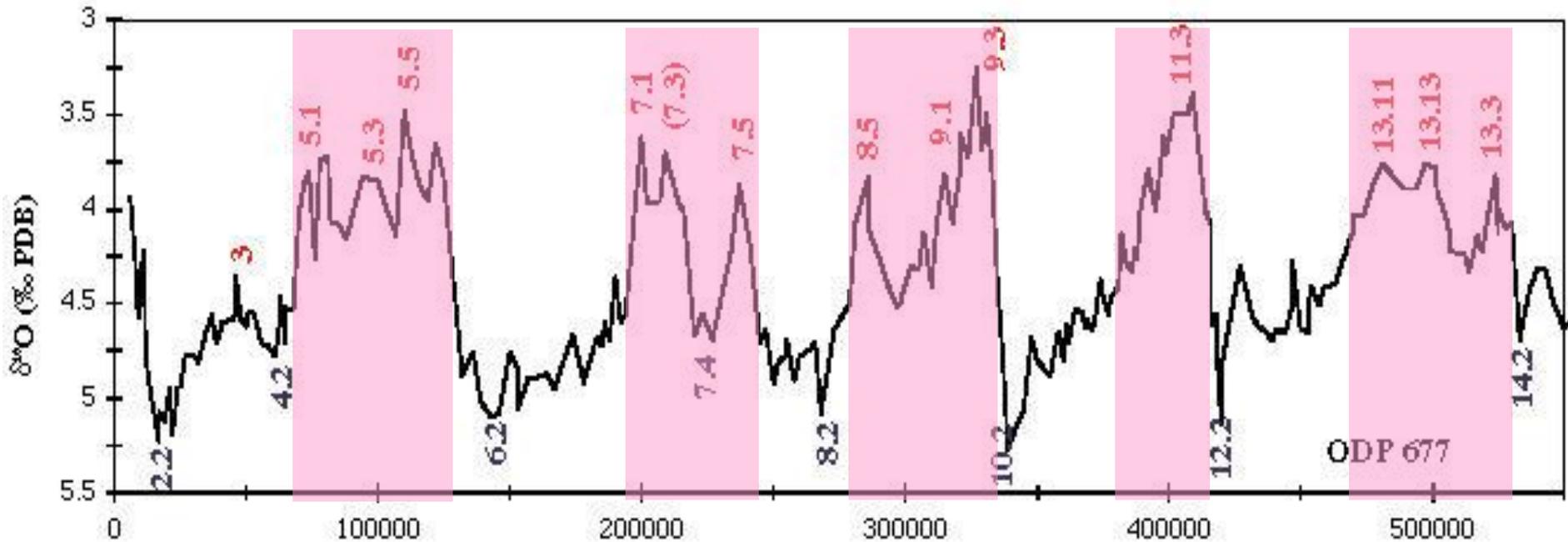
Appauvrissement de l'eau de mer en ^{18}O
 $\delta^{18}\text{O}$ de l'eau de mer < 0



La proportion de ^{18}O
diminue
dans les tests de micro-
organismes

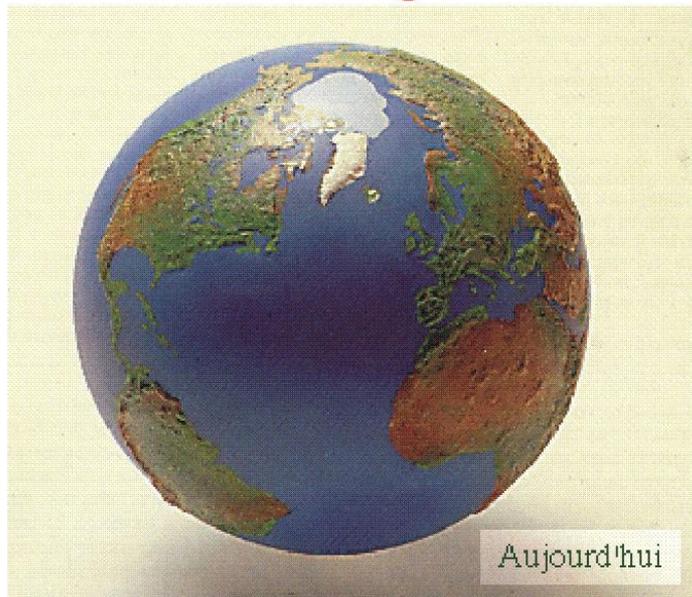
Les isotopes de l'oxygène : le $\delta^{18}\text{O}$

LES STADES ISOTOPIQUES (Martinson et col., 1987)



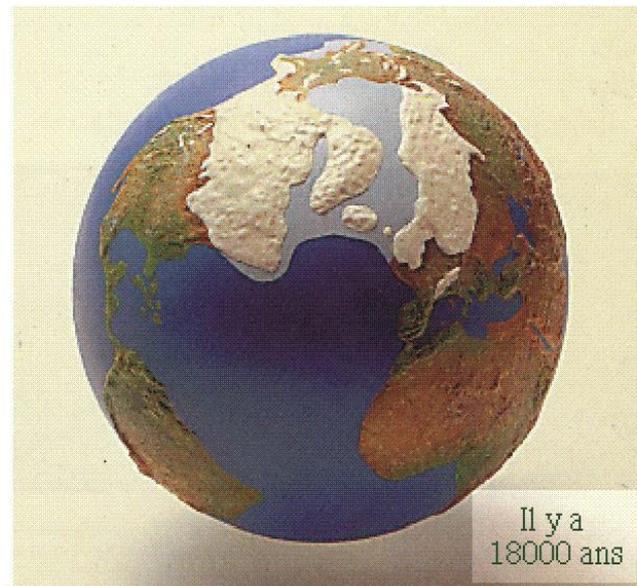
= un véritable découpage du temps (cyclostratigraphie)

Période interglaciaire



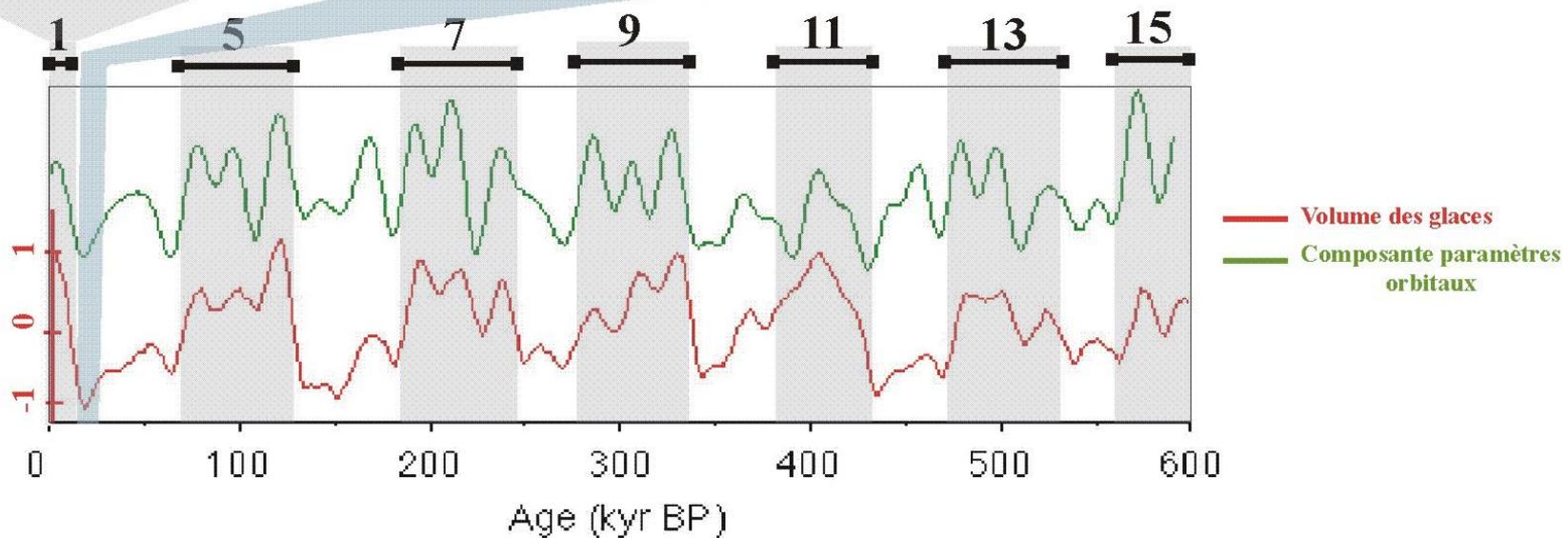
Aujourd'hui

Période glaciaire

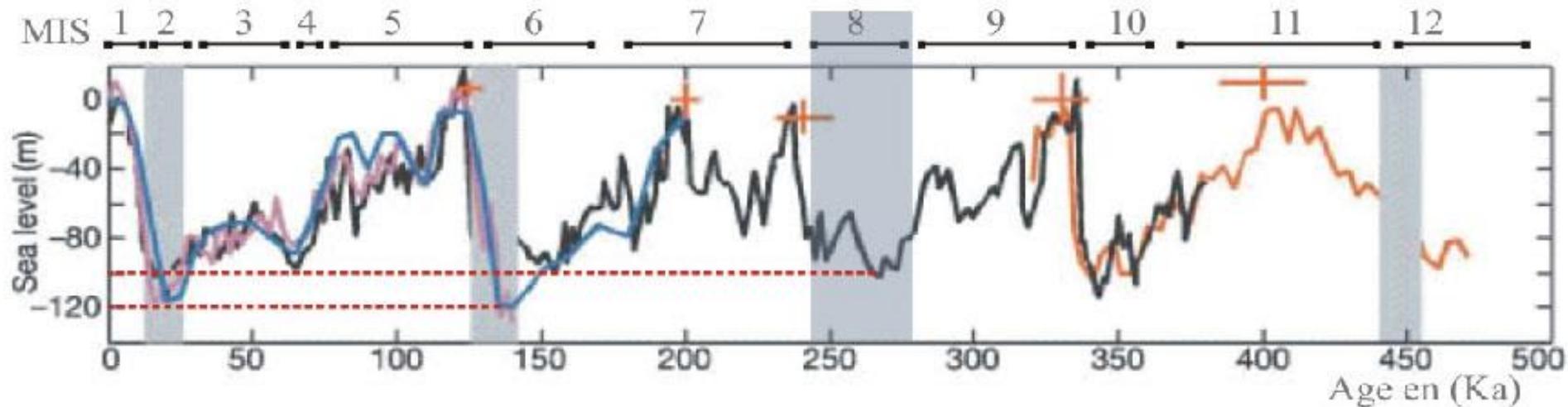


Il y a
18000 ans

Figures d'après *Sylvie Joussaume; 2000*



Répercussions sur le niveau marin global!



