

TP BG4-5. Climat et variabilité climatique

III. Chaînes de montagnes et climat

- **Application : écrivez la formule de la forstérite (olivine magnésienne), de l'anorthite et de la calcite sous forme d'une somme d'oxyde.**

Forstérite : $Mg_2SiO_4 = (MgO)_2SiO_2$

Anorthite : $CaAl_2Si_2O_8 = (CaO)(Al_2O_3)(SiO_2)_2$

Calcite : $CaCO_3 = (CaO)(CO_2)$

- **Montrer que tout minéral contenant du calcium peut réagir avec le CO_2 et s'altérer en hydrolysats et ions d'une part, et en calcite d'autre part. Déterminez la stoechiométrie de la consommation de CO_2 par altération de ce minéraux calciques.**

(autres oxydes) $(CaO)_n + 2 n CO_2 + k H_2O \rightarrow n Ca^{2+} + 2 n HCO_3^- + \text{hydrolysats} + \text{ions}$

Donc, 2 CO_2 sont consommés pour 1 Ca présent.

- **En réalisant un bilan de matière sur le calcium, déterminez la quantité de CO_2 potentiellement consommée par l'érosion complète de la chaîne alpine.**

$$n_{Ca, Alpes} = \frac{p_{Ca} \rho L l h}{M_{CaO}} ; \text{AN : } n_{Ca, Alpes} = \frac{0,0483 \times 2700 \times 15\,000 \times 1\,500\,000 \times 100\,000}{0,056} = 5,2 \cdot 10^{17} \text{ mol}$$

La quantité de CO_2 absorbée par l'altération de la chaîne alpine est donc le double, égale à $10,4 \cdot 10^{18}$ mol.

- **Discutez le résultat obtenu, en particulier**
- en le comparant à la quantité actuelle de CO_2 de l'atmosphère* ;
 - en discutant les hypothèses de travail admises.

$$n_{CO_2, a} = \frac{p_{CO_2, a} m_a}{M_a} ; \text{AN : } n_{Ca, a} = \frac{0,0004 \times 5 \cdot 10^{18}}{0,028} = 7,1 \cdot 10^{16} \text{ mol} ; \text{ l'altération des Alpes consommerait donc bien plus de } CO_2 \text{ que tout le } CO_2 \text{ présent dans l'atmosphère.}$$

Discussion sur les hypothèses admises : une grande partie de l'érosion d'une chaîne de montagne passe par l'érosion mécanique (glaciers, cryoclastie), ce qui ne consomme pas de CO_2 .

IV. Les forçages radiatifs : des perturbations de l'équilibre thermique de la Terre externe

1. Déterminer l'importance d'un forçage radiatif : exemple des gaz à effet de serre anthropiques

- **Calculez le forçage radiatif induit par l'augmentation du taux de CO_2 et de CH_4 dans l'atmosphère. Déduisez-en l'augmentation de température correspondante, et critiquez le résultat obtenu.**

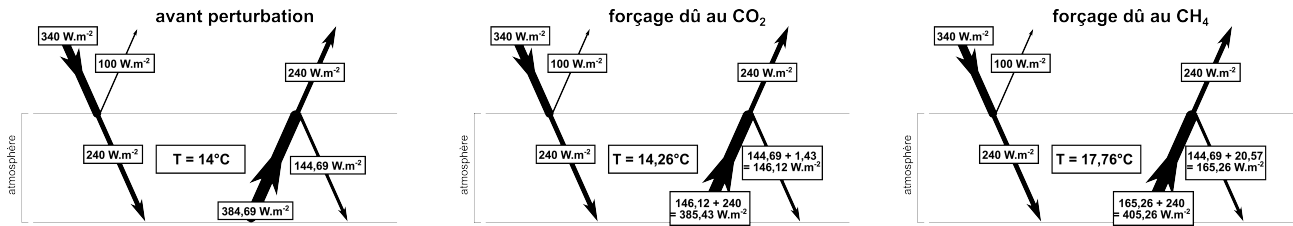
Pour le CO_2 , on se place entre 1958 et 2021. Le taux de CO_2 est passé de 315 ppm à 412 ppm. On calcule donc le forçage : $\Delta F_{CO_2} = 5,35 \times 1 \times \ln \frac{412}{315} = 1,43 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

Pour le CH_4 on se place entre 1980 et 2020. Le taux de CH_4 est passé de 1630 ppb à 1870 ppb (parties par milliard).

