

SYSTÉMIQUE 1: COMPRENDRE LES ENJEUX ÉCOLOGIQUES ACTUELS ET LES LIMITES PLANÉTAIRES

Licence :

auteur-e(s) : Elie LeMarquis (UTT)Projet ET-LIOSCC 4.0 BY-NC-SA + licence commerciale ET-LIOS

Table des matières

Objectifs	4
Introduction	5
1. Introduction à l'écologie et aux limites planétaires.....	6
1.1. Ecologie Scientifique et croissance des population	6
1.1.1. La grande accélération	8
1.1.2. Les limites planétaires	8
2. Limite planétaire 1: Changement climatiques - Introduction	10
3. Le système climatique.....	11
3.1. Introduction: Quelle est la différence entre météo et climat ?	11
3.1.1. Définitions	11
3.1.2. Comment le climat est-il régulé?	11
4. Evolution du climat sur Terre et anthropocène.....	16
4.1. -2 milliards d'années	16
4.1.1. Influence de l'être humain sur le climat	17
5. Exercice : Exercices niveau 1	19
6. Indicateurs du changement climatique.....	21
6.1. 1) Premier indicateur: Température du globe	21
6.2. 2) Deuxième indicateur: Taux de CO ₂ dans l'atmosphère	22
6.3. 3) Autres indicateurs du changement climatique	24
6.3.1. Scénario optimiste (<2°C) VS Scénario pessimiste (>2°C)	25
6.4. Autres impacts du changement climatique	26
6.5. Conclusion	27
6.5.1. Pour aller plus loin :	27
7. Comment limiter son empreinte carbone ?	28
7.1. Empreinte carbone	28
7.1.1. Deuxième poste: L'alimentation	29
7.1.2. Le logement	30
7.1.3. Les biens de consommation	31
7.1.4. Pour aller plus loin :	31
8. Cas d'étude: Le permafrost.....	32
9. The climate collage / Fresque du climat.....	33
10. Limite planétaire 2: Biodiversité et enjeux de préservation.....	34
10.1. Introduction	34
10.1.1. Pourquoi préserver la biodiversité ?	34
10.1.2. Quels partie de la biodiversité veut on préserver ?	34
10.1.3. Biodiversité et services écosystémiques	35
10.2. Enjeux de préservation de la biodiversité	35
10.2.1. Les causes de l'érosion de la biodiversité	36

10.3. Lien entre climat et biodiversité	37
10.3.1. Exemples d'impacts du climat sur la biodiversité	37
10.4. Préservation de la biodiversité en France	37
10.4.1. Plan Biodiversité	37
11. Stratégie de préservation des espèces et indicateurs.....	39
11.1. Préservation des populations menacées	39
11.2. Stratégies de préservation	40
11.3. Préservation de la biodiversité ordinaire :	40
11.4. Biosurveillance des milieux naturels	41
12. Limite planétaire 3 : Perturbation des cycles biogéochimiques	42
12.1. Enjeux lié au cycle de l'Azote	42
12.2. Enjeux lié au cycle du Phosphore	43
12.3. Situation en France	43
13. Limites planétaire 4: Acidification des océans	45
13.1. Enjeux liés à l'acidification des océans	45
13.1.1. Enjeux pour 2100	46
13.1.2. Impacts de l'acidification des océans	46
14. Limites planétaire 5: Changement d'utilisation des sols	47
14.1. Enjeux des changement d'utilisation des sols	47
14.2. Situation de la France	47
14.3. Impact des changement d'utilisation des sols	48
15. Limites planétaire 6: Utilisation mondiale de l'eau	49
15.1. Enjeux liés à la consommation d'eau douce	49
15.2. Indice d'exploitation des ressources en eau (WEI +)	49
15.3. Empreinte hydrique (water footprint)	50
16. Limites planétaire 7: Appauvrissement de l'ozone stratosphérique	51
16.1. Enjeux liés à l'appauvrissement de l'ozone stratosphérique	51
16.2. Composés affectant la couche d'ozone	51
16.3. Actions mises en œuvre	52
17. Limite planétaire 8: Augmentation des aérosols dans l'atmosphère.....	53
17.1. Enjeux liés à l'utilisation des aérosols	53
17.2. Activités provoquant des émissions de particules fines	53
17.3. Exposition aux particules fines	54
18. Limite planétaire 9: Pollution chimique.....	55
18.1. Problèmes liés à la pollution chimique	55
18.2. Principaux polluants chimiques	55
18.2.1. Les déchets plastiques	55
18.2.2. Les déchets nucléaires	56
18.2.3. Herbicides	56
19. Modèle Doughnuts Economics	57

Objectifs

Comprendre les causes et les conséquences de la crise écologique sur nos sociétés ainsi que son aspect systémique.

Identifier les limites planétaires.

Introduction

En écologie, le terme de crise écologique se produit lorsque le milieu de vie d'une espèce évolue de façon défavorable à sa survie. L'espèce humaine vit aujourd'hui une crise écologique majeur. Cette crise est la conséquence de la dérégulation de nombreux facteurs biotiques et abiotiques dont les plus notables sont le réchauffement climatique et l'érosion de la biodiversité.

<https://www.uved.fr/fiche/ressource/les-limites-du-systeme-terre-1-changement-climatique-et-biodiversite>

1. Introduction à l'écologie et aux limites planétaires

Objectifs du Module:

Adopter une vision systémique du monde et comprendre les enjeux liés aux limites planétaires.

Briques de cours en lien avec la thématique :

LP_CLI_Changements_climatiques

LP_BIO_Biodiversite_et_enjeux_preservation

LP_ACI_Acidification_des_oceans

LP_CBG_Cycle_biogeochimiques

LP_EAU_Utilisation_mondiale_de_leau

LP_OZN_Ozone stratospherique

LP_POL_Pollution_chimique_aerosols_atmospheriques

LP_USA_Usage_sols_deforestation_et_agriculture

Qu'est ce que l'écologie ?

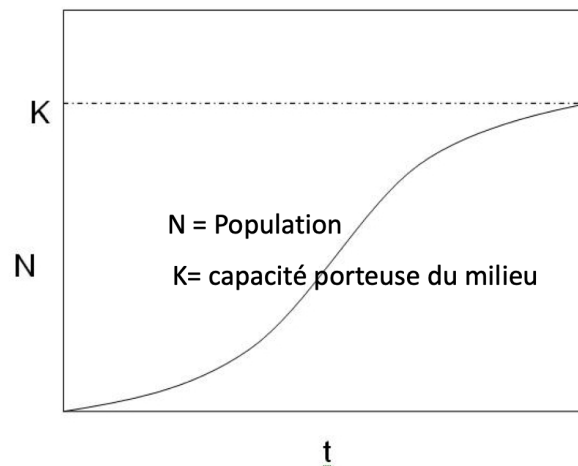
On distingue l'**Ecologie scientifique** : Science des relations entre les organismes vivants entre eux et avec leur environnement. (Haeckel, 1866).

Et l'**Ecologie politique** : Ensemble de courants sur la prise en compte des enjeux écologiques dans l'action politique et dans l'organisation sociale (1970).

1.1. Ecologie Scientifique et croissance des population

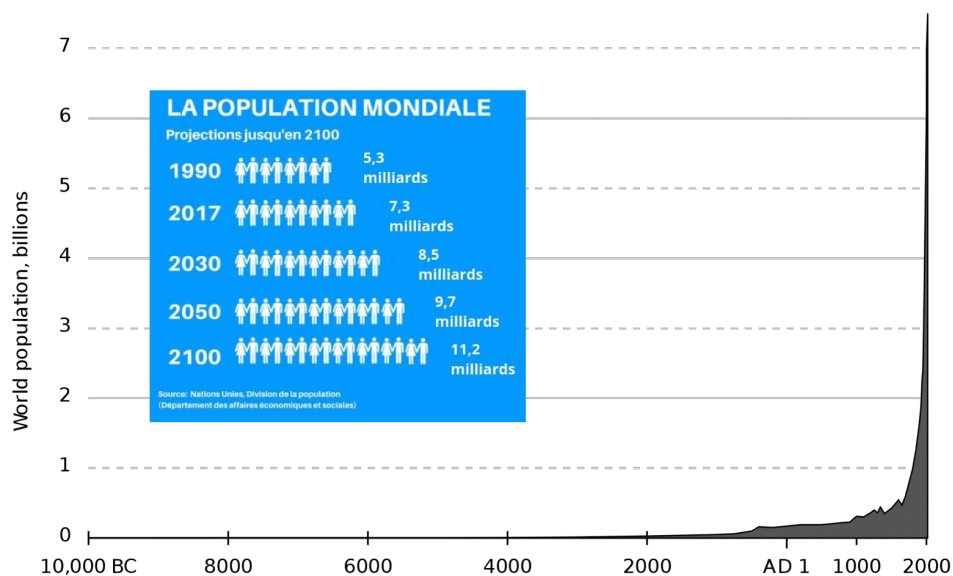
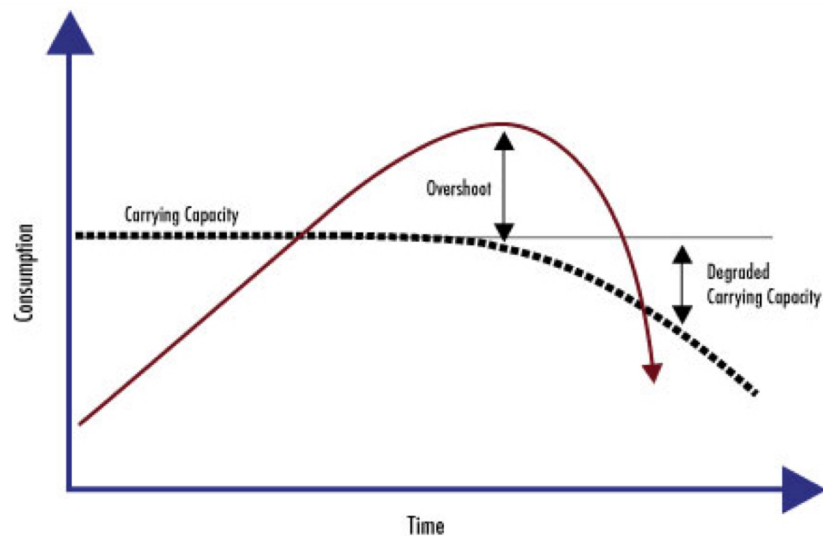
L'objet d'étude en écologie est l'écosystème. Ce terme désigne un ensemble formé par une communauté d'êtres vivants (biocénose) au sein de leur environnement (biotope). La richesse d'un écosystème va donc dépendre de la qualité de l'environnement et des populations qui s'y trouvent. Lorsqu'une population animale ou végétale (notée N) se développe au sein d'un milieu aux conditions favorables (propriétés physico-chimiques propices à son développement, pas de prédation...) cette population va suivre une croissance exponentielle jusqu'à atteindre un certain seuil appelé capacité porteuse du milieu (notée K). Cette capacité porteuse K est la taille maximale de la population d'un organisme qu'un milieu donné peut supporter (au vue des ressources disponibles, de l'espace...) .

Courbe de croissance des populations



Lorsque l'on dépasse cette capacité porteuse, si la population croît trop rapidement par exemple, on observe un phénomène d'overshooting entraînant la dégradation du milieu et de ce fait le déclin de la population.

Dans le cas de l'espèce humaine, le milieu considéré est la planète Terre. Notre espèce voit également sa population évoluer de manière exponentielle avec une explosion de la population dans les années 1950 en passant au delà de la barre des 5 milliards d'individus et à près de 8 milliards aujourd'hui.

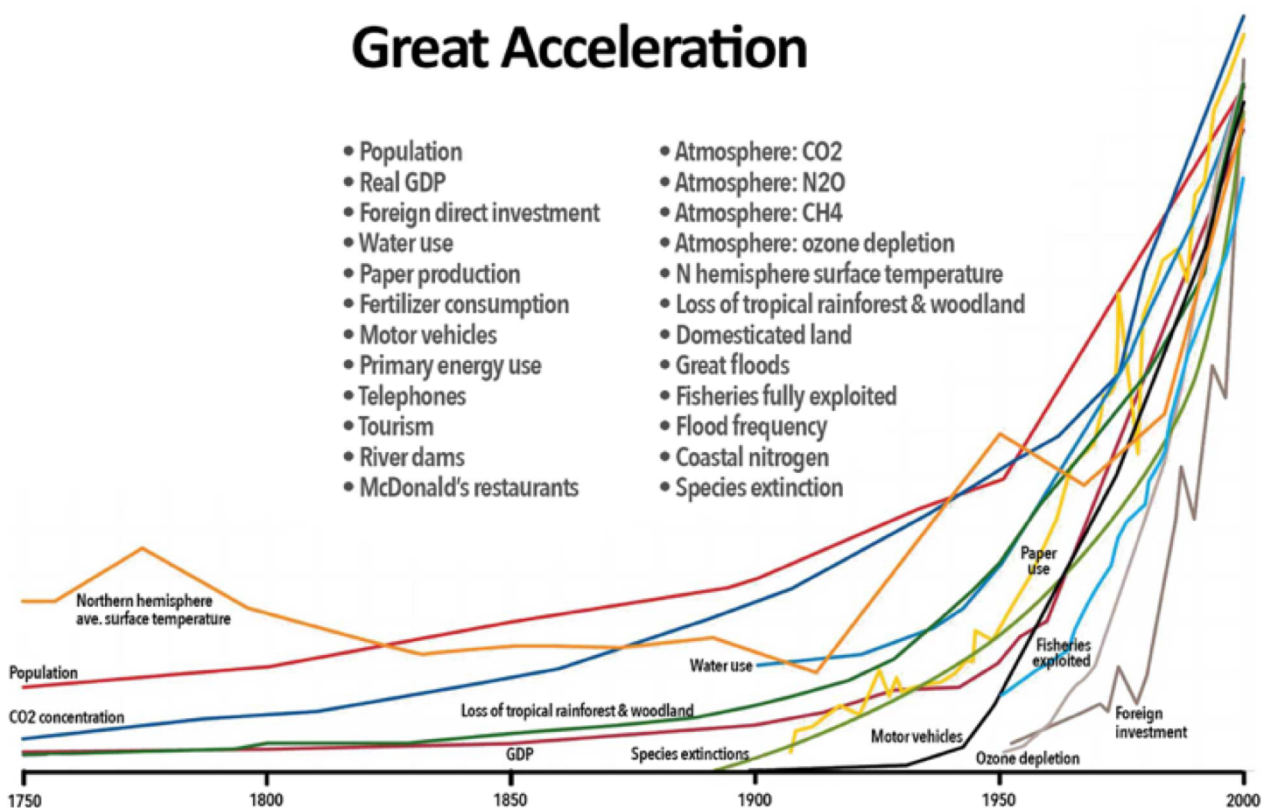


1.1.1. La grande accélération

Cette augmentation de population s'accompagne d'une augmentation d'un grand nombre de paramètres tels que le revenu moyen par habitant ou la consommation d'énergie et des ressources. Ce phénomène est ainsi dénommé la grande accélération.

Steffen et al. (2015) *The trajectory of the anthropocene : the great acceleration*

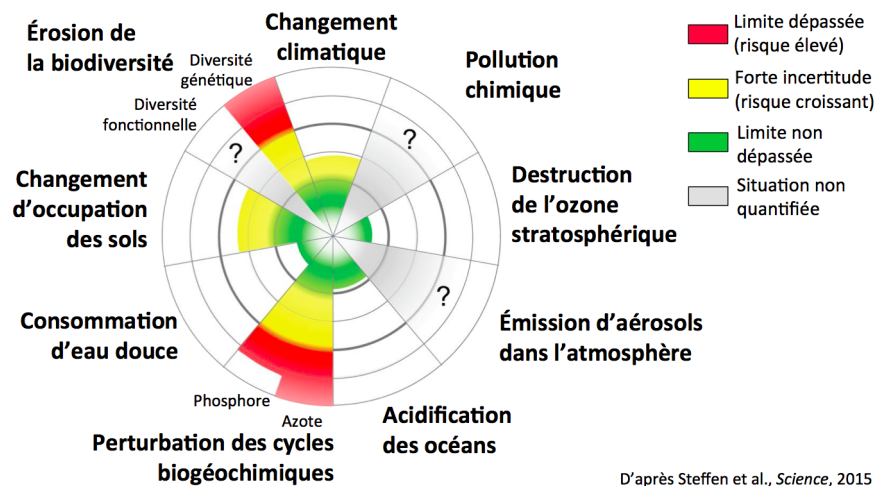
Cette courbe exponentielle des activités humaines traduite par l'explosion de nos activités économiques et de la démographie humaine exerce un effet massif sur le système Terre, modifiant ainsi l'ère géologique de la planète. Nous basculons ainsi de l'Holocène, période géologique d'une durée de 11 700 ans, à l'Anthropocène, ère géologique qui aurait débutée les 50 dernières années. L'Holocène nous sépare de la fin du précédent âge glaciaire est caractérisée par une relative stabilité des conditions sur Terre et aménage des conditions propices à l'épanouissement de l'agriculture et des grandes civilisations. Le changement d'ère géologique entraîne donc de manière irréversible une modification de l'état terrestre le plus favorable à nos activités et à la survie de notre espèce.



