

## TP BG4-5. Climat et variabilité climatique

Programme :

- Reconstituer à une échelle locale un paléoenvironnement à partir de l'étude d'une carte géologique au 1/50 000.
- Comparer des glaciations 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.
- Quantifier l'effet de la formation de chaînes de montagnes et de leur altération sur le climat
- Montrer que l'augmentation des températures diminue la solubilité du CO<sub>2</sub> 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
- 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, des populations/espèces, des communautés)

### I. Reconstituer un paléoenvironnement à partir d'une carte géologique

Vous disposez de la carte géologique au 1/50 000 de Versailles (78).

- **A l'aide de l'étude de la carte, prélevez des informations permettant de reconstituer un paléoenvironnement à une époque donnée.**

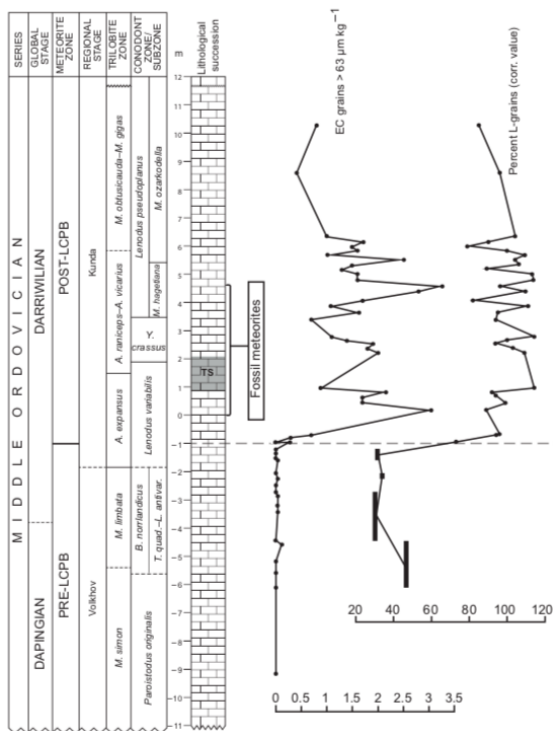
### II. Les glaciations anciennes

On s'intéresse ici à une courte glaciation : celle de la **fin de l'ordovicien**. On cherche ici à identifier quelques causes de ces glaciations.

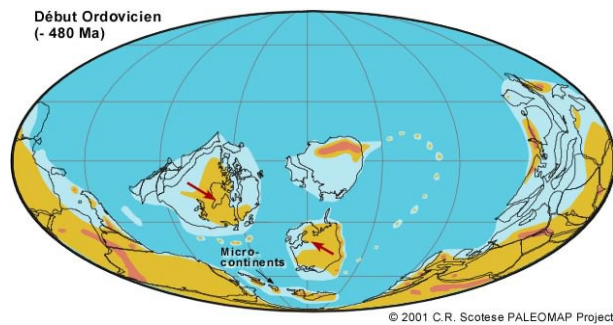
- **A l'aide des documents suivants, proposez des hypothèses sur les causes de l'entrée en glaciation.**
- **Pourquoi le choix de la valeur des paramètres orbitaux (doc 1) est-il très discutable ?**

paramètre	excentricité	obliquité	précession de l'équinoxe de printemps (HN)
valeur (ordovicien sup)	0,06	22°	90°
valeur (actuel)	0,017	23,44°	275°

*Document 1: Quelques paramètres orbitaux actuels et à la fin de l'Ordovicien. D'après Herrmann et al., 2004, Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology.*

