



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

<p>Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon1</p>	<h1>Climat #2</h1> <h2>Le changement climatique en cours</h2>
	<ol style="list-style-type: none">1) L'évolution actuelle du climat2) Quelle est la cause du changement climatique ?3) Les projections du climat futur4) Les manifestations du changement climatique #1/2/35) L'enseignement du passé sur la crise climatique6) L'adaptation des sociétés7) L'atténuation des émissions de gaz à effet de serre

Chloé Maréchal
LGL-TPE – Université Lyon1

Capsule 5

4) Les manifestations du changement climatique #2



Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1

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




Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
4) Les manifestations du changement climatique #2

Les événements extrêmes

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

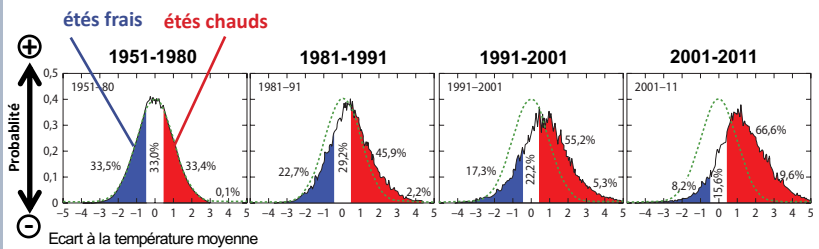
C'est un **événement** caractérisés par des **températures** et/ou des **précipitations** et/ou des **vents ... extrêmes**.
 Ces événements sont **inhabituels**.


2

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

Canicules

Continents de l'hémisphère nord




Période	étés frais (à gauche)	étés chauds (à droite)
1951-1980	33,5%	33,4%
1981-1991	22,7%	45,9%
1991-2001	17,3%	55,2%
2001-2011	8,2%	66,6%

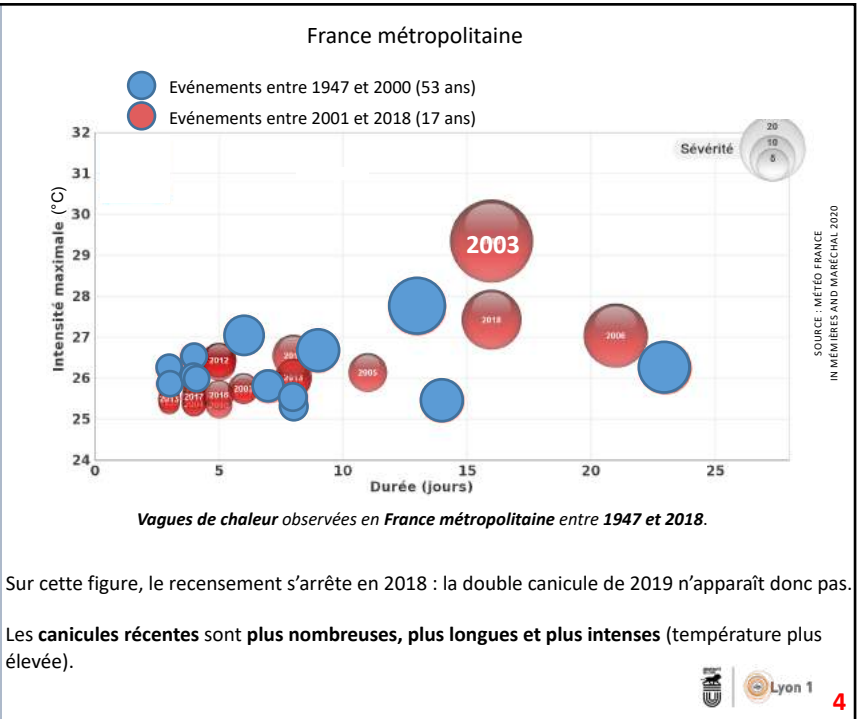
Ecarts à la température moyenne (en unité « sigma » ou « écart type »)

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).

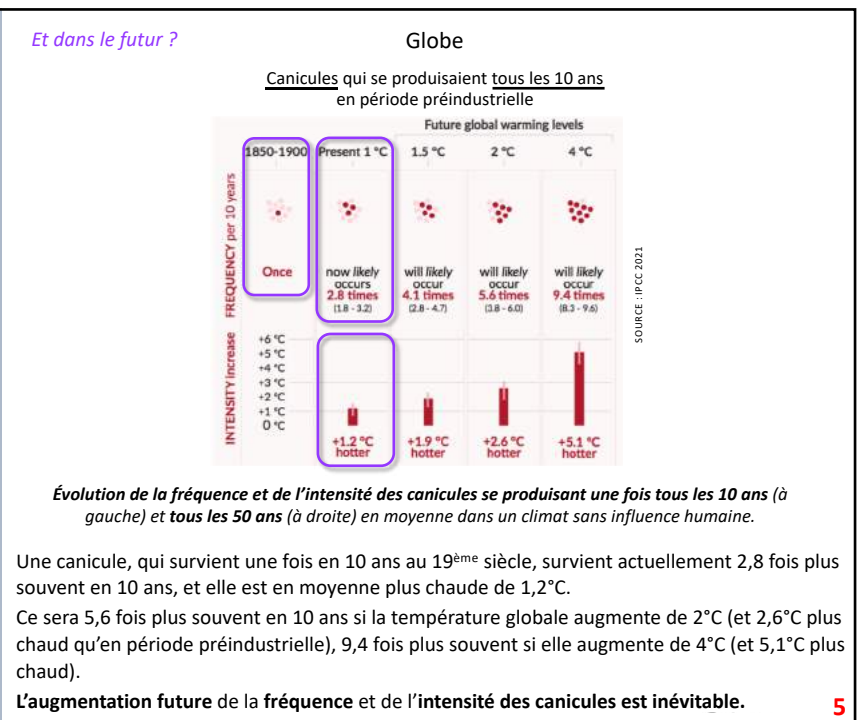
Sur les **continents de l'hémisphère nord**, la **probabilité des situations extrêmement chaudes** (survenant à plus de 3 « sigmas ») **a augmenté**, passant de **moins de 1%** en 1951-1980 à **près de 10%** en 2001-2011.


