

BCPST2

BGC3 Climat et variabilité climatique

CLIMAT ET VARIABILITÉ CLIMATIQUE

Le climat est défini par la **moyenne des paramètres météorologiques** (température, pluviométrie, jours d'ensoleillement ...) **sur une période de 30 ans** afin de s'affranchir des phénomènes ponctuels pouvant être extrêmes.

Ce que dit le programme :

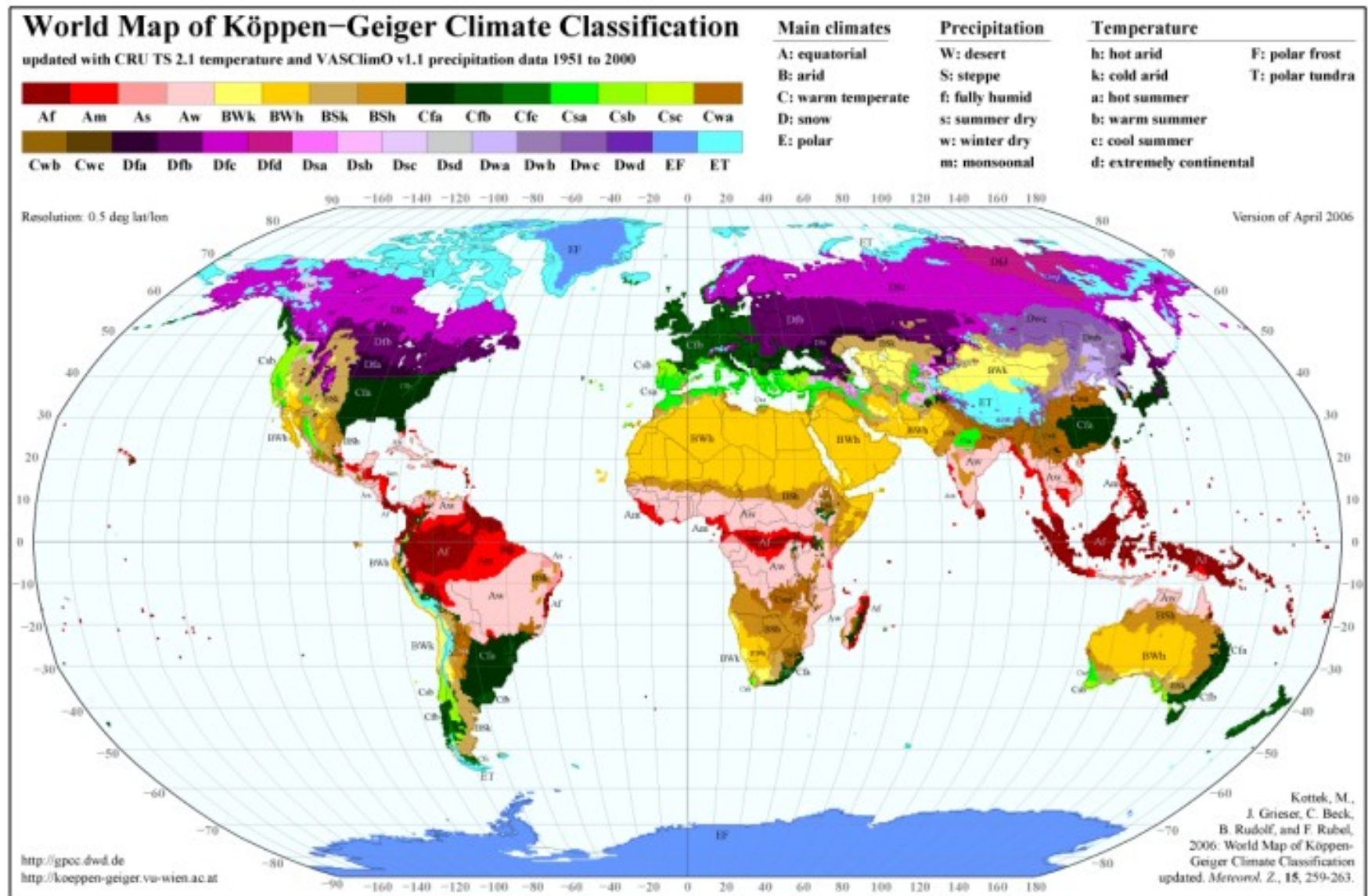
BG-C Le climat de la Terre (BCPST 1 et 2)

La compréhension du fonctionnement du système climatique nécessite l'analyse des échanges d'énergie au sein des enveloppes externes de la Terre. Cette partie permet d'appréhender l'importance des circulations atmosphérique et océanique dans la redistribution de l'énergie à la surface du globe. Elle aborde ensuite le climat et ses variations naturelles aux différentes échelles de temps. Elle traite des changements climatiques actuels, notamment l'augmentation des températures de surface, liés à l'activité humaine, en lien avec les émissions de gaz à effet de serre. Elle s'appuie sur la variété des observations concordantes qui, couplées à la compréhension de la physique et de la chimie du système, permettent d'établir des scénarios probables pour l'évolution future du climat de notre planète. Les effets de ces changements climatiques sur la biodiversité sont également appréhendés.

mise en contexte et émergence de la problématique :

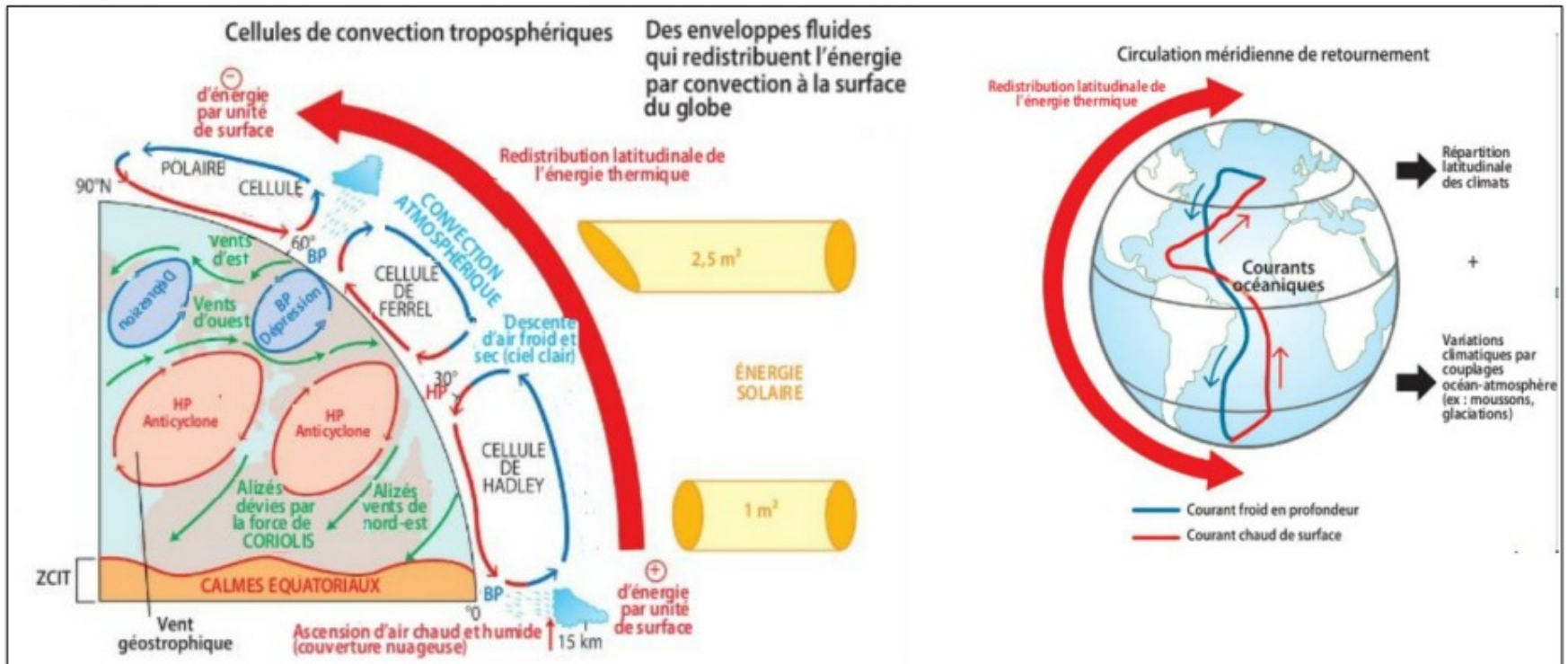
AV

document 1 : carte de répartition des climats à la surface de la Terre.



→ D'après ce document, comment se répartissent les climats à la surface de la Terre ?

Document 2 : l'inégale répartition de l'énergie solaire et ses conséquences sur les courants atmosphériques et océaniques.



→ D'après ce document :

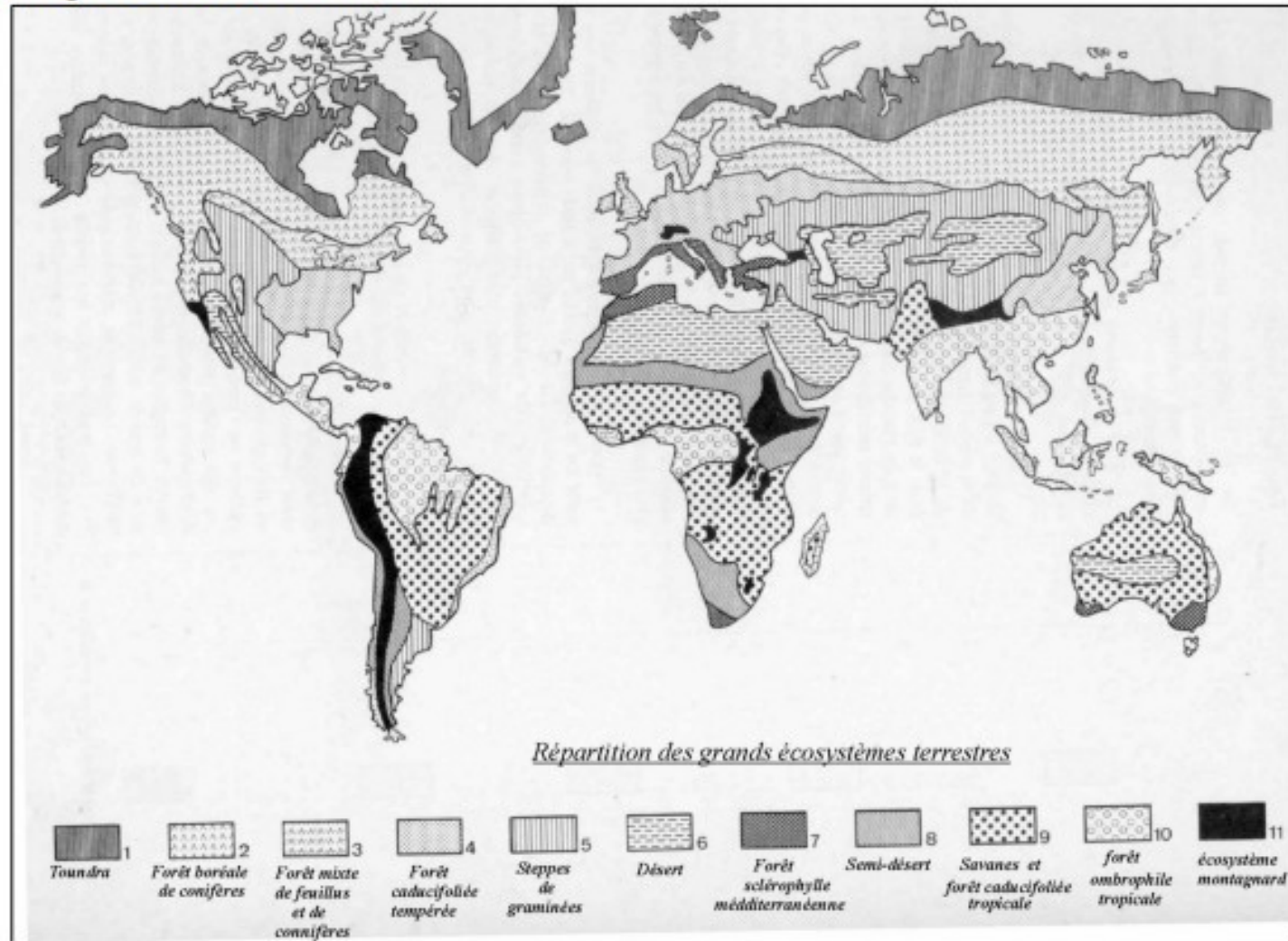
- expliquer l'origine des courants atmosphériques et en quoi ils permettent la répartition latitudinale des climats
- expliquer la notion de couplage entre les courants atmosphériques et océaniques et en quoi ces derniers peuvent modifier les climats (par exemple, pourquoi le Canada et la France n'ont pas le même climat alors, que ces deux pays sont aux mêmes latitudes?)

Document 3 : répartition des grands biomes terrestres

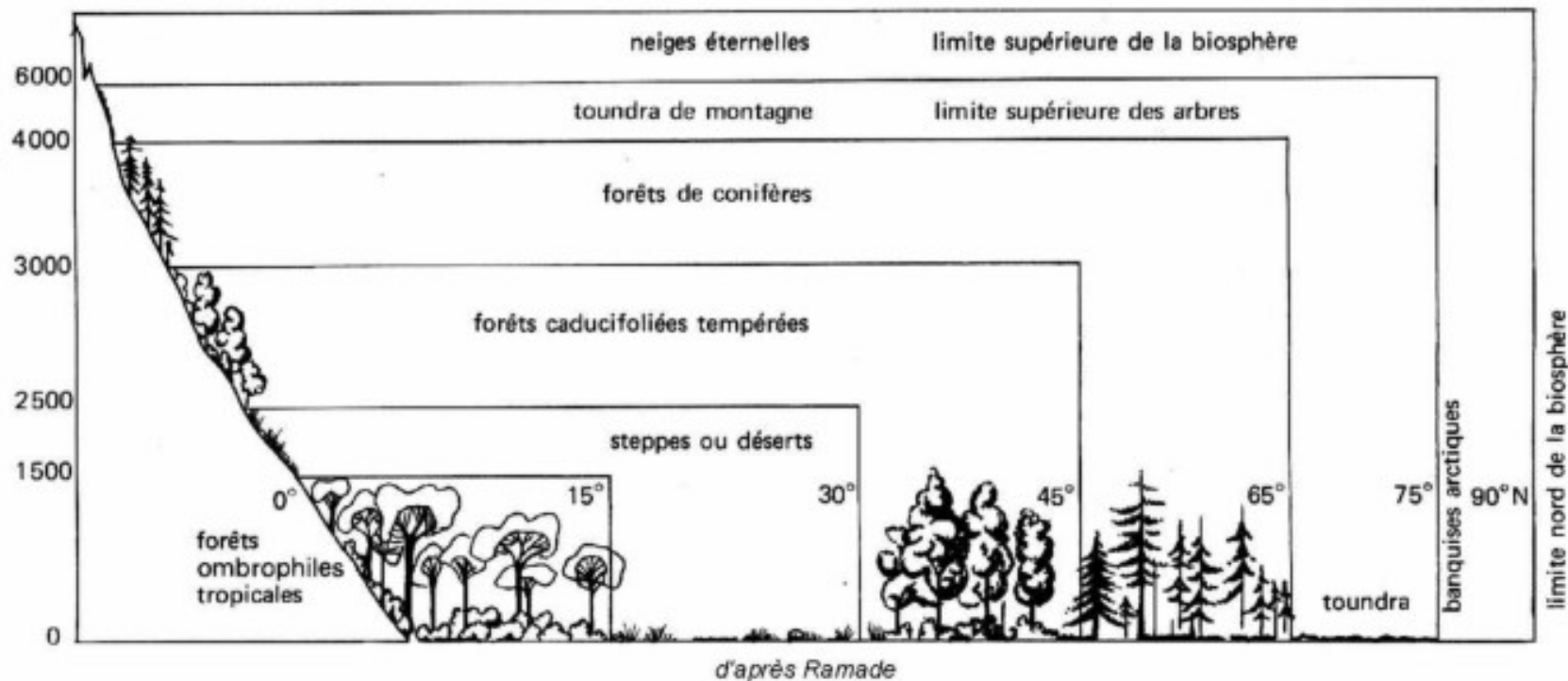
A.V

→ D'après ce document,
en quoi, le climat
influence la zonation des
grands écosystèmes
terrestres ?

→ Quels sont les autres
paramètres qui influence
ces grands écosystèmes ?



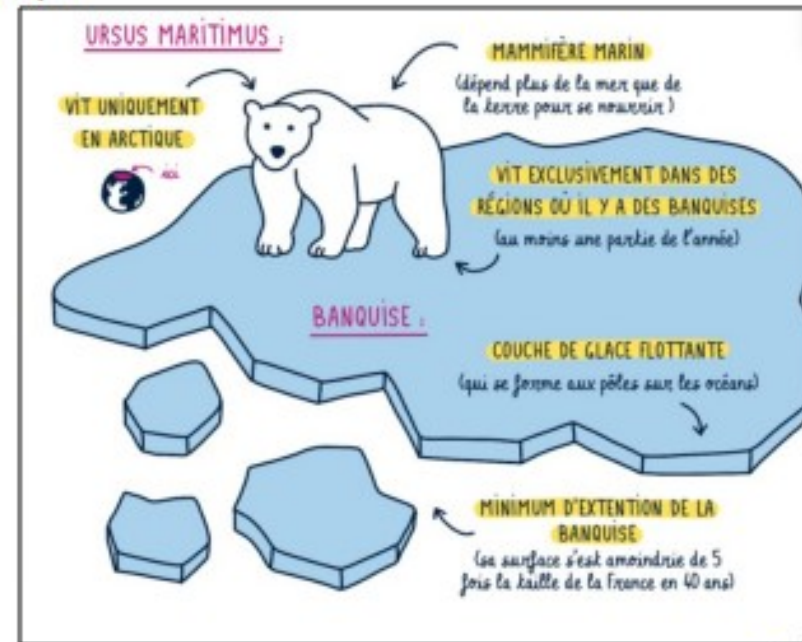
document 4 : concordance entre l'altitude et la latitude dans la répartition des écosystèmes



→ Quelle concordance peut-on établir dans la répartition des écosystèmes, entre l'altitude et la latitude ?

Document 5 : l'ours polaire, l'emblème du réchauffement climatique

→ *En quoi l'ours polaire peut il constituer un emblème du réchauffement climatique actuel ?*



Document 6 : des climats très différents au cours des temps géologiques en France.

Doc 6a : La grotte de Rouffignac se situe au cœur du Périgord entre Bergerac et Sarlat. Ce site abrite plus de 250 gravures ainsi que des dessins au trait datant du Paléolithique supérieur (Magdalénien, 13 000 ans). On y trouve 158 Mammouths associés à des rhinocéros laineux, des bisons et des bouquetins.



Doc 6b : A 58 km de Rouffignac, se trouve un bassin houiller datant du Carbonifère - Permien (entre 360 et 250 Ma). Les empreintes fossilisées des végétaux dans ces bassins ont permis de reconstituer la flore du Carbonifère montrant des forêts primaires de Ptéridophytes.

→ *En quoi ces deux illustrations témoignent des variations climatiques au cours des temps géologiques ?*

Problématique :

Comment reconstituer des variations climatiques passées ?

Quels sont les facteurs responsables des variations climatiques ?

En quoi leur étude permet elle de réaliser des projections climatiques ?

Quel est l'impact du changement climatique actuel sur la biodiversité ?

I. La variabilité climatique à courte échelle de temps témoigne des couplages entre la circulation atmosphérique et la circulation océanique, exemple de la mousson

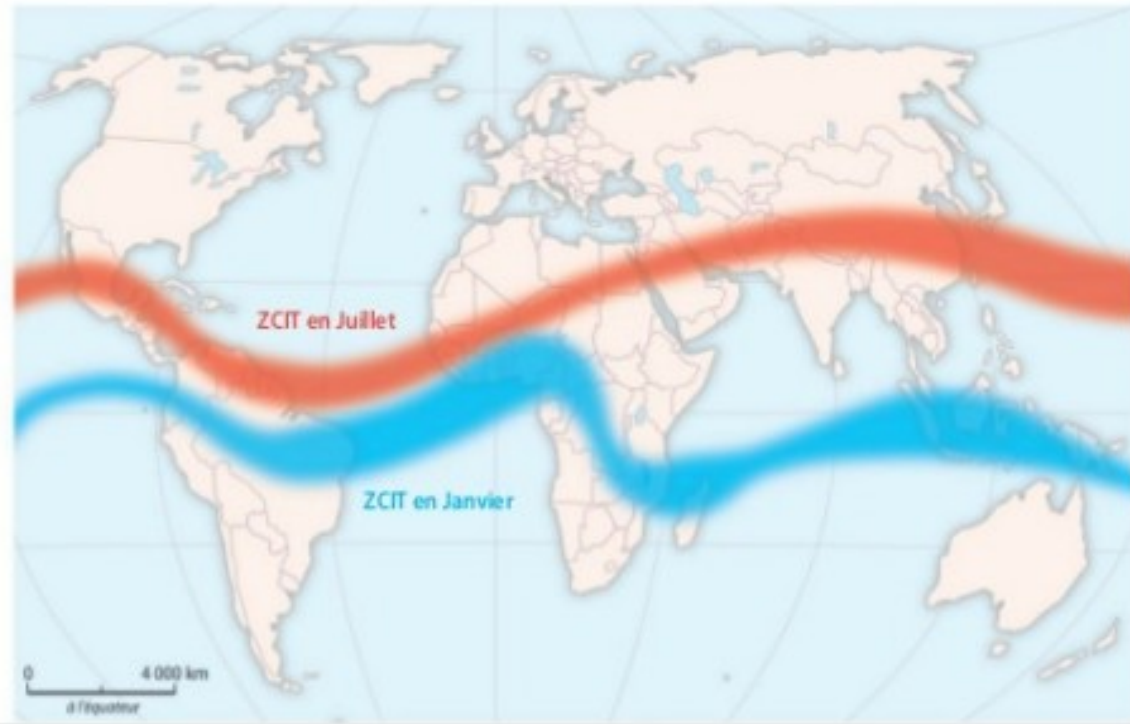
La mousson est un phénomène saisonnier de régime de vents persistants qui soufflent au-dessus de vastes régions intertropicales, de l'océan vers le continent en été où il apporte des précipitations excessivement abondantes en juillet et en août sur l'Inde et le Népal, avec parfois plus de 10 L/m² de pluie sur un an, on parle de mousson humide d'été,

remarque : en hiver, le phénomène inverse se produit avec des vents très secs du continent vers l'océan, on parle de mousson d'hiver).



