

Exercices d'entraînement à l'étude de documents

Exercice 1 : l'effet climatique de l'apparition des plantes terrestres 20 minutes

À l'Ordovicien, les premières plantes terrestres (des « mousses ») se développent sur les continents. Durant cette même période, la quantité de CO_2 atmosphérique est divisée par deux (passant de 16 fois à 8 fois la valeur actuelle), et devient inférieure au seuil permettant l'apparition de glaciations. Les chercheurs se demandent s'il s'agit d'une simple corrélation ou si les mousses sont responsables de cette variation de la concentration en CO_2 .

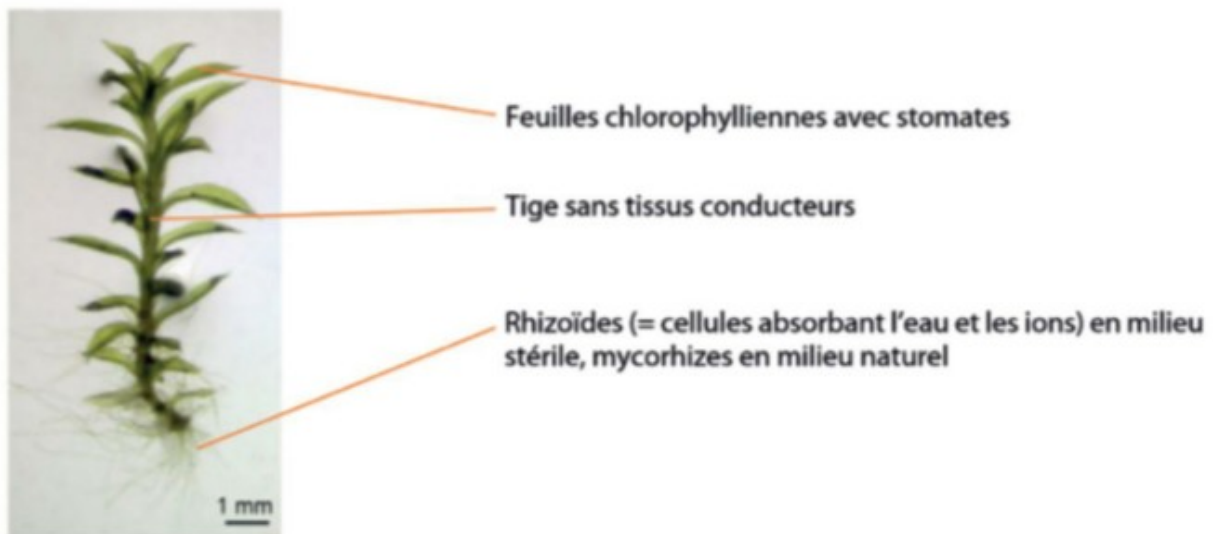


Figure A. La mousse actuelle *Aphanoregma patens*, dont la morphologie est proche des mousses fossiles de l'Ordovicien.

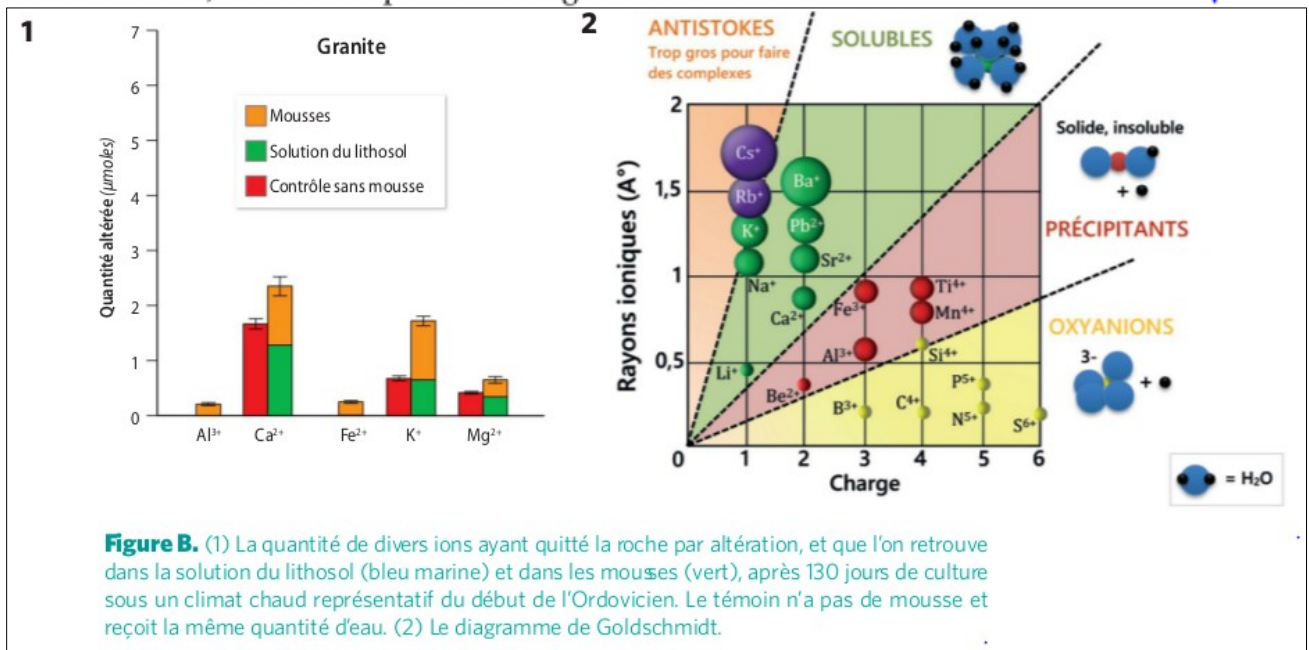
Dans des conditions de cultures en laboratoire sur un substrat rocheux, une spore de cette espèce de mousse produit en 130 jours une plante pesant entre 13 et 18 ng.

1. En admettant que la croissance des mousses à l'Ordovicien soit identique à la croissance de *A. patens* en laboratoire, la diminution du CO_2 atmosphérique est-elle due à une fixation dans la biomasse terrestre nouvellement apparue ?

Du fait de leurs rhizoïdes superficielles, on pensait que les mousses n'altéraient que très peu les roches sur lesquelles elles se développaient. Les chercheurs veulent tester cette hypothèse en les faisant pousser sur du granite.

