

Chapitre 3 : Le climat du futur

Présentation	2
Activités	5
Activité documentaire 1 : La modélisation du climat (p. 52-53)	5
Activité de groupe 2 : L'impact des activités humaines sur le climat futur (p. 54-55)	9
Groupe 1 : Les émissions de dioxyde de carbone	9
Groupe 2 : Les émissions de méthane	11
Suggestions de réponses aux indicateurs de réussite	12
Activité de groupe 3 : Le climat futur et ses conséquences (p. 56-59)	14
Groupe 1 : Des impacts sur les territoires	15
Groupe 2 : Des impacts au niveau des mers et des océans	15
Groupe 3 : Des impacts sur la biodiversité et les écosystèmes	16
Suggestions de réponses aux indicateurs de réussite	17
Bilan (p. 61)	24
Exercices	25
Zone d'échauffement (p. 62)	25
L'atelier des apprentis (p. 63)	25
Le repaire des initiés (p. 64)	29
Le coin des experts (p. 65-66)	32

Présentation

Ce chapitre explicite la manière dont la communauté scientifique modélise le climat du futur. Il permet également de comprendre quelles sont les causes anthropiques à l'origine du réchauffement climatique (agriculture, déforestation, production de ciment, etc.). Il met en avant les conséquences du réchauffement climatique sur la biodiversité, l'élévation du niveau de la mer, la prolifération d'espèces invasives. Ce chapitre permet ainsi aux élèves de prendre conscience de l'impact des humains sur le climat du futur.

Ce qui a été enseigné en seconde :

- Les échelles de la biodiversité : définitions, notions d'espèce, variabilité génétique ;
- La biodiversité au cours du temps : la notion de crise biologique ;
- Érosion et activités humaines : impact humain sur l'érosion des paysages ;
- Structure et fonctionnement des agrosystèmes : besoins agricoles humains, pratiques agricoles (agriculture intensive, utilisation d'intrants, etc.) ;
- Vers une gestion durable des agrosystèmes : enjeux environnementaux, limitation ou compensation des impacts environnementaux.

Ces notions permettent de mieux comprendre les enjeux environnementaux liés au réchauffement climatique, engendré de manière directe ou indirecte par l'activité humaine.

Ce qui a été enseigné en première :

- En Enseignement scientifique :
 - Le Soleil notre source d'énergie ([LLS.fr/ES1P66](https://www.lls.fr/ES1P66)) : distinction entre météorologie/climat, notion d'albédo, mention du réchauffement climatique lié au renforcement de l'effet de serre.
 - Cette partie du programme prépare les notions essentielles nécessaires à la compréhension de l'établissement des modèles climatiques.
- En première spécialité SVT :
 - Les écosystèmes : des interactions dynamiques entre les êtres vivants et avec leur milieu. Notions de biocénose et de biotope, fonctionnement d'un écosystème, perturbations des écosystèmes.
 - L'humanité et les écosystèmes : les services écosystémiques et leur gestion. L'espèce humaine affecte le fonctionnement de la plupart des écosystèmes en exploitant des ressources (ex. : forestières), en modifiant le biotope local ou global (changement climatique, introduction d'espèces invasives).

Lien(s) avec les chapitres précédents ou suivants du manuel :

- Les chapitres 1 et 2, sur l'atmosphère terrestre et la complexité du système climatique, expliquent la composition et l'évolution de l'atmosphère au cours du temps. Ils définissent également les différents acteurs du système climatique et leurs interactions.
- Produire de l'électricité sans contribuer au réchauffement climatique, optimiser son transport deviennent des objectifs d'une transition climatique et environnementale. Les chapitres suivants, sur l'énergie et le futur climatique, expliquent comment les humains peuvent, par leurs choix, réduire ou limiter le réchauffement climatique.

Bibliographie :

A. Foucault, *Climatologie et paléontologie*, 2016.

J. Jouzel et al., *Quel climat pour demain ? 15 questions réponses pour ne pas finir sous l'eau*, 2015

« Océans, le dernier continent à explorer », Hors-série, *Pour la Science*, n° 104, Août-Septembre 2019

Sitographie :

- Vidéo de 5 min expliquant comment se construit un modèle climatique : <https://www.ipsl.fr/fr/Mediatheque/Multimedia/Animation-sur-la-modelisation-climatique>
- Site permettant de montrer l'évolution du niveau de la mer : <http://flood.firetree.net/>
- Site géorisques permettant de visualiser les risques près de chez vous : <http://www.georisques.gouv.fr/>
- Vidéo avec protocoles pour montrer l'évolution du pH en fonction de la concentration en CO₂ (expériences colorimétriques ou sonde pH) :
 - https://www.youtube.com/watch?time_continue=99&v=epDWuf-J9p0
 - <http://edu.mnhn.fr/mod/page/view.php?id=1354>
- Vidéo avec évolution d'un ptéropode dans un milieu acide et dans un milieu témoin : https://www.youtube.com/watch?v=6H_VDhXiFk4&feature=youtu.be
- Vidéo sur l'évolution du moustique tigre : <https://www.youtube.com/watch?v=JatLzYTp23o>
- Liens vers différents logiciels de modélisation climatique : <http://acces.ens-lyon.fr/acces/thematiques/paleo/paleobiomes/illustrer/logiciels-de-modelisation-climatique-en-ligne-ou-a-telecharger>
- Météo France prête gratuitement des expositions : https://www.ecologie-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/ONERC_plaquette_presentation_expositions.pdf
- Logiciels de modélisation :
 - Météo France Climat HD : <http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/climathd>
 - Drias : <http://www.drias-climat.fr/decouverte>
 - Simclimat : <http://education.meteofrance.fr/lycee/animations/utiliser-les-animations-en-classe/fiche-pedagogique-simclimat-un-modele-simple-de-bilan-radiatif-de-la-terre#>
- NOAA donne des indications de températures (rapport du mois de juin 2019) : <https://www.ncei.noaa.gov/news/global-climate-201906>
- Vidéo sur la production du ciment : <https://www.usinenouvelle.com/article/la-composition-des-ciments-clef-de-la-reduction-des-emissions-de-co2.N770714>
- Vidéo Météo France présentant les risques du climat futur : <https://www.youtube.com/watch?v=vwWbWwhbNak>
- Historique des tempêtes en France métropolitaine par Météo France : <http://tempetes.meteofrance.fr/spip.php?rubrique6&fbclid=IwAR3HlqOUf2uJw4H7nr eUMvdjRcBRfEyKXg4kwD5Pm1fw29P4mlf1aG3oyE>
- Site Propluvia qui donne des cartes de restriction des eaux en France : <http://propluvia.developpement-durable.gouv.fr/propluvia/faces/index.jsp>
- Vidéos sur l'acidification des océans :
 - <https://education.francetv.fr/matiere/developpement-durable/cinquieme/video/l-acidification-des-occeans>
 - <https://fr.oceancampus.eu/cours/Ajw/acidification-des-occeans>

- Vidéo France info sur le rapport de l'IPBES :
https://www.francetvinfo.fr/monde/environnement/biodiversite/video-le-rapport-alarquant-de-l-ipbes-la-biodiversite-se-meurt-nos-modes-de-vie-sont-en-sursis_3431015.html
- Site WWF pour observer l'évolution de certaines espèces en fonction des différents scénarios du GIEC : <https://www.wwf.fr/nature-climat>
- Rapport 2018 du GIEC à destination des enseignants :
http://www.oce.global/sites/default/files/2019-04/1.5degree_FR_final_LR.pdf
- Différentes ressources de la NASA (graphique sur la concentration en CO₂ atmosphérique, niveau de la mer, glace antarctique, signaux vitaux de la Terre, images avant/après) :
 - <https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/?fbclid=IwAR0f1U8hKwpe9S-ugxRlvkVyl7EbE-hOKdO1VV4PFFHmGsuv5S3Dm3oFS9k>
 - <https://sealevel.nasa.gov/vesl/web/sea-level/slr-antarctica/>
 - https://climate.nasa.gov/earth-now/?vs_name=air_temperature&dataset_id=820&group_id=46&animating=f&start=&end=
 - <https://climate.nasa.gov/interactives/climate-time-machine>
 - <https://climate.nasa.gov/images-of-change?id=684#684-vavilov-ice-cap-glacier-accelerates>
- Vidéo *Le Monde* sur les conséquences du réchauffement climatique :
https://www.lemonde.fr/planete/video/2014/09/23/comprendre-le-rechauffement-climatique-en-4-minutes_4492721_3244.html
- Vidéo conférence sur les modèles climatiques : <http://acces.ens-lyon.fr/acces/thematiques/eedd/simulation-des-conferences-des-parties-sur-le-changement-climatique/ressources-pedagogiques-et-questions-philosophiques/cop-21-des-ressources-scientifiques-et-des-actualites>
- Questions réponses pour combattre le climatocpticisme :
<https://leclimatchange.fr/questions-reponses/>
- Des informations supplémentaires sur les supercalculateurs :
<https://lejournel.cnrs.fr/supercalculateur>

Idées d'activités alternatives ou complémentaires :

- La fresque du climat : <https://fresqueduclimat.org/>

Activités

Dans ce chapitre, on cherche à expliquer, dans un premier temps, comment sont établis les modèles climatiques : utilisation de données scientifiques solides, utilisation de lois de la physique fondamentale, confrontation des modèles avec les observations du réel, etc. Il s'agit ensuite, dans un deuxième temps, d'expliquer l'impact des activités humaines sur le climat du futur et les conséquences sur la biodiversité, le niveau de la mer, l'acidification des océans, etc. L'objectif est de faire prendre conscience aux élèves de l'importance de l'étude du climat et de l'impact des activités humaines sur ce dernier.

Activité documentaire 1 : La modélisation du climat (p. 52-53)

L'objectif de cette activité est de comprendre comment sont établis, validés et utilisés les modèles climatiques.

Lien avec le programme : Cette activité traite les premiers items de la partie 1.3 sur Le climat du futur.

Objectifs notionnels :

- Les modèles climatiques s'appuient sur :
 - la mise en équation des mécanismes essentiels qui agissent sur le système Terre ;
 - des méthodes numériques de résolution.

Les résultats des modèles sont évalués par comparaison aux observations *in situ* et spatiales, ainsi qu'à la connaissance des paléoclimats.