Document 7 : position de l'équateur météorologique en fonction de la saison

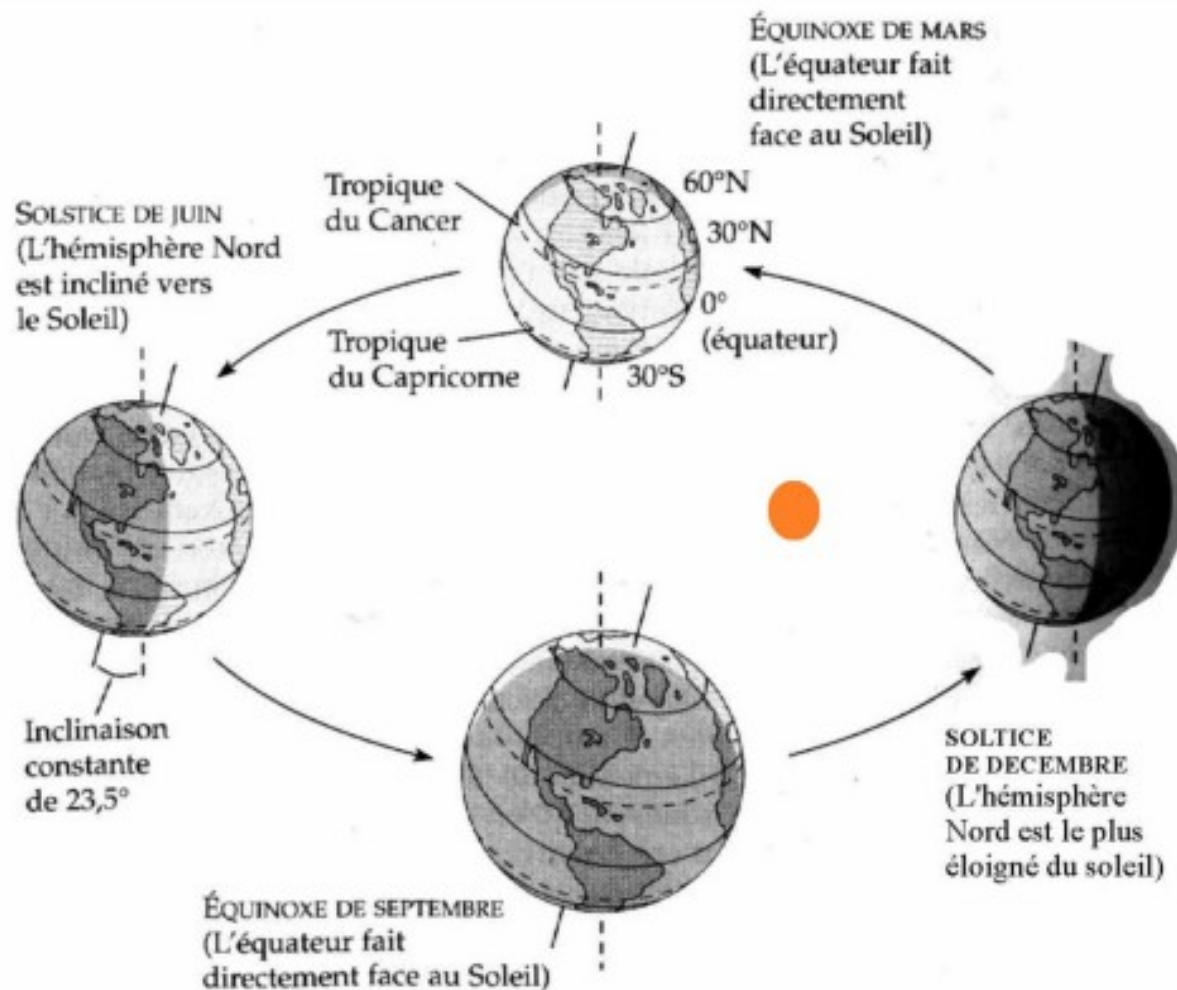
L'équateur météorologique fluctue autour de l'équateur physique selon la saison en raison de l'inclinaison de l'axe de rotation la Terre. Sa forme autour du globe dépend également de la position des masses océaniques et continentales, ainsi que des éventuels reliefs. La position de l'équateur météorologique est un facteur déterminant des différents climats.



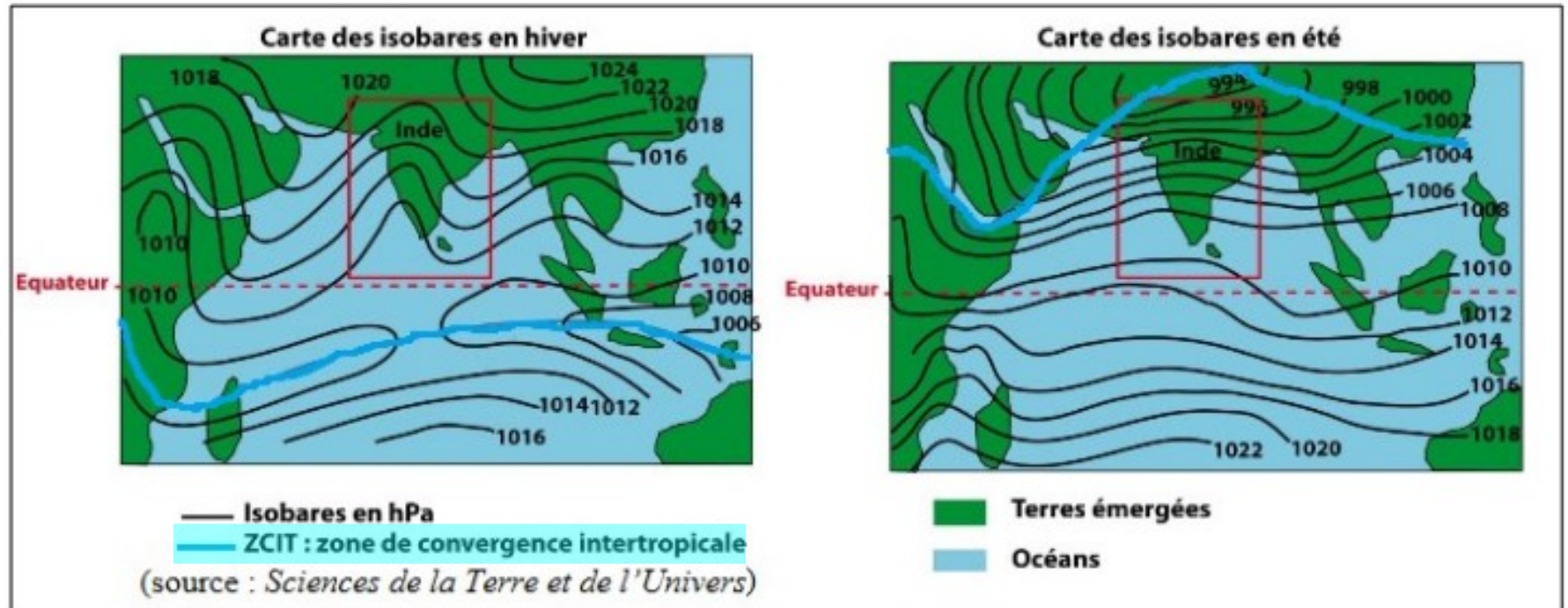
→ Expliquer à l'aide du document 8, les changements de position de l'équateur météorologique appelé également ZCIT (zone de convergence intertropicale) en été et en hiver boréales.

document 8 : explication de la cause des saisons.

Cause des saisons. Au cours du voyage annuel de la Terre autour du Soleil, l'inclinaison de la planète sur son axe cause les variations saisonnières de température et d'intensité lumineuse. Le solstice de décembre, le moment où le pôle Nord est le plus éloigné du Soleil, marque le début de l'hiver dans l'hémisphère Nord. La photopériode est courte, et le rayonnement solaire incident forme un angle ouvert, ce qui explique les faibles températures des jours courts de l'hiver. En revanche, le solstice de décembre correspond au début de l'été dans l'hémisphère Sud, car le pôle Sud est alors incliné vers le Soleil. Le Soleil est à son point culminant dans le ciel pour cet hémisphère ; les jours sont longs et il fait chaud. Au solstice de juin, le pôle Nord est incliné vers le Soleil et le pôle Sud en est éloigné, et les saisons changent dans les deux hémisphères. Aux équinoxes de mars et de septembre, aucun des deux pôles n'est incliné vers le Soleil, et toutes les parties de la Terre ont 12 heures d'ensoleillement et 12 heures d'obscurité.



Document 9 : carte des pressions atmosphériques en janvier et en août au niveau de l'Océan Indien



→ D'après les isobares expliquer à quoi correspond en terme de pression la ZCIT et sachant que cette ZCIT correspond à l'équateur météorologique, expliquer pourquoi on l'appelle ainsi.

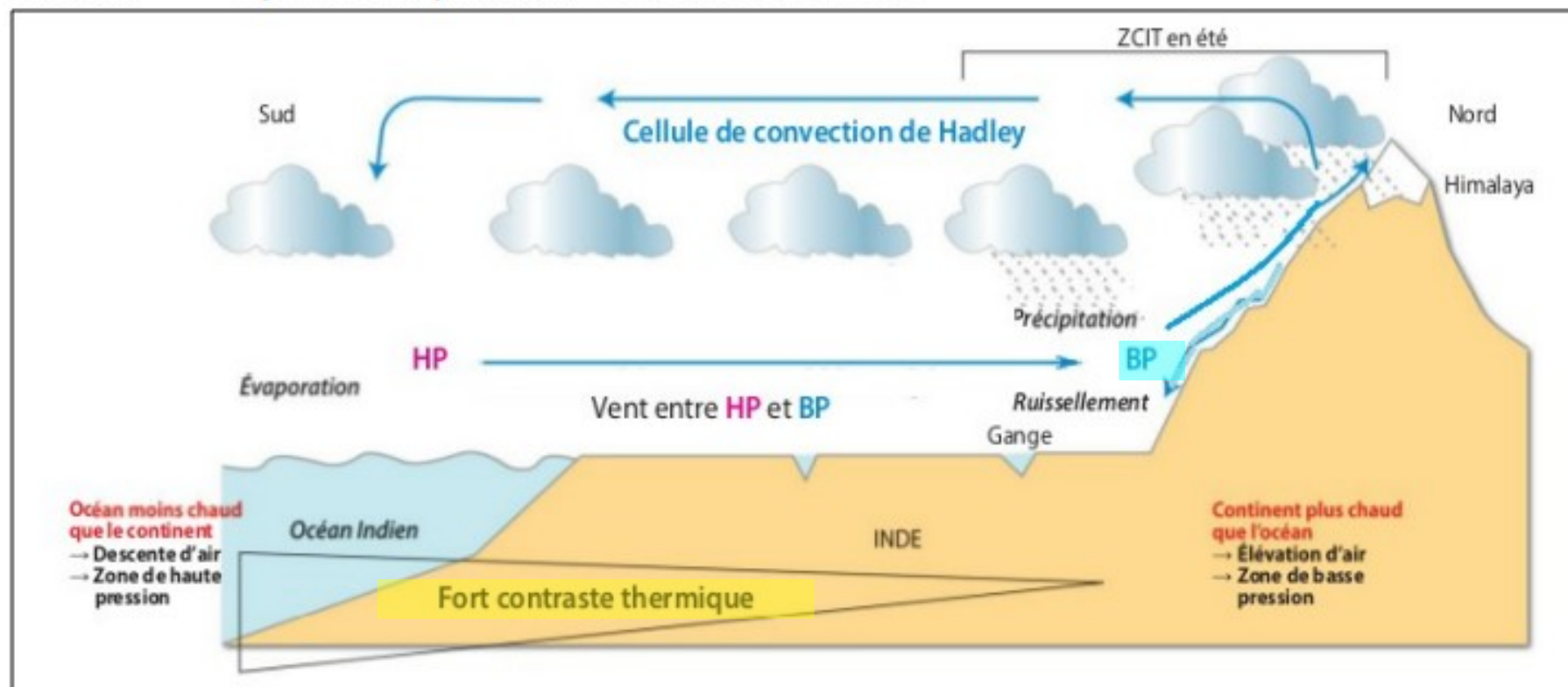
→ Toujours d'après les isobares, tracer sur le document la direction des vents de surface au dessus de l'Inde.*

Document 10 : carte topographique du continent Indien

→ Enfin, à l'aide des document 9, 10 et 11, expliquer l'origine des fortes précipitations caractéristiques de la mousson



document 11 : explication du phénomène de la mousson Indienne



En conclusion : La mousson d'été est la conséquence de forts contrastes thermiques entre l'océan et le continent indien, qui modifie à une échelle « locale » le régime des vents et provoque de fortes précipitations aux pieds d'un relief montagneux, l'Himalaya.

II. Les marqueurs climatiques permettent de reconstituer les variations climatiques sur de longues échelles de temps

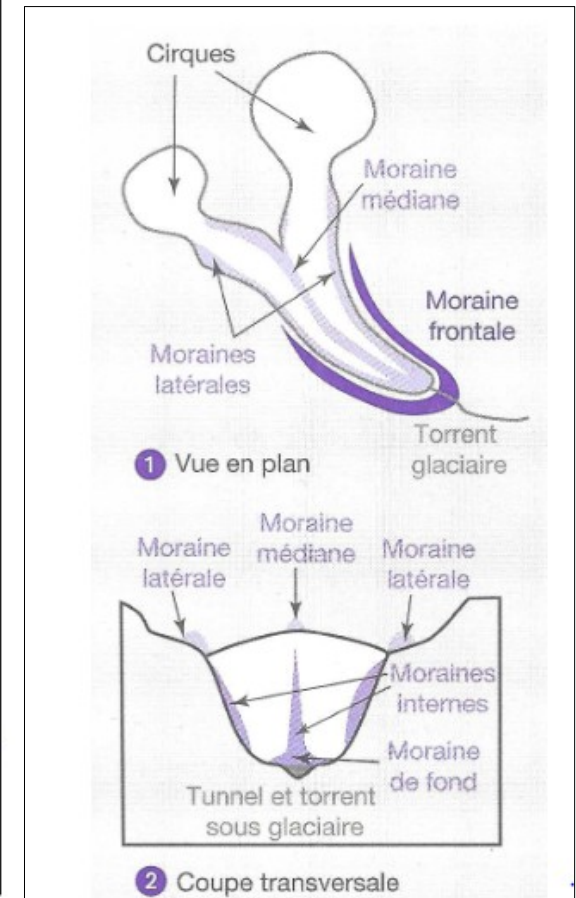
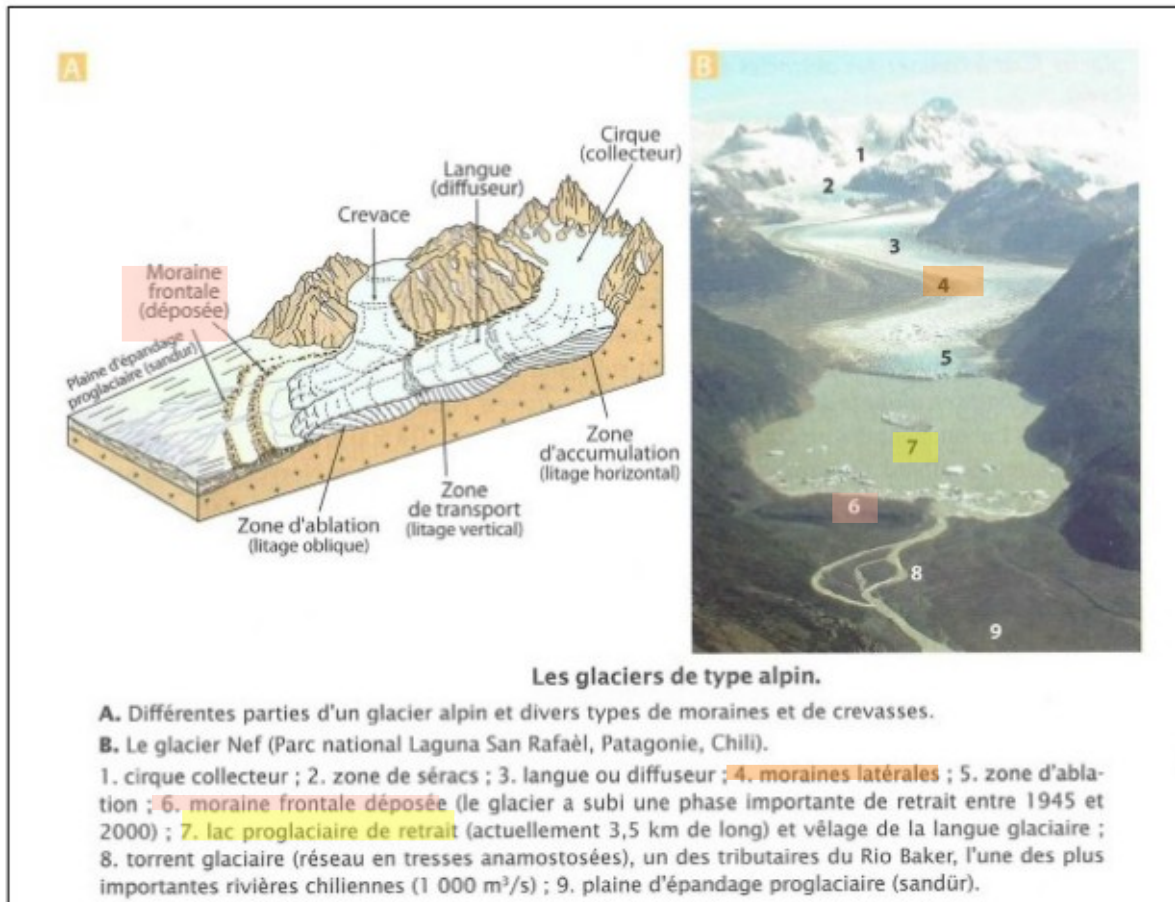
1. les archives sédimentaires et les fossiles permettent de reconstituer des paléoenvironnements

Les roches sédimentaires et les fossiles qu'elles peuvent contenir sont caractéristiques d'un paléoenvironnement qui reflète un climat local.

1.1 les indices glaciaires et périglaciaires, indicateurs d'un climat froid (cf STE)

➤ Les glaciers de montagne

Document 12 : les différentes parties d'un glacier de montagne et les divers types de moraines



➤ Les moraines



Du fait de la pente sur laquelle ils se trouvent, les glaciers ont un effet abrasif, permettent un transport des éléments arrachés et sont **responsables de dépôts sédimentaires, les moraines**. Ces moraines correspondent à des **sédiments détritiques sans granoclassement**, avec notamment des **blocs erratiques**.

Stries et roches moutonnées



➤ Les varves

Document 13 : les varves et la datation du recul des glaciers

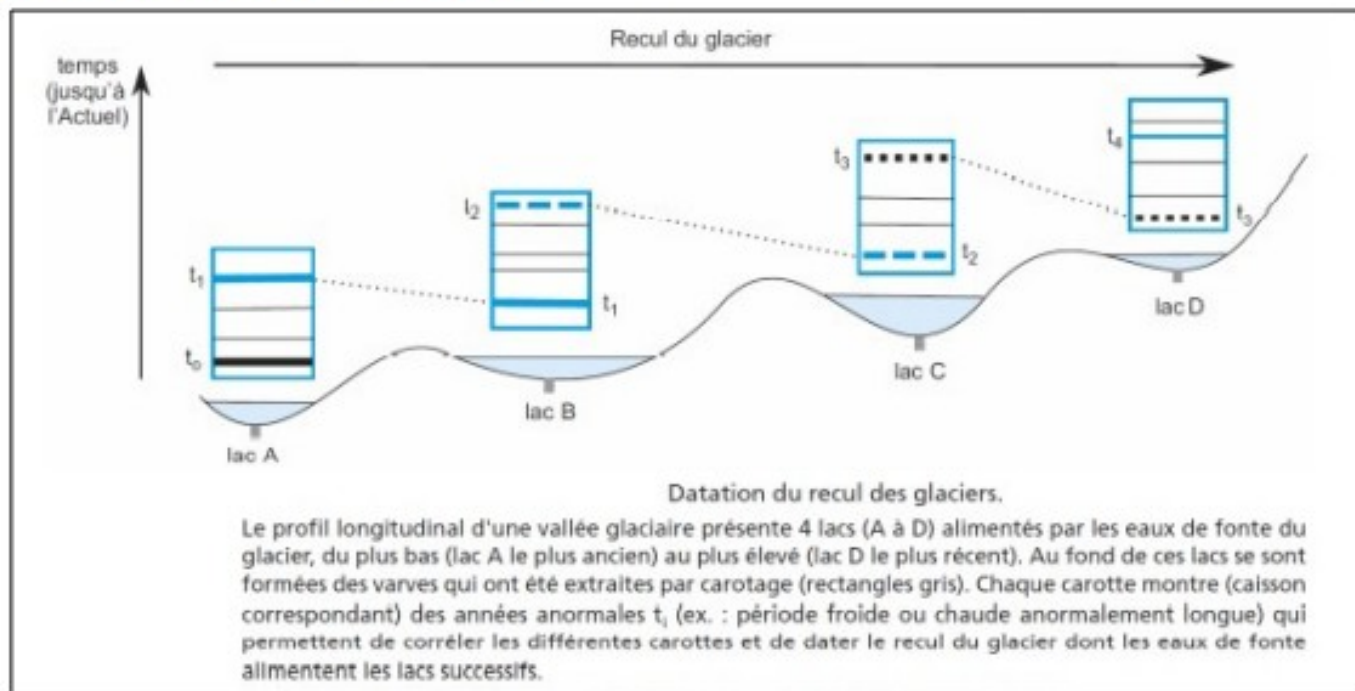
Les varves sont des **dépôts lacustres finement lités** avec des alternances de lits clairs sableux déposés en contexte périglaciaire lors de la débâcle printanière et des **lits argileux sombres** lorsque le gel fige l'érosion et que seules les particules les plus fines sont encore transportées.



Document 13 : les varves et la datation du recul des glaciers

→ A l'aide du document 12, expliquer comment ce forment les varves.

→ D'après le document 13, expliquer en quoi leur étude permet de dater le recul d'un glacier



➤ Les terrasses fluvio-glaciaires

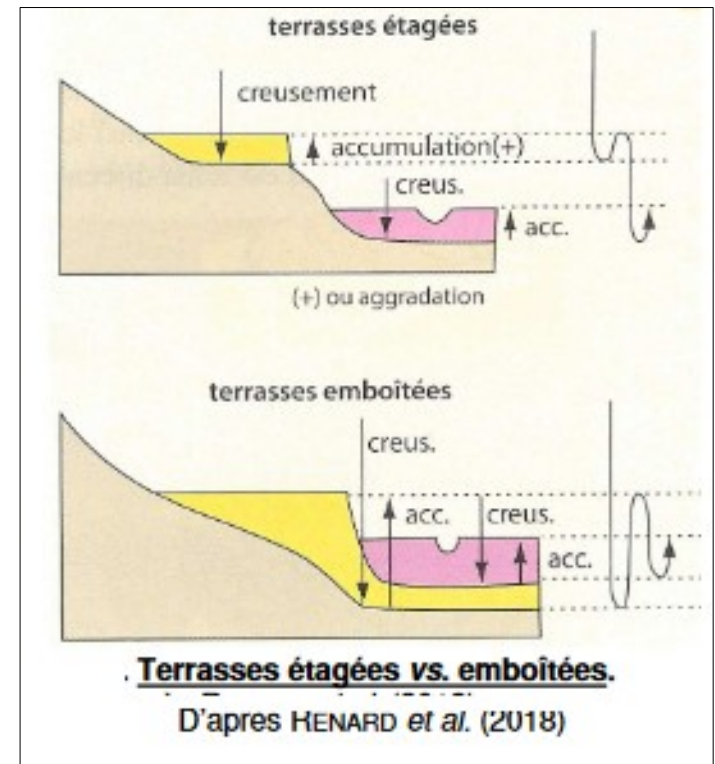
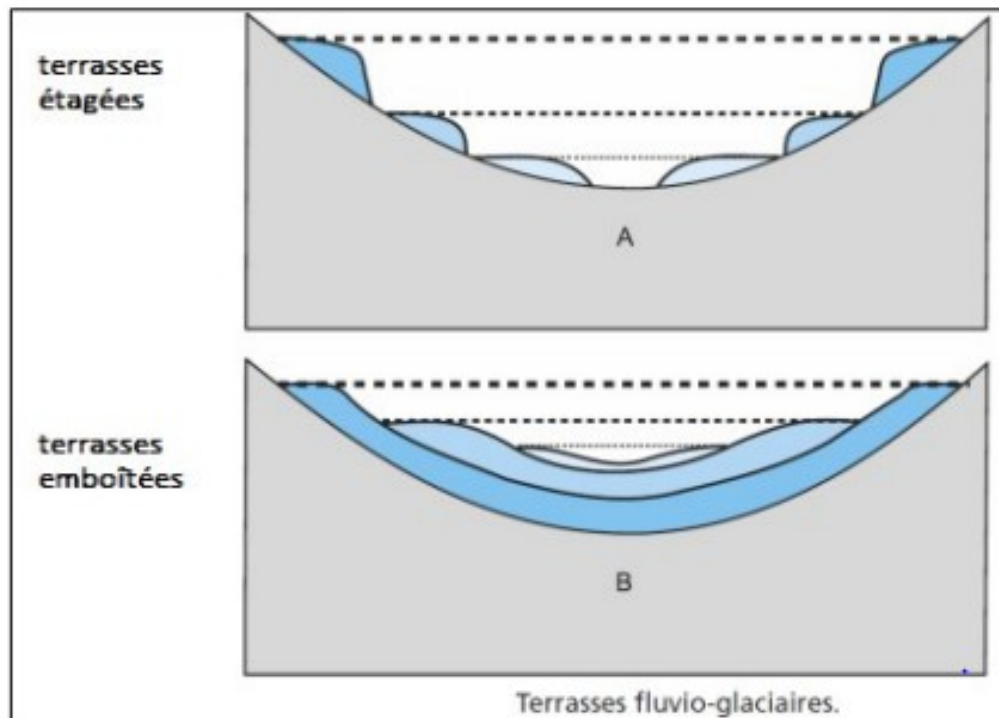
Document 14 : les terrasses fluvio-glaciaires

En aval des moraines en fond de vallées, on trouve des **alluvions fluvio-glaciaires** fait de graviers et de sables **classés** et dont **l'alternance révèle des variations d'énergie de courant** en période de fonte ou non. Ces **changements de dynamiques forment des terrasses emboîtées ou étagées.**



Document 14 : les terrasses fluvio-glaciaires

→ Expliquer l'origine des différents types de terrasses fluvio-glaciaires en fonction de l'énergie du torrent au moment de la débâcle.