1.1.2. Les limites planétaires

Une croissance infinie dans un milieu aux ressources limitées n'étant pas envisageable il est donc nécessaire de se demander quelle est la capacité réelle que la Terre peut supporter et quelles sont les limites planétaires à ne pas dépasser. Ces limites ont pu être définies grâce aux travaux de Johan Rockström et al., 2009 et représentent les seuils que l'humanité ne doit pas dépasser pour ne pas compromettre les conditions favorables dans lesquelles elle a pu se développer et pour pouvoir continuer à vivre durablement. A ce jour, sur les 9 limites qui ont été définies, 4 d'entre elles ont déjà été franchies.

Les deux premières limites que sont le changement de climat et l'érosion de la biodiversité suffisent à elles seules à changer l'ère géologique.



Complément Liens utiles

Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet :

<http://science.sciencemag.org/content/347/6223/1259855>

CRI sur « quelles pistes pour un monde soutenable? » : <https://youtu.be/GTP25MoU870>

Limite planétaire 1: Changement climatiques -

2. Introduction

Objectifs de la brique pédagogique

- Comprendre les mécanismes qui interviennent dans la modification du climat.
- Identifier les facteurs anthropiques conduisant aux changements climatiques.
- Expliquer les évolutions et les incidences observées et projetées du climat.
- Analyser différents scénarios de changements climatiques et réfléchir aux stratégies d'adaptation à adopter face à ces changements.

Capsules de cours en lien avec la thématique :

LP_CLI_n1_000_Introduction générale

LP_CLI_n1_001_Introduction à la notion de climat

LP_CLI_n1_002_Evolution du climat sur Terre et anthropocène

LP_CLI_n2_001_Indicateurs du changement climatique

LP_CLI_n2_002_Limiter son empreinte carbone

LP_CLI_EX_1_Cas d'étude_Le permafrost

quiz_LP_CLI

Vidéo introductive

Video introductive à la notion de climat :

https://youtu.be/2KVT0_NqmiU

Quels sont les quatre composantes majeures qui forment le climat ?

Comment interviennent ils dans la régulation du climat ?

3. Le système climatique

Objectifs du grain

- Expliquez la différence entre la météo et le climat
- Savoir comment fonctionne le système climatique
- Comprendre l'effet de serre et les principaux gaz à effet de serre
- Comprendre l'effet albédo

3.1. Introduction: Quelle est la différence entre météo et climat ?

Citations

On confond parfois les notions de «météo» et «climat» lorsque l'on aborde le sujet du réchauffement climatique.

Lisez les citations ci-dessous et réfléchissez aux différences entre les deux concepts:

«Le climat est à quoi on s'attend, la météo est ce que nous obtenons.»

«La météo est à un match de football ce que le climat est à toute l'histoire de la Ligue »

«Le climat vous dit quels vêtements acheter, la météo vous dit quels vêtements porter.»

«Quel est le plus inquiétant? +10°C entre deux journées ou +1°C sur toute l'année ? »

3.1.1. Définitions

Météo (ou bulletin météorologie) : Situation atmosphérique dans un certain lieu à une certaine date.

Climat: Ensemble des phénomènes météorologiques qui caractérisent l'état moyen de l'atmosphère en un lieu donné. Il s'agit en d'autre terme de la «météo moyenne» sur une période allant de quelques mois à des millions d'années.

Les épisodes météorologiques exceptionnels (survenue d'un hiver rigoureux ou d'un été pluvieux) ne font qu'illustrer la variabilité du climat à court terme (à l'échelle d'une saison, ou d'une année). Cela ne remet pas en cause la tendance au réchauffement sur le long terme.

Cf: Exercice 1: Météo ou climat? Ref: quiz_LP_CLI_n1_001

3.1.2. Comment le climat est-il régulé?

Le soleil est la plus grande source d'énergie de la Terre. Une partie des rayonnements solaires est absorbée par la surface terrestre (50%). L'autre partie des rayonnements est absorbée par l'atmosphère (20%) ou réfléchi dans l'espace (30%) grâce aux nuages et aux surfaces claires de la Terre (glaciers, neige, déserts...).

Les rayons absorbés réchauffent la surface terrestre.

Plus la surface se réchauffe, plus elle émet un rayonnement thermique infra-rouge important. Ce rayonnement transporte de la chaleur dont une partie est renvoyée hors de l'atmosphère.

L'autre partie du rayonnement est retenue par les nuages et certains gaz et reste coincé à la surface, il s'agit du phénomène d'effet de serre.

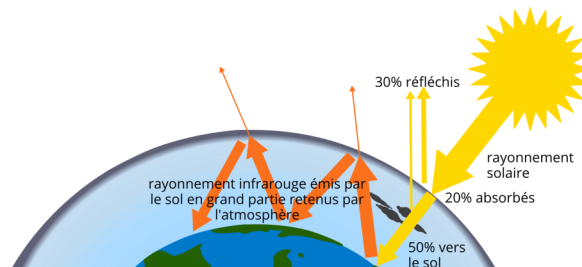
La température de la Terre s'ajuste pour trouver un équilibre entre l'énergie du soleil absorbée et celle réémise sous forme de rayonnement infra-rouge, permettant ainsi une température moyenne de 15°C. Sans gaz à effet de serre, la température moyenne du globe serait de -18°C.

L'effet de serre a permis l'apparition de la vie sur Terre. Cependant l'augmentation des gaz à effet de serre suite aux activités humaines a fortement augmenté la proportion de rayonnements infra-rouge retenus, entraînant une hausse de la température globale de plus d'un degré.

cf: Exercice 2: Texte à trou: quiz_LP_CLI_n1_002

L'effet de serre

Un phénomène à l'oeuvre naturellement



a) Principaux gaz à effet de serre

Définition

Effet de serre: Phénomène thermique par lequel l'atmosphère, rendue « imperméable » par la présence de gaz, réfléchit les rayonnements infrarouges vers la surface terrestre, entraînant ainsi un réchauffement du globe.

i) Le dioxyde de Carbone (CO₂) :

L'accumulation du CO₂ dans l'atmosphère contribue pour 2/3 de l'augmentation de l'effet de serre induite par les activités humaines (combustion de gaz, de pétrole, déforestation, cimenteries, etc.). C'est pourquoi on mesure l'effet des autres gaz à effet de serre en équivalent CO₂ (eq. CO₂).

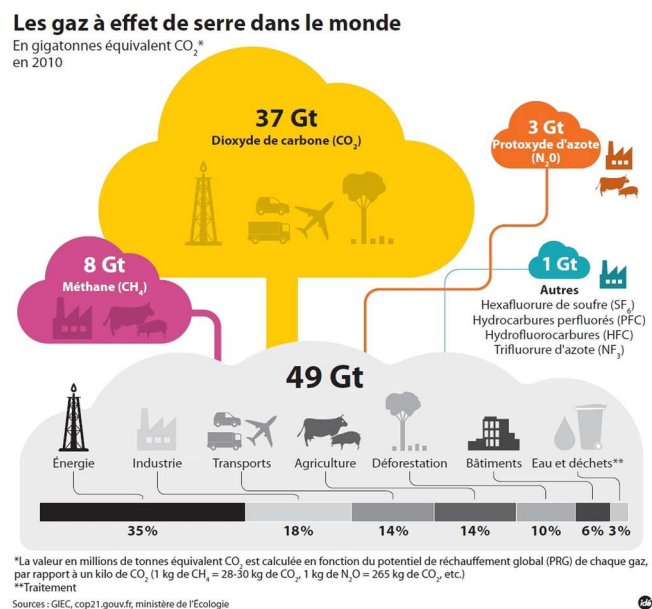
ii) Le méthane (CH₄) :

Les élevages des ruminants, les rizières inondées, les décharges d'ordures et les exploitations pétrolières et gazières constituent les principales sources de méthane induites par les activités humaines. La durée de vie du méthane dans l'atmosphère est de l'ordre de 12 ans.

Autres GES

Le protoxyde d'azote (N₂O) provient des engrais azotés et de certains procédés chimiques. Sa durée de vie est de l'ordre de 120 ans.

L'hexafluorure de soufre (SF₆): Il a une durée de vie de 50 000 ans dans l'atmosphère



Air Pollutant / GHG	Lifetime/Scale	Climate Impact	Health/Ecosystem Impacts	
Carbon Dioxide (CO ₂)		↑		Lifetime in Atmosphere = days/weeks Impact Scale = local/regional
Flourinated Gases (F-gases)		↑		Lifetime in Atmosphere = years Impact Scale = global
Methane (CH ₄)		↑		↑ Warming
Nitrogen Oxides (NO _x)		↑↓		↓ Cooling
Nitrous Oxides (N ₂ O)		↑		Human Health Impact
Particulate Matter (PM)		↑↓		Ecosystem Impact
Sulfur Dioxide (SO ₂)		↓		Ecosystem Impact
Tropospheric Ozone (O ₃)		↑		No direct impact on human health or ecosystems*
Volatile Organic Compounds (VOCs)/ Carbon Monoxide (CO)		↑		No direct impact on human health or ecosystems*

*No direct impact implies the substance in question either does not directly cause human health or ecosystem impacts or it does not go through a chemical process to create a substance that directly impact human health and ecosystems.

Current Opinion in Environmental Sustainability

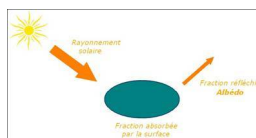
iii) La vapeur d'eau

La vapeur d'eau est le troisième gaz le plus abondant dans l'atmosphère et le premier gaz à effet de serre. La vapeur d'eau n'est pas le moteur du réchauffement climatique, mais elle y participe par un effet amplificateur. En effet, l'augmentation des concentrations des gaz tels que le CO_2 et le CH_4 conduit à une amplification de l'effet de serre, et donc une élévation des températures. Or, dans une atmosphère plus chaude, il peut y avoir plus de vapeur d'eau. L'élévation des températures conduit donc à une augmentation des concentrations de vapeur d'eau atmosphérique. Puisque la vapeur d'eau absorbe le rayonnement infrarouge, on a alors un renforcement de l'effet de serre, qui conduit à une augmentation supplémentaire des températures.

b) Effet albédo

Définition Albédo

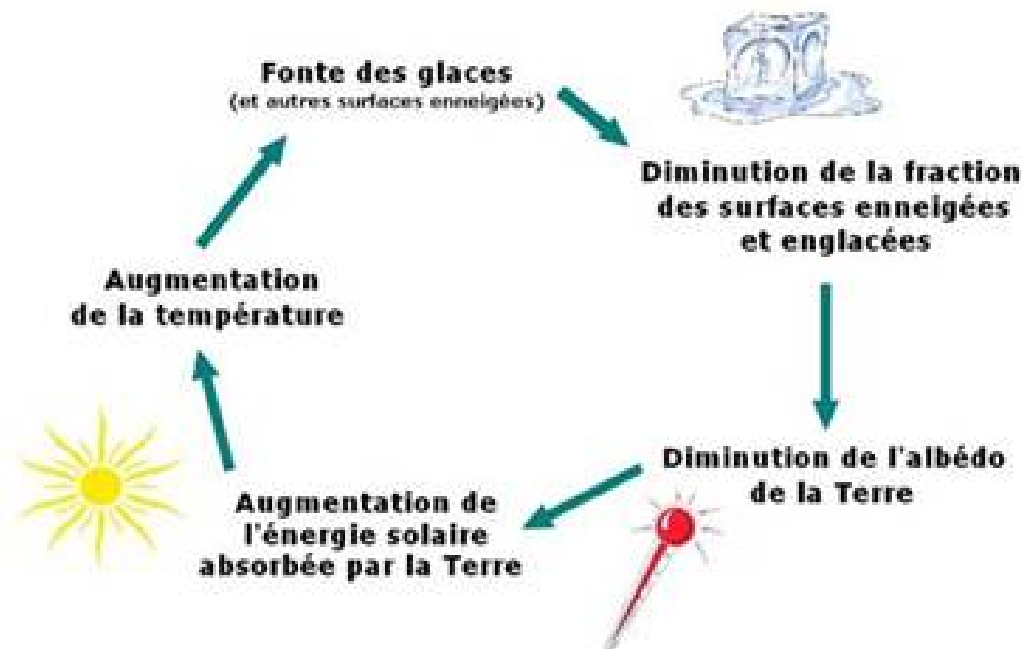
L'**albédo** est une grandeur sans dimension, représentant la fraction de l'énergie solaire globale réfléchiée par une surface. Elle est exprimée en pourcentage ou par un chiffre compris entre 0 (toute la lumière est absorbée) et 1 (toute la lumière est réfléchiée). Si la Terre était par exemple recouverte d'eau (albédo faible d'à peu près 0,08), sa température moyenne serait de 32°C environ ! Par ailleurs, si elle était totalement recouverte de glace (albédo 0,6), cette température atteint les -52°C .



i) Albédo et changement climatique

Avec l'augmentation constatée actuellement de la température à la surface du globe se pose le problème de l'augmentation de l'albédo. En effet, la fonte des banquises en particulier, provoque une diminution de la surface englacée et enneigée de la planète, au profit d'une augmentation des surfaces correspondant à des sols nus ou à des océans, qui possèdent un albédo plus faible.

La Terre renvoyant donc une part plus faible de l'énergie solaire reçue, ce qui contribue à l'augmentation de la température, nous faisant ainsi rentrer dans une espèce de cercle vicieux qui accélère le réchauffement :



cf: Exercice 3:

ii) Pour aller plus loin:

Exercice de physique sur l'effet de serre et l'effet albédo :

https://climacol.scenari-community.org/collesClimat_web/co/200527_Effet_Serre_Base.html

Capsule suivante et exercices :

quiz_LP_CLI_n1

LP_CLI_n1_002_ Evolution du climat sur Terre et anthropocène

LP_CLI_n2_001_ Indicateurs du changement climatique

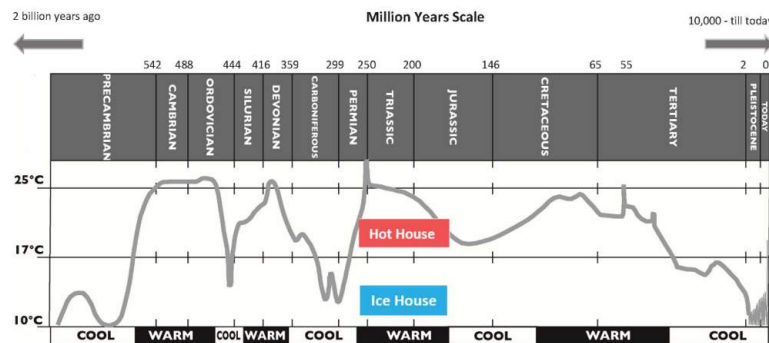
4. Evolution du climat sur Terre et anthropocène

Objectifs du grain

- Savoir décrire l'évolution du climat sur Terre
- Comprendre l'influence de l'être humain sur le climat

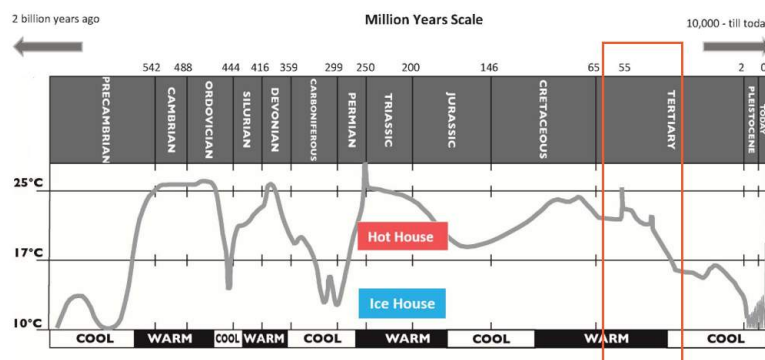
4.1. -2 milliards d'années

Au cours des 2 derniers milliards d'années, le climat de la Terre a alterné entre des périodes «chaudes» et des périodes glaciaires durant lesquelles la glace pouvait couvrir l'ensemble de la planète.



-55 millions d'années

La dernière transition entre ces phases s'est produite il y a environ 55 millions d'années lorsque la température a atteint un maximum thermique suivi d'une longue période de refroidissement, que nous vivons actuellement.