2. Quelles sont les actions des plantes terrestres sur l'altération des roches ?

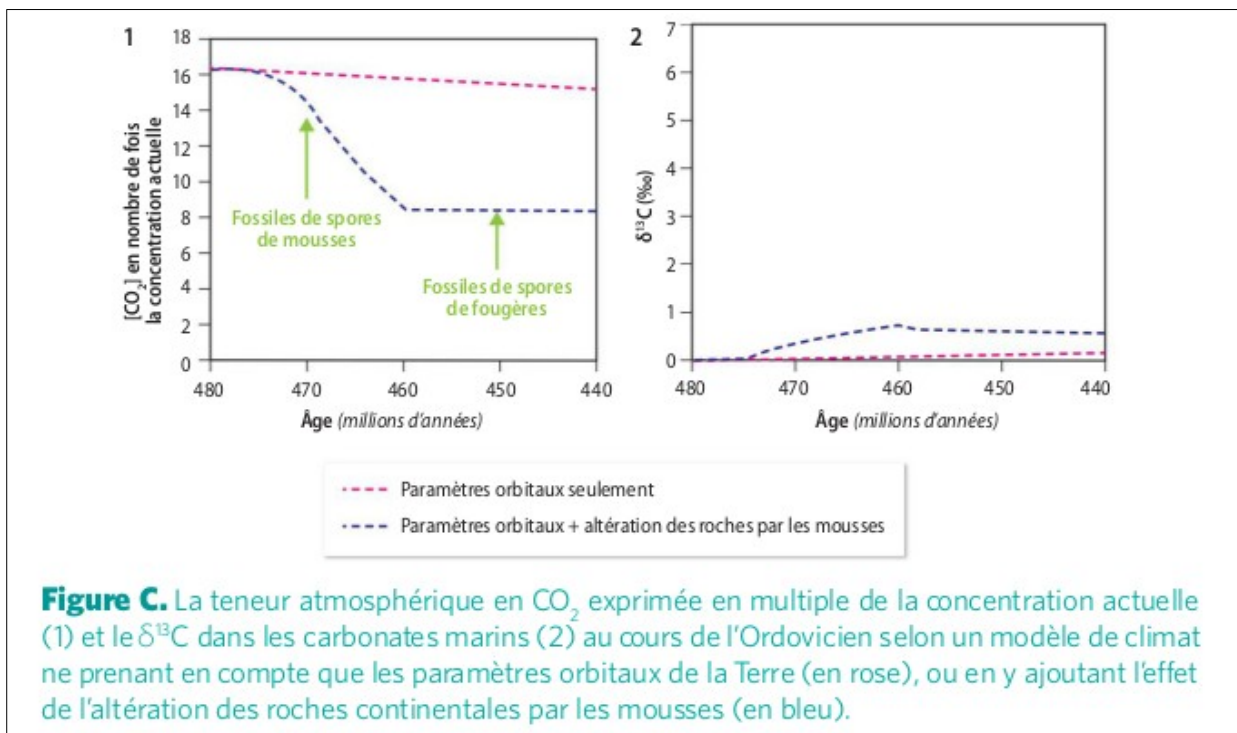
Toute l'eau présente dans les cultures ou le substrat rocheux témoin, et éventuellement dans les mousses entières, est récoltée pour un dosage de certains ions.



3. Les géologues auteurs de cet article appellent le contrôle sans mousse « contrôle abiotique ». D'après les résultats de la figure B, pourquoi est-il improbable que ce soit le cas ?

4. Par quel mécanisme d'altération les atomes du granite peuvent ils être libérés ? Pourquoi ce processus est-il accéléré par la libération de H^+ ou de CO_2 par les mycorhizes des mousses ?

5. En utilisant le diagramme de Goldschmidt (figure B-2), montrer que la quantité d'ions libérés dépend de leur nature. En quoi la nature de ces ions pourrait elle poser un problème pour les doser correctement ?

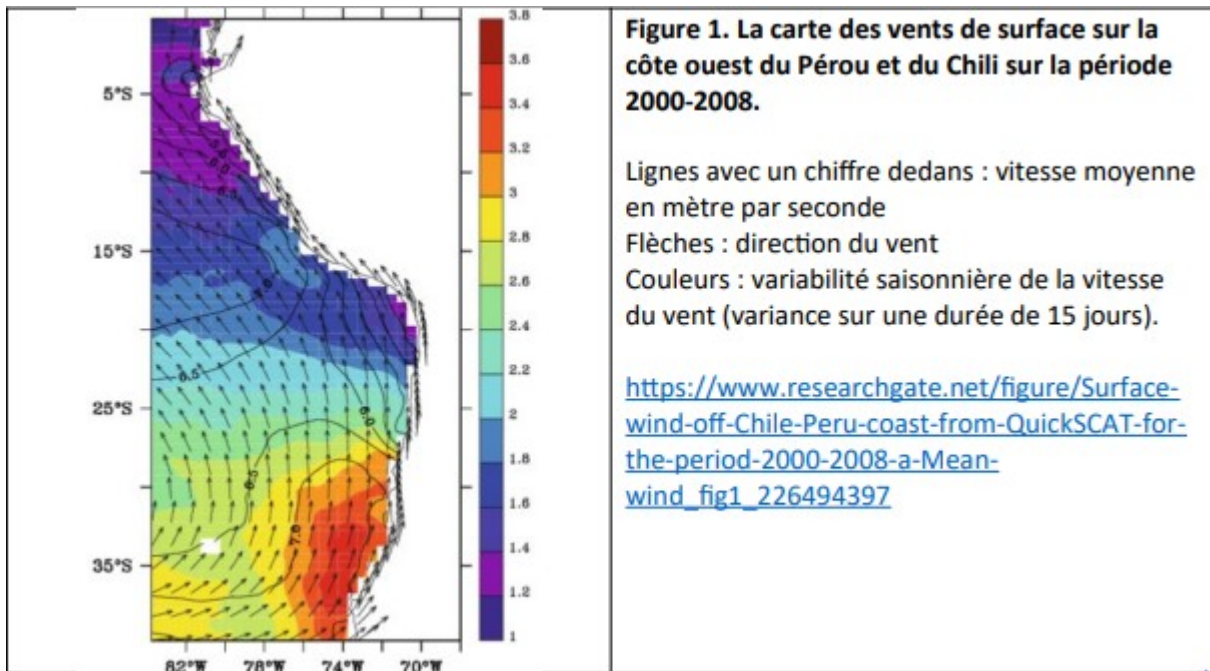


6. En analysant la figure C, déterminer si l'hypothèse initiale des chercheurs est ou non validée et s'ils ont pu identifier le mécanisme de diminution du CO_2 atmosphérique à l'Ordovicien.