➤ Le loess,

Il s'agit d'un **dépôt éolien périglaciaire** contenant de fines particules issues de l'érosion des roches par les glaciers et transportées et déposées par les vents.



Document 15 : les dernières grandes glaciations identifiées en Europe

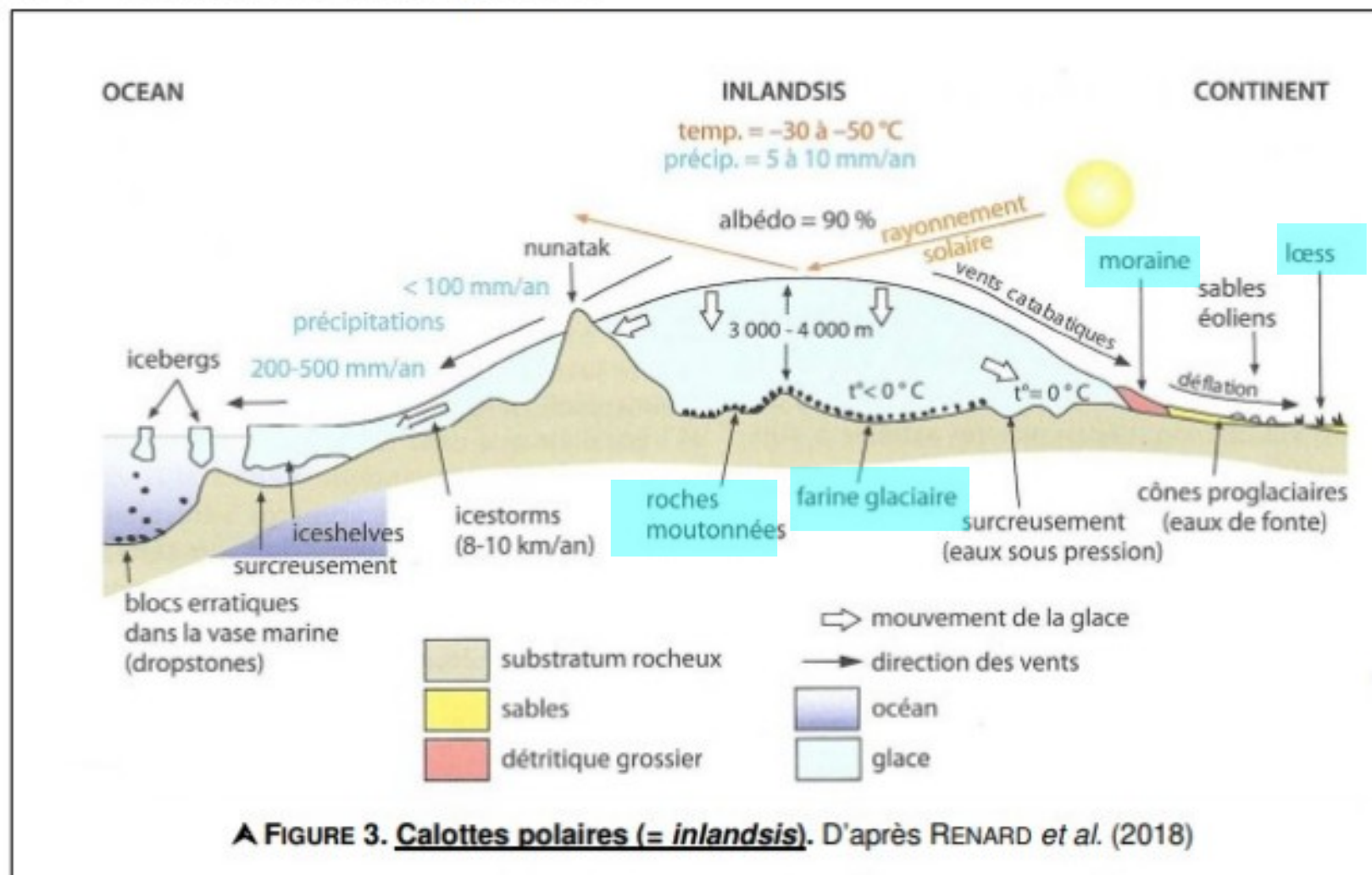
Ces observations de terrain permettent de visualiser l'extension maximale ou le retrait des glaciers, le débit des torrents de fonte, et donc d'en déduire les variations de température... en revanche la difficulté pour les dater est que **toute extension glaciaire cache les phases antérieures.**

On a cependant pu identifier grâce à ces observations, en Europe **4 grandes phases glaciaires au cours du dernier million d'années : Günz, Mindel, Riss et Würm**, séparées par des phases interglaciaires (et aussi 2 autres phases plus anciennes Biber et Donau).



Document 16 : les traces des calottes glaciaires

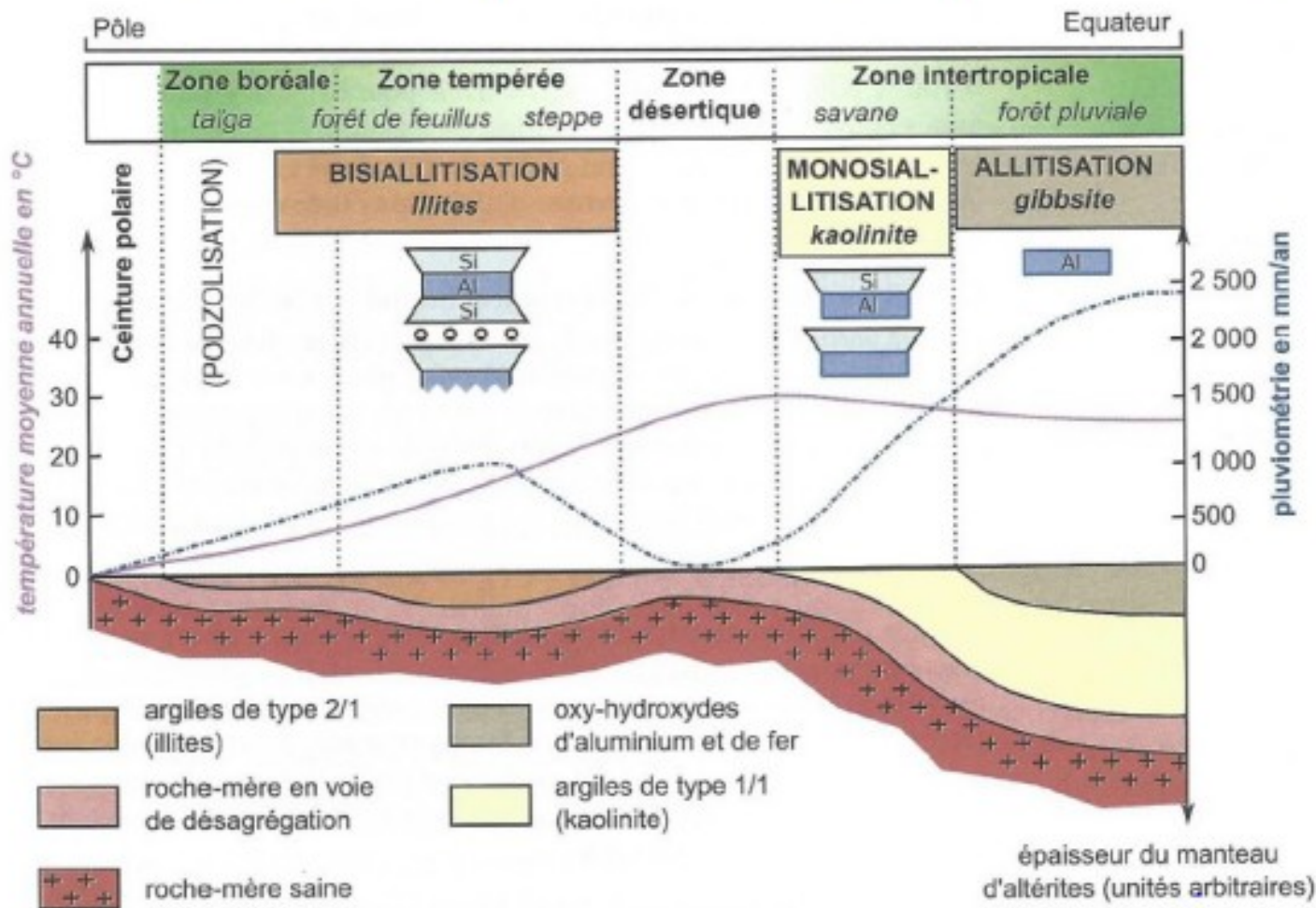
Les calottes glaciaires, vastes étendues de glace où tout le relief (ou presque) est localement situé sous la glace mais dont la superficie est inférieure à 50 000 km² laissent également des traces caractéristiques : roches moutonnées et farine glaciaire, moraines et loess



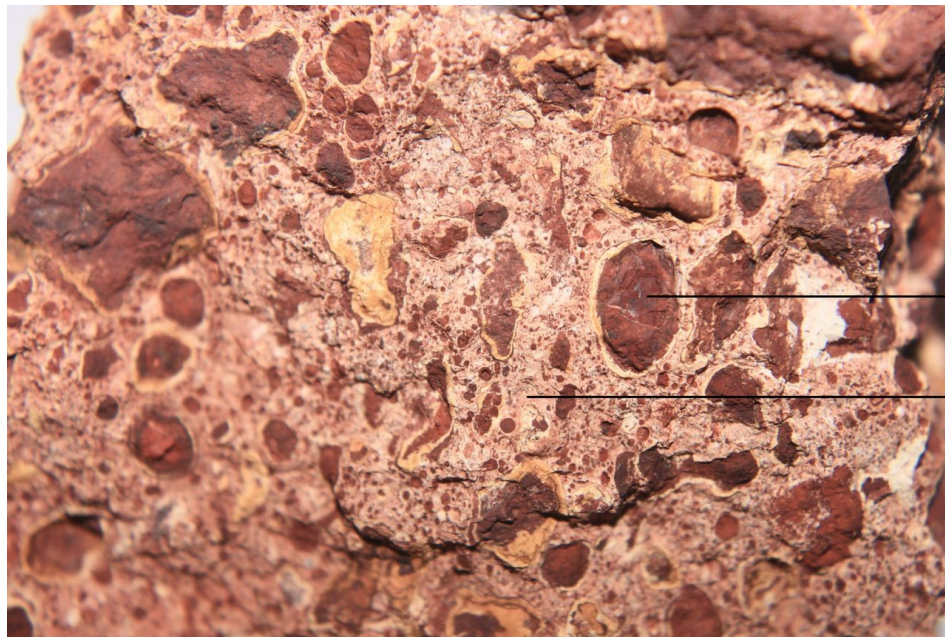
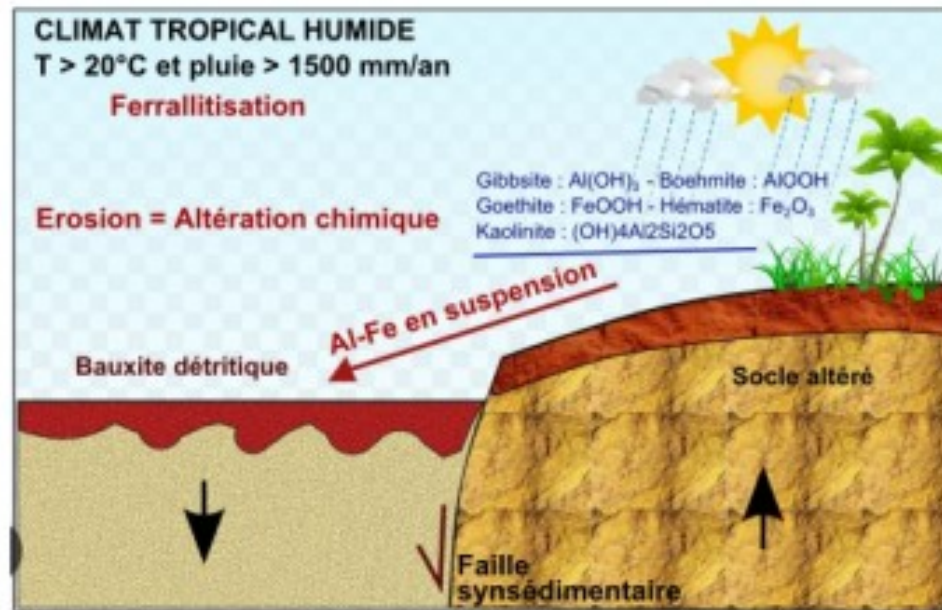
1.2 les bauxites et les évaporites sont des indicateurs d'un climat chaud (cf STE)

Document 17 : formation des bauxites

A l'inverse, des produits d'altération des roches granitiques en zone intertropicale forment des cuirasses latéritiques par allitisation qui conduisent après érosion et transport à des gisements de bauxites comme on en trouve dans le sud de la France témoignent d'un climat tropical passé.



Document 17 : formation des bauxites



inclusion pisolithique
d'oxydes de fer

matrice constituée
d'oxydes d'aluminium

Document 18 : formation des évaporites

Par ailleurs, les évaporites sont des roches formées par une évaporation intense de l'eau peu profonde et sursalée en climat chaud et conduisent à la formation de gypse, de sel et de potasse.



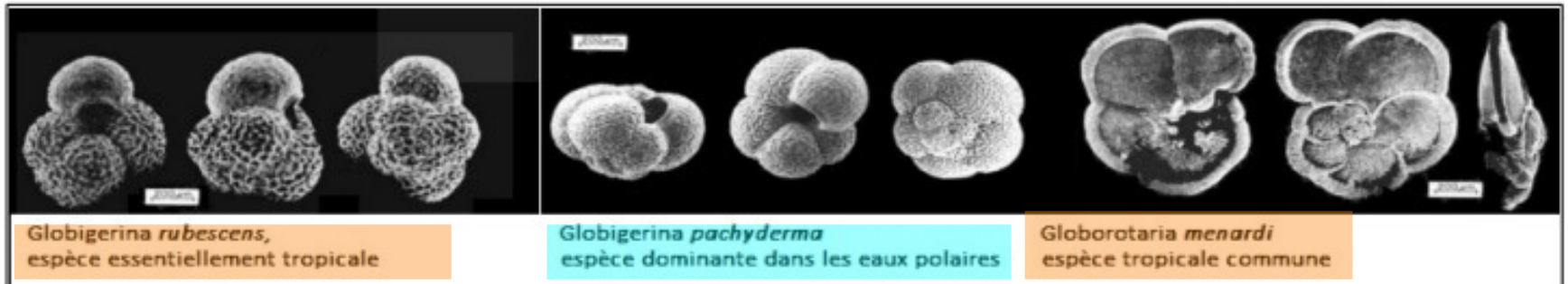
1.3 Les fossiles sont également des indicateurs de conditions climatiques

➤ les fossiles océaniques, exemples des Foraminifères

Document 19 : exemples de fossiles océaniques bio-indicateurs, les Foraminifères

De nombreux organismes marins sont de bons **bio-indicateurs des conditions océaniques** dont ils supportent plus ou bien les variations de températures, de salinité, d'agitation du milieu ...

Les organismes à tests calcaires sont particulièrement intéressants car ils sont à l'origine d'importants sédiments carbonatés et de nombreux fossiles. **Les Foraminifères en sont un bon exemple.**



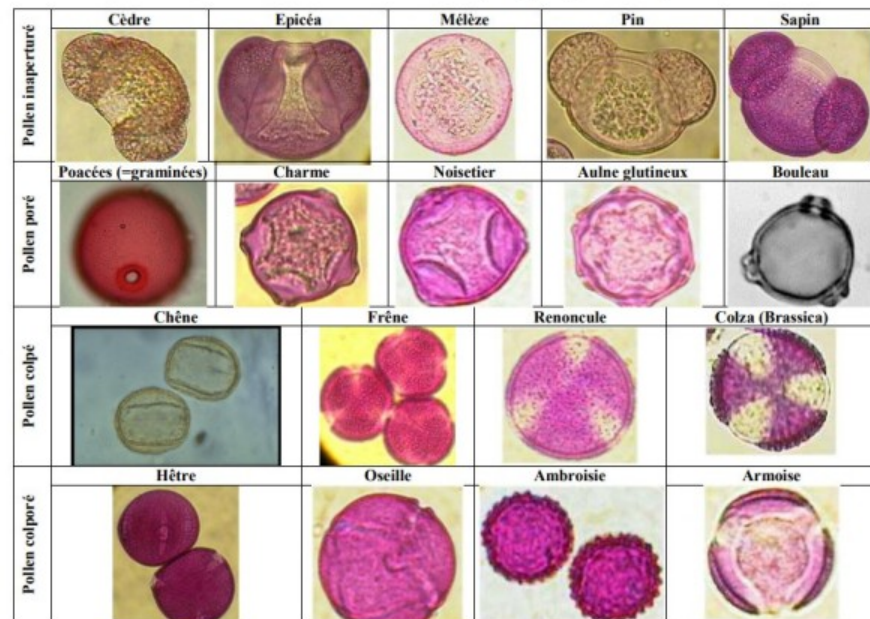
➤ Les fossiles continentaux, exemple des pollens

Document 20 : exemples de fossiles continentaux bio-indicateurs, les pollens de Spermaphytes

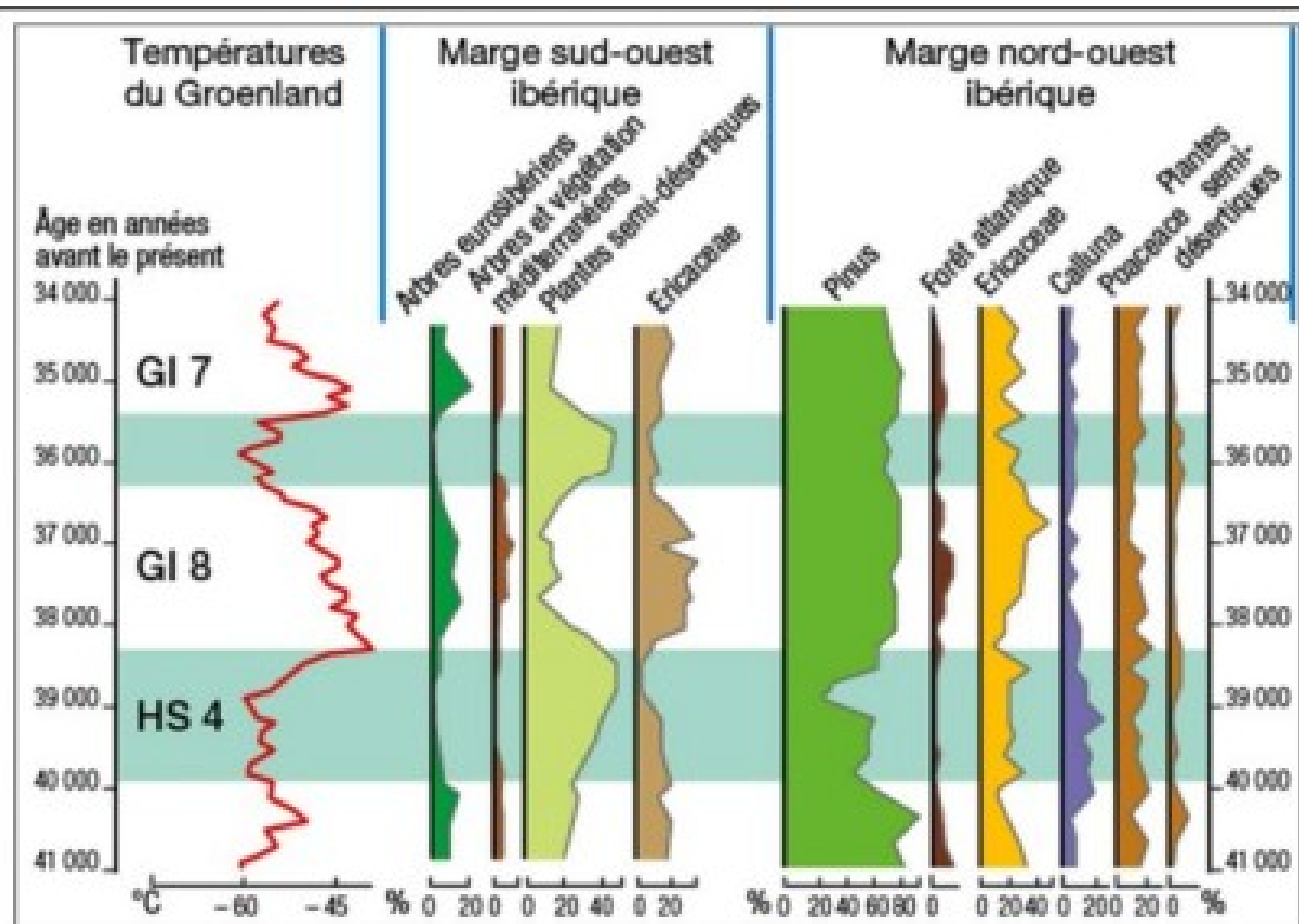
Les pollens de Spermaphytes, sont assez résistants à l'oxydation du fait de la sporopollénine et sont donc facilement fossilisés lorsqu'ils sont piégés dans les argiles de sédiments lacustres ou de la tourbe. Ces pollens fossilisés permettent de reconstituer les communautés végétales et leur abondance à une époque donnée.

On calcule ainsi le rapport AP/NAP : un rapport fort révèle un % de pollens d'arbres à feuilles caduques (AP) supérieur et indique des périodes plus chaudes alors qu'un rapport faible indique un % plus important de pollens de plantes herbacées (NAP), ce qui traduit des périodes froides ou/et sèches, selon le principe de l'actualisme.

Planche de détermination de quelques grains de pollen



Noms familiers	Exigences climatiques
Chêne	Tempéré à chaud
Aulne (famille des peupliers)	Humide et tempéré
Bouleau	Tempéré
Châtaignier	Tempéré
Frêne	Tempéré
Arbustes	Tempéré
Orme	Tempéré
Herbes des marécages	Froid
Erable	Froid
Arbre associé au peuplier	Froid et sec
Graminées	Froid et sec
Famille de l'épicéa, du mélèze.	Froid et sec
Pin	Froid à tempéré



Un exemple de diagramme pollinique.