Ces modèles, nombreux et indépendants, réalisent des projections climatiques. Après avoir anticipé les évolutions des dernières décennies, ils estiment les variations climatiques globales et locales à venir sur des décennies ou des siècles.

Objectifs méthodologiques :

- Mettre en évidence le rôle des différents paramètres de l'évolution climatique, en exploitant un logiciel de simulation de celle-ci, ou par la lecture de graphiques.

Durée estimée : 60 minutes.

Présentation des documents

Document 1 : Construction d'un modèle climatique

Ce document montre le chemin permettant à la communauté scientifique d'établir un modèle climatique fiable. Les modèles prennent en compte différentes données (exemple : observation *in situ*). Ils sont soumis à des lois fondamentales, à la numérisation des données et au codage de ces informations dans des supercalculateurs, et peuvent être corrigés en comparaison avec des observations. Il existe différents modèles climatiques indépendants qui peuvent être utilisés à différentes échelles de temps et d'espace.

Document 2 : Valider un modèle climatique en le confrontant à des observations connues récentes

Ces deux cartes montrent la variation de l'amplitude thermique du cycle saisonnier de la température de l'air de surface, obtenue grâce au modèle IPSL-CM4, et des données observées. Ce document met en évidence que les modèles sont très similaires aux données observées, ce qui renforce leurs capacités de prédictibilité.

Document 3 : SimClimat : un logiciel pour simuler le climat futur

Ce document met en avant un outil de simulation très simplifié mis à disposition par Météo France et utilisable gratuitement par les élèves. Cette simulation permet aux élèves de mieux appréhender la complexité d'un modèle climatique mais également de comprendre l'évolution climatique en fonction de différents paramètres (augmentation de la concentration en CO₂ atmosphérique, etc.)

Réponses attendues aux questions :

1. La mise en équation permet de transcrire dans un langage mathématique des problématiques liées à l'étude du climat. Cela facilite la mise en relation des données dans des équations et permet de solutionner un problème à multiples paramètres. La multiplicité des équations et des paramètres rend la résolution trop complexe et nécessite l'utilisation de l'informatique pour la construction des modèles climatiques.

2. La construction d'un modèle climatique est un processus qui mobilise de nombreux acteurs comme :

- des physiciens et de chimistes (utilisation des lois de la thermodynamique, mécanique des fluides) ;
- des biologistes ;
- des géologues (étude de la géodésie, étude des données spatiales, paléo-climatiques) ;
- de mathématiciens (mise en équation) ;
- des informaticiens (numérisation des données, codage, etc.) ;
- des climatologues (étude des climats passés, présents et futurs).

L'établissement d'un modèle est long, car il prend en compte une multitude de phénomènes mobilisés par de nombreux acteurs.

3. Les résultats d'un modèle sont comparés à des observations directes dans l'objectif d'être validés ou bien d'être améliorés. Ils peuvent être testés sur des climats passés des dernières décennies.

En comparant les données du document 2, on voit que le modèle peut alors être corrigé localement afin de mieux correspondre à la réalité observée et de mieux estimer les variations futures.

4. On observe une grande similitude entre les résultats du modèle et les observations : cela signifie qu'il s'agit d'un modèle pertinent. On observe quelques différences, par exemple en Australie où la température simulée est plus importante que la température observée. Ces

différences restent cependant négligeables et on constate que le modèle est très similaire aux observations : il ne nécessite que très peu de corrections.

5. Au XX^e siècle, les modèles climatiques comportaient des erreurs qui nécessitaient d'être corrigées, mais aujourd'hui les modèles sont beaucoup plus performants, ce qui permet de faire peu ou pas de corrections.

6. La construction d'un modèle climatique est complexe, car elle implique :

- de nombreuses données (physiques, chimiques, biologiques, mathématiques) ;
- de nombreux acteurs (physiciens, mathématiciens, etc.) ;
- de nombreux supercalculateurs puissants ;
- l'utilisation de différentes échelles spatio-temporelles ;
- la validation du modèle climatique en comparant le modèle avec des observations directes ou des climats passés.

Protocoles et résultats expérimentaux :

Réaliser une modélisation avec le logiciel SimClimat

Matériel nécessaire :

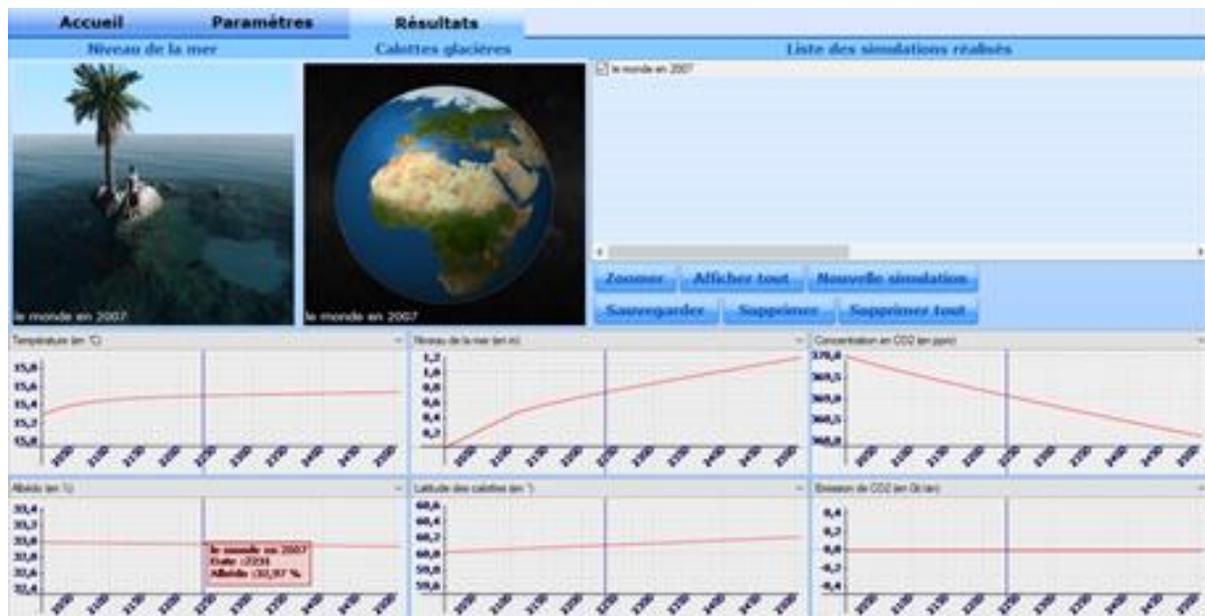
- [Logiciel SimClimat](#)

Protocole :

- Choisir « à partir de 2007 » durant « 100 ans ».
- Donner un nom à cette simulation.
- Choisir dans « Concentration ou émissions de CO₂ ».
- Émissions anthropiques (en Gt/an), choisir « nulles » ou « comme aujourd'hui » ou « deux fois plus qu'aujourd'hui » ou « autre (à fixer manuellement) ».
- Lancer la simulation.

NB : il est possible de lancer plusieurs simulations qui vont se superposer, d'où l'importance de nommer les simulations.

Résultats attendus :



Ressources complémentaires :

- Logiciels de modélisation :
 - Météo France Climat HD : <http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/climathd>
 - Drias : <http://www.drias-climat.fr/decouverte>
 - SimClimat : <http://education.meteofrance.fr/lycee/animations/utiliser-les-animations-en-classe/fiche-pedagogique-simclimat-un-modele-simple-de-bilan-radiatif-de-la-terre#>
- Liens vers des conférences sur la modélisation climatique : <http://acces.ens-lyon.fr/acces/thematiques/eedd/simulation-des-conferences-des-parties-sur-le-changement-climatique/ressources-pedagogiques-et-questions-philosophiques/cop-21-des-ressources-scientifiques-et-des-actualites>

Activité de groupe 2 : L'impact des activités humaines sur le climat futur (p. 54-55)

L'objectif de cette activité est de faire travailler les élèves en groupe sur deux gaz à effet de serre et sur leur origine anthropique. Une différenciation est possible entre les deux groupes avec des notions plutôt liées à la physique-chimie dans l'un et des notions plutôt liées aux SVT dans l'autre.

Lien avec le programme :

Cette activité traite les items de la partie 1.3 sur Le climat du futur relatifs aux impacts des activités humaines sur le climat.

Objectifs notionnels :

- L'analyse scientifique combinant observations, éléments théoriques et modélisations numériques permet aujourd'hui de conclure que l'augmentation de température moyenne depuis le début de l'ère industrielle est liée à l'activité humaine : CO₂ produit par la combustion d'hydrocarbures, la déforestation, la production de ciment, CH₄ produit par les fuites de gaz naturel, la fermentation dans les décharges, certaines activités agricoles.

Objectifs méthodologiques :

- Étudier des documents variés (graphique, textes, etc.).
- Comprendre qu'un effet peut avoir plusieurs causes.

Durée estimée : 40 minutes.

Groupe 1 : Les émissions de dioxyde de carbone

Présentation des documents

Document 1 : Combustibles fossiles, fabrication de ciment et émissions de CO₂

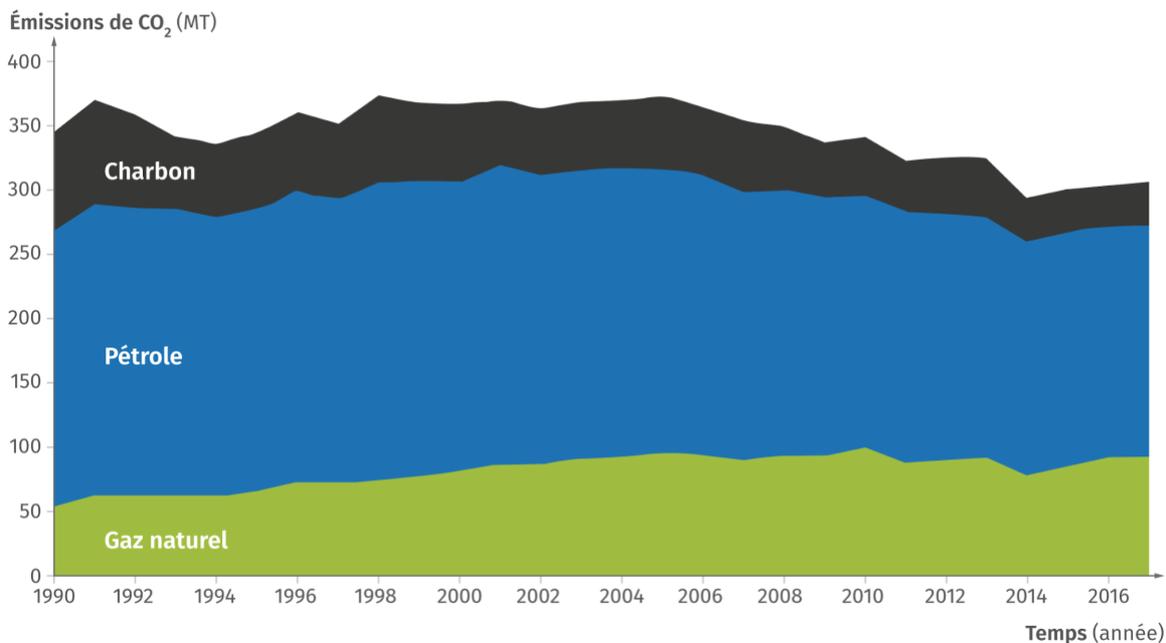
Ce document explique deux provenances des émissions de dioxyde de carbone : la production du ciment et les usines à charbon.

