



ENSEIGNEMENT SCIENTIFIQUE

THEME 1 : SCIENCE, CLIMAT, SOCIETE

Introduction

L'atmosphère primitive de la Terre était différente de celle d'aujourd'hui. Sa transformation au cours des milliards d'années est liée aux processus géologiques et biologiques.

Depuis la révolution industrielle, l'activité humaine modifie de manière significative la composition atmosphérique.

Ces modifications affectent l'équilibre dynamique des enveloppes fluides de la Terre.

Les conséquences de l'activité humaine sur la composition atmosphérique, celles qui sont déjà observées et celles qui sont prévisibles, sont multiples et importantes, tant pour l'humanité que pour les écosystèmes.

Les choix raisonnés des individus et des sociétés dans ce domaine s'appuient sur les apports des sciences et des technologies.

Histoire, enjeux et débats

- Les enjeux du réchauffement climatique global.
- Les acteurs des analyses climatiques : recherche et programmes mondiaux (Organisation Météorologique Mondiale, modèles climatiques) ; coordination (Nations-Unies) ; évaluation (Groupe Intergouvernemental pour l'Étude du Climat).
- Un enjeu mondial : l'océan.
- Les ressources et les utilisations de l'énergie dans le monde.
- Le trou dans la couche d'ozone : de sa découverte à des prises de décisions mondiales.



ENSEIGNEMENT SCIENTIFIQUE

THEME 1 : SCIENCE, CLIMAT, SOCIETE

CH01 L'atmosphère terrestre et la vie

Depuis l'époque de sa formation, quasi concomitante avec celle du Soleil et des autres planètes du système solaire, la Terre a connu une évolution spécifique de sa surface et de la composition de son atmosphère.

Sa température de surface permet l'existence d'eau liquide, formant l'hydrosphère.

Aux facteurs physiques et géologiques (activité solaire, distance au Soleil, tectonique) s'est ajoutée l'émergence des êtres vivants et de leurs métabolismes. Un fragile équilibre est atteint, qui permet la vie et la maintient.

Il y a environ 4,6 milliards d'années, l'atmosphère primitive était composée de N_2 , CO_2 et H_2O . Sa composition actuelle est d'environ 78 % de N_2 et 21 % de O_2 , avec des traces d'autres gaz (dont H_2O , CO_2 , CH_4 , N_2O).

Le refroidissement de la surface de la Terre primitive a conduit à la liquéfaction de la vapeur d'eau présente dans l'atmosphère initiale.

L'hydrosphère s'est formée, dans laquelle s'est développée la vie.

Les premières traces de vie sont datées d'il y a au moins 3,5 milliards d'années.

Par leur métabolisme photosynthétique, des cyanobactéries ont produit le dioxygène qui a oxydé, dans l'océan, des espèces chimiques réduites.

Le dioxygène s'est accumulé à partir de 2,4 milliards d'années dans l'atmosphère. Sa concentration atmosphérique actuelle a été atteinte il y a 500 millions d'années environ.

Les sources et puits de dioxygène atmosphérique sont aujourd'hui essentiellement liés aux êtres vivants (photosynthèse et respiration) et aux combustions.

Sous l'effet du rayonnement ultraviolet solaire, le dioxygène stratosphérique peut se dissocier, initiant une transformation chimique qui aboutit à la formation d'ozone.

Celui-ci constitue une couche permanente de concentration maximale située à une altitude d'environ 30 km.

La couche d'ozone absorbe une partie du rayonnement ultraviolet solaire et protège les êtres vivants de ses effets mutagènes.

Le carbone est stocké dans plusieurs réservoirs superficiels : l'atmosphère, les sols, les océans, la biosphère et les roches. Les échanges de carbone entre ces réservoirs sont quantifiés par des flux (tonne/an).

Les quantités de carbone dans les différents réservoirs sont constantes lorsque les flux sont équilibrés. L'ensemble de ces échanges constitue le cycle du carbone sur Terre.

Les combustibles fossiles se sont formés à partir du carbone des êtres vivants, il y a plusieurs dizaines à plusieurs centaines de millions d'années. Ils ne se renouvellent pas suffisamment vite pour que les stocks se reconstituent : ces ressources en énergie sont dites non renouvelables



ENSEIGNEMENT SCIENTIFIQUE

THEME 1 : SCIENCE, CLIMAT, SOCIETE

CH02 La complexité du système climatique

Le système climatique et son évolution dans le temps résultent de plusieurs facteurs naturels et d'interactions entre océans, atmosphère, biosphère, lithosphère et cryosphère.

Il est nécessaire de prendre en compte ces interactions à différentes échelles spatiales et temporelles (de l'année au million d'années voire davantage).

Le système climatique présente une variabilité spontanée et réagit aux perturbations de son bilan d'énergie par des mécanismes appelés rétroactions. Les facteurs anthropiques ont des conséquences irréversibles à court terme.

Un climat est défini par un ensemble de moyennes de grandeurs atmosphériques observées dans une région donnée pendant une période donnée. Ces grandeurs sont principalement la température, la pression, le degré d'hygrométrie, la pluviométrie, la nébulosité, la vitesse et la direction des vents. La climatologie étudie les variations du climat local ou global à moyen ou long terme (années, siècles, millénaires...).

