

UE "Climat & Transitions"

Séquence 1 : Climat 2

Chloé Maréchal, LGL-TPE, Université Lyon 1

	Climat #2 Le changement climatique en cours
	 Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1 

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon1	Climat #2 Le changement climatique en cours
	1) L'évolution actuelle du climat
	2) Quelle est la cause du changement climatique ?
	3) Les projections du climat futur
	4) Les manifestations du changement climatique #1/2/3
	5) L'enseignement du passé sur la crise climatique
	6) L'adaptation des sociétés
	7) L'atténuation des émissions de gaz à effet de serre

Capsule 1

L'évolution actuelle du climat

1) L'évolution actuelle du climat

Objectifs :

Evaluer la valeur du réchauffement global actuel depuis la période préindustrielle (1850-1900)

Intégrer comment se décline ce réchauffement en fonction des latitudes, etc.

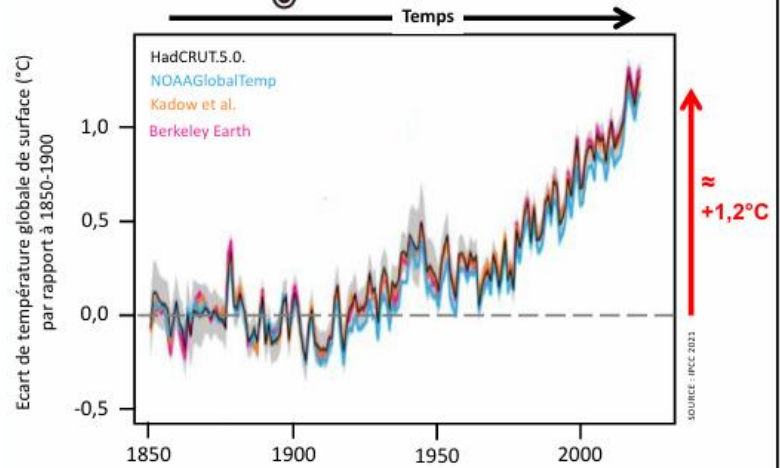
Avoir une idée de l'évolution récente des précipitations

1) L'évolution actuelle du climat

La température



Globale

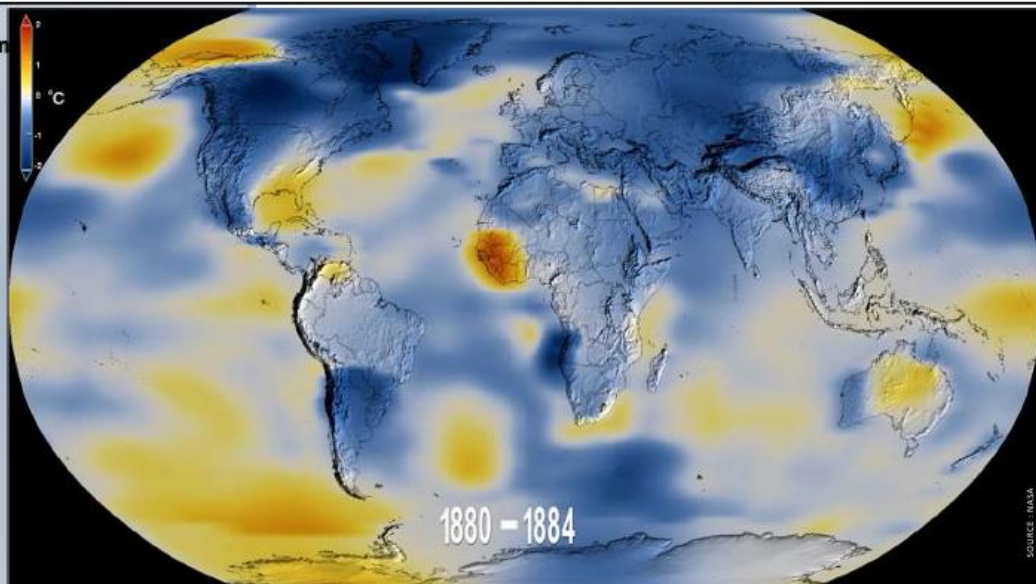


Evolution de la température globale annuelle (°C) depuis 1850.

La température globale a augmenté de 1,2°C actuellement par rapport à l'époque préindustrielle (1850-1900).

2

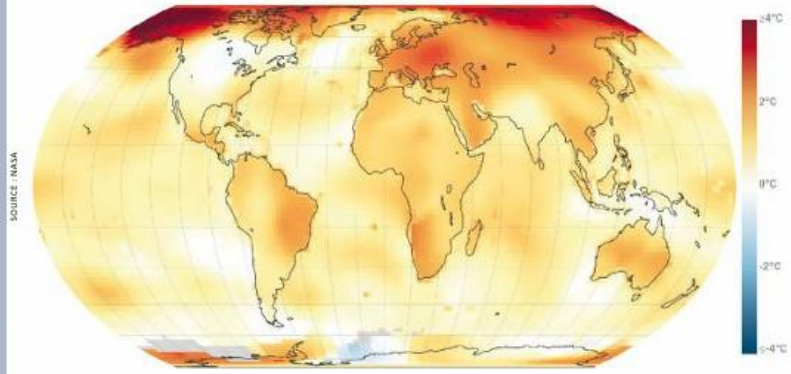
1) L'évolution



Evolution de l'écart de température de 1880-1884 à 2015-2019 (moyennes quadriennales).

4

1) L'évolution actuelle du climat



Ecart de température (°C) sur la période 2015-2019 en différentes régions du globe par rapport à la période 1950-1980.

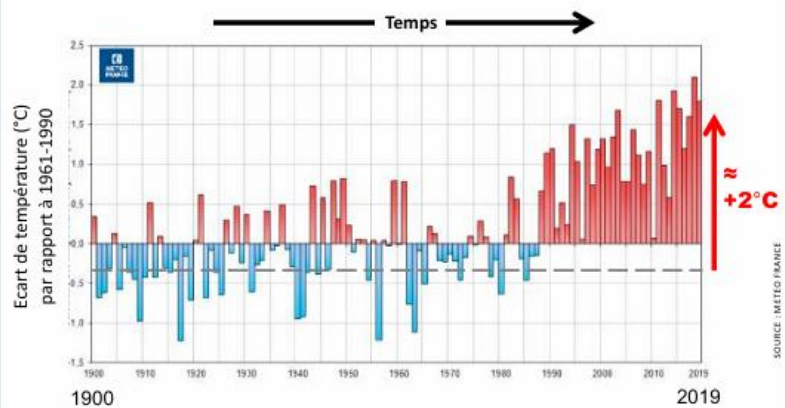
Le réchauffement présente les deux caractéristiques d'un changement climatique global. Il :

- s'amplifie plus on se rapproche des pôles,
- est plus marqué sur les continents que sur les océans.

1) L'évolution actuelle du climat

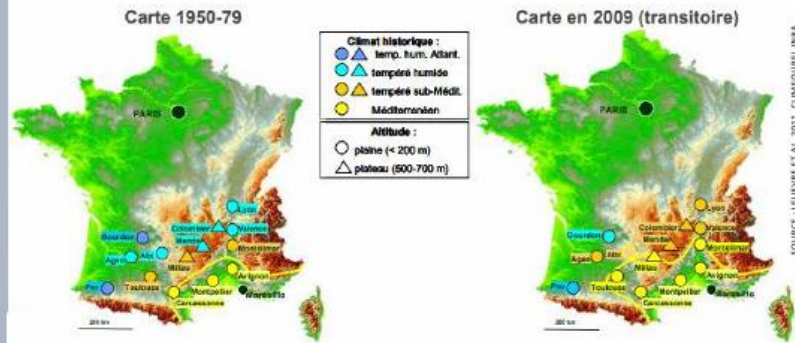
Aux moyennes latitudes

France métropolitaine



Le réchauffement en France métropolitaine est d'environ 2°C.

1) L'évolution actuelle du climat



SOURCE : LIEURY ET AL. 2011, CLIMFONUEL INRA

Evolution des zones climatiques dans la partie sud de la France entre la période 1950-1979 (durant laquelle le climat n'a pas évolué) et 2009, à partir de mesures de température et d'évapotranspiration.

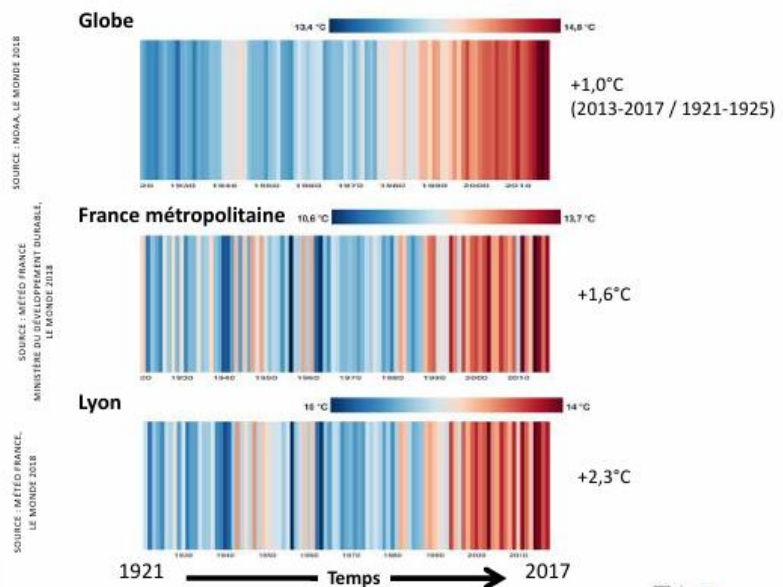
Lyon, Valence, Albi, Agen : climat tempéré humide → climat tempéré sub-Méditerranéen
 Montélimar, Milau, Toulouse : climat sub-Méditerranéen → climat Méditerranéen

Déplacement des zones climatiques : +100-130 km vers le Nord et le Nord-Ouest entre 1979 et 2009 (30 ans)

9

1) L'évolution actuelle du climat

Le réchauffement s'observe à toutes les échelles spatiales.



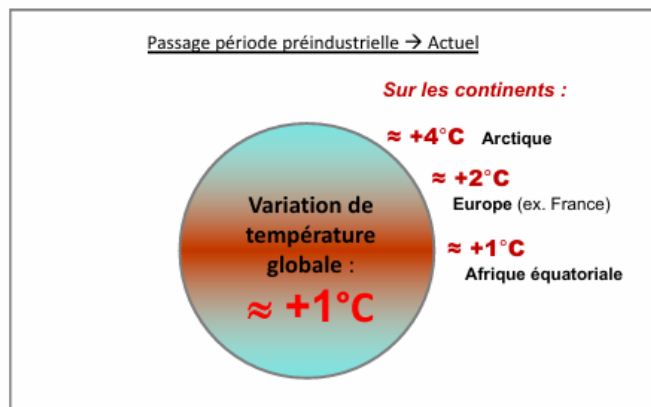
Evolution de la température moyenne annuelle entre 1921 et 2017.



Lyon 1

10

Synthèse



Variations de température moyenne (1) globale et (2) en fonction des latitudes, sur les continents (à droite) lors du passage de la période préindustrielle à la période actuelle (années ≈2020).

Les précipitations

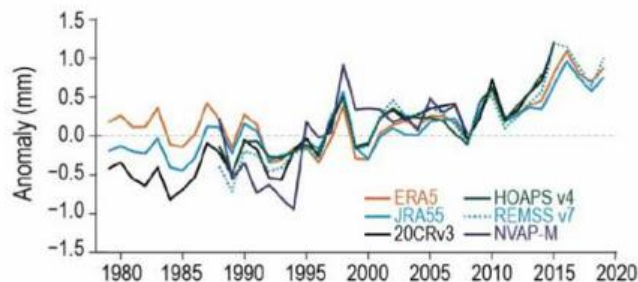


Globales

Comment varie le cycle de l'eau en cas de changement climatique ?

Un réchauffement de la planète entraîne automatiquement :

- une évaporation plus grande de l'eau liquide contenue à sa surface,
- ce qui se traduit par une augmentation du contenu en vapeur d'eau de l'atmosphère,
- et donc, *a priori*, par une augmentation de l'ensemble des précipitations tombant sur la surface de la Terre.

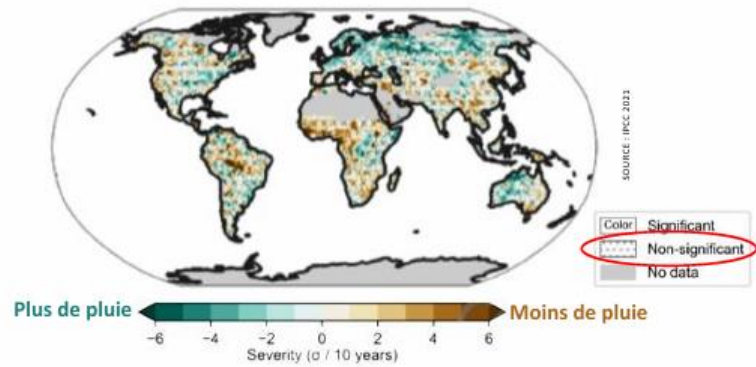


Evolution de l'écart de la colonne de vapeur d'eau globale annuelle (mm, en équivalent eau liquide) par rapport à la période 1988-2008.

Les mesures confirment que la **quantité de vapeur d'eau dans l'atmosphère** (moyenne globale) **a augmenté** de plusieurs pourcents entre 1980 et 2020.

Avec le réchauffement global de +1°C :

- la **quantité de pluie totale sur Terre a augmenté**
- mais cela ne veut pas dire qu'il y a plus de pluies partout : certaines régions deviennent plus sèches !



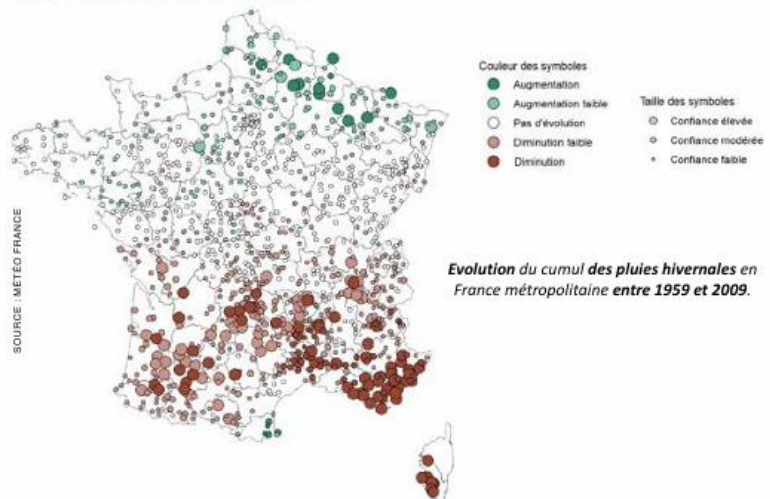
Evolution de « l'index de précipitation standardisé » (« SPI ») sur le globe entre 1951 et 2016.

La France métropolitaine est à l'intersection d'une zone plus arrosée (Europe du nord) et d'une zone plus sèche (bassin méditerranéen)

14

Aux moyennes latitudes

France métropolitaine



Les **précipitations en hiver** dans la **partie sud de la France** ont **diminué**.
 Cela correspond à une **extension du climat méditerranéen vers le nord**.

16

1) L'évolution actuelle du climat

Résumé :

Le **réchauffement global actuel** est de $\approx 1^{\circ}\text{C}$ depuis la période préindustrielle (1850-1900).

- Il est **plus prononcé sur les continents que sur les océans, et sur les hautes latitudes que sur les basses latitudes.**

- En **France métropolitaine**, il est de $\approx 2^{\circ}\text{C}$.

- Les jours les plus chauds comme les jours les plus froids se réchauffent.

En cohérence avec le réchauffement actuel, il y a plus de vapeur d'eau dans l'atmosphère.

Les précipitations globales ont augmenté.

En France métropolitaine, la partie sud est moins arrosée.

1) L'évolution actuelle du climat

Références bibliographiques

FRANCOU, B. & MÉLIÈRES, M.-A. (2021) Coup de chaud sur les montagnes. Paulsen éditions/Guérin, Chamonix. 237 pp.

IPCC (2021) Climate change 2021 : The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

LELIEVRE, F., SALA, S., RUGET, F. & VOLAIRE, F. (2011) Evolution climatique du Sud de la France 1950-2009, Projet CLIMFOUREL PSDR-3, Régions L-R, M-P, R-A. Série Les Focus PSDR3.

MAYOUX, P. (2004) Fleurs des Pyrénées. Editions Rando. 64 pp.

MELIERES, M.-A. & MARECHAL, C. (2020) Climats : passé, présent, futur. Belin Editeur / Humensis, Paris. 426 pp.



https://www.lemonde.fr/les-decodeurs/article/2018/09/08/le-rechauffement-climatique-au-pas-de-la-porte-retrouvez-l-evolution-des-temperatures-dans-votre-ville_5352167_4355770.html

Climat #2

Le changement climatique en cours



Chloé Maréchal

LGL-TPE – Université Lyon 1



Chloé Maréchal
LGL-TPE – Université Lyon1

Climat #2

Le changement climatique en cours

- 1) L'évolution actuelle du climat
- 2) Quelle est la cause du changement climatique ?
- 3) Les projections du climat futur
- 4) Les manifestations du changement climatique #1/2/3
- 5) L'enseignement du passé sur la crise climatique
- 6) L'adaptation des sociétés
- 7) L'atténuation des émissions de gaz à effet de serre

Capsule 2

Quelle est la cause du changement climatique ?

2) Quelle est la cause du changement climatique ?

Objectifs :

Retenir l'évolution récente du CO₂ dans l'atmosphère et
pouvoir la comparer aux évolutions passées

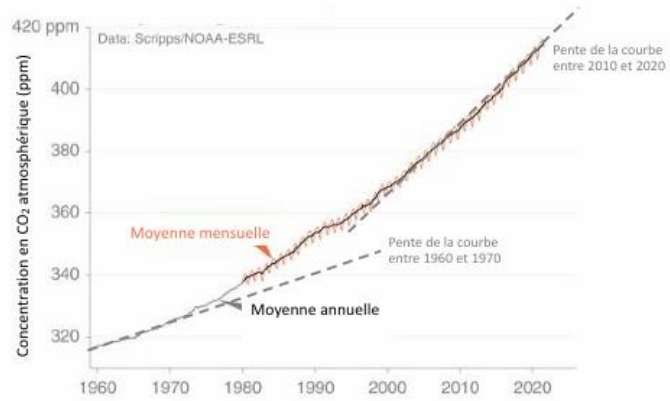
Etablir quelle est la cause de cette évolution récente et son
lien avec le réchauffement actuel

Connaître les caractéristiques socio-économiques
principales des émissions de gaz à effet de serre d'origine
humaine

2) Quelle est la cause du changement climatique ?

L'atmosphère

Gaz carbonique

Evolution de la concentration moyenne en CO_2 atmosphérique (ppm) de 1958 à 2021.