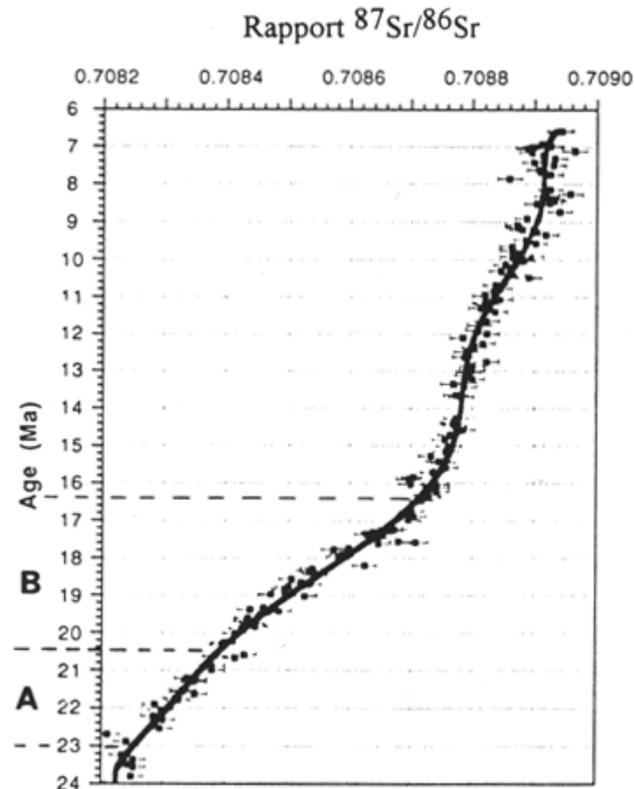
Sea-level reconstruction for the Red Sea for the past 470 kyr
(M.Sidall et.al, 2003)

Le rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$

= construction d'une courbe de référence « datée » par les méthodes de datation absolue

*Variations du rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ au cours du temps (âge en millions d'années)
(d'après Hodell et Woodruff, 1994)*

A = Aquitanien
B = Burdigalien



TD : Reconstruire le climat à partir des archives marines

1. Établir une échelle d'âge

1.1. La biostratigraphie

1.2. La chimiostratigraphie

1.3. La radiochronologie et autres méthodes de datations absolues

2. Quelques indicateurs paléoclimatiques

2.1. La teneur en carbonate/ couleur du sédiment

2.2. Le contenu en particules vêtées par les icebergs

2.3. Le contenu en microfossiles

1.3. La radiochronologie et autres méthodes de datations absolues

Principe basé sur la réaction de désintégration radioactive

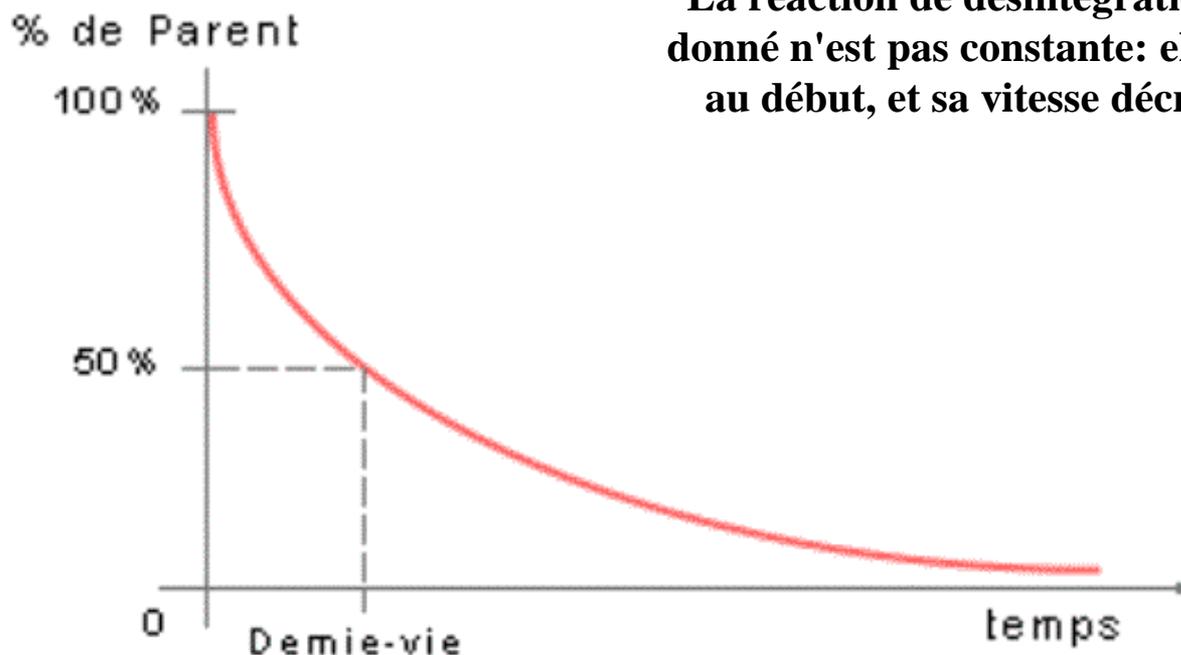


La valeur du rapport R sur P est donc fonction du temps de désintégration => age de l'échantillon.

On admet :

1. qu'il n'y avait pas d'élément fils présent au début
2. qu'il n'y a pas eu perte ou addition de cet élément fils : système fermé
3. que le taux de désintégration est constant

Les datations radiométriques



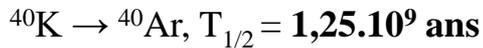
La réaction de désintégration d'un élément donné n'est pas constante: elle est très rapide au début, et sa vitesse décroît par la suite

On utilise : la demie-vie d'un élément

= le temps nécessaire pour que la moitié de l'élément parent soit désintégrée

Les datations radiométriques les plus communément appliquées dans les sédiments marins:

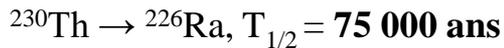
Potassium/ Argon



Pour dater les sédiments de plus d'un 1/2 millions d'années.

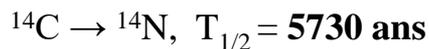
Potassium présent dans les micas, les feldspaths, les argiles...

Thorium/ Radium



Pour dater les sédiments de 20 000 -250 000 ans.

Carbone 14



Pour dater les sédiments de 0-40 000 ans, validité réelle : 30 000 ans.

Uranium/Thorium



Pour dater les carbonates jusqu'à 300 000 ans.

Le carbone 14

"Tout organisme vivant présente la même radioactivité que le gaz carbonique atmosphérique."

Comme à sa mort, le ^{14}C n'est plus renouvelé et que sa radioactivité décroît petit à petit à raison de la moitié tous les 5730 ans, la mesure de l'activité du ^{14}C d'un matériau organique permet par comparaison avec l'activité du ^{14}C actuel de déduire **le temps écoulé depuis sa mort.**

