

**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

**Chloé Maréchal**  
LGL-TPE – Université Lyon1

# Capsule 1

## L'évolution actuelle du climat



Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1

### 1) L'évolution actuelle du climat

#### Objectifs :

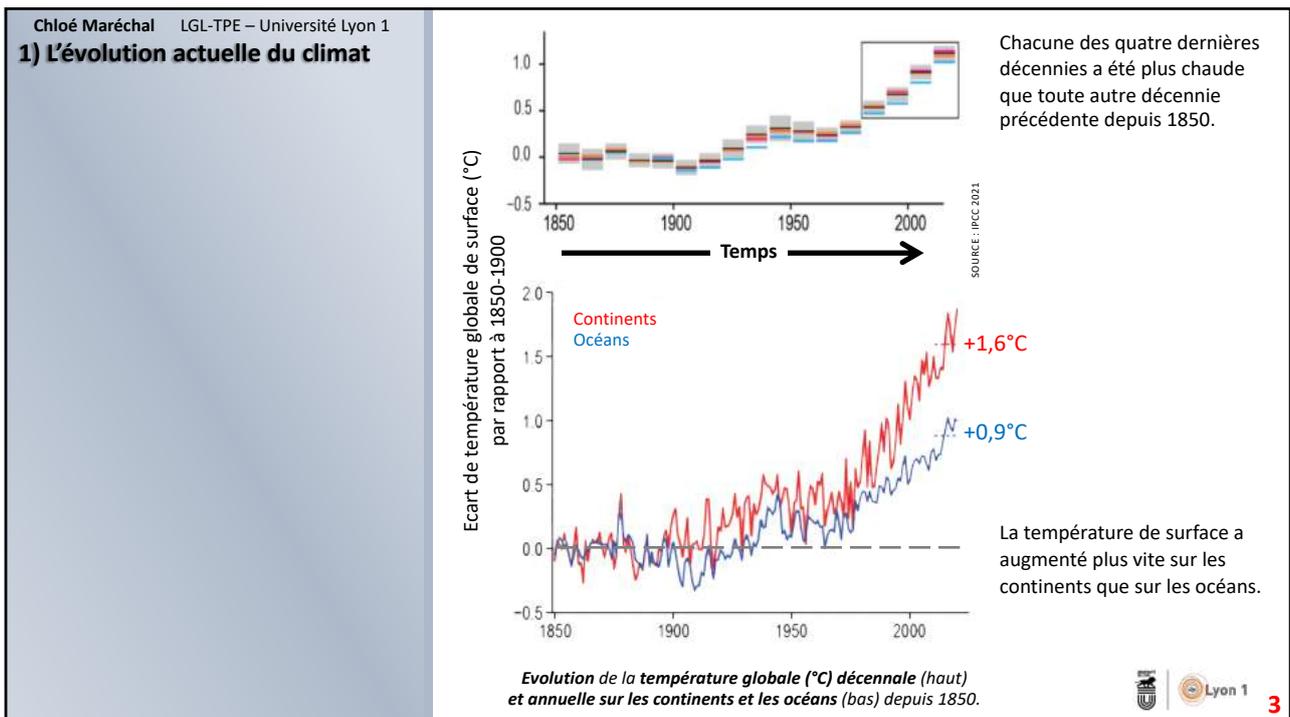
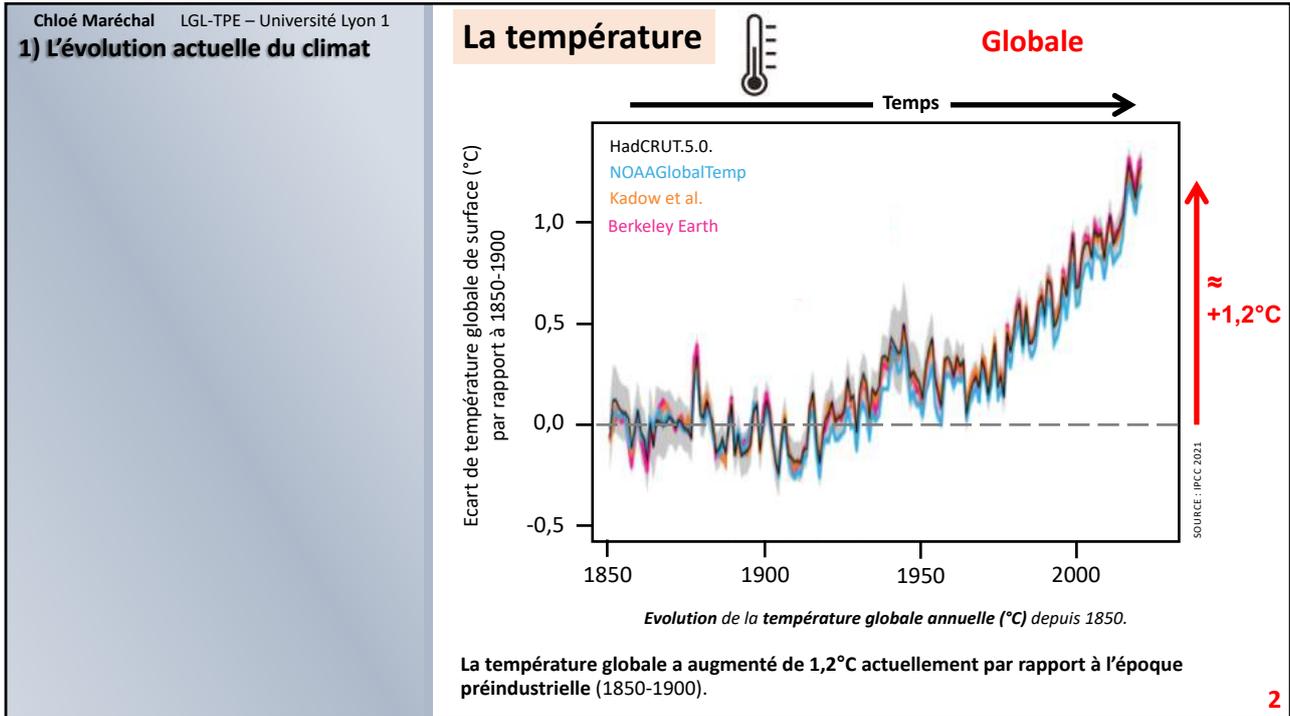
Evaluer la valeur du réchauffement global actuel depuis la période préindustrielle (1850-1900)

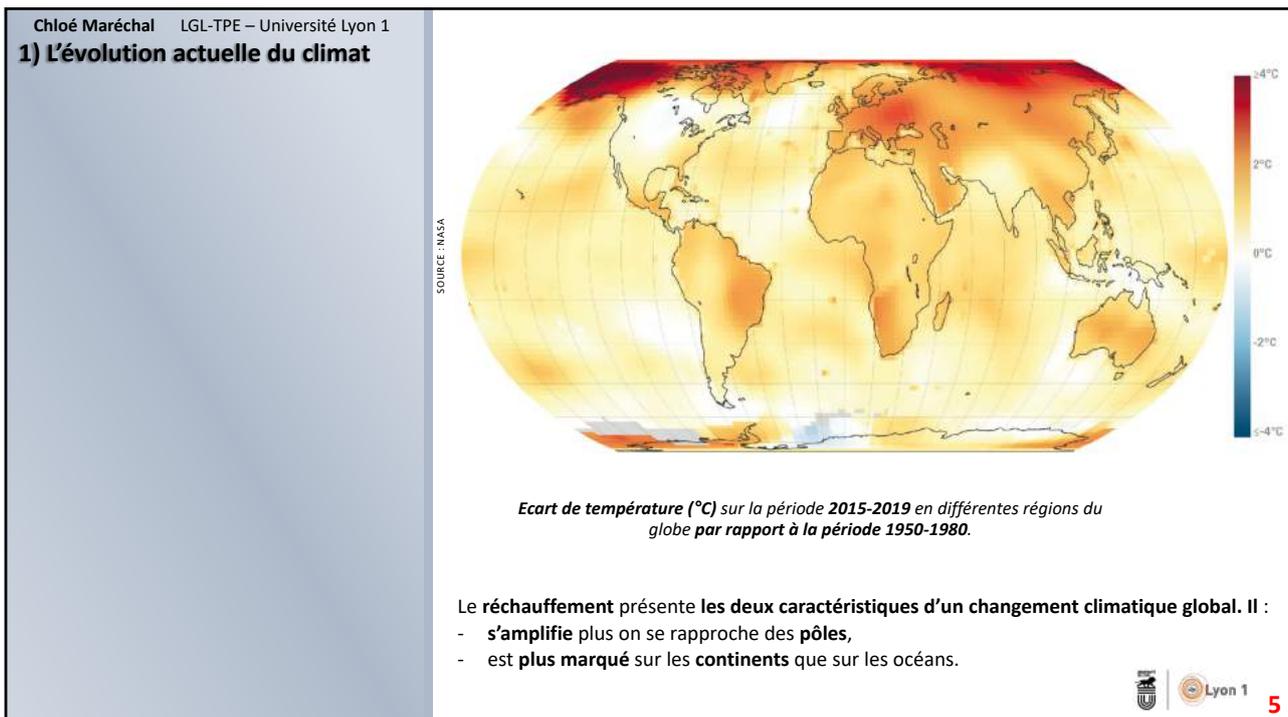
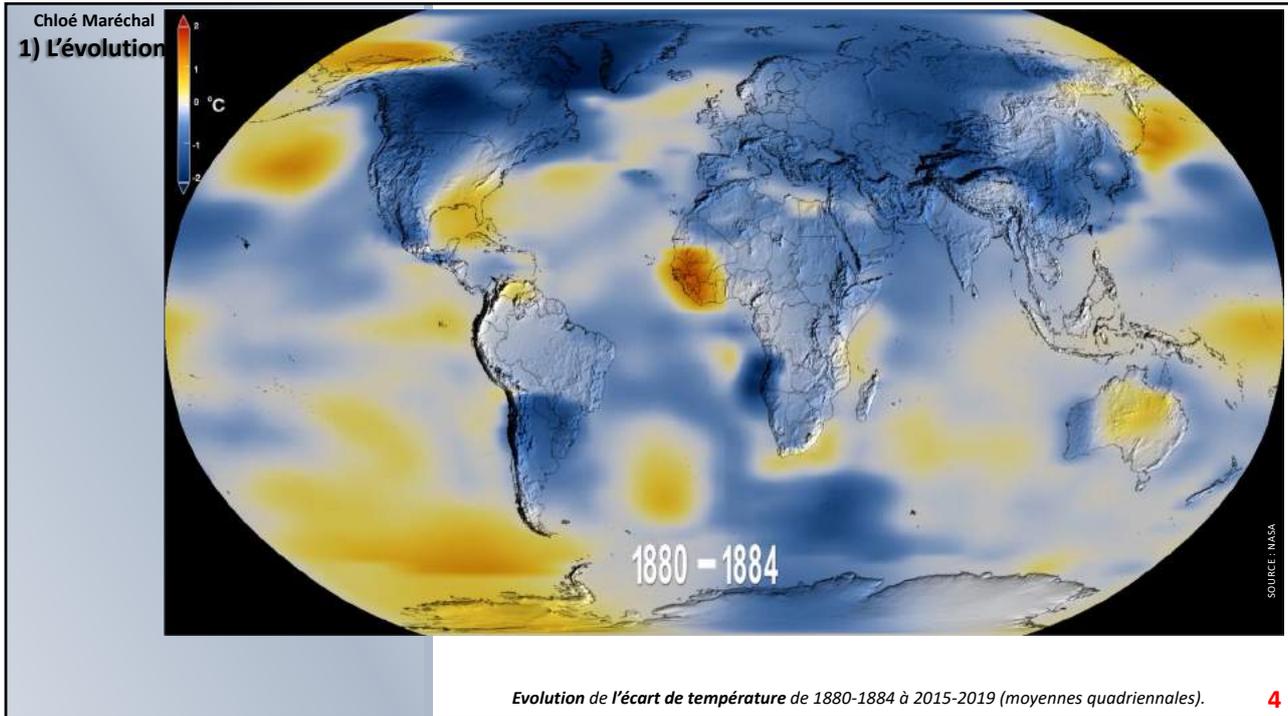
Intégrer comment se décline ce réchauffement en fonction des latitudes, etc.