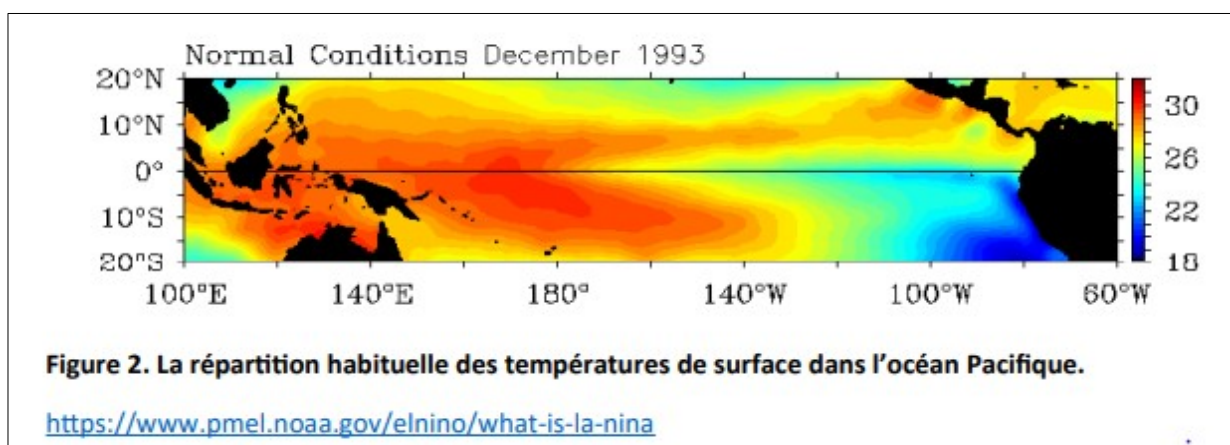
Exercice 2 : le phénomène El Nino 90 minutes

El Niño désigne à l'origine un courant côtier saisonnier chaud au large du Pérou et de l'Equateur mettant fin à la saison de pêche.

Par extension, ce terme désigne le phénomène climatique particulier, qui se caractérise par des températures anormalement élevées de l'eau dans la partie Est de l'Océan Pacifique sud .



1. Commenter la répartition latitudinale des variations saisonnières de vitesse du vent de la figure 1.
2. Rappeler comment s'effectue le couplage mécanique entre eaux de surface et régime des vents entre 15 et 35°S. Dans quel sens seront ainsi déviées les eaux de surface à proximité de cette côte ?
3. Rappeler la direction et le sens des vents alizés. Nommer la zone latitudinale dans laquelle ils soufflent et donner ses principales caractéristiques.
4. Nommer et schématiser la cellule atmosphérique dans laquelle les alizés sont impliqués au niveau du Pacifique équatorial.
5. Expliquer pourquoi, au niveau de la zone équatoriale, les alizés et les courants de surface sont de même direction et de même sens.



6. Commenter la répartition des températures de surface dans l'océan Pacifique et lier cette répartition aux courants de surface mis en évidence dans les questions précédentes.
7. Rappeler la définition de la thermocline. Schématiser l'allure de cette thermocline sur un transect centré sur 10°S (de la pointe nord de l'Australie à la côte est-américaine).

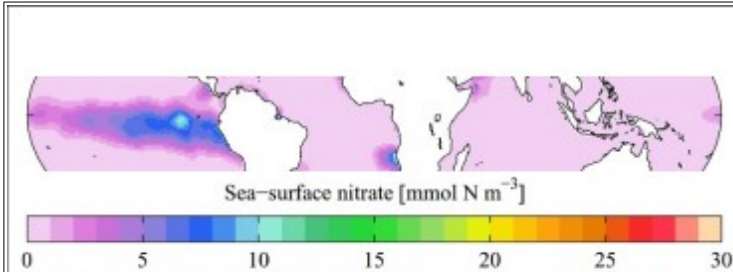


Figure 3. La teneur en nitrates dans les eaux de surface.

https://fr.wikipedia.org/wiki/Nitrate#/media/Fichier:WOA05_sea-surf_NO3_AYool.png

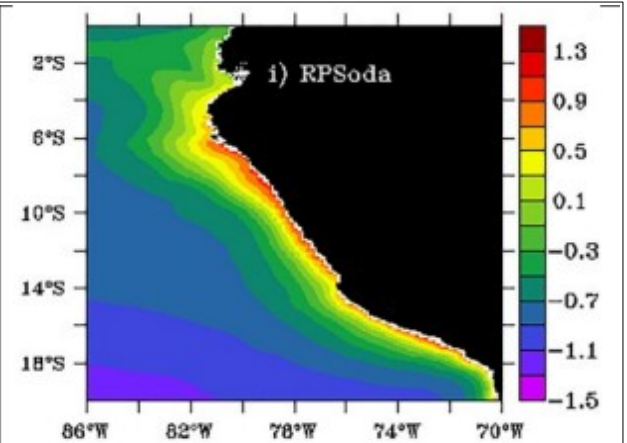


Figure 4. La teneur en chlorophylle dans les eaux de surface (en mg.m^{-3})

<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2016JC012439>

8. Rappeler les principales caractéristiques des eaux profondes, puis interpréter les cartes de répartition des nitrates et de la chlorophylle lors d'une période normale.

Certaines années, un affaiblissement des alizés entraîne une profonde modification de la circulation océanique au large des côtes chiliennes et péruviennes. Ce phénomène apparaît en décembre donc vers la période de Noël, il a été ainsi nommé El Nino (l'enfant Jésus en espagnol).