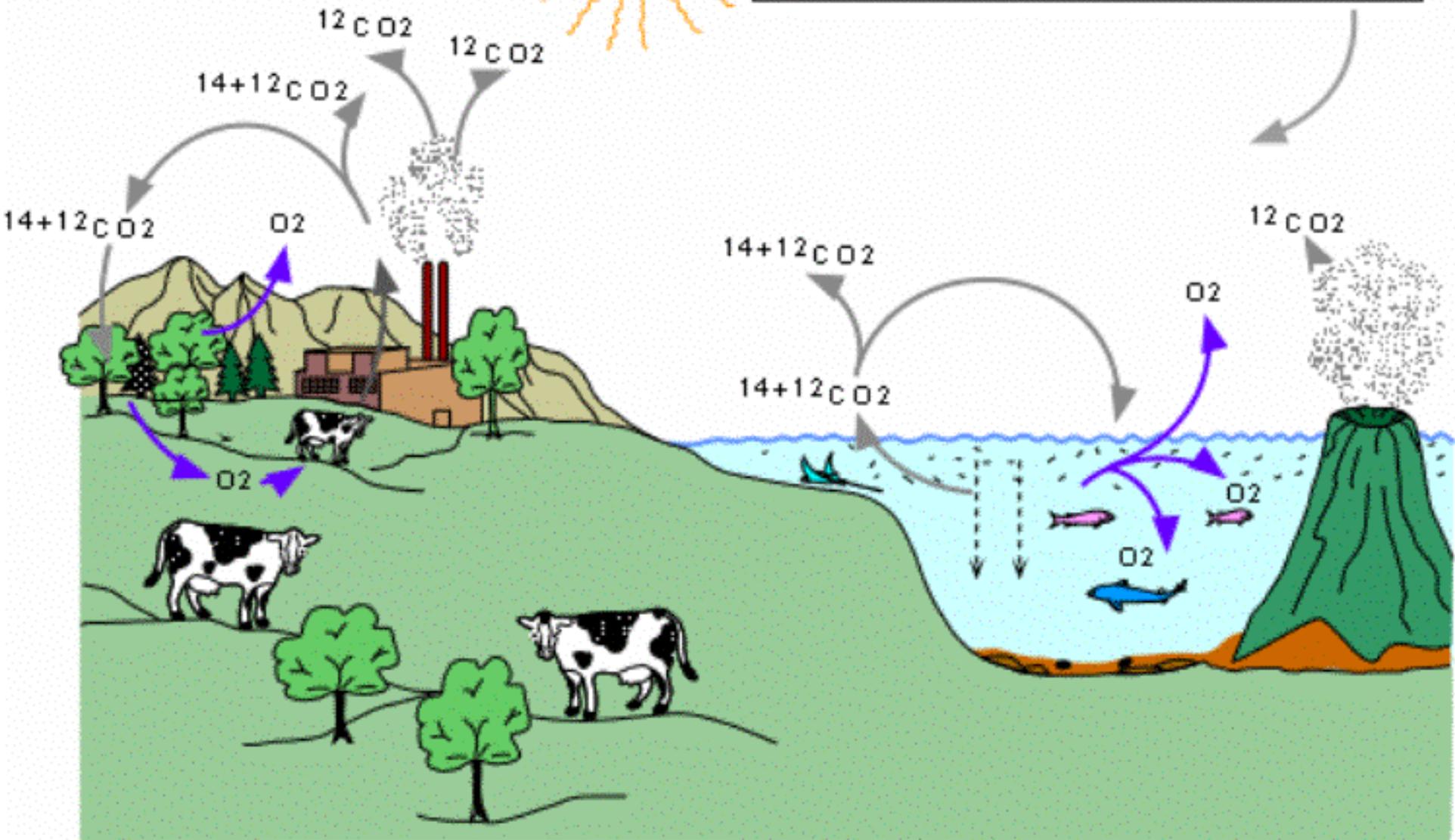
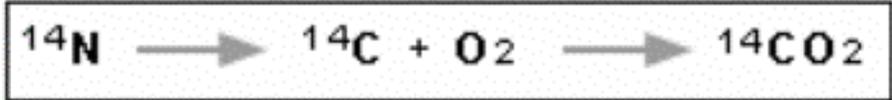
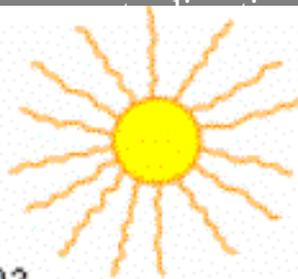
La loi de décroissance radioactive permet d'aboutir à l'équation d'âge suivante :

$$\text{Age} = \frac{T}{0,693} \cdot \log\left(\frac{N_0}{N}\right)$$

Avec

- N_0 : nombre d'atomes radioactifs d'un échantillon actuel de référence à l'instant $t=0$
- N : nombre d'atomes radioactifs de l'échantillon archéologique à l'instant t
- T : période de demi-vie égale à 5730 ans par convention

Le carbone 14



Autres méthodes : encore anecdotique dans les sédiments marins ! Le comptage des varves

...s 'apparente à la dendrochronologie



DENDROCHRONOLOGIE

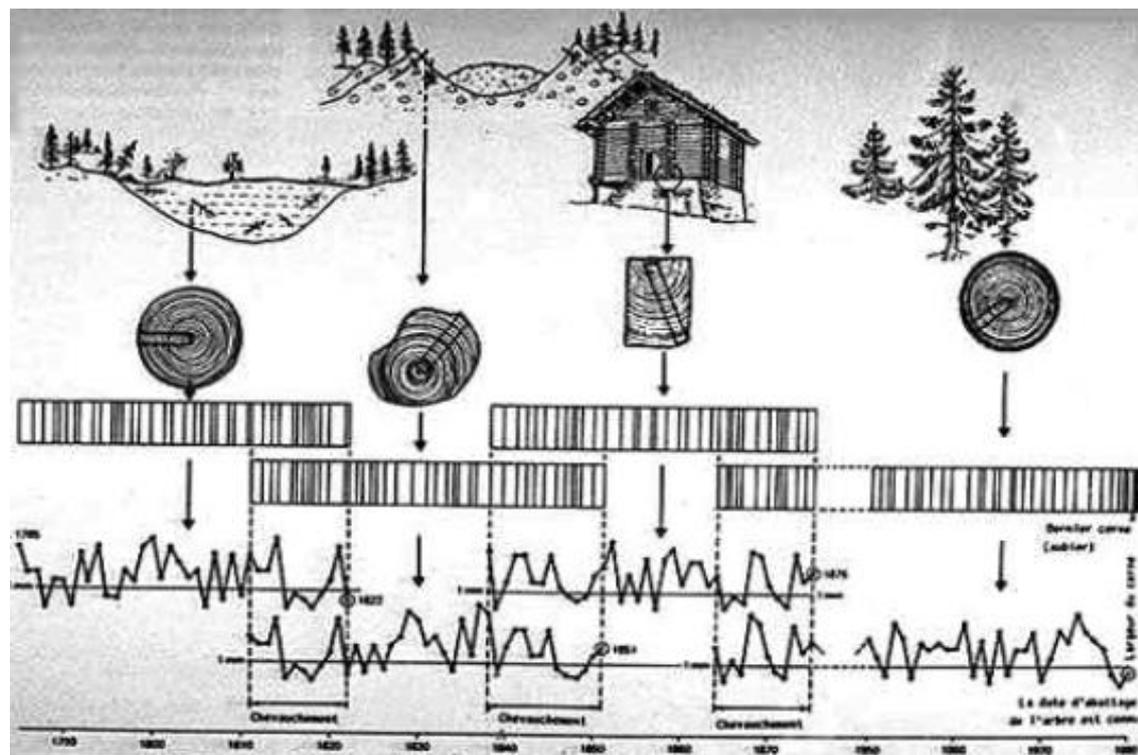
= méthode basée sur l'analyse de la croissance des bois/ arbres.

Un anneau ou **cerne de croissance** / an

=>>>> N anneau = durée de vie de l'arbre

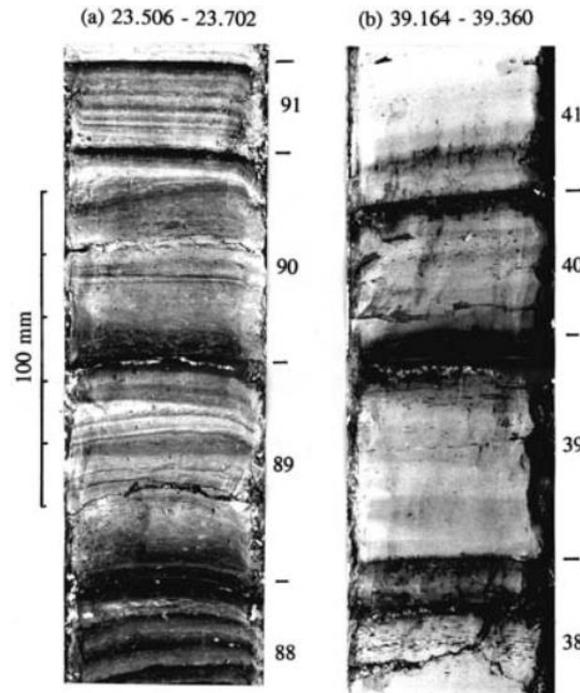
Pièces de bois des
diverses époques (jusqu'à
la préhistoire) =>

**séquences fournies par
chaque bois à corréler/
cumuler pour établir
une série continue** =
véritable calendrier



LES VARVES : comptage des couplets saisonniers

- ✓ surtout dans les archives lacustres
- ✓ depuis dernière glaciation, on peut étudier l'histoire de comblement des lacs néoformés (Norvège...Canada)