Document 2 : Déforestation et production de CO₂

Ce texte accompagné d'une infographie explique comment les forêts peuvent être des puits de carbone, mais peuvent également engendrer lors de la déforestation une libération du carbone stocké sous la forme de dioxyde de carbone.

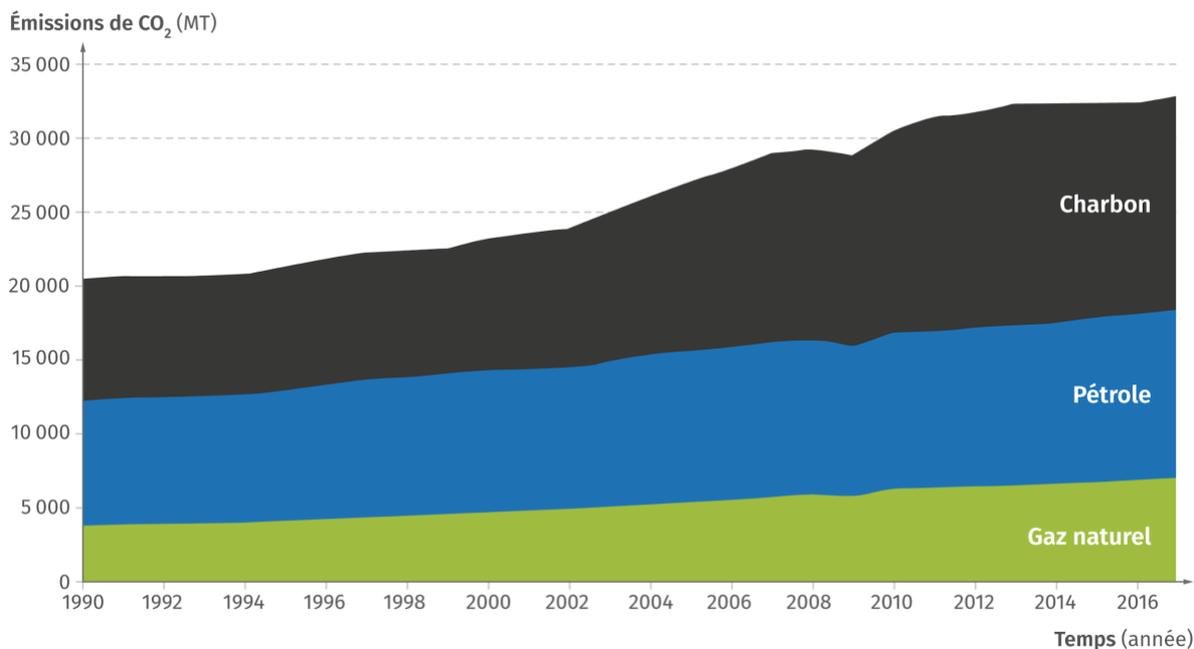
Ressources complémentaires :

Émissions de CO₂ pour différentes sources d'énergie en France entre 1990 et 2017



Source : <https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=CO2%20emissions&indicator=CO2%20emissions%20by%20energy%20source>

Émissions de CO₂ pour différentes sources d'énergie dans le monde entre 1990 et 2017



Source : <https://www.iea.org/data-and-statistics?country=FRANCE&fuel=CO2%20emissions&indicator=CO2%20emissions%20by%20energy%20source>

- Vidéo montrant la combustion du carbone (expérience) :
<https://www.youtube.com/watch?v=UsbbaL-xRq8>
- Vidéo *Le Monde* « Pourquoi l'Amazonie brûle et pourquoi c'est grave ? » :
<https://www.youtube.com/watch?v=y1QXDmZkJcU>
- Dossier WWF sur la déforestation :
https://www.wwf.fr/sites/default/files/doc-2018-11/20181107_Rapport_Synthe%CC%80se_De%CC%81forestation_Importe%CC%81e_France_WWF-min.pdf
- Article WWF sur la déforestation :
<https://www.wwf.fr/champs-daction/foret/approvisionnement-responsable/deforestation>
- Carte montrant la déforestation en temps réel :
<https://www.notre-planete.info/environnement/deforestation.php>
- Article sur le carbone contenu dans le ciment :
<http://www.construction-carbone.fr/lecimentetsapartcarbone/>
- Vidéo sur le bilan carbone du ciment :
<https://www.actu-environnement.com/ae/news/Bilan-carbone-ciment-filiere-changer-33280.php4>
- Schéma sur la fabrication du ciment par le CNRS :
<http://www.prc.cnrs.fr/spip.php?article92>

Groupe 2 : Les émissions de méthane

Présentation des documents

Document 3 : Fuites de gaz naturel : l'exemple des États-Unis

Document texte expliquant une fuite de gaz de méthane sur le site d'Aliso Canyon.

Document 4 : Émissions dans les élevages

Plusieurs infographies montrant le pourcentage d'émissions de méthane pour chaque type d'élevage (bovins, ovins, porcs, etc.) et l'origine de la production du méthane par fermentation chez la vache.

Document 5 : Fermentation dans les décharges

Ce document donne des indications chiffrées sur les décharges en France et sur l'évolution de la composition volumique du biogaz.

Ressources complémentaires :

- Vidéo de *Sciences et avenir* sur la fuite de méthane à Aliso Canyon :
https://www.sciencesetavenir.fr/nature-environnement/tout-ce-qu-il-faut-savoir-sur-l-enorme-fuite-de-gaz-du-puits-d-aliso-canyon_17541
- Article de *Le Monde* sur la fuite de méthane à Aliso Canyon :
https://www.lemonde.fr/planete/article/2016/01/07/etat-d-urgence-en-californie-apres-une-fuite-massive-de-methane_4842896_3244.html
- Brochure de l'ADEME sur la méthanisation en 10 questions :
<https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/guide-pratique-methanisation-en-10-questions.pdf>

- Article de *Libération* sur l'évolution de la consommation de bovins en France en 2018 :
https://www.liberation.fr/france/2019/04/04/la-consommation-de-viande-a-re-augmente-en-2018-en-france_1719314

Suggestions de réponses aux indicateurs de réussite

Groupe 1 :

1. Lors de la combustion du charbon dans les usines à charbon, il y a libération de CO₂ dans l'atmosphère liée à l'équation suivante : $C_xH_y + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$. La combustion du charbon permet une libération importante d'énergie pour l'industrie. L'utilisation de ce processus a pour conséquence une augmentation du CO₂ atmosphérique.

Pour fabriquer du ciment, il faut faire cuire de l'argile et du calcaire à environ 1 450 °C. Ce processus se nomme la clinkérisation. Le calcaire a pour formule CaCO₃ et l'élévation de la température provoque la décarbonatation de ce dernier selon la formule suivante :



La fabrication du ciment génère donc une augmentation du CO₂ atmosphérique. Cette augmentation peut être quantifiée en France grâce aux données fournies dans le document : 16 millions de tonnes × 656 kg de CO₂ = 10 496 000 tonnes de CO₂ libérées par an en France à cause de la production de ciment.

2. Les forêts constituent un équilibre entre capture et libération de CO₂. Lors de leur croissance, la photosynthèse permet la capture de CO₂ et elles constituent donc des puits de CO₂. Lors de la déforestation, il y a du défrichage et des feux de forêts, ce qui engendre une libération massive du carbone stocké dans la végétation et les sols. De plus, la déforestation est accompagnée le plus souvent d'une conversion des sols pour servir l'industrialisation ou l'agriculture qui sont des secteurs générateurs de CO₂ atmosphérique.

On pourrait penser que la reforestation peut constituer une solution, mais la capture et l'accumulation du carbone est plus lente.

La déforestation engendre une augmentation du CO₂ atmosphérique de manière directe avec la libération du stock de carbone dans la végétation et les sols, et de manière indirecte avec la réhabilitation des sols qui génère des émissions de gaz à effet de serre.

Groupe 2 :

1. Il existe différentes sources d'émissions de méthane :

- les fuites de gaz naturel. C'est ce qui s'est passé dans l'exemple d'Aliso Canyon. Lors de l'exploitation de gaz naturel (utilisation pour le gaz de ville notamment), le gaz peut s'échapper par des fuites naturelles, ce qui engendre une augmentation de la concentration en méthane atmosphérique.
- les élevages (notamment ceux de bovins). Chez la vache, par exemple, il y a un phénomène de fermentation lié à la vie microbienne (bactéries et champignons) dans le rumen. Cette fermentation, nécessaire à la digestion de l'animal, génère la libération de 70 à 120 kg de CH₄ (méthane) par jour. On peut quantifier la production de méthane

pour les élevages : $100 \text{ kg de CH}_4 \times 19 \text{ millions de bovins} = 1\,900 \text{ millions de kg de CH}_4$ par an, soit 1,9 millions de tonnes en France.

- les fermentations dans les décharges. Lors de la décomposition des déchets dans les décharges s'opère une fermentation, liée à la présence de microorganismes. La fermentation engendre la libération de gaz à effet de serre, comme le méthane qui est diffusé alors dans l'atmosphère.