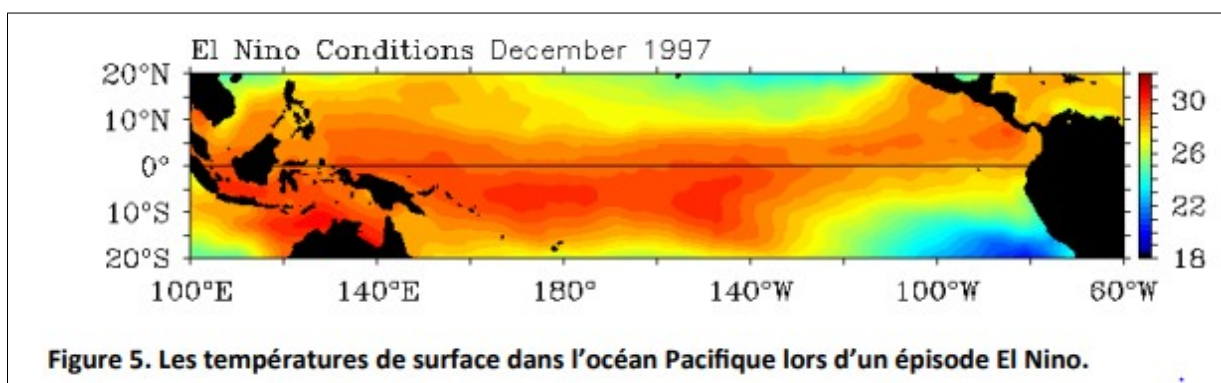


Figure 5. Les températures de surface dans l'océan Pacifique lors d'un épisode El Nino.

9. Comparer la répartition des températures lors d'un épisode El Nino (figure 5) et en temps normal (figure 2) et relier cela au régime des vents alizés.

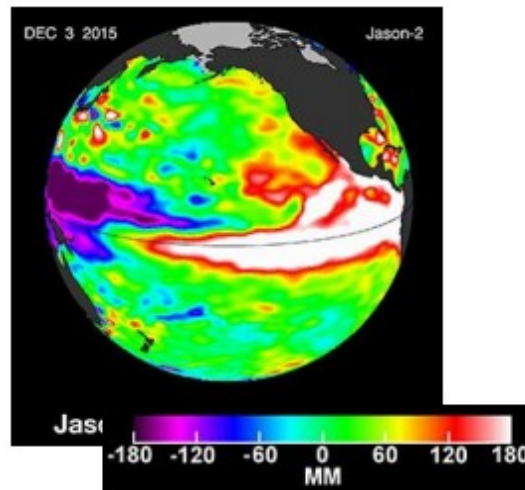


Figure 6. La topographie océanique en décembre 2015. La légende donne l'altitude en millimètres par rapport au niveau marin de référence. <https://sealevel.jpl.nasa.gov/data/el-nino-la-nina-watch-and-pdo/el-nino-2015>

10. Rappeler le principe de la technique permettant de connaître la topographie océanique.

11. D'après la figure 6, le mois de décembre 2015 a-t-il été le siège d'un phénomène El Nino ? Justifier.

Toujours au cours de cette année 2015, la salinité et la concentration en dioxygène dissous ont été mesurées au large de Callao (12°S) au Pérou, au mois d'avril et au mois de décembre, sur 200 mètres de profondeur d'eau.

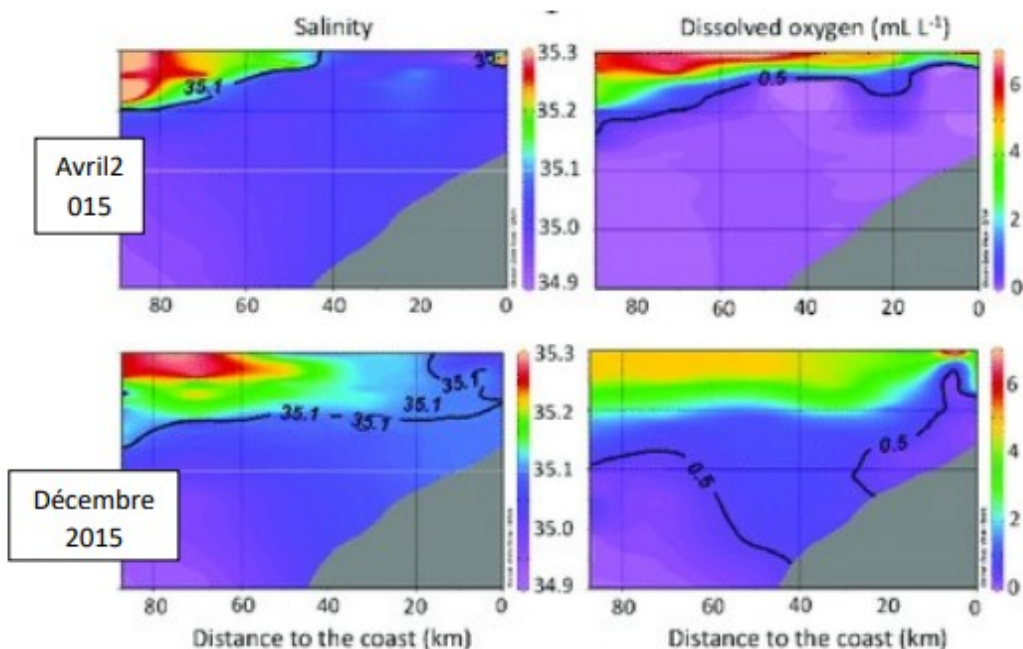


Figure 7. La salinité (en g.L⁻¹) et la concentration en dioxygène dissout (en mL.L⁻¹) au large du Pérou. https://www.researchgate.net/figure/Profiles-of-temperature-A-salinity-B-and-dissolved-oxygen-concentration-C-for_fig2_332906545

12. La variation de salinité observée avec la profondeur est-elle cohérente avec la variation globale de salinité dans l'ensemble de la colonne d'eau océanique ? Justifier la réponse et proposer une explication.

13. Commenter les résultats de la figure 7 et expliquer l'origine des différences observées entre les mois d'avril et de décembre 2015.

On s'intéresse aux conséquences écologiques et économiques du phénomène El Nino.

A la fin des années 1970, le Pérou a mis en place des quotas de pêche limitant la taille des prises.

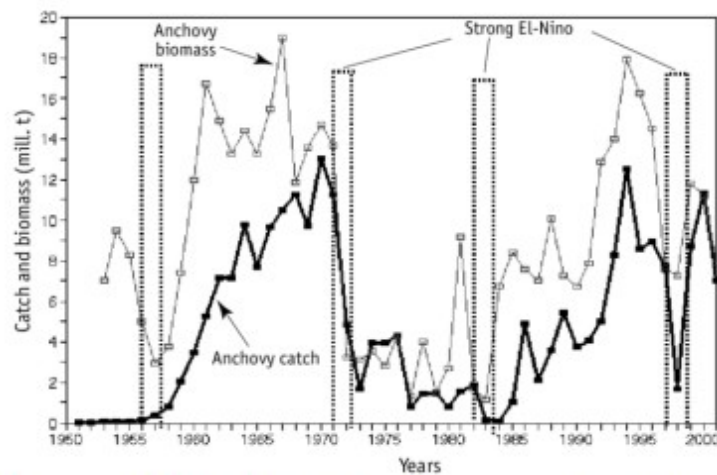


Figure 8. La biomasse d'anchois disponible et les captures d'anchois au large du Pérou.