3

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

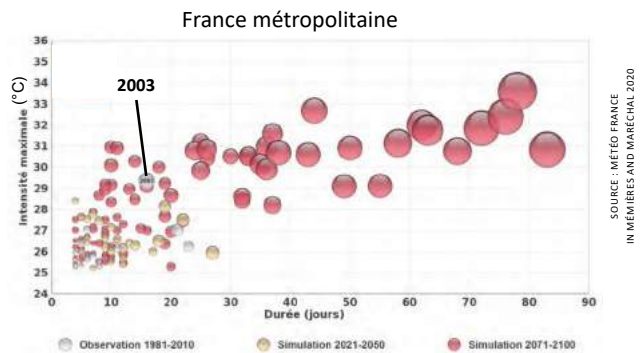


Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
4) Les manifestations du changement climatique #1

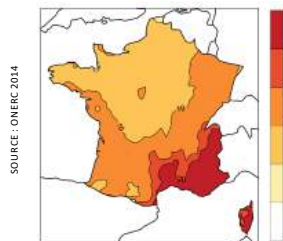


Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1

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.

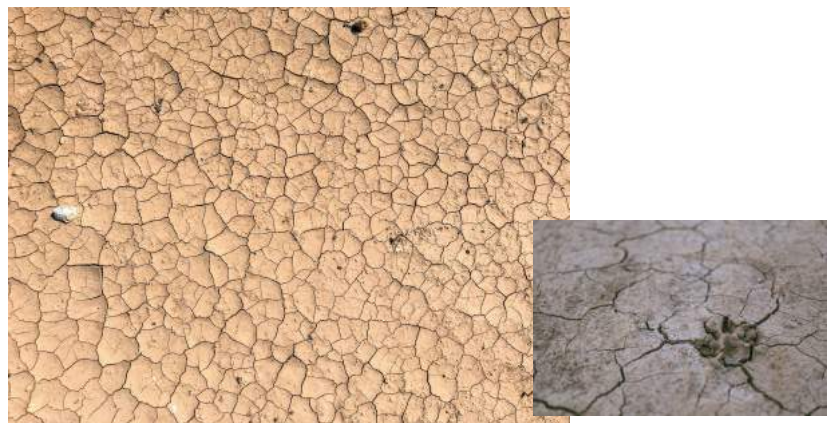


6

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1

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.



7

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

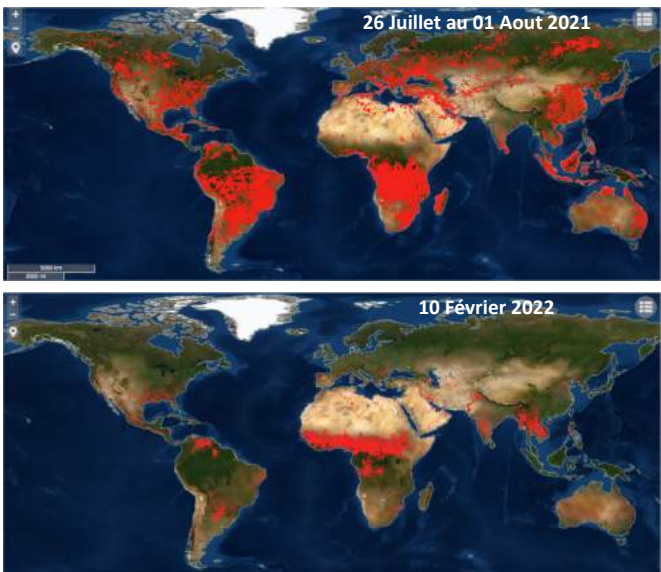
Incendies



CEM Lyon 1 8

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

Globe



26 Juillet au 01 Août 2021

10 Février 2022

SOURCE : NASA FIRMS (FIRE INFORMATION FOR RESOURCE MANAGEMENT SYSTEM)
<https://firms.modaps.eosdis.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.

9

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1

4) Les manifestations du changement climatique #1

Europe et bassin méditerranéen

Surface des feux, en milliers d'hectares :

Pays	2021 (en milliers d'hectares)	Moyenne 2008-2020 (en milliers d'hectares)	Écart (x)
Algérie	124	54	x2
Italie	147	31	x5
Turquie	181	24	x8
Grèce	124	12	x10

Écart à la moyenne (2008-2020)

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.

SOURCE : SYSTÈME EUROPÉEN D'INFORMATION SUR LES INCENDIES/EFFIS IN LE MONDE 2021

CEM Lyon 1 10

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 : L. 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 dendroctone.

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).