2. Le méthane, tout comme le CO_2 , est un gaz à effet de serre. L'augmentation de la teneur atmosphérique en méthane liée à l'agriculture, les fuites de gaz naturel ou encore la fermentation dans les décharges va amplifier l'effet de serre. L'amplification de l'effet de serre (qui est un phénomène naturel) est à l'origine du réchauffement climatique observé ces dernières années.

Activité de groupe 3 : Le climat futur et ses conséquences (p. 56-59)

Le but de cette activité est de comprendre ce qu'est le GIEC et de visualiser les différents scénarios possibles en fonction des choix anthropiques. Cette activité contient une page commune, puis peut s'articuler en trois groupes : les impacts sur les territoires, les impacts au niveau des mers et des océans, et les impacts sur la biodiversité et les écosystèmes. L'objectif est de faire le lien entre les scénarios du GIEC et les conséquences sur la planète.

Lien avec le programme :

Les items restants de la partie 1.3 Le climat du futur sont traités dans cette activité.

Objectifs notionnels :

- Les modèles s'accordent à prévoir, avec une forte probabilité d'occurrence, dans des fourchettes dépendant de la quantité émise de GES :
 - une augmentation de 1,5 à 5 °C de la température moyenne entre 2017 et la fin du XXI^e siècle ;
 - une élévation du niveau moyen des océans entre le début du XXI^e siècle et 2100, pouvant atteindre le mètre ;
 - des modifications des régimes de pluie et des événements climatiques extrêmes ;
 - une acidification des océans ;
 - un impact majeur sur les écosystèmes terrestres et marins.

Objectifs méthodologiques :

- Exploiter les résultats d'un modèle climatique pour expliquer des corrélations par des liens de cause à effet.

Autres compétences mobilisables dans cette activité :

- Étudier des cartes.
- Étudier des graphiques.
- Analyser des résultats d'expériences.

Durée estimée : 60 minutes.

Présentation des documents

Document 1 : Rapports et scénarios du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat)

Ce document décrit la manière dont se constituent les rapports du GIEC et permet d'expliquer les différents scénarios établis. Chaque scénario mène à un réchauffement global en surface avec une augmentation comprise entre 1,5 et 2 °C (scénario optimiste) ou entre 4 et 5 °C (scénario pessimiste).

Ressources complémentaires :

- La fresque du climat (activité à réaliser en 2 ou 3 h avec des vignettes, il suffit de s'inscrire gratuitement pour obtenir les différentes versions des vignettes) : <https://fresqueduclimat.org/>

Groupe 1 : Des impacts sur les territoires

Présentation des documents**Document 2 : L'élévation du niveau de la mer dans le département de la Manche**

Trois cartes du département de la Manche illustrent différents scénarios du GIEC. On constate alors l'impact sur le territoire avec l'élévation du niveau marin.

Document 3 : Événements climatiques et météorologiques extrêmes et autres impacts sur le territoire français

Ce document représente une carte de la France métropolitaine et des DROM avec la hausse de température d'ici 2050, ainsi que les risques tels que les feux de forêts, les inondations, la sécheresse, etc.

Ressources complémentaires :

- Site internet permettant de voir l'évolution du niveau de la mer : <http://flood.firetree.net/>
- Site géorisques pour estimer les risques près de chez vous : <http://www.georisques.gouv.fr/>
- Vidéo de Météo France expliquant les risques liés au climat : <https://www.youtube.com/watch?v=vwWbWwhbNak>
- Le site Propluvia montrant les restrictions d'eau : <http://propluvia.developpement-durable.gouv.fr/propluvia/faces/index.jsp>

Groupe 2 : Des impacts au niveau des mers et des océans

Présentation des documents**Document 4 : Réactions chimiques et acidification des océans**

Cette infographie permet de comprendre l'origine de l'acidification des océans. Celle-ci provient de la solubilisation du CO₂ atmosphérique, qui suite à de nombreuses réactions va générer une augmentation d'ions H⁺, acidifiant ainsi l'océan.

Document 5 : Évolution du pH des océans selon les scénarios du GIEC

Ce graphique montre l'évolution du pH des océans en fonction de deux scénarios du GIEC (le plus optimiste étant RCP 2.6 et le plus pessimiste étant RCP 8.5).

Document 6 : Impact de l'acidification des océans sur les êtres vivants

Ce document relate les résultats de deux expériences d'acidification du milieu sur deux êtres vivants (bars et *Thecosomata*) au cours du temps.

Ressources complémentaires :

- Protocole du MNHN pour montrer l'acidification d'un milieu aqueux à l'aide d'un indicateur coloré (choux rouge) : <http://edu.mnhn.fr/mod/page/view.php?id=1354>
- Vidéo de l'expédition *Tara Oceans* où des élèves utilisent une sonde pH pour mesurer l'acidité d'un milieu :
https://www.youtube.com/watch?time_continue=99&v=epDWuf-J9p0
- Vidéo sur l'acidification des océans :
<https://fr.oceancampus.eu/cours/Ajw/acidification-des-océans>
- Commissariat général du développement durable, *Acidification des océans* (PDF) :
<https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/Th%C3%A9ma%20-%20Acidification%20des%20oc%C3%A9ans.pdf>
- Vidéos de Tara expéditions (expériences avec des élèves) :
<https://oceans.taraexpeditions.org/lesdessousdelocean/graines-de-reporters-scientifiques/enquete.html#acidification-des-océans>
- Vidéos de Sébastien Folin sur l'acidification des océans :
<https://education.francetv.fr/matiere/developpement-durable/cinquieme/video/l-acidification-des-océans>
- Cartes de l'évolution de l'acidité dans les océans :
<http://regardssurlaterre.com/cartes-et-donnees/lacidification-des-océans-en-2000-2050-2099>
- Infographies du Ministère de la Transition écologique et solidaire et site officiel :
<https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/impacts-du-rechauffement-climatique-sur-biodiversite>
- <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/>
- Vidéo de NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) montrant l'évolution d'une coquille de *Thecosomata* dans un milieu acide :
https://www.youtube.com/watch?v=6H_VDhXiFk4&feature=youtu.be
- Reportage de France TV sur l'IFREMER (Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer) : https://www.francetvinfo.fr/meteo/climat/l-eau-des-océans-plus-acide-sous-l-effet-du-rechauffement-climatique_3631999.html

Groupe 3 : Des impacts sur la biodiversité et les écosystèmes

Présentation des documents

Document 7 : Un rapport alarmant de l'IPBES

Ce document montre quelles sont les catégories d'espèces menacées à l'échelle mondiale. L'IPBES (plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques) explique que sur 10 millions d'espèces environ, 1 million sont ainsi menacées.

Document 8 : Espèces menacées et extinctions

Il s'agit d'un graphique représentant les espèces menacées en fonction de différents scénarios du GIEC. Plus la température augmente, plus les différentes espèces sont menacées.

Document 9 : Développement des espèces envahissantes : l'exemple du moustique tigre en France

Ce document représente des informations relatives à l'évolution du moustique tigre sur le territoire français métropolitain. Son cycle de développement est raccourci avec l'augmentation de la température.

Ressources complémentaires :

- Vidéo d'Euronews sur le moustique tigre : <https://www.youtube.com/watch?v=JatLzYTp23o>
- Article sur le moustique tigre : <https://reseauactionclimat.org/rechauffement-moustique-tigre/>
- Vidéo de France TV sur l'IPBES : https://www.francetvinfo.fr/monde/environnement/biodiversite/video-le-rapport-alarmant-de-l-ipbes-la-biodiversite-se-meurt-nos-modes-de-vie-sont-en-sursis_3431015.html
- Article de Marianne sur la définition des espèces invasives : <https://www.marianne.net/societe/moustiques-tigres-frelons-dasie-le-temps-des-especes-invasives>
- Article de Sciences et avenir sur le déplacement des moustiques tigres : https://www.sciencesetavenir.fr/animaux/insectes-invasifs-les-moustiques-tigres-voyagent-en-europe-dans-les-voitures_121384
- Un article de l'Observatoire national de la biodiversité sur l'évolution des espèces invasives : <http://indicateurs-biodiversite.naturefrance.fr/fr/indicateurs/evolution-du-nombre-moyen-despeces-exotiques-envahissantes-par-departement-metropolitain>
- Le coût des espèces invasives (Sciences et avenir) : https://www.sciencesetavenir.fr/nature-environnement/12-especes-invasives-qui-coutent-tres-cher-a-la-france_16864
- Article de Libération sur les espèces invasives : https://www.liberation.fr/planete/2018/05/17/des-especes-s-eteignent-d-autres-prolifèrent_1650880

Suggestions de réponses aux indicateurs de réussite

Groupe 1 :

1. Avoir résumé les impacts directs et indirects du changement climatique sur l'environnement.

Le changement climatique a pour conséquence :

- une élévation du niveau de la mer et potentiellement la submersion de villes côtières (ex. : Cherbourg), ou même d'îles comme les Maldives ;
- une hausse des températures sur les territoires pouvant aller jusqu'à 3 °C d'ici 2050 ;
- des événements climatiques extrêmes qui sont de plus en plus fréquents (inondations, feux de forêts, sécheresses, cyclones, ouragans, crues, baisse de l'enneigement, etc.) ;
- le développement d'espèces invasives (ex. : moustique tigre) ;
- la stagnation des rendements dans les cultures.

2. Avoir évalué les risques (environnementaux, humains, etc.) selon les différents scénarios du GIEC.

D'après le document 2, l'élévation du niveau de la mer dans le département de la Manche dépendrait du scénario du GIEC. Selon le scénario RCP 4.5, correspondant à une atténuation des émissions de GES (gaz à effet de serre), où le forçage radiatif est stabilisé avant 2100, le niveau de la mer s'élèverait de 0,32 m en 2100 et de 5 m en 2500. Selon le scénario 8.5 (scénario pessimiste), correspondant à un scénario extrême où les émissions de GES s'accroissent, on estime une élévation de 1 m en 2100 et de 13 m en 2500.