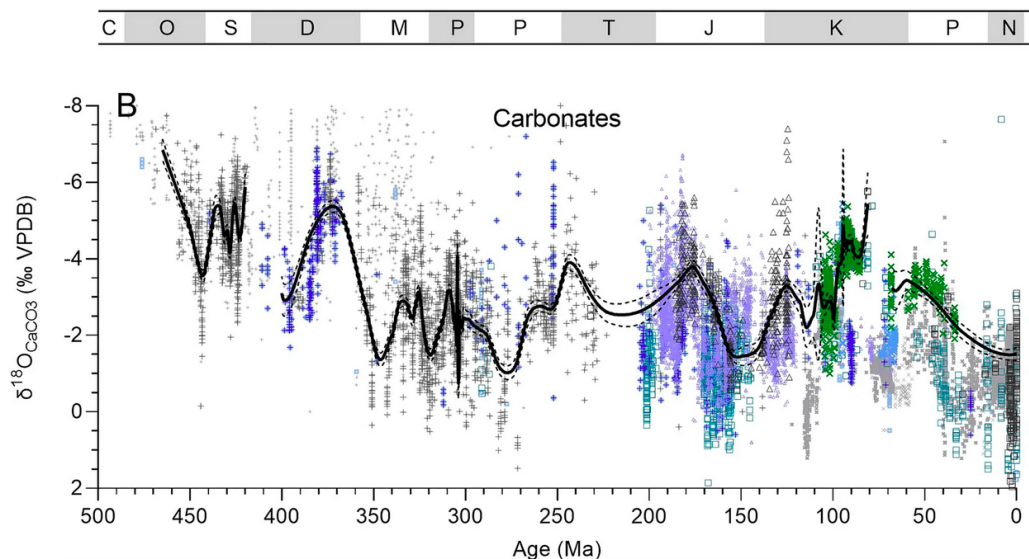


Document 2: Analyse stratigraphique de la formation de Hällekis (sud de la Suède), ordovicien moyen. EC : nombre de grains de météorite (> 63 µm) par kg de roche analysée. Percent L-grains : pourcentage de grains provenant d'une L-chondrite, par rapport aux chondrites H et LL. Fossil meteorite : section où ont été retrouvées (sur le même site) 130 météorites de tailles variables.



Document 3: Paléogéographie de la Terre au début de l'Ordovicien.

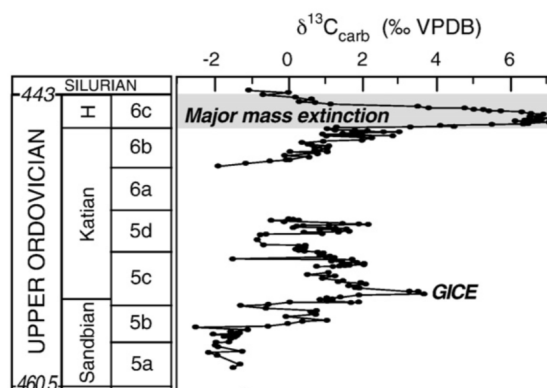
Document 4: Evolution du  $\delta^{18}\text{O}$  des carbonates fossiles au cours du temps, et tendance (ligne continue) inférée à partir de nombreux jeux de données.



- 1 « An extraterrestrial trigger for the mid-Ordovician ice age: Dust from the breakup of the L-chondrite parent body | Science Advances », consulté le 16 septembre 2024, <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.aax4184>.
- 2 Christopher Scotese, « Paleomap project », consulté le 16 septembre 2024, <http://www.scotese.com/>.
- 3 Ethan L. Grossman et Michael M. Joachimski, « Ocean Temperatures through the Phanerozoic Reassessed », *Scientific Reports* 12, n° 1 (27 mai 2022): 8938, <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11493-1>.



Document 5: Stries sur des calcaires du centre du Brésil, datés de l'ordovicien supérieur.



Document 6: Evolution du  $\delta^{13}\text{C}$  des carbonates marins (compilation de plusieurs jeux de données) mondiaux. On indique également la position de l'extinction biologique de la fin de l'ordovicien.

### 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.**

L'altération des silicates est à l'origine de la formation d'argiles (ou de bauxite) et d'ions, susceptibles de précipiter une fois dans un bassin sédimentaire océanique, en particulier sous forme de carbonates.

