

BIO-Géosciences : « Climat et variabilité climatique » (BG-C-3)***Avertissement général pour ce cours :***

- un gros morceau en termes de connaissances à acquérir et un chapitre qui s'appuie réellement sur le cours de spé de terminale → commencer travailler le plan du chapitre afin de vous y retrouver, notamment pour la partie 2
- comme pour certains cours de géologie et de biogéosciences, il y a un déséquilibre dans le ratio schémas/notions pour les objectifs de connaissances peu de schémas et beaucoup de notions, donc peu de « visuel » et beaucoup de texte ce qui complique le ciblage habituel des fiches de révisions qui sont axées sur les schémas en biologie. Donc n'oubliez pas les notions seules !

Le plan de chapitre :

Les phrases du programme en vert et en italiques (la colonne de gauche)

I/ La mousson : un exemple de couplage climatique océan-atmosphère à courte échelle de temps

(en italiques les révisions de sup)

La mousson est la conséquence des forts contrastes thermiques qui se créent entre l'océan et le continent et qui modifient le régime des vents, en lien avec la position de l'équateur météorologique. Ces grandes amplitudes de températures observées résultent essentiellement d'influences géographiques.

1°/ Quelques généralités et rappels de sup sur les couplages atmosphère-océan

a/ La nature des couplages entre les enveloppes fluides

b/ Un exemple de couplage : circulation atmosphérique et circulation océanique dans l'Atlantique nord

α/ Rappel sur la circulation troposphérique avec l'exemple de la cellule de Hadley

β/ Couplage et courants océaniques de surface dans l'Atlantique nord

2°/ Le cas de la mousson

a/ Les caractéristiques d'un climat de mousson

α/ Les grandes lignes d'un climat de mousson

β/ Quelques rappels sur le contraste thermique saisonnier et les transferts thermiques inter-hémisphères

γ/ Contraste thermique océan-continent et mousson

b/ La variabilité des moussons à différentes échelles de temps

c/ Réchauffement climatique et mousson

II/ Les reconstitutions climatiques à longue échelle de temps**Rappel du code couleurs de cette partie 2 :**

- en noir : notions du lycée et logiquement de prépa également même si c'est parfois implicite. La version prépa ira simplement plus loin dans les détails explicatifs à connaître. La couleur noire correspond à une tendance majoritaire même si ponctuellement certains passages peuvent être spécifiques prépa.
- en bleu : notions spécifiques lycée pas trouvées dans les phrases de prépa
- en violet : notion spécifiques ciblées programme bcpst et pas vues au lycée (en terminal ES ou spé SVT, on n'a pas été voir en seconde et première)
- en police plus petite et en marron, passages étoile. Pas beaucoup apparemment mais en fait l'étoile est davantage dans un saupoudrage de petites phrases non identifiables facilement, donc la qualité de la mémorisation générale du chapitre
- en rouge des révisions d'autres chapitres de bcpst

1°/ Indices et outils géologiques pour connaître les climats du passé

L'étude des paléo environnements, sur la base des archives sédimentaires et fossiles, permet de reconstituer la variabilité climatique temporelle à l'échelle locale et la paléozonéographie climatique à l'échelle globale.

a/ Des exemples de reconstitutions de paléoenvironnements et de paléoclimats

α/ Un faciès de roche sédimentaire → un climat local

β/ Des faciès qui se succèdent → un climat local qui évolue

b/ Des informations « pétrographiques »

α/ un exemple majeur de reconstitution climatique basée sur une analyse des roches à toutes échelles : le modelé glaciaire

β/ A l'échelle du minéral

γ/ A l'échelle de la roche

δ/ A l'échelle de la succession des dépôts

ε/ A l'échelle de l'affleurement et du paysage

c/ Des informations paléontologiques

α/ Etude des faunes

β/ Etude des flores

d/ Distinguer climat local et paléozonéographie climatique globale

e/ Des informations « chimiques »