<https://www.annabac.com/annaes-bac/conditions-climatiques-et-survie-des-neandertaliens>

(consultation avril 2019) [HS : événement de Heinrich / GI : interstadiare]

Un diagramme pollinique s'analyse de deux façons complémentaires :

- La recherche d'espèces ou genres à forte signification écologique et climatique.

Ex. Chêne, Noisetier → espèces thermophiles (optimum 10 / 15 °C)

- Le calcul d'un rapport AP/NAP qui est le rapport du pourcentage des pollens d'arbres et d'arbustes (AP : Arboreal Pollen), plutôt caractéristiques de climats tempérés ou chauds, sur le pourcentage de taxons herbacées (NAP : Non Arboreal Pollen), plutôt caractéristiques de climats froids lorsqu'ils dominent.

2. Les rapports isotopiques dans les archives fossiles ou les glaces renseignent sur les variations climatiques passées

2.1 les isotopes de l'oxygène et le $\delta^{18}\text{O}$

Il existe **différents isotopes stables de l'oxygène**, le ^{16}O (99%) et le ^{18}O (0,2%) dont les masses molaires diffèrent. **Les réactions chimiques lors des changements d'état de l'eau** sont alors à l'origine d'un **fractionnement isotopique** :

En effet, le ^{16}O plus léger rentrera **préférentiellement dans la vapeur d'eau** alors que le ^{18}O rentrera **préférentiellement dans l'eau liquide** lors de la condensation ou dans la glace lors de la solidification.

On définit le $\delta^{18}\text{O}$ selon la formule suivante :

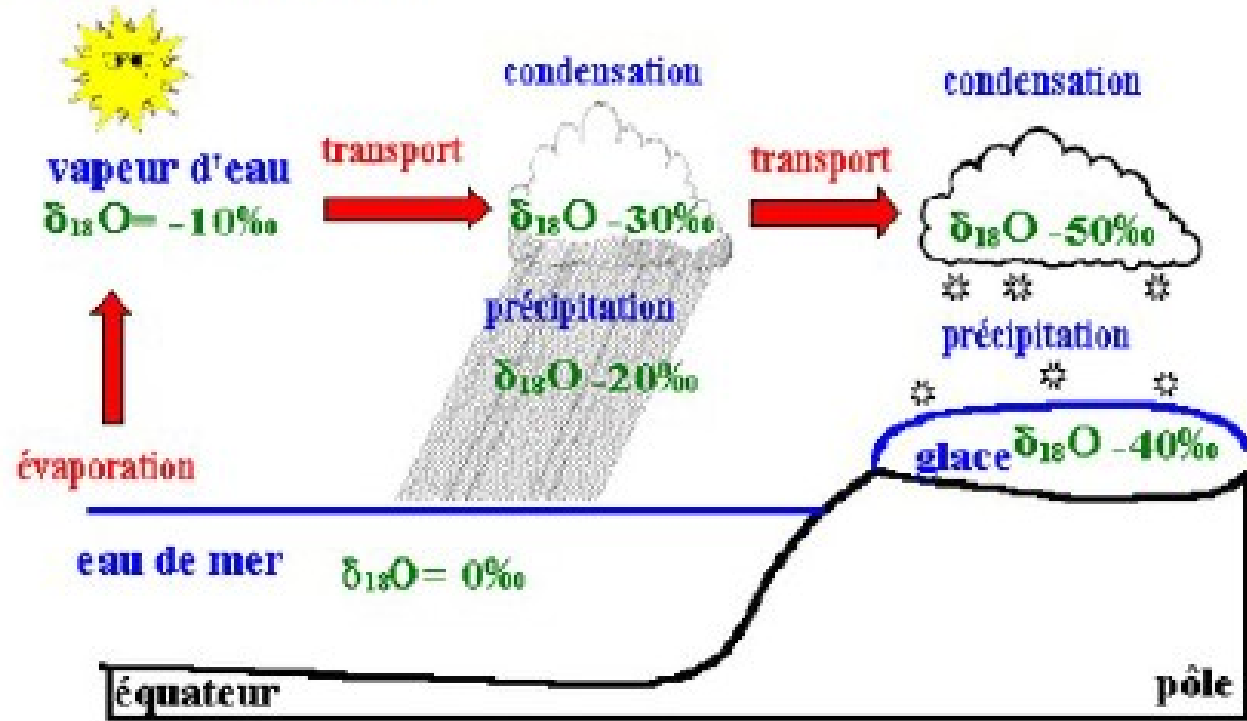
$$\delta^{18}\text{O} = \left(\frac{\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}}\right)_{\text{échantillon}}}{\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}}\right)_{\text{référence}}} - 1 \right) \times 1\,000$$

La **valeur de référence pour l'eau ou la glace**, correspond au **rapport moyen dans les océans actuels** (SMOW pour Standard Mean Ocean Water).

La **valeur de référence pour les carbonates** correspond au **rostres de Bélemnites (Céphalopodes fossiles)** du site fossilifère de Pee Dee (en Caroline du Sud aux USA)

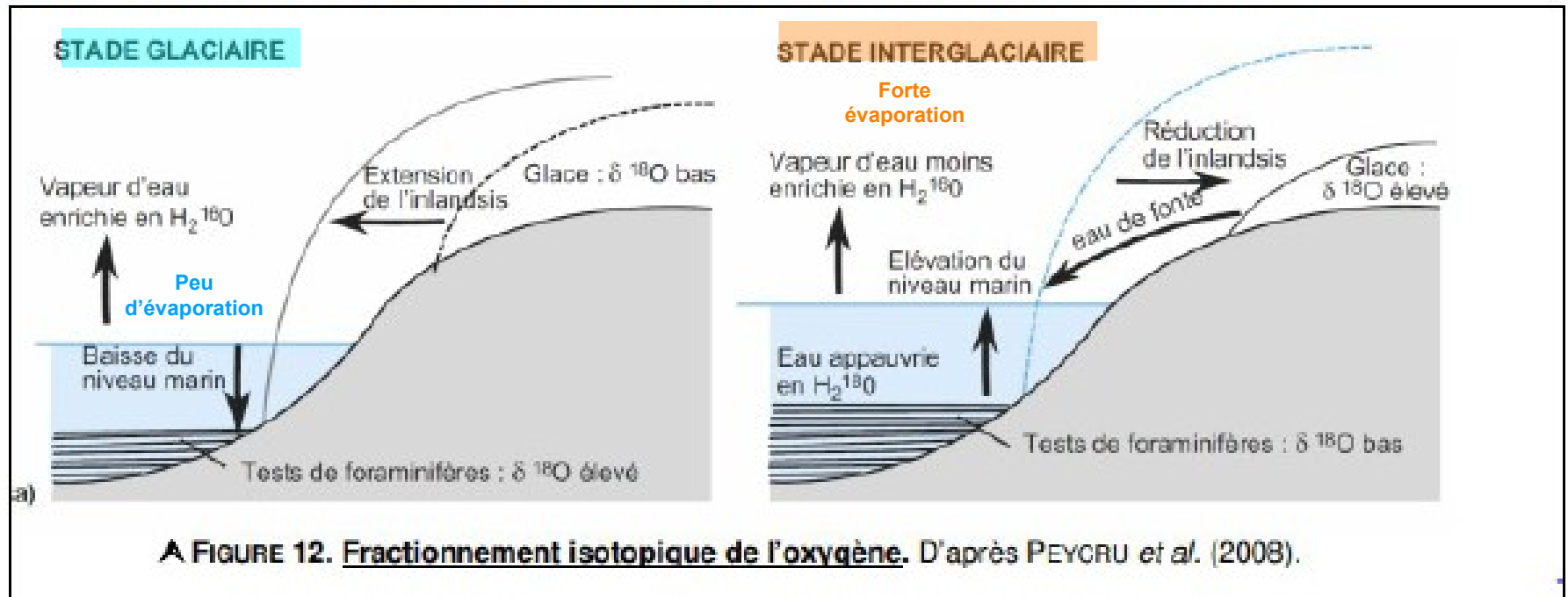
On peut remarquer que le $\delta^{18}\text{O}$ varie en fonction de la latitude :

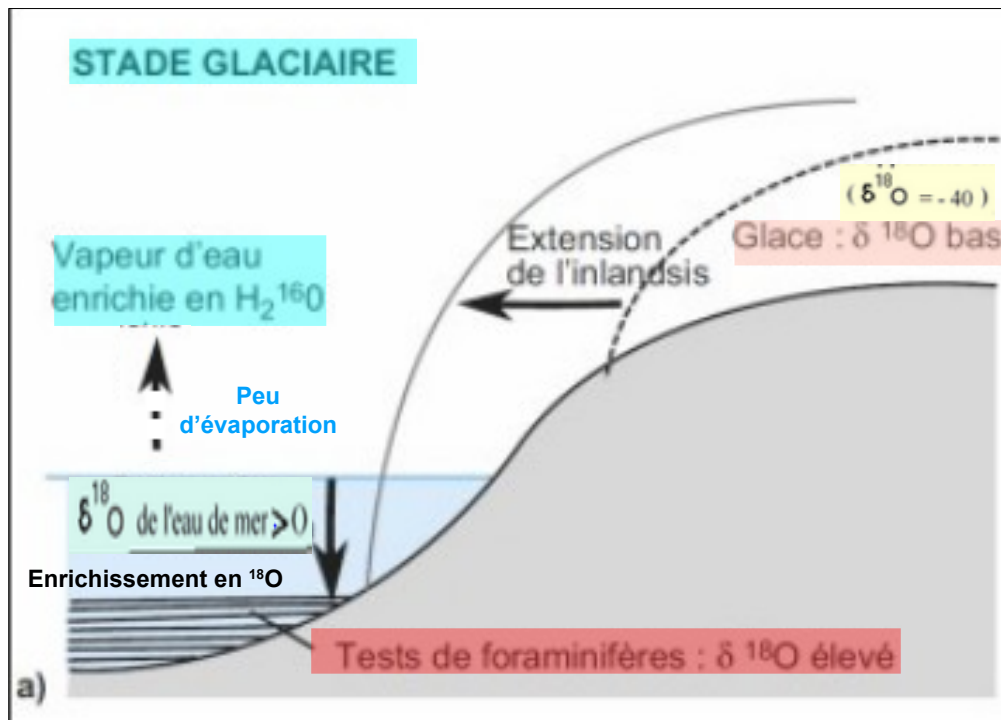
→ D'après le document ci-dessus, expliquez pourquoi le $\delta^{18}\text{O}$ de l'eau de mer est nul et comment et pourquoi il varie de l'équateur au pôle ?



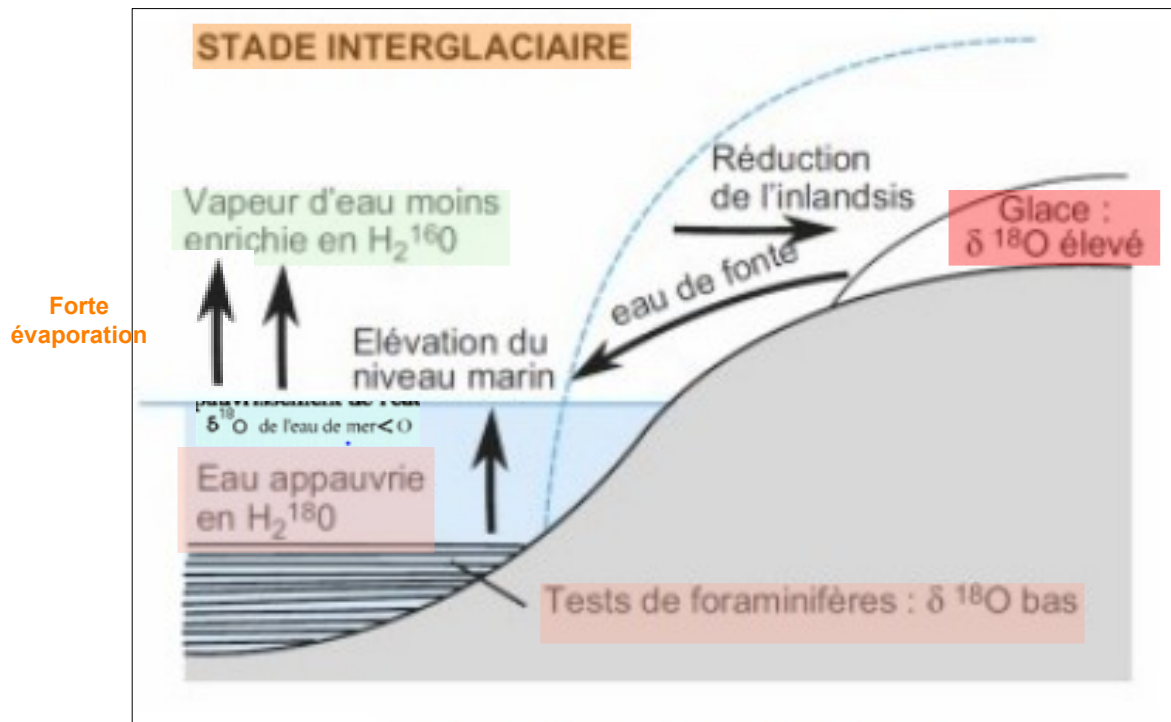
$$\delta^{18}\text{O} = \left(\frac{\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{échantillon}}}{\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{référence}}} - 1 \right) \times 1\,000$$

→ D'après le document ci-dessous, indiquez comment évolue le $\delta^{18}\text{O}$ dans les glaces polaires d'une part et dans les sédiments océaniques d'autre part lors d'une période glaciaire et lors d'une période interglaciaire.





En période froide, il y a peu d'évaporation, proportionnellement, la vapeur d'eau contient donc plus d' ^{16}O et les eaux océaniques s'enrichissent en ^{18}O ainsi que les sédiments carbonatés d'origine biologiques (fort $\delta^{18}O$). Comme le peu de ^{18}O contenu dans les nuages tombe rapidement aux basses et moyennes latitudes, il reste extrêmement peu de ^{18}O lorsque la neige tombe aux niveau des pôles. L'eau de la glace des calottes glacières est donc excessivement pauvre en ^{18}O (faible $\delta^{18}O$).

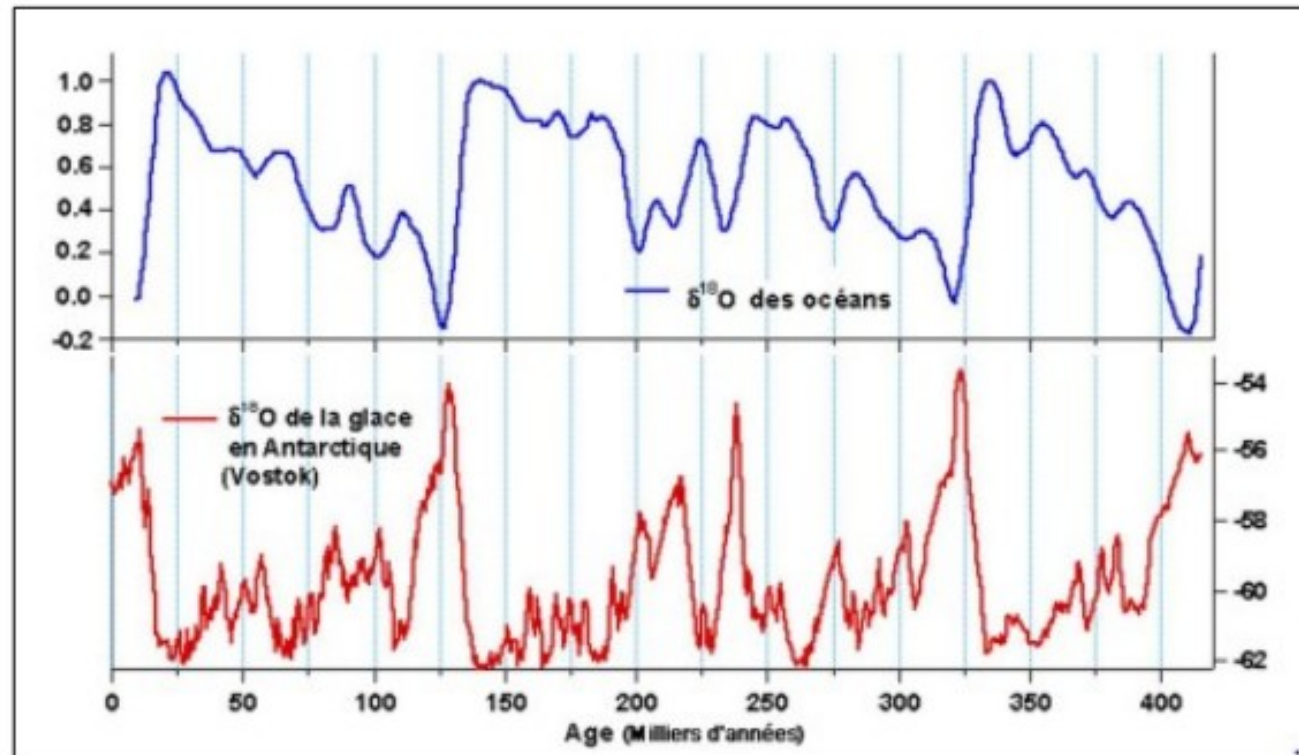


- En période chaude, l'évaporation se fait plus intense** et donc le rapport $^{18}O/^{16}O$ **augmente dans la vapeur d'eau** alors qu'il **diminue dans les eaux océaniques (faible $\delta^{18}O$)** et dans les sédiments. Même si les nuages perdent du ^{18}O lors des précipitations, il en reste suffisamment lorsque la neige tombe aux niveau des **calottes glacières (fort $\delta^{18}O$)**. En parallèle, la fonte des glaces libère des eaux appauvries en ^{18}O , ce qui tend à abaisser également le $\delta^{18}O$ des océans.

Document 22 : variations inversées du $\delta^{18}\text{O}$ dans les carottes glaciaires et dans les océans (et donc les sédiments carbonatés)

En conclusion, le $\delta^{18}\text{O}$ est un bon indicateur des climats du passé puisqu'il évolue dans les glaces dans le même sens que les variations de températures et dans le sens inverse dans les sédiments carbonatés.

→ Identifier d'après ce document, les périodes chaudes et les périodes froides au cours des 400 milliers d'années passées.



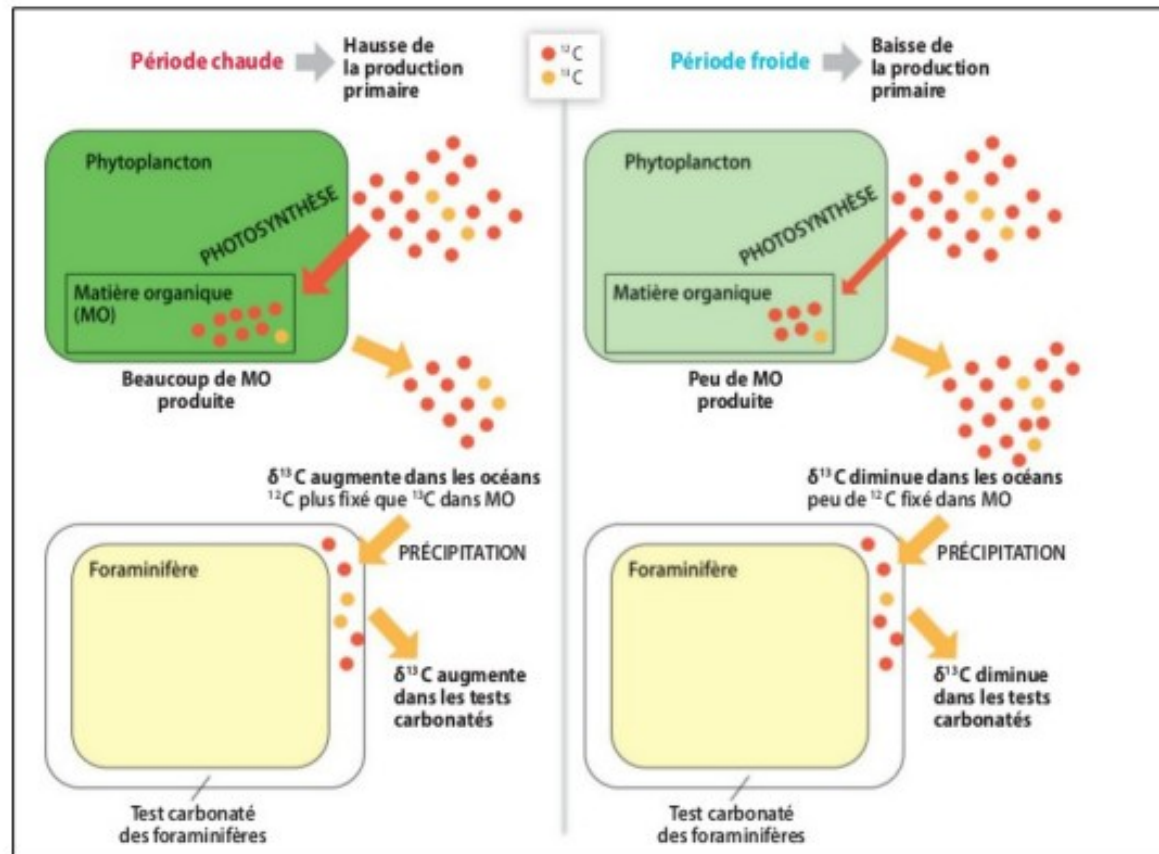
2.2 les isotopes du carbone et le $\delta^{13}\text{C}$

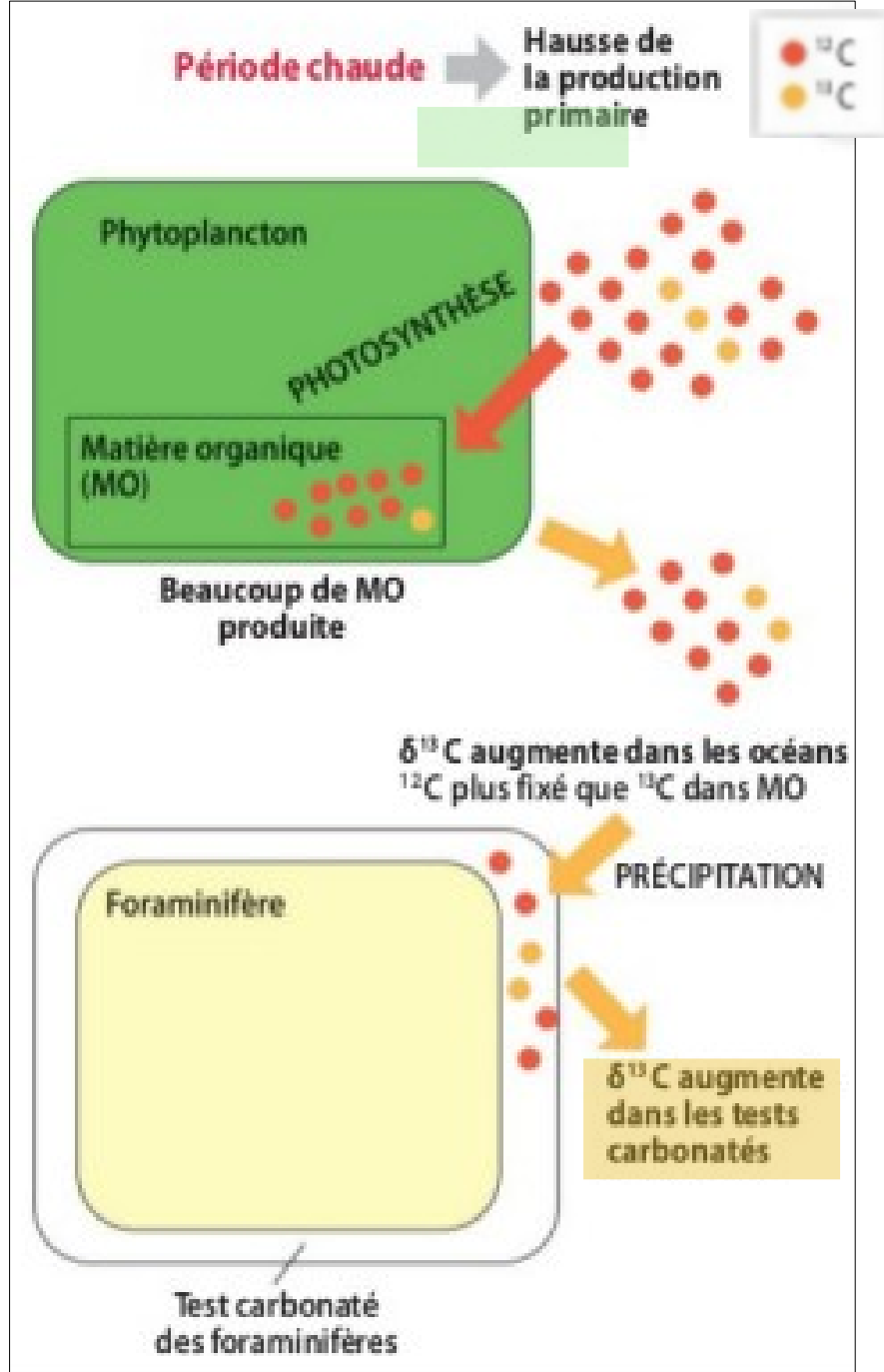
De la même manière, le carbone possède deux isotopes stables, le ^{12}C et le ^{13}C et les réactions biochimiques de la photosynthèse réalisent un fractionnement isotopiques car le ^{12}C plus léger, est incorporé plus rapidement dans la matière organique.