Les conséquences de cette élévation du niveau marin sont la disparition de certains territoires par immersion, la modification des écosystèmes, le relogement des populations, des migrations importantes, des problèmes économiques, la perte de patrimoine culturel, etc. L'augmentation des phénomènes climatiques extrêmes pourra générer des décès liés aux canicules, la destruction de certains écosystèmes, la disparition partielle ou totale des glaciers, des problèmes économiques liés à la gestion des ressources et le développement des espèces invasives sur le territoire.

3. Avoir ordonné les idées pour établir des liens de cause à effet.

Pour l'oral : l'objectif est d'être convaincant. Aussi, pourquoi ne pas sensibiliser la tribune avec des images avant/après (aide : <http://flood.firetree.net/>). Il faut également bien organiser les idées.

Dans un premier temps, on pourra expliquer ce qu'est le GIEC et pourquoi le niveau des mers va augmenter. Ensuite, on verra les conséquences de cette élévation du niveau marin. Enfin, on montrera à l'aide de la carte quelles sont les conséquences du changement climatique sur le territoire.

4. À l'aide d'une recherche documentée, identifier des pistes de solutions pour lutter contre le changement climatique.

Voir les ressources complémentaires.

Groupe 2 :

1. Avoir résumé les impacts directs et indirects du changement climatique sur l'environnement.

D'après le document 4, l'augmentation de la concentration en CO₂ atmosphérique va générer une augmentation de la solubilisation du CO₂ dans l'eau. À la suite de plusieurs réactions chimiques, cela va engendrer une augmentation du nombre de protons (H⁺) dans les océans, ce qui serait à l'origine d'une diminution du pH et donc d'une augmentation de l'acidité dans les océans.

L'acidification des océans a des impacts sur la biodiversité marine, comme par exemple la dégradation des coquilles calcaires, comme celle de *Thecosomata*. On observe également des modifications des structures internes chez certains poissons, comme le bar. L'acidification peut enfin générer des changements de comportement chez les bancs de poissons, comme des groupes plus espacés.

2. Avoir évalué les risques (environnementaux, humains, etc.) selon les différents scénarios du GIEC.

Selon le scénario RCP 2.6, le pH sera entre 8,0 et 8,1 en 2100, alors que pour le scénario RCP 8.5, on atteint une valeur comprise entre 7,7 et 7,8. Actuellement, le pH des océans est de 8,2. L'échelle du pH est une échelle logarithmique, ce qui signifie que la moindre modification du pH a un grand impact sur l'acidité du milieu.

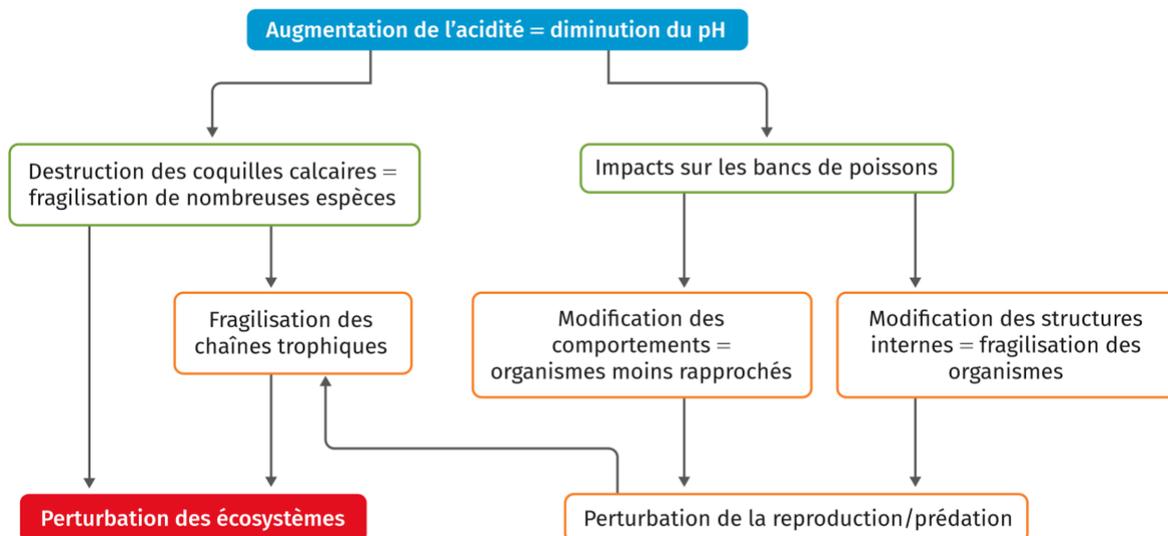
Une augmentation de l'acidité peut avoir des conséquences importantes sur la biodiversité et sur les interactions dans un écosystème. Une diminution importante du pH va générer la disparition des organismes à coquille calcaire. Dans le document 6, on comprend que pour le scénario RCP 8.5 (scénario pessimiste), des organismes à coquille calcaire comme *Thecosomata* vont peu à peu disparaître. Ces organismes font partie de plusieurs interactions dans l'écosystème et notamment dans les chaînes trophiques. Ils sont souvent à la base de l'alimentation de certains poissons. En disparaissant, les chaînes trophiques seront alors fragilisées, ce qui entraînera la disparition de nombreuses autres espèces.

Pour les bancs de poissons, une baisse du pH va générer des différences de structuration osseuse qui vont se généraliser à la place des structures cartilagineuses. La modification des comportements peut influencer plusieurs facteurs : la reproduction, la prédation, la socialisation, etc.

3. Avoir ordonné les idées pour établir des liens de cause à effet.

L'objectif est de structurer les idées à l'oral. On peut générer une carte mentale pour mieux organiser l'acheminement d'idées.

Exemple :



4. À l'aide d'une recherche documentée, identifier des pistes de solutions pour lutter contre le changement climatique.

Voir les ressources complémentaires.

Groupe 3 :**1. Avoir résumé les impacts directs et indirects du changement climatique sur l'environnement.**

L'altération des milieux par l'activité humaine menace 1 million d'espèces sur les 10 millions d'espèces recensées par l'IPBES. Plus la température augmente, plus le pourcentage d'espèces menacées augmente. Le réchauffement climatique peut par exemple générer des problèmes de reproduction, comme c'est le cas chez la tortue Luth. L'augmentation de la température du sable va entraîner uniquement le développement des tortues femelles, voir stopper le développement des tortues.

L'augmentation de la température liée au réchauffement climatique va augmenter le développement d'espèces invasives, comme le moustique tigre, car il va permettre le raccourcissement de son cycle de développement. On remarque ainsi que le moustique tigre s'installe dans de plus en plus de départements français métropolitains.

2. Avoir évalué les risques (environnementaux, humains, etc.) selon les différents scénarios du GIEC.

Aujourd'hui, on recense 1 million d'espèces menacées, ce qui est une conséquence de la destruction de leur milieu naturel. Le changement climatique est un facteur important de modification des milieux et des écosystèmes, ce qui implique que le nombre d'espèces menacées risque d'augmenter dans les années à venir.

Chaque scénario implique une augmentation de la température et plus cette augmentation est importante, plus le nombre d'espèces menacées est important. Dans le scénario le plus pessimiste, la communauté scientifique estime qu'environ 65 % des plantes, 40 % des oiseaux, 60 % des mammifères, 55 % des amphibiens et 35 % des reptiles seront menacés d'extinction.

Comme chaque scénario du GIEC implique une hausse de température, cela amènera à une amplification du développement des espèces invasives, comme le moustique tigre (diminution du cycle de développement, augmentation des températures qui permettra une plus grande étendue des zones d'expansion de cette espèce).

Le changement climatique implique des risques sanitaires, écologiques et économiques.

3. Avoir ordonné les idées pour établir des liens de cause à effet.

Il faut essayer de convaincre l'auditoire en donnant des chiffres clefs et illustrer les propos avec des graphiques et des images d'espèces qui sont potentiellement menacées.

4. À l'aide d'une recherche documentée, identifier des pistes de solutions pour lutter contre le changement climatique.

Voir les ressources complémentaires.

Protocoles et résultats expérimentaux

1. Réalisation d'un indicateur coloré pour mesurer le pH d'un milieu

Matériel nécessaire :

- chou rouge,
- casserole ou bouilloire,
- 1 litre d'eau salée à 35 ‰,
- acide chlorhydrique à 1 M,
- soude (NaOH) à 0,1 M ou lessive en poudre,
- eau distillée,
- 2 bouteilles en verre (1 et 2) avec des couvercles,
- eau salée à 35 ‰,
- tubes à essai.

Protocole :

- Dans une casserole d'eau bouillante ou une bouilloire, infuser des feuilles de chou rouge (1 feuille en moyenne pour 500 mL d'eau, pendant 5 min).
- Récupérer le jus (bleu foncé) et le diluer (1 volume de jus pour 7 volumes d'eau) dans l'eau salée pour obtenir une coloration bleu clair. L'indicateur coloré est prêt. Afin de mettre en évidence les propriétés de l'indicateur coloré « jus de chou rouge », verser 10 mL de jus de chou rouge dilué dans 3 tubes à essai.
- Dans le tube 1, ajouter 1 mL d'acide chlorhydrique 1M pour acidifier le milieu. On obtient une coloration rose dans un milieu acide.
- Dans le tube 2, ajouter 1 mL d'eau distillée, ce qui engendre une coloration bleue violette.
- Dans le tube 3, déposer 1 mL de soude (ou un peu de lessive en poudre) pour rendre le milieu basique. On obtient une coloration verte.
- Dans les bouteilles en verre, placer de l'eau salée et l'indicateur coloré jusqu'à mi-hauteur
- Ne rien ajouter d'autre dans la bouteille 1 « témoin ».
- Ajouter du CO₂ dans la bouteille 2 « expérience ». Pour ajouter du CO₂, on peut par exemple mettre une bombe à CO₂, ou bien en fabriquer de manière artisanale (voir protocole ci-après).

2. Protocole pour fabriquer du CO₂ de manière artisanale

Matériel :

- 2 bouteilles en plastiques avec bouchons,
- un tuyau ou une paille,
- de quoi colmater (ex. : patafix),
- de l'eau de chaux,
- du vinaigre,
- du bicarbonate de soude,
- une feuille de papier essuie-tout.