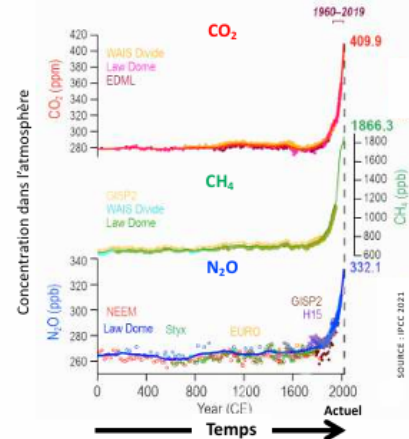
La concentration du CO_2 de l'air (gaz à effet de serre) augmente continuellement depuis 60 ans.

L'augmentation est croissante au cours du temps (la pente de la courbe se redresse).

2

2) Quelle est la cause du changement climatique ?

Evolution de la concentration en CO_2 (ppm), CH_4 (ppb) et N_2O (ppb), dans l'atmosphère depuis 2000 ans établie à partir d'analyses d'air fossile dans différentes carottes des calottes glaciaires.



La concentration du CO_2 atmosphérique est stable à ≈ 280 ppm depuis au moins 2000 ans.

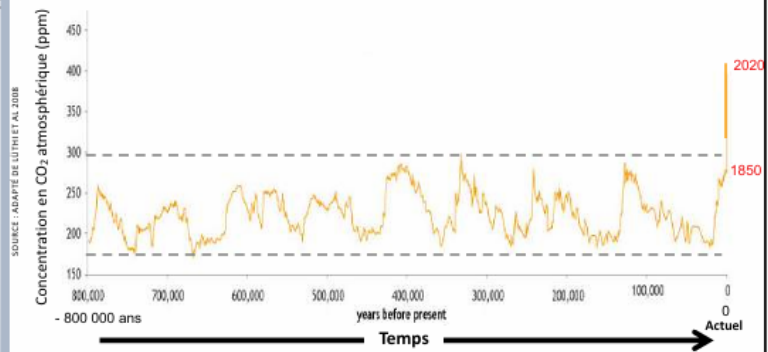
En 1800, elle est passée de ≈ 280 ppm à 415 ppm en 2021 ($\approx +50\%$ en deux siècles).

L'augmentation de concentration depuis la période préindustrielle est fulgurante.

Il en est de même pour deux autres gaz à effet de serre : le méthane CH_4 et le protoxyde d'azote N_2O .

3

2) Quelle est la cause du changement climatique ?



Évolution de la concentration CO₂ atmosphérique depuis 800 000 ans, contrôlée par les paramètres orbitaux de la Terre. Mesures réalisées dans les bulles emprisonnées dans la glace antarctique (forage EPICA). Mesures récentes à Mauna Loa ajoutées au graphique

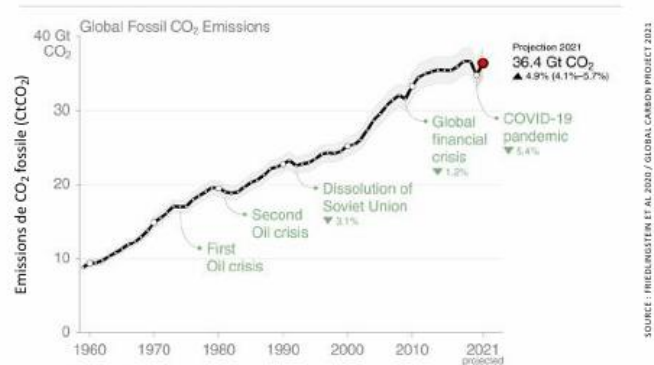
Depuis plus de 800 000 ans, la teneur en CO₂ atmosphérique oscille entre 180 et 300 ppm.

L'augmentation fulgurante actuelle (≈ 415 ppm) sort totalement de ce cadre.

Un tel niveau n'a pas été atteint dans l'atmosphère depuis plus de 2 millions d'années.

4

2) Quelle est la cause du changement climatique ?



Évolution des émissions globales annuelles de CO₂ fossile (combustibles fossiles, ciment très secondairement) de 1958 à 2021 par l'activité humaine.

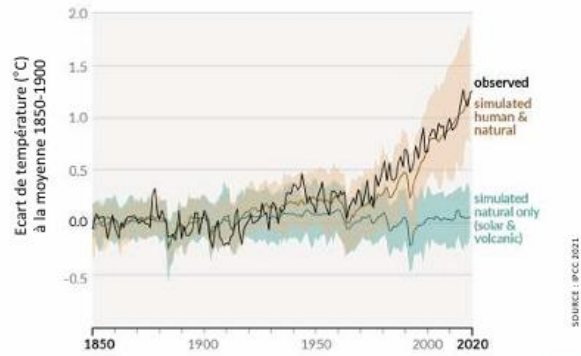
Les émissions annuelles de CO₂ issues des combustibles fossiles suite à leur utilisation par l'homme (émissions anthropiques) augmentent continuellement depuis plus de 60 ans.

Y a-t-il un lien entre l'augmentation de CO₂ atmosphérique, les émissions anthropiques de CO₂, et le réchauffement global récent ?

5

2) Quelle est la cause du changement climatique ?

La cause du réchauffement en cours



Evolution de l'écart de température globale **observée** (noir) et simulée en utilisant les **facteurs naturels** seulement (activité solaires et volcanique) (vert) et les **facteurs naturels et humains** (marron) de 1850 à 2020.

La **concordance** entre des courbes **noire** et **marron** montre que le **réchauffement global des dernières décennies ne peut être expliqué que par l'activité humaine**.

Les causes naturelles n'expliquent en aucun cas le réchauffement récent.

Les **émissions anthropiques de CO₂** s'accumulent dans l'atmosphère, faisant ainsi augmenter sa teneur, et sont à l'origine du réchauffement global récent par effet de serre.

6

2) Quelle est la cause du changement climatique ?

En résumé ...

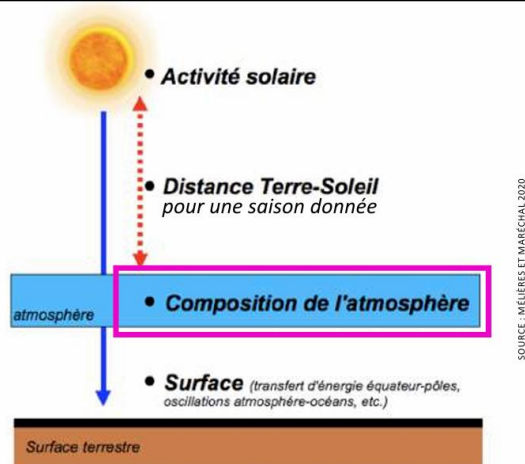


Schéma des **principales causes des changements climatiques**.

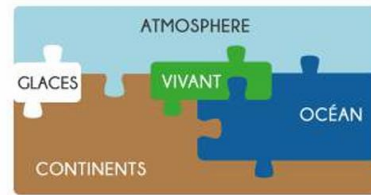
Le moteur du changement climatique depuis la période préindustrielle est : **l'activité humaine**

$\Delta T \approx 1^\circ\text{C}$ en deux siècles

7

2) Quelle est la cause du changement climatique ?

Le voyage du CO₂ anthropique entre les compartiments de surface de la Terre



Les différents compartiments superficiels de la Terre.

2) Quelle est la cause du changement climatique ?

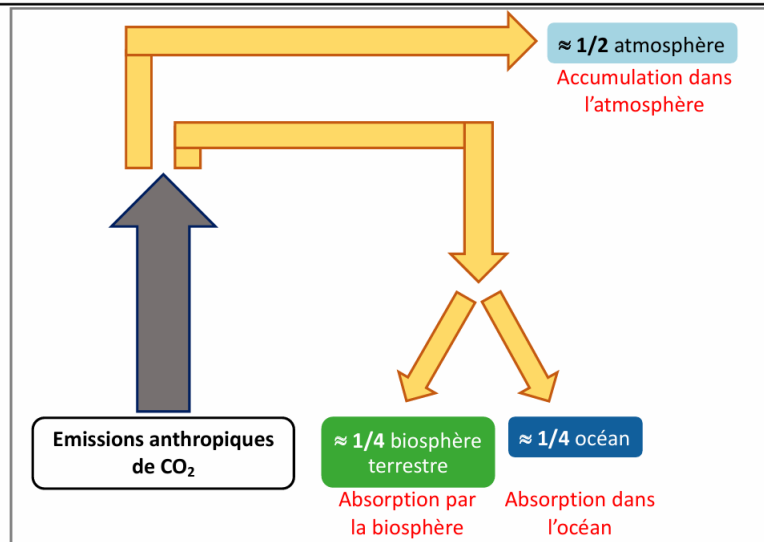
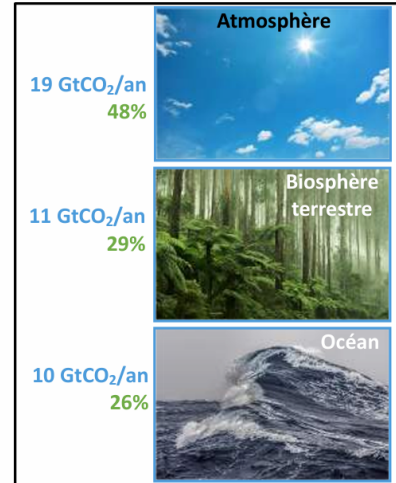


Schéma du devenir des émissions de CO₂ anthropique dans les compartiments superficiels de la Terre.

Sans les absorptions du CO₂ anthropique par la biosphère terrestre et par l'océan, la concentration en CO₂ de l'atmosphère serait beaucoup plus élevée !

2) Quelle est la cause du changement climatique ?

Moyenné entre 2011 et 2020,
les proportions étaient :



SOURCE : FRIEDLINGSTEIN ET AL 2020 / GLOBAL CARBON PROJECT 2021

Répartition des émissions anthropiques annuelles de CO₂ dans les compartiments superficiels de la Terre sur la période 2011-2020.

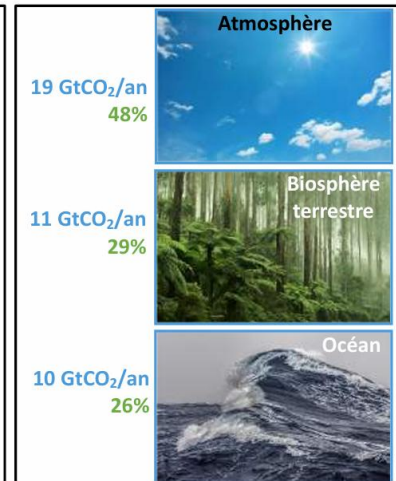
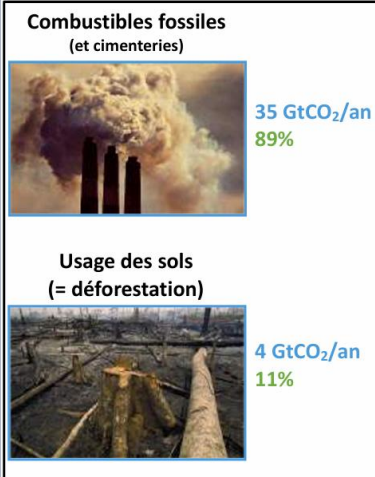
Mais de quoi sont composées les émissions de CO₂ anthropiques ?



10

2) Quelle est la cause du changement climatique ?

CO₂ anthropique : “Sources” (≈ 40 GtCO₂/an) = “Puits” (≈ 40 GtCO₂/an)



SOURCE : FRIEDLINGSTEIN ET AL 2020 / GLOBAL CARBON PROJECT 2021

Émissions anthropiques annuelles de CO₂ et leur répartition dans les compartiments superficiels de la Terre sur la période 2011-2020. Le déséquilibre entre les sources et les puits est de 3% (1 GtCO₂/an).

Les émissions anthropiques de CO₂ sont très largement dues aux combustibles fossiles (charbon, pétrole, gaz) (≈ 90%) puis à l'usage des sols (déforestation) (≈ 10%).

11

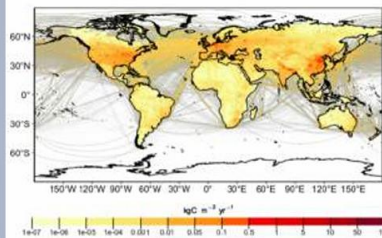
2) Quelle est la cause du changement climatique ?

Aspects socio-économiques des émissions anthropiques de CO₂

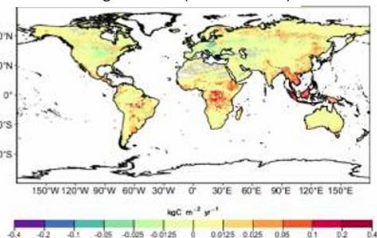
Répartition géographique des émissions anthropiques de CO₂

Émissions anthropiques :

issues du carbone fossile (**combustibles fossiles**)



liées à l'usage des sols (déforestation)



Répartition géographique des émissions anthropiques moyennes annuelles de CO₂ (à gauche) issues des combustibles fossiles (à droite) et liées à l'usage des sols (déforestation) (KgC/m²/an) de 2011 à 2020.

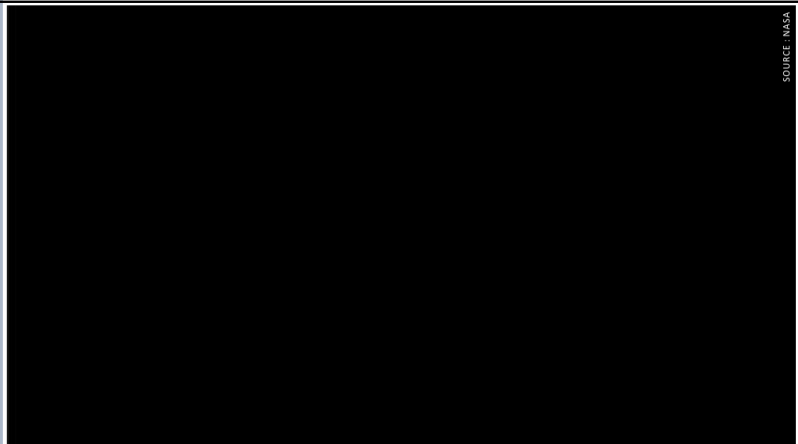
SOURCE: FRIEDLINGSTEIN ET AL 2020 / GLOBAL CARBON PROJECT 2021

Les émissions anthropiques de CO₂ :

- issues de **combustibles fossiles** dominant dans l'**hémisphère nord**,
- alors que celles liées à l'**usage des sols (déforestation)** dominant dans les **tropiques**.

13

2) Quelle est la cause du changement climatique ?



SOURCE : NASA

Evolution géographique du CO₂ atmosphérique au cours de l'année 2006.

Les concentrations élevées de CO₂ apparaissent en rouge.

De Novembre à Mai dans les années 2006 (hiver et printemps dans l'hémisphère nord), les émissions anthropiques de CO₂ dominent dans l'hémisphère nord, principalement en Amérique du nord, Europe, et Asie de l'est.

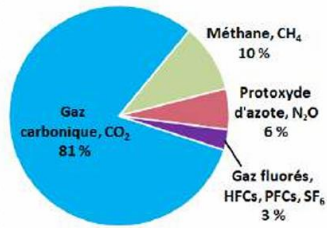
De Juin à Octobre 2006, les émissions anthropiques de CO₂ dominent dans la zone équatoriale, en Afrique et en Amérique du sud. 14

14

2) Quelle est la cause du changement climatique ?

Caractéristiques des gaz à effet de serre anthropiques

SOURCE : US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY



Pourcentage relatif des gaz à effet de serre émis par les activités humaines aux USA en 2016 (%).

Gaz à effet de serre	Durée moyenne de séjour dans l'atmosphère
CO ₂	≈ 100 ans
CH ₄	12 ans
N ₂ O	114 ans
HFCs, PFCs, SF ₆	270 ans à 50 000 ans

Temps de résidence moyen des gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

Parmi les gaz à effet de serre émis par les activités humaines, le **gaz carbonique** est le **principal contributeur à l'effet de serre**.

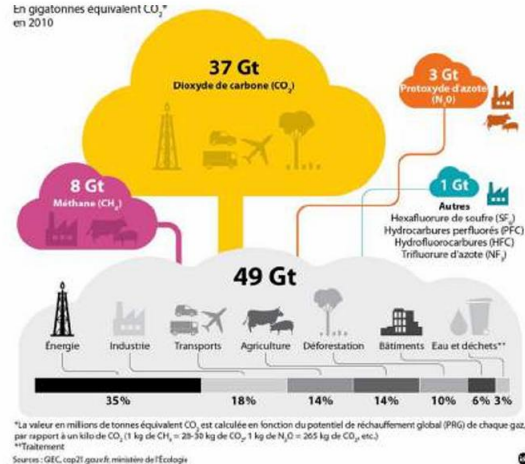
Les gaz à effet de serre émis par l'homme restent longtemps dans l'atmosphère, voir très longtemps.

Ainsi, les **émissions actuelles** auront un impact sur les **générations à venir** (nos arrière-arrière petits enfants et plus encore ! ...)

15

2) Quelle est la cause du changement climatique ?

Activités humaines et gaz à effet de serre

en gigatonnes équivalent CO₂* en 2010

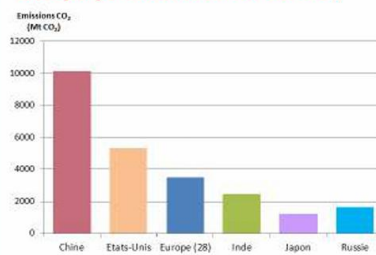
Les gaz à effet de serre anthropiques dans le monde (GtCO₂) et les secteurs d'émissions (pourcentage) en 2010.

Les **gaz à effet de serre anthropiques** sont émis par **différentes activités humaines**.
Les principales sont l'**utilisation de l'énergie**, l'**industrie**, les **transports**, l'**agriculture**, la **déforestation**, les **bâtiments**.

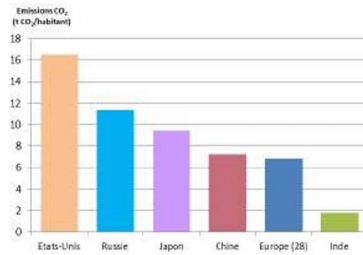
16

2) Quelle est la cause du changement climatique ?

Les pays émetteurs de CO₂



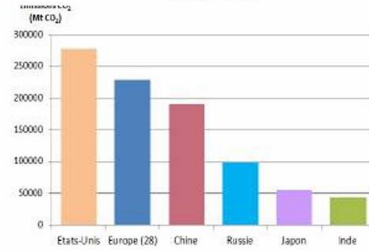
Emissions de CO₂ territoriales en 2016
(en Mt CO₂ = millions de tonnes de CO₂).



Emissions de CO₂ territoriales en 2016 par habitant
(en Mt CO₂).

Selon la façon de comptabiliser les émissions de CO₂ par pays, le rang n'est pas le même ...

Les émissions de CO₂ importées doivent en plus être prises en compte dans ces représentations.



Emissions de CO₂ territoriales historiques
(cumulées entre 1960 et 2016) (en Mt CO₂).

SOURCE : D'APRÈS LES DONNÉES DE GLOBAL CARBON ATLAS

17

2) Quelle est la cause du changement climatique ?

