

CLIMAT ET VARIABILITÉ CLIMATIQUE

posters de révisions

- BGC1 L'atmosphère et l'océan
- BGC2 Les circulations atmosphériques et océaniques
- STE Le phénomène sédimentaire

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.

mise en contexte et émergence de la problématique :

document 1 : carte de répartition des 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 = rappels de 1ère année

L'inégale répartition de l'énergie solaire à la surface de la Terre est à l'origine des **mouvements convectifs de l'atmosphère** qui entraîne une **répartition latitudinale des climats**.

La **force de Coriolis**, liée à la rotation de la Terre sur elle même, découpe les **cellules atmosphériques** et explique les grandes zones dépressionnaires et anticycloniques.

Les **courants atmosphériques**, principaux **moteurs des courants océaniques de surface**, sont à l'origine d'un couplage entre atmosphère et océan et les courants océaniques de surface entraînent des **variations climatiques pour une même latitude**.

Document 3 : répartition des grands biomes terrestres

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

Les massif montagneux entraînent également des modifications locales des climats.

Les climats définissent une partie des paramètres abiotiques (les autres étant les paramètres édaphiques), d'un écosystème et **donc déterminent la répartition des grands écosystèmes terrestres**. Ils ont donc une **importance fondamentale dans la composition de la biodiversité et toute modification à des conséquences sur la répartition des êtres vivants**.

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

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

Des témoins du passé nous révèlent que **des climats très différents se sont succédés au cours des temps géologiques**.

Problématique :

*Comment reconstituer des variations climatiques passées, quels sont les facteurs responsables des variations climatiques et en quoi leur étude permet-elle de réaliser des projections climatiques ?
Enfin, 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

document 8 : explication de la cause des saisons

Au cours de l'année la position des cellules atmosphériques varie **du fait de l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre**. La zone de BP équatoriale entre les deux cellules de Hadley (des hémisphères N et S), qualifiée de « **zone de convergence intertropicale** » ou **ZCIT**, ou encore **d'équateur météorologique**, se **déplace vers le nord en été au dessus de l'Inde**, alors qu'elle est **plus au sud en hiver**, dans l'océan Indien.

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

Document 10 : carte topographique du continent Indien

Document 11 : explication du phénomène de la mousson Indienne

Au printemps les terres continentales se réchauffent plus rapidement que l'océan ayant une plus grande inertie thermique créant une **zone dépressionnaire sur l'Himalaya du fait de l'ascension de l'air chaud**. Cela provoque alors un **flux d'air de surface** se traduisant par des vents puissants et réguliers, **qui se charge d'humidité au dessus de l'Océan Indien progresse vers l'Himalaya**. **Bloqué** par ce haut relief, **l'air humide s'élève** et atteint la pression de vapeur saturante entraînant alors les **fortes précipitations** caractéristiques de la mousson d'été.

En conclusion : La mousson d'été est la **conséquence de forts contrastes thermiques entre l'océan et le continent Indien**, qui modifient 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 moraines

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

➤ 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** déposées **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**.

Dans les vallées glaciaires, la successions des lacs et l'étude des varves permettent la datation du recul des glaciers.

➤ Les terrasses fluvio-glaciaires

Document 14 : les terrasses fluvio-glaciaires

En aval des moraines en fond de vallées, on trouve des **alluvions fluvio-glaciaires** faits 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**.

➤ 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 glaciaires, 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, **les 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 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**.

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 :

$$\delta^{18}\text{O} = \left(\frac{\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{échantillon}}}{\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{référence}}} - 1 \right) \times 1000$$

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

- **En période de sortie de glaciation**, 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 $\delta^{18}\text{O}$). 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 $\delta^{18}\text{O}$).
- **En période chaude équatoriale**, l'évaporation se fait plus intense et donc le rapport $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ augmente dans la vapeur d'eau alors qu'il diminue dans les eaux océaniques (faible $\delta^{18}\text{O}$) 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 $\delta^{18}\text{O}$).
En parallèle, la fonte des glaces libère des eaux appauvries en ^{18}O , ce qui tend à abaisser également le $\delta^{18}\text{O}$ des océans.

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

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

Attention le $\delta^{18}\text{O}$ varie donc de manière inversée dans la glace et dans les sédiments.

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

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**.

On peut donc définir de manière analogue un $\delta^{13}\text{C}$.

$$\delta^{13}\text{C} = \left(\frac{\left(\frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}} \right)_{\text{échantillon}}}{\left(\frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}} \right)_{\text{référence}}} - 1 \right) \times 1\,000$$

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

- **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 25: 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 équinoxes 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.

*remarque : Il faut de plus ajouté à cela les **variations de l'activité solaire**, avec l'apparition des tâches 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 26 : reconstitution paléogéographique des continents au Carbonifère supérieur à partir notamment des tilites d'âge carbonifère permien

Les traces de glaciations comme les tilites, roches issues des la compactions des moraines, et leur localisation permettent ainsi de **reconstituer des paléogéographies climatiques** c'est à dire des reconstitutions des climats du passé dans une zone géographique données.

Ainsi la **disposition actuelle des tillites d'âge carbonifère- permien** (en noir) a permis ainsi de montrer que les portions de continents qui les portent étaient réunies en un **continent géant, le Gondwana, centré au pôle sud**.

Document 27 : 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 consomme du CO₂ atmosphérique** (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.**

Document 28 : conséquences possibles sur les variations climatiques de fers éoliens.

De plus l'**altération des roches silicatées 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.

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 29 : variation de la température au pôle Nord déduite des variations du δ18O 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 30 : corrélations entre les teneurs en CO₂ atmosphérique et les variations de température au cours des temps géologiques.

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

Document 31 : 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 CO₂ et accentue ainsi le réchauffement.

3.2 l'effet de l'albédo

document 32 : 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 33 : mise en évidence des effets des activités anthropiques sur l'élévation de la teneur atmosphérique en CO₂ et sur la hausse des températures

Les enregistrements depuis les années 1950 mettent en évidence une **hausse régulière de la teneur en CO₂ atmosphériques**.

Les travaux de GIEC (Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'évolution du climat) ont contribué à montrer l'**origine anthropique de ce réchauffement climatique** non seulement **par la perturbation du cycle du carbone** mais aussi celui de l'**azote** (cf BGA)

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

Des évènements 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 35 : les extinctions de masse de la biodiversité au cours du Phanérozoïque

document 36 : corrélations entre la précocité saisonnière de la fonte de la banquise et le poids des Ours polaires à l'automne

document 37 : conséquences des activités anthropiques sur la biodiversité

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.

Au delà des espèces, ce sont toutes les biocénoses qui sont affectées par la perturbation des relations interspécifiques et les atteintes portées aux espèces « clé de voûte » (et/ou ingénieurs) comme par exemple les coraux.

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 répartitions

document 38 : changement de l'aire de répartition du Hêtre du fait du réchauffement climatique

Ce changement est le fait des **déplacements des niches écologiques vers des plus hautes latitudes ou altitudes**. Ces changements d'aire de répartitions ont des **impacts sur les réseaux trophiques et les relations interspécifiques**.

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

Document 39 : 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 40 : 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' et l'évolution des modèles économiques choisis

Document 41 : les projections climatiques du GIEC selon différents scénarios jusqu'à l'horizon 2100

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 42 :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**