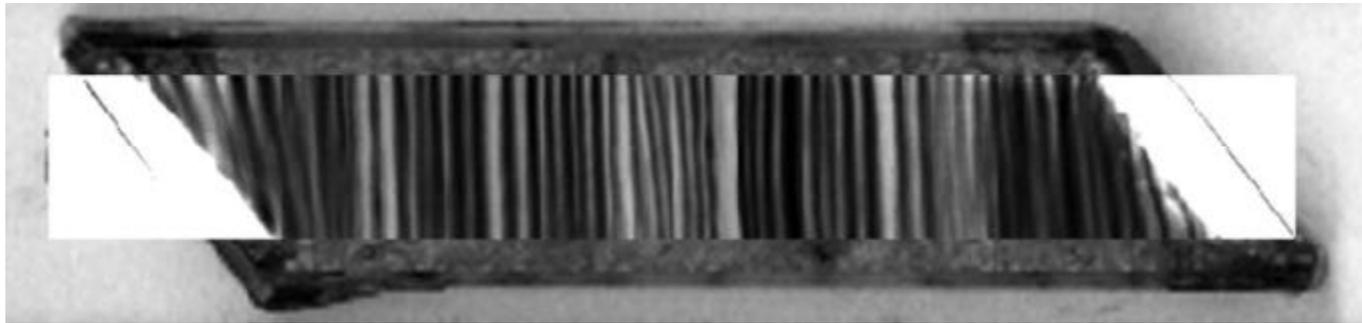


D'après R. GILBERT,
1997, Géographie
physique et Quaternaire

➤ mais aussi laminations dans sédiments marins : début des investigations

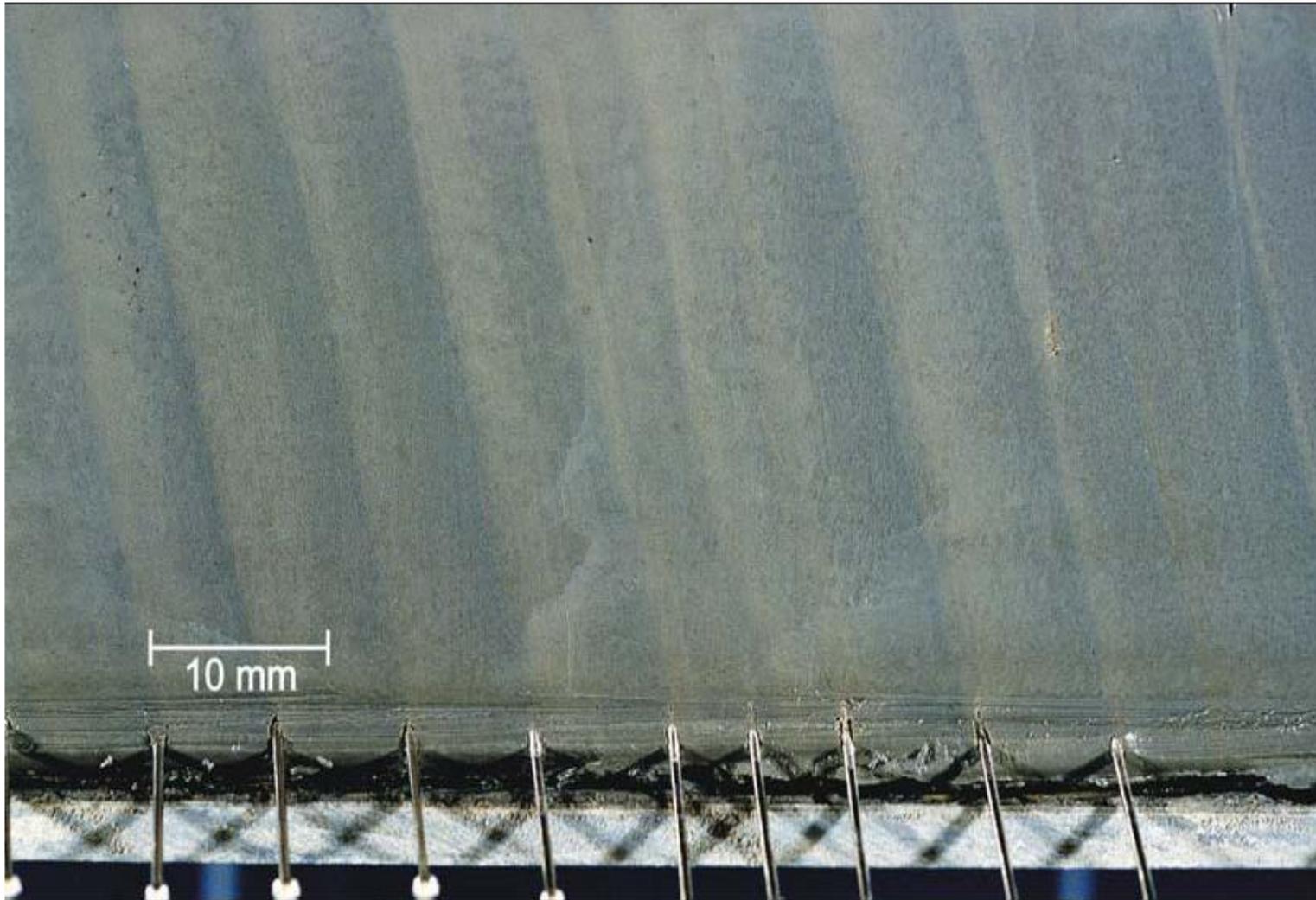
Santa barbara basin

Core HLY02-02-3JPC: Laminated intervals in homogeneous dark olive-gray mud



Positive X-radiograph of a u-channel sample taken from HLY02-02-1GGC (255 –267 cm), a companion core to HLY02-02-3JPC. This 12 2.5 cm sample is from a depth interval that is the equivalent of the uppermost laminated interval HLY02-02-3JPC. From our estimates of sediment accumulation rate, each light –dark pair probably represents one year of accumulation. Cook et al., 2005.

Exemple dans la Mer baltique (Andren, pers. Com.)



TD : Reconstruire le climat à partir des archives marines

1. Établir une échelle d'âge

1.1. La biostratigraphie

1.2. La chimiostratigraphie

1.3. La radiochronologie et autres méthodes de datations absolues

2. Quelques indicateurs paléoclimatiques

2.1. La teneur en carbonate/ couleur du sédiment

2.2. Le contenu en particules vêtées par les icebergs

2.3. Le contenu en microfossiles

On recherche des « **Indicateurs (Proxies)** » des conditions océaniques de surface couplées aux conditions atmosphériques

⇒ Renseignent de façon empirique sur des informations qualitatives (très variés) :

- océan froid/océan chaud?
- présence de glace dérivante (icebergs, glace de mer...)
- ...

= basiquement ce qui nous intéresse pour reconstruire le climat

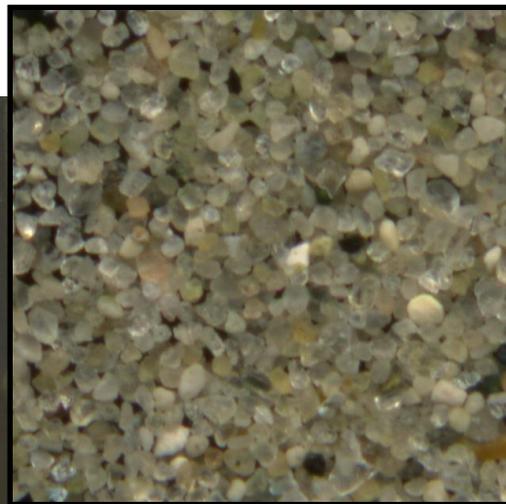
La teneur en carbonates

Calcimétrie = consiste en la mesure de la proportion de carbonates de calcium (% CaCO_3) présents dans le sédiment.

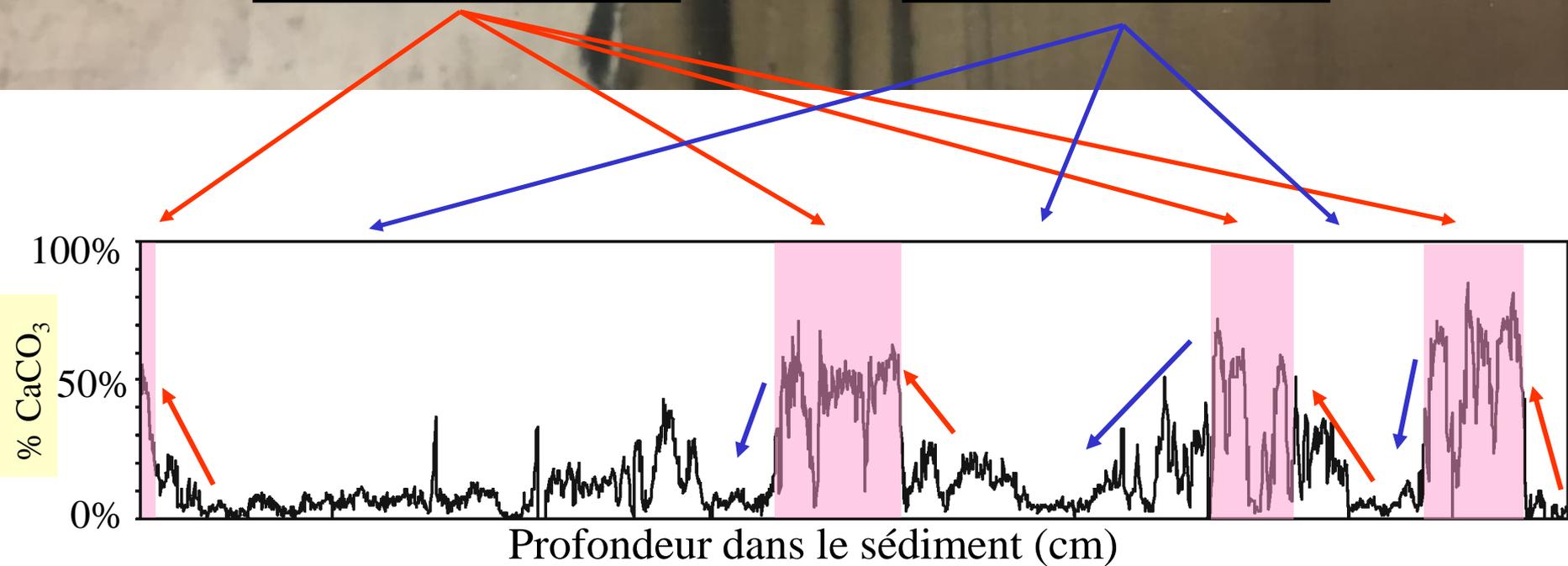
Il est généralement admis (Atlantique Nord) que:

- ✓ les **taux élevés de carbonates** reflètent des conditions **interglaciaires** caractérisées par des températures chaudes et une forte productivité carbonatée
- ✓ à l'inverse, de **faibles pourcentages** traduisent des périodes **glaciaires** où le matériel terrigène plus abondant dilue le signal de productivité, lui-même plus faible