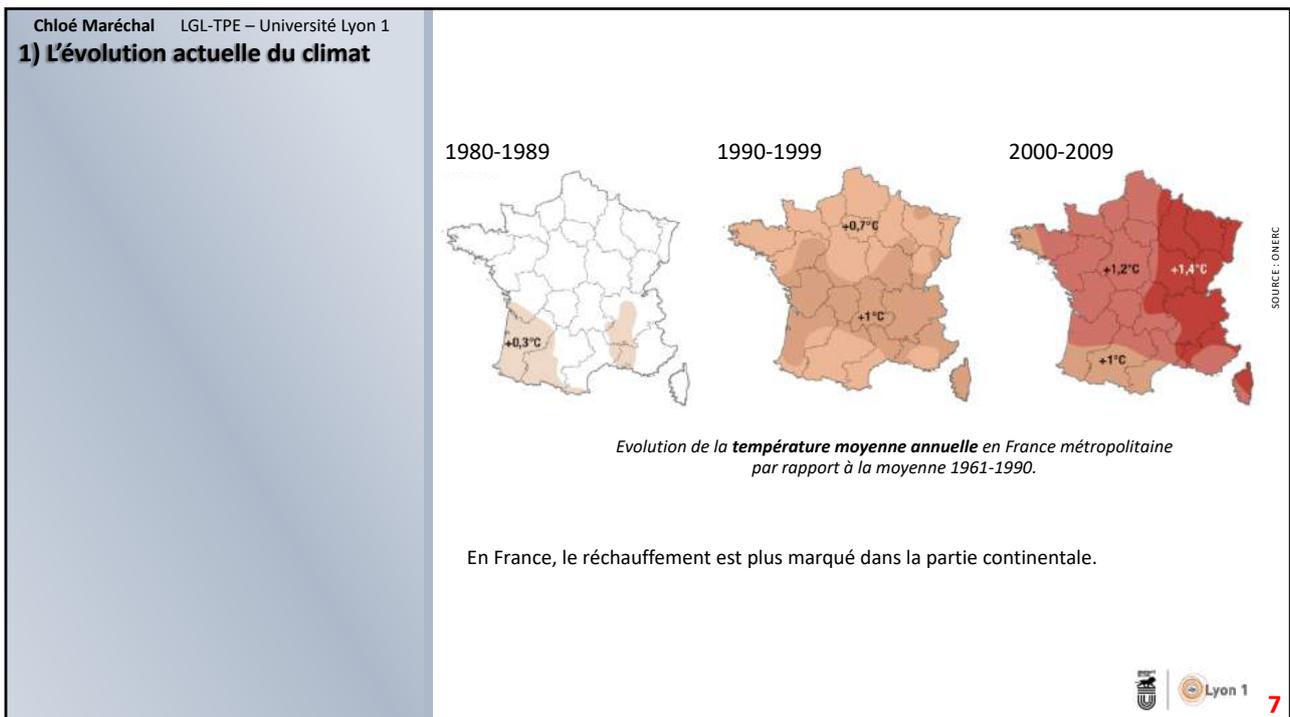
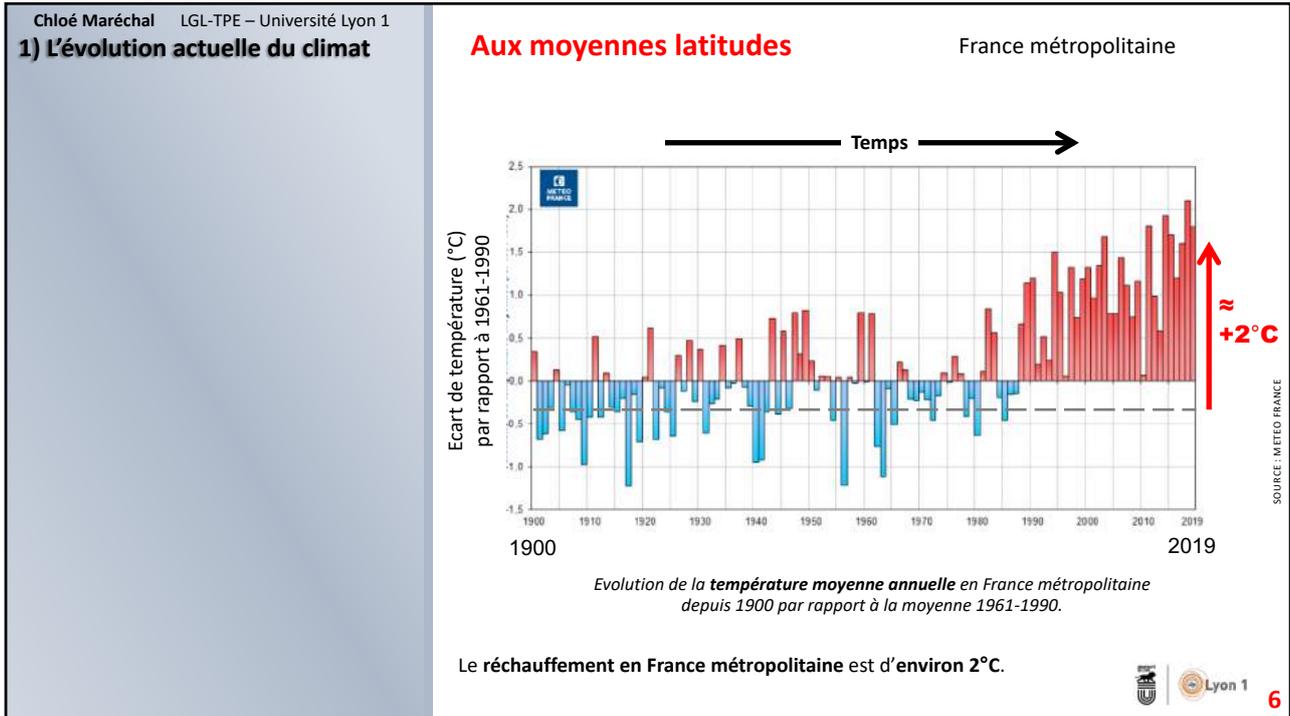
Avoir une idée de l'évolution récente des précipitations



1

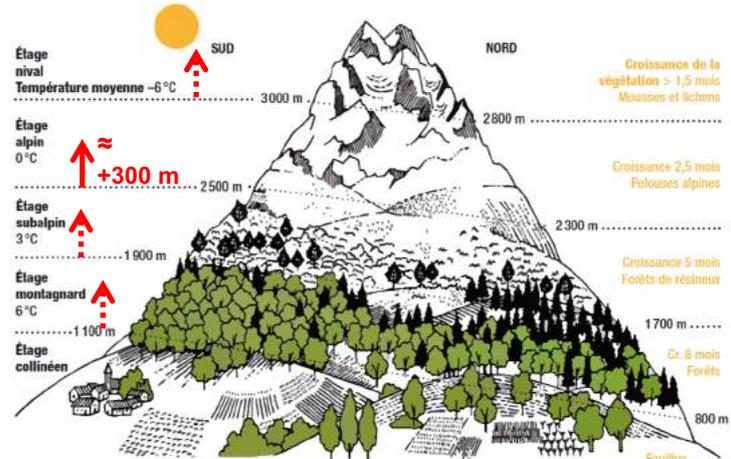






Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1  
**1) L'évolution actuelle du climat**

En montagne, à nos latitudes, la température baisse de 1°C lorsqu'on gagne 150 mètres en altitude.



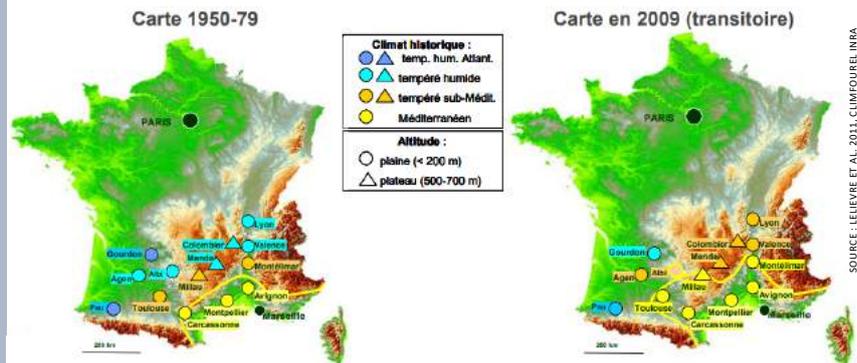
SOURCE : MAYOUX 2004 in FRANCOU ET M'ELIÈRES 2021

Les étages de végétation en montagne (ici, les Alpes du nord). La température moyenne annuelle est indiquée. La période de croissance des végétaux correspond à la durée pendant laquelle la température est supérieure à 5°C.

Avec un réchauffement moyen actuel d'environ 2°C en France depuis la période préindustrielle, de combien de mètres s'est élevée l'isotherme 0°C dans les Alpes ?