- **Montrer que tout minéral contenant du calcium peut réagir avec le  $\text{CO}_2$  et s'altérer en hydrolysats et ions d'une part, et en calcite d'autre part. Déterminez la stoechiométrie de la consommation de  $\text{CO}_2$  par altération de ce minéraux calciques.**

On donne ci-dessous la composition chimique (en pourcentage massique) d'une granodiorite typique. On donne également la masse molaire du calcium ( $M_{\text{Ca}} = 40 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ). Par ailleurs, les Alpes sont une chaîne de montagne associée à un sur-épaississement crustal moyen d'environ 15 km, sur une longueur de 1500 km et une largeur de 100 km.

oxyde	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Autres
pourcentage	60,2 %	16,9 %	6,4 %	2,95 %	4,83 %	3,69 %	2,61 %	2,42 %

- **En réalisant un bilan de matière sur le calcium, déterminez la quantité de  $\text{CO}_2$  potentiellement consommée par l'érosion complète de la chaîne alpine.**
- **Discutez le résultat obtenu, en particulier**
  - en le comparant à la quantité de actuel  $\text{CO}_2$  de l'atmosphère\* ;
  - en discutant les hypothèses de travail admises.

\* on donne la masse molaire et la masse de l'atmosphère :  $M_a = 28,8 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$  ;  $m_a = 5\cdot 10^{18} \text{ kg}$ .

### 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

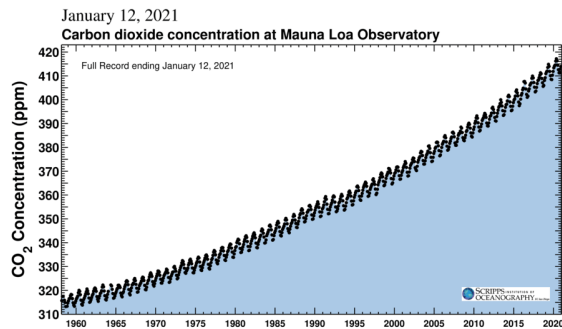
Le **forçage radiatif** est la différence de puissance reçue par la Terre entre une situation perturbée et une situation de référence. Un forçage radiatif positif (négatif respectivement) se traduit par une augmentation (baisse respectivement)

4 « Wikimedia Commons », consulté le 29 août 2024, <https://commons.wikimedia.org/wiki/Accueil>.

5 Seth A. Young et al., « Did changes in atmospheric CO<sub>2</sub> coincide with latest Ordovician glacial–interglacial cycles? », *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Early Palaeozoic sea level and climate, 296, n° 3 (15 octobre 2010): 376-88, <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2010.02.033>.

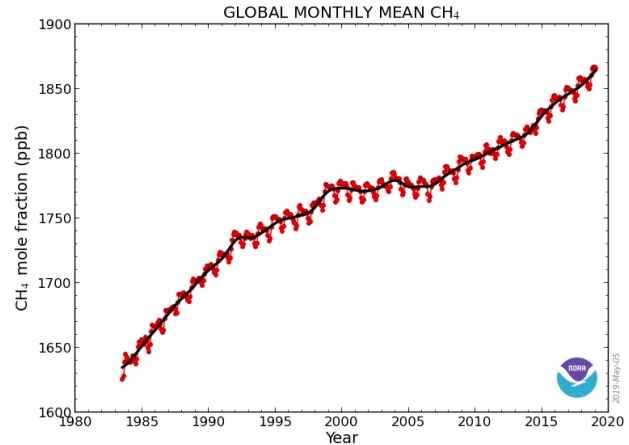
de température. L'impact du forçage radiatif dû à l'augmentation de la concentration en CO<sub>2</sub> est calculé empiriquement par la formule suivante :

$\Delta F = 5,35 PRG \ln \frac{C}{C_0}$  avec  $\Delta F$  le forçage radiatif, PRG le potentiel de réchauffement global, sans unité, et C et C<sub>0</sub> la concentration en gaz à effet de serre après et avant perturbation respectivement. Le forçage radiatif s'exprime en W.m<sup>-2</sup>.



Document 7: Evolution de la concentration en CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère depuis 1960. La mesure est effectuée à l'observatoire du Mauna Loa, sur l'archipel d'Hawaii.

6



Document 8: Evolution de la concentration en CH<sub>4</sub> dans l'atmosphère depuis 1960.

7

- Calculez le forçage radiatif induit par l'augmentation du taux de CO<sub>2</sub> et de CH<sub>4</sub> dans l'atmosphère. Déduisez-en l'augmentation de température correspondante, et critiquez le résultat obtenu.