α/ Les isotopes stables de l'oxygène : marqueurs des variations climatiques et du niveau de la mer

αα/ Isotopes de l'oxygène dans l'eau et archives glaciaires

αb/ Isotopes de l'oxygène dans les tests carbonatés du plancton et variations du niveau de la mer et du volume de glace

β/ D'autres informations « chimiques » issues des carottes de glace

γ/ Des informations indirectes issues rapports isotopiques du carbone et de la production photosynthétique

δ/ Des informations « chimiques » issues des coraux

2°/ Des processus qui contrôlent, modulent, amplifient, atténuent, le climat du passé et du futur avec des périodes de temps variables

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

Certains de ces facteurs se reconnaissent aux temps caractéristiques des signaux induits (de 10 ka à 400 ka pour les paramètres orbitaux jusqu'à plusieurs dizaines de Ma pour les processus géologiques).

a/ L'importance des paramètres astronomiques du mouvement et de la position de la Terre dans les variations climatiques

b/ L'importance des paramètres physico-chimiques : les variations de l'effet de serre planétaire

α/ Rappels : quelques notions sur l'effet de serre

β/ Les variations de gaz à effet de serre et les variations climatiques

βa/ Principe général

βb/ Le cas du CO₂ et des variations de son taux tout au long de l'histoire de la Terre

c/ Les paramètres géologiques et les variations climatiques

α/ Les variations de l'albédo et les variations climatiques : une cause géologique au sens large

β/ l'altération des reliefs et la consommation de CO₂

γ/ la composition de l'atmosphère et l'effet du volcanisme

d/ Les paramètres biologiques et les variations climatiques

e/ Les interactions et rétroactions entre facteurs de variations : des causes composites

Les variations de concentration du CO₂ atmosphérique et les variations climatiques sont corrélées. Il existe des rétroactions entre les différentes enveloppes terrestres qui déterminent l'échelle de temps de réaction du système climatique à une perturbation et son possible retour à un état stationnaire.

α/ Des causes biogéologiques : le cas du fer et l'entrée en glaciation

β/ Distribution des masses continentales, circulation des enveloppes fluides, albédo

γ/ La rétroaction amplificatrice positive de l'albédo

δ/ La rétroaction amplificatrice positive physico-chimique CO₂/T°

ε/ La rétroaction géologique régulatrice négative altération/CO₂/T°

ζ/ De multiples interactions et rétroactions en parallèle, et éventuellement opposées

3°/ Quelques périodes climatiques significatives dans l'histoire de la Terre

a/ Des épisodes de Terre « boule de neige » au précambrien ?

b/ Deux glaciations au primaire

α/ La glaciation permo-carbonifère

β/ La glaciation ordovicienne

c/ De la fin du Trias (200 millions d'années) aux glaciations plio-quaternaires

α/ La chaleur du jurassique et du crétacé

β/ Le refroidissement général du tertiaire

d/ Les glaciations plio-quaternaires

α/ Constater les variations climatiques du quaternaire

β/ Expliquer les variations climatiques du quaternaire

βa/ L'importance des paramètres astronomiques

βb/ Le scénario pour les glaciations du quaternaire

βc/ Le rôle du fer dans les entrées en glaciation

III/ Changement climatique anthropique et impacts sur la biodiversité

1°/ Nous vivons actuellement un forçage climatique anthropique

Le réchauffement climatique observé est attribué à l'augmentation des GES liée à l'activité humaine et la modification de l'usage des terres.

a/ la notion de forçage climatique

b/ le forçage anthropique

2°/ Les projections climatiques

Les projections climatiques montrent que l'amplitude du réchauffement varie en fonction des scénarios relatifs aux émissions de GES.

a/ des modèles qui exploitent les données du passé

b/ le pouvoir de réchauffement global (PRG) d'un gaz à effet de serre : un paramètre complexe essentiel aux projections

c/ les prévisions et projections

3°/ Les impacts du réchauffement climatique sur la biodiversité

Le changement climatique est un facteur de vulnérabilité pour la biodiversité, contribuant à l'érosion de la biodiversité.