L'isotherme 0°C s'est élevée d'environ 300 m dans les Alpes suite au réchauffement actuel. **8**

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1  
**1) L'évolution actuelle du climat**



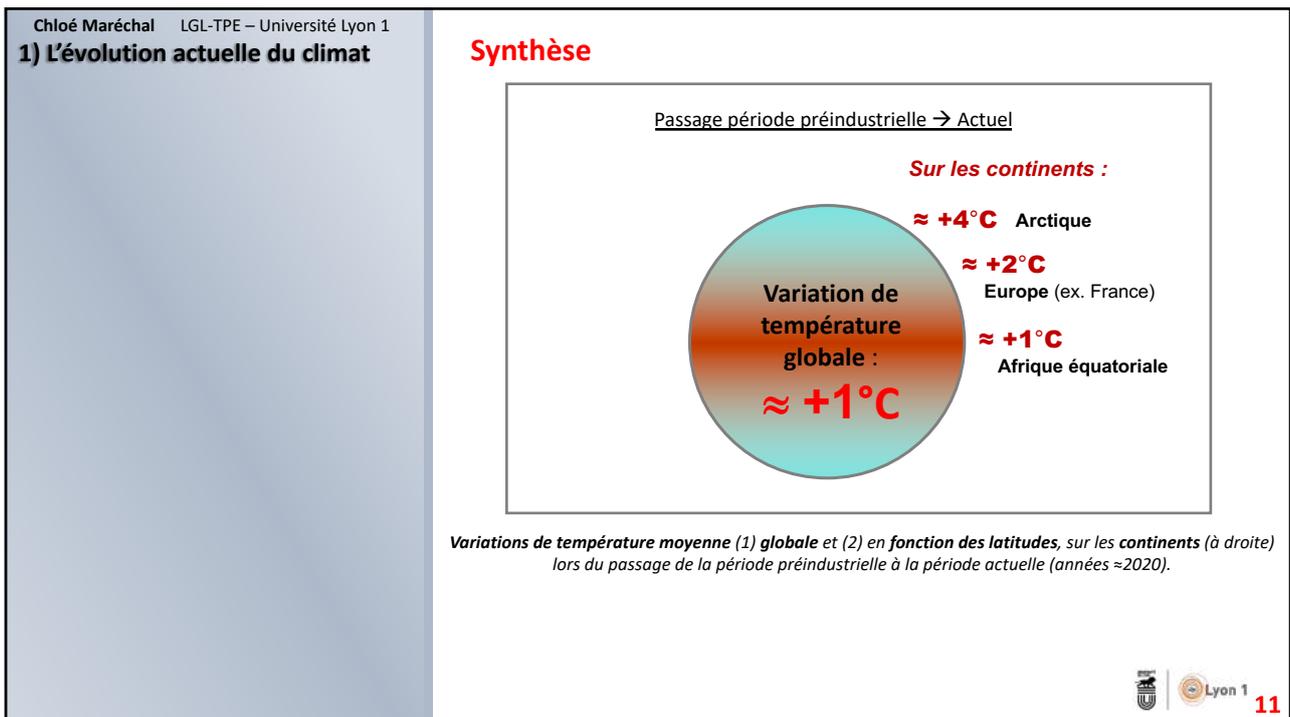
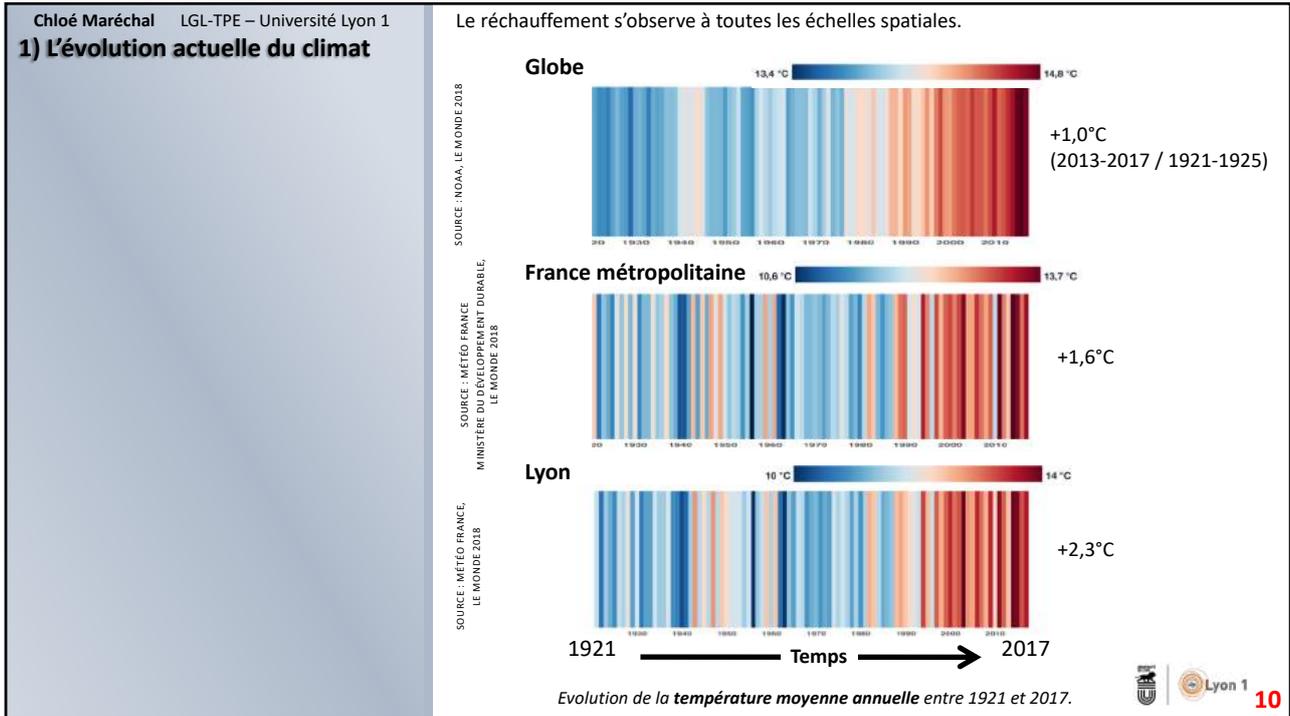
SOURCE : LELIEVRE ET AL. 2011, CLIMFOUREL INRA

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)

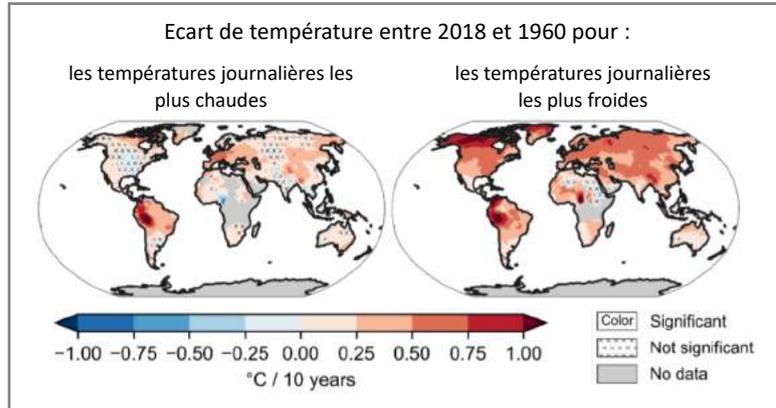
**9**



Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1  
**1) L'évolution actuelle du climat**

### Les jours les plus chauds, les jours les plus froids

*Les températures froides comme chaudes deviennent-elles en moyenne plus chaudes, ou les extrêmes se renforcent-ils (froid = plus froid, et chaud = plus chaud) ?*



*Variations d'écart de température moyenne entre 2018 et 1960 pour les températures journalières les plus chaudes (à gauche) et les températures journalières les plus froides (à droite).*

De façon logique, **les jours les plus chauds comme ceux les plus froids se réchauffent.**

**Les jours les plus froids se réchauffent plus fortement** que ceux les plus chauds.

**12**

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1  
**1) L'évolution actuelle du climat**

### Les précipitations

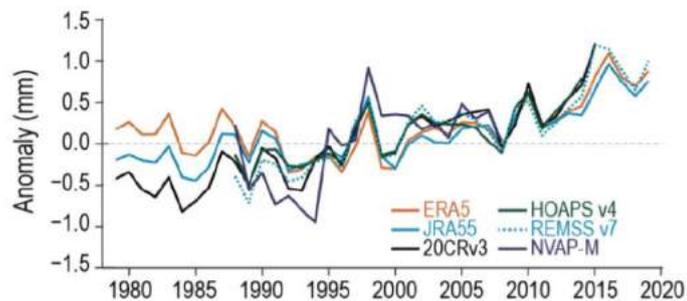


**Globales**

*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.



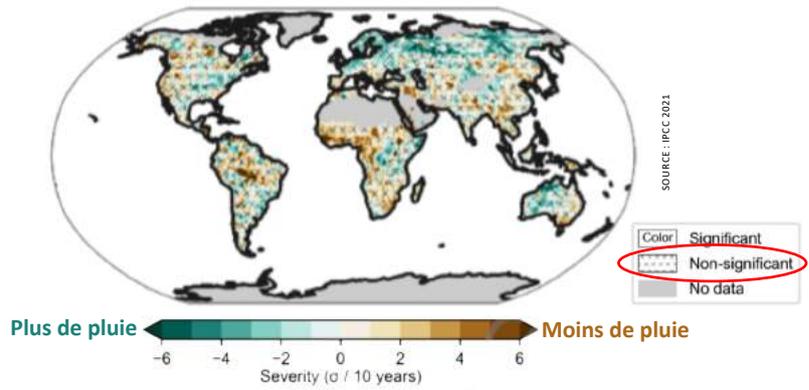
*Evolution de l'écart de la colonne de vapeur d'eau globale annuelle (mm, en équivalent eau liquide) par rapport à la période 1988-2008.*

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

**13**

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1  
**1) L'évolution actuelle du climat**

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 !

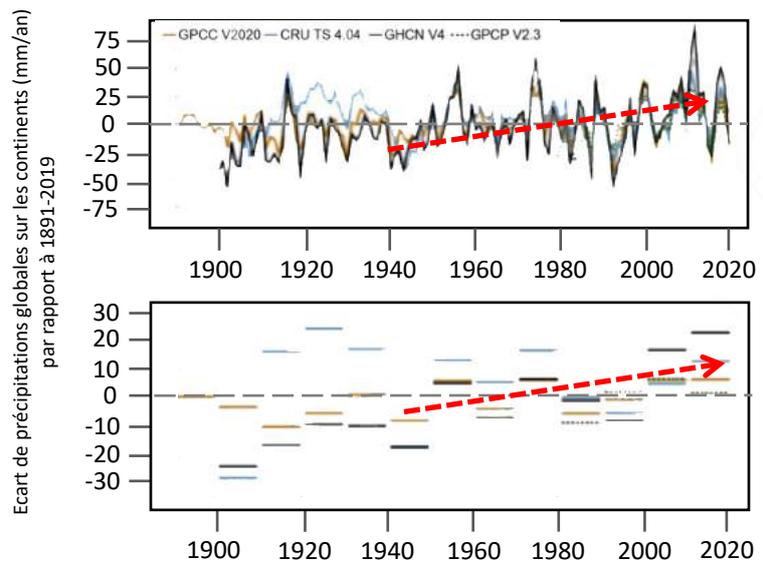


Evolution de « l'index de précipitation standardisé » (« SPI ») sur le globe entre 1951 et 2016.