-500 000 à -100 000 ans

Il y a 500 000 à 100 000 ans, une période de fluctuations entre températures chaudes et froides s'est produite. Des échantillons de glace arctique montrent qu'au cours d'une période de plusieurs centaines de milliers d'années, les grandes calottes glaciaires qui recouvraient certaines parties de l'Amérique du Nord et de l'Europe ont fondu dans une série de hausses de température, chacune se produisant environ tous les 100 000 ans.

-10 000 à aujourd'hui

Les 10 000 dernières années sont connues sous le nom d'Holocène. Le niveau de la mer s'est stabilisé à son niveau actuel il y a environ 7 000 ans. Cette période aux températures stables a permis à la civilisation humaine de se développer.

Cause des changements climatiques

Le climat de la Terre ne change pas sans raison. De nombreux facteurs peuvent l'influencer sur de longues périodes. Ces facteurs sont connus sous le nom de « forçages climatiques ». Les 3 principaux facteurs de forçage climatiques sont : 1) la variabilité solaire, 2) les activités volcaniques et 3) les changements dans le cycle du carbone

4.1.1. Influence de l'être humain sur le climat

Définition Anthropocène

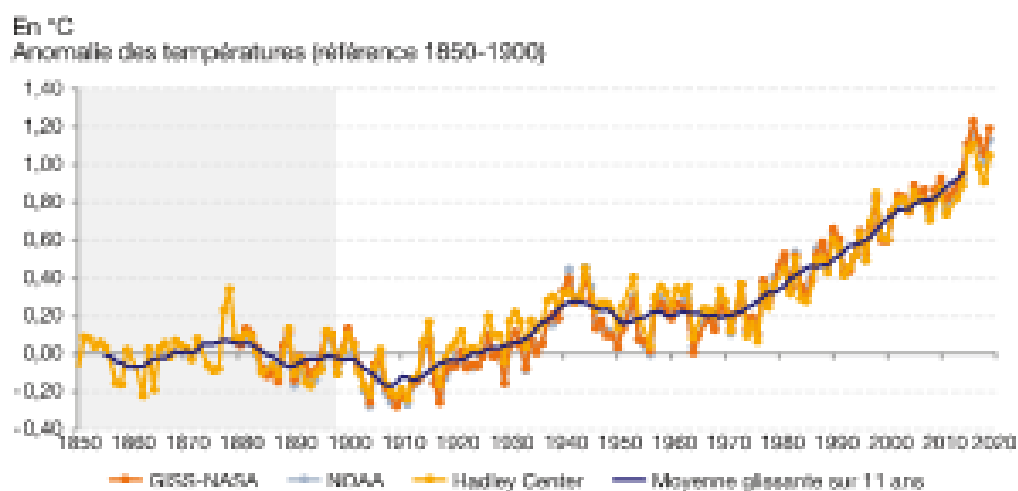
Anthropocène (« Ère de l'humain »): Période géologique succédant à l'Holocène et caractérisant l'ensemble des événements géologiques qui se sont produits depuis que les activités humaines ont une incidence globale significative sur l'écosystème terrestre.

Popularisé à la fin du xxe siècle Paul Josef Crutzen et Eugene Stoermer, elle aurait débuté selon eux à la fin du xviii^e siècle avec la révolution industrielle.

Impact des activités humaines et puits de carbone

Pratiquement toutes les activités humaines émettent des GES. Que se soit pour la production de chaleur, d'électricité ou d'autres énergies, l'agriculture et l'élevage, l'industrie, les bâtiments et les transports, chaque grand secteur de l'économie mondiale contribue aux émissions de CO₂. Les émissions CO₂ actuelles auront un impact sur la température du globe pendant plus d'un siècle. D'autre part, certaines activités réduisent la capacité des écosystèmes à absorber ces gaz. En effet, certains milieux naturels (forêts, tourbières, océan) sont appelés « puits de carbone » de part leur capacité à filtrer le CO₂ dans l'atmosphère et le transformer en carbone organique. Leur dégradation (déforestation, urbanisation, pollution, agriculture...) réduit ainsi considérablement la capacité de ces milieux à absorber le CO₂.

Evolution de la température moyenne annuelle



ÉVOLUTION DE LA TEMPÉRATURE MOYENNE ANNUELLE MONDIALE DE 1850 À 2019

Depuis le début des années 1980, le réchauffement de la température moyenne mondiale de l'air à la surface des terres et de l'eau à la surface des océans est très net.

La décennie 2010-2019 (avec une température supérieure de 0,66°C à la moyenne 1961-1990) a été plus chaude de 0,19°C que la décennie 2000-2009 (0,47°C au-dessus de la moyenne 1961-1990). Les cinq dernières années sont les cinq plus chaudes observées depuis 1850. L'année 2016, avec une température supérieure de 0,86°C à la moyenne 1961-1990, se classe au premier rang des années les plus chaudes depuis 1850, l'année 2019 se classant en deuxième position. Depuis la fin du XIXe siècle la température moyenne mondiale a augmenté de presque 1°C (moyenne décennale 2010-2019 de 0,97°C).

source: NASA; NOAA; Hadley Center

<https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/chiffres-cles-du-climat/1-observations-du-changement-climatique>

5. Exercice : Exercices niveau 1

Météo ou climat ?

Associez la notion de météo ou de climat (M / C) à chacun des exemple suivants :

Actuellement il fait plus chaud que d'habitude à Bali:

La Thaïlande à un taux d'humidité élevé toute l'année:

La saison sèche au Kenya dure de Juin à Octobre:

Durant 7 jours d'affilé il à gelé à Toronto:

Système climatique

Complétez les termes manquants.

_____ est la plus grande source d'énergie de la Terre. Une partie des rayonnements solaires est absorbée par la surface terrestre (_____ %). L'autre partie des rayonnements est absorbée par l' _____ (20%) ou réfléchié dans l'espace (_____ %) grâce aux nuages et aux surfaces claires de la Terre (glaciers, neige, déserts...), c'est l'effet _____.

Les rayons absorbés réchauffent la surface terrestre.

Plus la surface se réchauffe, plus elle émet un rayonnement _____ infra-rouge important. Ce rayonnement transporte de la _____ dont une partie est renvoyée hors de l'atmosphère.

L'autre partie du rayonnement est retenue par les _____ et certains gaz et reste coincé à la surface, il s'agit du phénomène d' _____.

La température de la Terre s'ajuste pour trouver un équilibre entre l'énergie du soleil absorbée et celle réémise sous forme de rayonnement infra-rouge, permettant ainsi une température moyenne de _____ °C.

Exercice de physique sur l'albédo

Albedo et température d'équilibre terrestre:

La surface actuelle de la Terre est faite de différentes couvertures dont on peut mesurer l'albédo et dont on connaît la proportion (en %) mondiale terrestre.

Océan: 0,07; 48%

Nuages: 0,78; 20%

Sable clair et sec: 0,35; 17%

Végétation basse et verte: 0,17; 10%

Neige fraîche: 0,80; 5%

On connaît par ailleurs:

- le flux solaire au toit de l'atmosphère: $F = 1370 \text{ W}$

- la loi qui donne l'émission totale d'un corps par unité de surface: $P = \sigma \times S \times T^4$ où σ est une constante qui vaut $5,6698 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2/\text{K}^4$

- l'expression de la température (en kelvin) d'équilibre d'une planète: $T = [(1-A) \times F / 4\sigma]^{1/4}$ où A correspond à l'albédo de la surface planétaire.

- la relation qui permet de passer d'une température en kelvin à une température en °Celsius:

$$T(K) = T(^{\circ}C) + 273,15$$

- la relation qui donne la température réelle moyenne actuelle de la surface terrestre:

$$T \text{ moyenne actuelle} = T \text{ équilibre} + T \text{ effet de serre} = 15^{\circ}C$$

Exercice de calcul :

1) Calculer les températures d'équilibre (en °C) de la Terre si on suppose qu'elle n'est constituée que d'une seule couverture: océan seul, nuages seuls, sable clair et sec seul, végétation basse et verte seule, neige fraîche seule.

2) Déterminer l'albédo moyen de la Terre et la température d'équilibre correspondante (en °C)

3) Calculer l'apport de température lié à l'effet de serre et son importance pour le monde vivant

4) En supposant que la neige couvre 13% de la surface terrestre, la végétation 5%, et les océans 45%, les autres couvertures restant inchangées, calculer le nouvel albédo moyen terrestre.

5) Expliquer alors comment l'albédo peut amplifier les variations climatiques.



6. Indicateurs du changement climatique

Objectifs du grain

- Connaître les principaux indicateurs du changement climatique
- Suivre une démarche prospective sur l'évolution du climat
- Comprendre les conséquences des changements climatiques et les stratégies d'atténuation et d'adaptation

Vidéo introductive sur les indicateurs du changement climatique :

<https://youtu.be/gcoTOCORzCo>

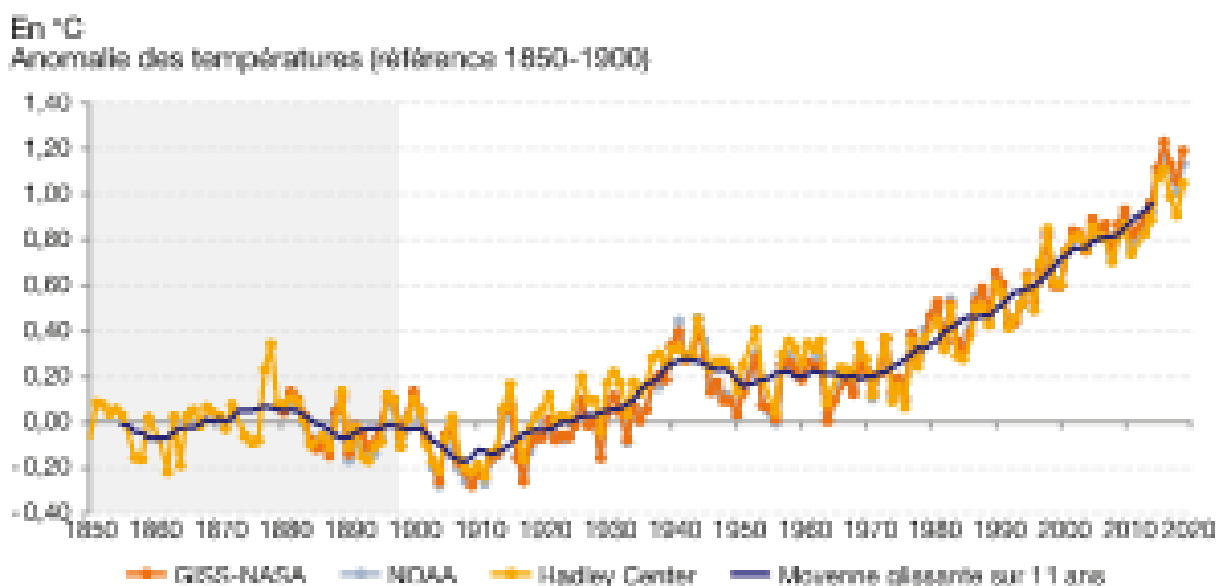
Quels sont les principaux indicateurs du changement climatique ?

Quelles informations nous apportent ces indicateurs ?

6.1. 1) Premier indicateur: Température du globe

Evolution de la température moyenne annuelle

Le réchauffement depuis le milieu du XVIII^e siècle est estimé à environ 1,1 degré Celsius. La température de surface a augmenté de 0,1 degré Celsius tous les 5 à 6 ans depuis les années 1970. 2015, 2016, 2017 et 2018 sont les quatre années les plus chaudes jamais enregistrées.



Accord de Paris

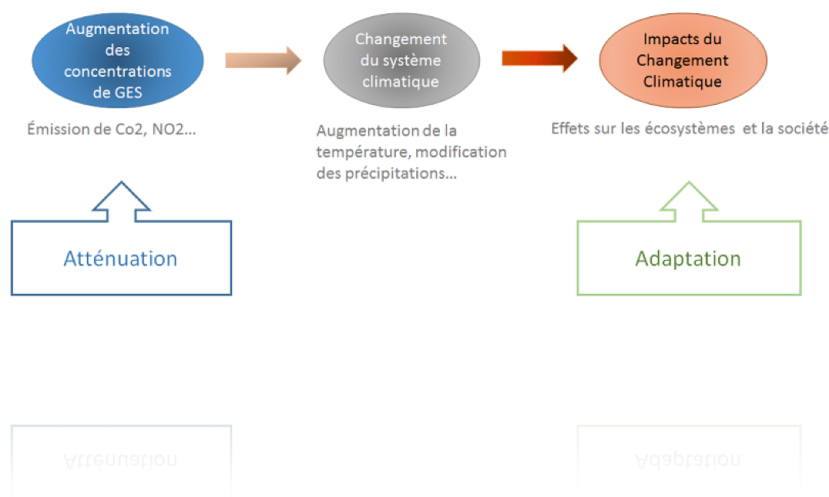
Pour limiter les effets du changement climatique, les pays signataires de la Convention-cadre des Nations unies sur le changement climatique (CCNUCC) se sont donnés pour objectif dans l'Accord de Paris de 2015 de «Contenir l'élévation de la température moyenne de la planète en dessous de 2°C par rapport aux niveaux préindustriels».

Atténuation et adaptation :

Afin de limiter l'élévation de température, une stratégie d'atténuation a été adoptée. Elle consiste à ralentir les causes du changement climatique en limitant les émissions nettes de gaz à effet de serre (GES).

Cependant, compte tenu de l'inertie climatique et de la grande durée de vie des gaz à effet de serre accumulés dans l'atmosphère, l'augmentation des températures d'ici à la fin du siècle est inévitable et toutes les régions du monde sont concernées. Une stratégie d'adaptation au changement climatique est donc nécessaire pour en limiter les conséquences sur notre environnement.

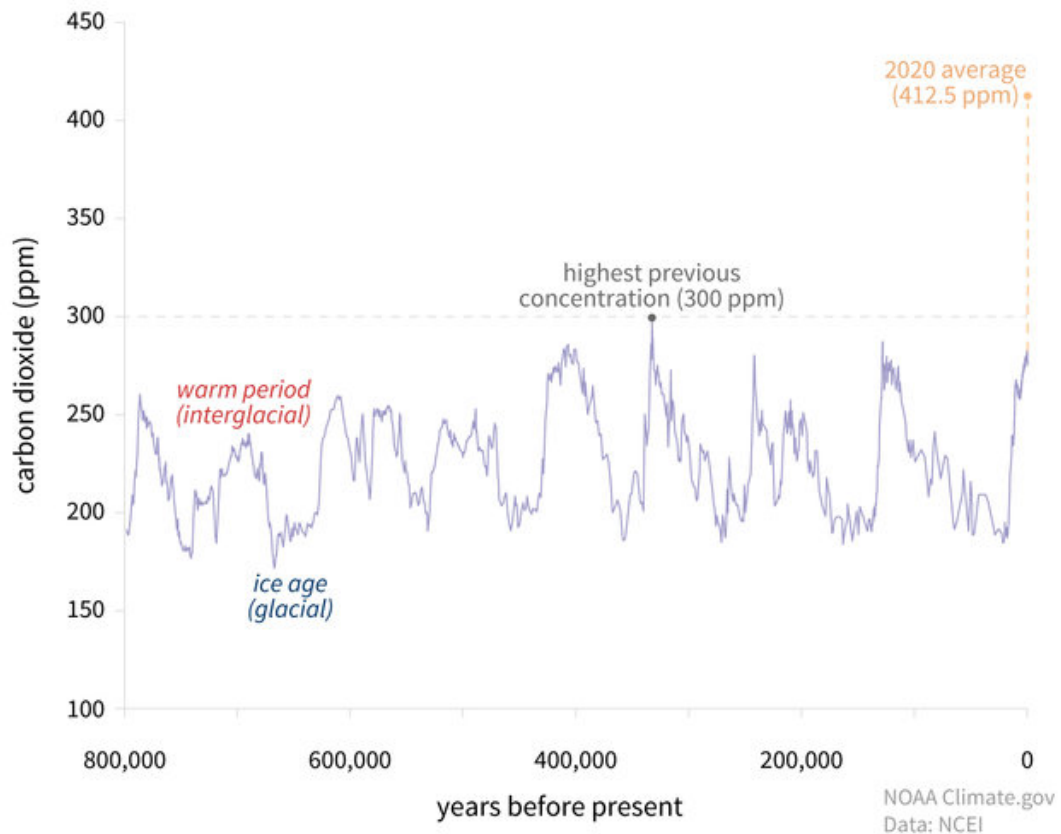
L'adaptation a pour objectifs d'anticiper les impacts du changement climatique et limiter leurs dégâts éventuels en intervenant sur les facteurs qui contrôlent leur ampleur (par exemple, l'urbanisation des zones à risques).