CEM Lyon 1 11

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
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

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
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

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1

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 : WIKI-MEDIA COMMONS / ZUMA PRESS/REA

Erfstadt-Blessem (Allemagne), en juillet 2021.



14

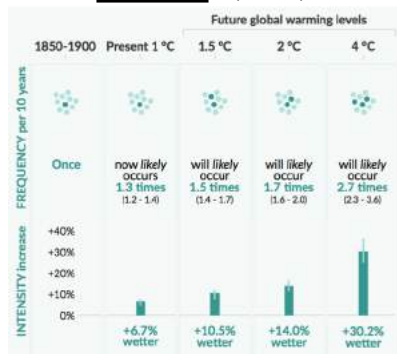
Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1

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



SOURCE : IPCC 2021

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

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1

4) Les manifestations du changement climatique #1

Cyclones tropicaux, ouragans, tornades



Tous ces évènements sont en augmentation.



16

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1

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 **totallement nouveau**.

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



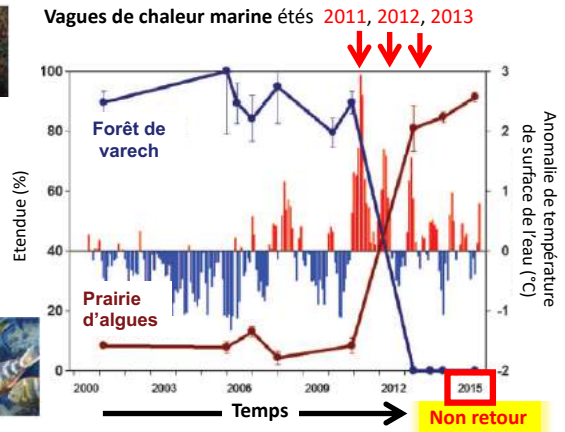
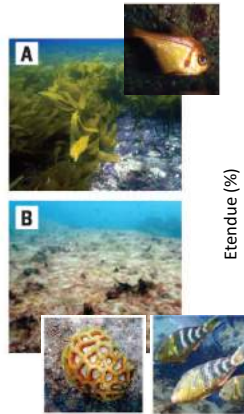
Ce basculement est irréversible.



17

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
4) Les manifestations du changement climatique #2

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



SOURCE : WERNBERG ET AL. 2016

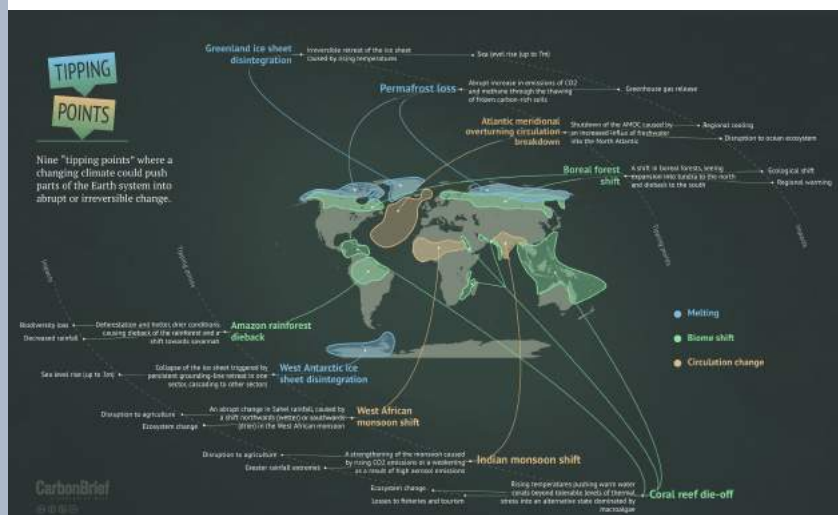
Anomalies de la température de surface de l'eau (°C) relatives à la moyenne 1981-2015 et basculement du régime des forêts de kelps (A) à celui de prairies d'algues (B) après les vagues de chaleur marine des étés 2011, 2012, 2013, vers Kalbarri (Australie de l'ouest).

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

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
4) Les manifestations du changement climatique #2

Et dans le futur ?



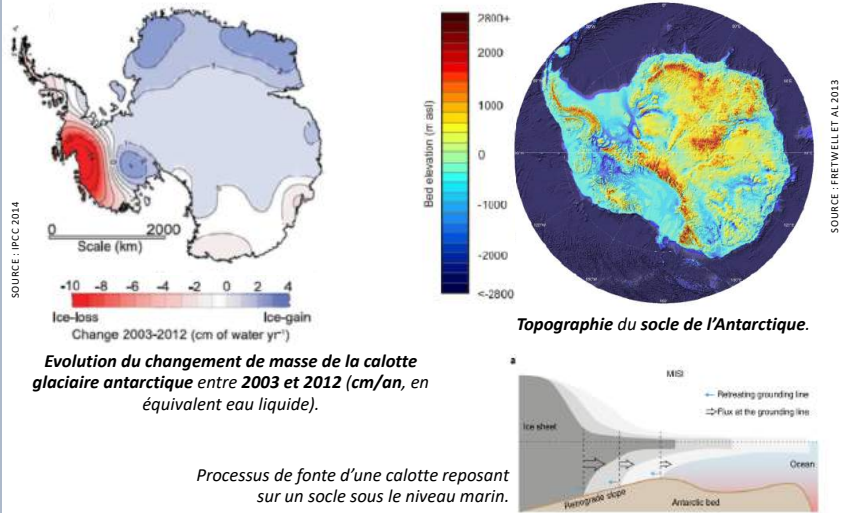
SOURCE : CARBON BRIEF <https://www.carbonbrief.org/>

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

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1

4) Les manifestations du changement climatique #1

Ex. Calotte antarctique ouest



Evolution du changement de masse de la calotte glaciaire antarctique entre 2003 et 2012 (cm/an, en équivalent eau liquide).