Revenu et émission de CO₂



Seuil de revenu par habitant en 2015 (PPA 2011) des 1 % les plus riches : 109 000 dollars ; 10 % les plus riches : 38 000 dollars ; 40 % du milieu (classes moyennes) : 6 000 dollars ; et 50 % les plus pauvres : moins de 6 000 dollars. Le budget carbone mondial en 1990 avait 33 % de chances de dépasser les 1,5°C : 1 250 Gt.

Évolution des émissions de CO₂ par tranche de revenu dans le monde entre 1990 et 2015.

Entre 1990 et 2015, les 1% les plus riches au monde ont émis 15% des émissions de CO₂, tandis que les 50% les plus pauvres au monde ont émis 7% des émissions de CO₂.

Les émissions de ce dernier groupe restent quasiment stables au cours du temps.

Les inégalités sociales doivent donc être considérées dans les efforts de réduction des émissions anthropiques.

SOURCE : OXFAM 2020

18

2) Quelle est la cause du changement climatique ?

Résumé :

Récemment, la concentration de CO₂ dans l'atmosphère a augmenté très fortement et dépasse largement la concentration existante depuis plus de 2 millions d'années.

Cette augmentation provient de l'accumulation du CO₂ émis par les activités humaines dans l'atmosphère, ainsi que de celle du CH₄ et du N₂O.

L'accumulation de ces gaz à effet de serre est à l'origine du réchauffement globale récent, les causes naturelles n'intervenant pas.

Différents secteurs sont responsables des émissions tel l'énergie, les transports, l'industrie, l'agriculture ...

Selon le niveau de vie, les émissions de CO₂ par habitant dans le monde sont très différentes, les 1% les plus riches émettant deux fois plus que les 50% les plus pauvres.

19

2) Quelle est la cause du changement climatique ?

Références bibliographiques

FRIEDLINGSTEIN ET AL (2021) Global Carbon Budget 2021, *Earth System Science Data*.
<https://doi.org/10.5194/essd-2021-386>

GLOBAL CARBON ATLAS <http://globalcarbonatlas.org>

IPCC (2021) Climate change 2021 : The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

LÜTHI, D., LE FLOCH, M., BEREITER, B., BLUNIER, T., BARNOLA, J-M., SIEGENTHALER, U., RAYNAUD, D., JOUZEL, J., FISCHER, H., KAWAMURA, K. & STOCKER, T. (2008) High-resolution carbon dioxide concentration record 650,000–800,000 years before present, *Nature*, 453.

MÉLIÈRES, M-A. & MARÉCHAL, C. (2020) Climats : passé, présent, futur. Belin Editeur / Humensis, Paris. 426 pp.

OXFAM (2020) Combattre les inégalités des émissions de CO₂, Résumé.
<https://www.oxfamfrance.org/wp-content/uploads/2020/09/Resume-Rapport-Oxfam-Combattre-Inegalites-Emissions-CO2.pdf>



Climat #2

Le changement climatique en cours



Chloé Maréchal

LGL-TPE – Université Lyon 1



Chloé Maréchal
LGL-TPE – Université Lyon1

Climat #2

Le changement climatique en cours

- 1) L'évolution actuelle du climat
- 2) Quelle est la cause du changement climatique ?
- 3) Les projections du climat futur
- 4) Les manifestations du changement climatique #1/2/3
- 5) L'enseignement du passé sur la crise climatique
- 6) L'adaptation des sociétés
- 7) L'atténuation des émissions de gaz à effet de serre

Capsule 3

Les projections du climat futur

Objectifs :

Connaître les principaux scénarios d'émissions futurs de gaz à effet de serre

Mémoriser la valeur du réchauffement global atteint en 2100 par rapport à l'époque préindustrielle selon deux scénarios extrêmes

Localiser les principales régions sur Terre devenant plus sèches ou plus humides dans le futur

Les modèles climatiques

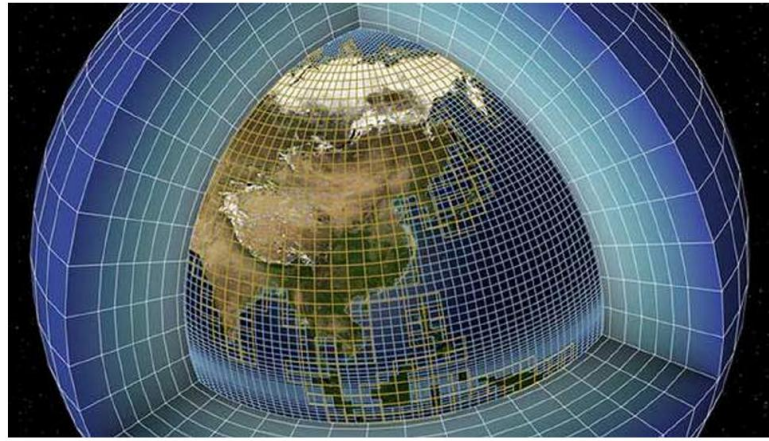


Image schématique d'un **modèle climatique** impliquant les océans, les continents et l'atmosphère.

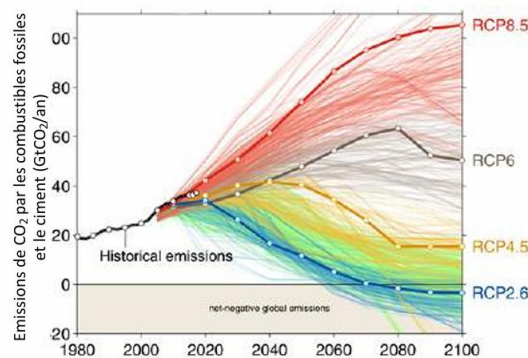
Pour modéliser le climat, on découpe le système Terre en boîtes à l'intérieur desquelles on calcule les variables climatiques.

La température



Globale

Les scénarios d'émissions anthropiques de CO₂



Emissions mondiales de CO₂ par les combustibles fossiles et le ciment (GtCO₂/an) de 1980 à 2100
(les émissions liées à l'usage des sols (déforestation) ne sont pas prises en compte). Les **émissions historiques** apparaissent en noir, les émissions issues des **scénarios RCP** en couleurs.

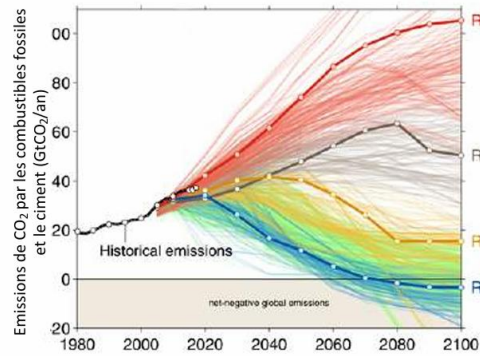
Les **scénarios RCP** (« Representative Concentration Pathway ») fixent le forçage radiatif d'origine humaine en W/m² en 2100 (ex. 8,5 W/m² pour « RCP8.5 »).
Les hypothèses pour obtenir ce forçage portent sur le monde physique (ex. le flux de CO₂ anthropique émis dans l'atmosphère ...)

La température



Globale

Les scénarios d'émissions anthropiques de CO₂



SOURCE : ADAPTÉ DE LE QUÉRE ET AL 2017 / GLOBAL CARBON PROJECT 2017

Emissions mondiales de CO₂ par les combustibles fossiles et le ciment (GtCO₂/an) de 1980 à 2100
 (les émissions liées à l'usage des sols (déforestation) ne sont pas prises en compte). Les **émissions historiques** apparaissent en noir, les émissions issues des **scénarios RCP** en couleurs.

Récemment, de nouveaux modèles ont émergés : les **scénarios SSP** (« Shared Socio-Economic Pathway »). Les hypothèses pour obtenir le forçage radiatif portent sur le monde physique (id. RCP) mais elles sont encadrées par des conditions socio-économiques (ex. les inégalités entre les pays, le degré de coopération internationale ...)

SSP5-8.5 est l'équivalent de **RCP8.5**, **SSP1-2.6** est l'équivalent de **RCP2.6**.

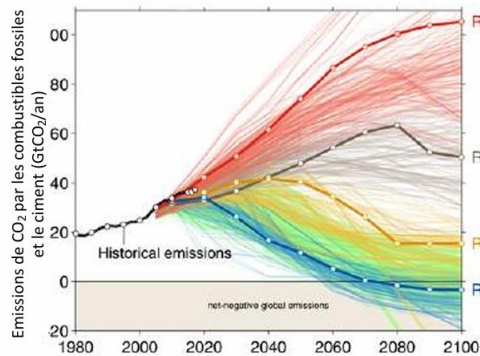
4

La température



Globale

Les scénarios d'émissions anthropiques de CO₂



SOURCE : ADAPTÉ DE LE QUÉRE ET AL 2017 / GLOBAL CARBON PROJECT 2017

Emissions mondiales de CO₂ par les combustibles fossiles et le ciment (GtCO₂/an) de 1980 à 2100
 (les émissions liées à l'usage des sols (déforestation) ne sont pas prises en compte). Les **émissions historiques** apparaissent en noir, les émissions issues des **scénarios RCP** en couleurs.

Dans les scénarios extrêmes :

- le **RCP2.6** correspond à une **baisse des émissions anthropiques dès 2020**, puis à des **émissions nulles en 2070** ; on l'appelle le scénario « **sobre** ».
- A l'opposé, le **RCP8.5** correspond à une **augmentation continue des émissions, sur la lancée actuelle** (chaque année, plus de CO₂ est émis) ; on l'appelle le scénario du « **laisser faire** » ou « **business as usual** ».

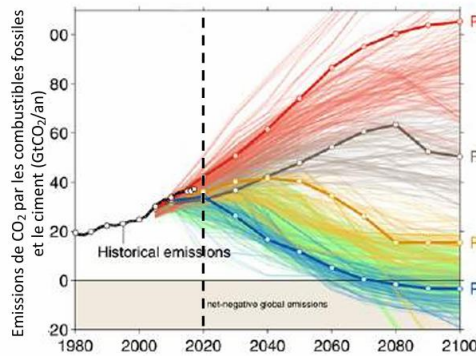
5

La température



Globale

Les scénarios d'émissions anthropiques de CO₂

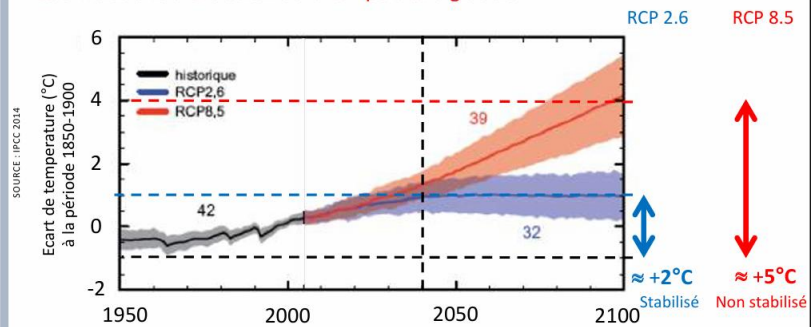


SOURCE : ADAPTE DE LE QUERE ET AL 2017 / GLOBAL CARBON PROJECT 2017

Emissions mondiales de CO₂ par les combustibles fossiles et le ciment (GtCO₂/an) de 1980 à 2100
(les émissions liées à l'usage des sols (déforestation) ne sont pas prises en compte). Les émissions historiques apparaissent en noir, les émissions issues des scénarios RCP en couleurs.

Selon les scénarios, les émissions anthropiques annuelles divergent fortement à partir de 2020.

Les simulations d'évolution de la température globale

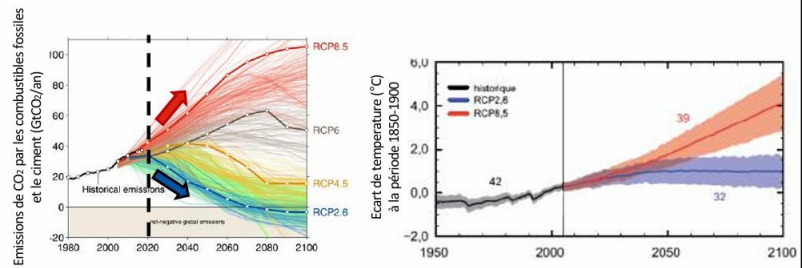


Evolution de l'écart de la température moyenne à la surface du globe sur la période historique (noir) puis en fonction des scénarios RCP2.6 (bleu) et RCP8.5 (rouge) de 1950 à 2100. Les chiffres en couleur représentent le nombre de modèles utilisés pour ces simulations.

Selon les scénarios, en 250 ans (1850-2100) le climat se réchauffera de :
≈ 2°C, et la température sera stabilisée (constante) (RCP2.6),
ou de ≈ 5°C, et la température ne sera pas stabilisée (elle continuera d'augmenter) (RCP8.5).

Nous avons vu que les émissions divergent fortement à partir 2020 selon les scénarios RCP, mais jusqu'à 2040 elles conduisent à un réchauffement à peu près équivalent (≈ +0,5°C par rapport 2020) à cause du cumul des émissions et du temps résidence CO₂ dans l'atmosphère.

Quel que soit le scénario, le réchauffement vers le milieu du siècle est déjà déterminé.

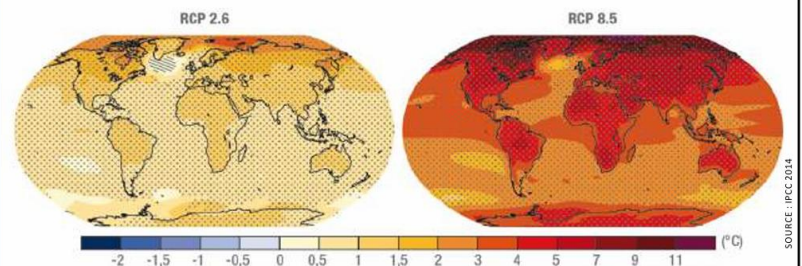


Emissions mondiales de CO₂ par les combustibles fossiles et le ciment (GtCO₂/an) de 1980 à 2100 (historiques en noir, scénarios RCP en couleurs).

Evolution de l'écart de la température moyenne à la surface du globe de 1950 à 2100 (historiques en noir, scénarios RCP en couleurs).

Les 20-30 prochaines années sont déjà écrites en terme de température.

En revanche, c'est **dès maintenant qu'il faut diminuer les émissions** pour qu'en 2100 le **réchauffement soit minimal** par rapport à la période préindustrielle.



Répartition géographique de la hausse des températures moyennes annuelles (°C) sur un siècle selon les scénarios RCP2.6 (à gauche) et RCP8.5 (à droite) entre la période 1986-2005 et 2081-2100 (39 modèles).

Quel que soit le scénario, le **réchauffement touchera toutes les parties du globe.**

On retrouve les **caractéristiques d'un réchauffement planétaire** :

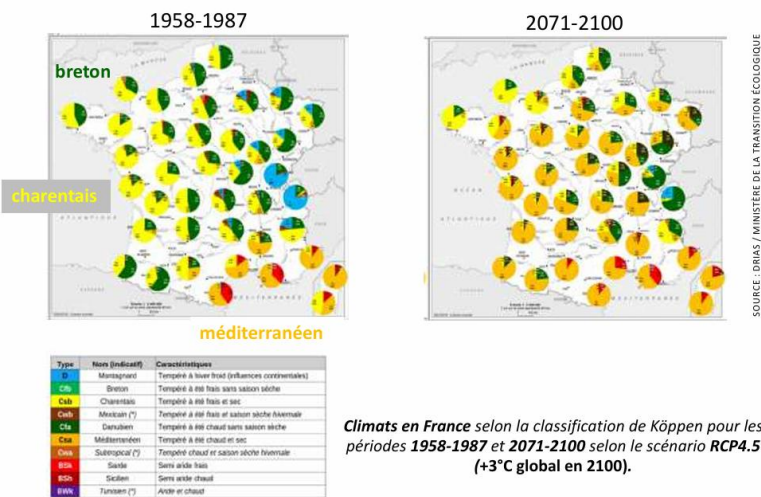
- **plus chaud sur les continents** que sur les **océans**,
- **plus chaud aux hautes latitudes** qu'aux **basses latitudes**.

Le réchauffement anthropique actuel et futur n'est pas compensable par les variations naturelles du climat qui sont inférieures (activité solaire : $\approx -0,5^{\circ}\text{C}$, volcanisme explosif : $\approx -0,2^{\circ}\text{C}$) ou trop lointaines (prochaine glaciation dans $\approx 50\,000$ ans) (voir Climat #1)

L'activité humaine est la force motrice de l'évolution du climat sur les prochains millénaires.

Cette activité humaine se place dans le cadre de l'Anthropocène.

Le climat en France métropolitaine



Climats en France selon la classification de Köppen pour les périodes 1958-1987 et 2071-2100 selon le scénario RCP4.5 (+3°C global en 2100).

Le scénario RCP4.5, médian, conduit à +3°C global/période préindustrielle en 2100.

En 1958-1987, le climat méditerranéen (orange) était limité au sud-est de la France.

En 2071-2100, selon le scénario RCP4.5, il aura progressé vers le nord et son influence se rencontrera presque partout en France.

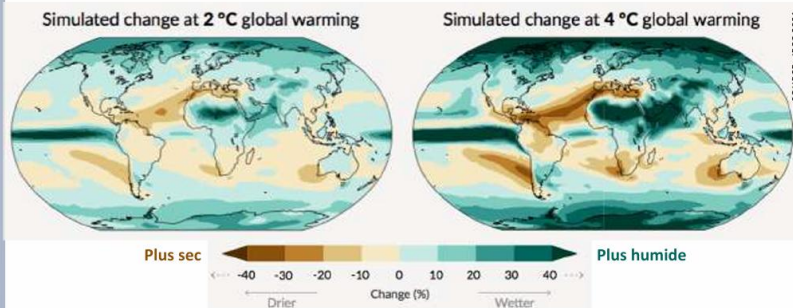
Les précipitations



Globales

Le réchauffement global continuant d'augmenter dans le futur :

- la **quantité de pluie totale sur Terre augmentera également**,
- mais cela ne veut pas dire qu'il y a plus de pluies partout : certaines régions deviennent plus sèches !



Projection des précipitations selon un scénario +2°C (gauche) et +4°C (droite) par rapport à la période préindustrielle. Attention : l'évolution est donnée en % !

Des **zones** sur la planète seront sujettes à une **augmentation de la sécheresse** :
le bassin méditerranéen, l'Amérique centrale, l'Afrique australe, l'Australie du sud.

A l'inverse, d'autres **zones** seront sujettes à une **augmentation des précipitations** :
les moyennes et hautes latitudes, la zone équatoriale pacifique.

Attention la carte est exprimée en pourcentage (%). Ainsi pour le Sahara, il tombe extrêmement peu de pluie à l'heure actuelle, donc une grande augmentation de pluie en pourcentage n'entraîne pas beaucoup de pluie au final.

Résumé :

Selon les scénarios d'émissions futurs de gaz à effet de serre, les émissions anthropiques globales baissent dès 2020 (RCP2.6 / SSP1-2.6) ou continuent sur la lancée actuelle (RCP8.5 / SSP5-8.5).