Document 23 : les variations du $\delta^{13}\text{C}$ dans les océans

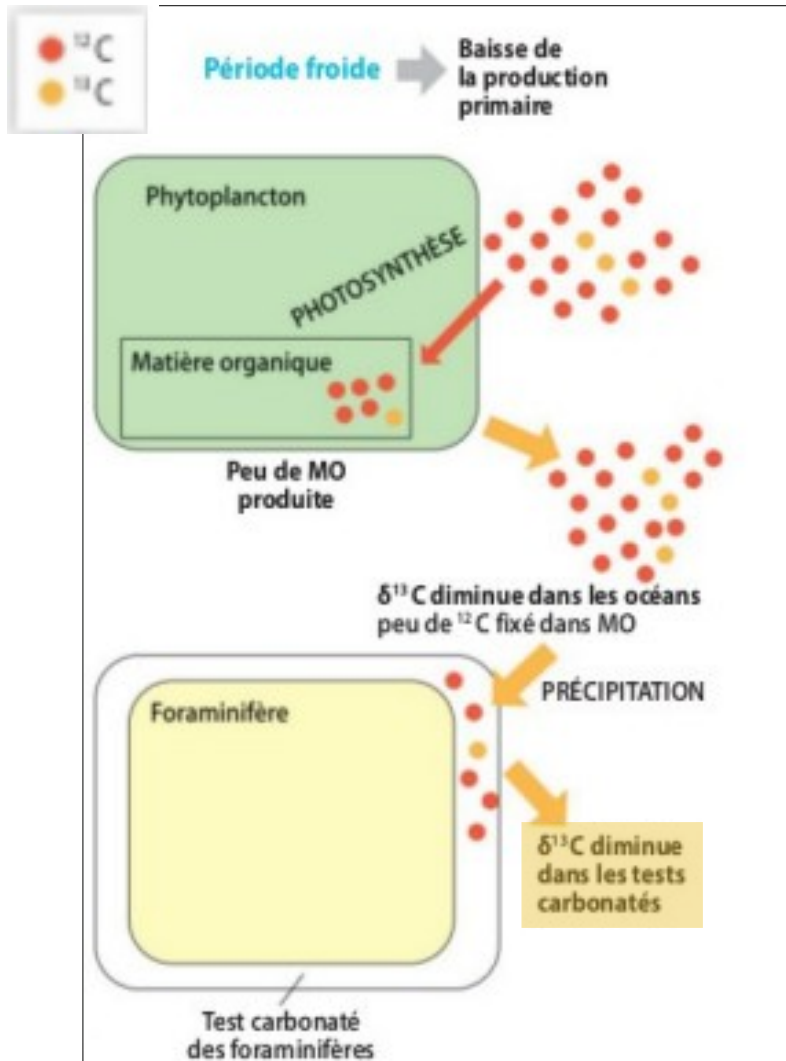
$$\delta^{13}\text{C} = \left(\frac{\left(\frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}} \right)_{\text{échantillon}}}{\left(\frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}} \right)_{\text{référence}}} - 1 \right) \times 1000$$

→ D'après ce document, expliquer comment évolue le $\delta^{13}\text{C}$ dans les sédiments océaniques en période froide et en période chaude.





En période chaude, l'activité photosynthétique du phytoplancton augmente, ce qui diminue proportionnellement le ^{12}C dans les **eaux océaniques** au profit du ^{13}C ($\delta^{13}\text{C}$ fort). La précipitation des carbonates se faisant à partir des ions HCO_3^- et les tests carbonatés étant synthétisés à partir du CO_3^{2-} dissout dans l'eau, le $\delta^{13}\text{C}$ augmentera également dans les **sédiments carbonatés**.



En période froide , à l'inverse le $\delta^{13}\text{C}$ des sédiments carbonatés sera plus faible

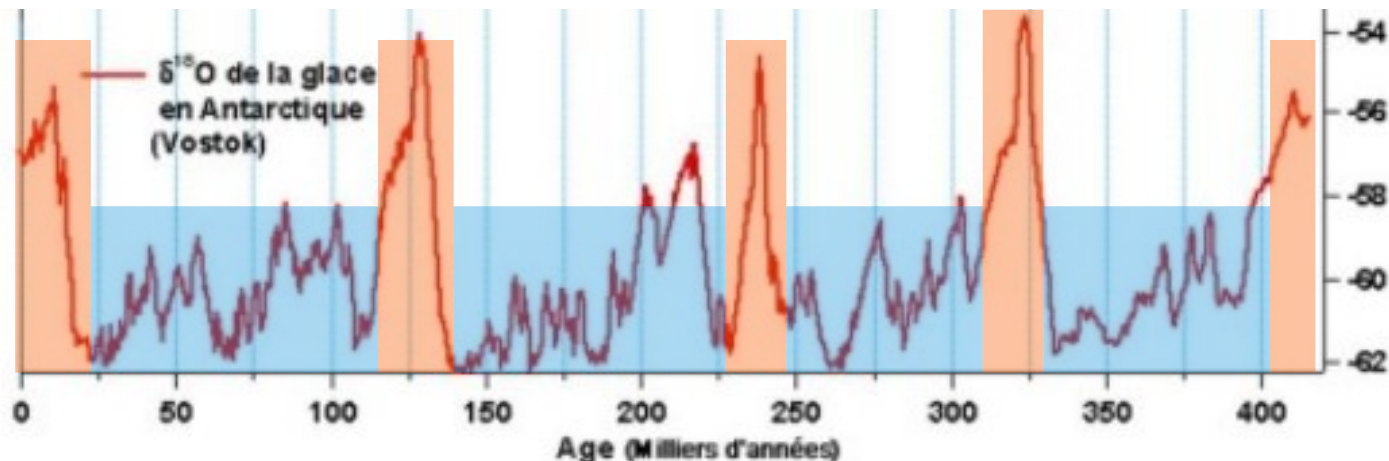
III. Les variations climatiques à l'échelle des temps géologiques sont pilotées par des facteurs géologiques, biologiques et physico-chimiques

1. les variations climatiques peuvent résulter des variations de paramètres orbitaux, exemple des variations cycliques des températures au Quaternaire

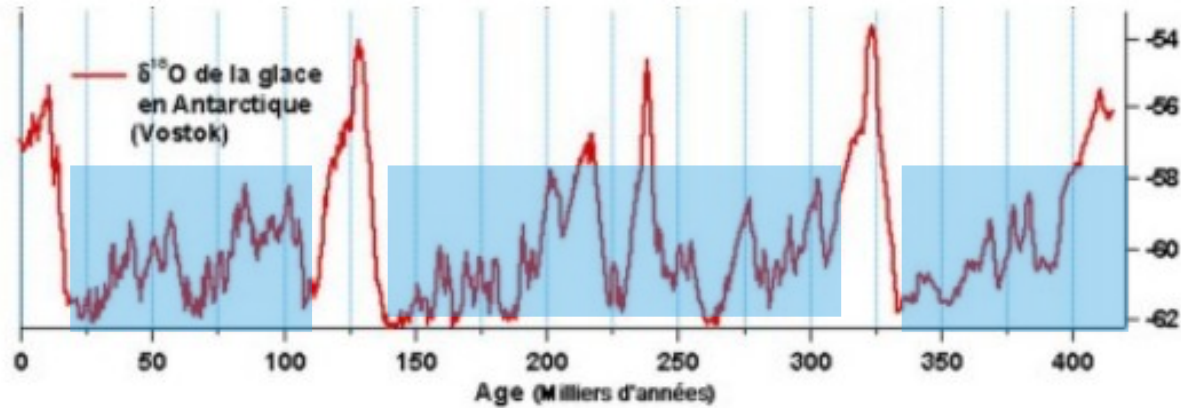
document 24 : mise en évidence de la cyclicité des périodes glaciaires et interglaciaires par les variations du $\delta^{18}\text{O}$

Des forages dans les carottes glaciaires (et les sédiments océaniques) ont permis de reconstituer les variations climatiques sur le dernier million d'années. L'étude de ces forages montre :

- des **variations périodiques du $\delta^{18}\text{O}$** pouvant être **interprété comme des variations de températures**
- une **périodicité fondamentale d'environ 100 000 ans** avec alternance de **périodes chaudes** (interglaciaires) **d'environ 10 000 à 20 000 ans** et de **périodes froides (glaciaires) d'environ 80 000 à 90 000 ans.**



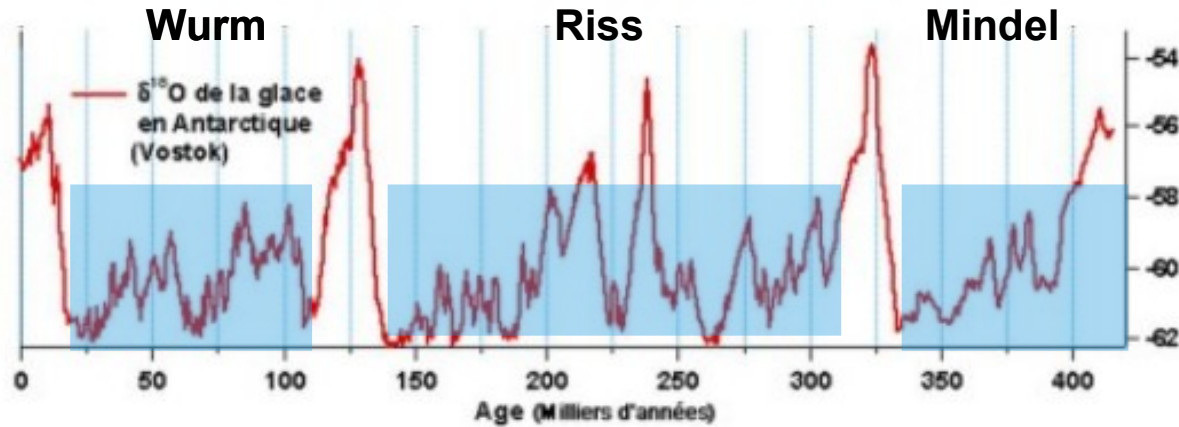
document 24 : mise en évidence de la cyclicité des périodes glaciaires et interglaciaires par les variations du $\delta^{18}\text{O}$



→ A partir du document 15, replacer sur ce documents les trois dernières grandes glaciations, *Mindel, Riss et Würm* et faire le lien avec les variation du $\delta^{18}\text{O}$



document 24 : mise en évidence de la cyclicité des périodes glaciaires et interglaciaires par les variations du $\delta^{18}\text{O}$

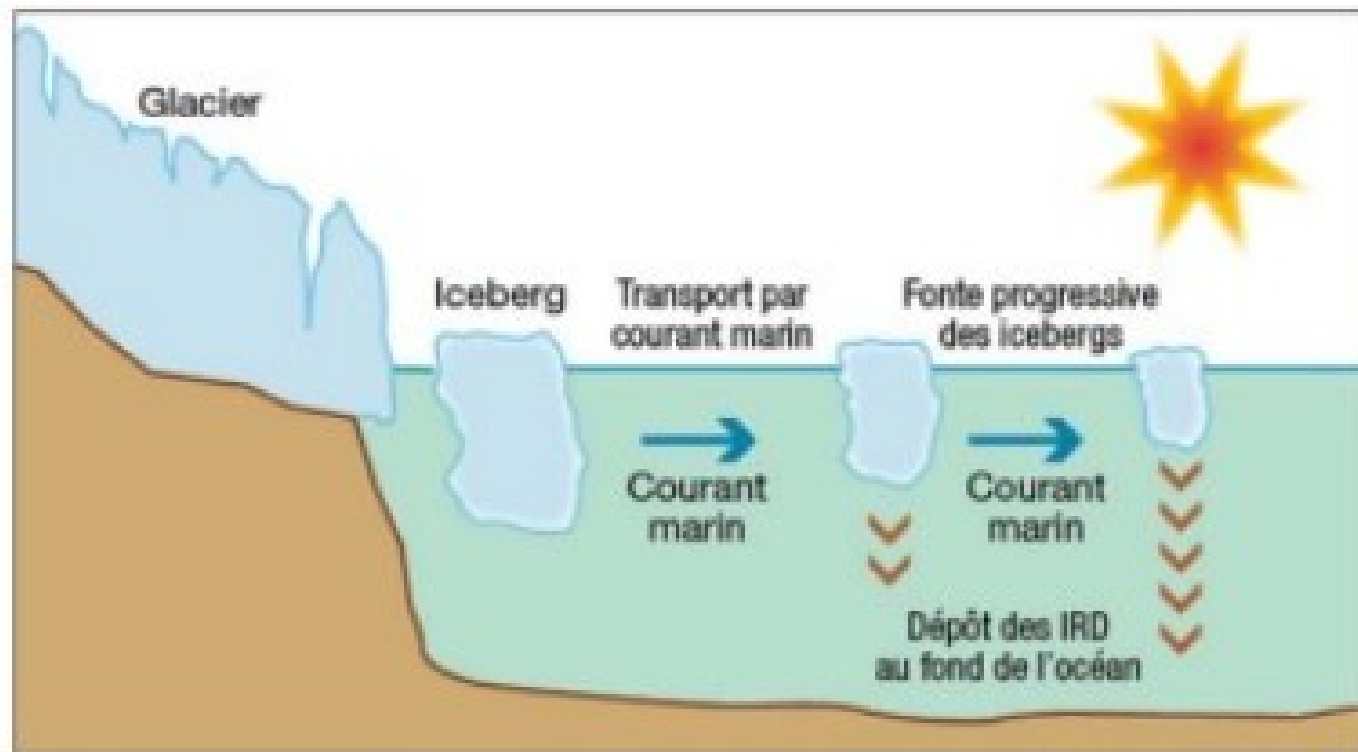


→ A partir du document 15, replacer sur ce documents les trois dernières grandes glaciations, *Mindel, Riss et Würm* et faire le lien avec les variation du $\delta^{18}\text{O}$



Document 25 : principe d'un évènement de Heinrich

Enfin, on a pu noter une **périodicité de 7000 ans des dépôts de sédiments polaires** sur le **plancher océanique** (les IRD pour Ice Rafted Debris ou débris de glace flottante) ayant pour origine des **débâcles importantes d'iceberg** aux **cours des périodes glaciaires du Quaternaire**. Ces évènements appelés **évènements de Heinrich** dus à des **périodes de réchauffement ponctuels** pendant les **périodes glaciaires** auraient provoqué un **refroidissement accru de l'eau océanique** dû à la fonte des icebergs et auraient été à l'origine d'une baisse de la circulation thermo-haline **réduisant le transfert de chaleur de l'équateur vers les pôles**.



Document 26: les paramètres orbitaux modifient le rythmes des saisons, leur durée et leurs contrastes.

La périodicité de ces changements climatiques s'explique par la théorie astronomique du climat ou théorie de Milankovic.

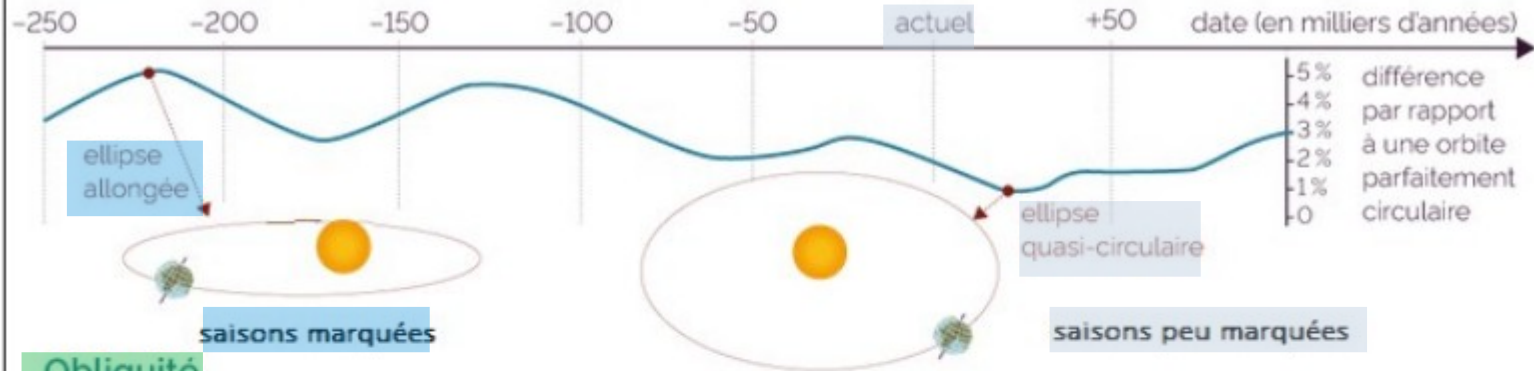
Cette théorie postule que le climat est sous la dépendance des variations de 3 paramètres orbitaux qui ont chacun une périodicité propre :

- l'excentricité c'est à dire la forme de l'ellipse dessinée par la rotation de la Terre autour du soleil qui se rétracte au s'étale avec une périodicité de 100 000 ans.
- L'obliquité c'est à dire l'angle formé par l'axe de rotation de la Terre qui varie entre 22° et 24,5° avec une périodicité de 41 000 ans
- la précession des equinoxes c'est à dire le changement de direction de l'axe de rotation de la Terre (qui décrit un cône) dont la périodicité varie de 19 000 à 23 000 ans.

Ces variations modifient le rythme des saisons, leur durée et leurs contrastes et donc les facteurs climatiques.

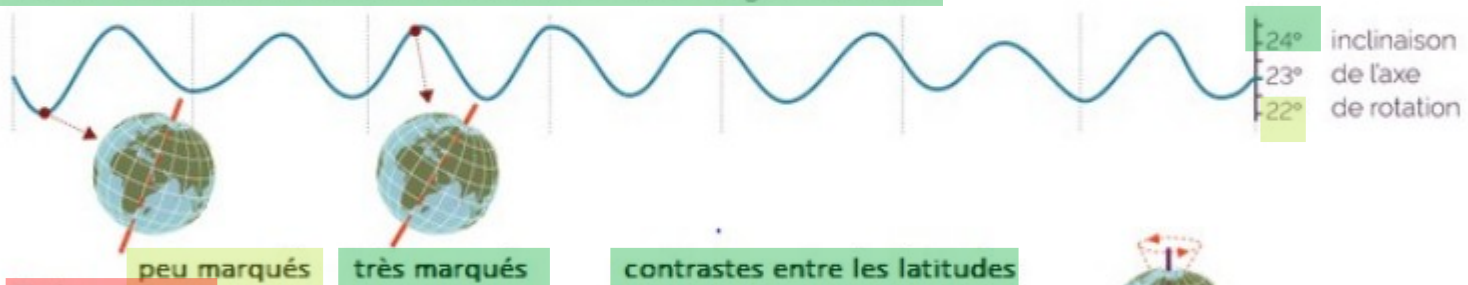
Excentricité

Tous les 100 000 ans environ, l'orbite terrestre elliptique passe d'allongée à quasi-circulaire.



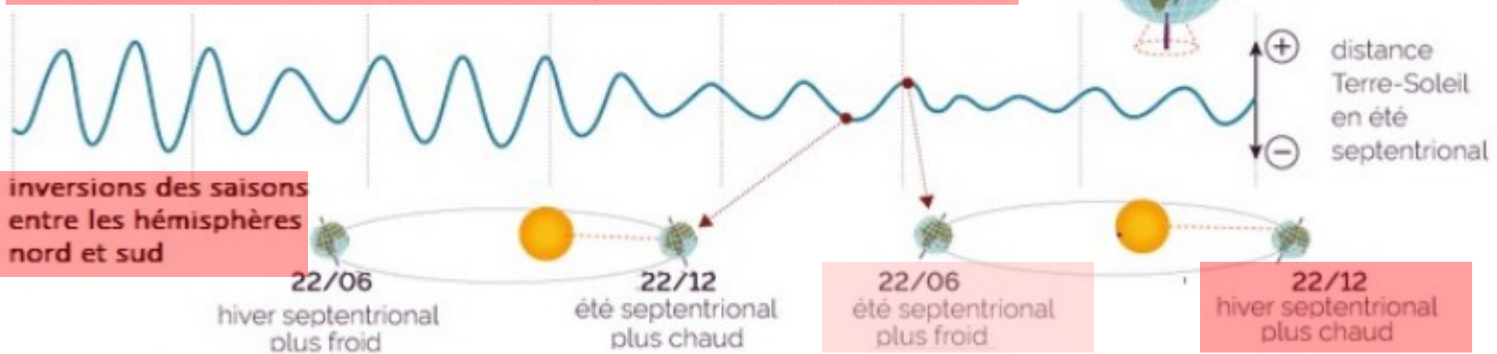
Obliquité

Tous les 41 000 ans environ, l'axe de rotation de la Terre change d'inclinaison.