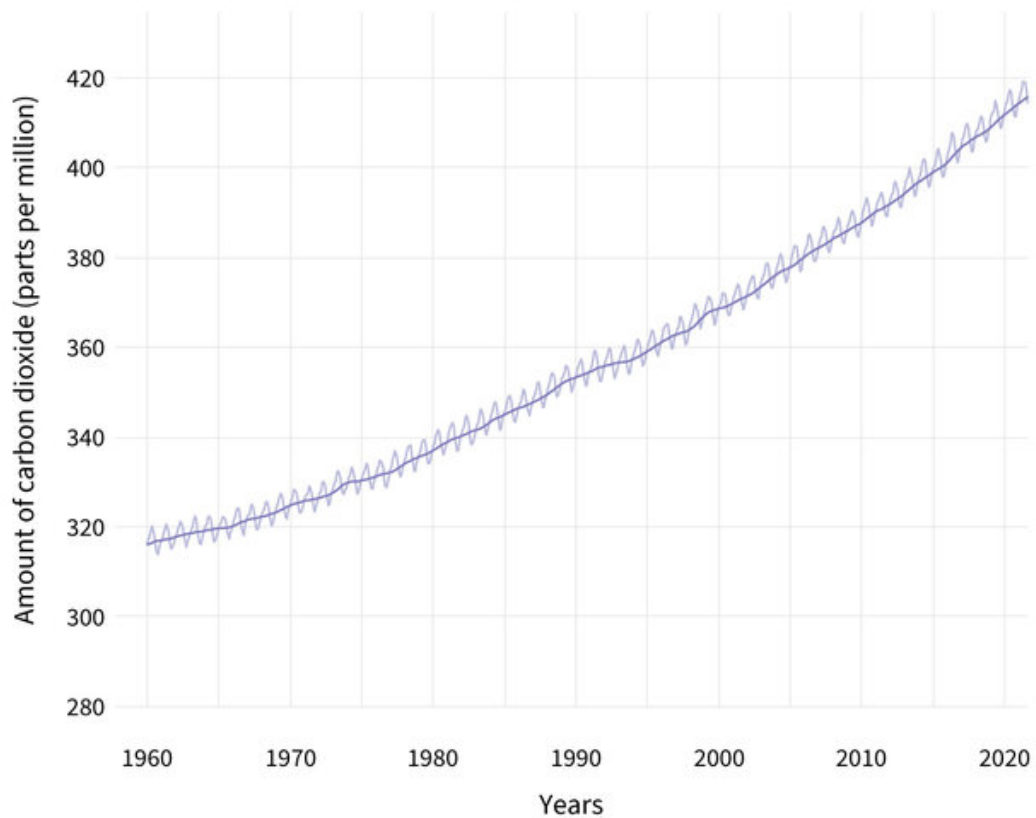
6.2. 2) Deuxième indicateur: Taux de CO2 dans l'atmosphère

Graphique d'évolution du CO₂ dans l'atmosphère

CARBON DIOXIDE OVER 800,000 YEARS



ATMOSPHERIC CARBON DIOXIDE (1960-2021)



La concentration de CO₂ dans l'atmosphère est un bon indicateur du changement climatique. Elle s'évalue en ppm de CO₂ (partie par million) qui est la fraction valant 10^{-6} , c'est-à-dire un millionième. 1ppm de CO₂ équivaut à dire qu'il y a 1 molécule de CO₂ pour 1 million de molécules d'autres gaz (= 1mg de CO₂ / 1 kg de gaz) .

Sur le premier graphique, on voit l'évolution de la concentration en CO₂ sur les 800 000 dernières années. Depuis le début de la civilisation humaine (-3500) jusqu'à 200 ans, notre atmosphère oscillait entre 180 et 280ppm de CO₂. Ce niveau permettait le maintien de conditions de vie propices au développement de notre espèce. Afin de contenir la hausse des températures à moins de +2°C, on estime que le niveau de sécurité serait de 350ppm de CO₂ dans l'atmosphère.

Le second graphique permet de voir l'évolution de la concentration en CO₂ entre 1960 et 2020. On remarque alors une très nette augmentation de la concentration ces dernières années avec un taux de 320 ppm en 1960 qui dépasse le seuil de 405 ppm en 2017.

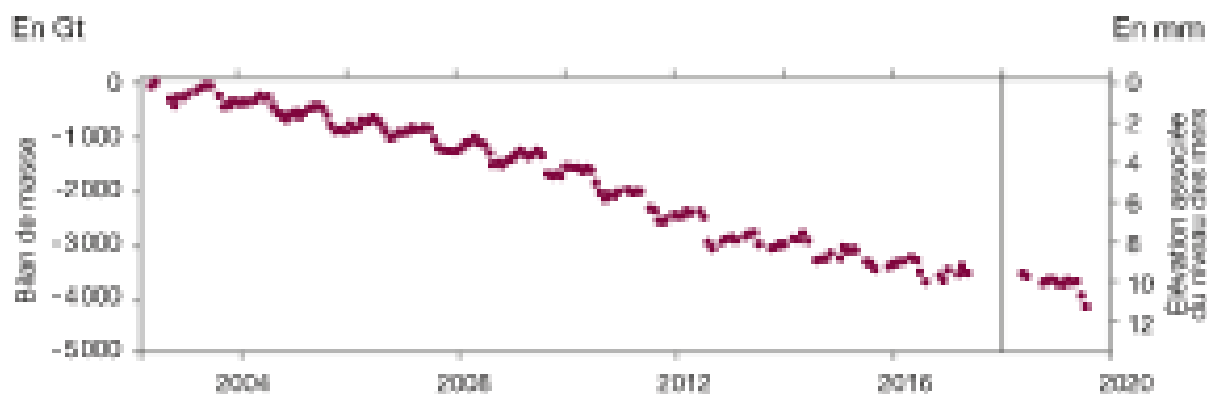
L'émission globale de CO₂ par année dépasse aujourd'hui 40 GtCO₂ par an (41,5 GtCO₂ en 2018).

6.3. 3) Autres indicateurs du changement climatique

Réchauffement des océans, fonte des glaces et niveau marin

Les océans absorbent 94% de la chaleur liée à l'augmentation du CO₂, entraînant ainsi la fonte des glaces arctiques et antarctique et l'élévation du niveau marin.

Selon le GIEC, le taux d'élévation du niveau marin s'est accéléré durant les dernières décennies pour atteindre près de 3,2mm par an sur la période 1993-2010. Cette élévation du niveau des océans a pour conséquence le recul du trait de côte, la disparition de territoires insulaires de basse altitude.



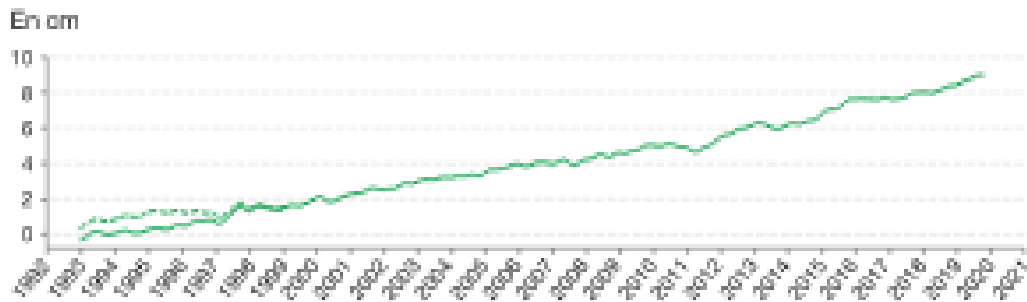
BILAN DE MASSE DES GLACES DU GROENLAND DE 2002 À 2019

¹

Les régions polaires perdent de la glace et cette perte s'est accélérée dans les années 2000. Entre 2002 et 2019, la masse de la calotte glaciaire du Groenland s'est réduite en moyenne de 268±11 gigatonnes par an (Gt/an). Au cours de l'été arctique exceptionnellement chaud de 2019, le Groenland a perdu 600Gt de glace, ce qui équivaut à une élévation du niveau des mers de 2,2mm.

source: GRACE, GRACE-FO. Traitement: Danish Meteorological Institute, GEUS, DTU Space

¹ <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/chiffres-cles-du-climat/image/bilan-masse-glace-groenland-2002-2009-CGDD.svg>



ÉVOLUTION DU NIVEAU MOYEN DES MERS DU GLOBE DEPUIS 1993:

Le niveau moyen de la mer s'est élevé de $1,7 \pm 0,3$ mm/an sur la période 1901-2010. Le taux d'élévation du niveau marin s'est accéléré durant les dernières décennies pour atteindre $3,3 \pm 0,4$ mm/an sur la période 1993-2019 (mesures satellitaires). Environ 30 % de l'élévation du niveau des mers est due à la dilatation causée par l'augmentation de la température de l'eau.

Source: E.U. Copernicus Marine Service Information

Acidité des océans

L'augmentation de la concentration en CO_2 dans l'atmosphère entraîne également une plus forte concentration du CO_2 dans l'océan. En conséquence, l'eau de mer s'acidifie car au contact de l'eau, le CO_2 se transforme en acide carbonique. De 1751 à 2004, le pH (potentiel hydrogène) des eaux superficielles des océans a diminué de 8,25 à 8,14. Cette acidification représente un risque majeur pour les récifs coralliens et certains types de plancton menaçant l'équilibre de nombreux écosystèmes.

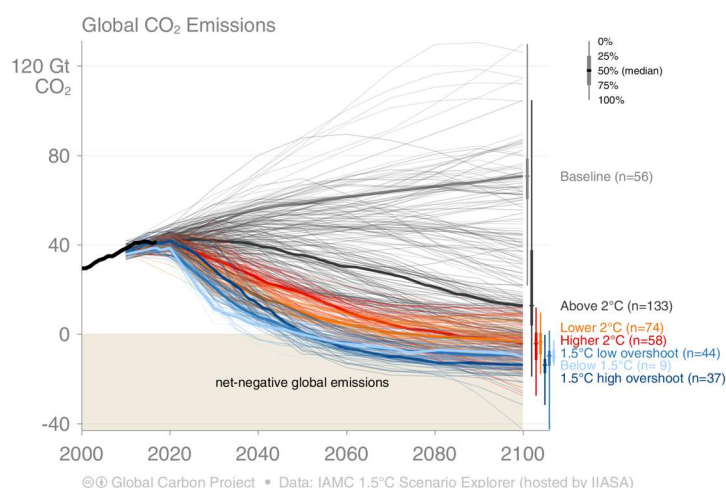
cf : capsule de cours LP_ACI_000_Acidification des océans

Scénarios prospectifs de l'évolution du climat

Selon la quantité d'émissions de gaz à effet de serre émis dans l'atmosphère les prochaines années, différents scénarios de température moyenne mondiale à la surface sont envisagés pour 2100. Ces scénarios sont représentés par plusieurs trajectoires.

Les 4 premières trajectoires représentent des scénarios pour lesquels la température n'augmente que de $1,5^\circ\text{C}$ à 2°C d'ici 2100.

La base de référence (en gris) est le scénario pour lequel aucune politique climatique n'a été instaurées, conduisant à une augmentation de la température de $+3^\circ\text{C}$ d'ici 2100.



6.3.1. Scénario optimiste (<2°C) VS Scénario pessimiste (>2°C)

Scénario optimiste :

- Elévation mondiale moyenne du niveau de la mer de 0,26 à 0,77 m (par rapport à 1986-2005)
- Diminution des récifs coralliens de 70 à 90 %
- Diminution des captures annuelles mondiales de la pêche maritime de 1,5 million de tonnes
- Jours extrêmement chauds de 3°C plus chauds aux latitudes moyennes et nuits extrêmement froides plus chaudes de 4,5°C dans les hautes latitudes

Scénario pessimiste :

- Elévation mondiale moyenne du niveau de la mer de 0,30 à 0,83 m (10 millions de personnes supplémentaires exposées aux risques d'élévation)
- Diminution des récifs coralliens de 99 %
- Diminution des captures annuelles mondiales de la pêche maritime de 3 million de tonnes
- Jours extrêmement chauds de 4°C plus chauds aux latitudes moyennes et nuits extrêmement froides plus chaudes de 6°C dans les hautes latitudes.

Source: IPCC, 2018: Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C.

a) Créer son propre scénario prospectif :

Calculateur climatique interactif développé à des fins éducatives par une équipe de Climate Interactive, MIT, Ventana Systems, UML Climate Change Initiative et Todd Fincannon :

<https://www.climateinteractive.org/tools/c-roads/>¹

6.4. Autres impacts du changement climatique

Le GIEC évalue également comment le changement climatique se traduira à moyen et long terme. Il prévoit :

- Des phénomènes climatiques aggravés : l'évolution du climat modifie la fréquence, l'intensité, la répartition géographique et la durée des événements météorologiques extrêmes (tempêtes, inondations, sécheresses).
- Un bouleversement de nombreux écosystèmes : avec l'extinction de 20 à 30 % des espèces animales et végétales et des conséquences importantes pour les implantations humaines.
- Des crises liées aux ressources alimentaires : dans de nombreuses parties du globe (Asie, Afrique, zones tropicales et subtropicales), les productions agricoles pourraient chuter, provoquant de graves crises alimentaires, sources de conflits et de migrations.
- Des dangers sanitaires : le changement climatique aura vraisemblablement des impacts directs sur le fonctionnement des écosystèmes et sur la transmission des maladies animales, susceptibles de présenter des éléments pathogènes potentiellement dangereux pour l'Homme.
- Des déplacements de population : l'augmentation du niveau de la mer (26 à 98 cm d'ici 2100, selon les scénarios) devrait provoquer l'inondation de certaines zones côtières (notamment les deltas en Afrique et en Asie), voire la disparition de pays insulaires entiers (Maldives, Tuvalu), provoquant d'importantes migrations.

¹ <https://croadsworldclimate.climateinteractive.org/>

Source: <https://www.ecologie.gouv.fr/comprendre-giec>

6.5. Conclusion

Depuis le XIX^e siècle, l'homme a considérablement accru la quantité de gaz à effet de serre présents dans l'atmosphère. En conséquence, l'équilibre climatique naturel est modifié et le climat se réajuste par un réchauffement de la surface terrestre. Nous pouvons déjà constater les effets du changement climatique. C'est pourquoi il convient de se mobiliser et d'agir. Tout le monde est concerné: élus, acteurs économiques, citoyens, pour réduire nos émissions de gaz à effet de serre, mais aussi pour s'adapter aux changements déjà engagés.

6.5.1. Pour aller plus loin :

Comment limiter son empreinte carbone ?

Afin d'atteindre la neutralité carbone, chaque citoyen se doit de participer à la réduction de son empreinte carbone.

cf: Grain de cours LP_CLI_n2_002_Limiter son empreinte carbone

Comment ces changements affectent-ils les systèmes sociaux, économiques et écologiques ?

cf: Grain de cours TR_000_TRANSITION TECHNIQUE ECONOMIQUE ET SOCIALE

7. Comment limiter son empreinte carbone ?

Plan climat de Paris

Pour atteindre la neutralité carbone en 2050, objectif fixé par le plan climat de Paris, chaque citoyen est en devoir de réduire son empreinte carbone individuelle à 2 tonnes d'équivalent CO₂ par an. Cela revient pour un Français moyen à diviser sa consommation énergétique par 5. Difficile alors de savoir par où commencer. Cependant, en connaissant les principaux postes émetteurs et les actions efficaces à mettre en place, réduire son empreinte carbone est réalisable !



7.1. Empreinte carbone

Qu'est-ce que l'empreinte carbone ?

L'empreinte carbone correspond à l'ensemble des émissions de gaz à effet de serre induites par nos activités. Elle est calculée en tonnes équivalent CO₂ (tCO₂eq) par an. Cela englobe la production des biens que nous consommons et des aliments que nous mangeons ainsi que notre consommation d'énergie à la maison et celle utilisée lors de nos transport. L'empreinte carbone de Paris est de 22,7 millions de tCO₂eq par an, soit 10,3 tonnes par individu. Ce calcul comprend les émissions locales, produites directement sur le territoire (bâtiment, transport et industrie intra-muros...), et les émissions indirectes, générées à l'extérieur (transport hors Paris, importation de biens et services et d'aliments...).

Comment calculer notre empreinte carbone ?

L'empreinte carbone varie selon le mode de vie de chacun, ainsi que selon d'autres paramètres telles que la catégorie socio-professionnelle, la situation familiale et géographique.

Certains postes seront les principaux pour les uns, mais négligeables pour d'autres (les transports par exemple). Les leviers à activer ne seront ainsi pas identiques pour tout le monde.