En 2040, le réchauffement global sera comparable quel que soit le scénario, mais en 2100 il sera stabilisé à +2°C/période préindustrielle selon RCP2.6, ou atteindra +5°C/période préindustrielle selon RCP8.5, sans être stabilisé.

Globalement, les pluies augmenteront à l'avenir sur l'ensemble de la planète.

Des régions comme les moyennes et hautes latitudes seront plus arrosées, en revanche d'autres deviendront plus sèches comme le bassin méditerranéen et l'Amérique centrale.

14

Références bibliographiques

LE QUÉRÉ ET AL (2017) Global Carbon Budget 2017, *Earth System Science Data*.
<https://doi.org/10.5194/essd-10-405-2018>

IPCC (2014) Climate change 2013 : The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

IPCC (2021) Climate change 2021 : The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

DRIAS / MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE
<https://www.drias-climat.fr/accompagnement/sections/300>

Climat #2

Le changement climatique en cours



Chloé Maréchal

LGL-TPE – Université Lyon 1



Chloé Maréchal
LGL-TPE – Université Lyon1

Climat #2

Le changement climatique en cours

- 1) L'évolution actuelle du climat
- 2) Quelle est la cause du changement climatique ?
- 3) Les projections du climat futur
- 4) Les manifestations du changement climatique #1/2/3
- 5) L'enseignement du passé sur la crise climatique
- 6) L'adaptation des sociétés
- 7) L'atténuation des émissions de gaz à effet de serre

Capsule 4

4) Les manifestations du changement climatique #1

4) Les manifestations du changement climatique #1

Objectif :

Retenir les principales caractéristiques de l'évolution climatique actuelle et future pour :

- (1) l'atmosphère
- (2) les glaces
- (3) les océans sur Terre

L'atmosphère

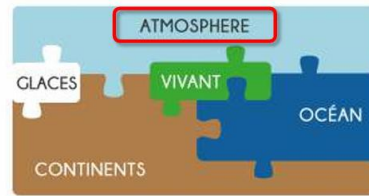
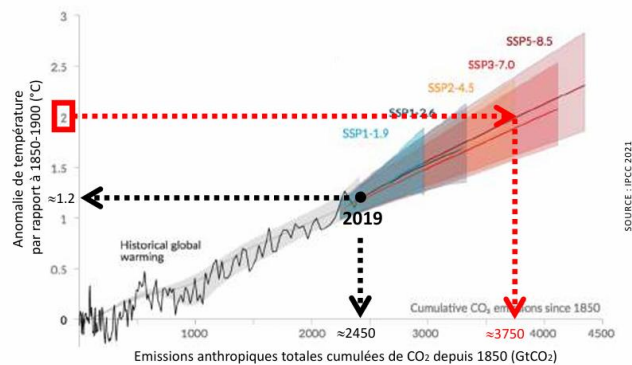


Schéma des **compartiments superficiels** de la Terre.

Gaz carbonique

La teneur en CO₂ atmosphérique a récemment augmenté de façon vertigineuse.

Et dans le futur ?



Evolution de la température globale de surface en fonction des émissions anthropiques de CO₂ cumulées depuis 1850, jusqu'en 2050. Noir : période historique (1850-2019), couleur : scénarios futurs (2020-2050).

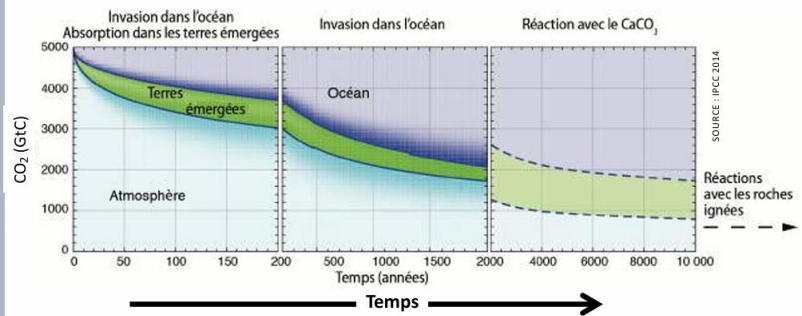
Pour limiter le réchauffement à +2°C, le maximum des émissions anthropiques cumulées de CO₂ depuis 1850 ne doit pas excéder ≈3750 GtCO₂.

Dans ce cas, en 2019, les deux tiers (2/3) du CO₂ anthropique ont déjà été émis.

Il reste ≈ 30 ans d'émission au rythme actuel (... et plus rien après).

4) Les manifestations du changement climatique #1

Et dans le futur ... très lointain ?



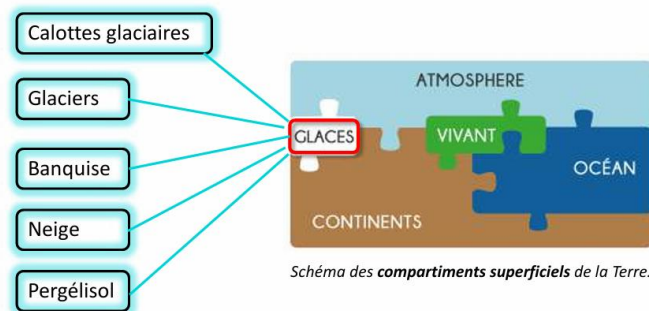
Simulation de l'évolution de la teneur en CO_2 atmosphérique après une émission totale de 5000 GtC de CO_2 (18 320 Gt CO_2) au temps zéro, et sa redistribution dans les terres émergées (vert) et les océans (bleu foncé).

Plusieurs dizaines de milliers d'années, voire une centaine de milliers d'années, sont nécessaires pour effacer la trace de l'incursion de CO_2 dans l'atmosphère.

Dans le cas du scénario RCP8.5 : les émissions cumulées de CO_2 anthropique sont de 2100 GtC (7700 Gt CO_2) en 2100 (... et elles continuent après).

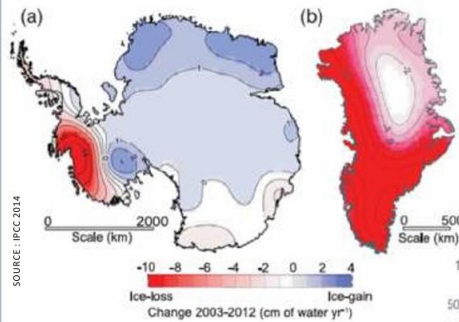
4) Les manifestations du changement climatique #1

Les glaces



4) Les manifestations du changement climatique #1

Calottes glaciaires



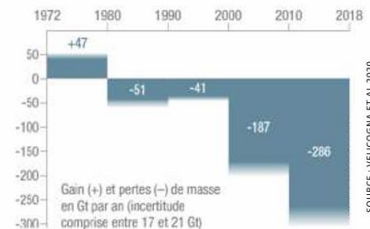
Evolution du changement de masse des calottes glaciaires (a) de l'Antarctique et (b) du Groenland, entre 2003 et 2012 (cm/an, en équivalent eau liquide).

La calotte groenlandaise est en grande partie soumise à la fonte des glaces, et cette fonte accélère d'année en année.

La calotte antarctique ouest est également soumise à la fonte des glaces.



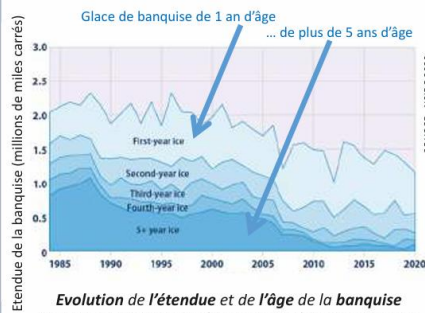
Fonte de surface au Groenland durant l'été. Les figures de fonte, lacs et chenaux, contribuent à la dégradation de l'albédo, laquelle accroît à son tour la fonte.



Bilan de masse du Groenland de 1972 à 2018 par moyennes décennales (sauf 1972-1980 et 2010-2018) (Gt/an). L'ablation cumule les pertes par fonte en surface et celles par vêlage d'icebergs dans l'océan.

4) Les manifestations du changement climatique #1

Banquise arctique

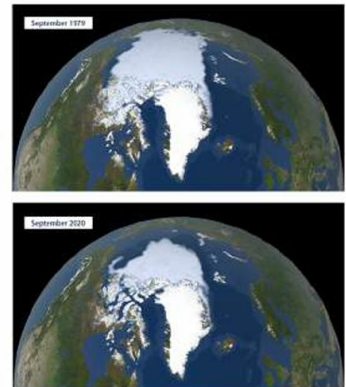


Evolution de l'étendue et de l'âge de la banquise arctique en Septembre (une semaine) de 1984 à 2020. (1 mi² = 2,6 km²)

La banquise arctique :

- voit son étendue diminuer,
- voit son épaisseur diminuer,
- est de plus en plus constituée de glace jeune (la glace âgée ayant quasiment disparue),
- se forme de plus en plus tard (fin de l'Automne) et fond de plus en plus tôt (fin du Printemps).

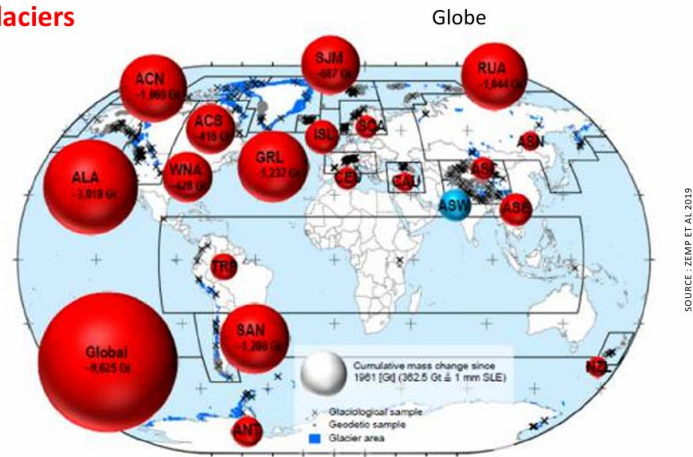
La fonte de la banquise assombrit la couleur de la surface (diminution de l'albédo), ce qui contribue au réchauffement de cette dernière, et accroît à son tour la fonte.



Evolution de l'étendue de la banquise arctique en Septembre, soit au minimum de son extension, en 1979 et en 2020.

4) Les manifestations du changement climatique #1

Glaciers



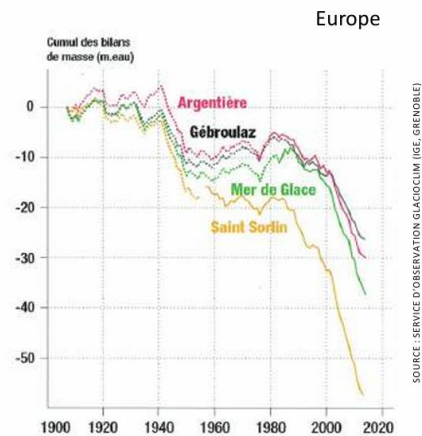
Bilan de masse des glaciers (localisés en bleu sur la carte) (en gigatonnes) dans 19 régions du monde entre 1961 et 2016 (dont les glaciers sur les bords des calottes glaciaires). Rond rouge: bilan négatif (perte de glace), rond bleu: bilan positif (gain de glace).

Tous les bilans de masse sont négatifs (en rouge), à l'exception d'une région de l'Himalaya (Asie du Sud-Ouest, en bleu) : cela indique une **fonte quasi-généralisée des glaciers**.

8

4) Les manifestations du changement climatique #1

Glaciers



Evolution du cumul de la masse de glaciers des Alpes françaises depuis 1900 (m, en équivalent eau liquide) (valeur moyennée sur la surface du glacier).

Entre ≈ 1905 et ≈ 2015 (un peu plus d'un siècle), les quatre glaciers alpins ont perdu entre ≈ 25 et 55 m d'épaisseur en équivalent-eau liquide.

Dans les Alpes, le réchauffement actuel de 2°C se traduit par une montée de l'isotherme 0°C de ≈ 300 mètres, entraînant la **fonte des glaciers**.

9

Début du 20^{ème} siècle

Début du 21^{ème} siècle

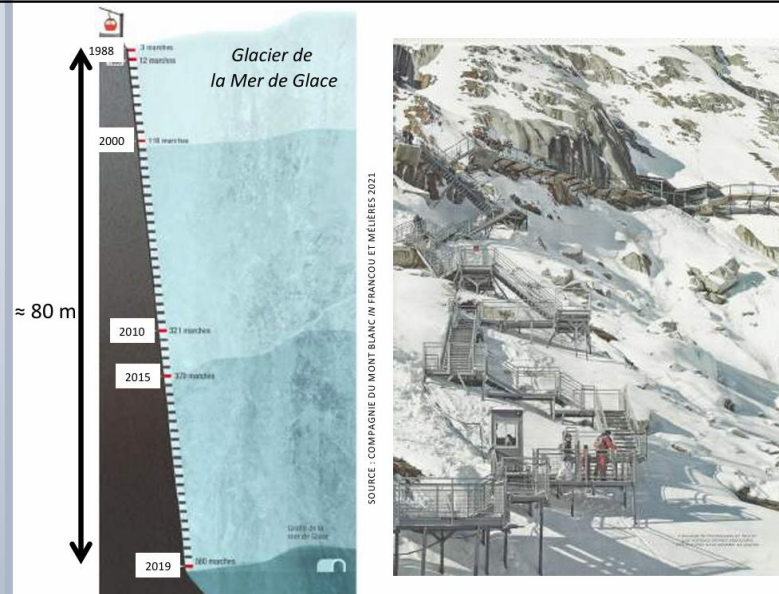


SOURCE : SERVICE D'OBSERVATION GLACIOCLIM (IGE, GRENOBLE)

Images aériennes du **glacier de la Mer de Glace**
(Massif du Mont Blanc, Alpes, France).



10



(a) Schéma de la **réduction d'épaisseur de la Mer de Glace** à la station du Montanvers **depuis 1988**, date à laquelle elle atteignait le niveau de la télécabine (en haut). En **2019**, il fallait descendre **580 marches** pour atteindre le glacier où se trouve la **grotte de glace** ouverte aux visiteurs. (b) Image de l'escalier en 2015.

11

4) Les manifestations du changement climatique #1

Pergélisol (sol gelé)

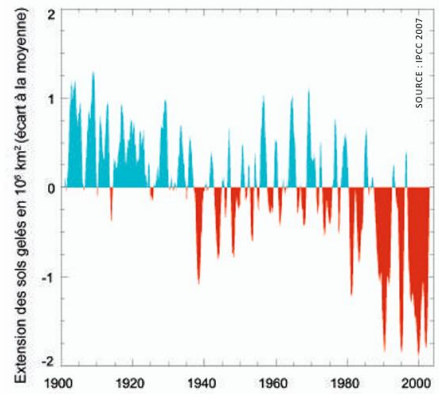


Image montrant l'eau gelée dans le sol en Russie (pergélisol).



SOURCE : NSIDC, INTERNATIONAL PERMAFROST ASSOCIATION 1995

Répartition du pergélisol en hémisphère nord en 1995 (continu, discontinu, sporadique, isolé).



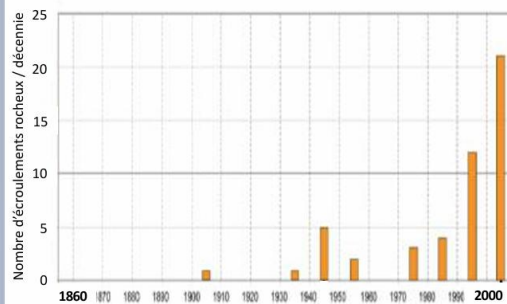
Evolution de la surface des sols gelés saisonnièrement en Arctique (incluant la couche active au dessus du pergélisol) entre 1900 et 2005 : écart à la période 1901-2002.

En Arctique, l'étendue des sols gelés diminue en moyenne depuis le début du 20^{ème} siècle, déstabilisant les sols et les infrastructures.

12

4) Les manifestations du changement climatique #1

Ecroulements rocheux



Evolution du nombre d'écroulements rocheux par décennies dans la face ouest des Drus et le versant nord des aiguilles de Chamonix (Massif du Mont Blanc, Alpes, Europe), de 1860 à 2010. Les écroulements retenus ont un volume supérieur à 500 m³.



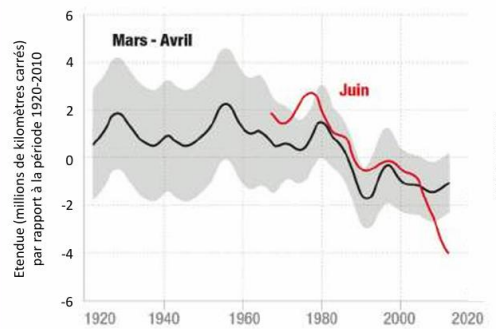
Ecroulement du pilier Bonatti (face ouest des Drus, Massif du Mont Blanc, Alpes) le 29 juin 2005.

Le sol gelé (pergélisol) stabilise les parois rocheuses (qui sont fissurées) en haute montagne. En cas de dégel, le gel ne tient plus son rôle de ciment et les roches se détachent.

Avec le réchauffement climatique actuel, ce mécanisme conduit à des écroulements importants, de plus en plus fréquents, entre 3200 m et 3700 m d'altitude (Alpes).

13

Neige



SOURCE : IPCC 2014



SOURCE : FRANCOU ET MILLIÈRES 2021

Evolution de la couverture neigeuse dans l'hémisphère nord depuis 1920.

Neige de culture à Puy-Saint-Vincent (Hautes-Alpes) pour préparer la période de Noël.

Dans l'hémisphère nord, l'étendue de la **couverture neigeuse diminue** depuis les années 1980.

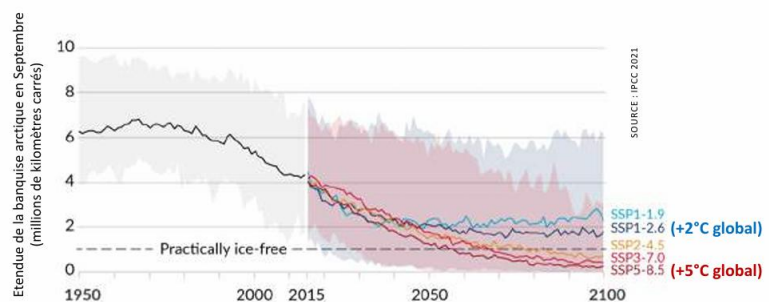
Dans les **stations de moyenne montagne** (entre 800 m et 2000 m), dans les **Alpes**, l'**enneigement en hiver est de plus en plus critique**.

14

Et dans le futur ?

Quelques projections ...