Processus de fonte d'une calotte reposant sur un socle sous le niveau marin.

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

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1

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.

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1

4) Les manifestations du changement climatique #2

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/>




22

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 6

4) Les manifestations du changement climatique #3



Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1

4) Les manifestations du changement climatique #3

Objectif :

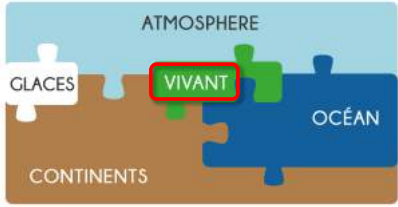
Retenir les principales caractéristiques de l'évolution
climatique actuelle et future pour le vivant, et pour les
humains




1

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
4) Les manifestations du changement climatique #3

Le vivant




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


2


Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
4) Les manifestations du changement climatique #3

Migration/déplacement




Chenille de la processionnaire du pin.


1969-1979




2010-2011









Paris



Colonies pionnières











*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

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
4) Les manifestations du changement climatique #3

Et dans le futur ?

Scénario A2 : +4,5°C 2100/1850

2000

2100 - A2

Groupe atlantique nord (espèce principale : châtaignier)

Groupe atlantique sud (pin maritime)

Groupe continental (hêtre)

Groupe montagnard (pin cembro, aulne, sapin)

Groupe méditerranéen (chêne vert)

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.

SOURCE : BADEAU ET AL 2008

4

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
4) Les manifestations du changement climatique #3

Augmentation

Diminution

Disparition
 à cause d'un climat défavorable : trop grande fréquence des événements climatiques extrêmes

Aire favorable mais non colonisée

Apparition

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.

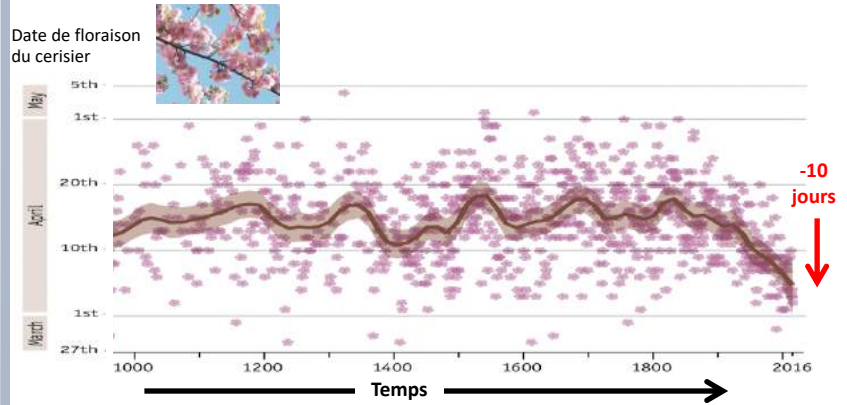
Le réchauffement futur conduira donc à une grande diminution des populations de hêtre en Europe occidentale.

SOURCE : CHUIRE 2017 / D'APRÈS SALTRE ET AL 2015

5

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
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



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.

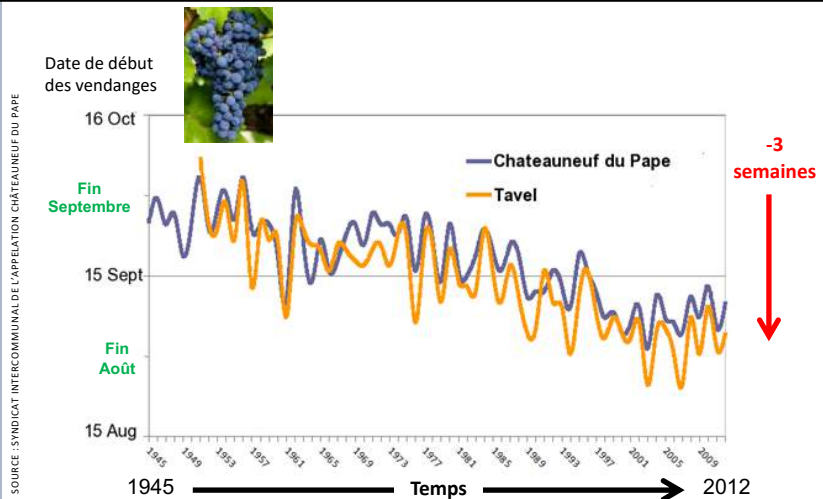
Depuis un siècle, cette date a avancé d'environ 10 jours, au 5 Avril.

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



6

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
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).




7

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
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.