La météorologie étudie les phénomènes atmosphériques qu'elle prévoit à court terme (jours, semaines). La température moyenne de la Terre, calculée à partir de mesures *in situ* et depuis l'espace par des satellites, est l'un des indicateurs du climat global. Il en existe d'autres : volume des océans, étendue des glaces et des glaciers...

Le climat de la Terre présente une variabilité naturelle sur différentes échelles de temps. Toutefois, depuis plusieurs centaines de milliers d'années, jamais la concentration du CO₂ atmosphérique n'a augmenté aussi rapidement qu'actuellement.

Depuis un siècle et demi, on mesure un réchauffement climatique global (environ +1°C). Celui-ci est la réponse du système climatique à l'augmentation du forçage radiatif (différence entre l'énergie radiative reçue et l'énergie radiative émise) due aux émissions de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère : CO₂, CH₄, N₂O et vapeur d'eau principalement.

Lorsque la concentration des GES augmente, l'atmosphère absorbe davantage le rayonnement thermique infrarouge émis par la surface de la Terre. En retour, il en résulte une augmentation de la puissance radiative reçue par le sol de la part de l'atmosphère.

Cette puissance additionnelle entraîne une perturbation de l'équilibre radiatif qui existait à l'ère préindustrielle.

L'énergie supplémentaire associée est essentiellement stockée par les océans, mais également par l'air et les sols, ce qui se traduit par une augmentation de la température moyenne à la surface de la Terre et la montée du niveau des océans.

L'évolution de la température terrestre moyenne résulte de plusieurs effets amplificateurs (rétroaction positive), dont :

- l'augmentation de la concentration en vapeur d'eau (gaz à effet de serre) dans l'atmosphère ;
- la décroissance de la surface couverte par les glaces et diminution de l'albédo terrestre ;
- le dégel partiel du permafrost provoquant une libération de GES dans l'atmosphère.

L'océan a un rôle amortisseur en absorbant à sa surface une fraction importante de l'apport additionnel d'énergie. Cela conduit à une élévation du niveau de la mer causée par la dilatation thermique de l'eau. À celle-ci s'ajoute la fusion des glaces continentales.

Cette accumulation d'énergie dans les océans rend le changement climatique irréversible à des échelles de temps de plusieurs siècles.

À court terme, un accroissement de la végétalisation constitue un puits de CO₂ et a donc un effet de rétroaction négative (stabilisatrice).



ENSEIGNEMENT SCIENTIFIQUE

THEME 1 : SCIENCE, CLIMAT, SOCIETE

CH03 Le climat du futur

L'analyse du système climatique, réalisée à l'aide de modèles numériques, repose sur des mesures et des calculs faisant appel à des lois physiques, chimiques, biologiques connues. Assorties d'hypothèses portant sur l'évolution de la production des gaz à effet de serre, les projections issues de ces modèles dessinent des fourchettes d'évolution du système climatique au XXI siècle.

Les modèles climatiques s'appuient sur :

- la mise en équations 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.

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.

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 XXIe siècle ;
- une élévation du niveau moyen des océans entre le début du XXIe 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.



ENSEIGNEMENT SCIENTIFIQUE

THEME 1 : SCIENCE, CLIMAT, SOCIETE

CH04 Énergie, choix de développement et futur climatique

La consommation mondiale d'énergie fait majoritairement appel aux combustibles fossiles, principale cause du réchauffement climatique.

Il est donc essentiel d'identifier, pour toute activité, individuelle ou collective, ou tout produit, l'impact sur la production de gaz à effet de serre. L'identification d'autres effets collatéraux, notamment sur la santé, est importante.

Les différents scénarios de l'évolution globale du climat dépendent des stratégies que l'humanité mettra en oeuvre.

L'énergie utilisée dans le monde provient d'une diversité de ressources parmi lesquelles les combustibles fossiles dominent.

La consommation en est très inégalement répartie selon la richesse des pays et des individus.

La croissance de la consommation globale (doublement dans les 40 dernières années) est directement liée au modèle industriel de production et de consommation des sociétés.

En moyenne mondiale, cette énergie est utilisée à parts comparables par le secteur industriel, les transports, le secteur de l'habitat et dans une moindre mesure par le secteur agricole.

Les énergies primaires sont disponibles sous forme de stocks (combustibles fossiles, uranium) et de flux (flux radiatif solaire, flux géothermique, puissance gravitationnelle à l'origine des marées).

La combustion de carburants fossiles et de biomasse libère du dioxyde de carbone et également des aérosols et d'autres substances (N₂O, O₃, suies, produits soufrés), qui affectent la qualité de l'air respiré et la santé.

L'empreinte carbone d'une activité ou d'une personne est la masse de CO₂ produite directement ou indirectement par sa consommation d'énergie et/ou de matière première.

Les scénarios de transition écologique font différentes hypothèses sur la quantité de GES émise dans le futur. Ils évaluent les changements prévisibles, affectant les écosystèmes et les conditions de vie des êtres humains, principalement les plus fragiles.

Les projections fournies par les modèles permettent de définir les aléas et peuvent orienter les prises de décision. Les mesures d'adaptation découlent d'une analyse des risques et des options pour y faire face.