Banquise arctique



SOURCE : IPCC 2021

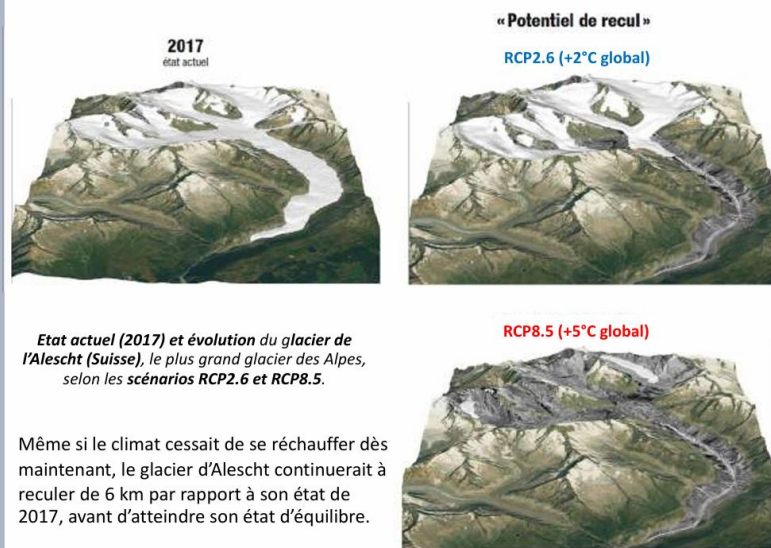
Evolution de l'étendue de la banquise arctique en septembre selon différents scénarios (millions de kilomètres carrés). Noir : mesures, couleur : scénarios futurs.

Selon le scénario RCP/SSP5-8.5, la banquise arctique disparaîtrait en septembre dès 2060.

15

Glaciers

Ex. Moyenne latitudes, Europe

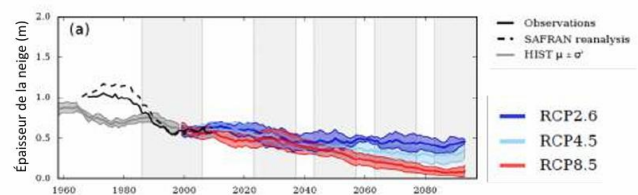


Selon le scénario RCP8.5, le glacier d'Aletsch disparaîtrait quasi-totalement en 2100.

16

Neige

Ex. Moyenne montagne (1500 m), Europe



Evolution (a) de l'épaisseur de la neige, (b) des dates de chute et de fonte de la neige, pour les observations et les modèles Safran et Hist (1960–2016) (en noir et gris) et pour les scénarios RCP (couleurs) (1999–2095). Moyennes glissantes sur 15 ans.

En moyenne montagne, dans les Alpes, pour le scénario RCP8.5,

- l'épaisseur de la neige en Hiver est quasi-nulle à partir de 2080,
- la date de chute de la neige est de plus en plus tardive (Février au lieu de Décembre), celle de fonte de plus en plus précoce (Mars au lieu de Mai).

17

4) Les manifestations du changement climatique #1

L'océan

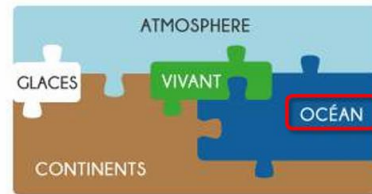
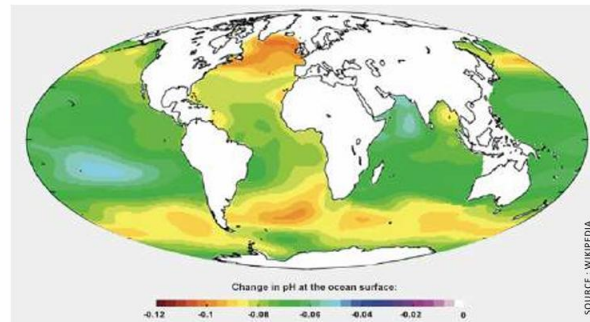


Schéma des **compartiments superficiels** de la Terre.

4) Les manifestations du changement climatique #1

Acidité globale de surface de l'eau de mer



Evolution du pH de l'océan de surface entre les années 1700 et 1990.

Le pH des eaux océaniques de surface est passé en moyenne de 8,15 à 8,05 entre 1950 et 2015 : **il s'est abaissé de 0,1 unité**, ce qui correspond à une **acidification des eaux superficielles**.

Ceci s'explique par l'équilibre des pressions partielles entre CO₂ gazeux et CO₂ dissous :

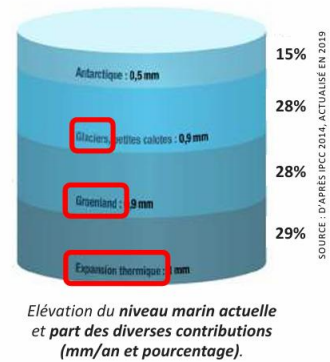
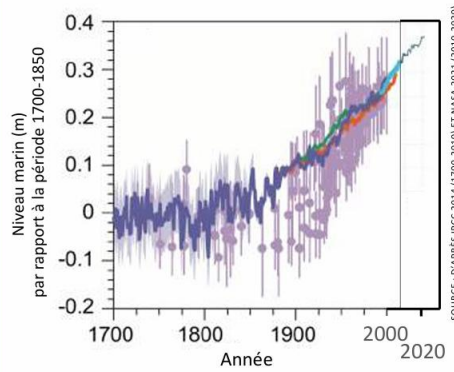


Or $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$

L'augmentation des teneurs en CO₂ atmosphérique augmente la concentration en H⁺ dans l'eau marine de surface, et **diminue donc le pH des eaux océaniques superficielles**.

Niveau marin

Quelle est la cause de cette élévation ?

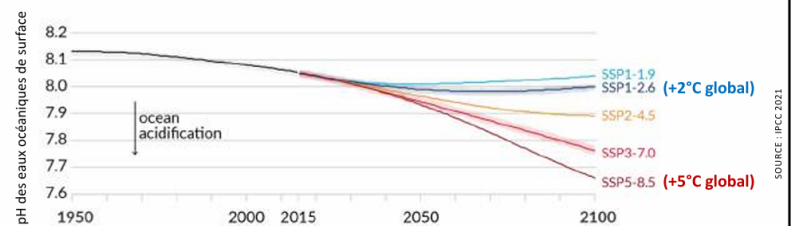


20

Et dans le futur ?

Quelques projections ...

Acidité globale de surface de l'eau de mer



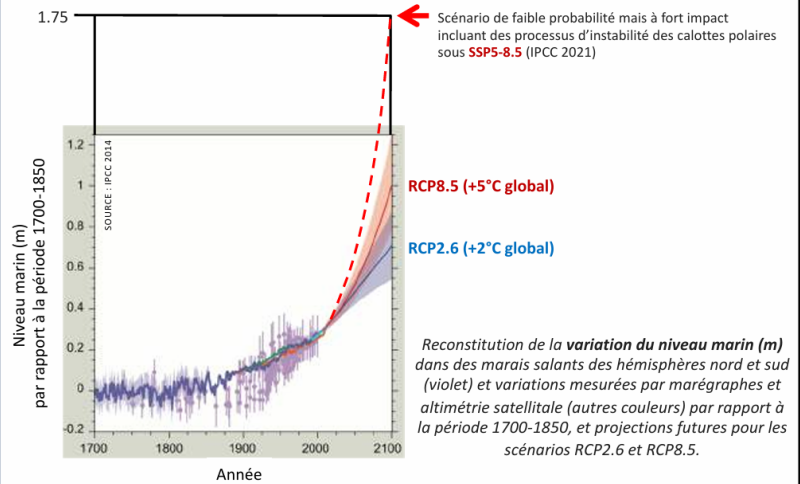
Dans le cas du scénario RCP/SSP1-2.6, l'acidité est stabilisée dès le milieu du siècle et le pH est de 8,0.

Dans le cas du scénario RCP/SSP5-8.5, elle continue à augmenter jusqu'en 2100 où le pH descend à 7,65, sans être stabilisé.

21

4) Les manifestations du changement climatique #1

Niveau marin



Même si le climat cessait de se réchauffer dès maintenant, le niveau marin continuerait d'augmenter, avant d'atteindre son état d'équilibre (inertie des calottes polaires).

Le niveau marin augmentera d'ici 2100, quel que soit le scénario suivi.

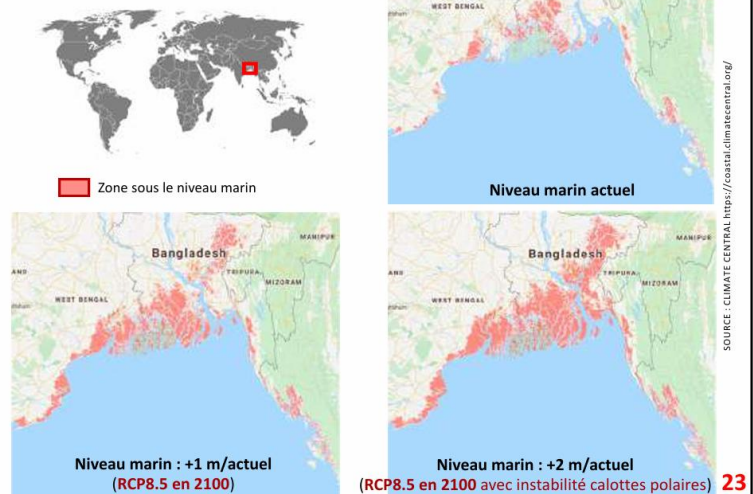
Et il continuera d'augmenter dans les siècles futurs : +0,5 à +3,2 m pour **SSP1-2.6**, +2 à +7 m (>15m ?) pour **SSP5-8.5** en 2300, suite à la fonte des calottes polaires (Groenland, Antarctique) **22**

4) Les manifestations du changement climatique #1

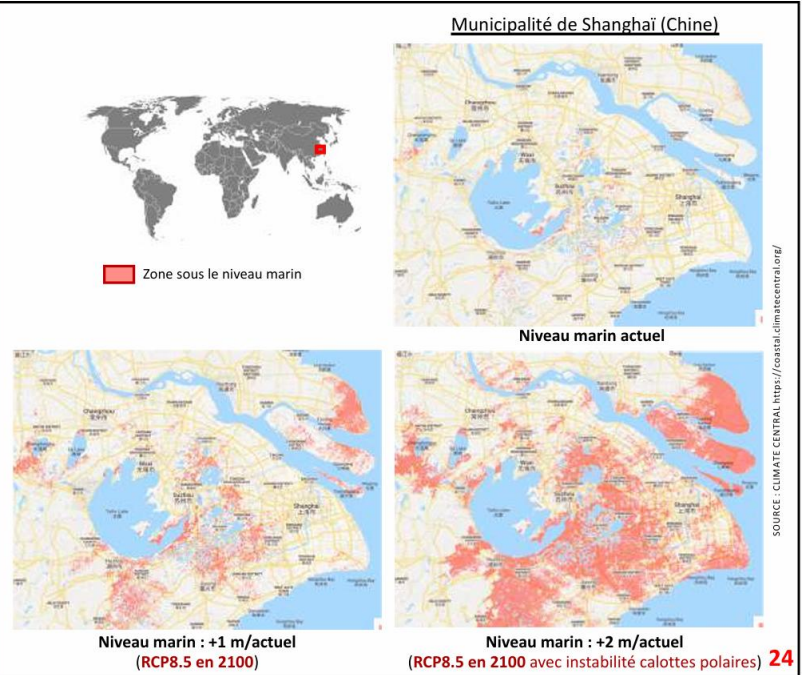
Tracé des côtes

Suivant les **projections même les plus modestes**, les **traits de côte** seront affectés **significativement** dans les prochains siècles.

Il pourrait l'être bien avant dans certaines régions :

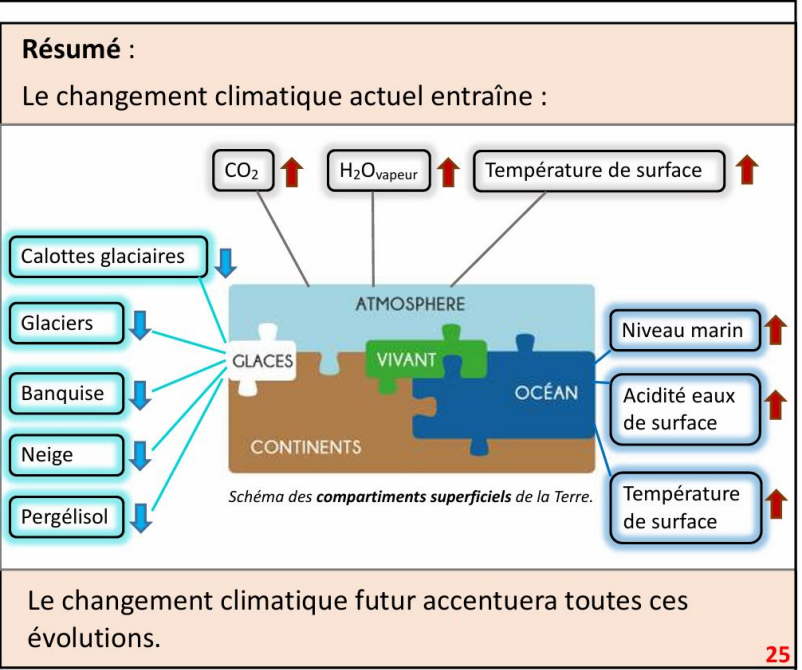


4) Les manifestations du changement climatique #1



24

4) Les manifestations du changement climatique #1



25

4) Les manifestations du changement climatique #1

Références bibliographiques

IPCC (2007) Climate change 2007 : The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

IPCC (2014) Climate change 2013 : The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

IPCC (2021) Climate change 2021 : The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

FRANCOU, B. & MÉLIÈRES, M-A. (2021) Coup de chaud sur les montagnes. Paulsen éditions/Guérin, Chamonix. 237 pp.

JOUVET, G. & HUSS, M. (2019) Future retreat of Great Alescht Glacier. Journal of Glaciology, 1-4.

RAVANEL, L., MAGNIN, F., GALLACH, X., & DELINE, P. (2020) Évolution des parois rocheuses gelées de haute montagne sous forçage climatique. La Météorologie, 111.

VELICOGNA, I., MOHAJERANI, Y., GERUO, A., LANDERER, F., MOUGINOT, J., NOEL, B., SUTTERLEY, T., VAN DEN BROEKE, M. VAN WESSEM, M. & WIESE, D. (2020) Continuity of ice sheet mass loss in Greenland and Antarctica from the GRACE and GRACE Follow on missions. Geophysical Research Letter, 47, 8.

VERFAILLIE, D., LAFAYSSSE, M. DÉQUÉ, M., ECKERT, N., LEJEUNE, Y. & MORIN, S. (2018) Multi-component ensembles of future meteorological and natural snow conditions for 1500 m altitude in the Chartreuse mountain range, Northern French Alps. The Cryosphere, 12, 1249-1271.

ZEMP, M., HUSS, M., THIBERT, E., ECKERT, N., MCNABB, R., HUBER, J., BARANDUN, M., MACHGUTH, H., NUSSBAUMER, S. U., GÄRTNER-ROER I., THOMSON, L., MAUSSION, F., KUTUZOV, S. & COGLEY, J. G. (2019) Global glacier mass changes and their contributions to sea-level rise from 1961 to 2016, *Nature* 568, 382-386.

26

Climat #2

Le changement climatique en cours



Chloé Maréchal

LGL-TPE – Université Lyon 1



Climat #2

Le changement climatique en cours

- 1) L'évolution actuelle du climat
- 2) Quelle est la cause du changement climatique ?
- 3) Les projections du climat futur
- 4) Les manifestations du changement climatique #1/2/3
- 5) L'enseignement du passé sur la crise climatique
- 6) L'adaptation des sociétés
- 7) L'atténuation des émissions de gaz à effet de serre

Capsule 5

4) Les manifestations du changement climatique #2

4) Les manifestations du changement climatique #2

Objectifs :

Retenir les principales caractéristiques de l'évolution climatique actuelle et future pour les événements extrêmes

Connaître le principe des « points de basculement », ainsi qu'un exemple actuel, et les risques futurs éventuels liés à ce processus

4) Les manifestations du changement climatique #2

Les événements extrêmes

Qu'est-ce qu'un « événement extrême » ?

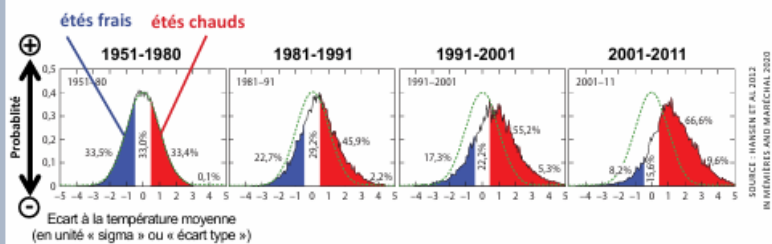
C'est un événement caractérisés par des températures et/ou des précipitations et/ou des vents ... extrêmes.

Ces événements sont inhabituels.

4) Les manifestations du changement climatique #1

Canicules

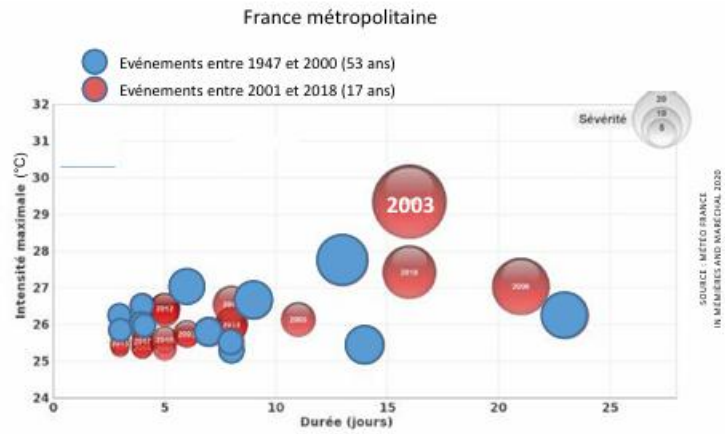
Continents de l'hémisphère nord



Evolution de la fréquence d'apparition de l'anomalie de température estivale (juin, juillet, août) sur les continents de l'hémisphère Nord, relativement aux distributions de 1951-1980, entre 1951-1980 et 2001-2011. La distribution est normalisée (l'aire de la courbe est égale à 1).

Sur les continents de l'hémisphère nord, la probabilité des situations extrêmement chaudes (survenant à plus de 3 « sigmas ») a augmenté, passant de moins de 1% en 1951-1980 à près de 10% en 2001-2011.

4) Les manifestations du changement climatique #1



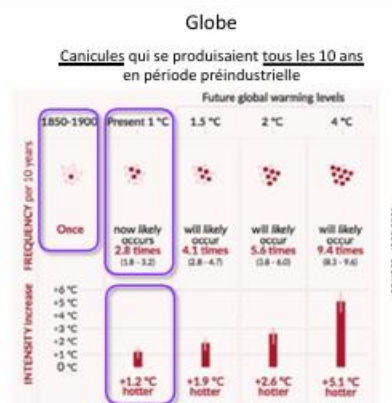
Vagues de chaleur observées en France métropolitaine entre 1947 et 2018.

Sur cette figure, le recensement s'arrête en 2018 : la double canicule de 2019 n'apparaît donc pas.

Les canicules récentes sont **plus nombreuses, plus longues et plus intenses** (température plus élevée).

4) Les manifestations du changement climatique #1

Et dans le futur ?