Simuler sa propre empreinte carbone est un bon moyen de savoir par où commencer. L'équipe de beta.gouv.fr, financée par l'Agence de la transition écologique (ADEME) et l'Association Bilan Carbone (ABC), a développé le simulateur «Nos Gestes Climat»¹, qui permet de calculer son empreinte carbone et propose des actions pour la réduire en chiffrant leur potentiel :

Calculez votre empreinte carbone:

<https://nosgestesclimat.fr/>



¹ <https://www.apc-paris.com/actualite/nos-gestes-climat-outil-pour-permettre-a-chacune-calculer-son-empreinte-carbone>

Premier poste d'empreinte carbone : Les Transports

Le transport est la première source d'émissions de gaz à effet de serre avec 31% des émissions devant les bâtiments, l'agriculture et l'industrie tous trois ex æquo. Parmi les transports, la voiture représente plus de la moitié des émissions.

En effet, la voiture personnelle constitue le mode de transport principal au pour 72% des français. Pourtant une grande partie ceux qui l'utilisent considèrent que les trajets qu'ils réalisent au quotidien (moins de 5km) pourraient être réalisés à vélo. Et 5 km en voiture, c'est déjà plus d'1 kg de CO₂ émis. Répété deux fois par jour et 5 fois par semaine, cela correspond à plus d'une tonne et demie de CO₂ sur une année.

La première chose à réaliser pour réduire son empreinte carbone est donc de privilégier les mobilités douces au quotidien (marche, vélo, transport en commun). Dans une moindre mesure, il est aussi préférable d'adopter le covoiturage (80 % des véhicules ne transportent qu'une seule personne). Adopter l'écoconduite permet également de réduire la consommation de carburant de 15 %.

Concernant les plus longues distances, l'impact de l'avion sur le climat est 200 fois supérieur au TGV, si on prend l'exemple d'un trajet en France ou une destination européenne. Un aller-retour Paris-New-York émet environ 1,8 tonnes d'équivalent CO₂, soit le quota individuel annuel pour atteindre cette neutralité. Ces voyages doivent donc rester rares, quitte à les faire durer plus longtemps, ce qui invite à penser ses vacances différemment.

L'outil ECOLAB de l'ADEME permet de calculer l'impact CO₂ pour chacun de vos trajet :

<https://monimpacttransport.fr/>



7.1.1. Deuxième poste: L'alimentation

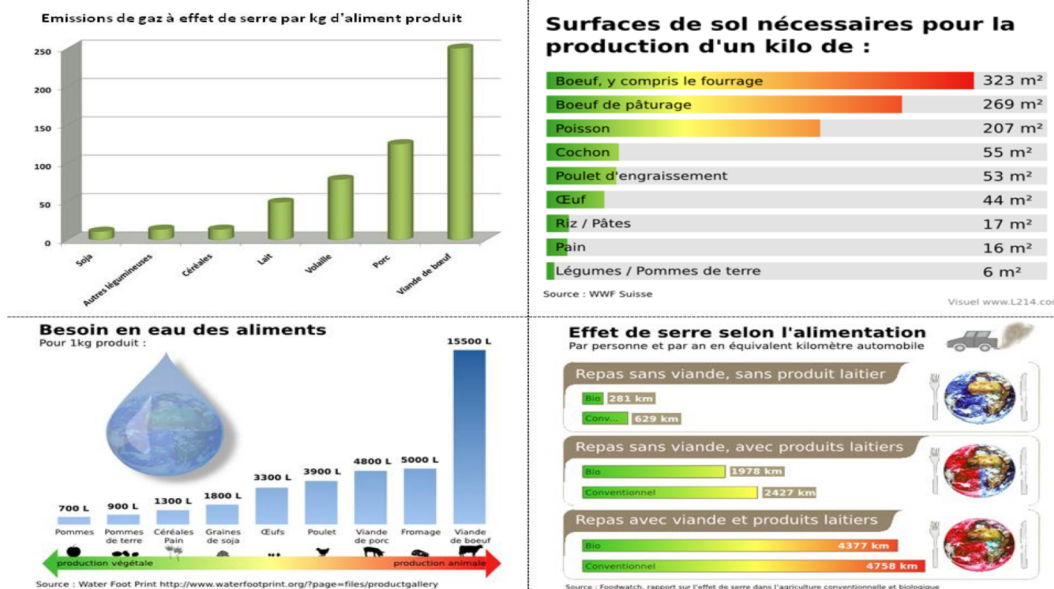
La viande rouge

L'alimentation est le deuxième poste de l'empreinte carbone (17 %). Il est possible de le réduire considérablement en changeant ses habitudes alimentaires.

Pour adopter un régime bas carbone, il est d'abord nécessaire de limiter sa consommation de viande rouge (cf: image 1).

En effet, les ruminants (comme le bœuf et l'agneau) rejettent du méthane, responsable de 45 % des émissions en équivalent CO₂ de l'élevage en France. L'empreinte carbone d'un kilo de boeuf est 6 fois supérieure à celle d'un kilo de poulet.

D'autre part, il faut en moyenne 300m² de fourrage et céréales pour produire 1kg de boeuf, cette production est très consommatrice en eau et en terres, et participe à la déforestation et donc au déclin de la biodiversité.



a) Produits locaux et gaspillage

La seconde étape du régime bas carbone passe par la consommation de produit locaux et de saison afin d'éviter les émissions liées au transport ou cultivé sous serre. (L'énergie utilisée pour le chauffage des serres étant supérieure à celle d'un produit importé de saison.)

Pour savoir si vos fruits et légumes sont de saison, il est possible de se référer au site de l'ADEME:

<https://mesfruitsetlegumesdesaison.fr/>

Pour finir, il est nécessaire de réduire le gaspillage alimentaire (46 kg de déchets alimentaires par an, dont 13 kg d'aliments encore emballés).

7.1.2. Le logement

Le logement résidentiel est responsable de 1,9 MtCO₂eq par an et de 35% de la consommation énergétique globale.

Commencer à réduire l'empreinte carbone de son logement est possible grâce aux écogestes. Le chauffage est le principal poste à cibler car il représente en moyenne 70% de la consommation d'énergie du logement, loin devant l'éclairage. Baisser la température de chauffage a un effet significatif : 1°C en moins, c'est 7 % d'économie d'énergie. D'autres gestes permettent de réduire le besoin en chauffage: placer des boudins de porte, remplacer ses vieux convecteurs, équiper ses fenêtres de rideaux...

En été, c'est la même chose avec la climatisation qui est très énergivore et qui réchauffe l'îlot de chaleur urbain en évacuant l'air chaud à l'extérieur. D'autre part, les fluides frigorigènes sont des gaz à effet de serre qui ont un potentiel réchauffant 4000 fois supérieur à celui du CO₂. Les climatiseurs mobiles individuels, qui nécessitent une fenêtre ouverte pour y faire passer un tuyau, sont particulièrement néfastes et sont donc à proscrire.

Au-delà de la gestion de la température, d'autres gains énergétiques peuvent se faire en économisant l'eau chaude sanitaire (11 % de la consommation d'énergie dans le logement), notamment en prenant des douches moins longues.

Pour l'électroménager, il faut privilégier les appareils de seconde main ou reconditionnés et faire attention à leur durée de vie.

Enfin, des économies d'énergie peuvent être réalisées en optant pour des appareils électroniques plus sobres et ne pas laisser de veilles inutile.

7.1.3. Les biens de consommation

Une consommation responsable s'appuie sur la logique des trois «R» :

- **Réduire ses achats** : Acheter seulement le nécessaire et limiter les emballages en achetant en vrac ou en fabriquant ses propres produits. (Cf: «Comment fabriquer ses propres produits ménagers») et porter attention à la manière dont les biens sont produits.
- **Réemployer ou réutiliser**: Donner une seconde vie à ses biens en les réparant, en utilisant la vente et d'achat d'occasion.
- **Recycler ou valoriser** : Les français jettent en moyenne près de 500 kg de déchets par an (PLPDMA de Paris, 2017) et 70 % de ces déchets pourraient être réduits, réparés, détournés vers le réemploi ou la réutilisation, ou être valorisés.

7.1.4. Pour aller plus loin :

Testez vos connaissances sur la consommation énergétique des différents appareils électriques grâce au jeu La Révolt :

<http://la-revolt.org>

8. Cas d'étude: Le permafrost

Lien vidéo:

<https://youtu.be/othd0BzpnQI>

Quels sont les enjeux liés à la fonte du permafrost ?

Qu'est ce qu'une boucle de rétroaction positive ?

Source: <https://www.lemonde.fr/>

9. The climate collage / Fresque du climat

Présentation de l'atelier la fresque du climat :

Lien de la vidéo :

<https://youtu.be/HK4pRFnv2UY>

Limite planétaire 2: Biodiversité et enjeux de

10. préservation

Objectif du grain

Comprendre les enjeux liés à l'érosion de la biodiversité et quels sont les moyens mis en oeuvre pour la préserver.

10.1. Introduction

Qu'est ce que la biodiversité ?

La biodiversité est la contraction des mots «diversité» et «biologique».

Elle désigne donc à la fois l'ensemble des êtres vivants ainsi que la diversité des milieux naturels dans lesquels ils vivent (=écosystèmes).

La biodiversité animale et végétale d'un écosystème correspond donc à la diversité en espèces présentes sur ce milieu.

La biodiversité des écosystèmes est la diversité des milieux naturels (forêt, prairies, déserts...) .

10.1.1. Pourquoi préserver la biodiversité ?

3 raisons fondamentales

- Pour sa valeur intrinsèque (elle participe à l'histoire évolutive crée il y a plus de 2 milliards d'années)
- Pour son potentiel évolutif, elle présente une faculté d'adaptation aux changements globaux actuels.
- Pour les fonctionnalités liées aux écosystèmes indispensables aux sociétés humaines, aussi appelés services écosystémiques. En effet, le bon fonctionnement des écosystèmes dépend du maintien de la biodiversité.

10.1.2. Quels partie de la biodiversité veut on préserver ?

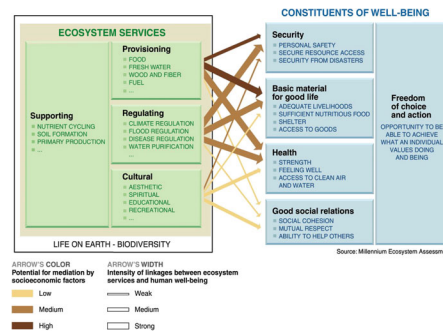
- Les espèces menacées : On à recours à l'écologie de la conservation et à la restauration (par exemple par la création d'espaces protégés) pour protéger les espèces rares ou en voie de disparition.
- La biodiversité ordinaire: celle qui nous entoure (présente dans 80% des écosystèmes)
- La diversité génétique des espèces domestiquées

10.1.3. Biodiversité et services écosystémiques

Service écosystémique: Service que les écosystèmes (et la biodiversité) apportent à l'être humain.

La biodiversité et les écosystèmes au sein desquels elle s'exprime fournissent un grand nombre des biens et services qui soutiennent la vie humaine : les aliments, les combustibles et les matériaux de construction ; la purification de l'air et de l'eau ; la stabilisation et la modération du climat de la planète ; la modération des inondations, des sécheresses, des températures extrêmes et des forces éoliennes ; la génération et le renouvellement de la fertilité des sols ; le maintien des ressources génétiques qui contribuent à la variété des cultures et à la sélection des animaux, des médicaments, et d'autres produits ; et des avantages culturels, récréatifs et esthétiques.

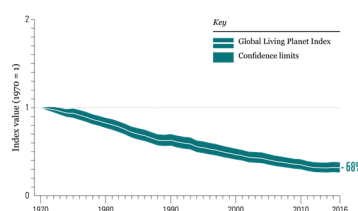
Le Millennium ecosystem assessment réalisée en 2005 à normalisé cette notion de service écosystémique et à défini 24 enjeux sociaux et environnementaux principaux.

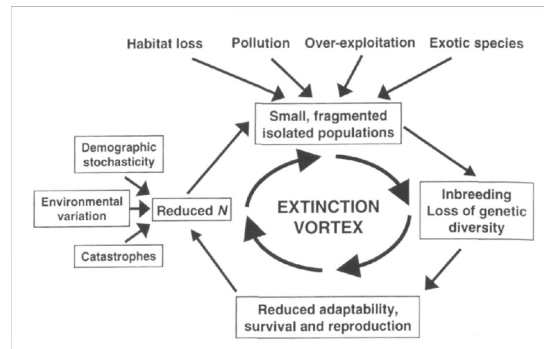
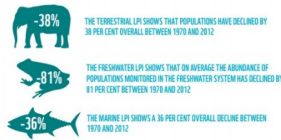


10.2. Enjeux de préservation de la biodiversité

Constat général

- La biodiversité se dégrade dans le monde, en effet 75% des milieux terrestres et 40% des écosystèmes marins sont fortement dégradés: c'est le constat alarmant que partagent les experts internationaux. Un million d'espèces sont menacées d'extinction dans le monde. Le rythme de disparition est 100 à 1000 fois supérieur au taux naturel d'extinction : on parle d'une sixième extinction de masse des espèces. Cette dégradation de la biodiversité est largement la conséquence de nos activités humaines, qui exercent des pressions majeures sur la nature.
- Le WWF et la zoologic society de Londres ont produit un indice planète vivante. Cet indice est basé sur l'étude de 10 000 populations de 3000 espèces de vertébrés répartis dans le monde. Cet indice montre que l'abondance moyenne de ces populations a décliné de 68% depuis 1970. Ceci entraînant que l'on appelle vortex d'extinction (cf figure 3).
- Les milieux naturels sont également fragilisés: plus de 35 % des milieux humides littoraux et continentaux ont disparu depuis 1970 dans le monde et les forêts tropicales pourraient disparaître d'ici 50 à 70 ans au rythme actuel de la déforestation.





10.2.1. Les causes de l'érosion de la biodiversité

Certaines causes naturelles peuvent expliquer la disparition d'espèces ou de milieux naturels, mais le rythme d'érosion actuel est largement attribuable aux activités humaines:

- La transformation des habitats: Certains habitats naturels riches en biodiversité sont artificialisés. Par exemple la transformation des forêts en écosystèmes agricoles. La destruction et la fragmentation des milieux naturels liées est notamment due à l'urbanisation et au développement des infrastructures de transport ;
- La surexploitation d'espèces sauvages : surpêche, déforestation, braconnage, etc. ;
- L'éco-toxicité: les pollutions de l'eau, des sols et de l'air par les pesticides ou autres produits toxiques pour l'environnement;
- L'invasion biologique: Il s'agit de l'introduction d'espèces exotiques envahissantes supplantant les espèces indigènes.
- Le changement climatique qui peut s'ajouter aux autres causes et les aggraver. Il contribue à modifier les conditions de vie des espèces, les forçant à migrer ou à adapter leur mode de vie ;

Mesures prises pour palier à ces menaces:

- Mesures contre la transformation des habitats : la compensation écologique. À chaque infrastructure humaine mise en place il faudra soit éviter la destruction de milieux naturels soit compenser l'impact en restaurant d'autres écosystèmes.
- Résoudre le problème de l'accès libre : Il n'y a pas de restriction d'accès aux ressources communes, la solution serait donc de réguler l'accès aux ressources communes.
- Evaluer la toxicité des produits grâce aux sciences participatives: des observateurs vont évaluer l'état de la biodiversité sur l'ensemble des espaces afin de comprendre l'impact d'un produit donné sur un milieu donné en le comparant aux autres milieux dans lequel ce produit n'est pas présent.
- Les « nature based solution » : Gérer les écosystèmes grâce à la biodiversité, par exemple par la réintroduction d'espèces régulant le milieu.
- Payements pour services rendus à la nature : rémunérer les agriculteurs pour maintenir la fonctionnalité des écosystèmes (en limitant l'emploi de pesticides et l'agriculture intensive au profit de méthodes plus durables et respectueuses de l'environnement).

10.3. Lien entre climat et biodiversité

La biodiversité joue un rôle fondamental dans la régulation du climat. En effet, les forêts, les zones humides et les océans ont la faculté de stocker le carbone atmosphérique, et contribuent ainsi d'atténuer le réchauffement climatique. D'autre part elle permet également d'atténuer les effets des changements globaux, en protégeant par exemple le littoral de l'érosion ou encore en réduisant l'intensité des crues et des inondations.

A l'inverse, le changement climatique actuel modifie les interactions entre les espèces et leurs milieux de vie dans les écosystèmes. Pour un réchauffement mondial de 2 à 3 °C, les experts prévoient ainsi une augmentation du risque de disparition pour 20 à 30 % des espèces animales et végétales.

10.3.1. Exemples d'impacts du climat sur la biodiversité

La hausse des températures réduit la rigueur climatique, allonge les périodes de végétation et modifie le comportement de migrants. Par exemple, les dates de floraison et de récolte pour les arbres fruitiers et les vignes sont avancées ce qui peut rompre les synchronisations entre la période de reproduction d'espèces et le développement saisonnier des végétaux dont ils se nourrissent.

La hausse des températures des eaux modifie la répartition des populations de poissons.

L'acidification des océans, liée à l'absorption du carbone atmosphérique, est dommageable à la construction et à la survie des récifs coralliens, ainsi qu'à l'ensemble des organismes marins à coquille calcaire.