Protocole :

- Réaliser un trou dans les 2 bouchons pour pouvoir y placer le tuyau.
- Placer un peu d'eau de chaux dans la bouteille A, la fermer avec un bouchon troué dans lequel on a réalisé au préalable un trou pour placer le tuyau.
- Vider la bouteille de son air.
- Dans la bouteille B, placer du vinaigre et, dans le papier essuie-tout, placer 4 cuillères à café de bicarbonate de soude (le papier essuie-tout sert ici de retardateur).
- Fermer les deux bouteilles communicantes avec le tuyau et laisser la réaction agir. La bouteille 1 se remplit de CO₂.

Résultats attendus :

À voir sur : <http://edu.mnhn.fr/mod/page/view.php?id=1354>

3. Utiliser une sonde pH ExAO

Matériel :

- sonde pH ExAO,
- eau distillée,
- cuve ExAO,
- paille.

Protocole :

- Placer de l'eau dans une cuve ExAO.
- Placer la sonde ExAO dans la cuve.
- Démarrer l'enregistrement.
- Placer la paille dans la cuve et souffler (l'air expiré contient du dioxyde de carbone).

Résultats attendus :

Le pH va diminuer lorsque le CO₂ sera incorporé dans l'eau. Voir résultats dans cette vidéo (Tara expéditions) :

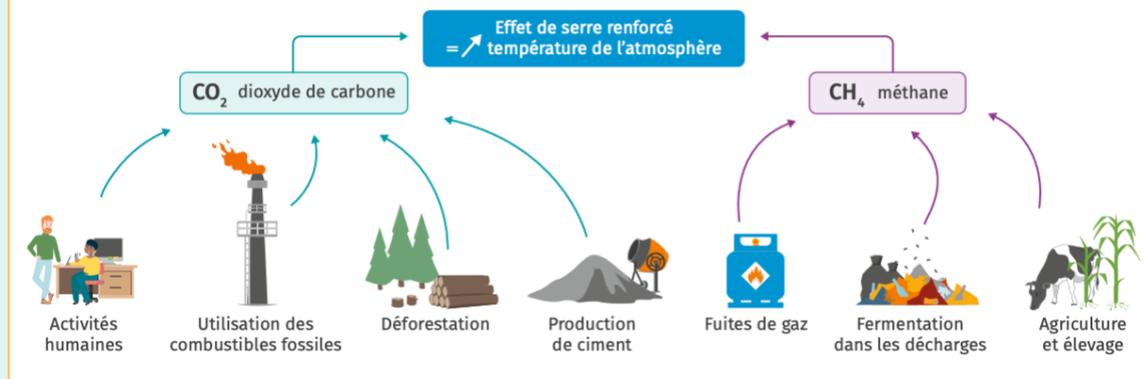
https://www.youtube.com/watch?time_continue=90&v=epDWuf-J9p0&feature=emb_logo

Ressources complémentaires :

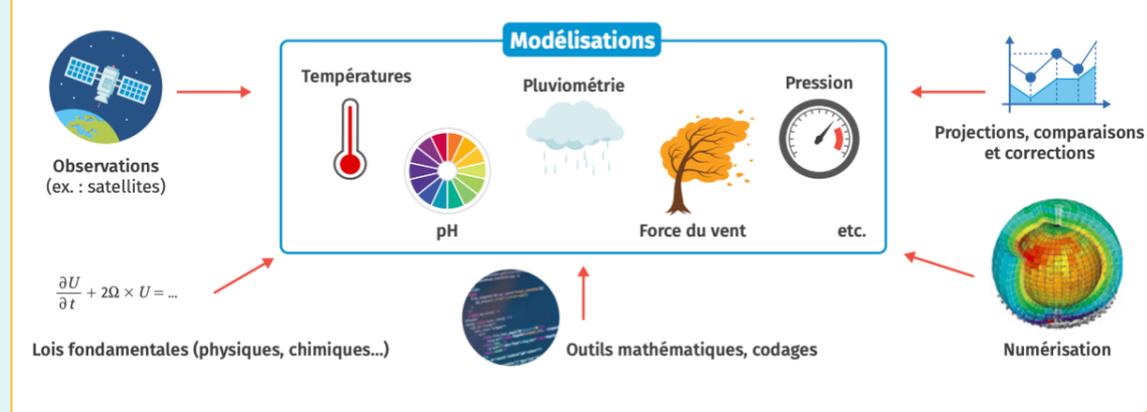
- Quelques sources pour trouver des conseils simples pour lutter contre le réchauffement climatique : https://www.terrafemina.com/article/40-petits-gestes-pour-lutter-contre-le-rechauffement-climatique-au-quotidien_a335337/1
- Vidéo de la Fondation Nicolas Hulot qui donne 6 gestes simples pour lutter contre le réchauffement climatique : <https://www.youtube.com/watch?v=hYu3YLtfqdc>
- Infographie regroupant des gestes simples pour lutter contre le réchauffement climatique : <http://blog.nicotcha.com/post/2013/11/15/10-GESTES-POUR-REDUIRE-LA-CONSOMMATION-D-ENERGIE-DANS-LE-CADRE-DU-PLAN-CLIMAT-DE-TOUR%28S%29PLUS-%3A%3A-D%C3%A9pliant3>
- Émission pour la Terre de France 2 : <https://www.france.tv/france-2/l-emission-pour-la-terre/>
- Article dans *Le Monde* qui donne des gestes pour combattre l'acidification des océans : <https://www.lemonde.fr/blog/oceanclimat/2015/11/26/5-gestes-simples-pour-combattre-lacidification-des-occeans/>
- Article d'Océan campus sur l'origine et les conséquences de l'acidification des océans (PDF) : https://fr.oceancampus.eu/files/ressources/_text_file/dzw.pdf
- Comment limiter son impact sur la biodiversité (Brut) : https://www.youtube.com/watch?v=_iFvmSyfsXE
- « Quelles solutions reste-t-il pour sauver la biodiversité ? », vidéo de *Le Monde* : <https://www.youtube.com/watch?v=wD091fJMeU4>
- Vidéo de l'UNESCO pour éduquer à la biodiversité : <https://www.youtube.com/watch?v=GuS9EU4iRjw>
- Interview de Marc André Selosse : sur la préservation de la biodiversité des plantes cultivées : https://www.youtube.com/watch?v=D_8MtYI-JBQ
- Vidéo de Décod'actu sur la disparition des espèces : <https://www.youtube.com/watch?v=jROimBXPnql>

Bilan (p. 61)

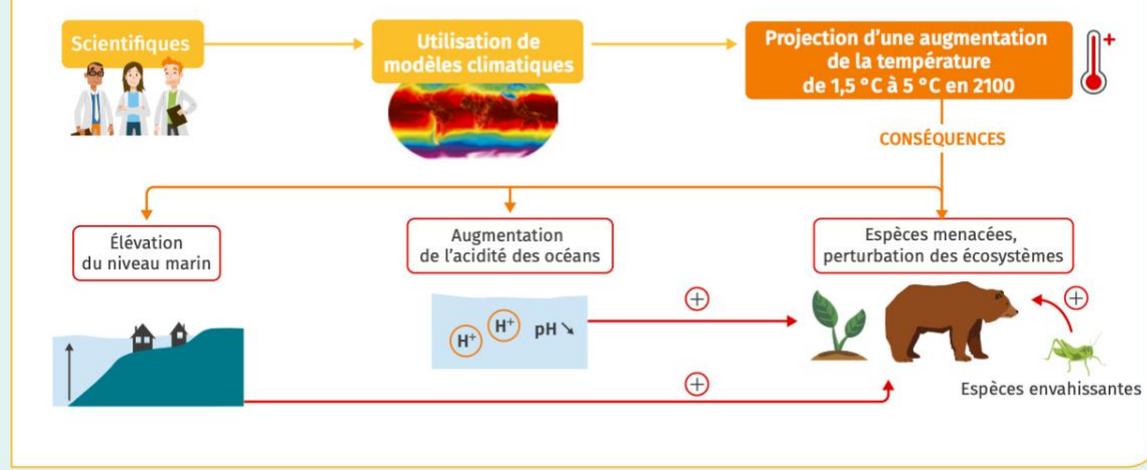
Les émissions de gaz à effet de serre d'origine anthropique



La construction d'un modèle climatique



L'impact du réchauffement climatique sur la planète



Exercices

Zone d'échauffement (p. 62)

1. Les scénarios du GIEC évaluent une augmentation de la température de l'atmosphère en 2100 équivalente à :

b. 1,5 °C à 5 °C

2. L'IPBES évalue le nombre d'espèces menacées par les activités humaines à :

c. 1 000 000

3. Dans les modélisations du GIEC, les océans vont connaître :

a. Une diminution du pH

4. Le scénario le plus pessimiste du GIEC est le :

c. RCP 8.5

5. L'augmentation de la température prévue par les modèles climatiques est principalement due :

b. à l'augmentation des gaz à effet de serre d'origine anthropique.

6. L'évaluation, puis la validation de la pertinence des modèles climatiques sont possibles grâce :

a. à l'application du modèle sur des données paléoclimatiques.

7. L'industrie cimentière émet des gaz à effet de serre surtout lors :

b. de la cuisson, nommée clinkérisation.

8. L'élévation du niveau de la mer en 2100 avec les projections RCP 8.5 est estimée à :

b. 1 m

9. Le principal gaz à effet de serre d'origine humaine au niveau quantitatif est :

a. le dioxyde de carbone

10. Justifier cette phrase du climatologue Jean Jouzel : « On n'est plus dans le futur : ce sont les enfants d'aujourd'hui, ceux des cours d'école, qui pourraient subir ces étés à 50 °C ».

Tous les scénarios du GIEC, du plus optimiste au plus pessimiste, prévoient une augmentation de la température liée à l'amplification de l'effet de serre générant le réchauffement climatique, et dont l'origine est l'augmentation des gaz à effet de serre anthropiques. Les étés vont devenir de plus en plus chauds et il y aura une augmentation des phénomènes climatiques extrêmes, comme les canicules et les sécheresses. Les étés à 50 °C vont devenir une réalité dans les années à venir.

A. L'oursin de gauche a grandi dans un milieu :

a. au pH plus acide.

L'atelier des apprentis (p. 63)

11. Evolution des glaciers métropolitains

Compétence principalement travaillée : Mettre en évidence le rôle des différents paramètres de l'évolution climatique

Correction :

1. On constate depuis les années 1980 que la température au niveau du massif des Pyrénées est supérieure à la moyenne, allant de 0 à 1,5 °C. En mettant en lien les photos, on constate un recul des glaciers. L'augmentation de la température peut entraîner la disparition des glaciers.