On calcule donc le forçage : $\Delta F_{CH_4} = 5,35 \times 25 \times \ln \frac{1870}{1630} = 20,57 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

Pour le calcul de la température, il faut reprendre les schémas d'effet de serre, et les adapter à un nouvel équilibre.

TP BG3-4. Climat et variabilité climatique – correction



Pour une température de 14°C, sans forçage, on calcule une puissance émise de 384,69 W.m⁻², et donc une puissance réabsorbée par l’atmosphère de 144,69 W.m⁻² (car on est dans une situation d’équilibre).

Avec forçage, pour le CO₂ :

- le forçage de 1,43 W.m⁻² correspond à une puissance qui n’est pas émise vers l’espace, et elle s’ajoute donc aux 144,69 W.m⁻² de la situation de référence (d’où 146,12 W.m⁻²)
- pour rejoindre la situation d’équilibre, la puissance émise par le sol augmente jusqu’à atteindre 385,43 W.m⁻².
- on calcule donc la température suite au nouvel équilibre : 14,26°C, soit une augmentation de 0,26°C.

Par le même raisonnement on trouve avec CH₄ une augmentation de 3,76°C.

Commentaires :

- Comme le méthane s’oxyde progressivement et se transforme en CO₂, l’effet de ce gaz est bien moins important que ce qui est calculé.
- Pour le CO₂, on a une augmentation de seulement 0,26°C, ce qui paraît modeste vu l’ampleur mesurée du changement climatique (+1,5°C en 2024). On n’a pas pris en compte les rétroactions positives ou négatives, notamment les variations d’albédo, qui peuvent être responsables d’un changement bien plus important que ce qui est calculé pour le CO₂.

V. Migrations, adaptations et changement climatique anthropique

1. Les modifications phénotypiques en réponse au changement climatique : adaptation ou acclimatation ?

On va commencer par analyser les expériences A et C.

Observation : en A, la moyenne est proche de 0,5 les coraux subissent un blanchiment de 50 % à l’échelle de la population, alors qu’en B elle est de 0,85, soit un blanchiment de 85 %.

Interprétation : on en déduit que les coraux issus d’un milieu HV sont plus résistants au blanchiment que les coraux issus d’un milieu MV.

Hypothèse :

- Il peut s’agir d’une **adaptation** des coraux issus d’un milieu HV, qui pourraient résister aux hautes températures en toutes circonstance (grâce à des allèles particuliers acquis par sélection naturelle).
- Mais il peut aussi s’agir d’une **accommodation**, soit la capacité de ces coraux à modifier leur phénotype de façon résister aux hautes températures.

Comparaison A-D et B-D :

Analyse du protocole : en transplantant les coraux pendant 12 mois en dehors de leur milieu d’origine, on cherche à tester leur capacité d’accommodation/acclimatation, et non leur capacité d’adaptation, en raison du temps court (seulement 12 mois).

Observation : les coraux MV sont plus résistants au blanchiment (D : 70 % de résistance) après 12 mois passés dans le milieu HV par rapport aux coraux témoins, qui sont restés dans le milieu MV (A : 50 % de résistance).

Interprétation : les coraux MV ont acquis la capacité à résister ; ils se sont donc **acclimatés** au milieu HV.

Observation : les coraux HV sont moins résistants au blanchiment (B : 50 % de résistance) après 12 mois passés dans le milieu MV par rapport aux coraux témoins (C : 85 % de résistance).

Interprétation : les coraux MV ont perdu leur capacité à résister aux hautes température, et se sont donc **acclimatés** au milieu MV moins contraignant.

Comparaison A-B et B-C

Observation : les coraux ont à peu près la même capacité de résistance (50 %) quand ils se développent dans un milieu MV, quelle que soit leur origine.

Interprétation : c’est le milieu de vie, et non pas l’origine qui détermine la résistance. L’acclimatation est donc de loin

le paramètre le plus important dans la résistance (du moins pour le milieu MV).

Observation : les coraux HV résistent mieux (C : 85 %) que les coraux MV acclimatés au milieu HV (D : 70 %).

Interprétation : si le milieu de vie provoque une acclimation, elle n'est pas suffisante pour expliquer la résistance des coraux HV. Les coraux HV ont donc bien, en plus, des adaptations au milieu HV, qui leur permettent de mieux résister.