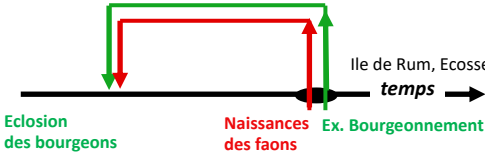
Cerf élaphe



Chevreuil

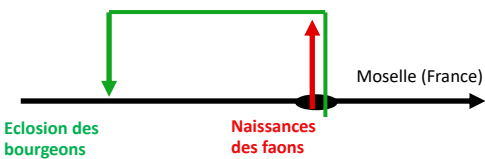


Ile de Rum, Ecosse (RU)



Printemps : avancée de ≈ -15 jours en 30 ans
 Naissances : avancée de $\approx -0,5$ jour/an

Moselle (France)



Printemps : avancée de ≈ -16 jours en 27 ans
 Naissances : avancée de ≈ 0 jour/an

SOURCE : PLARD ET AL 2014

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).

8

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
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.


9

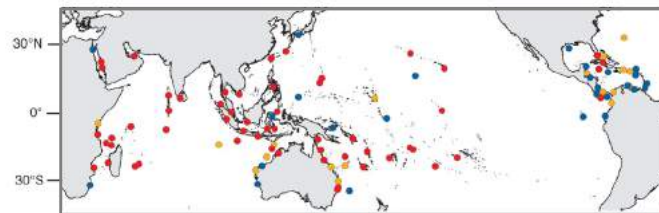
Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
4) Les manifestations du changement climatique #3

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'évènements locaux, les **épisodes de blanchissement des coraux** ont atteint des **dimensions régionales (supérieures à 1000 km)**, touchant **simultanément les récifs tropicaux de plusieurs océans**.

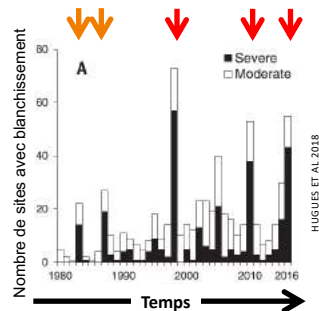


Etendue globale du **blanchissement des coraux en 2015 et 2016** (100 lieux d'étude).
 En **rouge** : blanchissement sévère affectant >30% des coraux, **orange** : blanchissement modéré (<30%), **bleu** : pas de blanchissement.

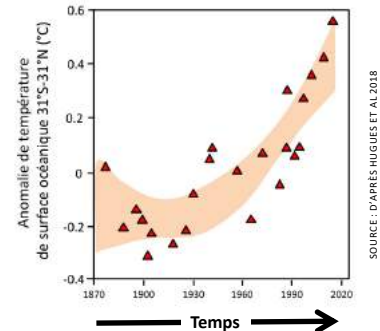
10

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

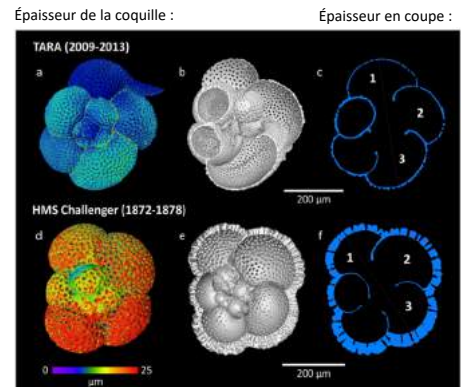
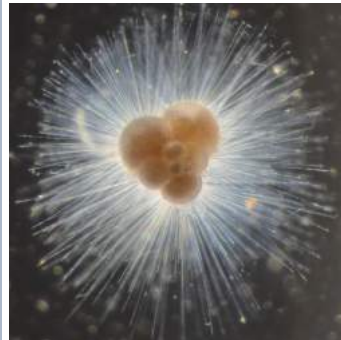
La fréquence des phénomènes de blanchissement des coraux a été **multipliée par 10 en moins de 40 ans**, passant **d'un phénomène tous les 25-30 ans au début des années 1980 à un tous les 2 ans en 2017**.

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

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
4) Les manifestations du changement climatique #3

L'impact de l'acidification de la surface de l'océan sur les organismes à coquille calcaire (plancton)



(A gauche) Foraminifère vivant. (A droite) Coquille du foraminifère *Neogloboquadrina dutertrei* (zooplancton) (en haut) actuel, et (en bas) de la fin du 19^{ème} siècle, dans l'océan Pacifique tropical.

Dans la surface des **eaux pacifiques tropicales**, l'acidification affaiblit le processus de **calcification de la coquille de certains planctons** (le calcaire étant facilement dissous par une eau acide).

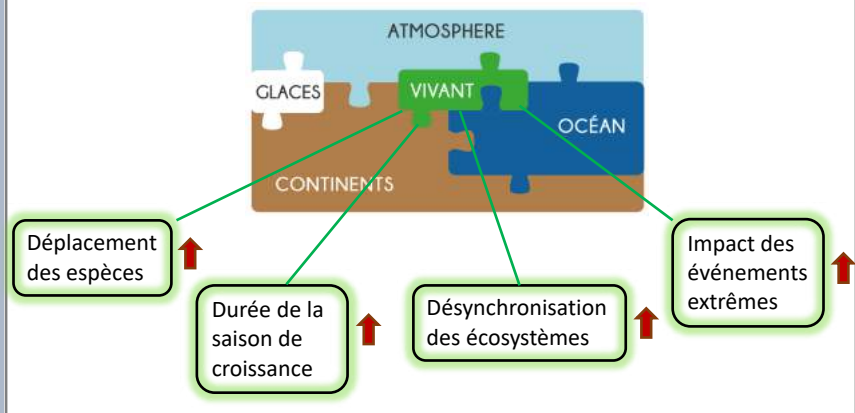
Une étude montre que la coquille de l'espèce *N. dutertrei* synthétisée actuellement est 4 fois plus fine que celle synthétisée il y a plus d'un siècle.