Suggestion de questions supplémentaires :

2. Expliquer comment évolue la température dans les Pyrénées.

De 1960 jusqu'à 1980 environ, on constate que la température est globalement plus froide que la moyenne, soit environ -0,75 °C. A partir des années 1980, on constate une augmentation de l'écart de température par rapport à la moyenne, soit environ 1 à 1,5 °C.

Sources/Bibliographie :

- Article de *Libération* sur les glaciers des Pyrénées : https://www.liberation.fr/france/2018/12/13/changement-climatique-les-pyrenees-de-moins-en-moins-enneigees_1697258
- Article, photos et graphiques concernant les glaciers des Pyrénées : <https://www.climat-en-questions.fr/reponse/evolution-actuelle/quantites-glace-sur-planete-par-frederique-remy-etienne-berthier>

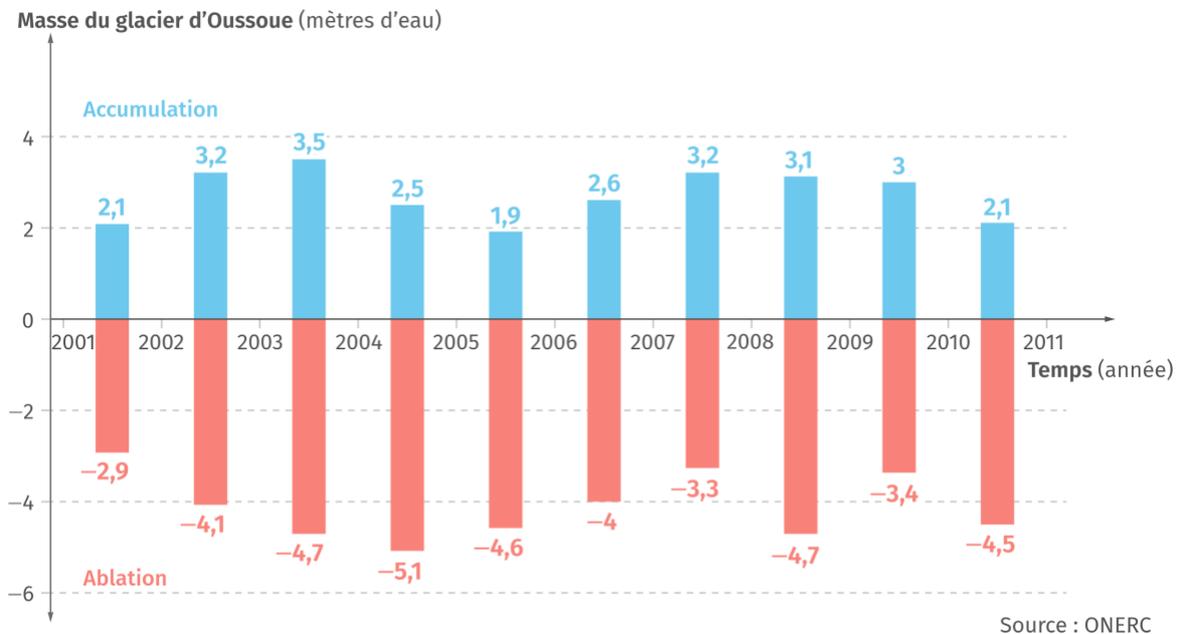
Ressources pour aller plus loin :

- Article « Impacts du changement climatique : Montagnes et glaciers » sur le site du Ministère de la transition écologique et solidaire : <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/impacts-du-changement-climatique-montagne-et-glaciers>

Correction de l'exercice décliné en version initié :

Compétence principalement travaillée : Mettre en évidence le rôle des différents paramètres de l'évolution climatique

1. Calculer les variations annuelles de la masse du Glacier d'Ossoue entre 2001 et 2011 (différence entre accumulation et ablation de neige).



Variations annuelles = $2,1 - 2,9 + 3,2 - 4,1 + 3,5 - 4,7 + 2,5 - 5,1 + 1,9 - 4,6 + 2,6 - 4 + 3,2 - 3,3 + 3,1 - 4,7 + 3 - 3,4 + 2,1 - 4,5 = -14,1$ m

Le glacier a perdu 14 m d'équivalent en eau en l'espace de 10 ans.

12. Sécheresse et restrictions d'eau

Compétence principalement travaillée : Exploiter les résultats d'un modèle climatique pour expliquer des corrélations par des liens de cause à effet

Correction :

1. On remarque que de nombreuses régions sont touchées par les restrictions en eau :

- dans le sud-ouest : Poitou-Charentes, Aquitaine, Midi Pyrénées ;
- dans le sud-est : PACA, Languedoc Roussillon ;
- dans le nord-est : Champagne Ardennes ;
- dans le centre : Centre-Val de Loire, etc.

Ces régions correspondent aux régions agricoles qui nécessitent d'être irriguées.

2. Causes : sécheresses liées à des canicules correspondant aux conséquences du réchauffement climatique (perturbation des régimes de pluies, augmentation de la température, etc.)

Conséquences : diminution des rendements agricoles, affectation de la biodiversité locale, assèchement des sols, incendies, etc.

Évolution future : Dans un contexte de réchauffement climatique, les sécheresses sont amenées à être de plus en plus fréquentes, ce qui pourrait conduire à des restrictions d'eau plus fortes. Cependant, une recrudescence des événements météorologiques extrêmes, tels que les fortes pluies associées à des inondations, est aussi observée. L'évolution future de ces restrictions est donc fortement dépendante des régions.

Sources/Bibliographie :

- Site Propluvia : <http://propluvia.developpement-durable.gouv.fr/propluvia/faces/index.jsp>
- Article du *Journal de l'environnement* : <http://www.journaldelenvironnement.net/article/la-france-a-echoue-a-protoger-ses-ressources-en-eau,87097>

Ressources pour aller plus loin :

- Article de *Le Monde* sur la sécheresse et les restrictions d'eau : https://www.lemonde.fr/planete/article/2019/09/20/secheresse-des-restrictions-d-eau-mises-en-place-dans-la-quasi-totalite-des-departements-metropolitains_6012393_3244.html

Le repaire des initiés (p. 64)

13. Récifs coralliens et températures

Compétence principalement travaillée : Exploiter les résultats d'un modèle climatique pour expliquer des corrélations par des liens de cause à effet

Correction :

1. L'augmentation de la température entraîne une diminution de la densité de zooxanthelles au sein du polype, de 8×10^5 cellules·cm⁻² à 4×10^5 cellules·cm⁻².

Le polype et les zooxanthelles vivent en symbiose, l'expulsion des zooxanthelles entraîne le blanchissement des coraux et donc leur mort. Une diminution des coraux entraîne également une diminution de la biodiversité environnante.

Sources/Bibliographie :

- Sujet Bac S, Nouméa, 2017.

Ressources pour aller plus loin :

- Vidéo de Brut sur le blanchissement des coraux : https://www.youtube.com/watch?v=z-_dfreVPkY
- Vidéo sur l'histoire d'un corail : <https://www.youtube.com/watch?v=7s8lgEiVqog>

Correction de l'exercice décliné en version expert :

Compétence principalement travaillée : Exploiter les résultats d'un modèle climatique pour expliquer des corrélations par des liens de cause à effet

1. Interpréter les résultats de cette expérience et conclure sur le métabolisme des zooxanthelles.

Document supplémentaire : effets de différents milieux de culture sur l'activité métabolique des zooxanthelles

3 milieux sont réalisés :

- milieu 1 : des zooxanthelles isolées dans une eau de mer filtrée enrichie en CO₂ radioactif ;
- milieu 2 : des polypes associés aux zooxanthelles dans une eau de mer filtrée enrichie en CO₂ radioactif ;
- milieu 3 : des polypes dépourvus de zooxanthelles dans une eau de mer filtrée enrichie en CO₂ radioactif.

On détecte alors la radioactivité dans diverses molécules organiques contenues dans les zooxanthelles et dans les cellules du polype au cours du temps à l'obscurité et à la lumière.

		Détection de la radioactivité dans les zooxanthelles isolées du milieu 1	Détection de la radioactivité dans les cellules du polype associées aux zooxanthelles du milieu 2	Détection de la radioactivité dans les cellules du polype dépourvues de zooxanthelles du milieu 3
À l'obscurité		-	-	-
À la lumière (temps en secondes)	5	+	-	-
	30	+	-	-
	360	+	+	-

Légende :

(+) : radioactivité détectée

(-) : radioactivité non détectée

Source : sujet Bac de SVT, Amérique du Sud, 2015.

On remarque que dans la colonne 1, au bout de 5 secondes, il y a présence de matières organiques radioactives (acides aminés, glucose, etc.) dans les zooxanthelles. C'est le CO₂ qui est radioactif, cela signifie que ces matières organiques ont été synthétisées à partir de CO₂ radioactif. À l'obscurité, il n'y a pas de matière organique radioactive.

Les zooxanthelles utilisent le CO₂ pour produire des matières organiques comme le glucose à la lumière : le métabolisme utilisé est donc la photosynthèse. Les zooxanthelles sont des organismes autotrophes.

D'après la colonne 3, les cellules du polype dépourvues de zooxanthelles n'ont pas synthétisé de molécules organiques radioactives à la lumière et à l'obscurité : elles ne peuvent pas réaliser la photosynthèse.

On observe dans la colonne 3 que les cellules du polype associé aux zooxanthelles contiennent des matières organiques radioactives au bout de 360 secondes.

Ce sont les zooxanthelles qui ont produit ces matières organiques. À l'aide de la symbiose, le polype va utiliser les matières organiques fabriquées par les zooxanthelles par photosynthèse à la lumière pour se nourrir.

14. Hamburgers et réchauffement climatique

Compétence principalement travaillée : Exploiter les résultats d'un modèle climatique pour expliquer des liens de cause à effet

Correction :

1. La consommation de hamburger en France est très importante. Le choix du bœuf a plusieurs conséquences :

- utilisation de grandes étendues de sol, ce qui contribue à la déforestation et engendre des perturbations des sols et des écosystèmes, participant ainsi au réchauffement climatique ;
- utilisation importante des ressources d'eau ;
- émissions importantes de gaz à effet de serre : 20 % des émissions mondiales sont liées aux émissions gazeuses des bovins. Les gaz à effet de serre ont un rôle direct dans le réchauffement climatique.