On prendra 14°C comme température globale de référence pour la période préindustrielle. On rappelle que le potentiel de réchauffement global est de 1 par définition pour le CO<sub>2</sub>, et de 25 pour le méthane. On rappelle également la loi de Stefan-Boltzmann :  $P_0 = \sigma T_0^4$  avec P<sub>0</sub> la puissance surfacique émise,  $\sigma$  la constante de Stefan-Boltzmann et T<sub>0</sub> la température.  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ .

## 2. Retour à l'équilibre après une perturbation dans le cas d'un forçage naturel

En avril 1815, une éruption volcanique a lieu sur l'île de Sumbawa, en Indonésie. Il s'agit de l'éruption la plus violente de l'histoire. Elle a causé 10 000 morts directement, et plus de 50 000 morts supplémentaires par famine ou maladies, rien qu'en Indonésie.

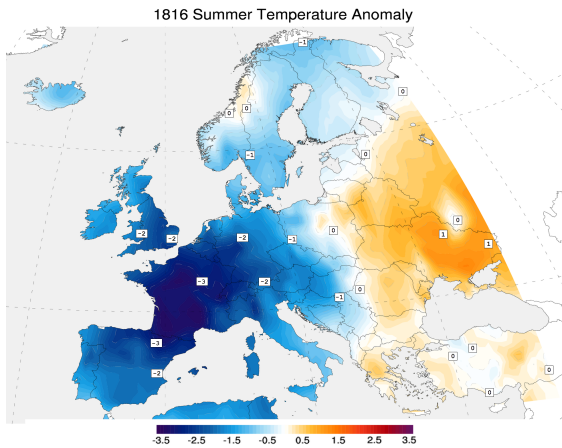
- A partir des documents, expliquez les événements climatiques observés, en raisonnant en terme de forçage radiatif.

lieu	date	événement, date
Etat de New York	hiver 1816-1817	record de froid : -34°C
Europe Occidentale	1816 et 1817	couchers de soleil particulièrement rouges
Europe Occidentale	1816	destruction des récoltes par le gel en juin
Côte Ouest des Etats-Unis	1816	tempête de neige en août
Taiwan	hiver 1816-1817	neige
Europe Occidentale	1816-1817	2 <sup>e</sup> pire famine du XIX <sup>e</sup> siècle

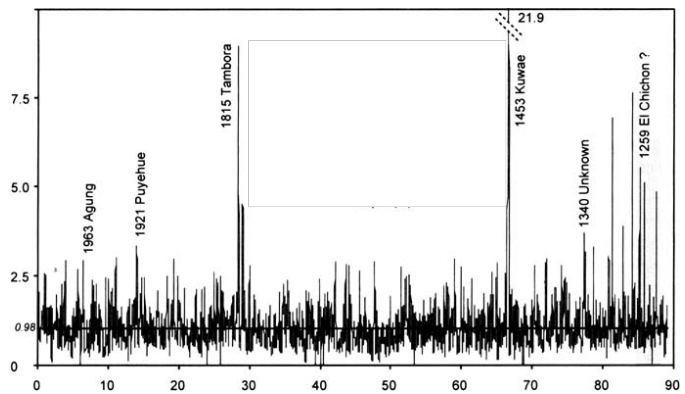
Document 9: Quelques événements climatiques marquants des années 1816 et 1817.

6 « Scripps CO2 Program », consulté le 16 septembre 2024, [https://scrippsco2.ucsd.edu/data/atmospheric\\_co2/primary\\_mlo\\_co2\\_record.html](https://scrippsco2.ucsd.edu/data/atmospheric_co2/primary_mlo_co2_record.html).

7 NOAA US Department of Commerce, « Global Monitoring Laboratory - Carbon Cycle Greenhouse Gases », consulté le 16 septembre 2024, [https://gml.noaa.gov/ccgg/trends\\_ch4/](https://gml.noaa.gov/ccgg/trends_ch4/).