12

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
4) Les manifestations du changement climatique #3

Synthèse

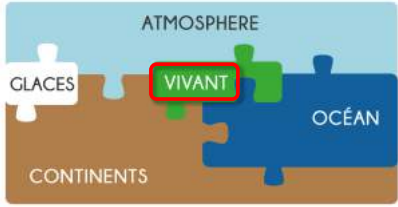
Schéma des **compartiments superficiels** de la Terre et des conséquences du changement climatique sur le vivant.



13


Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
4) Les manifestations du changement climatique #3

Dans le vivant, l'homme



ATMOSPHERE
 GLACES
 VIVANT
 Océan
 CONTINENTS

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


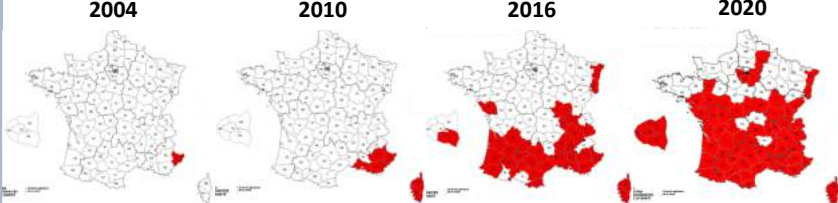


14

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

2004 2010 2016 2020


Nombre de départements touchés : 1 6 33 64

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 ...)



15

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1

4) Les manifestations du changement climatique #3

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

Historique, 1995 à 2005

RCP8.5, 2090 à 2100

MORA ET AL. 2017

0 50 100 150 200 250 300 350
 Nombre de jours par an au-dessus du seuil mortel

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.

16

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1

4) Les manifestations du changement climatique #3

Nourriture

Maïs

Blé d'hiver (froment)

Blé de printemps (orge)

Soja

Riz

SOURCE : WATTS ET AL., 2019

Changeement 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.

17

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1


4) Les manifestations du changement climatique #3

Et dans le futur ?



Images de maïs, blé, soja, riz.

Une baisse de rendement de \approx 6% pour l'ensemble maïs, blé, soja et riz à la fin du siècle est projetée selon le scénario RCP2.6, et de \approx 18% selon le scénario RCP8.5 (Zhao et al., 2017).




18

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1


4) Les manifestations du changement climatique #3

Migration




SOURCE : IDMC 2021, © NurPhoto/Kasir Salihuddin via Getty Images

Sattkhira (Bangladesh) après le passage du cyclone Amphan, en Août 2020 (5 millions d'évacuations au Bangladesh, en Inde, au Myanmar et au Bhoutan).



SOURCE : IDMC 2015, IDMC/M., Kesmaecker-Wisling

Averse de grêle au camp de déplacés de Kibabi (République Démocratique du Congo), en Mars 2015.



19

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
4) Les manifestations du changement climatique #3

Total des nouveaux déplacements en 2020 : 40,5 m

Conflits et violences : 10 m

- 137 000 Violences sexuelles
- 208 000 Violences domestiques
- 894 000 Violences intercommunales
- 1,2 m Autres
- 2,5 m Conflits armés

Catastrophes : 30,7 m

En lien avec les conditions météorologiques : 30 m

- 32 000 Sécheresses
- 46 000 Tempêtes extrêmes
- 102 000 Glissements de terrain
- 1,2 m Inondations
- 14 m Inondations
- 14,6 m Tornades
- 588 000 Autres tempêtes
- 13,6 m Cyclones, ouragans, typhons

Autres : 655 000

- 137 000 Traitements de réfugiés
- 518 000 Réfugiés volontaires

Geophysique : 137 000

Nombre de déplacés « internes » (à l'intérieur de leur pays) annuel, en 2020 (du 01/01 au 31/12/2020). « m » : million.

Les **déplacés internes suite aux catastrophes** (≈ 30 millions/an) sont **3 fois plus nombreux** que les déplacés internes **suite aux conflits et violences** (≈ 10 millions/an).

Les **catastrophes** à l'origine des déplacements sont principalement des **événements climatiques (inondations et cyclones, incendies)**
 La tendance est identique depuis plus de 10 ans.

2008-2019 (12 ans) : 24±9 millions/an de déplacés internes catastrophes
 2020 : 31 millions/an de déplacés internes catastrophes

Les **déplacements internes de populations ont augmenté suite au changement climatique actuel**

20

SOURCE : IDMC (INTERNAL DISPLACEMENT MONITORING CENTRE) GRID 2021

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
4) Les manifestations du changement climatique #3

Conflits **Total des nouveaux déplacements en 2020 : 40,5 m** **Catastrophes**

Localisation des déplacements internes suite aux conflits en 2020.

Localisation des déplacements internes dus aux catastrophes en 2020.

Les **déplacements** liés aux **conflits** sont localisés aux basses latitudes.

Les **déplacements** liés aux **catastrophes** touchent l'ensemble du globe.