10.4. Préservation de la biodiversité en France

Enjeux liés à l'agriculture

Les écosystèmes apportent deux types de services en lien avec l'agriculture :

- Des services d'approvisionnement: production de nourriture et autres biens.
- Des services de régulation: La pollinisation est un mécanisme central dans la régulation des cultures, en effet 90% des espèces végétales sont pollinisées. La disparition des insectes pollinisateurs entraîne ainsi la disparition d'un grand nombre d'espèces végétales et présente un enjeu majeur pour l'agriculture. Autre exemple le contrôle biologique: les oiseaux, chiroptères (chauves souris) et insectes parasitoïdes sont des espèces carnivores qui permettent la régulation des espèces ravageurs dans les cultures.

Lors des dernières décennies, l'amélioration des services d'approvisionnement (production intensive) a engendré une dégradation des services de régulation (disparition d'espèces clés). Or si la dégradation des services de régulation entraîne à son tour la dégradation des services d'approvisionnement. Une solution serait donc de modérer la production agricole afin d'assurer le bon fonctionnement des services écosystémiques sur le long terme.

10.4.1. Plan Biodiversité

Annoncé en 2018, le Plan Biodiversité est orienté autour de cinq enjeux principaux pour préserver les milieux, protéger les écosystèmes et espèces menacées, permettre la transition des modèles de production et de consommation, prendre en compte le lien entre santé et environnement et préserver la mer et le littoral.

En savoir plus : ecologie.gouv.fr/plan-biodiversite¹

a) Stratégie nationale pour les aires protégées

Adoptée en janvier 2021 cette stratégie nationale pour les aires protégées 2030 a pour objectif de protéger, dès 2022, 30% du territoire national et des espaces maritimes, dont un tiers sous protection forte.

En savoir plus : ecologie.gouv.fr/aires-protegees-en-france²

i) SNDI

Lancée en 2018, la Stratégie nationale de lutte contre la déforestation importée (SNDI) vise à mettre fin d'ici 2030 à la déforestation causée par les importations françaises de produits forestiers ou agricoles non durables comme le soja, l'huile de palme, le bœuf, le cacao, l'hévéa et le bois.

¹ <https://www.ecologie.gouv.fr/plan-biodiversite>

² <https://www.ecologie.gouv.fr/aires-protegees-en-france>

11. Stratégie de préservation des espèces et indicateurs

11.1. Préservation des populations menacées

Suivi de l'évolution des population

Afin d'améliorer la viabilité d'une population animale, il est d'abord nécessaire de bien connaître l'écologie (le cycle de vie) de l'espèce en question. Pour cela on réalise le suivi de ces population sur le terrain ainsi qu'une analyse démographique de la populations. Ce suivi permet alors de modéliser le devenir de la population ainsi que sa probabilité d'extinction.

Evaluation de l'état de conservation

La deuxième étape est l'évaluation de l'état de conservation de la population et l'élaboration de diagnostics sur la cause de son déclin. On peut ainsi prescrire des mesures de gestion et définir des indicateurs de succès pour la préservation de l'espèce.

IUCN

L'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) suit l'état de la biodiversité dans le monde, avec la Liste rouge mondiale des espèces menacées. En 2021, sur les 134 425 espèces étudiées dans cette liste, 37 480 sont classées menacées, parmi lesquelles 41% des amphibiens, 14% des oiseaux et 26% des mammifères, ou encore 34% des conifères.

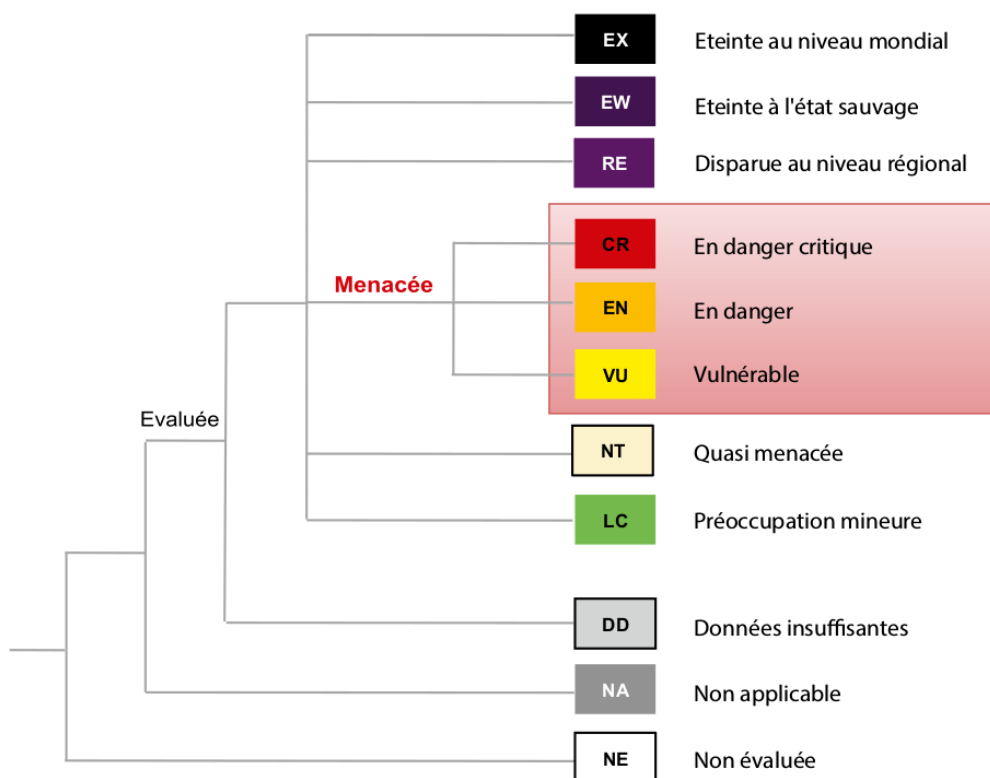


Figure 1. Présentation des catégories de l'IUCN utilisées à une échelle régionale (d'après le Guide 2012 et le Guide régional 2012 de l'IUCN)

Avec le système de la Liste rouge de l'UICN, chaque espèce ou sous-espèce peut être classée dans l'une des neuf catégories suivantes : Éteinte (EX), Éteinte à l'état sauvage (EW), En danger critique (CR), En danger (EN), Vulnérable (VU), Quasi menacée (NT), Préoccupation mineure (LC), Données insuffisantes (DD), Non évaluée (NE).

La classification d'une espèce ou d'une sous-espèce dans l'une des trois catégories d'espèces menacées d'extinction (CR, EN ou VU) s'effectue par le biais d'une série de cinq critères quantitatifs qui forment le cœur du système.

Ces critères sont basés sur différents facteurs biologiques associés au risque d'extinction : taille de population, taux de déclin, aire de répartition géographique, degré de peuplement et de fragmentation de la répartition.

11.2. Stratégies de préservation

- Protection des espèces grâce aux espaces protégés terrestres et marins (représentent 13% des terres émergées). Cependant la création de ces espaces génèrent parfois des conflits avec le développement de certaines activités humaines.
- Régulation de l'exploitation de certaines espèces grâce aux conventions internationales tels que : La convention de Washington CITES qui régule le commerce d'un grand nombre d'espèces animales et végétales. La commission baleinière internationale. La convention de Berne qui définit la liste des espèces protégées. Ces législations se heurtent également aux intérêts culturels sociaux et économiques (braconnage, commerce illégal...).
- Conservation « ex situ » des espèces les plus menacées en les plaçant hors de leur habitat naturel dans des parcs zoologiques ou des jardins botaniques. Cette approche comprend cependant plusieurs contraintes tels que la perte de diversité génétique liés aux petits effectifs ou l'habituation des espèces à la captivité posant problème au maintien à long terme de ces populations.
- Restauration de population grâce aux renforcements de populations existantes ou à la réintroduction d'espèces éteintes dans un milieu. La principale contrainte de ces actions est la durée nécessaire à leur réalisation.

11.3. Préservation de la biodiversité ordinaire :



Définition

Espèce ordinaire: Espèce ni menacée, ni domestiquée, ni exploitée représentant 80% des espèces dans le monde.

Constat

- Concernant les oiseaux : Grâce au suivi temporel des oiseaux commun (STOC) réalisé par les ornithologues, on a pu décrire la dynamique des 125 espèces d'oiseaux les plus communes en France depuis 25 ans. On constate que les populations d'oiseaux situées en milieu agricole sont en déclin comparées à l'ensemble des espèces.
- Concernant les insectes : 40% à 50% des espèces d'insectes sont en déclin
- Les chaînes alimentaires (ou réseaux trophiques) sont perturbés à la fois en milieu terrestre et aquatique, les consommateurs secondaires (carnivores) sont les plus touchés

- On observe un basculement des milieux aquatiques oligotrophes (riches en oxygène, aux eaux claires) à forte biodiversité ordinaire (poissons, crustacés..) vers des milieux eutrophes (pauvres en oxygènes) colonisés par les algues et microorganismes parfois phytotoxiques.
- Changement de phénologie des espèces : modification de la période de reproduction, de migration et du comportement des espèces due aux changements climatiques.

Pourquoi préserver la biodiversité ordinaire ?

- Valeur intrinsèque de la biodiversité ordinaire: Bien que ces populations animales et végétales ne soient pas menacées d'extinction, elles ont une valeur écologique importante.
- Ces espèces constituent l'habitat des espèces menacées : la diminution progressive de la biodiversité ordinaire modifie les réseaux trophiques et accélère ainsi celle des espèces menacées.
- Ces espèces constituent le cadre de vie des humains, notre environnement se dégrade donc avec la disparition de la biodiversité ordinaire.
- Le potentiel évolutif.
- Ces espèces sont indispensables au fonctionnement des écosystèmes.

11.4. Biosurveillance des milieux naturels



Définition

Biosurveillance (ou biomonitoring) : Utilisation d'organismes réactifs à un polluant (aussi appelés bio-indicateurs) pour surveiller la qualité d'un environnement.

Les bio-indicateurs peuvent être de différente nature (insectes, plantes, humains...) et sont donc utilisés pour surveiller l'évolution (modifications, altérations) ou la stabilité de la qualité d'un milieu.

Exemple de bio-indicateurs

- Les lichens : ils réagissent très fortement à la pollution (bien avant les plantes et animaux et avant que les pierres des monuments ne soient dégradées. Chaque espèce de lichen résiste à un taux spécifique de pollution. Leur observation permet ainsi de suivre l'évolution de certaines pollutions au fil du temps.
- L'abeille : c'est un bon témoin de la qualité environnementale globale. Elles permettent par exemple de caractériser le niveau de contamination de l'environnement par les xénobiotiques ou les métaux lourds.¹
- Le trèfle : il permet de quantifier la teneur de l'air en ozone.

¹ <https://fr.wikipedia.org/wiki/Ozone>

Limite planétaire 3 : Perturbation des cycles

12. biogéochimiques

Objectif du grain

Comprendre le fonctionnement des cycles de l'azote et du phosphore et les impacts liés à leur perturbation.

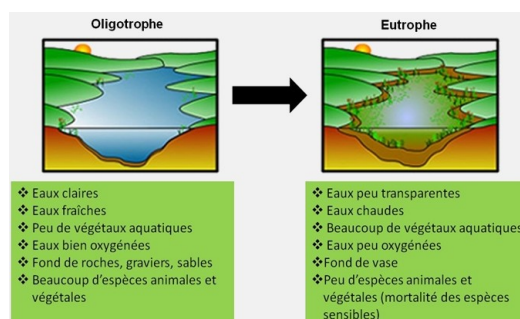
Introduction

L'azote et le phosphore sont des éléments essentiels à la vie. Sous l'effet des activités humaines, leur cycle biogéochimique est perturbé, ce qui peut provoquer de lourds dommages à l'environnement (anoxie des océans, eutrophisation des eaux douces continentales, prolifération d'algues vertes, etc.). Les dommages causés par l'azote et le phosphore sont généralement considérés comme des problèmes régionaux plutôt que mondiaux. Toutefois, dans le cadre des travaux sur les neuf limites planétaires, un seuil global a été défini pour chacun des deux cycles biogéochimiques de l'azote et du phosphore.



Définition Eutrophisation

Eutrophisation: Processus par lequel les nutriments s'accumulent dans un milieu et altèrent sa qualité.



12.1. Enjeux lié au cycle de l'Azote

L'azote est un nutriment indispensable à la croissance des végétaux. L'azote réactif, émis en abondance dans l'environnement, peut cependant constituer un surplus par rapport aux besoins des plantes. Il contribue alors à la pollution de l'eau par les nitrates. Associé à d'autres nutriments comme le phosphate, et en fonction de conditions physico-chimiques particulières, il est responsable du phénomène d'eutrophisation. Les principales sources d'émission d'azote dans l'environnement sont les engrais azotés et la combustion des ressources fossiles et de procédés industriels. L'azote des émissions polluantes d'oxyde d'azote (NO_x) dans l'atmosphère provenant du transport et de l'industrie n'est pas pris en compte dans la limite planétaire.

L'enjeu est d'empêcher un rejet excessif d'azote réactif dans l'eau et les milieux naturels aquatiques afin d'éviter leur eutrophisation. Le seuil à ne pas dépasser a été fixé entre 62 et 82 millions de tonnes (Mt) par an, soit 41 à 55 kg d'azote excédentaire (surplus) par hectare par an (kg/ha/an) en moyenne à l'échelle mondiale. En 2015, les pertes d'azote dans l'environnement sont estimées à 150 Mt.

12.2. Enjeux lié au cycle du Phosphore

À l'instar de l'azote, le phosphore est également un nutriment indispensable à la croissance des plantes. La modification de son cycle biogéochimique, causée par l'agriculture (fertilisants, effluents d'élevage) et par les eaux usées urbaines (excréments et détergents), affecte la capacité de la biosphère à le séquestrer et entraîne l'eutrophisation des eaux douces.

L'enjeu initialement envisagé était d'éviter que ne se produise un événement anoxique océanique majeur (épisode de forte réduction d'oxygène dans les océans) ayant des impacts sur les écosystèmes marins. Lors de la révision du modèle conceptuel en 2015, une approche à deux niveaux géographiques est proposée.