Les effets du changement climatique sur la biodiversité s'observent à l'échelle des individus, des populations, des espèces et des communautés.

Le changement climatique peut être à l'origine d'adaptation physiologique des individus et d'adaptation évolutive des populations.

Chez beaucoup d'espèces, on observe en réponse au changement climatique une évolution de leur aire de répartition (déplacement en latitude, altitude), de leur phénologie, de leur abondance et des relations interspécifiques qu'elles entretiennent.

Les capacités d'adaptation des espèces au changement climatique dépendent de la vitesse du changement climatique.

a/ une érosion de la biodiversité à toutes les échelles

b/ des modifications des caractéristiques de la biodiversité

✓ Les TP :

Des TP sur documents papier étaient prévus par le programme, mais pas de séance effectuée, le temps de TP sera consacré à des choses plus concrètes sur matériel frais dans d'autres chapitres.

Par ailleurs certains aspects ont été vus en TP de sup comme le modelé glaciaire. Un exercice sur Vostok avec le TP mixte sur les cycles. D'autres exercices de climatologie sont en préparation.

➤ Connaissances exigibles de type schémas et graphiques

Remarques :

- *c'est un chapitre où la mémorisation se fait plus sur des notions, des ordres de grandeur, des modèles rédigés, que sur des schémas, finalement peu nombreux*
- *ce qui est nettement circulation des enveloppes fluides, effet de serre, et plus généralement une partie des révisions sont avec les fiches correspondantes*

❖ le minimum vital : (« je vais le réciter très souvent »)

- un schéma de la mousson indienne : à se construire à partir des deux cartes de la page quatre du poly, et qui montre le trajet des vents pour l'été et l'hiver, en ajoutant els légendes de T° de l'eau, de l'air, d'humidité, etc.
- un schéma de glacier de montagne avec légendes de modelé et de relief associés (dont zooms)
- formules des deux deltas isotopiques et explications références
- droite de référence $\delta^{18}\text{O}$ de l'eau et principe utilisation
- une rétroaction climatique positive
- une rétroaction climatique négative
- allure générale des courbes de Vostok depuis 400000 ans
- schéma bilan entrée en glaciation
- schéma bilan sortie de glaciation

❖ d'autres schémas plus secondaires

- un schéma de calcaire (oolithique ou à entroques, ceux du TP de sup, les incontournables) avec allochèmes et matrice, et en légendes associées les informations sur le paléoenvironnement et le paléoclimat de l'époque
- une coupe de vallée avec terrasses
- schéma explicatif $\delta^{18}\text{O}$ de l'eau sur une coupe N-S de l'hémisphère nord
- schéma explicatif $\delta^{18}\text{O}$ des carbonates
- le scénario de la glaciation permo-carbonifère (à se construire avec cadres et flèches)
- le scénario du réchauffement jurassique
- graphique allure PRG CO_2 , CH_4 , N_2O

❖ schémas « étoile »

- un schéma sur le pic thermique du toarcien, avec légendes explicatives
- allure Geocarb
- allure courbe des T° de Scotese
- oscillations des T° depuis 5 millions d'années

➤ Prise de recul, articulation avec les autres chapitres

Ciblage inscrit dans le programme, avec +/- commentaires ajoutés :

BG-C-3-1 Variabilité climatique à courte échelle de temps

- Géographie : Environnements et milieux

BG-C-3-2 Marqueurs climatiques et variabilité à longue échelle de temps

- Métabolisme cellulaire et flux de dioxyde de carbone (SV-E)
- Cycle biogéochimique du carbone, GES (BG-A-1)
- Stockage du carbone dans les sols (BG-B-2)
- Altération des silicates et piégeage du CO_2 (ST-E-1)
- La sédimentation des particules et des solutés (ST-E-2)
- Activité magmatique et émissions de gaz (ST-F-1)
- Activités de terrain