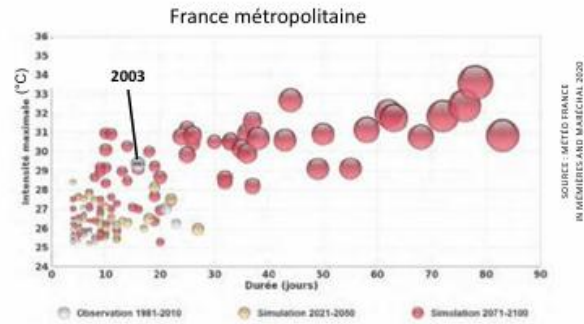
Évolution de la fréquence et de l'intensité des canicules se produisant une fois tous les 10 ans (à gauche) et tous les 50 ans (à droite) en moyenne dans un climat sans influence humaine.

Une canicule, qui survient une fois en 10 ans au 19^{ème} siècle, survient actuellement 2,8 fois plus souvent en 10 ans, et elle est en moyenne plus chaude de 1,2°C.

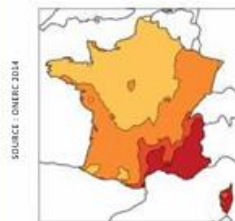
Ce sera 5,6 fois plus souvent en 10 ans si la température globale augmente de 2°C (et 2,6°C plus chaud qu'en période préindustrielle), 9,4 fois plus souvent si elle augmente de 4°C (et 5,1°C plus chaud).

L'augmentation future de la fréquence et de l'intensité des canicules est inévitable.

4) Les manifestations du changement climatique #1



Vagues de chaleur en France métropolitaine observées entre 1981 et 2010 (gris) et simulée entre 2011 et 2050 (jaune) puis entre 2071 et 2100 (rose) selon le scénario RCP8.5. Modèle Aladin de Météo France.

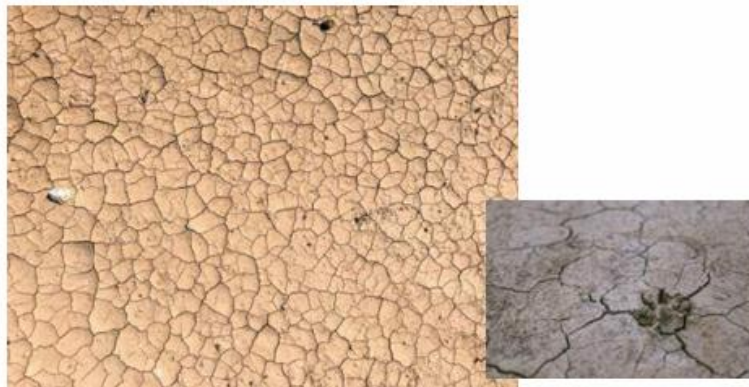


Simulation de l'évolution du nombre de jours de vagues de chaleur en été selon le scénario RCP8.5 d'après le modèle WRF de l'IPSL, en 2071-2100, relativement à la période 1976-2005.

En France métropolitaine, les canicules deviendront plus intenses et plus longues selon le scénario RCP8.5 ; la partie sud sera plus impactée.

4) Les manifestations du changement climatique #1

Sécheresse



Avec le réchauffement, les étés plus chauds engendrent des sécheresses dans certaines régions, qui peuvent être très dommageables pour l'agriculture et l'élevage, et source de famines.

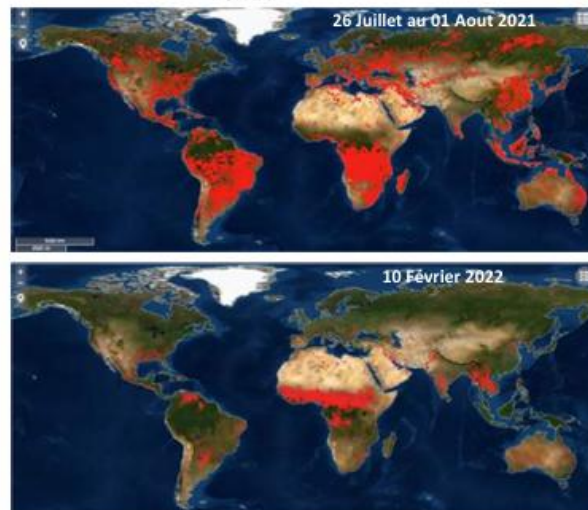
4) Les manifestations du changement climatique #1

Incendies



4) Les manifestations du changement climatique #1

Globe



SOURCE : NASA FIRMS (FIRE INFORMATION FOR RESOURCES MANAGEMENT SYSTEM)
<https://firms.modaps.eosda.nasa.gov/map/>

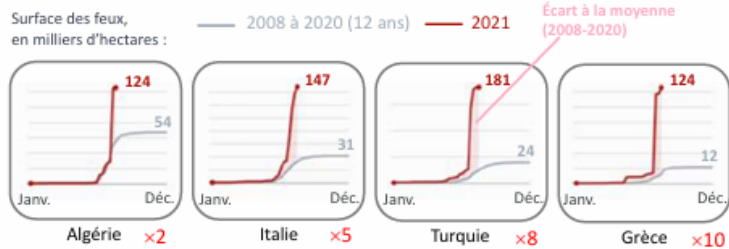
Cartes de **répartition des feux** (en rouge) en Juillet/Août 2021 (haut) et le 10 Février 2022 (bas) sur le globe.

La carte mondiale des feux d'août 2021 montre que peu d'endroits ont été épargnés par les incendies ravageurs qui ont sévi cet été dans l'hémisphère nord.

4) Les manifestations du changement climatique #1

Europe et bassin méditerranéen

Surface des feux,
en milliers d'hectares :



SOURCE : SYSTÈME EUROPÉEN D'INFORMATION SUR LES INCENDIES/FEUX EN LE MONDE 2021

Surfaces brûlées (en milliers d'hectare) dans quatre pays européens et du bassin méditerranéen en 2021 (en rouge). Ces surfaces sont comparées à la moyenne établie entre 2008 et 2020 (en gris). La zone colorée en rose représente l'écart à la moyenne (2008-2020).

En été 2021, les incendies ont été très importants dans plusieurs pays européens et du bassin méditerranéen, s'étendant sur une surface 2 à 10 fois supérieure que celle moyenne pour la période 2008 à 2020.

1) Comment se manifeste le changement climatique en cours ?

Le réchauffement planétaire et l'augmentation de la fréquence des canicules induisent une sécheresse accrue des sols qui favorise le départ des feux, notamment en période estivale.

La prolifération des insectes ravageurs (ex. scolyte) suite au réchauffement climatique augmente la mortalité des résineux, et les forêts malades de ces attaques brûlent comme des allumettes.

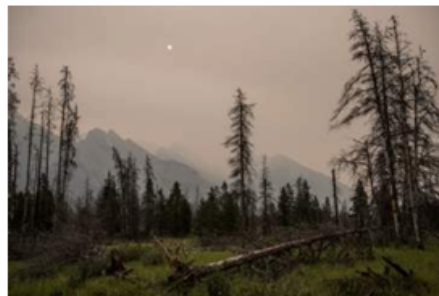


PHOTO : J. CRITOT

Feu de forêt en Alberta (Canada) le 21 Août 2018. Une grande superficie des forêts dans l'ouest du Canada sont soumises aux attaques de scolyte dendrochtone.

La surface française concernée annuellement par des conditions météorologiques propices aux départs de feux de forêt a doublé entre 1970 et 2008, passant de 15% à 30% (moyenne sur 11 ans) (ONREC, 2020).

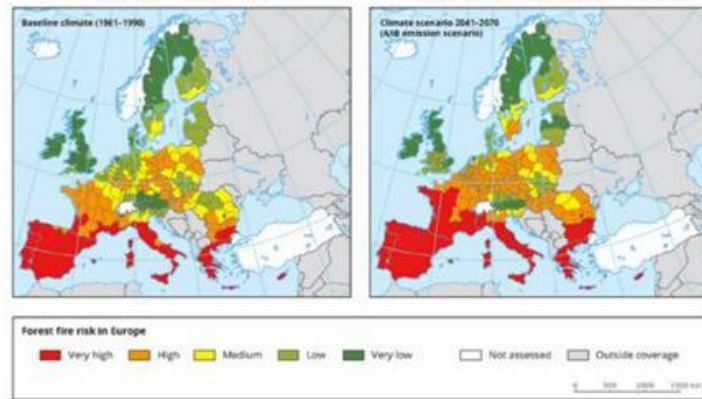
4) Les manifestations du changement climatique #1

Et dans le futur ?

Europe

Période 1961-1990

Scénario A1B : période 2041-2070



Risques de feux de forêt en Europe.

Scénario A1B d'émission de gaz à effet de serre : +3°C global en 2100.

Les risques de feux de forêt en Europe augmenteront, suite à l'augmentation des températures et des canicules, à l'augmentation des sécheresses (en particulier dans la partie sud de l'Europe).

La saison des feux de forêt durera plus longtemps et les feux seront plus dévastateur.

12

4) Les manifestations du changement climatique #1

Pluies torrentielles et inondations

Europe

Ex. France métropolitaine : les épisodes « cévenoles » ou « méditerranéens »

Ce sont des orages particulièrement intenses.

Ils résultent de la présence d'une mer proche chaude, la mer Méditerranée, et d'un flux d'air sud-nord qui amène l'air chaud chargé de vapeur d'eau sur les reliefs montagneux. Cet air est constamment rechargé en eau vapeur par son passage sur la Méditerranée.

Schéma de mise en place d'un épisode cévenole/méditerranéen.



Ces dernières décennies les eaux de surface de la Méditerranée se sont réchauffées d'environ 1°C, entraînant une évaporation plus intense et des masses d'air plus chargées d'humidité.

Cette évolution accroît la fréquence et l'intensité des épisodes méditerranéens.

13

4) Les manifestations du changement climatique #1

Autres événements extrêmes dus au dérèglement climatique : les tempêtes et les inondations destructrices comme celles qui ont frappé la ville d'Erfstadt-Blessem, en Allemagne, en juillet dernier.



PHOTO : RHEIN-ERFT-KREIS / ZUMA PRESS/REA

Erfstadt-Blessem (Allemagne), en juillet 2021.



Lyon 1

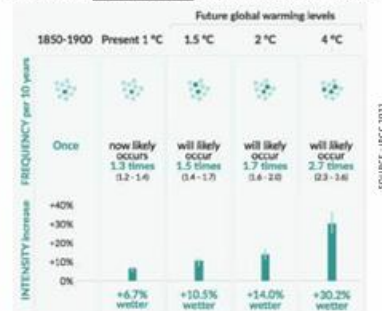
14

4) Les manifestations du changement climatique #1

Et dans le futur ?

Globe

Précipitations intenses sur les continents qui se produisaient tous les 10 ans en période préindustrielle



Évolution de la fréquence et de l'intensité des précipitations intenses de 1 jour sur les continents se produisant une fois tous les 10 ans en moyenne dans un climat sans influence humaine.

Une précipitation intense qui survient sur les continents une fois en 10 ans au 19^{ème} siècle, survient actuellement 1,3 fois plus souvent en 10 ans. Ce sera 1,7 fois plus souvent si la température globale augmente de 2°C par rapport à la période préindustrielle, et 2,7 fois plus souvent si elle augmente de 4°C.

L'augmentation future de la fréquence et de l'intensité des précipitations extrêmes sur les continents est inévitable sur certaines régions.

15

4) Les manifestations du changement climatique #1

Cyclones tropicaux, ouragans, tornades



Tous ces événements sont **en augmentation**.

4) Les manifestations du changement climatique #2

Les « points de basculement » ou « seuils de rupture »

Qu'est-ce que c'est ?

C'est lorsqu'un **petit changement** fait basculer abruptement un système dans un état **totale-ment nouveau**.

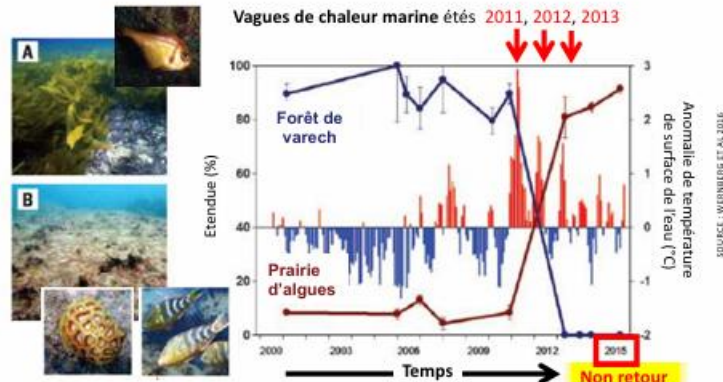
Vidéo montrant le franchissement d'un point de basculement pour la construction en bois d'un jeune enfant.



Ce **basculement** est **irréversible**.

4) Les manifestations du changement climatique #2

Ex. Australie de l'ouest : le franchissement d'un point de basculement pour un écosystème marin.



Anomalies de la température de surface de l'eau (°C) relatives à la moyenne 1981-2015 et basculement du régime des forêts de kelps (A) à celui de prairies d'algues (B) après les vagues de chaleur marine des étés 2011, 2012, 2013, vers Kalbarri (Australie de l'ouest).

La température de l'océan de surface augmente continuellement depuis les années 1970. Cette augmentation a été ponctuée dans les années 2010 par trois étés parmi les plus chauds.

Sur 600 km de fonds marins le long de la côte, les espèces caractéristiques des eaux tempérées ont été remplacées par des espèces caractéristiques des eaux tropicales et subtropicales. 18

4) Les manifestations du changement climatique #2

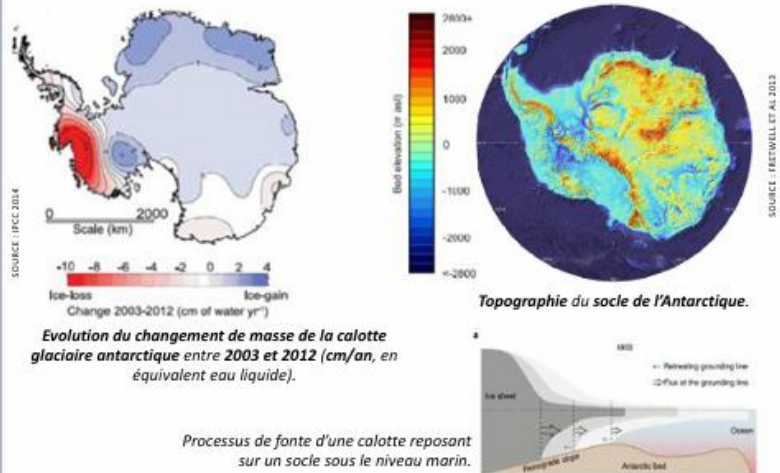
Et dans le futur ?



Neuf points de basculement (« tipping points ») à craindre dans le cas du réchauffement anthropique.

4) Les manifestations du changement climatique #1

Ex. Calotte antarctique ouest



La calotte antarctique ouest est soumise à la fonte des glaces.

Or cette partie de la calotte polaire repose sur un socle qui est en-dessous du niveau marin.

Sous l'effet du réchauffement des eaux océaniques, le point d'accroche de la calotte recule car il est situé sous le niveau marin, ce qui peut rendre instable la calotte polaire.

20

4) Les manifestations du changement climatique #2

Résumé :

Le changement climatique actuel entraîne :

- des canicules plus fréquentes, plus longues et plus intenses,
- des épisodes de sécheresse plus fréquents sur certaines régions,
- des incendies plus fréquents et plus étendus,
- des épisodes de pluie torrentielle plus fréquents sur certaines régions, ainsi que des tempêtes et des cyclones.

Le changement climatique futur accentuera toutes ces évolutions.

Des points de basculement sont identifiés sur Terre qui pourraient avoir lieu dans un avenir rapproché.

Références bibliographiques

CARBON BRIEF

<https://www.carbonbrief.org/explainer-nine-tipping-points-that-could-be-triggered-by-climate-change>

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY REPORT (2017) CLIMATE CHANGE ADAPTATION AND DISASTER RISK REDUCTION IN EUROPE

[Hhttps://www.eea.europa.eu/publications/climate-change-adaptation-and-disaster](https://www.eea.europa.eu/publications/climate-change-adaptation-and-disaster)

HANSEN, J., SATOA, M. & RUEDY, R. (2012) Perception of climate change, PNAS E2415–E2423.

IPCC (2014) Climate change 2013 : The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

IPCC (2021) Climate change 2021 : The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

MELIERES, M-A. & MARECHAL, C. (2020) Climats : passé, présent, futur. Belin Editeur / Humensis, Paris. 426 pp.



NASA FIRMS (FIRE INFORMATION FOR RESOURCE MANAGEMENT SYSTEM)
<https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map/>

Climat #2

Le changement climatique en cours



Chloé Maréchal

LGL-TPE – Université Lyon 1



Chloé Maréchal
LGL-TPE – Université Lyon1

Climat #2

Le changement climatique en cours

- 1) L'évolution actuelle du climat
- 2) Quelle est la cause du changement climatique ?
- 3) Les projections du climat futur
- 4) Les manifestations du changement climatique #1/2/3
- 5) L'enseignement du passé sur la crise climatique
- 6) L'adaptation des sociétés
- 7) L'atténuation des émissions de gaz à effet de serre

Capsule 6

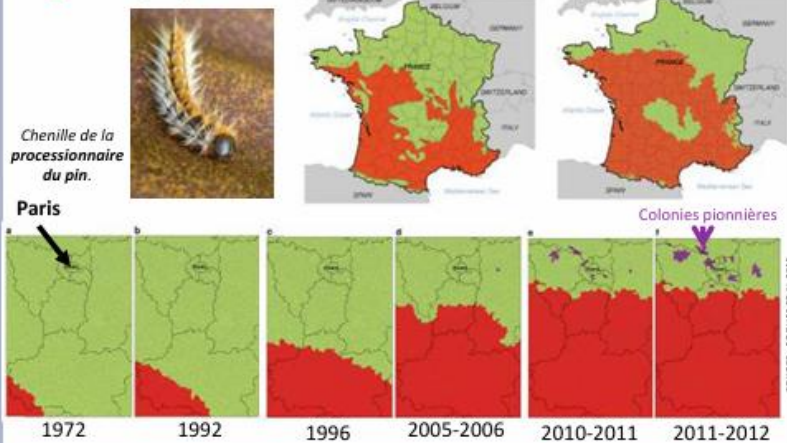
4) Les manifestations du changement climatique #3

Objectif :

Retenir les principales caractéristiques de l'évolution climatique actuelle et future pour le vivant, et pour les humains

4) Les manifestations du changement climatique #3

Migration/déplacement



Évolution de l'aire de répartition de la processionnaire du pin en France.

Les insectes mais aussi de nombreuses autres espèces (animaux et végétaux) migrent vers les plus hautes latitudes.