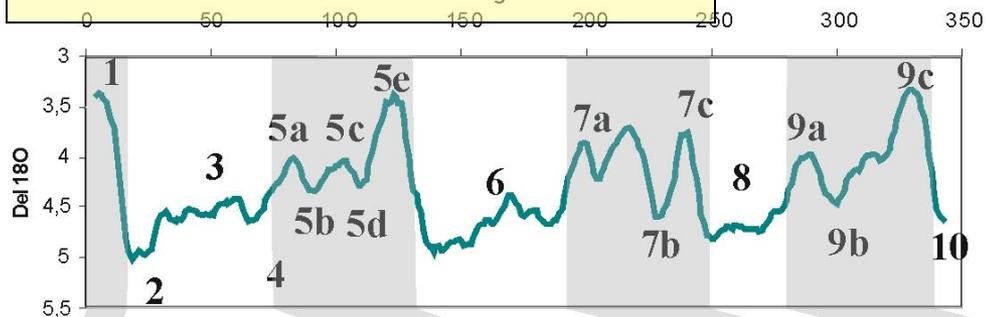
La teneur en carbonates



0.5 cm

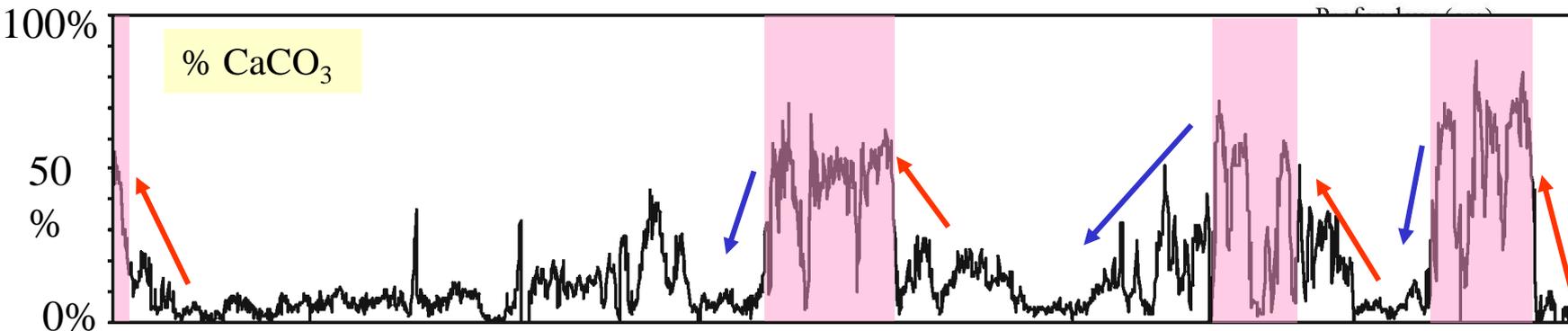
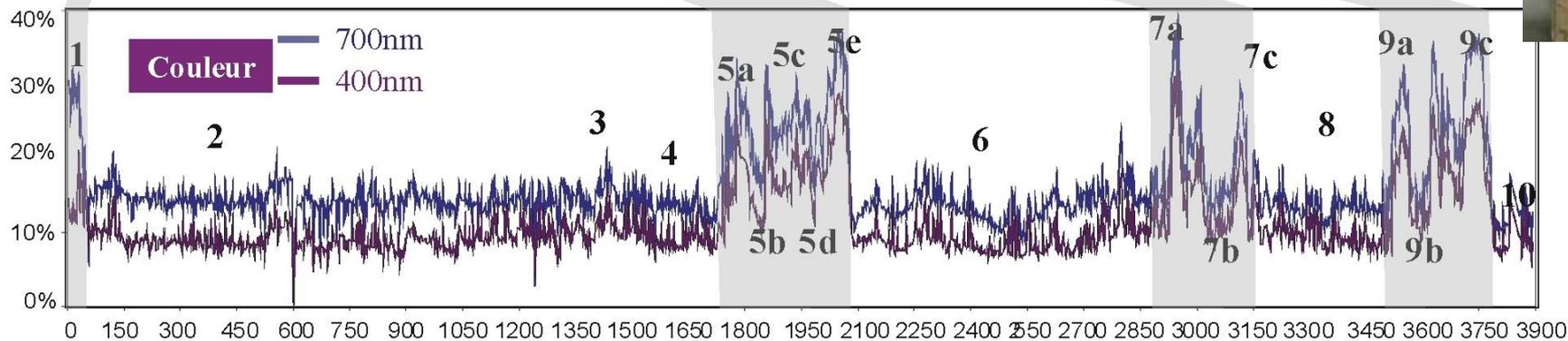


La couleur du sédiment



Courbe de Specmap

Périodes interglaciaires



TD : Reconstruire le climat à partir des archives marines

1. Établir une échelle d'âge

1.1. La biostratigraphie

1.2. La chimiostratigraphie

1.3. La radiochronologie et autres méthodes de datations absolues

2. Quelques indicateurs paléoclimatiques

2.1. La teneur en carbonate/ couleur du sédiment

2.2. Le contenu en particules vêlées par les icebergs

2.3. Le contenu en microfossiles

250 μm

In the North-Atlantic



Modèle de
fonctionnement des
calottes polaires
pendant les
évènements dits de
Heinrich (Rachid,
Hesse et Piper, 2003)

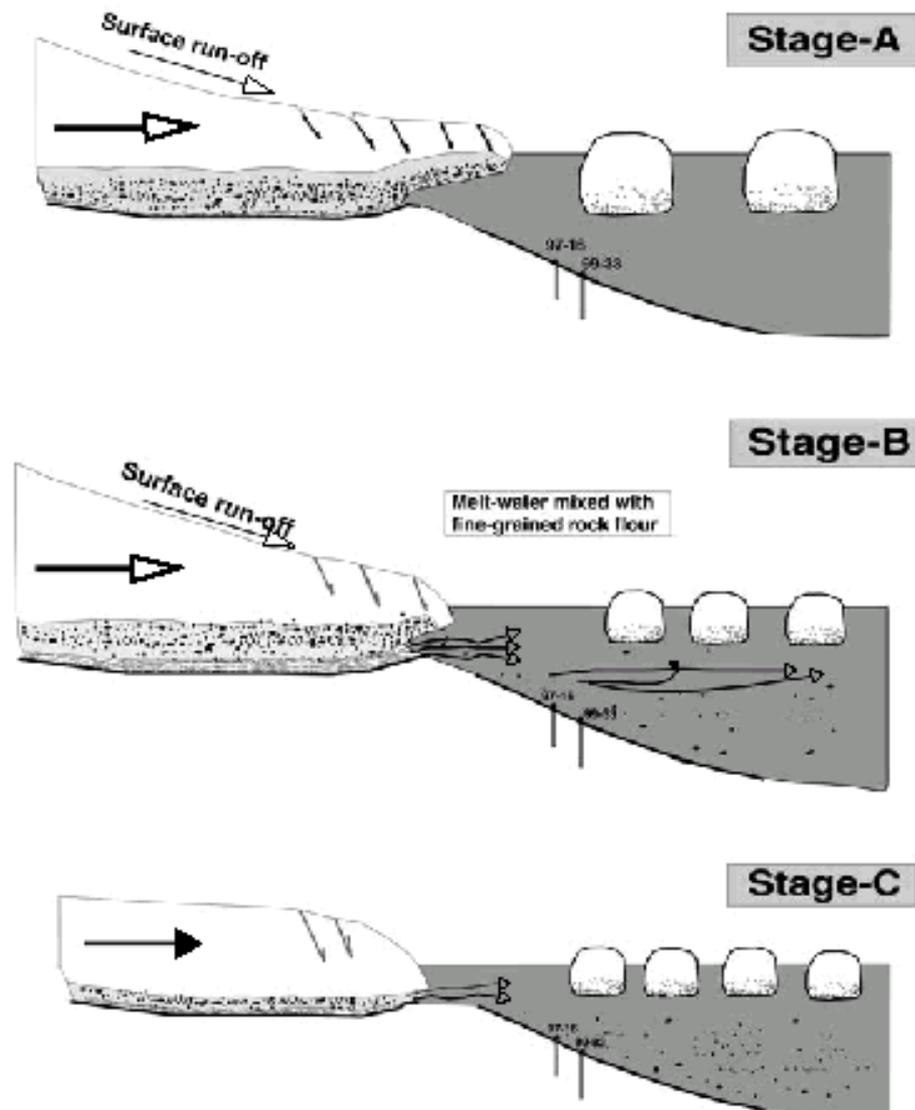


Fig. 8. Cartoon depicting the formation of Heinrich layers proximal to the late Pleistocene LIS margin of Hudson Strait. The model illustrates the mechanism of formation of Heinrich layers in three stages A, B, and C. See text for details.