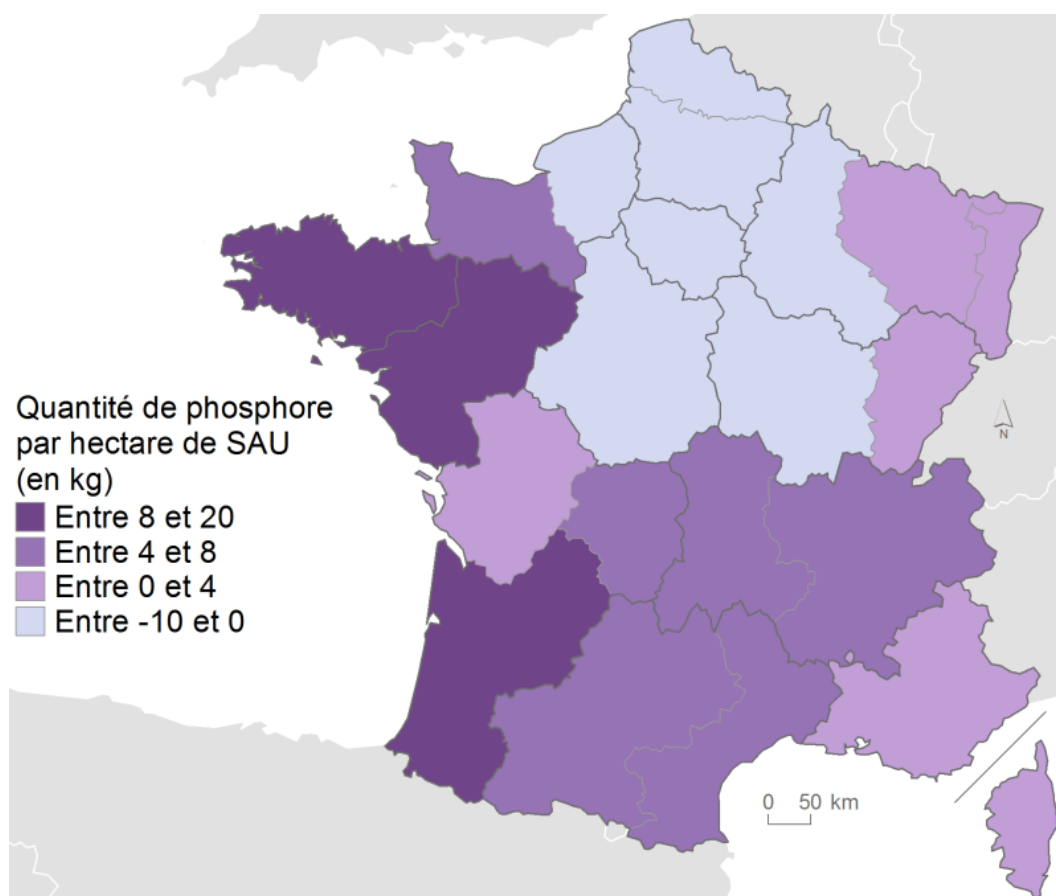
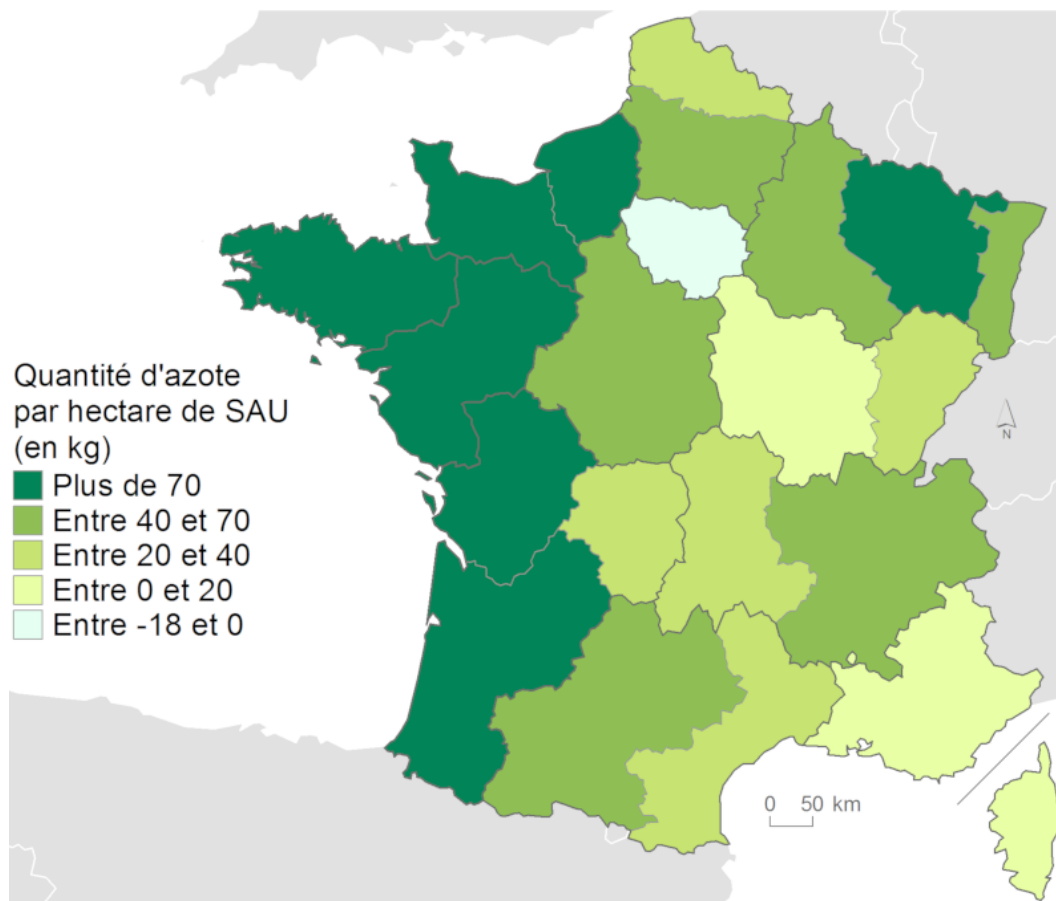
Au niveau mondial (asphyxie des océans), le seuil est estimé à 11 Mt par an de phosphore rejetées dans l'eau (excédent agricole et eaux usées insuffisamment épurées). En 2015, il est dépassé avec 22 Mt de phosphore effectivement rejetées dans les eaux.

À un échelon plus localisé, un seuil supplémentaire est défini pour traiter de l'eutrophisation des eaux douces continentales. Ce seuil porte sur les surplus de phosphore résultant d'apports excessifs lors de la fertilisation des sols agricoles. Ces surplus de phosphore ne doivent pas être supérieurs, chaque année, à une fourchette comprise entre 6,2 et 11,2 Mt (soit 4,1 à 7,5 kg/ha/an) pour éviter l'Eutrophisation¹ des systèmes d'eau douce. En 2015, la limite est franchie avec environ 14 Mt.

12.3. Situation en France

En France, l'apport excessif en azote et en phosphore, provenant principalement de l'activité agricole pour le premier, et des eaux résiduares urbaines pour le second, correspond au surplus dans l'environnement, aux rejets en mer et en eaux douces, pouvant conduire localement à des phénomènes d'eutrophisation et à la prolifération d'algues vertes. Les surplus sont calculés à une échelle régionale sans tenir compte des traitements et des exportations vers d'autres régions éventuelles réalisées notamment dans les régions à élevage. Le surplus d'azote et de phosphore a tendance à diminuer en France métropolitaine entre 2000 et 2015.

¹ https://ree.developpement-durable.gouv.fr//themes/defis-environnementaux/limites-planetaires/les-9-limites-ecologiques-de-la-planete/article/perturbation-des-cycles-biogeochimiques-de-l-azote-et-du-phosphore?glossaire=2179#volet_glossaire



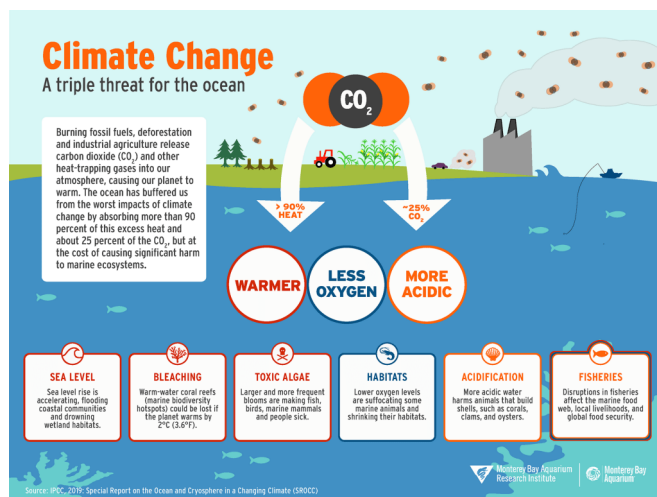
13. Limites planétaire 4: Acidification des océans

Objectif du grain

Comprendre les enjeux en lien avec l'acidification des océans

Introduction

Une grande partie des émissions de dioxyde de carbone (CO_2) rejetées par les activités humaines est absorbée par les océans, au même titre que les autres réservoirs naturels de carbone tels que les forêts, on qu'il s'agit de «puits de carbone». Cette capacité de rétention du CO_2 joue un rôle fondamental dans la régulation du climat. L'augmentation très importante du CO_2 d'origine anthropique à pour conséquence l'acidification des océans et est à l'origine d'une perte de biodiversité marine très importante de part la dégradation des récifs coralliens.



13.1. Enjeux liés à l'acidification des océans

Un quart du CO_2 est absorbé par l'océan via dissolution ou photosynthèse. Le CO_2 dissout se transforme en acide carbonique et libère des ions H^+ responsables de l'acidification des océans. La baisse du pH affecte la capacité du phytoplanctons à croître et à se renouveler. Le phytoplancton est le premier producteur d'oxygène sur Terre. Il est à la base de la chaîne alimentaire de l'ensemble des être vivants présents dans les océans. Sa disparition entraîne donc une grande perte de biodiversité marine.

À l'instar du plancton, le corail peut difficilement se développer en milieu acide. Leur dégradation entraînent également le déclin d'une biodiversité très riche.

Les récifs garantissent également aux communautés humaines littorales de nombreux services (protection du littoral contre les tempêtes, tourisme et loisirs sous-marins, approvisionnement en nourriture, assainissement des eaux, etc.) et contribuent au développement local. À l'inverse, d'autres impacts environnementaux résultant des activités humaines sur le littoral (surpêche, pollution terrestre, développement urbain le long des côtes, etc.) se conjuguent à l'acidification des océans et à l'élévation du niveau de la mer pour fragiliser les récifs coralliens.

La disparition des récifs coralliens au profit d'écosystèmes plus banals dominés par les algues est un marqueur de la vitalité des océans et de leur capacité à continuer de fonctionner comme puits de carbone.

<https://ree.developpement-durable.gouv.fr/>

13.1.1. Enjeux pour 2100

L'état futur des océans dépendra de la quantité de CO₂ qui sera émise dans l'atmosphère dans les prochaines décennies. Selon le GIEC, 4 scénarios sont envisageables en fonction du profil d'évolution des émissions de gaz à effet de serre (GES).

La trajectoire RCP2.6, le plus optimiste, prévoit une forte réduction des émissions de GES avec un point culminant avant 2050 (cette trajectoire est compatible avec un réchauffement de 2 °C maximum à l'horizon 2100). Le scénario RCP8.5, le plus pessimiste, prévoit une augmentation des émissions au rythme actuel conduisant à un réchauffement probable de 4 °C en 2100.

Dans le cas du RCP2.6, la température de l'eau de surface et le pH pourraient augmenter respectivement de 0,71° et de 0,07 unités de pH. Dans le cas du RCP8.5, ils augmenteraient de 2,73° et de 0,33 unités de pH (soit une hausse de l'acidité de 170% par rapport à 1850).

<https://ree.developpement-durable.gouv.fr/themes/defis-environnementaux/limites-planetaires/les-9-limites-ecologiques-de-la-planete/article/acidification-des-oceans>

a) Situation en France

La question de l'acidification des océans est importante pour la France car le pays possède plus de 11 millions de km² de zones économiques maritimes exclusives et représente environ 20 % des atolls et 10 % de la totalité des récifs de la planète sur un linéaire de plus de 5000 km.

En Méditerranée, sur la période 2007-2015, la température des eaux de surface a augmenté de 0,7 °C. Le pH a diminué de 0,003 unités par an, soit une augmentation de l'acidité de près de 7 %, ce qui correspond à l'un des taux d'acidification les plus élevés relevés jusqu'alors. (Kapsenberg et al., 2017)

13.1.2. Impacts de l'acidification des océans

Impact sur la biodiversité

La diminution du pH impact fortement la biodiversité marine. La santé et l'écologie des espèces (taux de natalité, reproduction, comportement des espèces..) dépendent de la qualité de l'eau. Selon le projet ANR Gigassat, la diminution du pH altérerait la capacité des huîtres à résister aux maladies et le cycle reproductif des poissons.

L'acidification est également l'une des causes de disparition des récifs coralliens (diminution de 29% du recouvrement en corail vivant des stations suivies dans les Outre-mer français).

Limites planétaire 5: Changement d'utilisation des sols

Introduction

L'intensification des surfaces agricoles et l'étalement urbain conduisent au déboisement des surfaces forestières. Au cours des cinquante dernières années, la transformation de milieux naturels et semi-naturels (forêts, prairies et autres écosystèmes) en terres agricoles, s'accroît en moyenne de 0,8 % par an (Rockström et al., 2009). Cela a pour conséquences: perte de biodiversité et de services écosystémiques, érosion des sols, risque d'inondations et coulées d'eau boueuse, augmentation des émissions de gaz à effet de serre, déstockage de carbone...

14.1. Enjeux des changements d'utilisation des sols

La limite « changements d'utilisation des sols » est appréhendée en termes de pourcentage de la surface totale du territoire convertie en terres agricoles. Le seuil à ne pas dépasser est fixé à 15 % de terres agricoles. En 2009, environ 12 % de la surface terrestre mondiale est cultivée.

Deux indicateurs sont définis dans le cadre de cette limite planétaire :

Le premier concerne, au niveau mondial, la surface boisée par rapport à la surface couverte de forêt avant intervention humaine, en veillant à ce qu'au moins 75 % des terres jadis forestières restent boisées. En 2015, seules 62 % des terres jadis forestières sont boisées, la limite est donc dépassée. Cela réduit la capacité de la Terre à servir de puits de carbone.

Le second concerne la superficie des trois principaux biomes de la forêt (forêts tropicales, tempérées et boréales) au regard de la couverture de la forêt potentielle. Parmi les biomes forestiers, les forêts tropicales converties en systèmes non forestiers, ont des effets significatifs sur le climat (évapotranspiration), tandis que les forêts boréales affectent l'albédo du sol (pouvoir réfléchissant d'une surface) et donc les échanges d'énergie régionaux. La limite, au niveau du biome pour ces deux types de forêts, a été fixée à 85 % de la couverture forestière potentielle. Elle a été établie à 50 % pour les forêts tempérées, car les changements y auraient une incidence plus faible.

14.2. Situation de la France

Contrairement à la situation mondiale, les terres agricoles y régressent, notamment sous l'effet de l'artificialisation des sols. Toutefois, compte tenu de son niveau de consommation élevé, associé à la croissance démographique, et de l'insuffisance de matières premières sur le territoire national, la France importe des quantités importantes de matières premières agricoles et forestières issues de la déforestation des forêts tropicales. Elle utilise ainsi indirectement des terres situées dans d'autres régions du monde, et contribue à exercer une forte pression sur la ressource foncière étrangère : consommation de ressources, disparition d'habitats naturels.

Selon le WWF, la France importe et consomme d'importantes quantités de matières premières agricoles et forestières issues de la déforestation des forêts tropicales : soja (4,8 millions de tonnes), huile de palme (970 kilotonnes), cacao (460 kilotonnes). L'empreinte écologique la

France liée à ces importations représente 14,8 millions d'hectares, soit plus d'un quart de la superficie de la métropole et la moitié de la surface agricole française. Environ 5,1 Mha se trouvent dans des pays présentant un risque élevé de déforestation (Argentine, Brésil, Chine, Côte d'Ivoire, Indonésie, etc.).

14.3. Impact des changement d'utilisation des sols

Les forêts abritent une grande diversité d'espèces et contribuent à l'atténuation du changement climatique par le stockage d'importantes quantités de carbone. Leur rôle est central dans l'adaptation au changement climatique, la protection des sols et l'approvisionnement en eau douce. Ainsi, la déforestation influe fortement sur l'environnement : disparition d'habitats naturels, perte de biodiversité et de services écosystémiques, augmentation de l'intensité et de la fréquence des extrêmes météorologiques amplifiant les catastrophes climatiques, diminution de la ressource en eau, augmentation des émissions de gaz à effet de serre responsables du réchauffement climatique.

15. Limites planétaire 6: Utilisation mondiale de l'eau

Introduction

L'eau douce est une ressource naturelle indispensable aux activités humaines. La limite planétaire actuelle d'utilisation de l'eau douce a été fixée à 4 000 km³ / an de consommation d'eau bleue, la limite inférieure d'une plage de 4 000 à 6 000 km³ / an qui est considérée comme une zone dangereuse. Chaque année, environ 3 800 km³ d'eau douce sont consommés par an dans le monde. Cette eau est très inégalement répartie sur la planète. Le volume d'eau douce renouvelable disponible annuellement par habitant va de moins de 100 m³ dans la péninsule arabique à plus de 30 000 m³ en Europe du Nord. Au cours du 20^e siècle, les prélèvements d'eau ont augmenté deux fois plus vite que la taille de la population. Cette forte augmentation concerne notamment l'agriculture qui absorbe encore 70 % du volume total (FAO, 2016). Malgré un ralentissement depuis les années 1990, les prélèvements d'eau devraient continuer de croître de 1 % par an d'ici 2050, tirés notamment par l'augmentation des usages industriels et les besoins de refroidissement des centrales électriques (ONU, 2015).

15.1. Enjeux liés à la consommation d'eau douce

Les activités humaines perturbent le cycle hydrologique et altèrent la ressource disponible en eau douce. Par exemple, prélever davantage d'eau que ne le permet son renouvellement naturel risque de provoquer le tarissement ou la salinisation des nappes souterraines (Dalin et *al.*, 2017), des cours d'eau ou la disparition de lacs et de zones humides. Les activités humaines sont à l'origine d'émissions polluantes, encore plus concentrées en cas de réduction de la ressource en eau. Enfin, le changement climatique devrait entraîner une diminution des volumes d'eau douce renouvelée annuellement dans certaines régions du monde, notamment le pourtour méditerranéen, l'Afrique australe, une partie de l'Amérique du Nord et l'Amérique centrale (Milly, 2005).

L'enjeu est donc de disposer de suffisamment d'eau de bonne qualité pour tous les usages, en laissant une partie pour le bon fonctionnement des écosystèmes naturels, dont les activités humaines dépendent aussi. Des valeurs limites d'utilisation d'eau douce à ne pas dépasser ont été définies à l'échelle planétaire et à l'échelle des bassins-versants. Elles représentent la part de la ressource renouvelable en eau que les activités humaines peuvent utiliser sans compromettre durablement les écosystèmes. À l'échelle globale, cette part est estimée à 4000 km³ d'eau douce consommés par an (Rockström et *al.*, 2009). À l'échelle locale, un seuil maximal de prélèvement est proposé en fonction du régime hydrologique saisonnier : 55 % en période de hautes eaux, 40 % en période intermédiaire, et 25 % en période de basses eaux (Steffen et *al.*, 2015). Ces pourcentages ne font cependant pas l'objet d'un consensus scientifique.