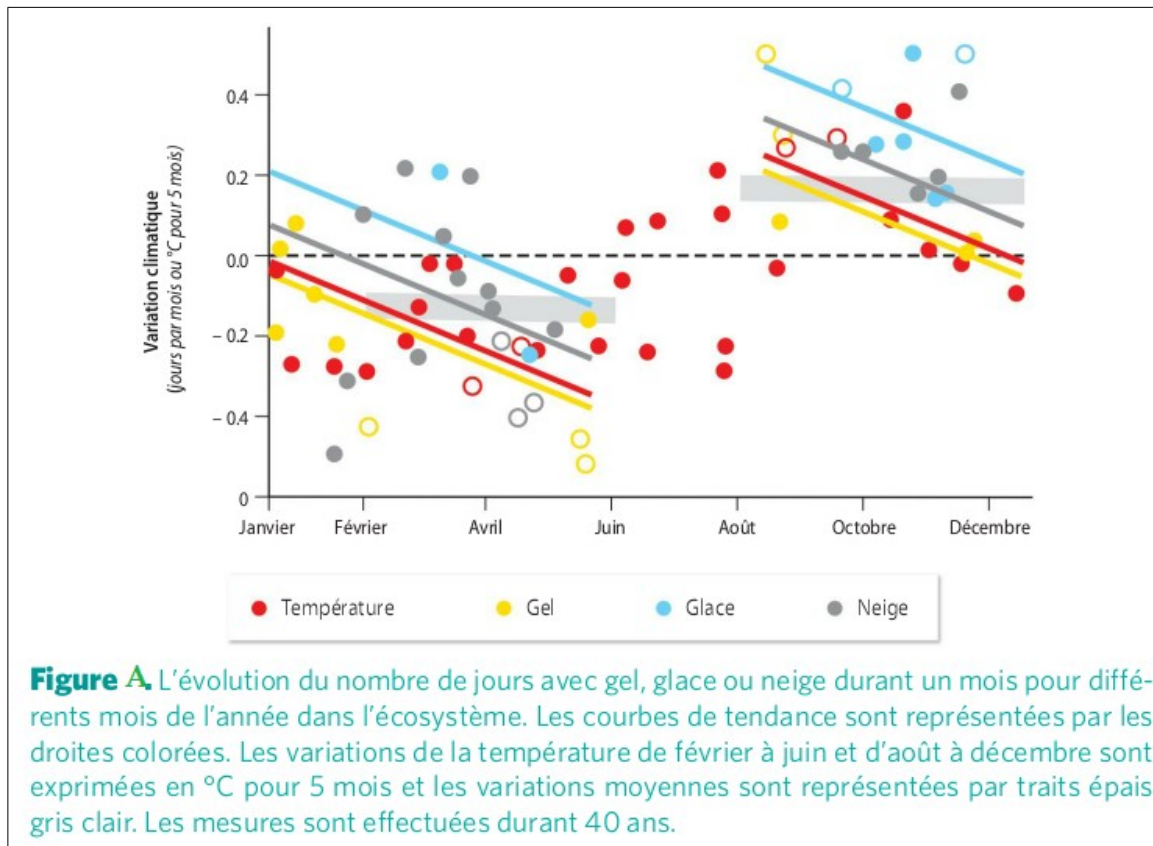
https://www.researchgate.net/figure/Comparative-dynamics-of-Peruvian-anchoveta-Engraulis-ringens-biomass-white-squares_fig63_264783274

14. Commenter les relations entre la biomasse d'anchois, leur capture et les épisodes El Nino.

15. Réaliser un schéma bilan comparant la circulation de l'eau lors d'un hiver normal et lors d'un hiver El Nino.

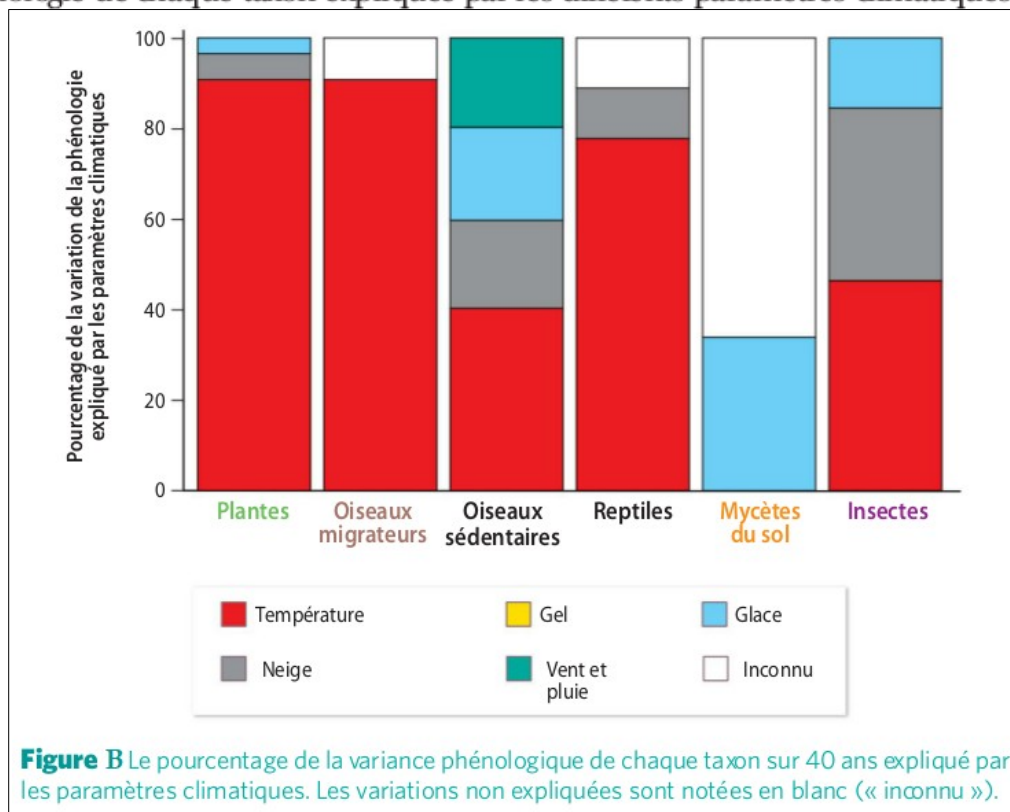
Exercice 3 : l'effet du changement climatique sur les relations interspécifiques 30 minutes

Un écosystème russe a été étudié durant 40 ans, ce qui permet de suivre l'évolution des phénologies de plusieurs communautés, ainsi que leurs interactions.