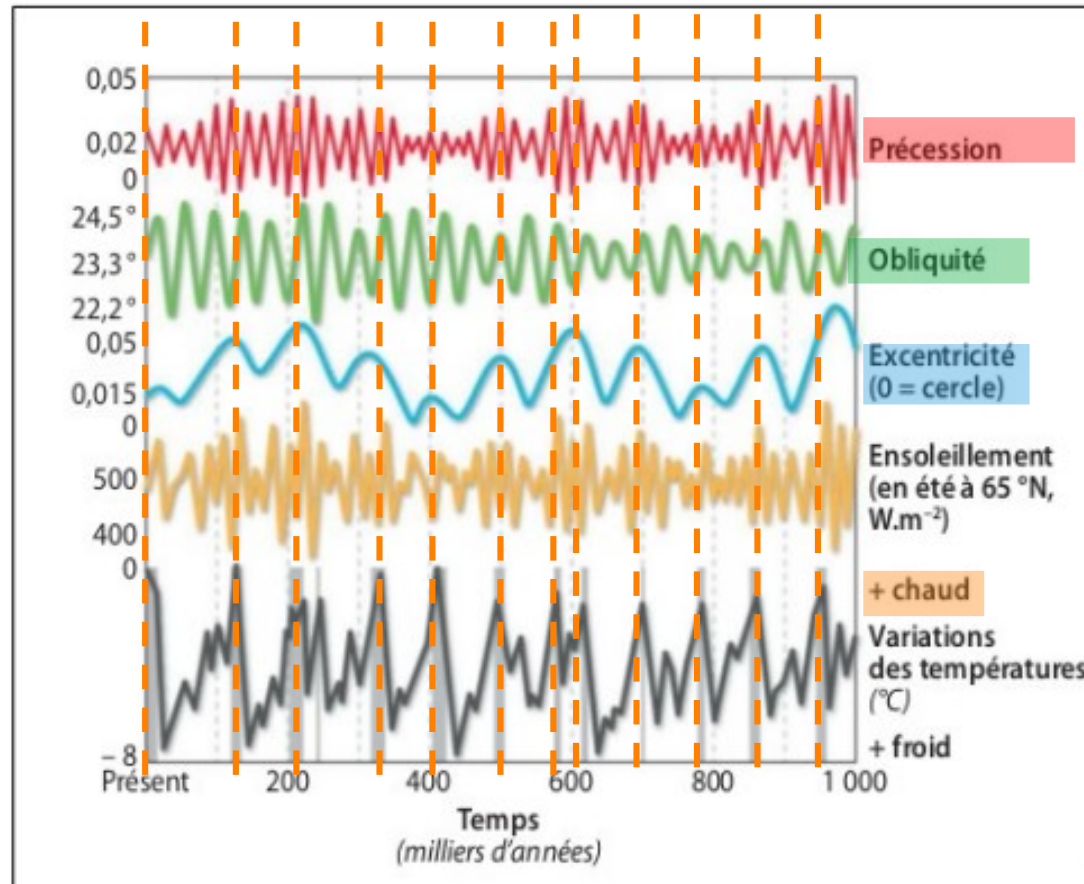


Précession

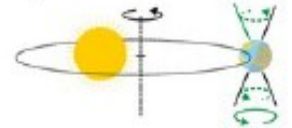
L'axe de rotation décrit un cercle sur une double période de 19 000 et 23 000 ans.



Document 27: corrélation entre les variations des paramètres orbitaux sur le dernier million d'années et les variations climatiques



Précession de l'axe de rotation et rotation de l'orbite terrestre (périodicité de 23 et 19 ka)



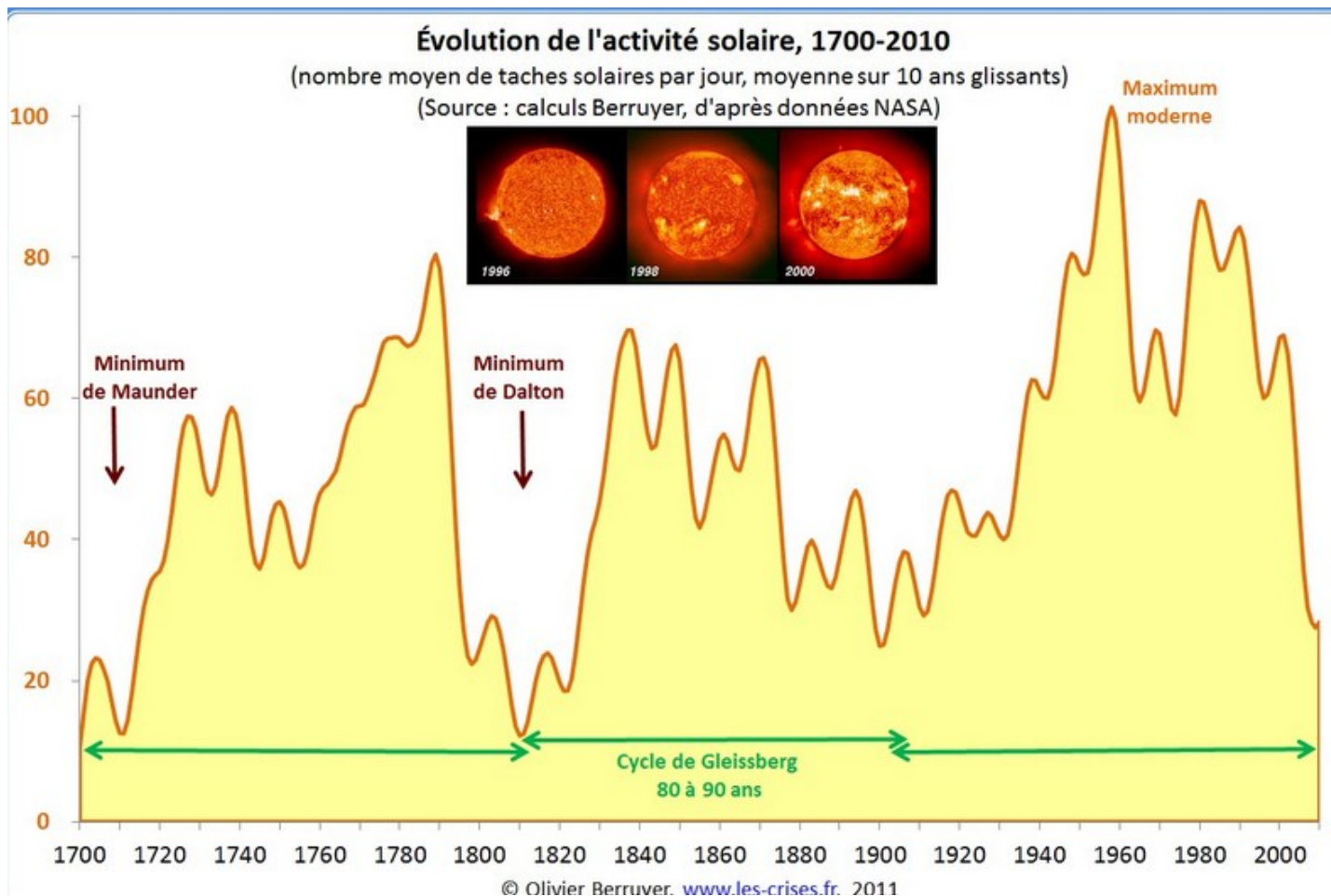
Variations de l'obliquité de l'axe de rotation de la Terre (périodicité de 41 ka)



Variations de l'excentricité de l'orbite terrestre (périodicité de 100 et 413 ka)



remarque : Il faut de plus ajouté à cela les **variations de l'activité solaire**, avec l'apparition des taches solaires, correspondant à de gigantesques émissions de gaz à très hautes températures. Ces variations suivent plusieurs cycles dont la périodicité est aujourd'hui connue : 11, 80, 200 et 2300 ans. **L'influence** de ces variations est cependant **relativement faible**, car elle correspond à des variations de l'ordre de 1W/m^2 au niveau de la surface terrestre, laquelle reçoit en moyenne $342\text{W/m}^2 = 342\text{ J/s/m}^2$.

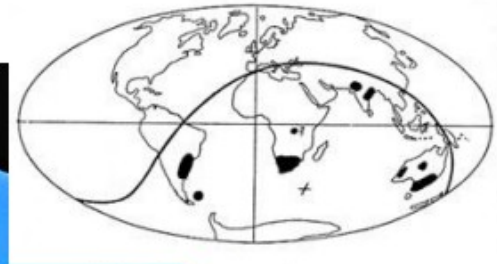
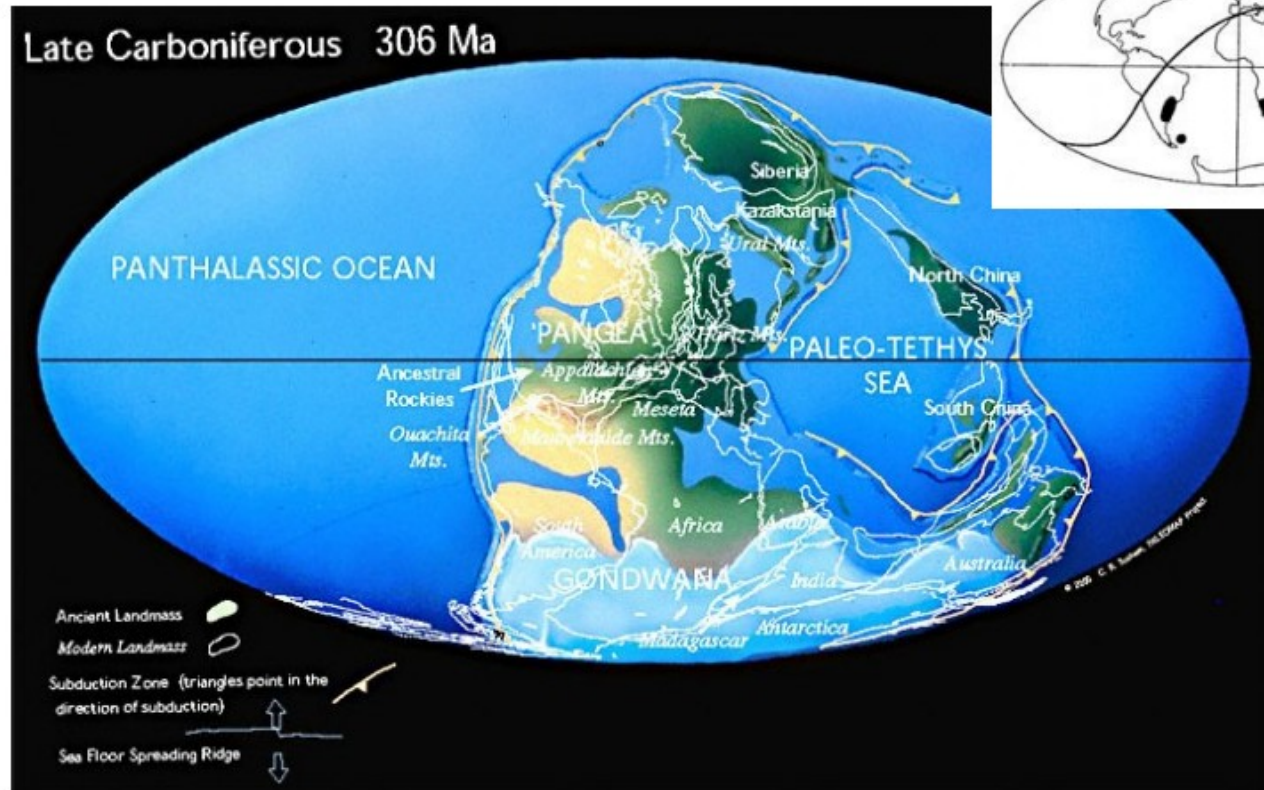


2. les variations climatiques sont également pilotées par des phénomènes géologiques.

➤ La dérive des continents

Les déplacements des plaques lithosphériques au cours des temps géologiques au gré du fonctionnement des cellules de convection thermique au sein du manteau, ont eu pour conséquences le déplacement et la modifications des surfaces continentales. Ainsi une zone continentale se trouvant aujourd'hui dans la zone intertropicale a très bien pu se trouver à une époque antérieure au niveau d'un des pôles.

Document 28 : reconstitution paléogéographique des continents au Carbonifère supérieur à partir notamment des tilites d'âge carbonifère permien





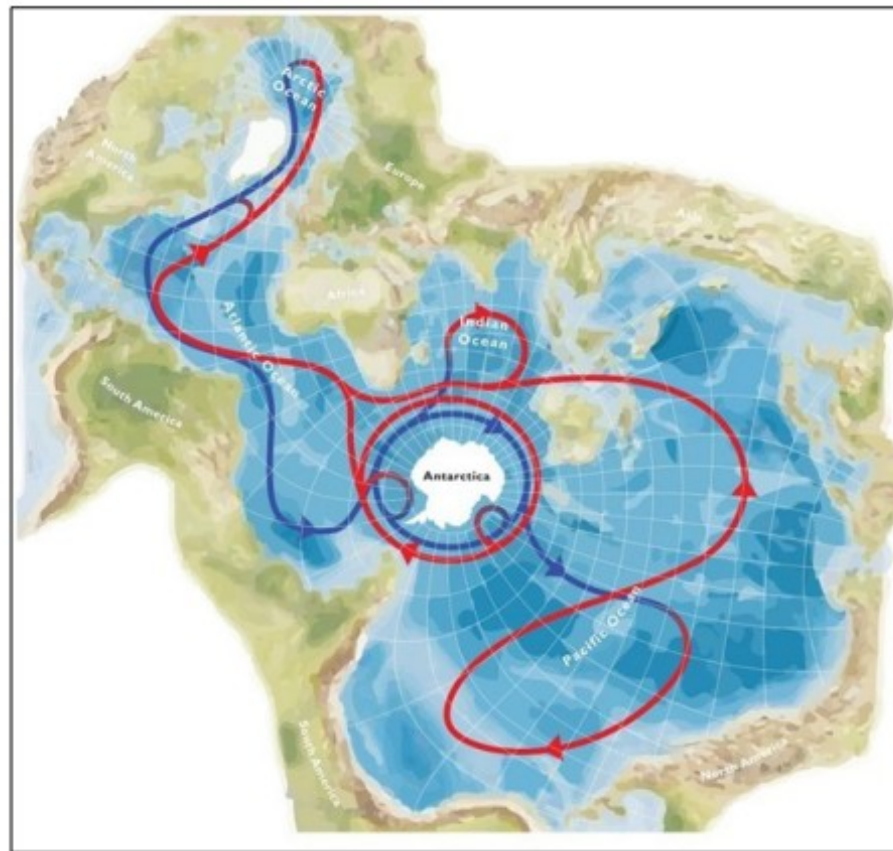
Photographie de moraine

Photographie de tillite, issue de la
compaction de moraine



Document 29 : le courant circum polaire isolant l'Antarctique

La disposition des continents à une époque donnée modifie également les courants océaniques et peut renforcer des conditions climatiques à un endroit donné comme par exemple le courant actuel circum-antarctique qui isole le continent Antarctique et contribue à y maintenir de façon stable des températures très froides.

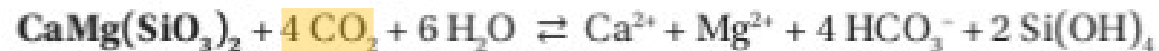


Par ailleurs les subductions et collisions lors des phases orogéniques pouvant être associées aux mouvements des plaques lithosphériques ainsi que le volcanisme influencent également le climat (CfBGA)

➤ Les phases post orogéniques d'altérations

Les reliefs formés comprennent de nombreux **silicates** dont l'altération piège le **CO₂ atmosphérique** dans les **roches carbonatées** (Cf BGA) qui contribue à **diminuer la teneur atmosphérique en CO₂** et participe au refroidissement. **On observe ainsi systématiquement un refroidissement suite à une phase orogénique.**

Équation-bilan de l'hydrolyse d'un **pyroxène** :



Équation-bilan de l'hydrolyse d'un **plagioclase calcique**

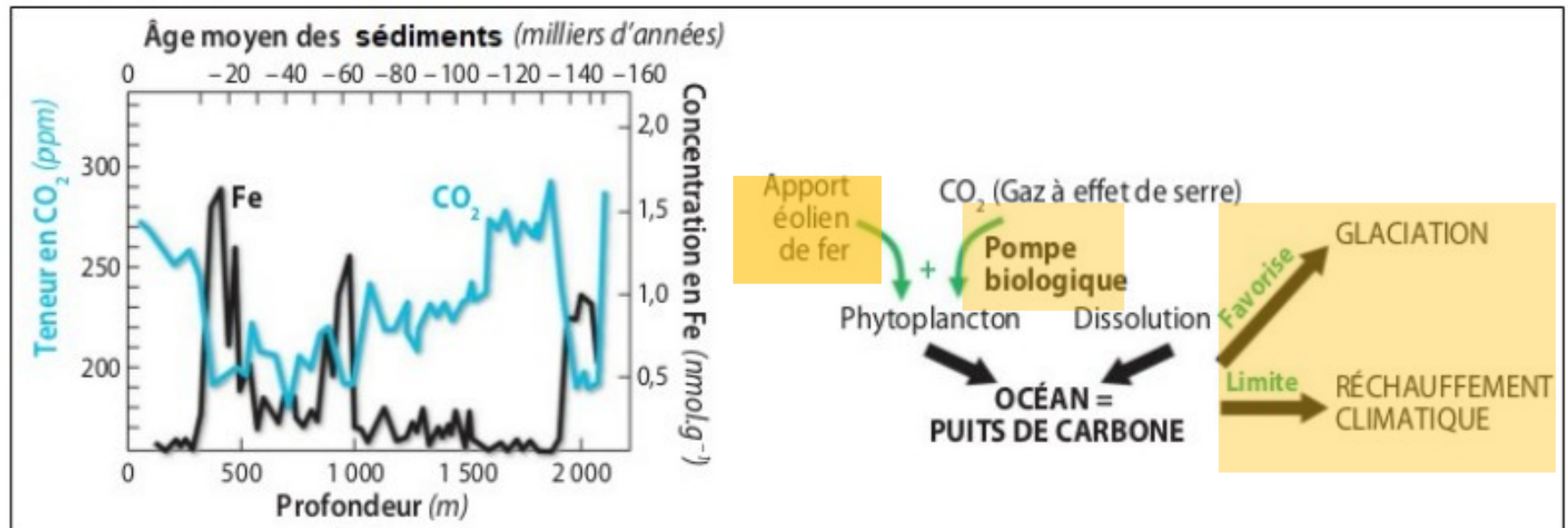


Document 30 : conséquences possibles sur les variations climatiques de fers éoliens.

De plus l'altération des roches silicatés en zone équatoriale libère du fer pris en charge par les vents, on parle de fer éolien, or le fer stimule la production de phytoplancton et contribue ainsi à piéger du carbone atmosphérique par la pompe biologique océanique.

Les poussières transportées lors de ses grands épisodes d'altération et de « fertilisation des océans » pourraient aussi expliquer les baisses de températures observées les derniers milliers d'années. La corrélation des augmentations des apports en fer éolien avec les pics dans les variations des paramètres orbitaux pourrait expliquer l'entrée en période glaciaire.

Document 30 : correlations entre les variations de fer et les variations de la teneur en CO_2 atmosphérique sur les 60 milliers d'années. .

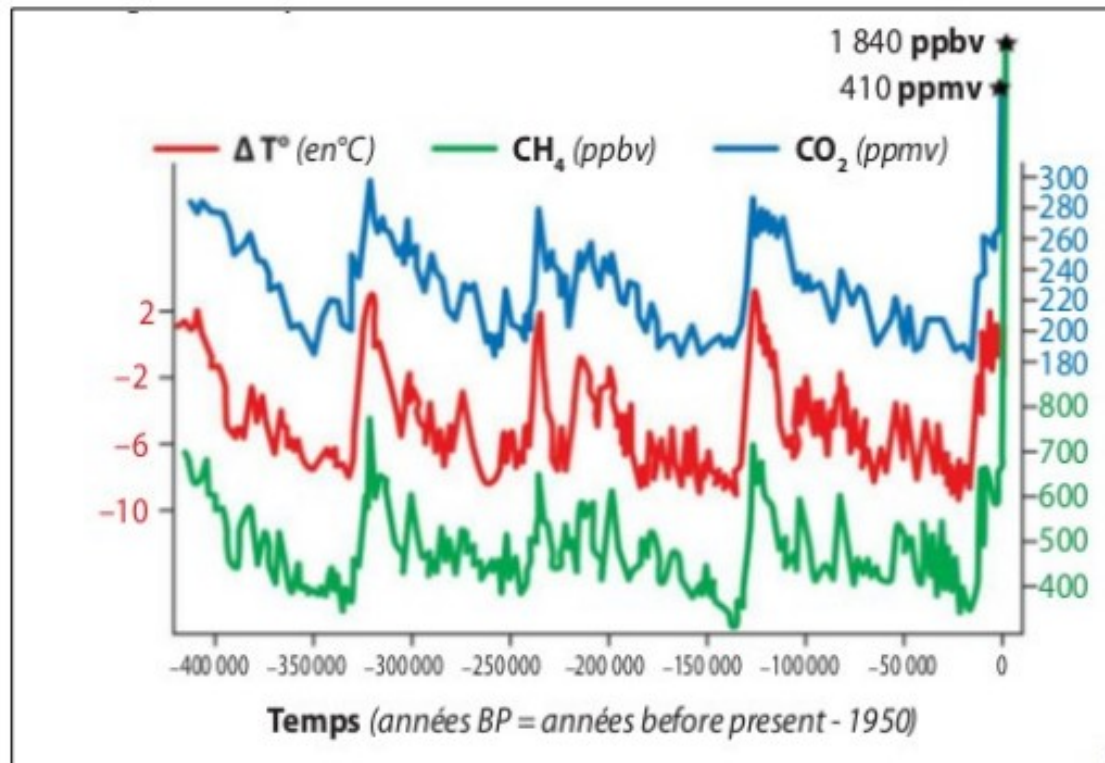


3. les mécanismes amplificateurs des variations climatiques ou mécanismes de forçage

3.1 les variations climatiques sont corrélées avec les variations atmosphériques du CO₂ et des gaz à effet de serre

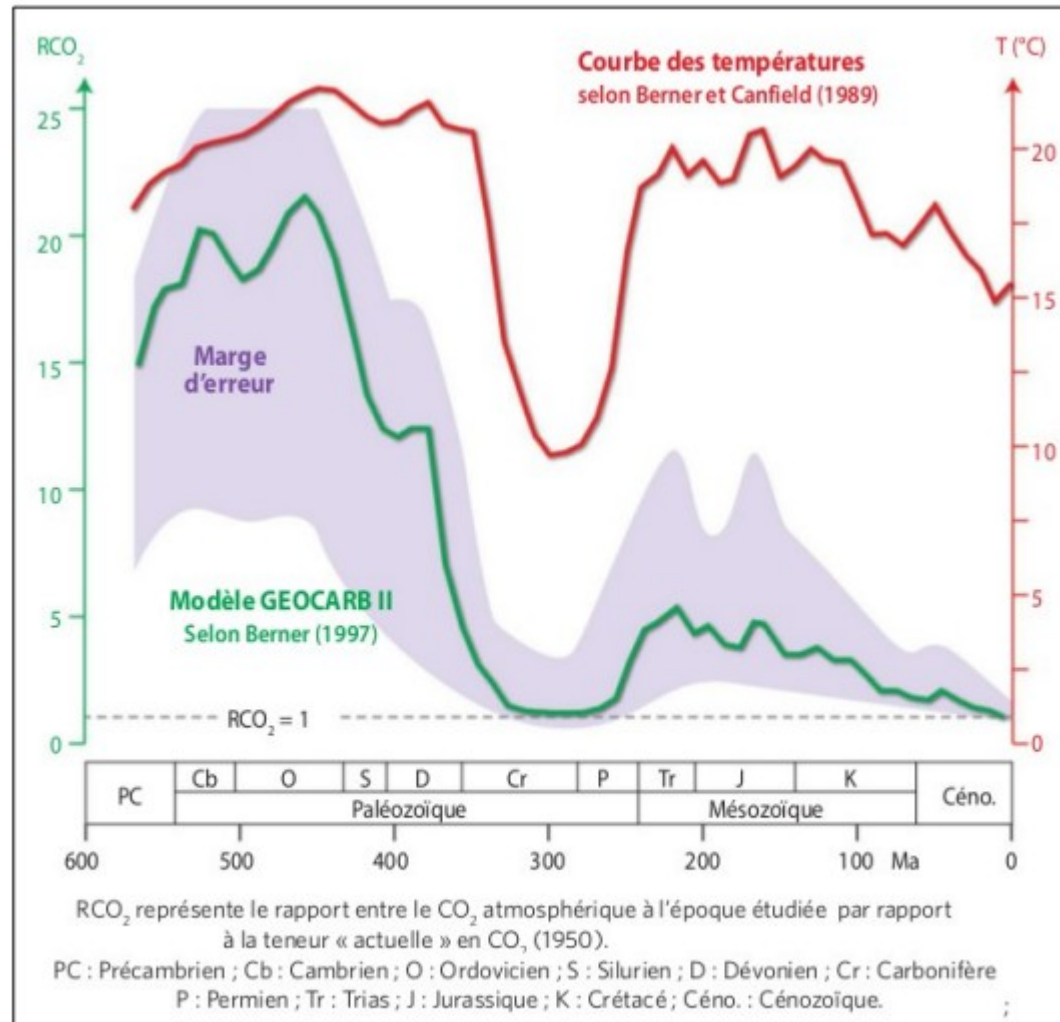
document 31 : variation de la température au pôle Nord déduite des variations du $\delta^{18}O$ et les teneurs en gaz dans les bulles piégées lors de la formation des glaces.