TD : Reconstruire le climat à partir des archives marines

1. Établir une échelle d'âge

1.1. La biostratigraphie

1.2. La chimiostratigraphie

1.3. La radiochronologie et autres méthodes de datations absolues

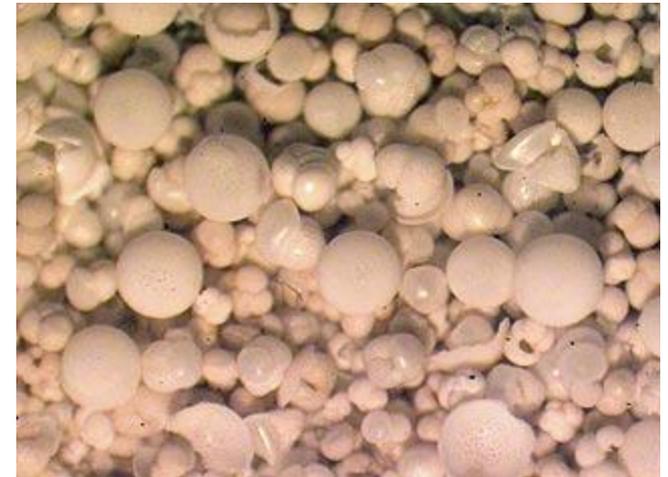
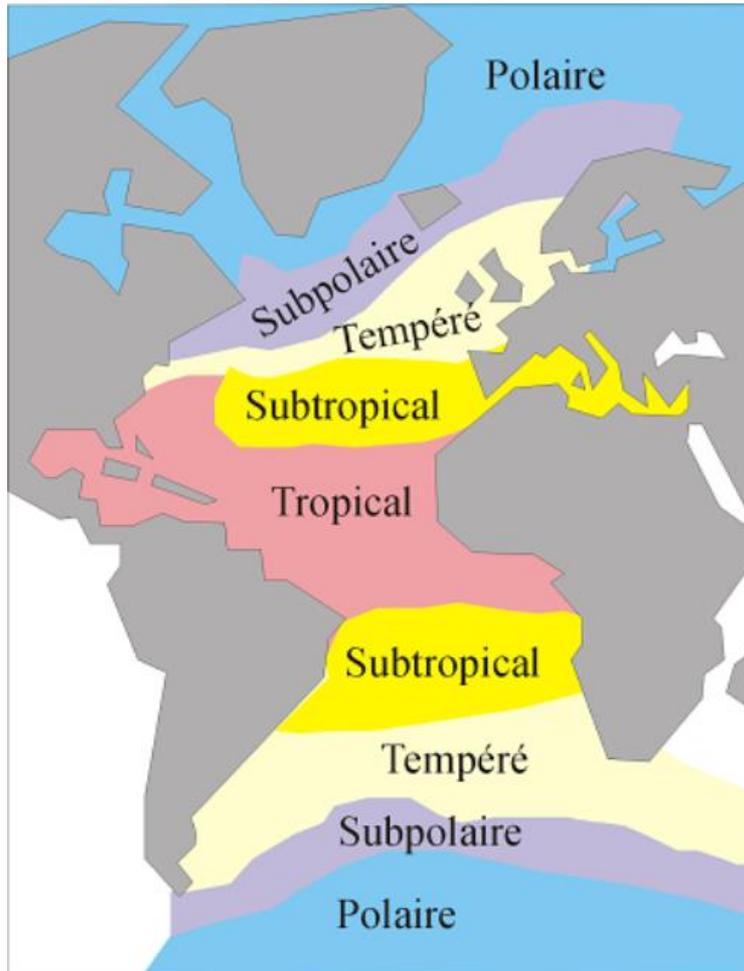
2. Quelques indicateurs paléoclimatiques

2.1. La teneur en carbonate/ couleur du sédiment

2.2. Le contenu en particules vêtées par les icebergs

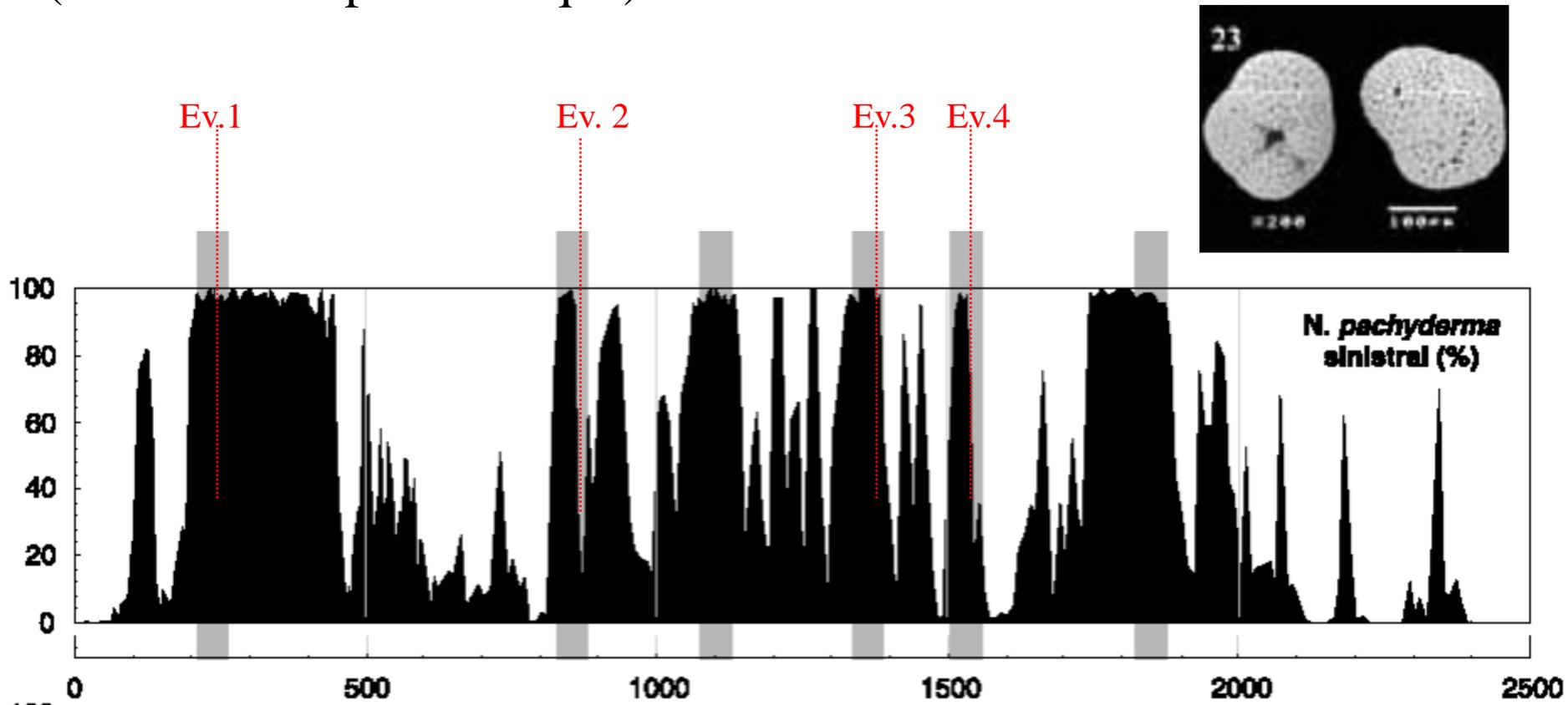
2.3. Le contenu en microfossiles

Distribution des bioprovinces à foraminifères planctoniques en Atlantique Nord (d'après Bé et Tolderlund, 1971)



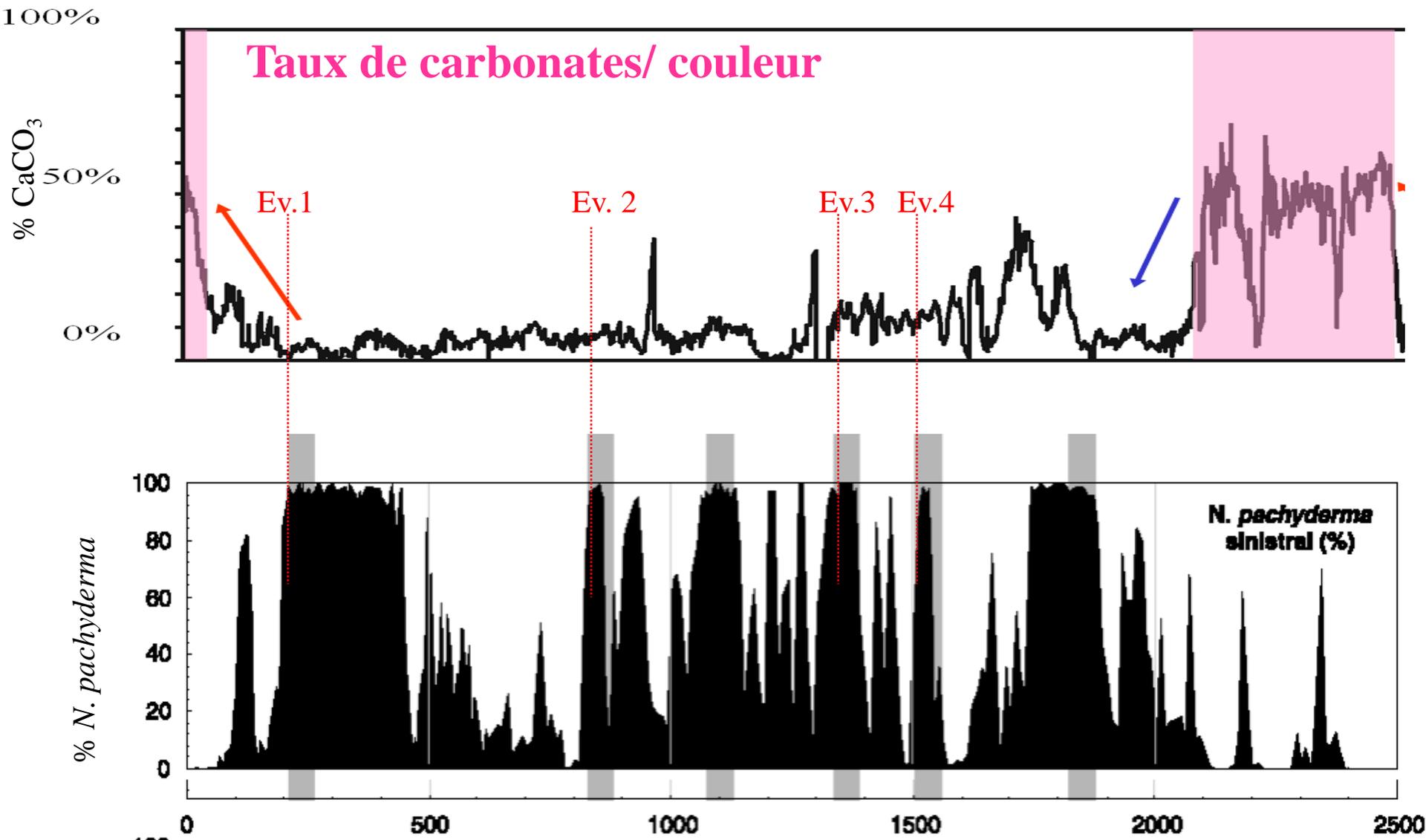
(Après tamisage : refus >150 μ m)