BG-C-3-3 Changement climatique anthropique et impacts sur la biodiversité

- Effet des paramètres abiotiques sur la dynamique des populations (SV-J-1)
- Modifications du biotope et incidence sur la dynamique des écosystèmes (SV-J-2-4)
- Notion d'adaptation évolutive (SV-K-1)
- Cycles biogéochimiques du carbone (BG-A-1) et de l'azote (BG-A-2)
- Activités anthropiques et gestion des sols (BG-B-2)

✓ **Capacités exigibles d'après le programme** (la colonne de droite)
(fond coloré pour la partie TP théoriquement, avec +/- des commentaires)

BG-C-3-1 Variabilité climatique à courte échelle de temps

- Exploiter des données montrant le lien entre la circulation atmosphérique, la circulation océanique et la mousson.

BG-C-3-2 Marqueurs climatiques et variabilité à longue échelle de temps

- Reconstituer à une échelle locale un paléoenvironnement à partir de l'étude d'une carte géologique au 1/50 000.
- Comparer à une échelle globale des glaciations paléozoïques (Ordovicien et Permo-Carbonifère) en identifiant les contributions d'ordre biologiques et géologiques.
- Identifier l'effet des paramètres orbitaux dans les archives sédimentaires et discuter des limites des interprétations possibles.
- Discuter la synergie des apports éoliens de fer dans l'océan et des paramètres orbitaux dans les entrées en glaciation.
- Quantifier l'effet de la formation de chaînes de montagnes et de leur altération sur le climat à l'échelle des temps géologiques (altération des silicates, mousson, variations de l'albedo).
- Montrer que l'augmentation des températures diminue la solubilité du CO₂ dans l'océan et donc diminue le pompage physique du carbone dans l'océan.
- Évaluer les effets d'une perturbation du système climatique en termes d'amplitude et de temps de retour à l'équilibre du système : cas d'un forçage naturel (volcanisme et GES) et d'un forçage anthropique.

BG-C-3-3 Changement climatique anthropique et impacts sur la biodiversité

- Analyser différents scénarios de réchauffement climatique à partir de projections présentées dans les rapports du GIEC.
- Exploiter des données montrant l'influence de la température et de la disponibilité en eau sur la répartition d'espèces.
- Exploiter des données montrant des adaptations (au changement climatique) :
 - à l'échelle des organismes (adaptations physiologiques) ;
 - des populations/espèces (déplacement de l'aire de répartition) ;
 - des communautés (modification du nombre d'individus par espèce, de la richesse spécifique ainsi que des relations interspécifiques).

Limites d'après le programme (avec commentaires éventuels)

BG-C-3-1 Variabilité climatique à courte échelle de temps

Il s'agit ici de présenter un exemple de couplage climatique océan – atmosphère de courte échelle de temps (interannuel à multidécennal). Seul l'exemple de la mousson est exigible. Les mécanismes physiques sous-jacents sont présentés mais ne sont pas démontrés.

BG-C-3-2 Marqueurs climatiques et variabilité à longue échelle de temps

Les processus mis en jeu doivent être connus. Les forçages mis en jeu dépendent de l'échelle de temps considérée.

Les variations climatiques naturelles sur toutes les échelles de temps ainsi que le changement anthropique s'appuient sur ce qui a été vu en lycée en les complétant, notamment concernant les outils isotopiques ($\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^{13}\text{C}$).

BG-C-3-3 Changement climatique anthropique et impacts sur la biodiversité

On s'intéresse dans cette partie au paramètre « augmentation de température » du changement climatique, parmi de nombreux autres changements, dont une modification des régimes de précipitations et de la fréquence et de l'intensité des événements météorologiques extrêmes.