Les glaces des calottes polaires piègent également des bulles de gaz qui permettent de remonter à la composition de l'atmosphère lors de leur formation et de connaître les teneurs en CO₂ et CH₄ à ces instants. Les mesures révèlent une **très forte corrélation entre les variations de température au cours du dernier million d'années et les variations des teneurs atmosphériques en gaz à effet de serre.**



Document 32 : corrélations entre les teneurs en CO_2 atmosphérique et les variations de température au cours des temps géologiques.

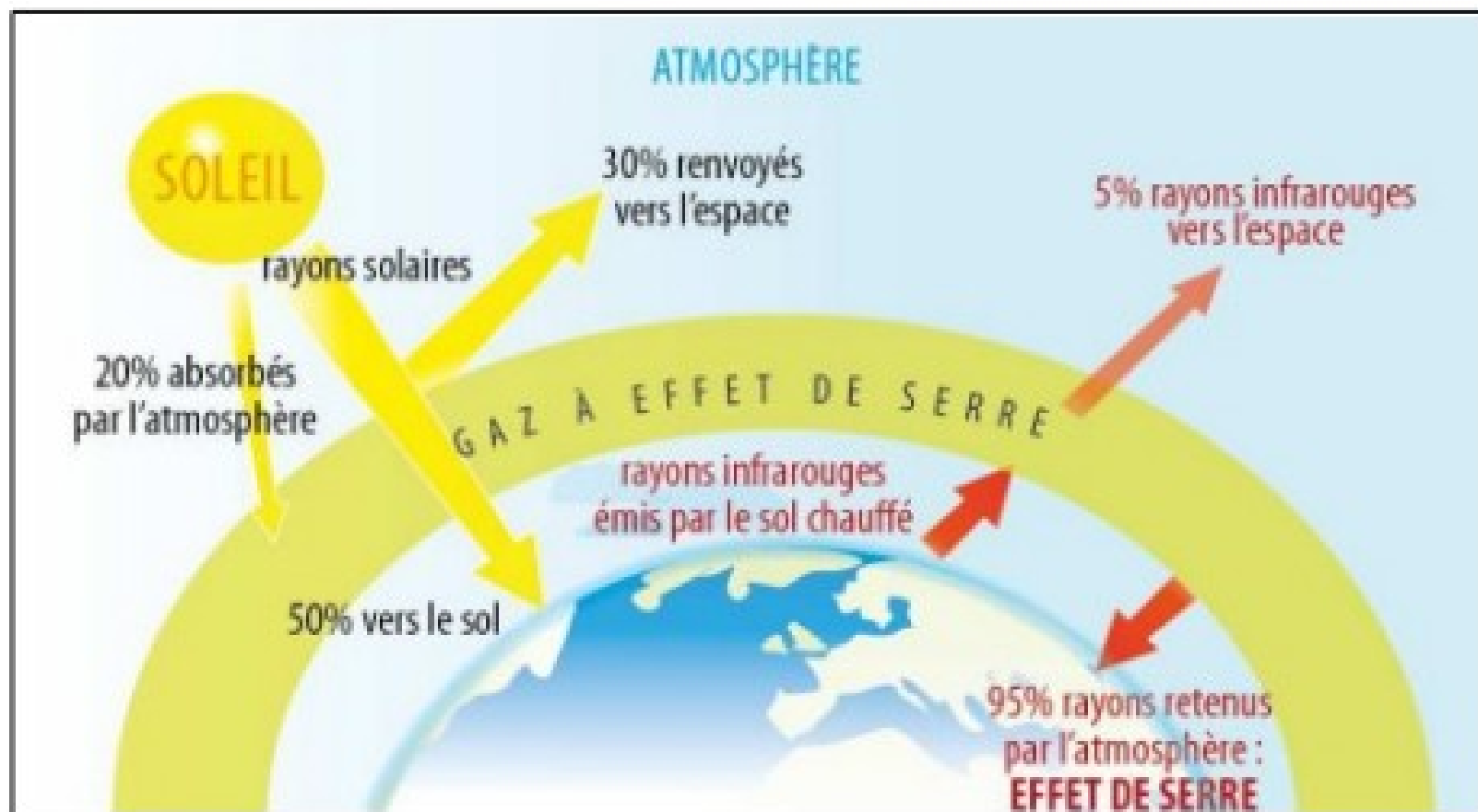
Ces corrélations s'observent plus globalement à l'échelle des temps géologiques



Document 33 : principe de l'effet de serre

Les gaz à effet de serre ont une action amplificatrice des hausses de température en ayant la capacité de retenir l'énergie thermique dans l'atmosphère.

De plus en période chaude, la pompe physico-chimique océanique diminue du fait de la diminution de la solubilité du CO_2 et accentue ainsi le réchauffement.



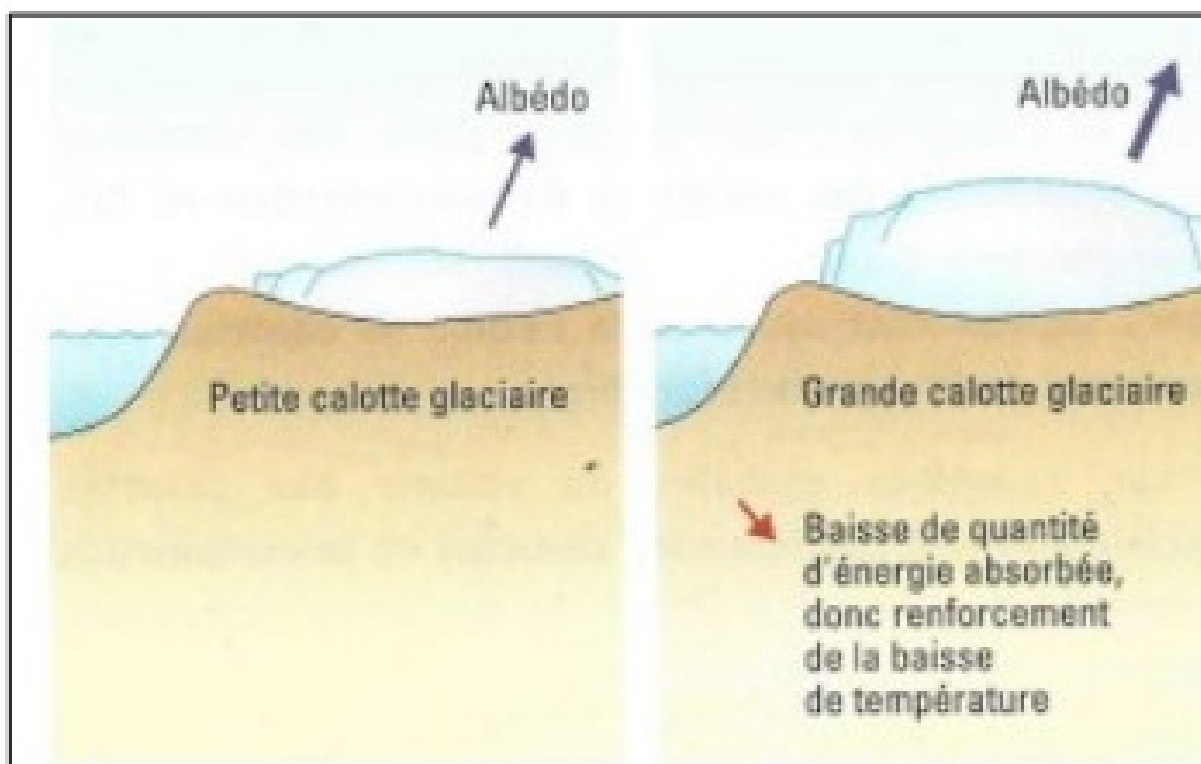
3.2 l'effet de l'albédo

document 34 : le rôle climatique de l'albédo

L'albédo est la réflexion du rayonnement solaire incident vers l'espace par la surface de la Terre.

Or la glace présente un albédo plus élevé que l'océan ou les sols continentaux, l'albédo global est donc largement contrôlé par la taille des calottes polaires. La fonte des calottes glaciaires en cas de réchauffement diminue l'albédo ce qui augmente le réchauffement.

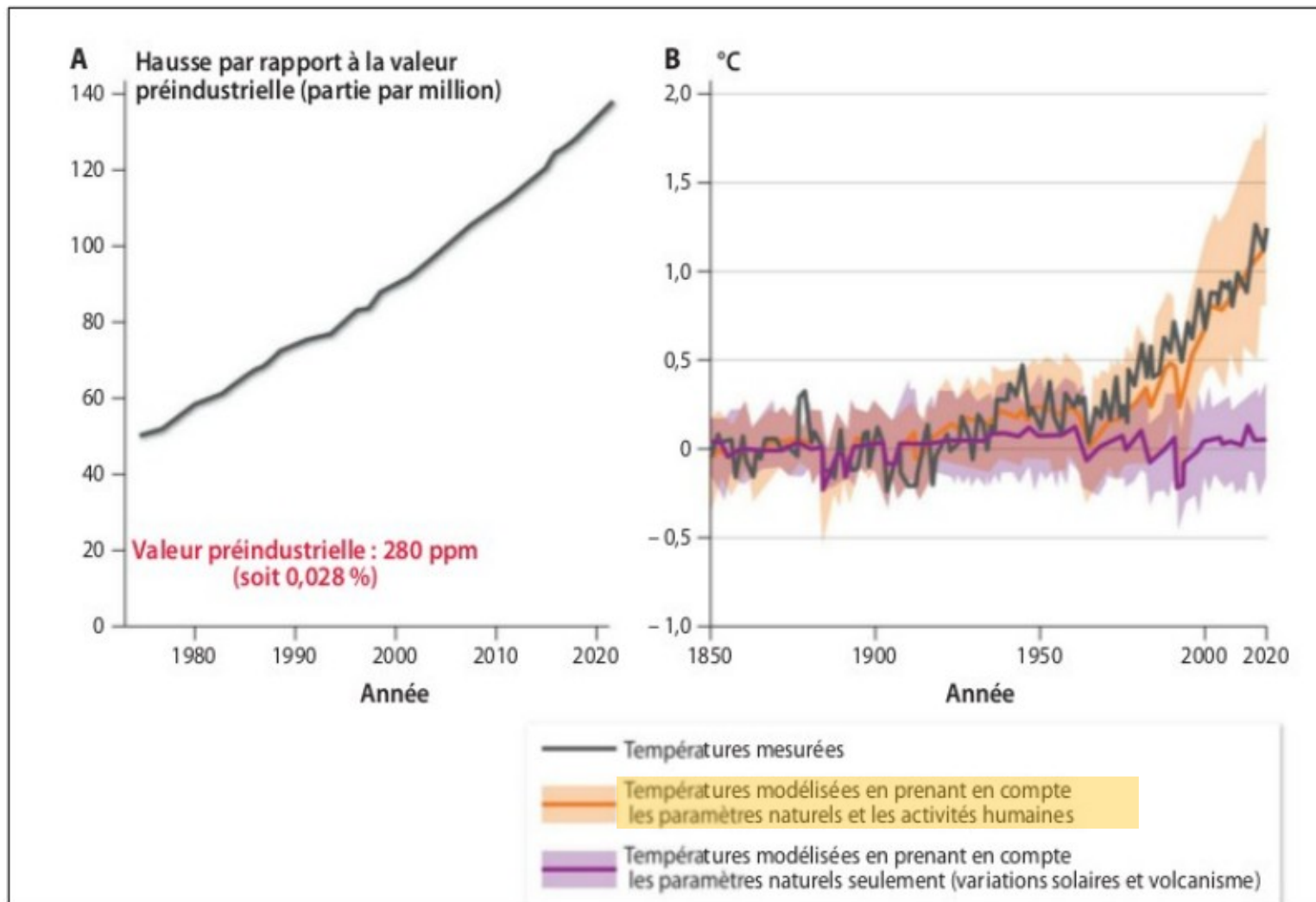
A l'inverse, l'augmentation de la taille des calottes en cas de période froide augmente l'albédo et renforce le refroidissement.



4. le changement climatique actuel est lié aux activités humaines

document 35 : mise en évidence des effets des activités anthropiques sur l'élévation de la teneur atmosphérique en CO_2 et sur la hausse des températures

Les enregistrements depuis les années 1950 mettent en évidence une hausse régulière de la teneur en CO_2 atmosphériques.



5. Le temps de réaction du système climatique à une perturbation dépend des rétroactions entre les différentes enveloppes terrestres

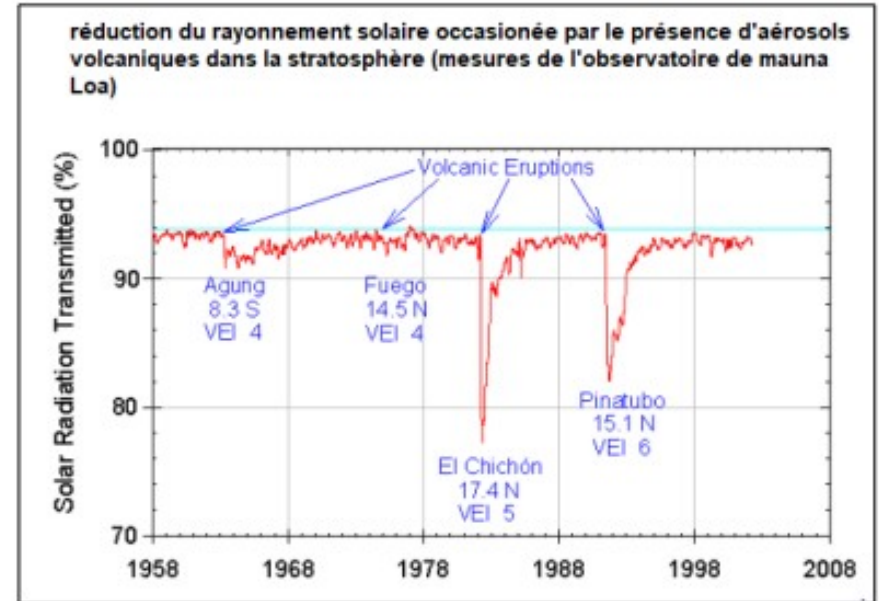
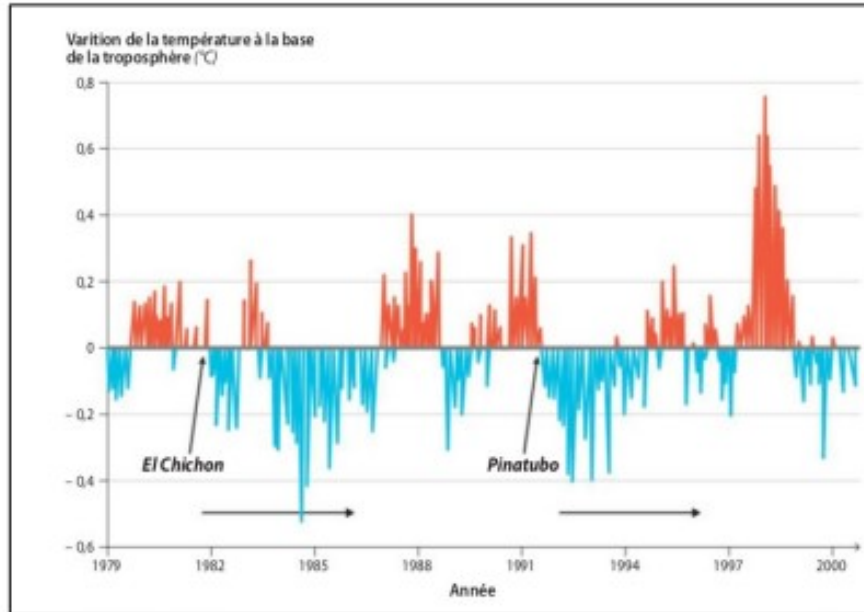
Les **nombreuses interactions entre les enveloppes terrestres** (cf BGA) se font à **des échelles de temps différents**.

Par exemples :

- la **hausse du CO2 atmosphérique est inférieure à l'ensemble des émissions anthropiques du fait des pompes biologique et physico-chimique océaniques** exerçant une **rétroaction négative** sur le **forçage anthropique**.
- Mais la **fonte des glaces**, conséquence du réchauffement climatique actuel **diminue l'albédo** et exerce une **rétroaction positive**, **de plus le réchauffement ralentit la pompe physico-chimique océanique** et atténue sa rétroaction négative.

Ces rétroactions à court terme montrent qu'un retour à un état stationnaire sur quelques siècles voire millénaires (!) pourrait être envisageable à moyen terme si le forçage anthropique diminuait.

document 36 : le forçage naturel à l'échelle de quelques années lors d'une éruption volcanique de grande ampleur.



Des évènement géologiques ponctuels peuvent également être à l'origine d'un forçage naturel et perturber transitoirement le système climatique avec un retour rapide à l'état stationnaire.

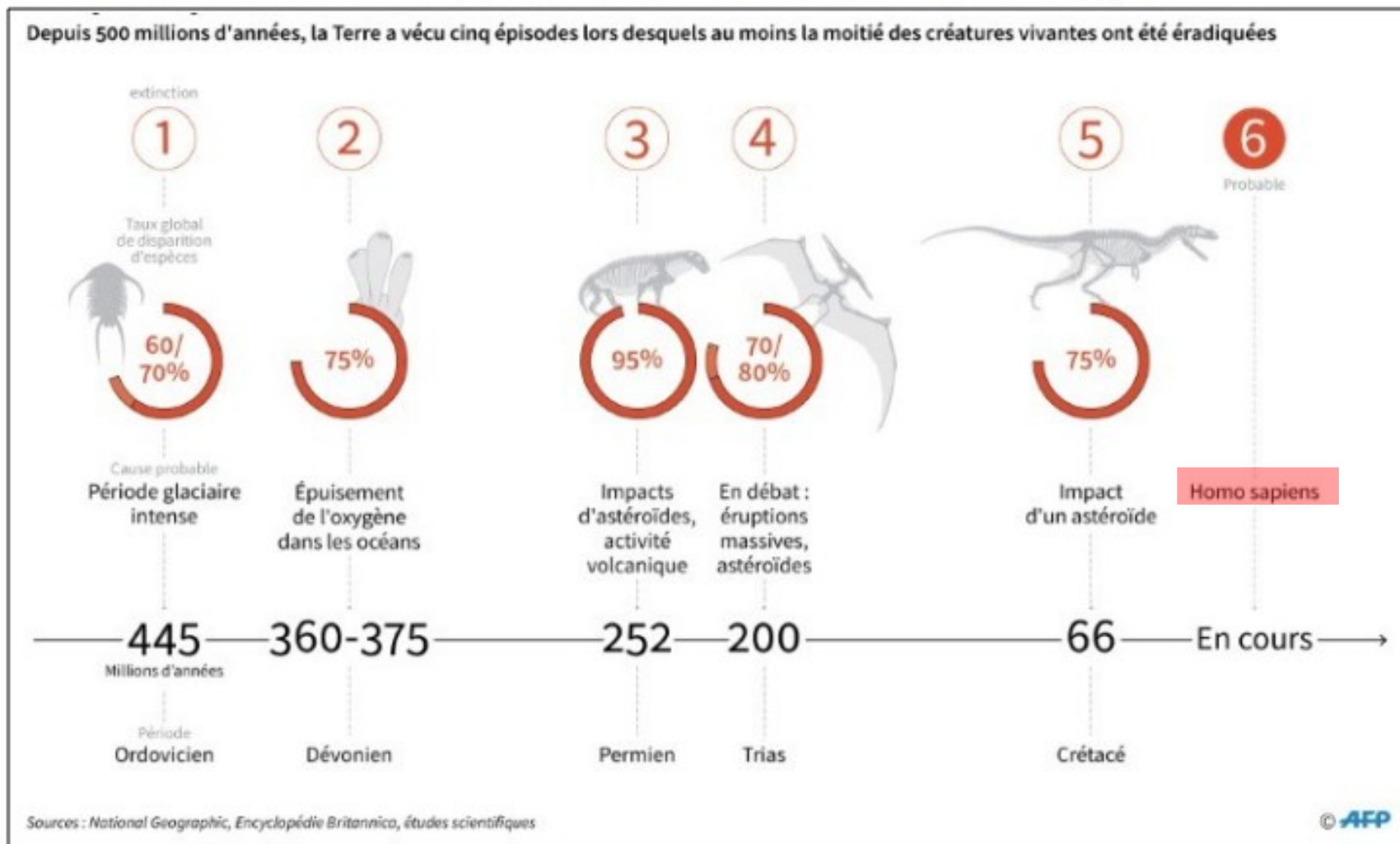
C'est l'exemple des grosses éruptions volcaniques telles que celle d'El Chichon au Mexique ou du Pinatubo aux Philippines ayant entraîné une diminution des températures par l'émissions de poussières diminuant l'arrivée du rayonnement solaire à la surface de la Terre.

A l'inverse, l'altération des silicates en phase post orogénique sont des processus lents dont les effets se mesurent sur plusieurs dizaines de millions d'années et engendre une modification beaucoup plus durable du climat.