15.2. Indice d'exploitation des ressources en eau (WEI +)

L'indice d'exploitation de la ressource en eau (WEI+) est défini par l'AEE comme la part de l'eau consommée par rapport à la ressource en eau renouvelable, sur une période et une zone géographique donnée (ETC/ICM, 2016). Elle varie selon l'année, la saison et le niveau de la demande en eau liée aux activités humaines. Dans les bassins versants modifiés par l'homme, la ressource en eau renouvelable est renaturalisée en ajoutant le volume d'eau consommée au volume se déversant dans les rivières. Les débits considérés dans ce document tiennent compte des apports des retenues d'eau dans les cours d'eau. Les volumes transférés artificiellement d'un autre sous-bassin ne sont pas identifiés.

15.3. Empreinte hydrique (water footprint)

L'empreinte eau est une mesure de l'appropriation de l'eau douce par l'humanité en volumes d'eau consommée et/ou polluée. Il existe 3 types d'empreinte eau :

- L'empreinte eau verte est l'eau provenant des précipitations qui est stockée dans la zone racinaire du sol et évaporée, transpirée ou incorporée par les plantes. Elle est particulièrement pertinente pour les produits agricoles, horticoles et forestiers.
- L'empreinte eau bleue est l'eau qui provient de ressources en eaux de surface ou souterraines et qui est soit évaporée, incorporée dans un produit ou prélevée d'un plan d'eau et renvoyée dans un autre, ou renvoyée à un moment différent. L'agriculture irriguée, l'industrie et l'utilisation domestique de l'eau peuvent chacune avoir une empreinte eau bleue.
- L'empreinte des eaux grises est la quantité d'eau douce nécessaire pour assimiler les polluants afin de répondre à des normes spécifiques de qualité de l'eau. L'empreinte des eaux grises prend en compte la pollution ponctuelle rejetée dans une ressource d'eau douce directement par un tuyau ou indirectement par le ruissellement ou le lessivage du sol, des surfaces imperméables ou d'autres sources diffuses.

Pour aller plus loin

<https://youtu.be/b1f-G6v3voA>

Limites planétaire 7: Appauvrissement de l'ozone

16. stratosphérique

Introduction

L'ozone stratosphérique désigne la couche de l'atmosphère comprise entre 20 et 50 km d'altitude. En filtrant une grande partie des rayonnements ultraviolets (UV) solaires, principalement les UVC et les UVB, cette couche protège les êtres vivants, une surexposition aux UV pouvant avoir des effets néfastes sur la santé humaine (cataractes, cancers de la peau, affaiblissement du système immunitaire) et sur les végétaux (inhibition de l'activité photosynthétique des plantes). Garantir l'intégrité de la couche d'ozone constitue donc un enjeu majeur, son amincissement excessif, voire sa disparition dans certaines zones, pouvant avoir de lourdes conséquences sur l'homme et sur les écosystèmes.

16.1. Enjeux liés à l'appauvrissement de l'ozone stratosphérique

Depuis les années 1980, les observations ont montré des diminutions saisonnières significatives de la couche d'ozone stratosphérique au-dessus de l'Arctique et du continent antarctique. Ces baisses peuvent atteindre 50 % à la fin de l'hiver et au début du printemps, et se reflètent également, dans une moindre mesure, dans les latitudes moyennes. L'amincissement de la couche d'ozone affecte les régions polaires au printemps.

L'appauvrissement de la couche d'ozone, l'une des neuf limites planétaires (Rockström et al., 2009), est appréhendé en mesurant la concentration d'ozone stratosphérique évaluée en unités Dobson (DU). Sachant que la valeur moyenne de la colonne d'ozone est de 300 DU, la limite est fixée à 275 DU, soit 95% de son niveau préindustriel (290 DU). Alors que cette limite a été dépassée dans les années 1980, les tendances se sont depuis inversées et l'épaisseur moyenne de la couche d'ozone augmente progressivement. En 2009, la concentration s'élevait à 283 UA. Dans les années 1980, à la fin de l'hiver austral (septembre-octobre), à l'apparition du soleil, l'épaisseur de la couche d'ozone pouvait approcher les 100 UA.

16.2. Composés affectant la couche d'ozone

Les recherches sur le sujet ont montré que l'appauvrissement de la couche d'ozone fait suite à des réactions chimiques complexes se produisant dans la stratosphère et mobilisant des composés bromés ou chlorés nécessitant des températures très basses, atteintes lors des hivers polaires, puis un rayonnement solaire important, dès le printemps suivant. Ces composés sont émis par les activités humaines. Les plus connus sont :

- les chlorofluorocarbures (CFC) utilisés dans les systèmes de réfrigération, de climatisation, les bombes aérosols, les solvants, etc. ;
- les hydrochlorofluorocarbures (HCFC) développés pour remplacer les CFC en raison de leur durée de vie plus courte dans l'atmosphère ;
- halons utilisés pour les extincteurs et les systèmes de protection incendie ;
- le tétrachlorure de carbone utilisé notamment comme solvant de nettoyage industriel ;

- bromure de méthyle utilisé pour le traitement des plantes, des locaux et des sols agricoles par fumigation.

16.3. Actions mises en œuvre

Pour préserver la couche d'ozone et notamment contribuer à sa restauration, la communauté internationale s'est engagée depuis 1987 dans le Protocole de Montréal relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone. Cet accord international vise à arrêter progressivement la production et la consommation des substances en cause. 197 pays ont signé ce protocole. Depuis son entrée en vigueur, les émissions mondiales de ces produits ont diminué de plus de 80 % et presque tous les produits chimiques contrôlés par le Protocole ont été progressivement éliminés.

Limite planétaire 8: Augmentation des aérosols dans

17. l'atmosphère

Introduction

Les aérosols sont un ensemble de fines particules provenant de substances chimiques, en suspension dans l'air¹. Émis par les activités humaines ou naturelles (volcans, incendies), les aérosols interviennent à l'échelle planétaire sur l'atmosphère ainsi qu'à locale dans les phénomènes de pollution de l'air et d'allergies.

17.1. Enjeux liés à l'utilisation des aérosols

Depuis l'ère préindustrielle, les activités humaines ont doublé la concentration atmosphérique globale de la plupart des aérosols (Rockström et al., 2009). Par ailleurs, comme le montre le GIEC² dans ses rapports successifs, les aérosols ont une forte influence sur le système climatique en perturbant le bilan radiatif de la Terre. En effet, la concentration accrue des aérosols dans l'atmosphère conduit à l'augmentation du taux d'opacité de l'atmosphère et peut entraîner une diminution de 10 % à 15 % du rayonnement solaire à la surface de la Terre. L'impact des aérosols sur la formation et la vie des nuages en est notamment une illustration.

En raison de leurs effets potentiellement néfastes sur le climat et la santé, l'augmentation des aérosols dans l'atmosphère constitue un des neuf processus critiques globaux (Rockström et al., 2009). La limite planétaire est appréhendée en termes de concentration globale de particules dans l'atmosphère, sur une base régionale. Toutefois, la complexité des aérosols et la variabilité spatio-temporelle des particules, des sources et des impacts, n'ont pas permis de définir un seuil global.

17.2. Activités provoquant des émissions de particules fines

En France, quatre principaux secteurs d'activités se partagent les émissions de particules PM₁₀³ (particules fines de diamètre inférieur à 10 µm) : le secteur résidentiel et tertiaire (du fait de la combustion du bois majoritairement), l'industrie, les activités agricoles (épandage, stockage d'effluents, remise en suspension lors des labours, brûlage) et les transports. Leurs émissions ont diminué, au total, de 41 % sur la période 2000-2017 suite aux progrès réalisés dans tous les secteurs d'activités (perfectionnement des techniques de dépoussiérage dans l'industrie, amélioration des performances des installations de chauffage au bois, etc.).

¹ <https://fr.wikipedia.org/wiki/Gaz>

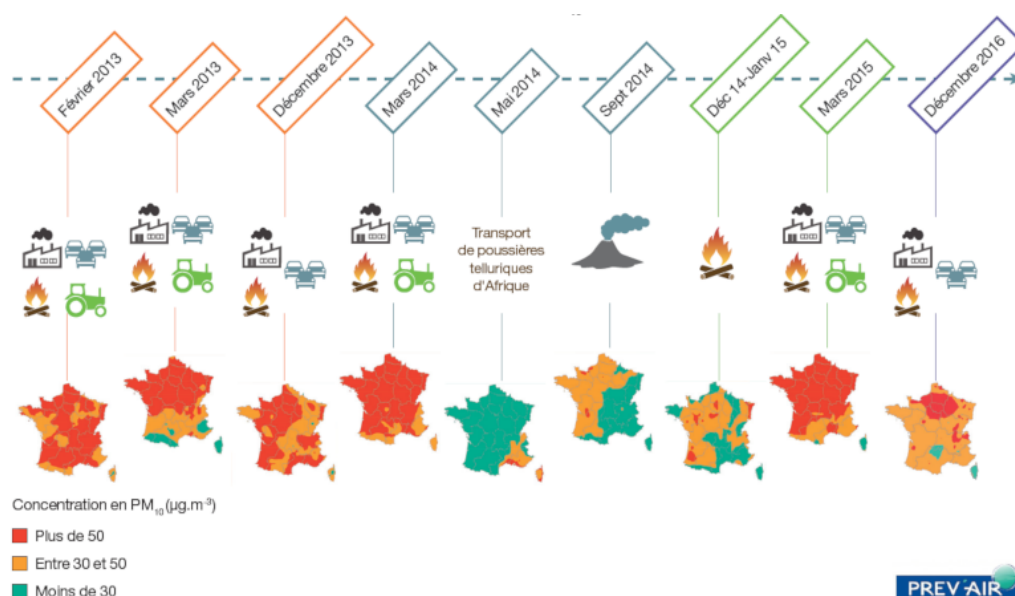
² https://ree.developpement-durable.gouv.fr/themes/defis-environnementaux/limites-planetaires/les-9-limites-ecologiques-de-la-planete/article/augmentation-des-aerosols-dans-l-atmosphere?glossarise=2588#volet_glossaire

³ https://ree.developpement-durable.gouv.fr/themes/defis-environnementaux/limites-planetaires/les-9-limites-ecologiques-de-la-planete/article/augmentation-des-aerosols-dans-l-atmosphere?glossarise=2699#volet_glossaire

17.3. Exposition aux particules fines

En Europe, la pollution de l'air extérieur due aux particules fines est à l'origine de plus de 400 000 décès prématurés chaque année, dont près de 40 000 en France (Agence européenne pour l'environnement, 2018). Depuis octobre 2013, les particules de l'air ambiant sont classées cancérogènes pour l'homme par le Centre international de recherche sur le cancer sur la base d'un niveau de preuve suffisant d'association entre exposition et risque accru de cancer du poumon.

La France est ainsi régulièrement confrontée à des épisodes de pollution nationale. Sur la période 2013-2016, ces épisodes sont principalement dus à des particules de diamètre inférieur à $10\text{ }\mu\text{m}$ (PM₁₀). Au début de l'hiver, les épisodes sont marqués par une quantité importante de matière organique liée à des phénomènes de combustion comme le chauffage au bois ou le brûlage de déchets verts. Au printemps, les épisodes observés se distinguent par l'influence des émissions liées aux activités agricoles (épandage d'engrais) qui s'ajoutent et interagissent avec les polluants émis par l'industrie et les transports.



18. Limite planétaire 9: Pollution chimique

Introduction

L'introduction de nouvelles entités dans la biosphère est la neuvième des neuf limites planétaires. En 2009, définie comme « pollution chimique » (Rockström et al.), elle faisait référence aux éléments radioactifs, aux métaux lourds et à de nombreux composés organiques d'origine humaine présents dans l'environnement.

18.1. Problèmes liés à la pollution chimique

Deux facteurs principaux ont conduit à considérer la pollution chimique comme une limite planétaire : d'une part, en raison de ses effets néfastes sur le développement physiologique de l'homme et sur le fonctionnement des écosystèmes ; d'autre part, parce qu'il agit comme une variable lente qui affecte d'autres limites planétaires. En effet, la pollution chimique peut avoir un impact sur la limite « d'érosion de la biodiversité » en réduisant l'abondance des espèces et en augmentant potentiellement la vulnérabilité des organismes à d'autres menaces (changement climatique). Il interagit également avec la limite « changement climatique » par les rejets de mercure dans l'environnement (via la combustion du charbon) et par les émissions de CO₂ dues aux produits chimiques industriels.

18.2. Principaux polluants chimiques

Les déchets plastiques en mer, les déchets nucléaires, les variétés tolérantes aux herbicides.

18.2.1. Les déchets plastiques

Le plastique, utilisé depuis les années 1950, représente un enjeu environnemental majeur, lié à la fois à la consommation de ressources nécessaires à sa fabrication et à la production de déchets qu'il génère.

Entre 1950 et 2017, la production mondiale de plastiques a continué d'augmenter, passant de 1,5 million de tonnes en 1950 à 350 millions de tonnes en 2017, soit respectivement 0,6 kg/habitant et 46 kg/habitant. .

Chaque année, entre 5 et 13 millions de tonnes de déchets plastiques sont jetés à la mer. 80% provient de la terre et 20% des activités maritimes. Les sources de déchets terrestres sont multiples : déchets urbains, tourisme, décharges illégales, cosmétiques, fibres polyester et acryliques. La moitié des déchets retrouvés sur les plages européennes sont des plastiques à usage unique : bouteilles, capsules, couvercles, mégots de cigarettes, cotons-tiges, sachets de chips, emballages de bonbons, articles sanitaires, sacs plastiques, couverts, pailles, etc.

Les déchets plastiques sont déversés dans les océans le plus souvent par les égouts ou les rivières. Ils peuvent également être liés à des phénomènes naturels (tempête, tsunami, inondation, etc.). Ils se présentent sous forme de macroplastiques. Les microplastiques sont de minuscules particules de plastique mesurant moins de 5 millimètres.

La pollution marine par les déchets plastiques a de multiples conséquences pour l'environnement, l'économie et la santé. Une « soupe plastique » se forme dans les océans, provoquant notamment l'étranglement des mammifères marins et des oiseaux dans les filets, mais aussi l'altération de l'équilibre des écosystèmes due au transport d'espèces invasives sur de longues distances. , etc.

Les microplastiques, ingérés par de nombreux organismes marins (cétacés, mollusques, plancton ou poissons), se retrouvent dans la chaîne alimentaire. De plus, le plastique contient des additifs chimiques qui peuvent être des perturbateurs endocriniens. Selon l'UICN, dans le monde, 700 espèces marines en moyenne sont touchées, dont 17% sont menacées ou en danger critique d'extinction.

Face à ces enjeux environnementaux, économiques et sanitaires mondiaux, la convention internationale MARPOL (MARine POLLution) pour la prévention de la pollution par les navires interdit le rejet de matières plastiques en mer depuis 1988.

18.2.2. Les déchets nucléaires

Autre enjeu environnemental national, 77 % de l'électricité en France est produite à partir de centrales nucléaires. La France compte 13 % des réacteurs nucléaires en exploitation dans le monde et produit 18 % de l'électricité nucléaire.

En 2013, un peu moins de 1,5 million de m³ de déchets radioactifs étaient présents sur le territoire, ce qui représente un cinquième des déchets nucléaires mondiaux (soit 19 %). Ce volume a augmenté de 58 % entre 2002 et 2016.

18.2.3. Herbicides

En France, le désherbage des cultures est un facteur déterminant des rendements agricoles. La France est le premier utilisateur d'herbicides en Europe (près de 30 000 tonnes vendues en 2017). Cependant, pour mettre un terme au désherbage chimique pratiqué jusqu'alors et nocif pour l'environnement, une nouvelle approche a été introduite en 1996 : la sélection de variétés végétales tolérantes aux herbicides (VTH).

Des études (Expertise Collective de l'INRA) et des expériences aux Etats-Unis montrent qu'un usage déraisonnable pourrait conduire à l'acquisition de résistances par les adventices (« weeds ») et donc, à une perte du bénéfice de la mutation avec pour conséquences une application de plus en plus importante de herbicides et impacts sur l'environnement. Les recommandations pour limiter ces risques concernent notamment la rotation des cultures et les traitements. Il faut rester vigilant sur l'utilisation de ces cultures.

19. Modèle Doughnuts Economics

Introduction

Conférence sur le concept de Doughnuts economics par Kate Rayworth :
<https://youtu.be/Rhcrbcg8HBw>