Un choix responsable et raisonné serait de réduire sa consommation de viande de bœuf.

Sources/Bibliographie :

- Article de *Sciences et avenir* sur le coût environnemental du bœuf :
https://www.sciencesetavenir.fr/nature-environnement/infographie-le-terrible-cout-environnemental-du-boeuf_14361

Ressources pour aller plus loin :

- Vidéo de *Le Monde* qui explique l'impact de la viande sur l'environnement en 4 min :
<https://www.youtube.com/watch?v=nVydG2DFU0>

Le coin des experts (p. 65-66)

15. Les coccolithophoridés et leur développement dans les océans

Compétence principalement travaillée : Exploiter les résultats d'un modèle climatique pour expliquer des corrélations par des liens de cause à effet

Correction :

1. Lorsque le CO₂ atmosphérique augmente, il peut se solubiliser dans les océans. Cela permet dans un premier temps la réalisation de la photosynthèse par les coccolithophoridés. Cependant, une concentration atmosphérique croissante en CO₂ entraîne une diminution du pH, c'est-à-dire une augmentation de l'acidité.

On constate que le pH est de 8,12 au large de l'île de Pâques et de 8,06 au large du cap Horn. Cette augmentation d'acidité génère la destruction des plaques calcaires des tests des coccolithophoridés. Cette fragilisation des tests calcaires peut entraîner une perturbation des chaînes alimentaires, car les coccolithophoridés sont à la base de ces chaînes alimentaires.

Sources/Bibliographie :

- MNHN : <http://edu.mnhn.fr/mod/page/view.php?id=1354>

16. Comparaison de modèles climatiques et données paléoclimatiques

Compétence principalement travaillée : Mettre en évidence le rôle des différents paramètres de l'évolution climatique

Correction :

1. Température des océans lors du dernier maximum glaciaire -1 à -1,5 °C en moyenne par rapport à aujourd'hui.

Température des continents lors du dernier maximum glaciaire : -4 °C par rapport à aujourd'hui.

2. Si on regarde la température des océans, les modèles les plus précis sont ECBILTCLIO ou CCSM3, mais pour la température des continents, on constate une estimation à -2 °C (estimation plus faible que celle déterminée grâce aux pollens retrouvés).

Si on observe la température des continents, le modèle le plus précis est ECHAM 53, mais pour la température estimée des océans, on constate une température de -3 °C (estimation plus importante que celle déterminée par l'étude des fossiles de coraux).

Les modèles doivent toujours être confrontés aux données paléoclimatiques pour déterminer leur précision. Certains modèles sont plus pertinents pour le domaine continental, alors que d'autres sont plus pertinents pour le domaine océanique.

Sources/Bibliographie :

- Vidéos et diaporamas de conférences sur les modèles climatiques de David Pollack : <http://acces.ens-lyon.fr/acces/thematiques/eedd/simulation-des-conferences-des-parties-sur-le-changement-climatique/ressources-pedagogiques-et-questions-philosophiques/cop-21-des-ressources-scientifiques-et-des-actualites>

Correction de l'exercice décliné en version initié :

Compétence principalement travaillée : Mettre en évidence le rôle des différents paramètres de l'évolution climatique

1. Estimer les températures moyennes terrestre et océanique lors du dernier maximum glaciaire.

Température des océans lors du dernier maximum glaciaire: -1 à -1,5 °C en moyenne par rapport à aujourd'hui. Température des continents lors du dernier maximum glaciaire : -4 °C par rapport à aujourd'hui.

2. Déterminer le meilleur modèle pour le domaine continental.

Si on regarde la température des continents, le modèle le plus précis est ECHAM 53, mais si on regarde la température estimée des océans, on constate une température de -3 °C (estimation plus importante que celle déterminée par l'étude des fossiles de coraux).

3. Déterminer le meilleur modèle pour le domaine océanique

Si on regarde la température des océans, les modèles les plus précis sont ECBILTCLIO ou CCSM3, mais si on regarde la température des continents, on constate une estimation à -2 °C (estimation plus faible que celle déterminée grâce aux pollens retrouvés).

4. Expliquer alors pourquoi il est difficile de déterminer le meilleur modèle dans le cas présent.

Le modèle le plus précis pour les continents, ECHAM 53, est en fait beaucoup moins précis en ce qui concerne les données océaniques. De même, les modèles ECBILTCLIO ou CCSM3 sont en fait beaucoup moins précis en ce qui concerne les données continentales. Dans ce cas précis, il est donc difficile de définir le modèle qui sera le plus exact pour les continents et pour les océans.

17. L'écrevisse de Louisiane

Compétence principalement travaillée : Exploiter les résultats d'un modèle climatique pour expliquer des corrélations par des liens de cause à effet

Correction :

1. Les espèces invasives sont des espèces introduites par l'être humain en dehors de leur aire de répartition, qui s'étendent et s'établissent en dehors de leur aire de distribution au détriment de la biodiversité locale.

L'écrevisse de Louisiane a été introduite en France dans un objectif commercial, mais elle a ensuite été libérée dans le milieu naturel. Elle ne possède pas de prédateur et elle est capable de coloniser rapidement les milieux : on constate qu'entre 1977 et 2006, elle a colonisé plus des $\frac{3}{4}$ du territoire français. Elle se reproduit rapidement : la maturité sexuelle est acquise en 6 mois seulement (contre 2 à 4 ans pour l'écrevisse à pattes rouges). Le nombre d'œufs est également important (50 à 600).

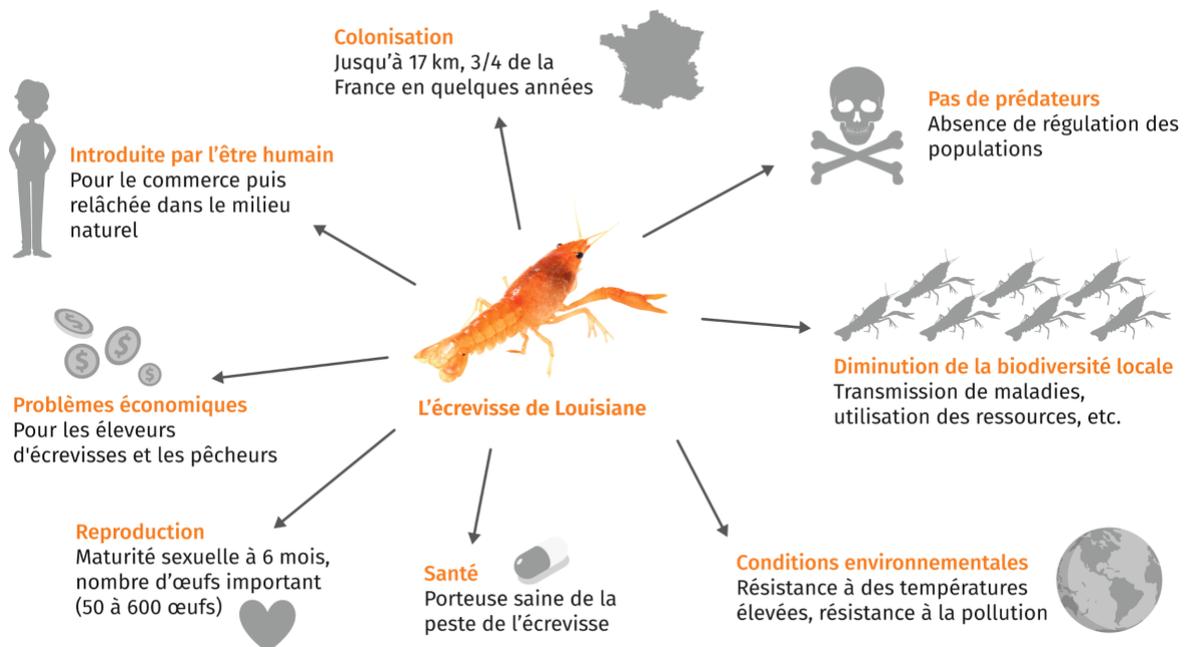
L'écrevisse de Louisiane est une porteuse saine de la peste d'écrevisse : elle peut transmettre cette maladie à d'autres espèces d'écrevisses, alors qu'elle ne la développe pas elle-même. Cela provoque une diminution des autres espèces d'écrevisses et les fragilise. Ainsi, cette espèce provoque une diminution de la biodiversité locale (voir le doc. 2). L'introduction d'une ou de 3 écrevisses entraîne une diminution du nombre d'espèces.

Elle est résistante à la pollution et ses besoins sont moindres par rapport aux autres écrevisses : elle peut se développer dans des concentrations importantes de phosphates et de composés azotés (donc dans des eaux polluées). Elle n'a pas besoin d'une eau très oxygénée.

Sa plage de confort de température est plus large que celle des autres écrevisses et elle se montre résistante à des températures allant jusqu'à 30 °C. Elle est ainsi beaucoup moins sensible au réchauffement climatique, et peut continuer de proliférer à des températures élevées, dans lesquelles les autres espèces d'écrevisses sont en inconfort.

Ainsi, le réchauffement climatique peut favoriser, de façon relative, le développement de cette espèce invasive, qui produit un impact majeur sur les écosystèmes terrestres et marins.

On peut résumer ces éléments dans le schéma suivant :



Sources/Bibliographie :

- Vers une meilleure connaissance de l'écrevisse de Louisiane dans le département de l'Yonne : <http://www.federation-peche-yonne.fr/federation/ckfinder/userfiles/files/Vers%20une%20meilleure%20connaissance%20de%20l%27%C3%A9crevisse%20de%20Louisiane%20dans%20le%20d%C3%A9partement%20de%20l%27Yonne.pdf>
- Guide d'identification des écrevisses en France par la fédération de pêche : <https://www.federation-peche64.fr/wp-content/uploads/2015/01/Guide-d-identification-des-%C3%A9crevisses-en-France-m%C3%A9ropolitaine.compressed.pdf>

Ressources pour aller plus loin :

- Reportage de France 3 sur l'écrevisse de Louisiane : <https://www.youtube.com/watch?v=xq8Ysge4slo&t=6s>