Exemple des % de l'espèce polaire *N. pachyderma* senestre
(foraminifère planctonique)



= climatostratigraphie

Bilan climatostratigraphique : périodes glaciaires/ interglaciaires+ ev. de Heinrich



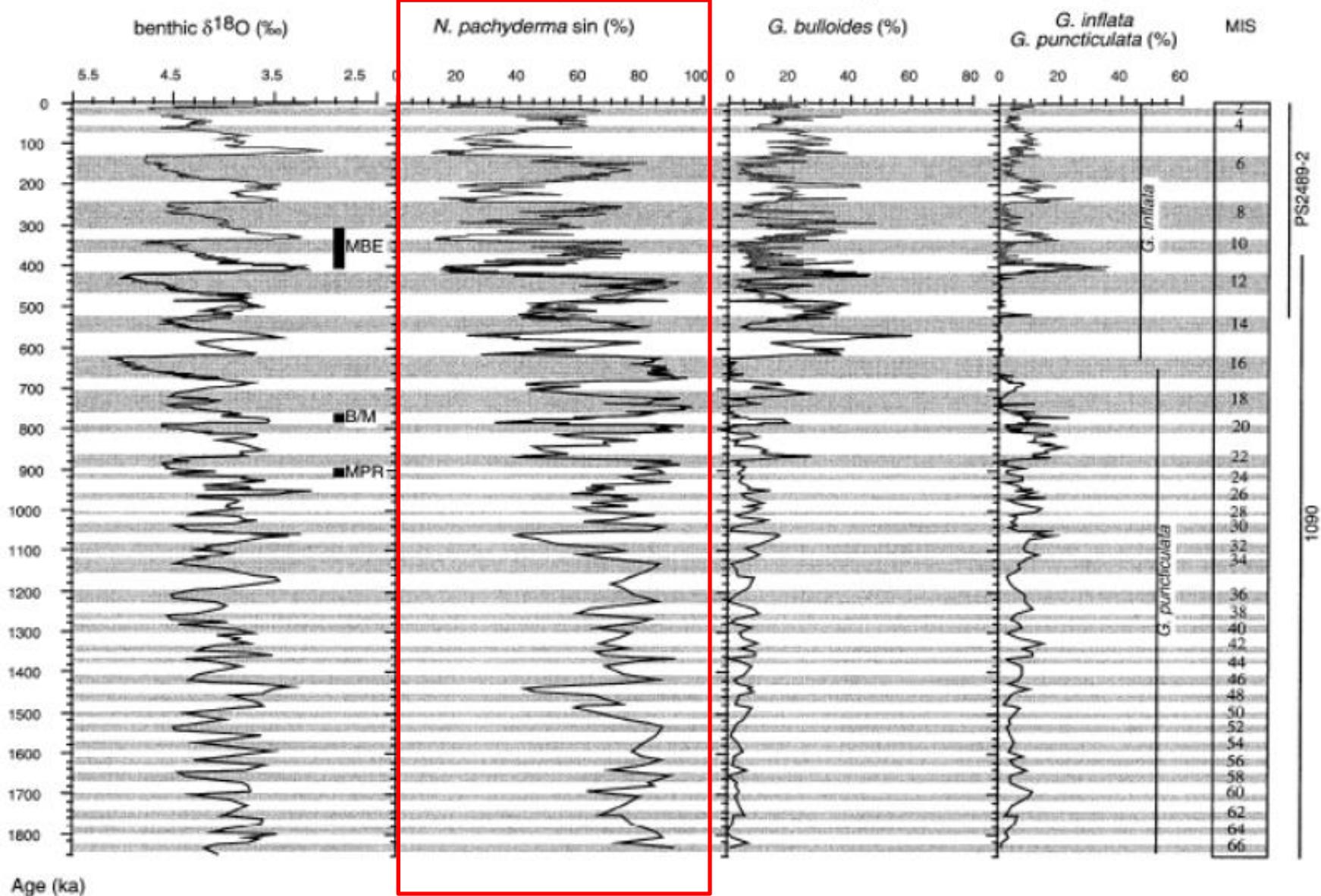


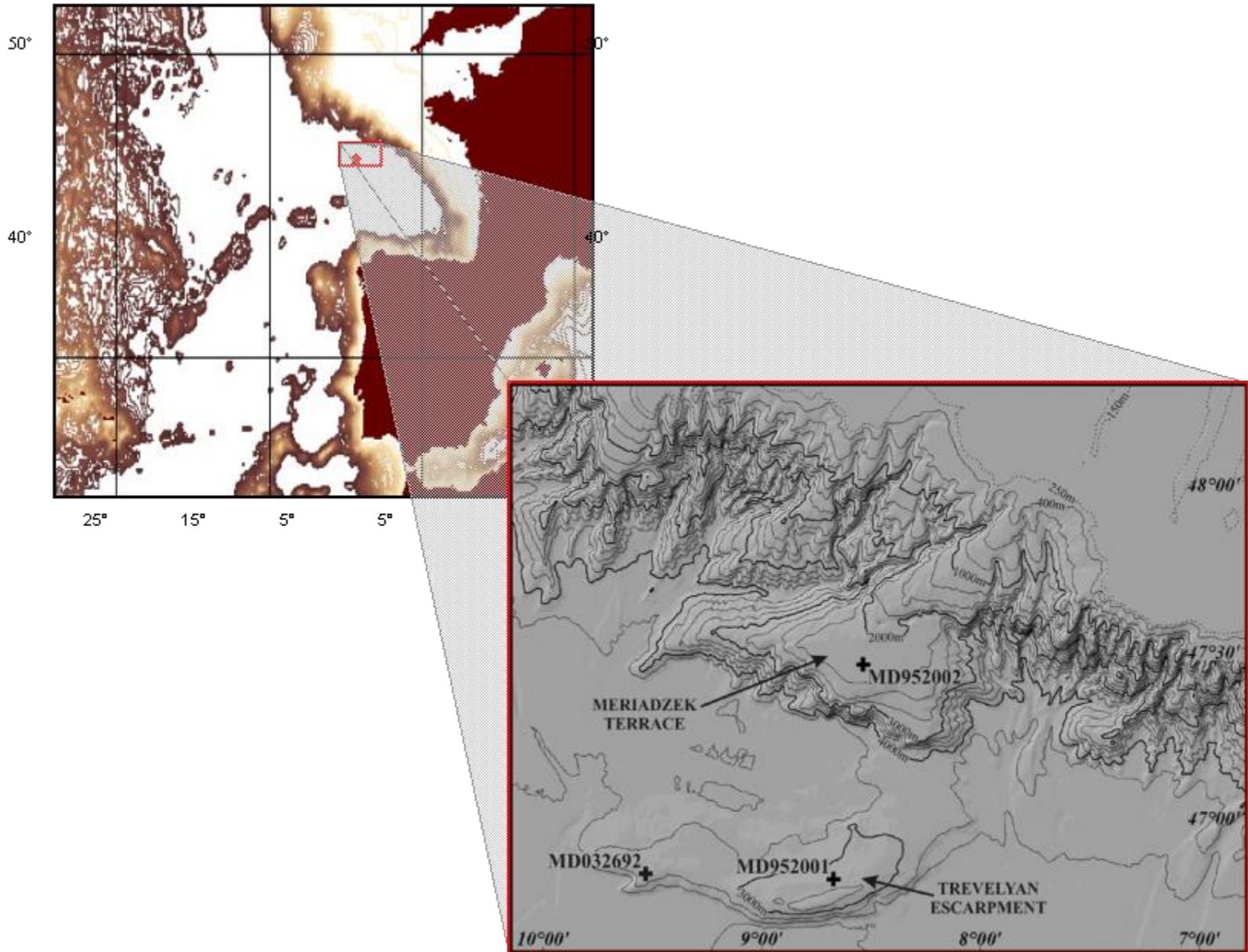
Fig. 2. Benthic foraminiferal $\delta^{18}\text{O}$ (a) and relative abundance of four species (b–d) that dominate the planktonic foraminiferal assemblage from a composite of core PS2489-2 (gray line) and the Site 1090 splice (dark line) versus age. The last appearance of *Globorotalia puncticulata* occurs at ca. 0.65 Ma. Horizontal shaded areas mark glacial periods. B/M: Brunhes/Matuyama boundary (according to Shipboard Scientific Party, 1999a). Age model according to Venz and Hodell (2002).