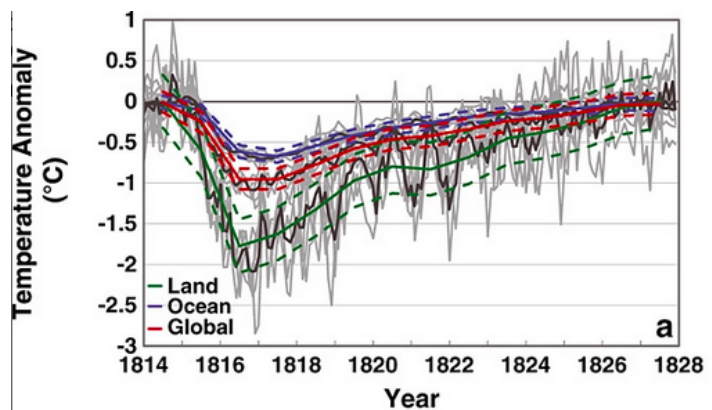


Document 10: Anomalies de température en Europe durant l'été 1816.

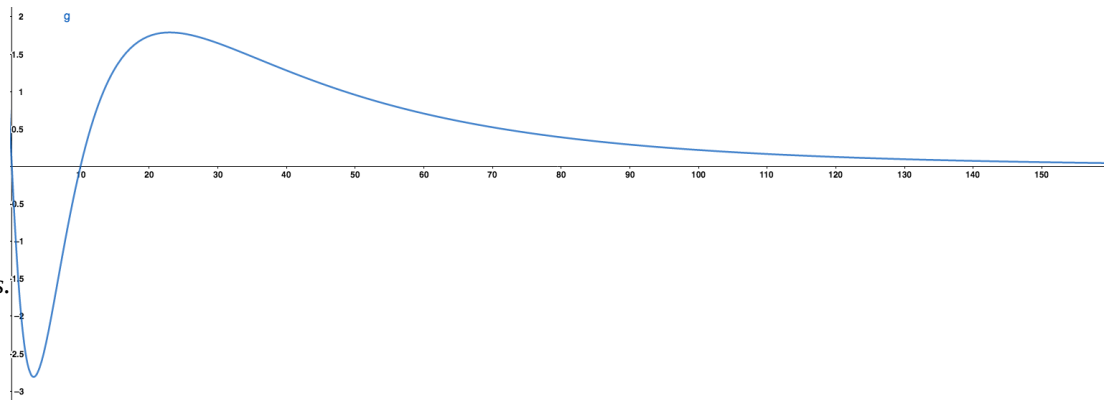


Document 11. Enregistrement de la concentration en sulfates dans la glace de la calotte antarctique en fonction de la profondeur, en m. Les années sont données pour information.

Document 12: Estimation de l'anomalie thermique des continents (land), des océans (ocean), et globale (global), entre 1814 et 1828. Source inconnue.



Document 13: Modélisation de l'évolution des températures mondiales après une éruption volcanique majeure, en fonction du temps. Températures en °C, temps en années. Production personnelle



## V. Migrations, adaptations et changement climatique anthropique

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

Les coraux sont des Cnidaires coloniaux vivant en milieu marin, dans des eaux très peu profondes, très sujettes aux changements de températures. De plus, ils vivent en symbioses avec diverses espèces d'algues unicellulaire, ce qui leur confère une couleur généralement brune. Lorsque les coraux sont exposés à des températures trop élevées, il peuvent

8 « Wikimedia Commons ».

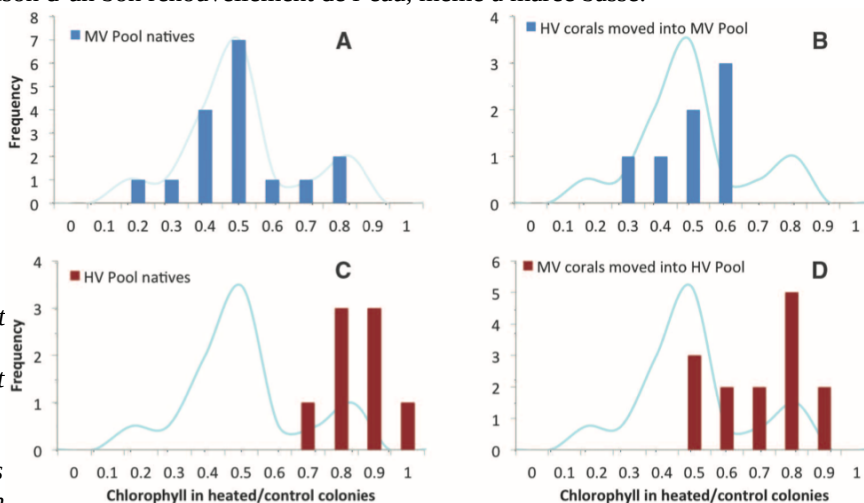
9 « (PDF) Ice Record of a 13th Century Explosive Volcanic Eruption in Northern Victoria Land, East Antarctica », *ResearchGate*, 22 octobre 2024, <https://doi.org/10.1017/S0954102001000268>.