21

SOURCE : IDMC GRID 2021


Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
4) Les manifestations du changement climatique #3

Conflits

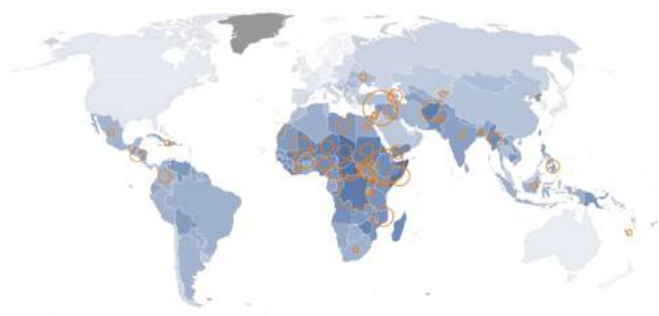

Total des nouveaux déplacements en 2020



Nouveaux déplacements dus aux conflits et à la violence en 2020



Indice ND-GAIN : schématise la vulnérabilité d'un pays au changement de climat, associée à sa capacité à améliorer sa résilience



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**

SOURCE : IDMC GRID 2021

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
4) Les manifestations du changement climatique #3

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**

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1

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

Chloé Maréchal
LGL-TPE – Université Lyon1

Capsule 7

L'enseignement du passé sur la crise climatique



Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1

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



Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1

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°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 ») ?



2

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1

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 KOGIO GFDL (b) SOUTH TYROL MUSEUM OF ARCHAEOLOGY (c) MUSEE ARCHEOLOGIE 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).

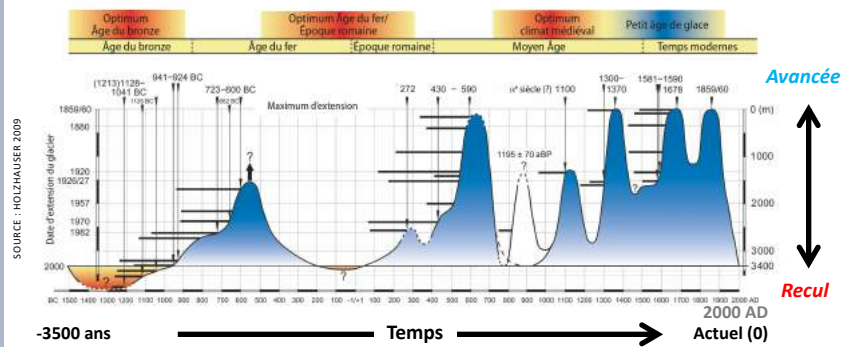
Ötzi vivait il y a \approx 5300 ans, à l'âge du cuivre, une période de climat chaud.



3

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1

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.

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1

5) L'enseignement du passé sur la crise climatique

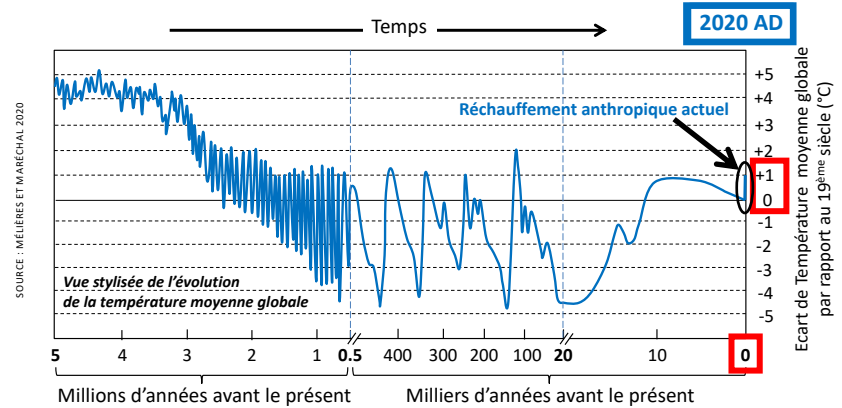


Schéma simplifié de l'évolution de l'anomalie de température globale depuis 5 millions d'années jusqu'à l'actuel. Attention l'échelle de temps n'est pas linéaire entre les époques de 5 millions d'années à 500 000 ans (à gauche), de 500 000 ans à 20 000 ans (au milieu), et de 20 000 ans à l'actuel (à droite). L'incertitude est de ± 1 °C de 5 millions à 10 000 ans, et de ± 0,5 °C de 10 000 ans à l'actuel.

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
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°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°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 ») ?



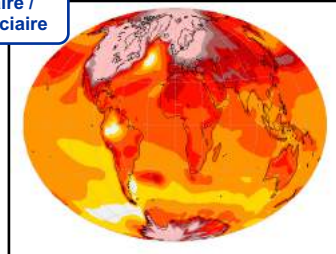
6

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
5) L'enseignement du passé
sur la crise climatique

(1)

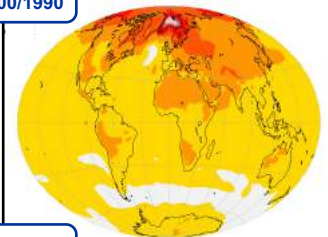
Dans le cas d'un réchauffement de **+5°C** en 2100 (RCP8.5), le **changement climatique sera très fort** : du même ordre de grandeur que lors du passage d'une période glaciaire à une période interglaciaire.