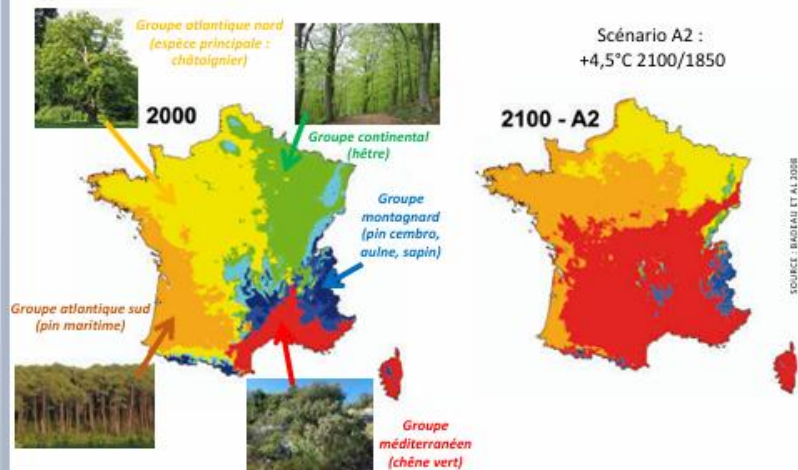
Ces migrations sont également observées en altitude en montagne.

En Europe de l'ouest, entre 0 et 2600 m, le déplacement des espèces arborées a été de 29 m par décennie entre 1905-1985 et 1986-2005 (Lenoir et al., 2008).

3

4) Les manifestations du changement climatique #3

Et dans le futur ?

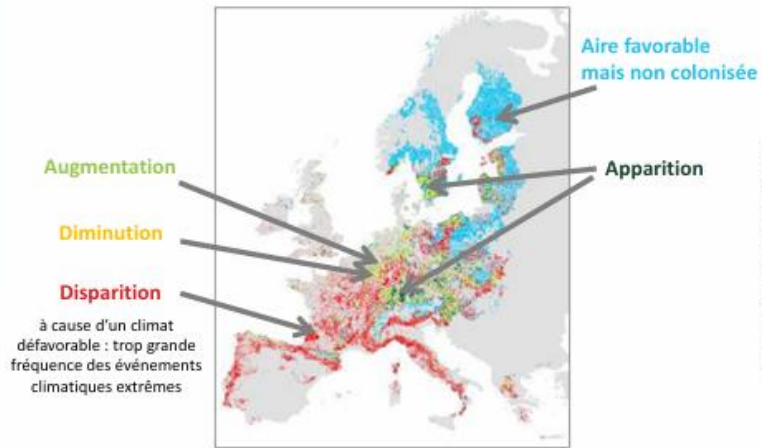


Aires de répartition des espèces arborées en 2000 en France métropolitaine et modélisation de ces aires en 2100, selon le scénario A2 médian (+4,5°C 2100/1850).

La vitesse de déplacement imposée par celle du réchauffement futur est bien supérieure à celle de colonisation des arbres et ces aires seront difficilement atteintes.

4

4) Les manifestations du changement climatique #3



SOURCE : CHUINE 2017 / D'APRÈS SALTER ET AL 2015

Changement d'aire de répartition du hêtre simulé pour 2100 selon des scénarios climatiques et d'utilisation des terres médians.

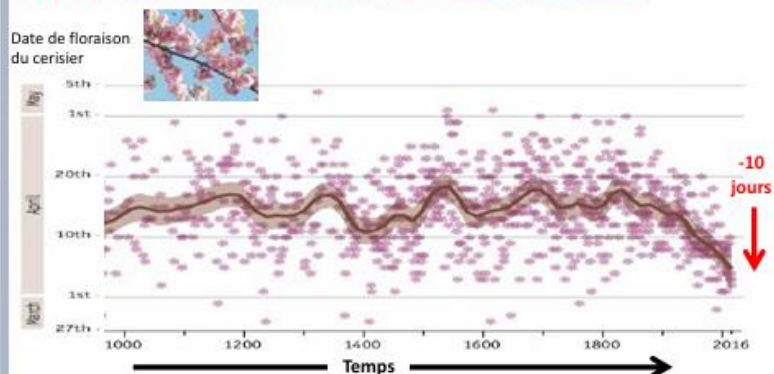
Par exemple pour le hêtre, l'aire favorable dans le scénario médian en 2100 (bleu) ne pourra pas être colonisée car la vitesse de colonisation imposée est trop rapide.

Le réchauffement futur conduira donc à une grande diminution des populations de hêtre en Europe occidentale.

5

4) Les manifestations du changement climatique #3

Avancée de la période chaude et modification du cycle de vie des espèces aux moyennes et hautes latitudes



SOURCE : YASUNORI AONO, DANA PRESECTUE UNIVERSITY

Évolution de la date de floraison du cerisier à Kyoto (Japon) de 1000 AD à 2016.

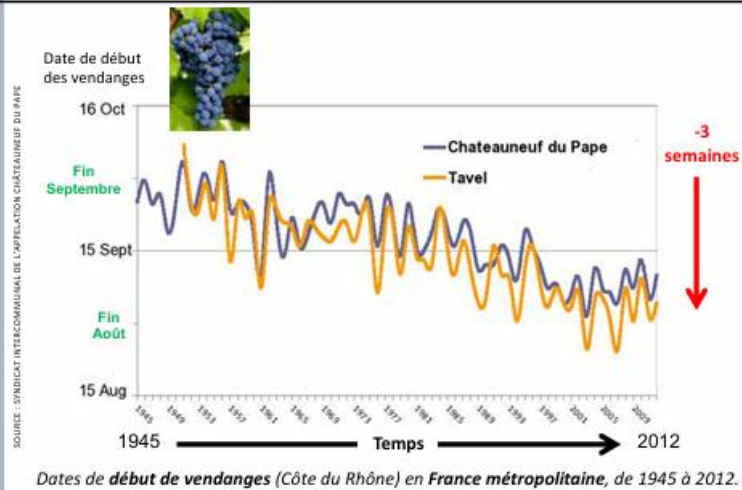
La date de floraison des cerisiers au Japon est stable depuis 1000 ans, autour de mi-Avril.

Depuis un siècle, cette date a avancé d'environ 10 jours, au 5 Avril.

Le calendrier de la végétation (phénologie) est avancé : le « Printemps » est plus précoce.

6

4) Les manifestations du changement climatique #3



Dates de début de vendanges (Côte du Rhône) en France métropolitaine, de 1945 à 2012.

En France, la date moyenne des vendanges pour les vignes du Côte du Rhône a avancée d'environ 3 semaines entre 1945 et 2012 (50 ans).

4) Les manifestations du changement climatique #3

Désynchronisation des écosystèmes

L'avancée de la saison chaude, correspondant à l'avancée du « Printemps », peut causer des décalages des cycles de vie.

Cerf élaphe



Chevreuil



Chevreuil : décalage de l'offre et de la demande de nourriture lors de la période de reproduction.
= 2 fois moins de chance de survie d'un jeune de 8 mois : **mortalité juvénile accrue**
= **fragilisation de la population**

A la différence des autres ongulés, le système de reproduction du chevreuil est calé sur la photopériode (moment où les jours commencent à rallonger).

4) Les manifestations du changement climatique #3

L'impact des vagues de chaleur marines sur les récifs coralliens



Image d'un récif corallien.

Les récifs coralliens de surface sont des abris de biodiversité : ils servent d'écloserie et de milieu de vie à de très nombreuses espèces.

Les coraux protègent les littoraux des fortes houles.

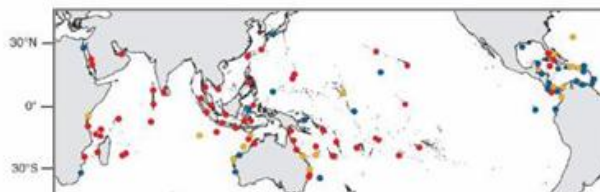
4) Les manifestations du changement climatique #3

Les coraux de surface vivent dans une certaine gamme de températures marines. Le **blanchissement des coraux** correspond à un état de détresse qui peut aboutir à leur mort, notamment sous l'effet d'une **augmentation de la température de l'océan de surface**.



Épisode de blanchissement du récif corallien de l'île de Moorea, Polynésie Française, en 2019.

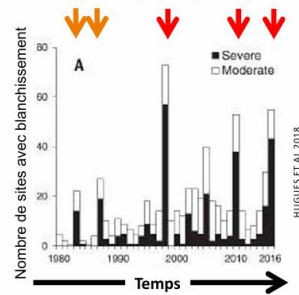
A partir des **années 1980**, d'événements locaux, les **épisodes de blanchissement des coraux** ont atteint des **dimensions régionales (supérieures à 1000 km)**, touchant simultanément les **récifs tropicaux de plusieurs océans**.

Etendue globale du **blanchissement des coraux en 2015 et 2016** (100 lieux d'étude).

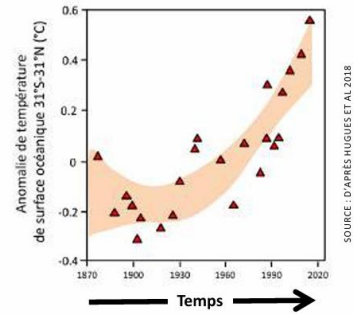
En **rouge** : **blanchissement sévère** affectant >30% des coraux, **orange** : blanchissement modéré (<30%), **bleu** : pas de blanchissement.

4) Les manifestations du changement climatique #3

Épisodes chauds sous-marins (El Niño) : 1983, 1987, 1998, 2010, 2016



Nombre de sites coralliens ayant blanchis chaque année de 1980 à 2016, sur 100 sites étudiés à travers le monde. En noir : blanchissement sévère ; en blanc : blanchissement modéré.



Anomalies de température de surface de l'eau de mer sur 1670 sites entre 31°N et 31°S, de 1870 à 2016, relativement à la période 1961-1990, lors des épisodes El Niño.

De **plus en plus de sites** sont touchés par un blanchissement sévère, en lien avec des épisodes chauds sur les tropiques, les épisodes El Niño, qui ont tendance à devenir de plus en plus chauds.

La fréquence des phénomènes de blanchissement des coraux a été **multipliée par 10 en moins de 40 ans**, passant d'un phénomène tous les 25-30 ans au début des années 1980 à un tous les 2 ans en 2017.

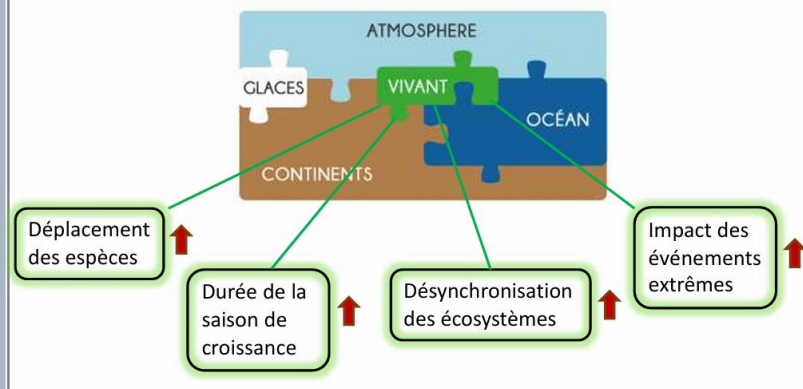
Or une fréquence trop rapprochée empêche les coraux de se régénérer car les espèces qui grandissent le plus rapidement mettent entre 10 et 15 ans pour se rétablir totalement, les autres bien davantage.

11

4) Les manifestations du changement climatique #3

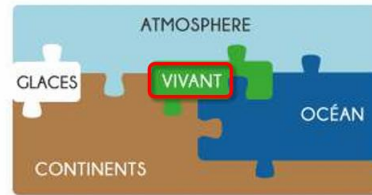
Synthèse

Schéma des **compartiments superficiels** de la Terre et des conséquences du changement climatique sur le vivant.



4) Les manifestations du changement climatique #3

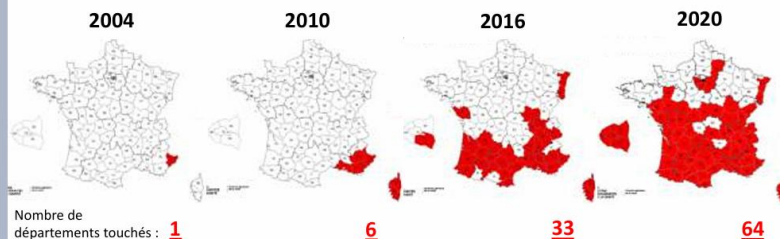
Dans le vivant, l'homme

Schéma des **compartiments superficiels** de la Terre.

4) Les manifestations du changement climatique #3

Santé

Le **Moustique tigre** (*Aedes albopictus*, *Aedes aegypti*) est un **vecteur** des virus de la **dengue**, du **chikungunya**, de **Zika**, de la **fièvre jaune** ...



Évolution de l'implantation du moustique tigre en France métropolitaine de 2004 (première apparition) à 2020. En rouge : présence d'*Aedes albopictus*.

En France métropolitaine :

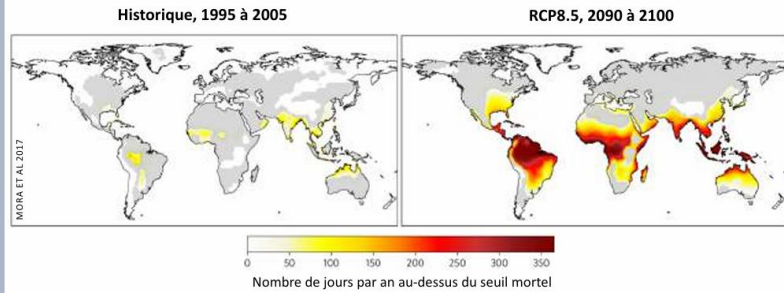
- Premières implantations d'*Aedes albopictus* : en 2004, à Menton,
- Premiers cas autochtones de dengue et de chikungunya : en 2010, dans le sud-est.

Avec le réchauffement, les zones infestées par des vecteurs de virus s'étendent vers les moyennes latitudes.

Cette expansion est également exacerbée par les activités humaines (transports d'humains et de produits commerciaux ...)

4) Les manifestations du changement climatique #3

Et dans le futur, comment l'Homme supportera-t-il des températures plus élevées ?

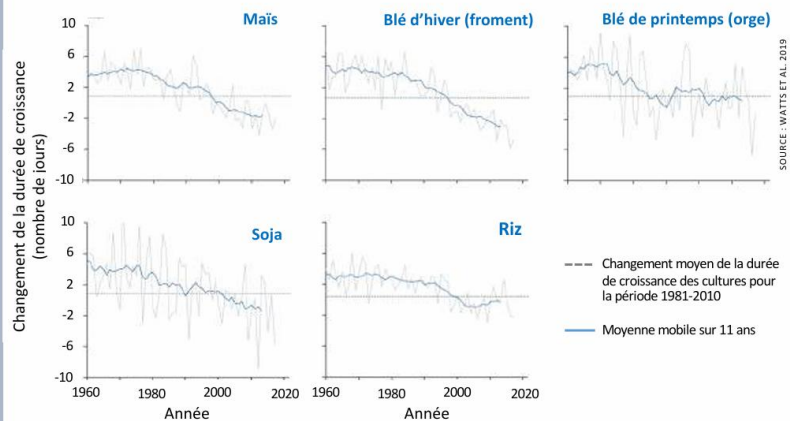


Répartition géographique des zones où les conditions climatiques peuvent être mortelles (c'est-à-dire qu'elles peuvent entraîner la mort lorsqu'un seuil en température et en humidité est dépassé) (en haut) au niveau historique en 1995-2005 et (en bas) selon le scénario RCP8.5 en 2090-2100, en nombre de jours par an au-dessus du seuil mortel.

La forte augmentation du nombre de jours au-dessus du seuil mortel affectera principalement les régions tropicales en 2100 dans le scénario RCP8.5.

4) Les manifestations du changement climatique #3

Nourriture

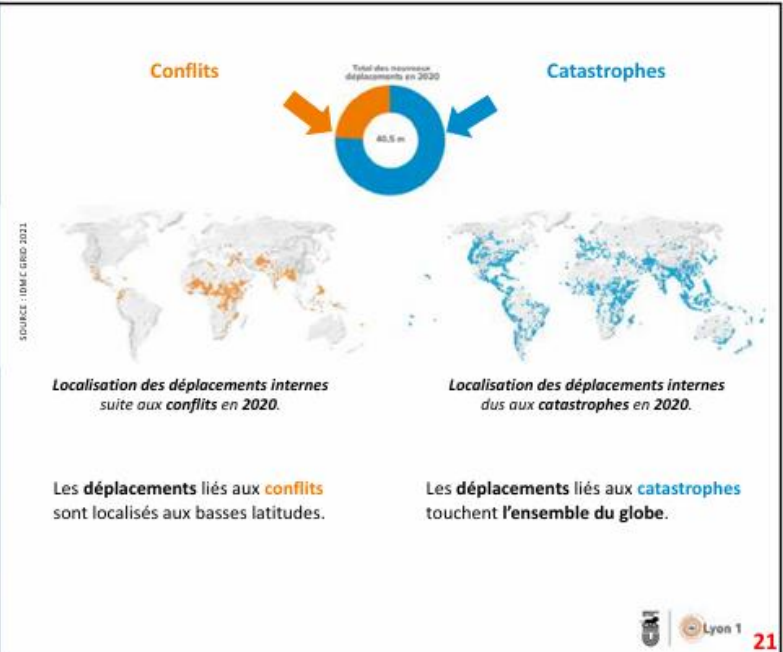
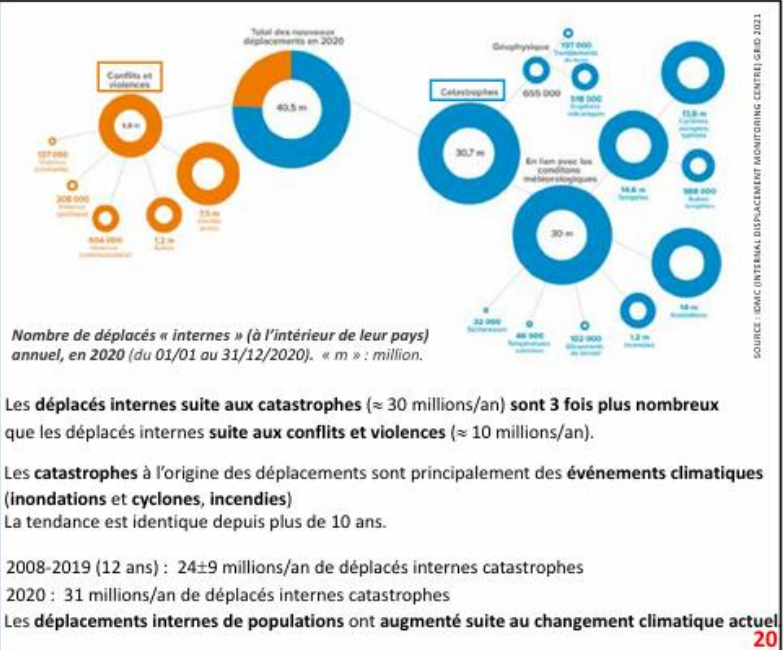


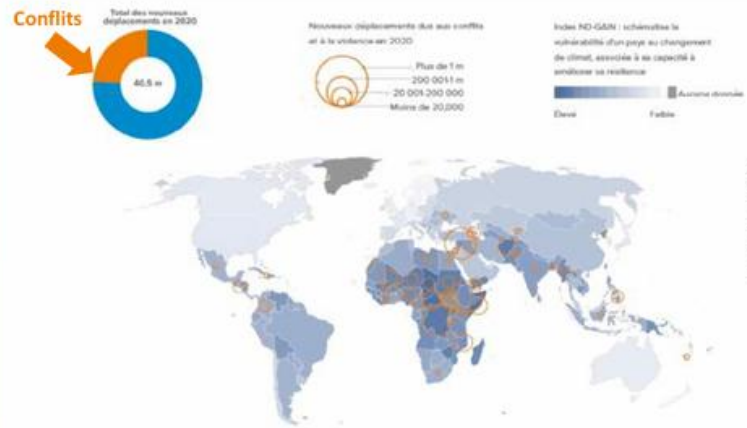
Changement de la durée de croissance des cultures au niveau mondial en tant qu'indicateur du rendement des cultures, pondérée en fonction de la superficie, de 1960 à 2020.