1. A partir des données de la figure A, expliquer pourquoi pour cet écosystème, le terme de « changement climatique » est plus pertinent que celui de « réchauffement climatique ».

À partir des données de terrain et de modèles climatiques, les chercheurs ont établi la part des variations de phénologie de chaque taxon expliquée par les différents paramètres climatiques.



2. D'après les données de la figure B, montrer que les phénologies des différents taxons n'évoluent pas à cause des mêmes paramètres climatiques. En utilisant vos connaissances sur la biologie de ces taxons, proposez quelques explications.

Les chercheurs se demandent si les variations de phénologie différentes entre les taxons peuvent désynchroniser des espèces qui interagissent dans l'écosystème, et perturber leurs interactions. Deux espèces sont dites en synchronie si elles réalisent une même activité périodique au même moment (reproduction, retour de migration, floraison, etc.)

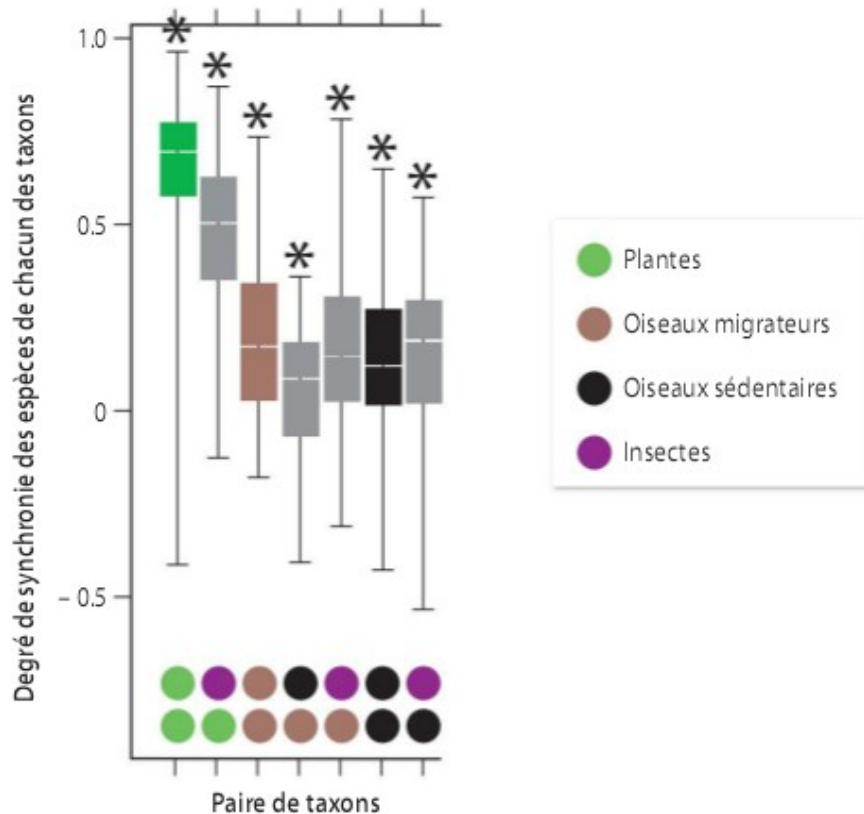


Figure C Le degré de synchronie de la phénologie des espèces prises dans les paires de taxons indiquées par le code couleur en bas de chaque colonne. Quand il y a deux fois le même code couleur, c'est le degré de synchronicité à l'intérieur du taxon qui est évaluée. Un astérisque indique une valeur significativement différente du hasard.

3. En utilisant les figures B et C et en prenant quelques exemples judicieusement choisis parmi les apires de taxons étudiés, expliquer pourquoi le dérèglement climatique, en désynchronisant la phénologie des taxons ou, des espèces au sein d'un taxon, peut induire l'extinction de certaines espèces dans cet écosystème.

Éléments de correction

Exercice 1 : l'effet climatique de l'apparition des plantes terrestres 20 minutes

1. Cette mousse fait moins de 10 cm et a un accroissement de biomasse de moins de 20 mg en un trimestre. Une teneur en CO_2 de 8 fois la valeur actuelle correspond à $8 \times 770 \text{ Gt}$ soit environ 6000 Gt, ce qui est nettement supérieure la masse de la biosphère actuelle. On peut donc exclure que la chute du CO_2 soit causée par l'activité photosynthétique des mousses de l'Ordovicien.
2. L'altération des roches est accélérée en présence de plantes, de façon directe avec la respiration des racines (et des rhizoïdes probablement), et la libération de protons, et de façon indirecte par des associations mutualistes avec des mycètes et des bactéries. Ces microorganismes libèrent des substances qui attaquent les roches [voir Chapitre 13 *Les sols*].
3. Il suffit de 130 jours pour que la roche libère des ions, même en l'absence de mousses. S'il n'y a aucun microorganisme vivant à la surface de la roche dans le groupe témoin, alors les réactions d'altération ne sont pas catalysées et devraient être tellement lentes qu'aucune libération d'ions ne devrait être détectable.
4. Les atomes du granite forment la structure des minéraux. Des ions sont libérés par l'hydrolyse de ces minéraux [*Ne dites pas dissolution !*]. Le point de départ de l'hydrolyse d'un minéral est le remplacement d'un ion par un proton H^+ . Tout ce qui augmente la concentration de H^+ à proximité des minéraux favorise leur hydrolyse, par la loi d'action de masse. La sécrétion de H^+ par les mycorhizes a donc un effet direct. La production de CO_2 par les mycètes a un effet indirect en déplaçant l'équilibre de la réaction $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$ dans le sens de la formation de protons.
5. Le diagramme de Goldschmidt montre que sur la figure B-1 les cations solubles (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) sont libérés en plus grande quantité que les cations précipitants (Al^{3+} et Fe^{3+}), bien que les minéraux aient pour composants majoritaires Al, Fe et Si. Il y a peut-être ici un biais. On ne dose correctement que les ions en solution, donc par définition les cations solubles, et pas ceux qui précipitent, qui ne sont pas récoltés ou mal dosés (parce qu'ils se déposent au fond des tubes ou forment des amas).
6. Quand le modèle prend en compte l'effet des mousses, le $\delta^{13}\text{C}$ est assez peu modifié, ce qui confirme qu'il n'y a pas de fixation notable de C dans la biomasse (car la photosynthèse fixe préférentiellement le ^{12}C ce qui modifie le $\delta^{13}\text{C}$ des océans en cas de forte croissance de la biomasse continentale). Pourtant la quantité de CO_2 passe bien de 16 à 8 fois la valeur actuelle quand on ajoute l'effet des mousses via leur altération des roches. L'hypothèse des chercheurs est donc bien validée, et ils ont pu préciser que le mécanisme n'est pas la photosynthèse mais la stimulation de l'altération par les mousses.