subit un **blanchissement**, c'est-à-dire une perte de leur symbionte. Ce blanchissement affecte profondément la santé des individus et de la colonie, et cela peut conduire à une destruction irréversible de l'écosystème.

Dans l'étude qui suit, on a identifié deux populations de la même espèce (*Acropora hyacinthus*) vivant dans deux milieux différents à la fois très proches géographiquement et aux caractéristiques thermiques très différentes, sur l'île Ofu de l'archipel des Samoa :

- le milieu **hautement variable (HV)**, protégé de la haute mer, subit de fortes variations de température, en raison de la mauvaise circulation de l'eau à marée basse ; les températures peuvent dépasser les 35°C.
- le milieu **moyennement variable (MV)**, plus ouvert, est soumis à des températures ne dépassant quasiment jamais les 32°C, en raison d'un bon renouvellement de l'eau, même à marée basse.

Document 14: Gauche : on a soumis des coraux des deux milieux à des températures élevées, susceptibles de provoquer un blanchissement. On mesure la proportion de chlorophylle résiduelle après blanchissement, et on indique la distribution pour chaque catégorie. A : coraux provenant du milieu moyennement variable ; C : coraux provenant du milieu hautement variable. Droite : on transplante les coraux issus du milieu HV dans un milieu MV (B), ou issus d'un milieu MV dans un milieu HV (D), puis on réalise après 12 mois une expérience de blanchiment, et on fait les mêmes mesures qu'en A et C. D'après Palumbi et al., 2014, Science.



10

➤ Analysez les expériences de blanchissement. Proposez des hypothèses expliquant les effets déterminés.

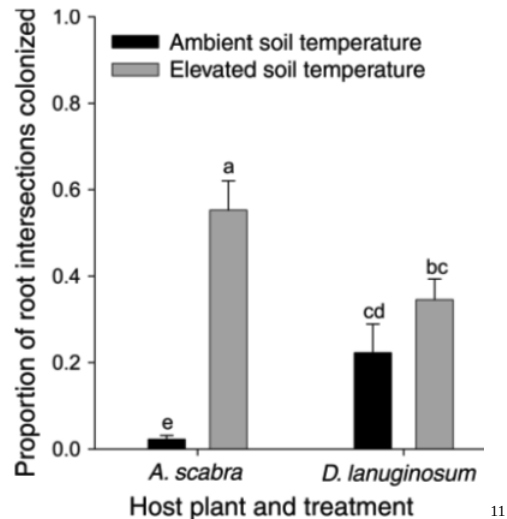
## 2. Impact du réchauffement climatique sur les relations interspécifiques

On a étudié l'impact du réchauffement climatique sur deux plantes mycorhizées :

- *Agrostis scabra*, une Poacée thermophile facultative ;
- *Dichanthelium lanuginosum*, une Poacée thermophile stricte.

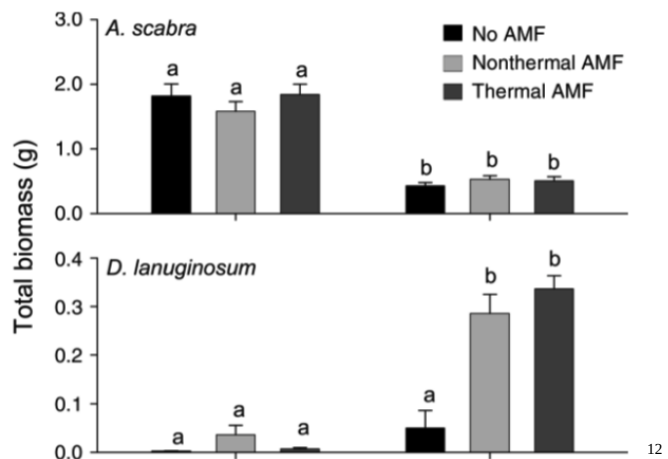
10 « Mechanisms of reef coral resistance to future climate change | Science », consulté le 16 septembre 2024, <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1251336>.