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

14

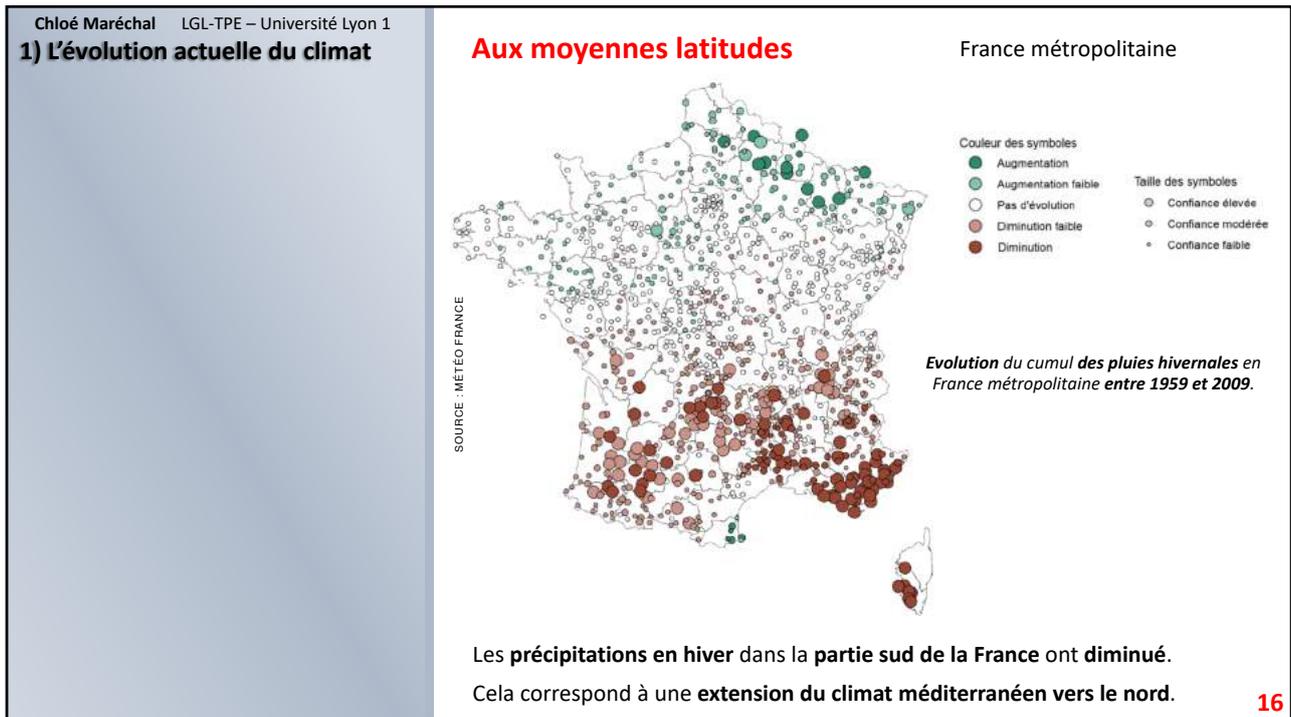
Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1  
**1) L'évolution actuelle du climat**



Evolution des précipitations globales (mm/an) sur les continents annuelles (haut) et décennales (bas) de 1890 à 2020.

On observe une **tendance à l'augmentation des précipitations sur les continents.**

15



Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1  
**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.

17

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1

## 1) L'évolution actuelle du climat

### Références bibliographiques

FRANCOU, B. & MÉLIÈRES, M-A. (2021) Coup de chaud sur les montagnes. Paulsen éditions/Guéryn, 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](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)



	<h1>Climat #2</h1> <h2>Le changement climatique en cours</h2>
	 <p><b>Chloé Maréchal</b> LGL-TPE – Université Lyon 1</p> 

<p><b>Chloé Maréchal</b> LGL-TPE – Université Lyon1</p>	<h1>Climat #2</h1> <h2>Le changement climatique en cours</h2>
	<ol style="list-style-type: none"><li>1) L'évolution actuelle du climat</li><li>2) Quelle est la cause du changement climatique ?</li><li>3) Les projections du climat futur</li><li>4) Les manifestations du changement climatique #1/2/3</li><li>5) L'enseignement du passé sur la crise climatique</li><li>6) L'adaptation des sociétés</li><li>7) L'atténuation des émissions de gaz à effet de serre</li></ol>

**Chloé Maréchal**  
LGL-TPE – Université Lyon1

## Capsule 2

### Quelle est la cause du changement climatique ?



Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1

#### 2) Quelle est la cause du changement climatique ?

##### Objectifs :

Retenir l'évolution récente du CO<sub>2</sub> 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

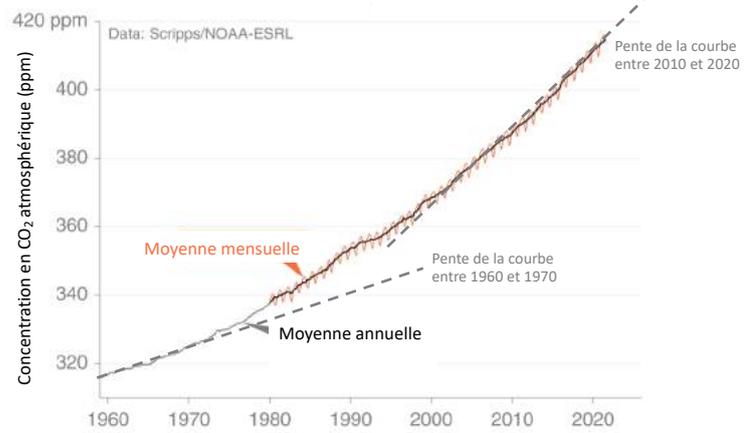
Connaître les caractéristiques socio-économiques principales des émissions de gaz à effet de serre d'origine humaine



Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1  
**2) Quelle est la cause du changement climatique ?**

**L'atmosphère**

**Gaz carbonique**



Evolution de la concentration moyenne en CO<sub>2</sub> atmosphérique (ppm) de 1958 à 2021.

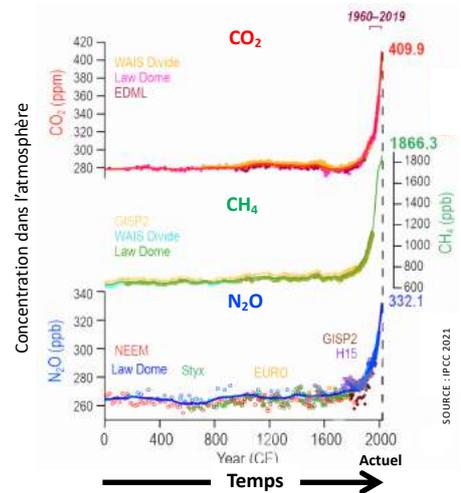
La concentration du CO<sub>2</sub> de l'air (gaz à effet de serre) augmente continument depuis 60 ans.  
 L'augmentation est croissante au cours du temps (la pente de la courbe se redresse).

SOURCE : FRIEDLINGSTEIN ET AL 2021 / GLOBAL CARBON PROJECT 2021

2

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1  
**2) Quelle est la cause du changement climatique ?**

*Evolution de la concentration en CO<sub>2</sub> (ppm), CH<sub>4</sub> (ppb) et N<sub>2</sub>O (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<sub>2</sub> atmosphérique est stable à ≈ 280 ppm depuis au moins 2000 ans.  
 En 1800, elle est passé de ≈ 280 ppm à 415 ppm en 2021 (≈ +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<sub>4</sub> et le protoxide d'azote N<sub>2</sub>O.



3

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1  
**2) Quelle est la cause du changement climatique ?**

Concentration en CO<sub>2</sub> atmosphérique (ppm)

800 000 ans - 700 000 - 600 000 - 500 000 - 400 000 - 300 000 - 200 000 - 100 000 - 0 Actual

years before present

Temps

Évolution de la concentration CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1  
**2) Quelle est la cause du changement climatique ?**

Global Fossil CO<sub>2</sub> Emissions

Emissions de CO<sub>2</sub> fossile (GtCO<sub>2</sub>)

40 Gt CO<sub>2</sub>

30

20

10

0

1960 1970 1980 1990 2000 2010 2021 projected

Projection 2021  
 36.4 Gt CO<sub>2</sub>  
 ▲ 4.9% (4.1%–5.7%)

COVID-19 pandemic ▼ 5.4%

Global financial crisis ▼ 1.2%

Dissolution of Soviet Union ▼ 3.1%

Second Oil crisis

First Oil crisis

Evolution des émissions globales annuelles de CO<sub>2</sub> fossile (combustibles fossiles, ciment très secondairement) de 1958 à 2021 par l'activité humaine.

Les émissions annuelles de CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> atmosphérique, les émissions anthropiques de CO<sub>2</sub>, et le réchauffement global récent ?

5

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1  
 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 CO<sub>2</sub>** s'accumulent dans l'**atmosphère**, faisant ainsi **augmenter sa teneur**, et sont à l'**origine du réchauffement global récent par effet de serre**.

**6**

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1  
 2) Quelle est la cause du changement climatique ?

En résumé ...

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

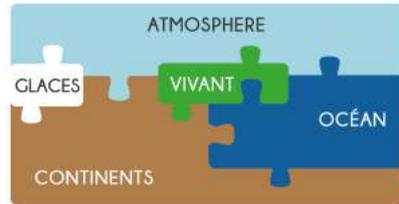
Le moteur du changement climatique depuis la période préindustrielle est: **l'activité humaine**

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

**7**

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1  
2) Quelle est la cause du changement climatique ?

### Le voyage du CO<sub>2</sub> anthropique entre les compartiments de surface de la Terre



Les différents compartiments superficiels de la Terre.

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1  
2) Quelle est la cause du changement climatique ?

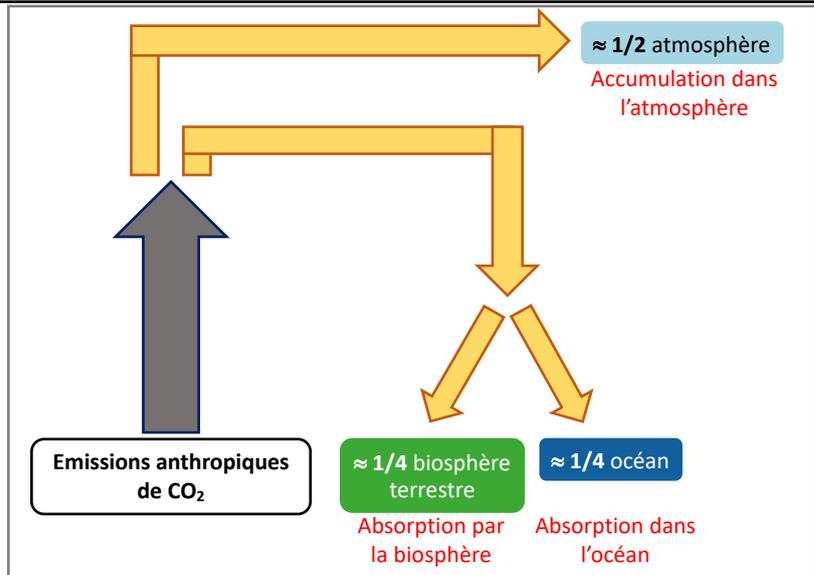


Schéma du devenir des émissions de CO<sub>2</sub> anthropique dans les compartiments superficiels de la Terre.

Sans les absorptions du CO<sub>2</sub> anthropique par la biosphère terrestre et par l'océan, la concentration en CO<sub>2</sub> de l'atmosphère serait beaucoup plus élevées !