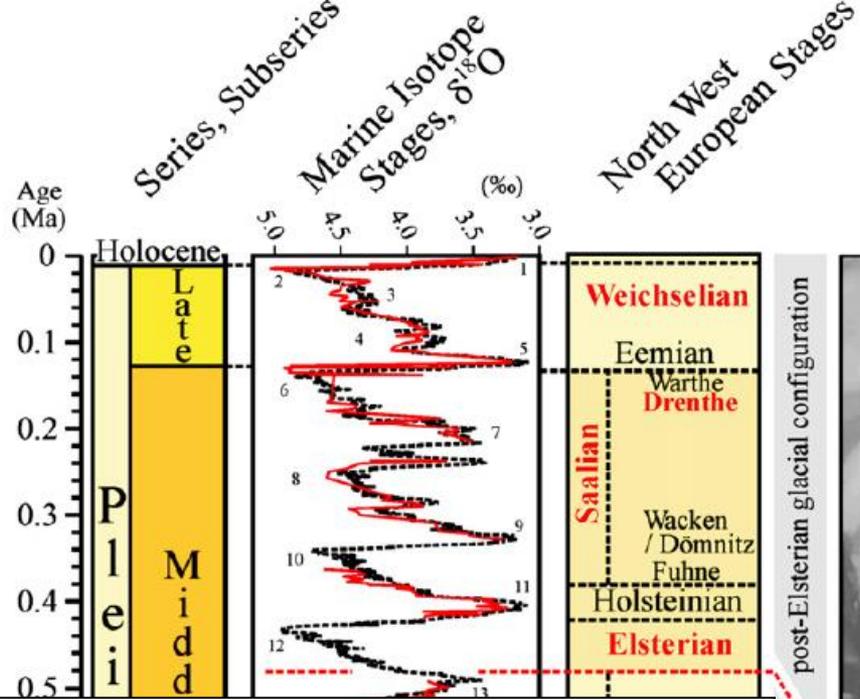
(d'après Becquey et Gersonde, 2002)

TD : Reconstruire le climat à partir des archives marines

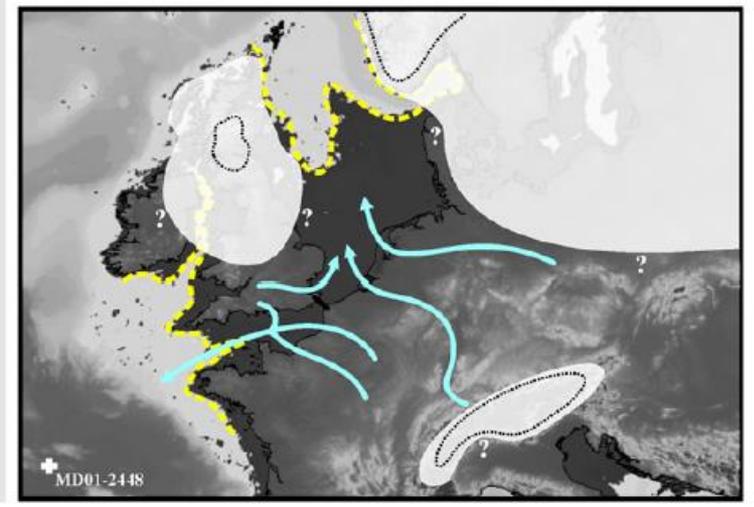
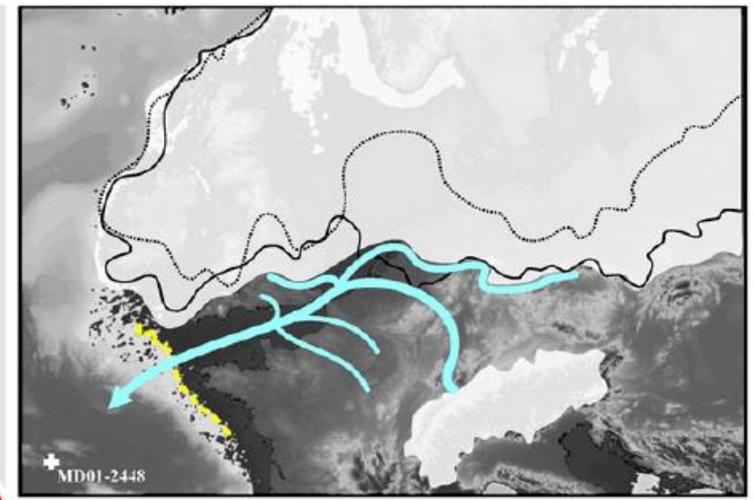
Exemple d'application :
Zone d'étude : la marge européenne
Carotte MD03-2692

...à vous...





Pleistocene European configuration



Quaternary Science Reviews 28 (2009) 2974–2981

Contents lists available at ScienceDirect

Quaternary Science Reviews

journal homepage: www.elsevier.com/locate/quascirev



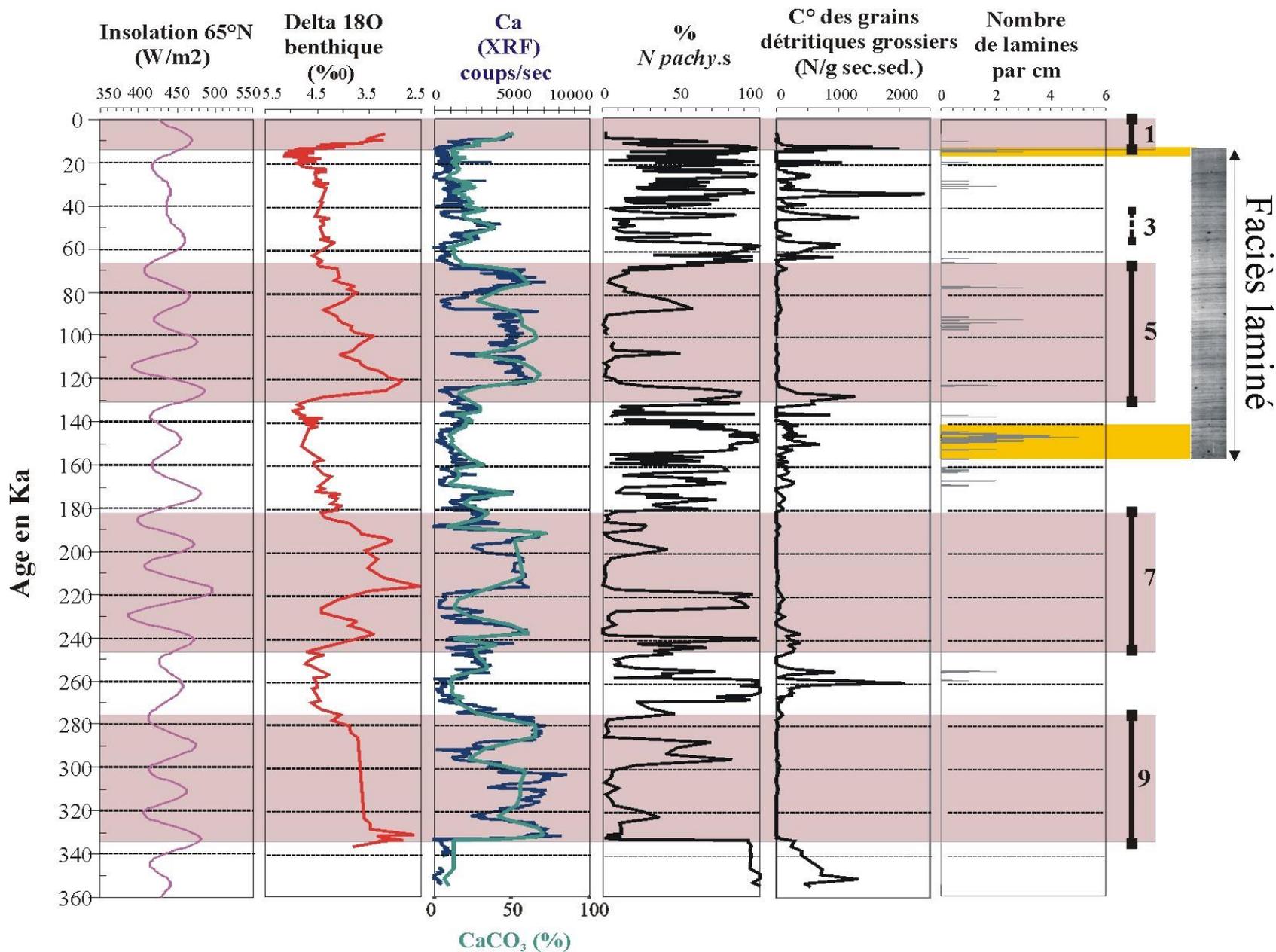
ELSEVIER



A 1.2 Ma record of glaciation and fluvial discharge from the West European Atlantic margin

S. Toucanne^{a,b,*}, S. Zaragosi^a, J.F. Bourillet^b, P.L. Gibbard^c, F. Eynaud^a, J. Giraudeau^a, J.L. Turon^a, M. Cremer^a, E. Cortijo^d, P. Martinez^a, L. Rossignol^a

Analyses multiproxies sur la carotte MD03-2692



Bibliographie sommaire :

- **Evolution de la biosphère et évènements géologiques.** F. Lethiers, **Gordon & Breach Science Publisher, 1998**
 - **Environnements sédimentaires anciens et milieux de vie.** J.C Gall, **Editions Doin, 1976**
 - **Comprendre et enseigner la planète Terre.** Caron J. M. et al. (Ophrys ED: Gap)
 - **Sciences de la Terre et de l'Univers.** Sous la direction de Daniel J. Y., **Editions Vuibert**
 - **Micropaléontologie.** G. Bignot. **Editions Dunod. 1988**
 - **La paléontologie.** Que sais-je? Gayard-Val
- A aller voir cette année :
- [http://inrap.fr/archeologie-preventive/Ressources/Conferences-et-colloques/
Des-climats-et-des-hommes/p-8711-Les-donnees-majeures-sur-le-climat-de-la-fin-de-l-.htm](http://inrap.fr/archeologie-preventive/Ressources/Conferences-et-colloques/Des-climats-et-des-hommes/p-8711-Les-donnees-majeures-sur-le-climat-de-la-fin-de-l-.htm)