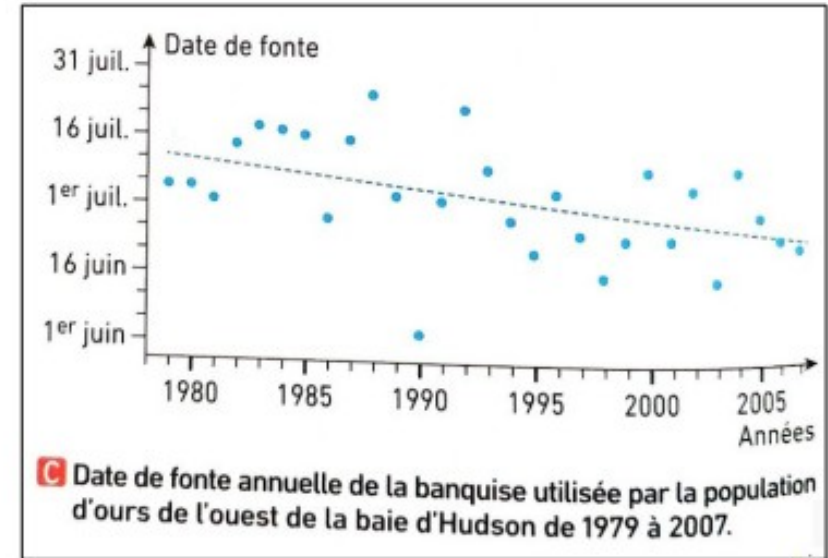
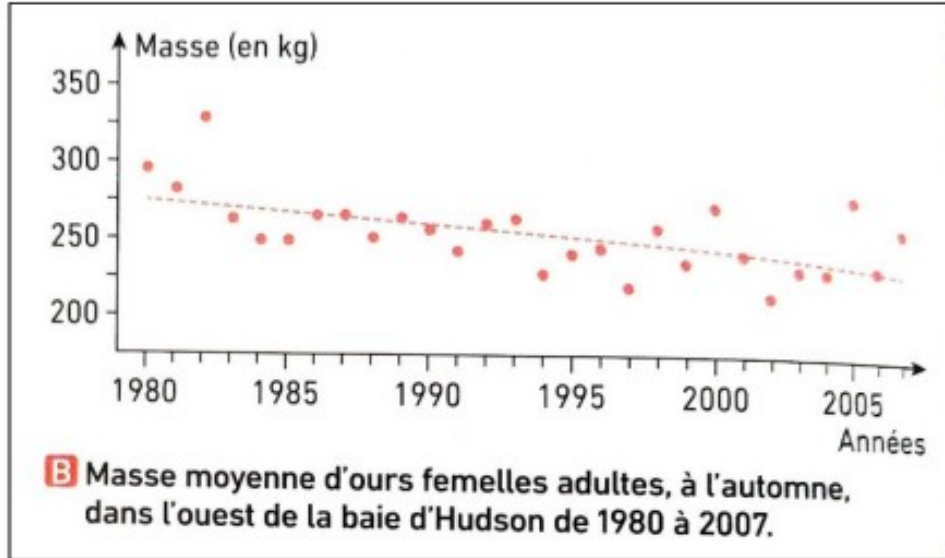
IV. Les impacts sur la biodiversité du changement climatique actuel

1. la diminution de la biodiversité s'observe à toutes les échelles

document 37 : les extinctions de masse de la biodiversité au cours du Phanérozoïque



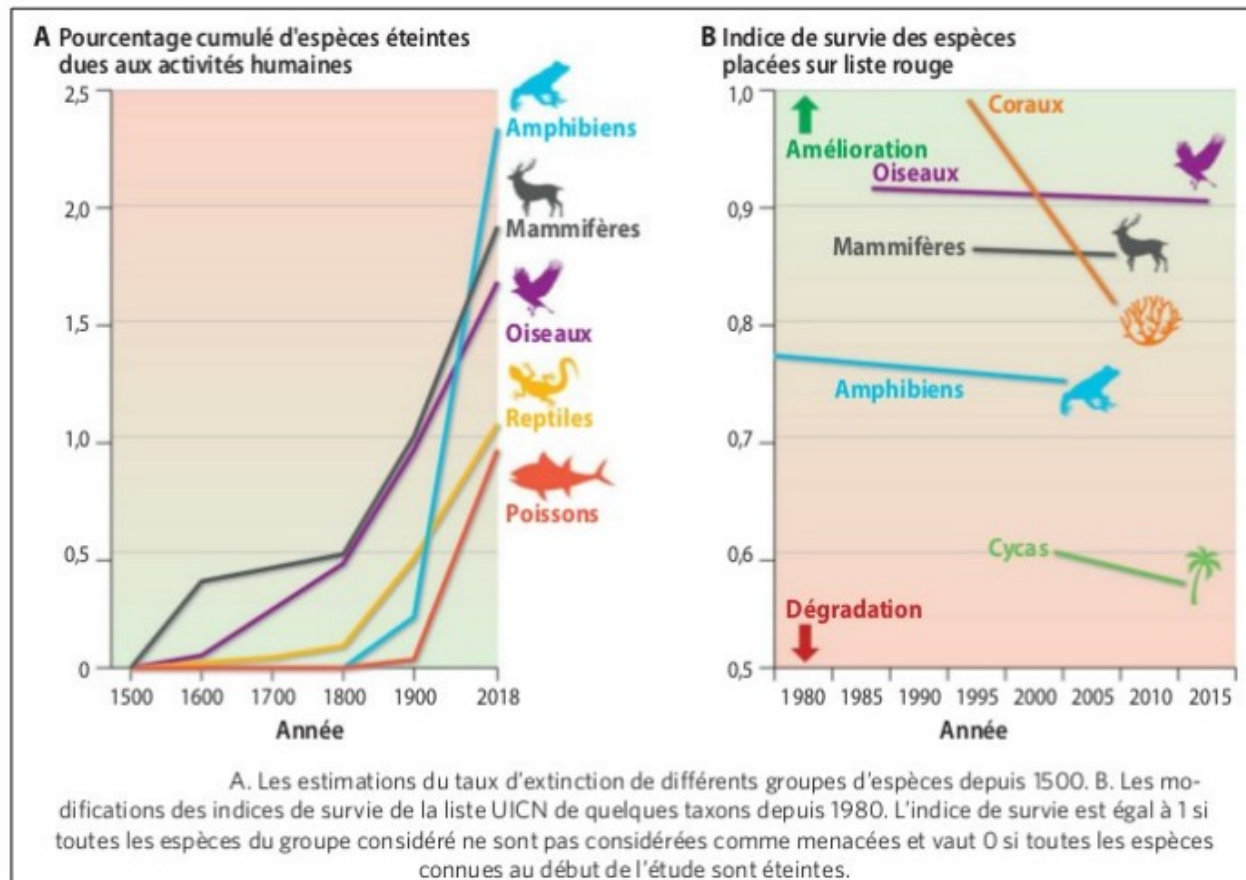
document 38 : corrélations entre la précocité saisonnière de la fonte de la banquise et le poids des Ours polaires à l'automne



Les activités anthropiques sont directement à l'origine de l'effondrement de la biodiversité animale mondiale dont les principales causes sont la destruction des habitats naturels, l'introduction d'espèces invasives, la dispersion de polluants chimiques et la surexploitation de certaines ressources.

Le réchauffement climatique amplifie cette crise décrite par les paléontologues comme la 6e extinction de masse, en modifiant les paramètres climatiques du biotope. Les mesures des taux d'extinctions montrent une nette augmentation de la disparition des espèces depuis la révolution industrielle.

document 39 : conséquences des activités anthropiques sur la biodiversité

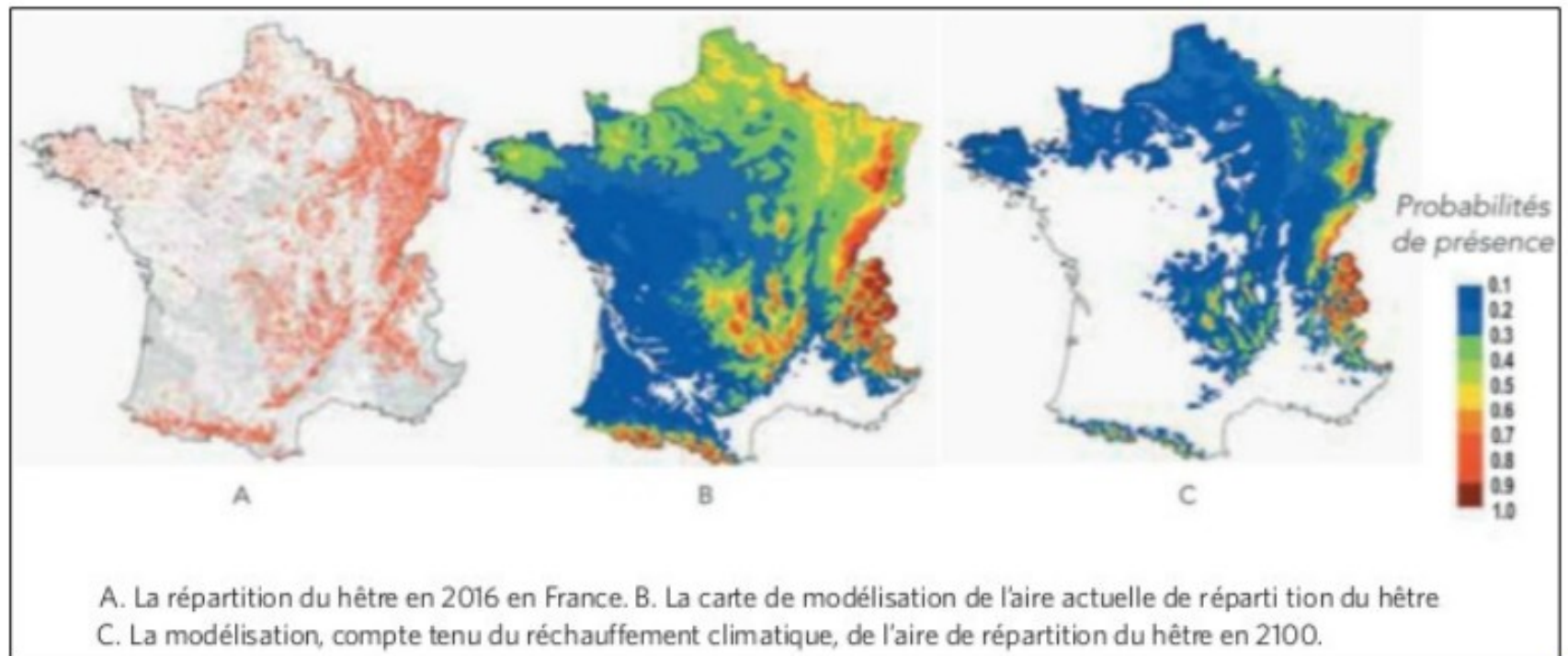


2. le réchauffement climatique en modifiant les niches écologiques entraîne des modifications de répartition des espèces et des modifications phénotypiques conduisant à une sélection directionnelle. (cf SVK)

Il résulte des modifications climatiques, l'apparition de **nouvelles pressions de sélection sur les populations** qui répondent à celles-ci de différentes façons :

➤ le changement des aires de répartition

document 40 : changement de l'aire de répartition du Hêtre du fait du réchauffement climatique

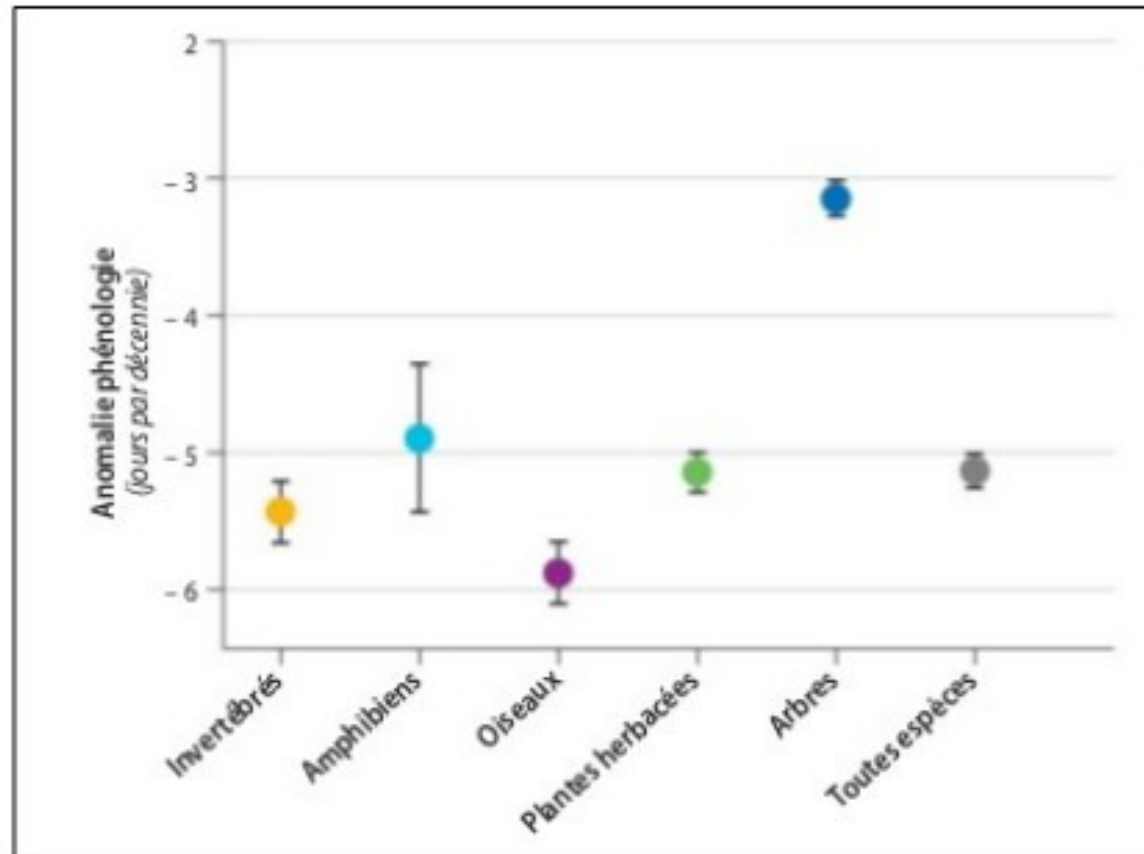


➤ Les modifications phénologiques témoignent de l'acclimatation et l'adaptation de certaines espèces

Document 41 : anomalies phénologiques observées pour différentes espèces sur les 45 dernières années

La **phénologie** étudie l'ensemble des variations périodiques observées dans le cycle de vie des êtres vivants comme par exemple les dates de débourrement des bourgeons, de floraison, de la chute des feuilles caduques, des pontes des Oiseaux ...

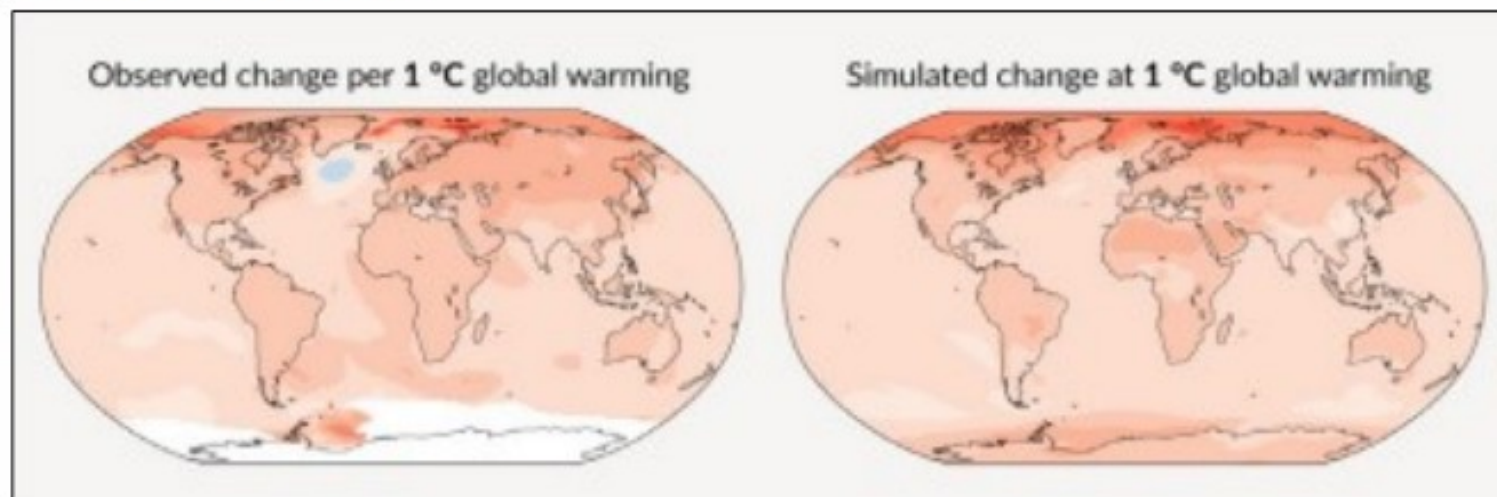
En moyenne, on observe chaque année en région tempérées l'avancée de plusieurs jours des reprises de vie active et un retardement de l'entrée en vie ralentie depuis les 45 dernières années



Ces adaptations physiologiques peuvent avoir pour conséquence la modification de la valeur sélective de certaines espèces plus précoces et entraînent une sélection directionnelle avec des comportements reproducteurs avancés

V . Conclusion : quelles prévisions pour le futur ?

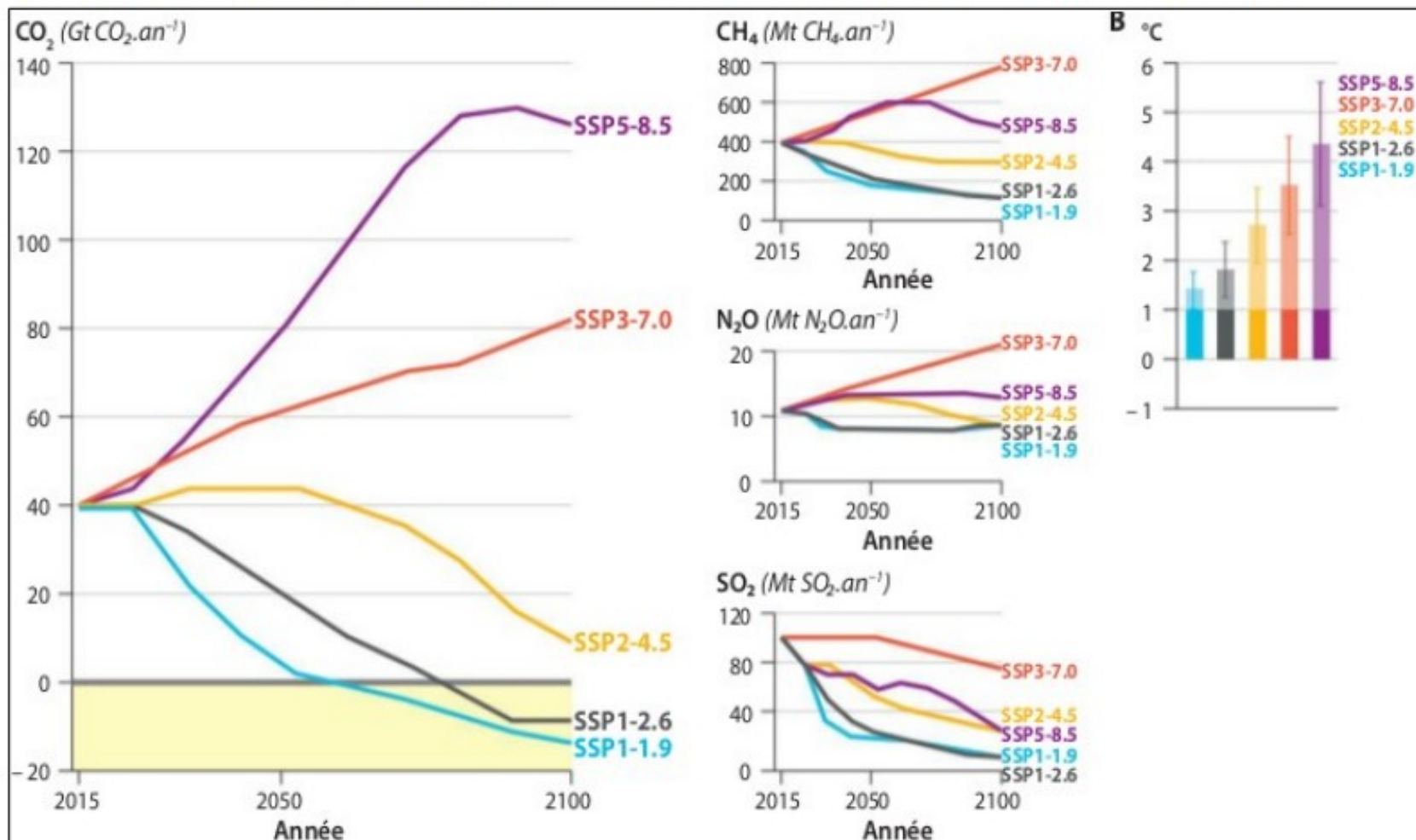
Document 42 : la difficulté de prévoir, comparaison entre le réchauffement observé et celui simulé par rapport à la période 1850 - 1900



L'étude des variations climatiques et la compréhension des interactions entre les enveloppes terrestres sont fondamentales pour établir des prévisions et se préparer au changement climatique actuel mais les modèles climatiques développés par le GIEC se heurtent à différents obstacles :

- la difficulté d'évaluer précisément certains flux entre les réservoirs biogéochimiques-chimique
- la difficulté de prévoir l'évolution des systèmes tampons
- le manque de données provenant de certains pays et l'impossibilité de prévoir les décisions politiques et l'évolution des modèles économiques choisis

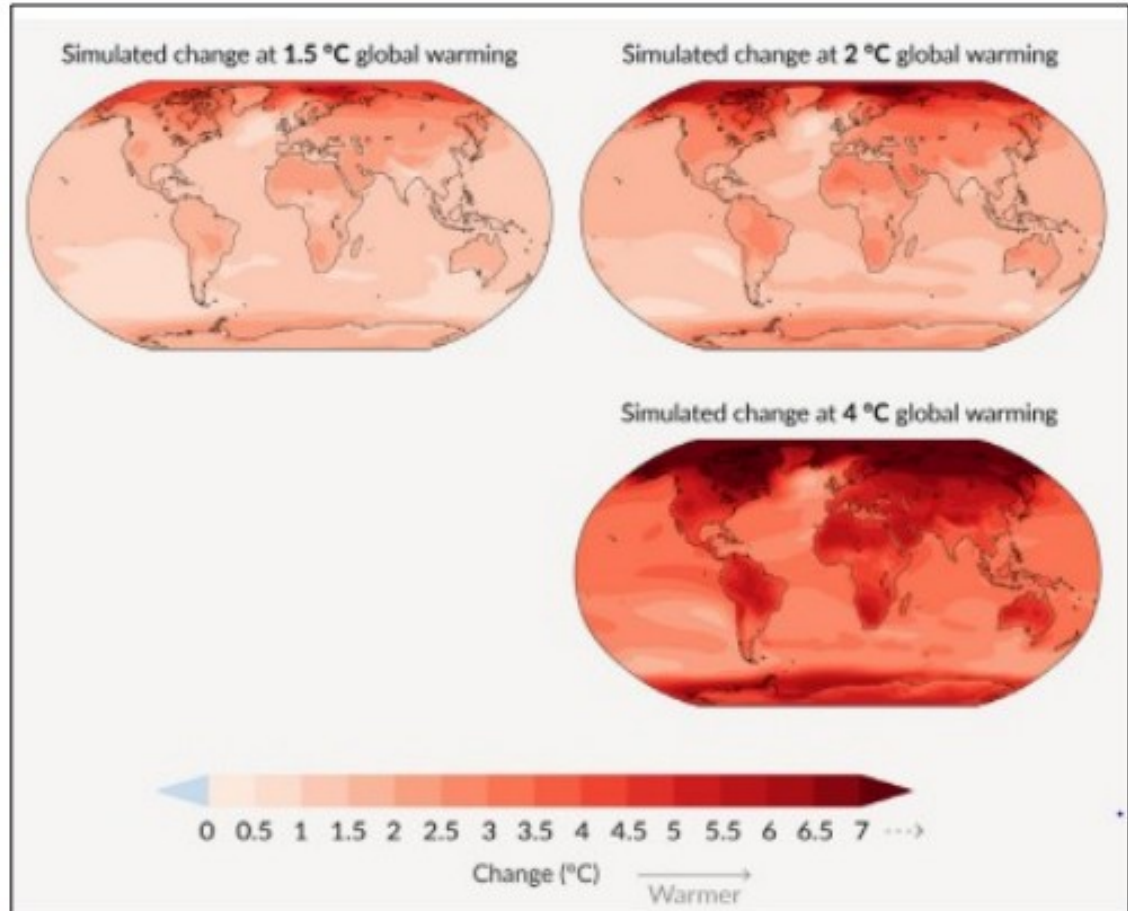
Document 43 : les projections climatiques du GIEC selon différents scénarios jusqu'à l'horizon 2100



→ **Etablir la relation entre les différents scénarios envisagés et les projections de hausse des températures.**

Plusieurs projections ont été proposées dans les derniers rapport du GIEC et pratiquement toutes, prévoient une **hausse des températures allant de 1,5°C à 4,5°C d'ici l'horizon 2100.**

Document 44 :répartition du changement de température moyenne annuelle pour différents niveaux ce réchauffement global.



Ces hausses de températures ne serait cependant pas les mêmes en fonction des latitudes.

Quoiqu'il en soit **les conséquences probables du réchauffement climatique actuel et à venir seront :**

- la **fonte complète ou quasi-complète de la banquise** et des glaciers
- un **ralentissement de la circulation thermohaline**
- une **réduction des flux d'eau douce sur les continents**
- une **hausse du niveau marin** non seulement du fait de la fonte des glaciers mais également du fait **de la dilatation thermique des océans**
- un **recul des côtes** et des déplacements de populations s'y trouvant
- une **acidification des océans**