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1

**2) Quelle est la cause du changement climatique ?**

Moyenné entre 2011 et 2020, les proportions étaient :

19 GtCO <sub>2</sub> /an 48%	
11 GtCO <sub>2</sub> /an 29%	
10 GtCO <sub>2</sub> /an 26%	

*Répartition des émissions anthropiques annuelles de CO<sub>2</sub> dans les compartiments superficiels de la Terre sur la période 2011-2020.*

*Mais de quoi sont composées les émissions de CO<sub>2</sub> anthropiques ?*

 10

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1

**2) Quelle est la cause du changement climatique ?**

CO<sub>2</sub> anthropique : "Sources" (≈ 40 GtCO<sub>2</sub>/an) = "Puits" (≈ 40 GtCO<sub>2</sub>/an)

<b>Combustibles fossiles</b> (et cimenteries)		35 GtCO <sub>2</sub> /an 89%
<b>Usage des sols</b> (= déforestation)		4 GtCO <sub>2</sub> /an 11%

19 GtCO <sub>2</sub> /an 48%	
11 GtCO <sub>2</sub> /an 29%	
10 GtCO <sub>2</sub> /an 26%	

*Émissions anthropiques annuelles de CO<sub>2</sub> 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 GtCO<sub>2</sub>/an).*

Les émissions anthropiques de CO<sub>2</sub> sont très largement dues aux combustibles fossiles (**charbon, pétrole, gaz**) (≈ 90%) puis à l'usage des sols (déforestation) (≈ 10%).

11

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1  
**2) Quelle est la cause du changement climatique ?**

SOURCE : FRIEDLINGSTEIN ET AL 2020 / GLOBAL CARBON PROJECT 2021

**Évolution des émissions anthropiques de CO<sub>2</sub> (en haut) et de leur répartition dans les compartiments superficiels de la Terre (en bas) (GtC/an) de 1850 à 2020.**

**Sources de CO<sub>2</sub> anthropique (courbes « + ») :** depuis les années 1950, les émissions **annuelles** dues à l'utilisation des combustibles fossiles (≈ 2 CtC/an) ont quintuplées (≈ 11 CtC/an).

**Puits de CO<sub>2</sub> anthropique (courbes « - ») :** la **biosphère terrestre**, les **océans** et l'**atmosphère** reçoivent **annuellement** de plus en plus de CO<sub>2</sub> anthropique.

**12**

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1  
**2) Quelle est la cause du changement climatique ?**

### Aspects socio-économiques des émissions anthropiques de CO<sub>2</sub>

**Répartition géographique des émissions anthropiques de CO<sub>2</sub>**

Émissions anthropiques :

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

liées à l'usage des sols (**déforestation**)

SOURCE : FRIEDLINGSTEIN ET AL 2020 / GLOBAL CARBON PROJECT 2021

**Répartition géographique des émissions anthropiques moyennes annuelles de CO<sub>2</sub> (à gauche) issues des combustibles fossiles (à droite) et liées à l'usage des sols (déforestation) (KgC/m<sup>2</sup>/an) de 2011 à 2020.**

**Les émissions anthropiques de CO<sub>2</sub> :**

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

**13**

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1

**2) Quelle est la cause du changement climatique ?**



SOURCE: NASA

**Evolution géographique du CO<sub>2</sub> atmosphérique au cours de l'année 2006.**  
 Les concentrations élevées de CO<sub>2</sub> apparaissent en rouge.

De Novembre à Mai dans les années 2006 (hiver et printemps dans l'hémisphère nord), les émissions anthropiques de CO<sub>2</sub> dominant dans l'hémisphère nord, principalement en Amérique du nord, Europe, et Asie de l'est.

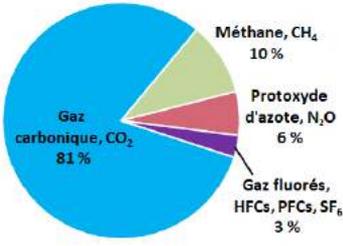
De Juin à Octobre 2006, les émissions anthropiques de CO<sub>2</sub> dominant dans la zone équatoriale, en Afrique et en Amérique du sud.

**14**

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1

**2) Quelle est la cause du changement climatique ?**

**Caractéristiques des gaz à effet de serre anthropiques**



SOURCE: U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY

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

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

*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**.

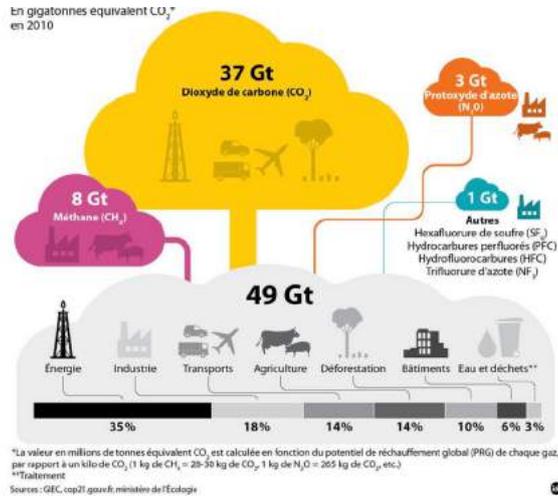
Les gaz à effet de serre émis par l'homme restent longtemps dans l'atmosphère, voir très longtemps.

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

**15**

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1  
**2) Quelle est la cause du changement climatique ?**

**Activités humaines et gaz à effet de serre**



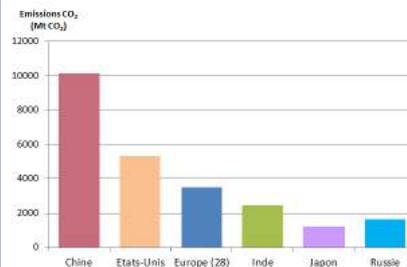
Les gaz à effet de serre anthropiques dans le monde (GtCO<sub>2</sub>) et les secteurs d'émissions (pourcentage) en 2010.

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.

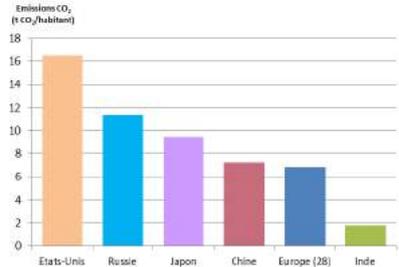
16

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1  
**2) Quelle est la cause du changement climatique ?**

**Les pays émetteurs de CO<sub>2</sub>**



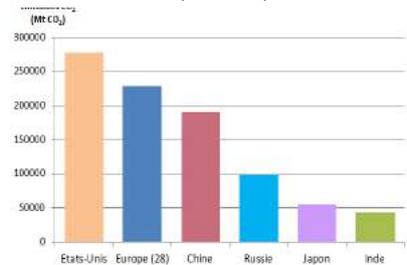
Emissions de CO<sub>2</sub> territoriales en 2016 (en Mt CO<sub>2</sub> = millions de tonnes de CO<sub>2</sub>).



Emissions de CO<sub>2</sub> territoriales en 2016 par habitant (en Mt CO<sub>2</sub>).

Selon la façon de comptabiliser les émissions de CO<sub>2</sub> par pays, le rang n'est pas le même ...

Les émissions de CO<sub>2</sub> importées doivent en plus être prises en compte dans ces représentations.



Emissions de CO<sub>2</sub> territoriales historiques (cumulées entre 1960 et 2016) (en Mt CO<sub>2</sub>).

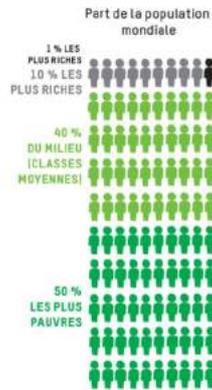
SOURCE : D'APRÈS LES DONNÉES DE GLOBAL CARBON ATLAS

17

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1

2) Quelle est la cause du changement climatique ?

### Revenu et émission de CO<sub>2</sub>



SOURCE : OXFAM 2020

Seuil de revenu par habitant-e en 2015 (PPA 2011) : 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>, tandis que les 50% les plus pauvres au monde ont émis 7% des émissions de CO<sub>2</sub>.

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.

18

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1

2) Quelle est la cause du changement climatique ?

### Résumé :

Récemment, la concentration de CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> émis par les activités humaines dans l'atmosphère, ainsi que de celle du CH<sub>4</sub> et du N<sub>2</sub>O.

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 CO<sub>2</sub> par habitant dans le monde sont très différentes, les 1% les plus riches émettant deux fois plus que les 50% les plus pauvres.

19

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1

## 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 CO<sub>2</sub>, Résumé.  
<https://www.oxfamfrance.org/wp-content/uploads/2020/09/Resume-Rapport-Oxfam-Combattre-Inegalites-Emissions-CO2.pdf>



	<h1>Climat #2</h1> <h2>Le changement climatique en cours</h2> 
	<p><b>Chloé Maréchal</b> LGL-TPE – Université Lyon 1</p> 

<p><b>Chloé Maréchal</b> LGL-TPE – Université Lyon1</p>	<h1>Climat #2</h1> <h2>Le changement climatique en cours</h2>
	<ol style="list-style-type: none"><li>1) L'évolution actuelle du climat</li><li>2) Quelle est la cause du changement climatique ?</li><li>3) Les projections du climat futur</li><li>4) Les manifestations du changement climatique #1/2/3</li><li>5) L'enseignement du passé sur la crise climatique</li><li>6) L'adaptation des sociétés</li><li>7) L'atténuation des émissions de gaz à effet de serre</li></ol>

**Chloé Maréchal**  
LGL-TPE – Université Lyon1

## Capsule 3

### Les projections du climat futur



Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1

#### 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



Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1  
3) Les projections du climat futur

### Les modèles climatiques

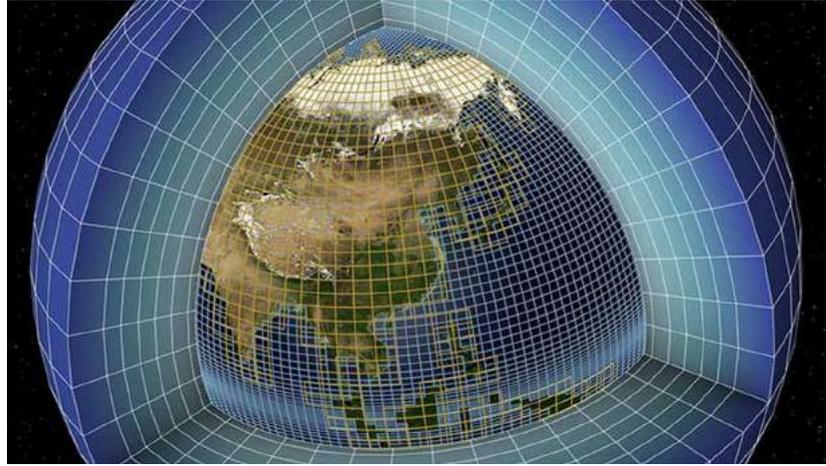


Image schématique d'un **modèle climatique** impliquant les océans, les continents et l'atmosphère.

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



2

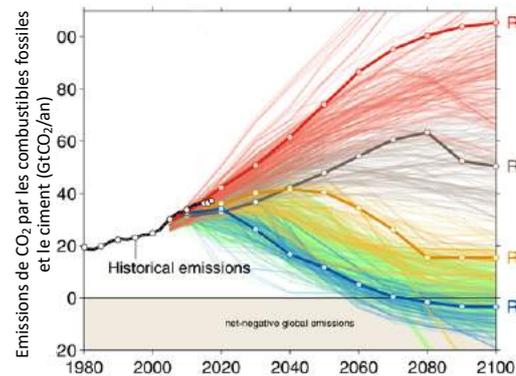
Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1  
3) Les projections du climat futur

### La température



### Globale

Les scénarios d'émissions anthropiques de CO<sub>2</sub>



**Emissions mondiales de CO<sub>2</sub> par les combustibles fossiles et le ciment (GtCO<sub>2</sub>/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/m<sup>2</sup> en 2100 (ex. 8,5 W/m<sup>2</sup> pour « RCP8.5 »).  
Les hypothèses pour obtenir ce forçage portent sur le monde physique (ex. le flux de CO<sub>2</sub> anthropique émis dans l'atmosphère ...)