Exercice 2 : le phénomène El Nino 90 minutes

1. Les variations saisonnières de vitesse de vent sont d'autant plus faibles que l'on se rapproche de l'Equateur. En effet, l'Equateur bénéficie d'un flux solaire constant et n'est pas concerné par les saisons, contrairement aux latitudes plus élevées. Au contraire, la zone située vers 35°S est soumise aux déplacements des dépressions et aux anticyclones et présente des vitesses de vents beaucoup plus variables.
2. Lorsqu'on s'éloigne de l'Equateur, le vent n'entraîne pas simplement avec lui l'ensemble de la couche d'eau. L'énergie mécanique des vents exerce sur la surface de la mer une force de frottement qui tend à entraîner l'eau de surface dans son sillage. Si cette force de frottement due au vent est équilibrée par la force de Coriolis due à la rotation de la Terre, un courant de surface se crée à 45° à droite de la direction du vent dans l'hémisphère nord (à gauche dans l'hémisphère sud). Par frottement, ce courant de surface entraîne à son tour la couche d'eau sous-jacente, et ainsi de suite. Au cours de ce processus, le courant tourne en profondeur en s'écartant de la direction du vent. Une perte d'énergie se produit d'où une diminution de la vitesse du courant avec la profondeur. Ce mouvement d'ensemble de l'eau ou spirale d'Ekman est globalement dirigé à 90° à gauche de la direction du vent dans l'hémisphère sud. Ici, le vent souffle surtout du sud vers le nord : le courant d'eau de surface est donc dévié vers l'ouest.
3. Les alizés sont des vents d'est, soufflant donc vers l'ouest parallèlement à l'Equateur. La zone équatoriale balayée par les alizés est appelée ZCIT (zone de convergence intertropicale). C'est une zone globalement dépressionnaire et où la force de Coriolis est très faible.
4. Les alizés sont impliqués dans la cellule de Walker aux latitudes équatoriales : ils circulent d'est en ouest au-dessus de l'océan, entament un mouvement ascendant au large de l'Australie (vers 160°E) ; les vents d'altitude soufflent d'ouest en est et entament une subsidence au-dessus des côtes chiliennes et péruviennes.
5. Au niveau de l'Equateur, il n'y a pas de force de Coriolis susceptible de dévier les mouvements : les vents alizés et les courants de surface sont donc parallèles et de même sens. Les alizés poussent donc simplement l'eau de surface vers l'ouest (dans le même sens que l'influence du transport d'Ekman aux latitudes tropicales).
6. Les températures des eaux de surface sont plus élevées au large de l'Australie qu'au large des côtes sud-américaines. En effet, l'eau de surface, qui est chaude, est poussée vers l'ouest par les vents (soit directement par les alizés, soit par les vents du sud et le transport d'Ekman).
7. La thermocline est la couche d'eau située entre les eaux de surface et les eaux profondes, soit entre 200 et 1000 m de profondeur ; la température y diminue et se stabilise autour de 4°C dans l'océan profond. La thermocline remonte au large de la côte sud-américaine, car les eaux de surface chaudes sont chassées vers l'ouest et donc les eaux profondes, plus froides, remontent : on parle d'upwelling côtier.
8. Les eaux profondes qui remontent au niveau de l'upwelling sont riches en dioxygène et en ions minéraux dissous. De plus, la proximité du continent autorise des transports d'ions minéraux vers les eaux de surface. Les deux phénomènes sont donc favorables à la prolifération de plancton. On observe qu'en période normale, les eaux au large de la côte est-américaine sont pauvres en nitrates et riches en chlorophylle. Or, la teneur en chlorophylle reflète la quantité de phytoplancton qui prolifère bien à cet endroit. Plus le plancton prolifère, plus il utilise les nitrates de l'eau, dont la quantité diminue.
9. Lors d'un épisode El Nino, des eaux de surface chaudes refluent d'ouest en est et se dirigent vers la côte est-américaine. Cela s'explique par le fait que les alizés, étant affaiblis, n'arrivent plus à pousser l'eau vers l'ouest.

10. La topographie océanique peut être mesurée par altimétrie satellitaire : un satellite envoie des trains d'ondes qui se réfléchissent sur l'eau et lui reviennent. En parallèle, le satellite détermine très précisément sa position en communiquant avec des balises posées au sol. En combinant les données sur l'orbite du satellite et celles des trains d'onde, on peut reconstituer la topographie océanique. De nombreuses mesures sont nécessaires pour s'affranchir de la topographie dynamique (vagues).

11. En temps normal, l'eau étant poussée vers l'Australie, on s'attend à un bourrelet d'eau à cet endroit et donc à une anomalie positive de la topographie. En période El Nino, l'eau reflue vers l'Amérique du sud, on observe donc un bourrelet d'eau au large des côtes chiliennes et péruviennes. C'est bien ce qui est observé ici : décembre 2015 a été le siège d'un épisode El Nino.

Toujours au cours de cette année 2015, la salinité et la concentration en dioxygène dissous ont été mesurées au large de Callao (12°S) au Pérou, au mois d'avril et au mois de décembre, sur 200 mètres de profondeur d'eau.