Glaciaire / Interglaciaire

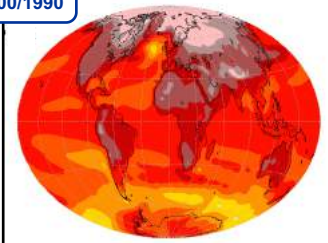


SOURCE : IPSL

RCP2.6
2100/1990



RCP8.5
2100/1990

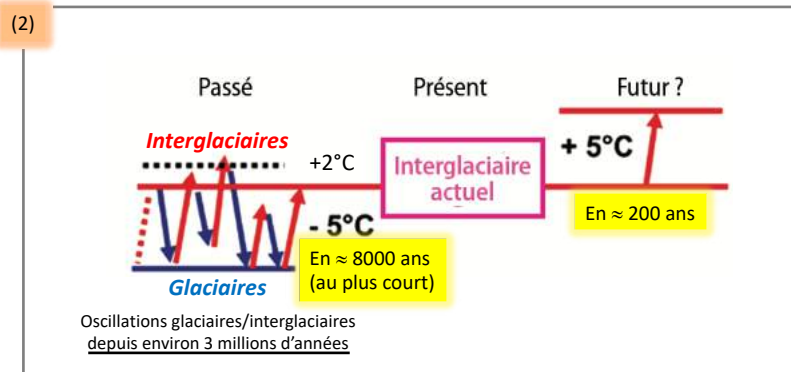


0 1 2 3 4 5 6 7 8 (°C)

Changement de température en surface terrestre : (à gauche) lors d'une **déglaciation** (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

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
5) L'enseignement du passé sur la crise climatique



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.

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
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	Volcanisme explosif : ≈ -0,2°C
			Activités humaines (1850-2100) : ≈ 2°C à 5°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.

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
5) L'enseignement du passé sur la crise climatique

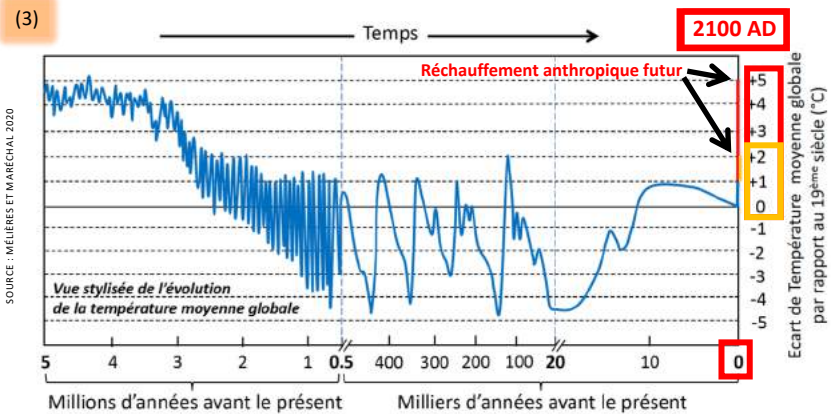


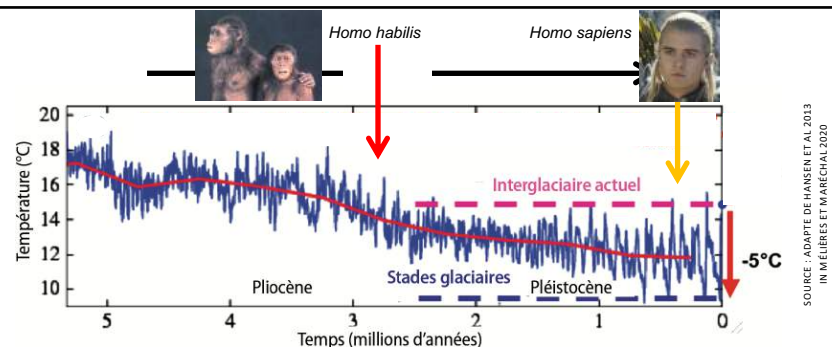
Schéma simplifié de l'évolution de l'anomalie de température globale depuis 5 millions d'années jusqu'à la fin du 21^{ème} siècle. Attention l'échelle de temps n'est pas linéaire entre les époques de 5 millions d'années à 500 000 ans (à gauche), de 500 000 ans à 20 000 ans (au milieu), et de 20 000 ans à l'actuel (à droite).
 L'incertitude est de ± 1 °C de 5 millions à 10 000 ans, et de $\pm 0,5$ °C de 10 000 ans à l'actuel.

Anomalie de température globale par rapport au 19^{ème} siècle
 Passé, présent : ■
 Futur, en 2100 : ■ +2°C (RCP2.6) ■ +5°C (RCP8.5)

Dans le cas d'un réchauffement de +5°C en 2100, le climat évoluera vers une **situation totalement nouvelle au regard des derniers millions d'années.**

9

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
5) L'enseignement du passé sur la crise climatique



Température moyenne globale reconstruite sur les 5 derniers millions d'années, et projection future (scénario RCP8.5 : +5°C en 2100).

En **période glaciaire**, la température globale est de $\approx 10^\circ\text{C}$,
 en **période interglaciaire**, de $\approx 15^\circ\text{C}$, sur les derniers cycles climatiques.

Une augmentation de +5°C à partir de l'interglaciaire actuel projetterait la Terre dans un **climat nouveau** ($T \approx 20^\circ\text{C}$), 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*), apparut 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 ...

10

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
5) L'enseignement du passé sur la crise climatique

(4)

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.

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.




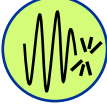

Cela amènera inévitablement de **profonds bouleversements dans les écosystèmes**.
 Une sixième extinction massive de la biodiversité ?!

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

12

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
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 $\approx +5^\circ\text{C}$ 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

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1

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.