3

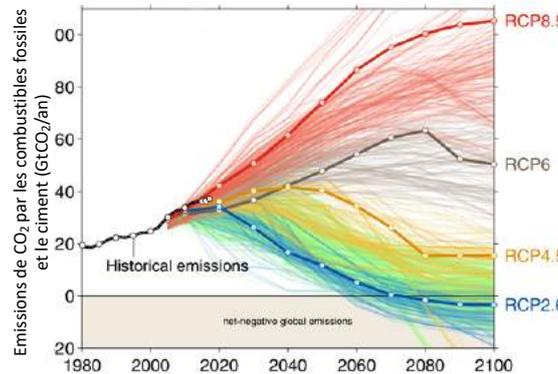
Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1  
**3) Les projections du climat futur**

**La température**



**Globale**

Les scénarios d'émissions anthropiques de CO<sub>2</sub>



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

**Emissions mondiales de CO<sub>2</sub> par les combustibles fossiles et le ciment (GtCO<sub>2</sub>/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**

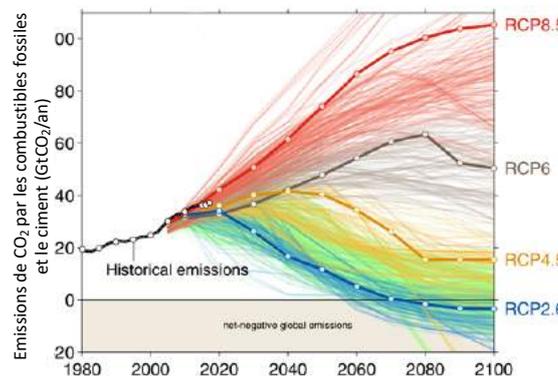
Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1  
**3) Les projections du climat futur**

**La température**



**Globale**

Les scénarios d'émissions anthropiques de CO<sub>2</sub>



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

**Emissions mondiales de CO<sub>2</sub> par les combustibles fossiles et le ciment (GtCO<sub>2</sub>/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 CO<sub>2</sub> est émis) ; on l'appelle le **scénario du « laisser faire »** ou **« business as usual »**.

**5**

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1  
**3) Les projections du climat futur**

### La température

**Globale**  
 Les scénarios d'émissions anthropiques de CO<sub>2</sub>

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

**Emissions mondiales de CO<sub>2</sub> par les combustibles fossiles et le ciment (GtCO<sub>2</sub>/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.

U Lyon 1 **6**

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1  
**3) Les projections du climat futur**

### Les simulations d'évolution de la température globale

SOURCE : IPCC 2014

**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.

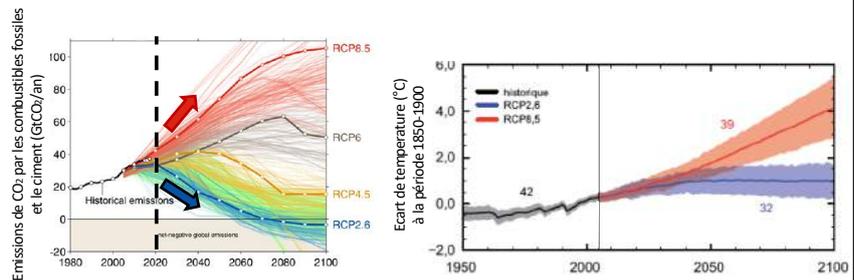
Selon les scénarios, en 250 ans (1850-2100) le climat se réchauffera de :  
 ≈ 2°C, et la température sera stabilisée (constante) (RCP2.6),  
 ou de ≈ 5°C, et la température ne sera pas stabilisée (elle continuera d'augmenter) (RCP8.5).

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 CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère.

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

U Lyon 1 **7**

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1  
**3) Les projections du climat futur**



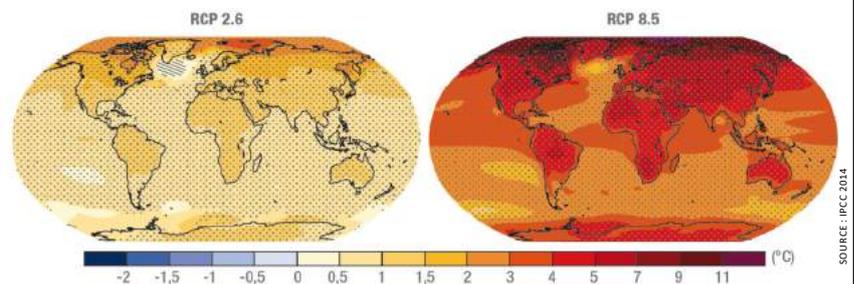
Emissions mondiales de CO<sub>2</sub> par les combustibles fossiles et le ciment (GtCO<sub>2</sub>/an) de 1980 à 2100 (historiques en noir, scénarios RCP en couleurs).

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.

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1  
**3) Les projections du climat futur**



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). SOURCE : IPCC 2014

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.

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1  
**3) Les projections du climat futur**

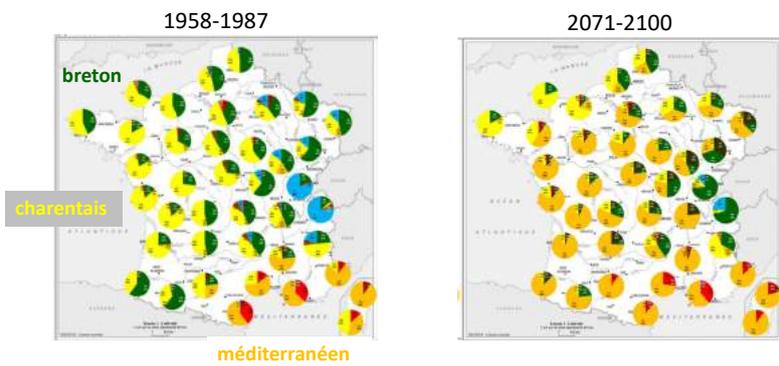
Le réchauffement anthropique actuel et futur n'est **pas compensable** par les **variations naturelles du climat** qui sont inférieures (activité solaire :  $\approx -0,5^{\circ}\text{C}$ , volcanisme explosif :  $\approx -0,2^{\circ}\text{C}$ ) ou trop lointaines (prochaine glaciation dans  $\approx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

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1  
**3) Les projections du climat futur**

**Le climat en France métropolitaine**



SOURCE : DRIAS / MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

Type	Noms (indicatifs)	Caractéristiques
S	Montagnard	Tempéré à hiver froid (influences continentales)
Cfb	Breton	Tempéré à été frais sans saison sèche
Cfb	Charentais	Tempéré à été frais et sec
Cfb	Méditerranéen (*)	Tempéré à été frais et saison sèche hivernale
Csb	Dardarien	Tempéré à été chaud sans saison sèche
Csa	Méditerranéen	Tempéré à été chaud et sec
Cwa	Subtropical (*)	Tempéré chaud et saison sèche hivernale
BSh	Sarda	Semi aride frais
BSh	Sicilien	Semi aride chaud
BWh	Tarabais (*)	Aride et chaud

*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.

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1  
**3) Les projections du climat futur**

## Les précipitations



### Globales

Le réchauffement global continuant d'augmenter dans le futur :

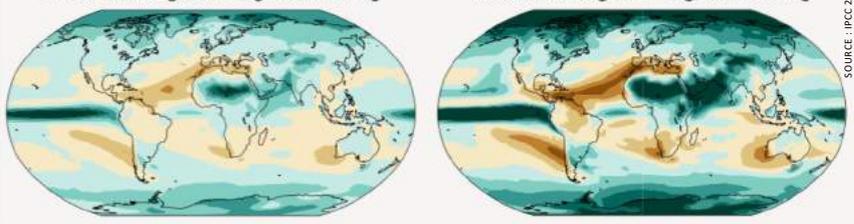
- la **quantité de pluie totale sur Terre augmentera également**,
- mais cela ne veut pas dire qu'il y a plus de pluies partout : certaines régions deviennent plus sèches !



12

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1  
**3) Les projections du climat futur**

Simulated change at 2 °C global warming      Simulated change at 4 °C global warming



Plus sec ← -40 -30 -20 -10 0 10 20 30 40 → Plus humide  
← Drier Change (%) Wetter →

SOURCE : IPCC 2021

**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.*

13

### 3) Les projections du climat futur

#### 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

### 3) Les projections du climat futur

#### 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>

18

	<h1>Climat #2</h1> <h2>Le changement climatique en cours</h2>  <h3>Chloé Maréchal</h3> <p>LGL-TPE – Université Lyon 1</p> 
--	--

<p><b>Chloé Maréchal</b> LGL-TPE – Université Lyon1</p>	<h1>Climat #2</h1> <h2>Le changement climatique en cours</h2> <ol style="list-style-type: none"><li>1) L'évolution actuelle du climat</li><li>2) Quelle est la cause du changement climatique ?</li><li>3) Les projections du climat futur</li><li>4) Les manifestations du changement climatique #1/2/3</li><li>5) L'enseignement du passé sur la crise climatique</li><li>6) L'adaptation des sociétés</li><li>7) L'atténuation des émissions de gaz à effet de serre</li></ol>
---	---

**Chloé Maréchal**  
LGL-TPE – Université Lyon1

## Capsule 4

### 4) Les manifestations du changement climatique #1



Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 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



Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1  
**4) Les manifestations du changement climatique #1**

## L'atmosphère

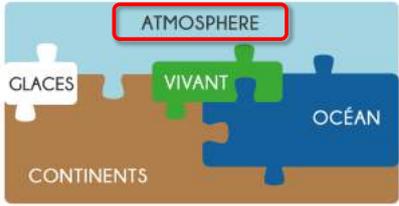


Schéma des **compartiments superficiels** de la Terre.

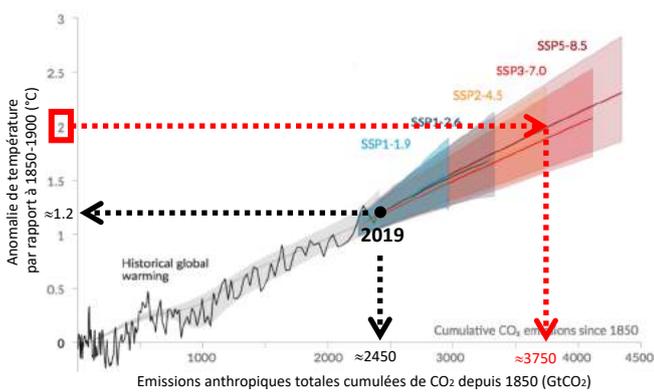


2

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1  
**4) Les manifestations du changement climatique #1**

## Gaz carbonique

La teneur en CO<sub>2</sub> atmosphérique a récemment augmenté de façon vertigineuse.  
*Et dans le futur ?*



*Evolution de la température globale de surface en fonction des émissions anthropiques de CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> depuis 1850 ne doit pas excéder ≈3750 GtCO<sub>2</sub>.