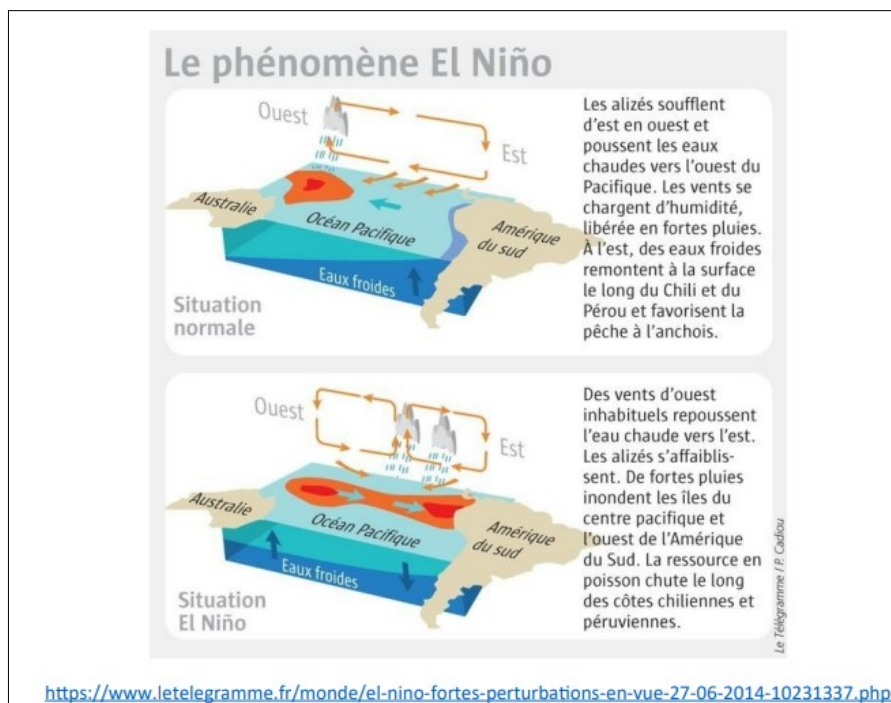
12. La salinité diminue globalement avec la profondeur dans la colonne d'eau globale (sur 4000 m). En revanche, ce n'est pas vrai pour les 200 premiers mètres : comme ce sont les eaux au contact de l'atmosphère qui s'évaporent, le sel s'y retrouve plus concentré.

13. Au mois de décembre 2015, on observe une diminution de l'oxygénation des eaux océaniques par rapport au mois d'avril, qui est due à l'arrivée d'une nappe d'eaux chaudes pauvres en dioxygène due au phénomène El Nino (la teneur en gaz dissous diminue lorsque la température de l'eau augmente). Cette eau étant plus chaude, elle s'évapore davantage et la salinité de surface augmente davantage.

14. Les captures d'anchois dépendent à la fois de la biomasse d'anchois, pouvant elle-même dépendre de l'épisode El Nino, et de l'effort de pêche développé. On observe une corrélation entre un épisode El Nino et une diminution de la biomasse d'anchois disponible. Cela peut s'expliquer par un effet *bottom-up* : les eaux chaudes étant moins oxygénées, le plancton s'y développe moins, donc les anchois ont moins de proies et leur population diminue.

Entre 1957 et 1972, les captures ont augmenté considérablement. On peut penser que l'effort de pêche est devenu de plus en plus grand et, la population d'anchois étant abondante, les prises ont pu être très importantes. En 1977, un épisode El Nino a provoqué un effondrement de la population d'anchois. L'effort de pêche continuant à être important, les populations d'anchois n'ont pas pu se reconstituer efficacement entre 1972 et 1982, date d'un nouvel épisode El Nino. Après celui-ci, les quotas de pêche ont permis une reconstitution efficace du stock. En 1997, un nouvel épisode El Nino a fait décliner de manière temporaire les populations (et les prises) d'anchois.

15. Schéma bilan



Exercice 3 : l'effet du changement climatique sur les relations interspécifiques 30 minutes

1. Dans cet écosystème, la température a augmenté de 0,2°C pour la période d'août à décembre, mais elle a diminué de 0,1°C pour la période de février à juin. Le réchauffement est donc limité à une seule partie de l'année. De plus, ce n'est pas la seule modification qui s'est produite. D'août à février, la glace et la neige sont présentes plus de jours par an. Au contraire, la neige et les gelées sont moins fréquentes au printemps. Plus qu'un réchauffement global, il s'agit d'une modification de l'ensemble des paramètres de l'écosystème, avec des modifications différentes selon les saisons. C'est donc bien un changement climatique global, plutôt qu'un réchauffement climatique.
2. Pour la plupart des taxons, la température est le principal facteur explicatif des variations de phénologie, sauf pour les mycètes qui vivent dans le sol où les variations de température sont minimales. Les oiseaux sédentaires peuvent être affectés par la neige qui cache les graines et les insectes. Les oiseaux migrateurs, eux, ne sont pas affectés car ils reviennent après la fonte des neiges. Les reptiles sont des ectothermes qui ont besoin de la chaleur externe pour activer leur métabolisme. Les insectes sont très affectés par la neige et le gel, mais pas parce que celle-ci affecterait les plantes dont ils se nourrissent (les plantes y sont relativement peu sensibles). Les paramètres du milieu susceptibles d'agir sur la valeur sélective (*fitness*) sont différents selon les espèces.
3. Les plantes sont le taxon présentant la plus forte synchronie (70 %). Le dérèglement climatique pourrait décaler la phénologie de certaines espèces, selon leur degré de sensibilité à la température, mais aussi parce que certaines espèces ont une phénologie sensible à la neige et au gel (figure F). Cela signifie par exemple que des plantes qui fleurissaient au même moment fleuriront à des dates de plus en plus espacées. Si ces fleurs sont pollinisées par un même groupe d'insectes pollinisateurs, ceux-ci risquent de manquer de nourriture à la date habituelle de floraison commune. Pour les fleurs une réduction du nombre de pollinisateur pourrait réduire leur fécondation. Les plantes et les insectes sont aussi synchrones à 50 %. Cela concerne des insectes pollinisateurs spécialisés dans la pollinisation de certaines plantes (et réciproquement). En cas de décalage de la floraison et l'apparition des insectes pollinisateurs spécialisés, la pollinisation des plantes et la nutrition des pollinisateurs peuvent être réduites voire compromises.

Exercices 1 et 3 tirés du Tout en Un, BCPST2, Dautel et al, Editions Vuibert

Exercice 2 d'après Audrey Proust, Enseignante en BCPST au lycée Lakanal