La durée de croissance des cultures a diminué sur les dernières décennies.

Or une réduction de cette durée signifie que la culture arrive trop vite à maturité et que le rendement en graines est plus faible.

Le rendement des cultures a ainsi diminué suite à l'augmentation de la température moyenne globale.





Nombre de déplacés internes annuel, par région, en 2020, suite aux conflits (« m » : million de déplacés) et vulnérabilité des pays au dérèglement climatiques selon l'indice ND-GAIN.

95% des déplacements internes annuels liés aux conflits, en 2020, ont eu lieu dans des pays très vulnérables, voir extrêmement vulnérables, au changement climatique.

Et dans le futur, que se passera-t-il pour les migrations humaines ?

Le réchauffement continuant dans le futur, les déplacements de populations augmenteront.

22

Résumé :

Le changement climatique actuel entraîne :

- une migration de la faune et de la flore vers les plus hautes latitudes,
- une avancée de la période chaude et une modification du cycle de vie des espèces,
- une désynchronisation de certains écosystèmes,
- une fragilisation des récifs coralliens

Pour les humains, ce réchauffement entraîne:

- une extension des zones d'implantation des vecteurs de virus,
- une diminution des rendements des principales céréales dont il se nourrit,
- des déplacements de population suite à l'augmentation des catastrophes (inondations, cyclones, incendies)

Ces tendances seront exacerbées avec la poursuite du réchauffement.

23

4) Les manifestations du changement climatique #3**Références bibliographiques**

BADEAU, V., DUPOUEY, J.-L., CLUZEAU, C., DRAPIER, J., & LE BAS, C. (2008) Chapter 11 : Climate change and the biogeography of French tree species: first results and Perspectives, *in* LOUSTAU, D. (ed.), *Forests, carbon cycle and climate change*, Quae, Paris, 231-252.

CHUINE, I., (2017) Déplacement d'aires de répartition *in* Les mécanismes d'adaptation de la biodiversité aux changements climatiques et leurs limites, Rapport de l'Institut de France, Académie des Sciences, 157 pp.

FOX, L., STUKINS, S., HILL, T., & MILLER, G. (2020) Quantifying the Effect of Anthropogenic Climate Change on Calcifying Plankton, *Scientific Reports*, 10.

HUGUES ET AL. (2018) Spatial and temporal patterns of mass bleaching of corals in the Anthropocene, *Science* 359, 80–83.

IDMC (INTERNAL DISPLACEMENT MONITORING CENTRE) (2021) GRID 2021, Déplacement interne et changement climatique, 84 pp.

LENOIR, J., GÉGOUT, J. C., MARQUET, P. A., DE RUFFRAY, P. & BRISSE, H. (2008) A Significant Upward Shift in Plant Species Optimum Elevation During the 20th Century, *Science*, 320.

MORA ET AL (2017) Global risk of deadly heat. *Nature Climate Change*, 7.

PLARD, F., GAILLARD, J.-M., COULSON, T., HEWISON, J. M., DELORME, D., WARNANT, C., & BONENFANT, C. (2014) Mismatch Between Birth Date and Vegetation Phenology Slows the Demography of Roe Deer, *PLoS Biol* 12(4).

ROQUES, A., ET AL. (2015) Chapter 3 : Climate Warming and Past and Present Distribution of the Processionary Moths (*Thaumetopoea* spp.) in Europe, Asia Minor and North Africa, *in* ROQUES, A. (ed.), *Processionary Moths and Climate Change : An Update*, Quae, Paris, 231-252.

SALTRÉ, F., DUPUTIÉ, A., GAUCHEREL, C., CHUINE, I. (2015). How climate, migration ability and habitat fragmentation affect the projected future distribution of European beech. *Global Change Biology*, 21: 897-910

ZHAO, C., ET AL (2017) Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates, *PNAS*, 114. **24**

Climat #2

Le changement climatique en cours



Chloé Maréchal

LGL-TPE – Université Lyon 1



Chloé Maréchal
LGL-TPE – Université Lyon1

Climat #2

Le changement climatique en cours

- 1) L'évolution actuelle du climat
- 2) Quelle est la cause du changement climatique ?
- 3) Les projections du climat futur
- 4) Les manifestations du changement climatique #1/2/3
- 5) L'enseignement du passé sur la crise climatique
- 6) L'adaptation des sociétés
- 7) L'atténuation des émissions de gaz à effet de serre

Capsule 7

L'enseignement du passé sur la crise climatique

5) L'enseignement du passé sur la crise climatique

Objectifs :

Parvenir à situer l'importance du réchauffement anthropique par rapport aux changements climatiques passés

Analyser comment le réchauffement anthropique futur risque de fortement bouleverser l'équilibre de la vie sur Terre

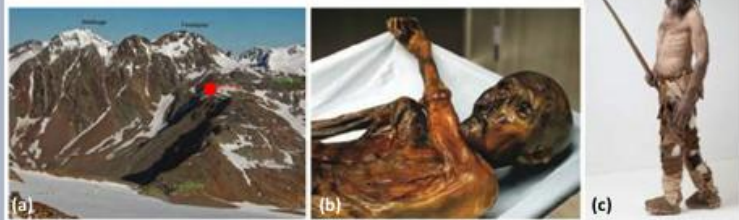
5) L'enseignement du passé sur la crise climatique

L'apport des derniers milliers d'années à la compréhension du changement climatique présent

Actuellement, le réchauffement anthropique global est d'environ $+1^{\circ}\text{C}$ par rapport à la période préindustrielle.

Comment se compare le réchauffement actuel avec les phases chaudes des derniers millénaires (les « optimums » ou « coups de chaud ») ?

5) L'enseignement du passé sur la crise climatique



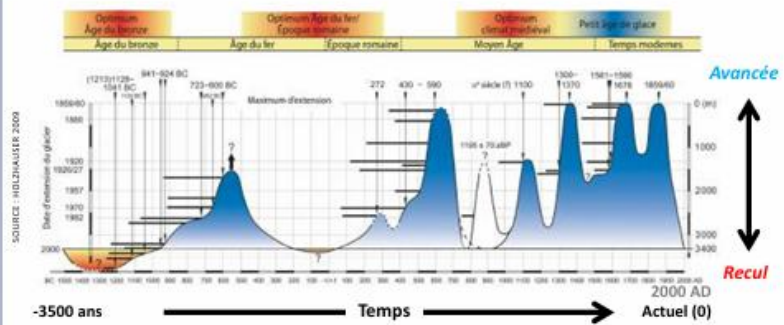
(a) Localisation du lieu de découverte d'Ötzi sur le glacier d'Hauslabjoch dans les Alpes de l'Ötztal (Tyrol) (point rouge), (b) La momie d'Ötzi, (c) Reconstitution d'Ötzi, « l'homme des glaces ».

SOURCE : (a) PHOTO EDG BDI, (b) SOUTH TYROL MUSEUM OF ARCHIOLOGY, (c) MUSEE ARCHIOLOGY BOLZANO, ITALIE

La momie d'Ötzi a été découverte en 1991 : elle émergeait à moitié de la glace à 3210 m d'altitude dans les Alpes de l'Ötztal (Italie/Autriche).

Ötzi vivait il y a ≈ 5300 ans, à l'âge du cuivre, une période de climat chaud.

5) L'enseignement du passé sur la crise climatique



Reconstitution de la longueur du glacier d'Aletsch (Suisse) et donc de ses avancées et reculs, depuis 3500 ans.

La découverte d'Ötzi en 1991 suggère que l'intensité des phases chaudes qui ont suivi sa mort, notamment l'optimum de l'âge du bronze, la période romaine et l'optimum climatique médiéval, a été moins importante que le réchauffement anthropique actuel (≈ 2020).

Les températures aussi élevées que celles d'il y a plus de 5000 ans ont été atteintes ... en moins de deux siècles.

5) L'enseignement du passé sur la crise climatique

L'apport des derniers millions d'années à la compréhension du changement climatique futur

Les projections de l'évolution de la température globale donnent :

- au moins $+2^{\circ}\text{C}$ vers le milieu de notre siècle par rapport à l'époque préindustrielle, température stabilisée suite à des réductions drastiques des émissions (scénario RCP2.6),
- $+5^{\circ}\text{C}$ en 2100 si les émissions continuent sur leur lancée actuelle (scénario RCP8.5).

Comment se compare le réchauffement futur (2100) avec les périodes chaudes des derniers millions d'années (les « périodes interglaciaires ») ?

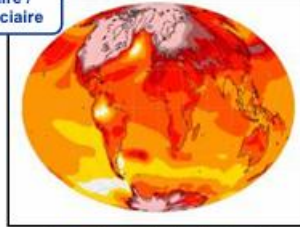
5) L'enseignement du passé sur la crise climatique

(1)

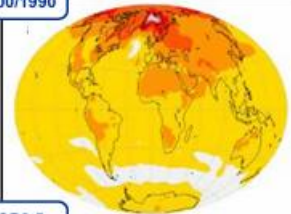
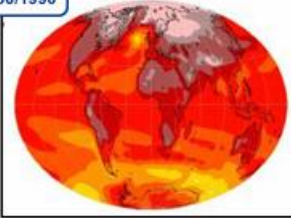
Dans le cas d'un réchauffement de +5°C en 2100 (RCP8.5), le **changement climatique sera très fort** : du même ordre de grandeur que lors du passage d'une période glaciaire à une période interglaciaire.

Glaciaire / Interglaciaire

SOURCE : IPSL



0 1 2 3 4 5 6 7 8 (°C)

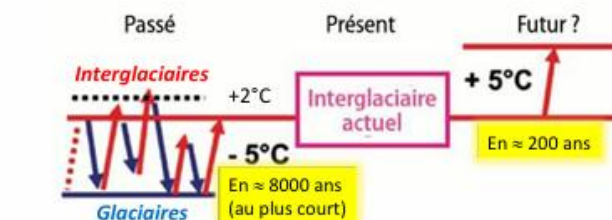
RCP2.6
2100/1990RCP8.5
2100/1990

Changement de température en surface terrestre : (à gauche) lors d'une **déglaçiation** (passage du dernier maximum glaciaire à l'interglaciaire actuel préindustriel), (à droite) lors du **réchauffement anthropique** en 2100 par rapport à 1990 par le modèle IPSL-CM5A-LR, pour les scénarios RCP2.6 et 8.5.

7

5) L'enseignement du passé sur la crise climatique

(2)



Oscillations glaciaires/interglaciaires depuis environ 3 millions d'années

Comparaison du changement de la température moyenne globale à la surface de la Terre au cours des oscillations glaciaire/interglaciaire (encadrées par la ligne bleue et la ligne pointillée noire) et l'augmentation de température à la fin du 21^{ème} siècle simulée dans le scénario RCP8.5.

Dans le cas d'un réchauffement de +5°C en 2100, le changement climatique sera **extrêmement rapide au regard des évolutions du climat des derniers milliers d'années, des derniers millions d'années** : il sera fulgurant.

8

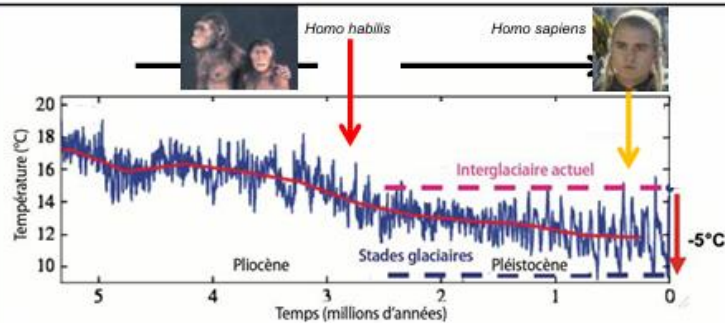
5) L'enseignement du passé sur la crise climatique

Variation de température globale (°C)				
Sur les dizaines de millions d'années	Sur plusieurs milliers d'années aux dizaines de milliers d'années	Sur quelques milliers d'années	Sur les siècles	Sur les dizaines d'années, les années
Dérive continentale : ≈ -10aine °C	Oscillations glaciaire / interglac. : ≈ 5°C	Interglaciaire actuel : ≈ 1°C	Petit Age Glaciaire : ≈ -0,5°C Activités humaines (1850-2100) : ≈ 2°C à 5°C	Volcanisme explosif : ≈ -0,2°C El Niño : ≈ 0,2°C Cycles solaires de 11 ans : < 0,1°C

Tableau synthétique des **variations de la température globale** (ordre de grandeur) pour différentes périodes de temps, relatives à différentes causes (naturelles et anthropique).

Dans le cas d'un réchauffement de +5°C en 2100, ce changement climatique anthropique se fera en quelques siècles au lieu de plusieurs milliers d'années naturellement.

5) L'enseignement du passé sur la crise climatique

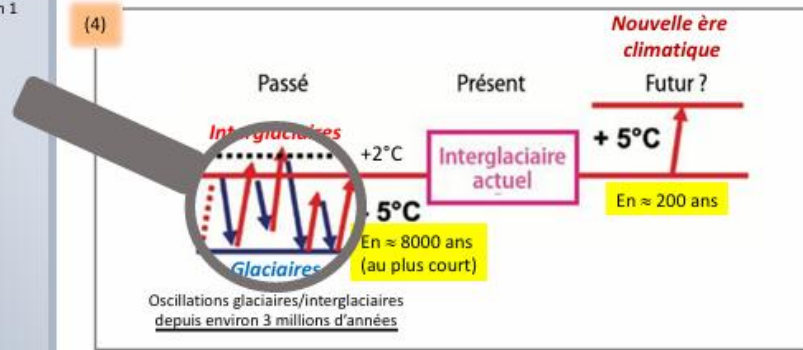


En **période glaciaire**, la **température globale** est de ≈ 10°C, en **période interglaciaire**, de ≈ 15°C, sur les derniers cycles climatiques.

Une augmentation de +5°C à partir de l'interglaciaire actuel projetterait la Terre dans un **climat nouveau** (T ≈ 20°C), qui n'a pas eu d'équivalent depuis au moins 5 millions d'années : une nouvelle ère climatique.

... à une époque où le genre humain (*Homo*), apparu il y a près de 2-3 millions d'années, n'existait pas
a fortiori non plus *Homo sapiens*, notre espèce, apparue il y a environ 300 000 ans ...

5) L'enseignement du passé sur la crise climatique



SOURCE : M. LEBLANC ET M. MARÉCHAL 2020

Comparaison du changement de la température moyenne globale à la surface de la Terre au cours des oscillations glaciaire/interglaciaire (encadrées par la ligne bleue et la ligne pointillée noire) et l'augmentation de température à la fin du 21^{ème} siècle simulée dans le scénario RCP8.5.

Le vivant (végétaux et animaux) s'est adapté aux allers-retours du climat entre périodes glaciaires et périodes interglaciaires depuis ≈ 3 millions d'années (ou bien les populations ont disparues).

Un réchauffement de +5°C en un temps record (2 siècles) induira une rupture profonde du méta-équilibre du vivant actuel qui s'est établi depuis des millions d'années.

Cela amènera inévitablement de **profonds bouleversements dans les écosystèmes**.

Une sixième extinction massive de la biodiversité ?!

Les humains font partie de ce vivant et en dépendent totalement.



12

5) L'enseignement du passé sur la crise climatique

Un réchauffement anthropique de +5°C en 2100 (scénario RCP8.5) :



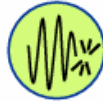
- sera très fort
(comparable aux réchauffement lors des dernières déglaciations)



- sera très rapide



- sera un événement sans équivalent au cours des derniers millions d'années : un réchauffement de plusieurs degrés à partir d'une période interglaciaire, c'est-à-dire déjà chaude



- induira une rupture de la cyclicité climatique glaciaire/interglaciaire et des méta-équilibres qui en découlent



- durera longtemps (des milliers d'années)

Ceci conduira à l'établissement d'une **nouvelle ère climatique**.



13

5) L'enseignement du passé sur la crise climatique

L'humanité : maintenant, et dans un futur proche

Une dette qui pourrait être bien lourde ...

Aucune fluctuation naturelle du climat ne peut atténuer de façon efficace le réchauffement climatique anthropique en cours.

Ce réchauffement est laissé en héritage aux jeunes générations et aux générations futures.

Selon son amplitude, +2°C à +5°C en 2100, la société actuelle laissera aux sociétés humaines futures une dette qui pourrait être très difficilement gérable.

Et maintenant ?

La communauté scientifique demande impérativement de limiter le réchauffement global à +2°C par rapport à l'époque préindustrielle, en réduisant drastiquement dès maintenant les émissions anthropiques de gaz à effet de serre

Deux axes restent donc à développer :

- « l'adaptation » des sociétés humaines au réchauffement inéluctable de +2°C dans les décennies à venir
- « l'atténuation » des émissions anthropiques de gaz à effet de serre à travers la diminution drastique de l'utilisation des combustibles fossiles et de la déforestation tropicale

14

5) L'enseignement du passé sur la crise climatique

Résumé :

Il faut remonter à plus de 5000 ans en arrière pour retrouver un réchauffement comparable à celui actuel (≈ 2020), d'origine anthropique.

La non-maîtrise des émissions de gaz à effet de serre conduira à un réchauffement anthropique de ≈ +5°C en 2100 par rapport à l'époque préindustrielle.

* Ce réchauffement :

- sera très fort,
- sera très rapide,
- sera établi pour une longue durée,
- se fera à partir d'un climat déjà chaud, interglaciaire : ceci nous fera sortir du cadre naturel des oscillations glaciaires / interglaciaires établi depuis des millions d'années.

* Le vivant (dont l'homme) sera très fortement impacté.

* Les générations futures auront alors à faire face à une très lourde dette léguée par les sociétés actuelles.

15

5) L'enseignement du passé sur la crise climatique

Références bibliographiques

HANSEN, J., SATO, M., RUSSELL, G. & KHARECHA, P. (2013) Climate sensitivity, sea level and atmospheric carbon dioxide, *Philosophical Transactions of the Royal Society A* 371, 20120294.

HOLZHAUSER, H., MAGNY, M. & ZUMBÜHL, H. (2009) Glacier and lake-level variations in west-central Europe over the last 3500 years, *The Holocene*, 15, 6, 789-801.

MELIERES, M-A. & MARECHAL, C. (2020) *Climats : passé, présent, futur*. Belin Editeur / Humensis, Paris. 426 pp.