Dans ce cas, en 2019, **les deux tiers (2/3) du CO<sub>2</sub> anthropique ont déjà été émis.**

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

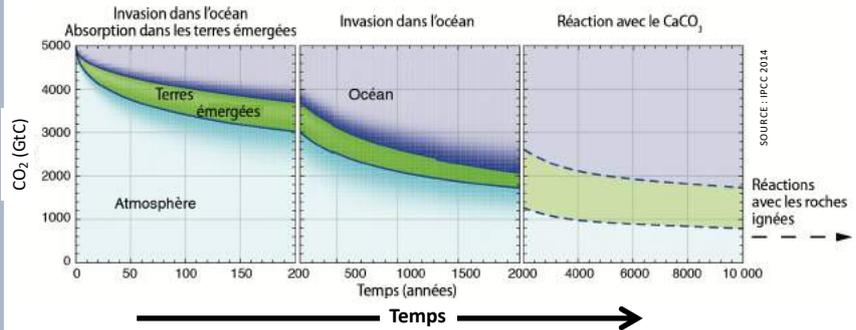


3

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1

**4) Les manifestations du changement climatique #1**

*Et dans le futur ... très lointain ?*



*Simulation de l'évolution de la teneur en CO<sub>2</sub> atmosphérique après une émission totale de 5000 GtC de CO<sub>2</sub> (18 320 GtCO<sub>2</sub>) 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<sub>2</sub> dans l'atmosphère.**

Dans le cas du scénario RCP8.5 : les émissions cumulées de CO<sub>2</sub> anthropique sont de 2100 GtC (7700 GtCO<sub>2</sub>) en 2100 (... et elles continuent après).



Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1

**4) Les manifestations du changement climatique #1**

**Les glaces**

- Calottes glaciaires
- Glaciers
- Banquise
- Neige
- Pergélisol

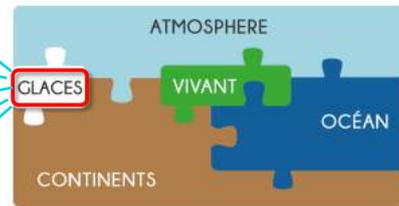


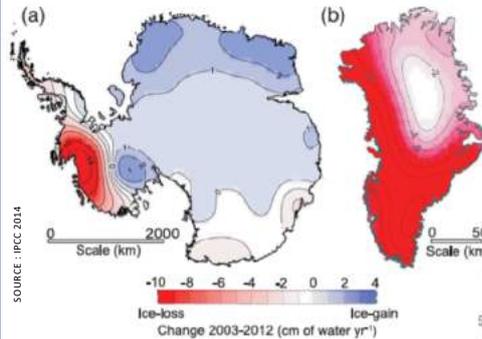
Schéma des *compartiments superficiels* de la Terre.



Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1

**4) Les manifestations du changement climatique #1**

**Calottes glaciaires**



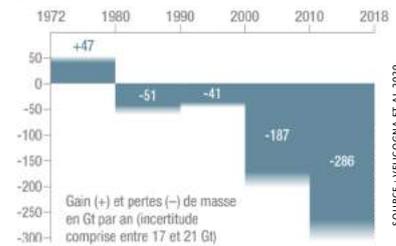
Evolution du changement de masse des calottes glaciaires (a) de l'Antarctique et (b) du Groenland, entre 2003 et 2012 (cm/an, en équivalent eau liquide).

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.

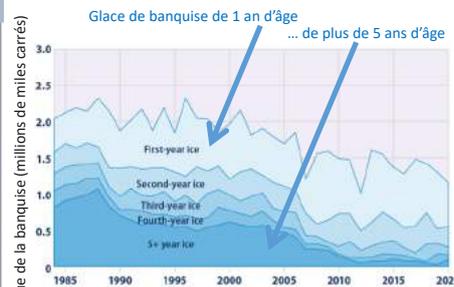


Bilan de masse du Groenland de 1972 à 2018 par moyennes décennales (sauf 1972-1980 et 2010-2018) (Gt/an). L'ablation cumule les pertes par fonte en surface et celles par vêlage d'icebergs dans l'océan. 6

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1

**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 mi<sup>2</sup> = 2,6 km<sup>2</sup>)

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.

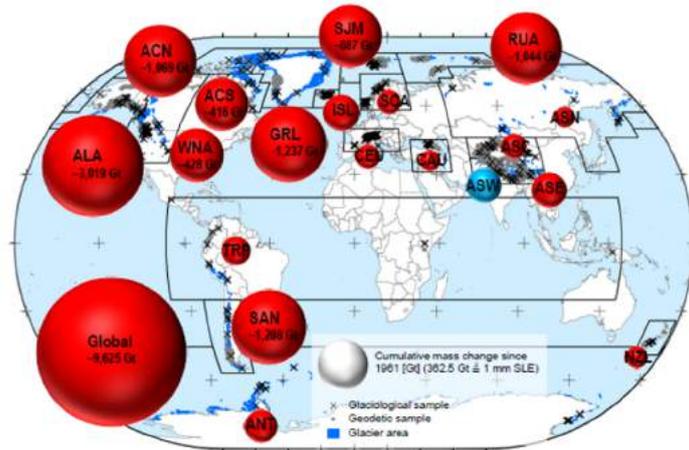
7

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1

**4) Les manifestations du changement climatique #1**

**Glaciers**

Globe



SOURCE : ZEMPEL ET AL. 2019

*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.

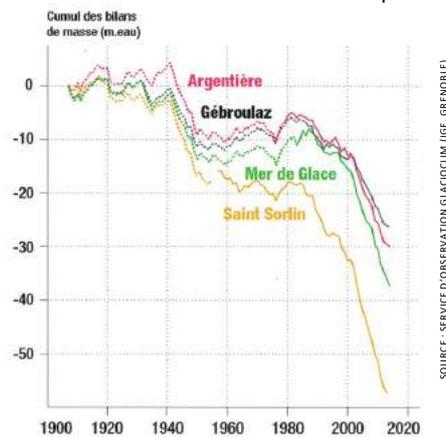
8

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1

**4) Les manifestations du changement climatique #1**

**Glaciers**

Europe



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

*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

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1  
**4) Les manifestations du changement climatique #1**

Début du 20<sup>ème</sup> siècle



Début du 21<sup>ème</sup> siècle



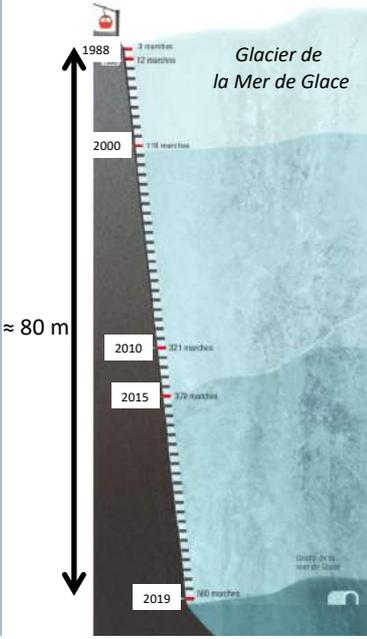
SOURCE : SERVICE D'OBSERVATION GLACIOCLIM (IGE, GRENOBLE)

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



**10**

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1  
**4) Les manifestations du changement climatique #1**



Année	Niveau des marches
1988	3 marches
2000	118 marches
2010	321 marches
2015	370 marches
2019	580 marches



SOURCE : COMPAGNIE DU MONT BLANC (M. FRANCOU ET M. ELIÈRES 2021)

SOURCE : LE MONDE 2015

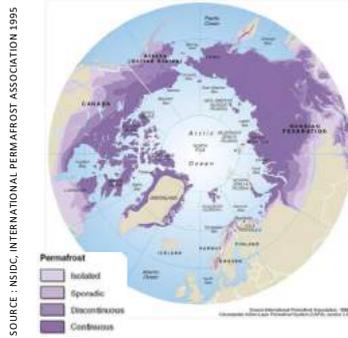
(a) Schéma de la réduction d'épaisseur de la Mer de Glace à la station du Montenvers depuis 1988, date à laquelle elle atteignait le niveau de la télécabine (en haut). En 2019, il fallait descendre 580 marches pour atteindre le glacier où se trouve la grotte de glace ouverte aux visiteurs. (b) Image de l'escalier en 2015. **11**

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1  
**4) Les manifestations du changement climatique #1**

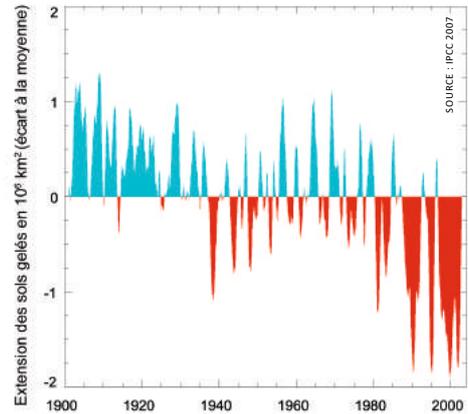
### Pergélisol (sol gelé)



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



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



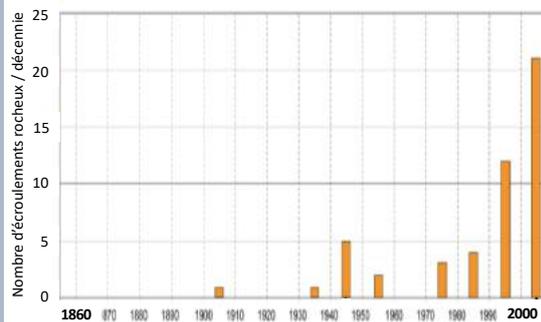
Evolution de la surface des sols gelés saisonnièrement en Arctique (incluant la couche active au dessus du pergélisol) entre 1900 et 2005 : écart à la période 1901-2002.

En Arctique, l'étendue des sols gelés diminue en moyenne depuis le début du 20<sup>ème</sup> siècle, déstabilisant les sols et les infrastructures.

12

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1  
**4) Les manifestations du changement climatique #1**

### Écroulements 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 m<sup>3</sup>.



Écroulement 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

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1  
**4) Les manifestations du changement climatique #1**

### Neige

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**

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1  
**4) Les manifestations du changement climatique #1**

### Banquise arctique

Et dans le futur ?

Quelques projections ...

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**

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1  
**4) Les manifestations du changement climatique #1**

**Glaciers** Ex. Moyenne latitudes, Europe

2017 état actuel

« Potentiel de recul » RCP2.6 (+2°C global)

RCP8.5 (+5°C global)

*Etat actuel (2017) et évolution du glacier de l'Aletsch (Suisse), le plus grand glacier des Alpes, selon les scénarios RCP2.6 et RCP8.5.*

Même si le climat cessait de se réchauffer dès maintenant, le glacier d'Aletsch continuerait à reculer de 6 km par rapport à son état de 2017, avant d'atteindre son état d'équilibre.