Cette partie est l'occasion de montrer comment se construisent des savoirs scientifiques, en intégrant les incertitudes sur les données et sur les modèles. L'incertitude est un degré de connaissance incomplète, elle peut être représentée par des mesures quantitatives (probabilités) ou qualitatives (dire d'experts) ce qui est fait dans les travaux du GIEC. Concernant les scénarios d'évolution climatique, il s'agit ici essentiellement de rappel de lycées. Les nouveaux concepts concernent la description des différents types d'incertitude. Concernant l'évolution de la biosphère, on prendra un nombre limité d'exemples d'impacts du changement climatique.

➤ **Liens avec le cours de physique-chimie ou de mathématiques :**

L'effet de serre et le forçage radiatif (+ le PRG), les deltas isotopiques, le coefficient de solubilité.

➤ **Sujets d'écrit déjà tombés en rapport avec ce chapitre**

Un chapitre qui est une nouveauté du programme arrivé en sup en 2022/2023, qui avait disparu du programme à partir du concours 2015 et qui était enseigné en géologie avant. Donc s'il y a des sujets d'annales en BCPST, ce sont de vieux sujets de géologie d'avant 2015, ou des sujets limite HP entre 2015 et 2022 (donc ENS plutôt). Ou alors voir dans les concours apparentés.

On peut signaler :

ENS Second concours géologie 2006, un peu de mousson

ENS géologie 2009, archives marines du climat, coraux

Agro TB 2014, biologie, sujet carbone avec du climat

ENS Second concours géologie 2016, dynamique interne et climat

ENS Second concours géologie 2017, dynamique des reliefs et variations climatiques

ENS biologie 2019, recul des glaciers, perturbations anthropiques cycle carbone

ENS Second concours géologie 2019, sur les éruptions volcaniques mais avec de l'effet climatique dans le sujet

ENS géologie 2021, quand le climat influence la Terre solide

➤ **Sujets de synthèse possibles :** NB les biogéosciences font partie des oraux et des écrits de biologie

* On va commencer par les sujets plutôt axés sur ce BG-C-3.

Pas encore de rapport de jury 2026 à cette date, donc on va fonctionner uniquement pour le moment sur ceux de 2023, 2024 et 2025 : sujets en gras et en noir, avec les 2025 précisés (mais ce sont les mêmes que les années précédentes). Les autres sujets, en bleu, sont des suggestions personnelles de sujets soit ciblés climatologie et vérification de connaissances, soit plus larges.

Connaître les climats du passé
Cycle du carbone et climat
Cycles biogéochimiques et climat
Dynamique des enveloppes fluides et climat
Energie solaire et climat de la Terre
Géologie et climat

Importance du couple océan-atmosphère dans les climats passés, présent et futur (2025)

L'apport de l'étude des climats du passé aux prévisions des climats futurs
L'histoire climatique de la Terre, diversité des forçages et des rétroactions

La diversité des archives paléoclimatiques et leurs utilisations (2025)

La diversité des paramètres climatiques et de leurs interactions
La mousson : une spécificité climatique pouvant varier
La variabilité climatique à longue échelle de temps
Le climat du quaternaire, passé et futur
Le CO₂ dans les écosystèmes terrestres, et son influence climatique passée, présente et future
Les climats du passé
Les glaciations dans l'histoire de la Terre
Les glaciations du quaternaire

Les impacts du changement climatique sur la biodiversité (2025)

Les paramètres climatiques

Les variations du climat : origine et conséquences (2025)

Sol, sous-sol et climat

Variabilités climatiques (2025)

On peut ajouter un sujet un peu inclassable que certains raccrochent à cette thématique :

- Impacts des activités humaines sur la biodiversité

* Et les autres BG-C (le 1 et le 2) :

Ces chapitres de sup n'ont pas leur fiche de révisions pour le moment, mais certains sujets tombés au concours leur sont raccrochés en ± grande partie. Et selon les cas on se raccroche également au BG-C-3.

On peut citer ici ceux repérés sur le rapport 2025 ou les précédents :

- Dynamique des enveloppes fluides : mécanismes et conséquences sur le vivant (2025)
- Importance du couple océan-atmosphère
- Les dynamiques de l'atmosphère et de l'océan (2025)