Document 15: Dans deux conditions de température (ambient : 16,5°C ; elevated : 37,5°C), on a mis en culture *A. scabra* et *D. lanugilosium*, et on a mesuré la proportion de racines mycorhizées en fin de manipulation. Deux barres possédant la même lettre ont des moyennes non significativement différentes. D'après Bun et al., 2009, Ecology.



- 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 ?

Document 16: On a mis en culture *A. scabra* (haut) ou *D. lanugilosium* (bas) dans un sol stérile (No AFM), avec des champignons non thermophiles (Nonthermal AFM) ou avec des champignons thermophiles (Thermal AFM). On mesure à l'issue de la manipulation la biomasse des plants. Trois barres de gauche : température ambiante ; trois barres de droite : température élevée. Deux barres possédant la même lettre ont des moyennes non significativement différentes entre elles. D'après Bun et al., 2009, Ecology.



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

Bibliographie :

- « An extraterrestrial trigger for the mid-Ordovician ice age: Dust from the breakup of the L-chondrite parent body | Science Advances ». Consulté le 16 septembre 2024. <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.aax4184>.
- « Arbuscular mycorrhizal fungi ameliorate temperature stress in thermophilic plants - Bunn - 2009 - Ecology - Wiley Online Library ». Consulté le 16 septembre 2024. <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1890/07-2080.1>.
- Grossman, Ethan L., et Michael M. Joachimski. « Ocean Temperatures through the Phanerozoic Reassessed ». *Scientific Reports* 12, n° 1 (27 mai 2022): 8938. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11493-1>.
- « Mechanisms of reef coral resistance to future climate change | Science ». Consulté le 16 septembre 2024. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1251336>.
- Mondéjar Fernández, Jorge, et Pierre Gueriau. « The first terrestrial ecosystems », 24 mars 2018.
- « (PDF) Ice Record of a 13th Century Explosive Volcanic Eruption in Northern Victoria Land, East Antarctica ». *ResearchGate*, 22 octobre 2024. <https://doi.org/10.1017/S0954102001000268>.
- Scotese, Christopher. « Paleomap project ». Consulté le 16 septembre 2024. <http://www.scotese.com/>.

11 « Arbuscular mycorrhizal fungi ameliorate temperature stress in thermophilic plants - Bunn - 2009 - Ecology - Wiley Online Library », consulté le 16 septembre 2024, <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1890/07-2080.1>.

12 « Arbuscular mycorrhizal fungi ameliorate temperature stress in thermophilic plants - Bunn - 2009 - Ecology - Wiley Online Library ».

## TP BG4-5. Climat et variabilité climatique

- « Scripps CO2 Program ». Consulté le 16 septembre 2024. [https://scrippsco2.ucsd.edu/data/atmospheric\\_co2/primary\\_mlo\\_co2\\_record.html](https://scrippsco2.ucsd.edu/data/atmospheric_co2/primary_mlo_co2_record.html).
- US Department of Commerce, NOAA. « Global Monitoring Laboratory - Carbon Cycle Greenhouse Gases ». Consulté le 16 septembre 2024. [https://gml.noaa.gov/ccgg/trends\\_ch4/](https://gml.noaa.gov/ccgg/trends_ch4/).
- « Wikimedia Commons ». Consulté le 29 août 2024. <https://commons.wikimedia.org/wiki/Accueil>.
- Young, Seth A., Matthew R. Saltzman, William I. Ausich, André Desrochers, et Dimitri Kaljo. « Did changes in atmospheric CO2 coincide with latest Ordovician glacial–interglacial cycles? » *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Early Palaeozoic sea level and climate, 296, n° 3 (15 octobre 2010): 376-88. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2010.02.033>.