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

SOURCE : DOUET & HUSS 2019

16

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1  
**4) Les manifestations du changement climatique #1**

**Neige** Ex. Moyenne montagne (1500 m), Europe

Épaisseur de la neige (m)

(a)

— Observations  
 - - SAFRAN reanalysis  
 — HIST  $\mu \pm \sigma$

— RCP2.6  
 — RCP4.5  
 — RCP8.5

1960 1980 2000 2020 2040 2060 2080

*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.*

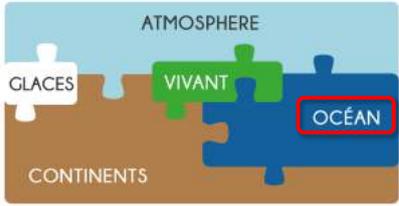
En moyenne montagne, dans les Alpes, pour le scénario RCP8.5,  
 - l'épaisseur de la neige en Hiver est quasi-nulle à partir de 2080,  
 - la date de chute de la neige est de plus en plus tardive (Février au lieu de Décembre),  
 celle de fonte de plus en plus précoce (Mars au lieu de Mai).

SOURCE : VERFAILLIE ET AL 2018

17

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1  
**4) Les manifestations du changement climatique #1**

## L'océan

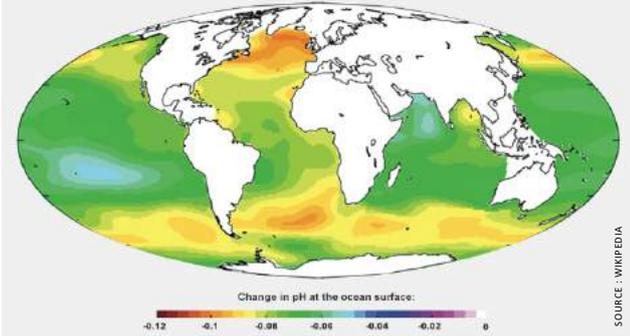


*Schéma des **compartiments superficiels** de la Terre.*


18

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1  
**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 CO<sub>2</sub> gazeux et CO<sub>2</sub> dissous :

$$\text{CO}_2 \text{ gazeux} \rightleftharpoons \text{CO}_2 \text{ dissous}$$

$$\text{CO}_2 \text{ dissous} + \text{H}_2\text{O}_{\text{liq}} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^- \rightleftharpoons 2\text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$$

Or pH = -log[H<sup>+</sup>]

**L'augmentation des teneurs en CO<sub>2</sub> atmosphérique** augmente la concentration en H<sup>+</sup> dans l'eau marine de surface, et **diminue donc le pH des eaux océaniques superficielles.**

19

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1  
**4) Les manifestations du changement climatique #1**

### Niveau marin

Quelle est la cause de cette élévation ?

The graph shows sea level rise in meters relative to the 1700-1850 period. It features a purple line for historical data (1700-2010) and a multi-colored line for satellite altimetry (2010-2020). The 3D pie chart breaks down the contributions to sea level rise in 2019: Thermal expansion (29%), Greenland (9%), Glaciers and ice sheets (0.9%), and Antarctica (0.5%).

Reconstitution de la **variation du niveau marin (m)** dans des marais salants des hémisphères nord et sud (violet) et variations mesurées par marégraphes et altimétrie satellitale (autres couleurs) par rapport à 1700-1850, **depuis 1700**. La courbe a été complétée jusqu'en 2020.

De 1700 à ≈1850, le niveau marin est stable. **A partir de ≈ 1850, il augmente continuellement.** Actuellement, les océans sont plus de 30 cm surélevés par rapport à la période préindustrielle.

La **vitesse d'élévation du niveau marin accélère** : de +1,7 mm/an entre 1901 et 2018 (107 ans), elle est passée à +3,7 mm/an entre 2006 et 2018 (12 ans) (IPCC 2021).

20

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1  
**4) Les manifestations du changement climatique #1**

### Acidité globale de surface de l'eau de mer

Et dans le futur ?

Quelques projections ...

The graph plots the pH of surface ocean waters from 1950 to 2100. A black line shows historical data, and colored lines represent different scenarios: SSP1-1.9 (+2°C global), SSP1-2.6 (+2°C global), SSP2-4.5, SSP3-7.0, and SSP5-8.5 (+5°C global). An arrow labeled 'ocean acidification' points to the downward trend in pH.

Evolution du **pH de l'océan global de surface** (qui mesure l'acidité).  
 Noir : mesures, couleur : scénarios futurs.

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

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1  
**4) Les manifestations du changement climatique #1**

### Niveau marin

Scénario de faible probabilité mais à fort impact incluant des processus d'instabilité des calottes polaires sous **SSP5-8.5** (IPCC 2021)

**RCP8.5 (+5°C global)**

**RCP2.6 (+2°C global)**

Reconstitution de la **variation du niveau marin (m)** dans des marais salants des hémisphères nord et sud (violet) et variations mesurées par marégraphes et altimétrie satellitale (autres couleurs) par rapport à la période 1700-1850, et projections futures pour les scénarios RCP2.6 et RCP8.5.

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**

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1  
**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 :

Zone sous le niveau marin

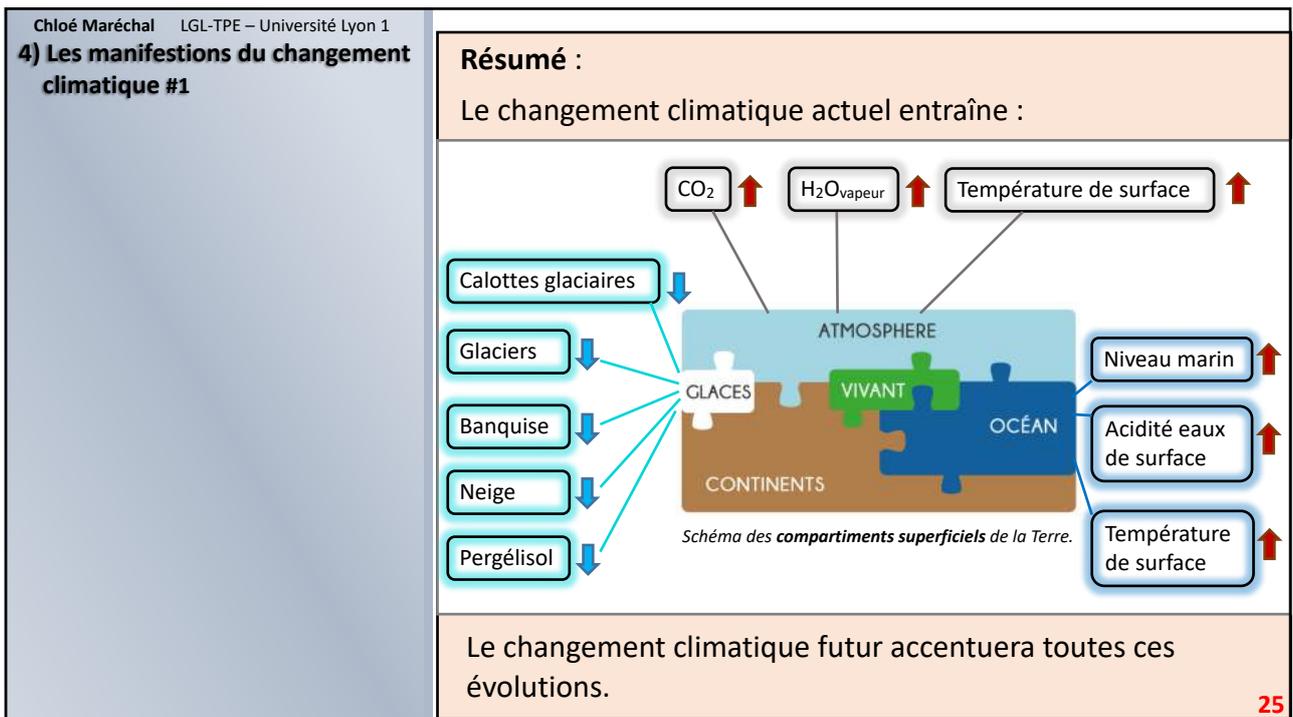
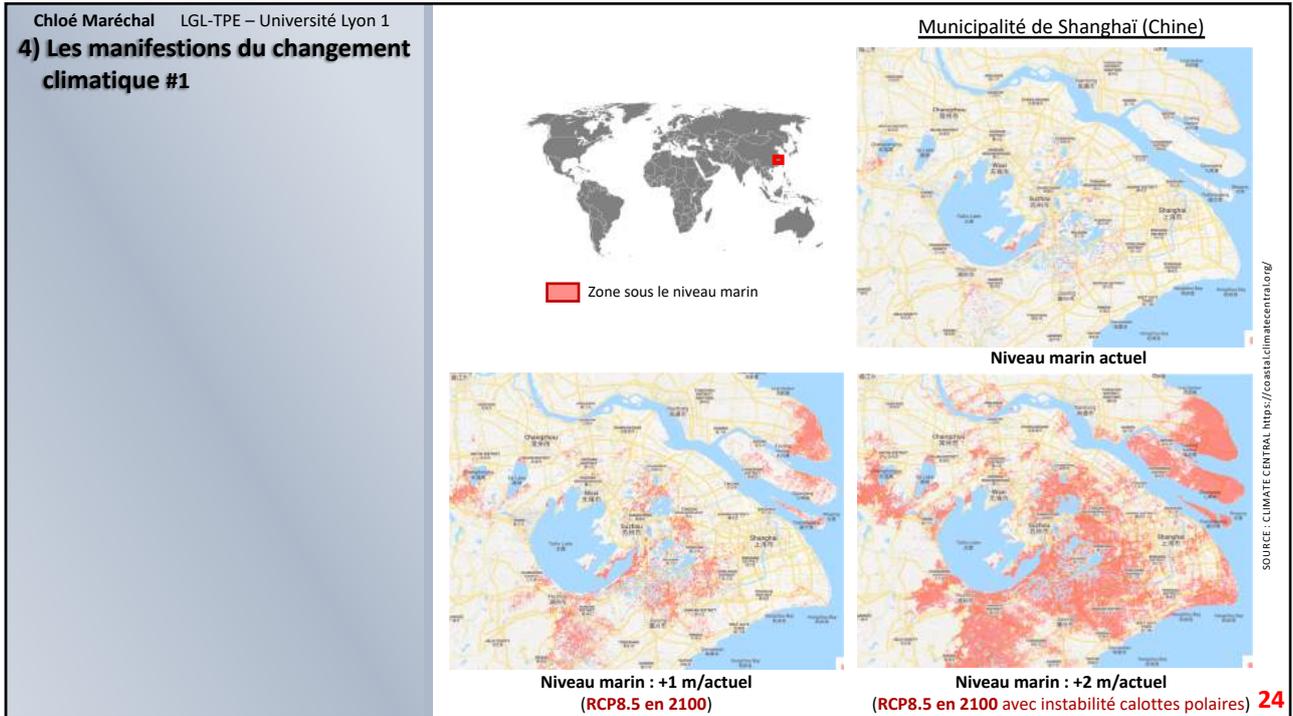
Bangladesh et Bengal (Inde)

Niveau marin actuel

Niveau marin : +1 m/actuel  
(RCP8.5 en 2100)

Niveau marin : +2 m/actuel  
(RCP8.5 en 2100 avec instabilité calottes polaires) **23**

SOURCE : CLIMATE CENTRAL <https://coastal.climatecentral.org/>



Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1

#### 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., LAFAYASSE, 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