Critique : le faible nombre d'individus étudiés rend ces conclusions discutables (pour A, B, C et D, respectivement 17, 7, 8 et 12 individus) ; il faudrait soit étayer ces résultats par un test statistique non paramétrique, assorti d'un calcul d'un niveau de confiance, soit (surtout !) augmenter le nombre de répétitions de la même expérience.

2. Impact du réchauffement climatique sur les relations interspécifiques

- **Analysez l'impact de la température sur le niveau de mycorhization de chacune des deux espèces végétales. Comment peut-on interpréter les différences observées entre les deux espèces ?**

Il y a une augmentation significative de la mycorhization chez *A. scabra*, mais pas chez *D. lanuginosum*, donc l'augmentation des températures provoque la mycorhization chez *A. scabra* seulement.

De plus, à basse température, *A. scabra* n'est pas du tout mycorhizée, alors que 20 % des racines les sont chez *D. lanuginosum*.

On en déduit que la mycorhization est une acclimation/accommodation de *A. scabra* à l'augmentation des températures, lui permettant (par exemple) de mieux assurer sa nutrition hydrique, mais que la mycorhization de *D. lanuginosum* est constitutive, c'est-à-dire indépendante des conditions climatiques. Ceci est en lien avec le milieu de vie de ces deux plantes : l'une (*A. scabra*) est **thermophile facultative**, c'est-à-dire capable de croître dans des milieux chauds ou non, alors que *D. lanuginosum* est **thermophile stricte**, c'est-à-dire adaptée uniquement aux climats chauds.

- **Analysez l'impact de la mycorhization sur la production de biomasse de chacune des deux espèces.**

Chez *A. scabra* :

Observation : quelle que soit la température, la production de biomasse est la même sans mycorhization (témoin), avec mycorhize avec champignons non thermophiles ou thermophiles.

Interprétation : la mycorhization n'a pas d'impact sur la production de biomasse chez cette espèce.

Hypothèses : la mycorhization observée dans le cas de températures importantes (document précédent) pourrait augmenter la fitness de l'espèce sans que cela ne se traduise par une variation de biomasse (meilleure résistance à la sécheresse, descendance plus abondante...).

Chez *D. lanuginosum* :

Observation : à basse température, on n'observe pas de variation de la production de biomasse.

Interprétation : donc la mycorhization n'a pas d'impact sur la production de biomasse à basse température.

Observation : en revanche, à haute température, on observe une augmentation de biomasse produite après mycorhization (quel que soit le champignon).

Interprétation : donc la mycorhization provoque une augmentation de la production de biomasse à haute température.

Hypothèses : on peut faire l'hypothèse que l'adaptation aux hautes températures pour cette espèce passe en réalité par la mycorhization, qui lui permettrait, en produisant plus de biomasse, d'être plus compétitive par rapport aux autres espèces (comme *A. scabra* par exemple).

- **Analysez l'impact de la température sur la production de biomasse de chacune des deux espèces.**

Chez *A. scabra* :

Observation : quelle que soit la condition de mycorhization, on observe un effondrement de la production de biomasse lorsque la température augmente (divisée par 4 à 5).

Interprétation : la température provoque une diminution de la production de biomasse, même s'il y a mycorhization. Donc la mycorhization, pourtant plus importante dans conditions de température élevée, n'empêche pas la diminution de la production.

Chez *D. lanuginosum* :

Observation : sans mycorhizes, la production organique est non significativement différente entre les températures basses et élevées

Interprétation : sans mycorhizes, cette espèce est peu sensible à la température, et notamment, n'est pas impactée négativement par les températures (contrairement à *A. scabra*).

Hypothèse : elle possède probablement des adaptations aux hautes températures (cuticule épaisse, réserves d'eau dans un parenchyme aquifère...) que n'a pas *A. scabra*.

Observation : en revanche, lorsqu'il y a mycorhization (et quel que soit le type de champignon), la production organique augmente très fortement lorsque la température augmente.

Interprétation : les hautes températures provoquent une augmentation de la production organique dans des conditions de mycorhization. Cette conséquence – inattendue – peut être vue comme une exploitation maximale de la mycorhization dans les conditions chaudes, constituant une augmentation de la fitness de cette espèce par rapport à d'autres espèces (comme *A. scabra*).

Hypothèse : il est possible que les champignons vivant en mycorhizes soient eux-même favorisés par les hautes températures (enzymes plus actives, par exemple), et que cette augmentation de leur fitness se répercute sur la production organique des plantes avec lesquelles ils sont en symbiose.