

ET SI J'AVAIS QQ DIZAINES DE MINUTES POUR “CAUSER” DE LA CRISE NRJ-CLIMAT ?

L'histoire d'un noeud Gordien ... et quelques reflexions autour

16/09/2025

UE Variabilité Climatique et Environnementale (PAX7STAF)

[<geremy.panthou@univ-grenoble-alpes.fr>](mailto:geremy.panthou@univ-grenoble-alpes.fr)



I. Quelques mots introdutifs

Informations perso.

Ce sur quoi je travaille

- Climat, hydrologie
- Extrêmes hydro-météorologiques ($\neq$ régions du monde.)
- Curieux et ouvert à d'autres domaines/disciplines

depuis

2009 Observation & recherche.

2015 Enseignement & Vulgarisation

Communautés plus larges



Sur la présentation

Sentez vous libres !!! || Diapos diffusables || Plan dans le bandeau noir || Interactif:
n'hésitez pas :-)

Environnement et société: pourquoi parler de la crise climatique?

Bonnes raisons de parler d'autres crises socio-environnementales

- L'environnement est trop souvent réduit au climat → il y a d'autres crises
- Certaines sont au moins aussi critiques, notamment concernant les impacts sanitaires et sociaux

Environnement et société: pourquoi parler de la crise climatique?

Bonnes raisons de parler d'autres crises socio-environnementales

- L'environnement est trop souvent réduit au climat → il y a d'autres crises
- Certaines sont au moins aussi critiques, notamment concernant les impacts sanitaires et sociaux

Le climat est un sujet emblématique pouvant servir à décrypter d'autres crises socio-environnementales.

Environnement et société: pourquoi parler de la crise climatique?

Bonnes raisons de parler d'autres crises socio-environnementales

- L'environnement est trop souvent réduit au climat → il y a d'autres crises
- Certaines sont au moins aussi critiques, notamment concernant les impacts sanitaires et sociaux

Le climat est un sujet emblématique pouvant servir à décrypter d'autres crises socio-environnementales.

Mauvaises justifications pour ne pas en parler

On en parle partout, et tout le temps:

- c'est sous contrôle
- on connaît

Environnement et société: pourquoi parler de la crise climatique?

Bonnes raisons de parler d'autres crises socio-environnementales

- L'environnement est trop souvent réduit au climat → il y a d'autres crises
- Certaines sont au moins aussi critiques, notamment concernant les impacts sanitaires et sociaux

Le climat est un sujet emblématique pouvant servir à décrypter d'autres crises socio-environnementales.

Mauvaises justifications pour ne pas en parler

On en parle partout, et tout le temps: **Oui, mais**

- c'est sous contrôle **seulement dans les discours?**
- on connaît **suffisamment bien les fondements scientifiques sur le sujet ?**

Environnement et société: pourquoi parler de la crise climatique?

Bonnes raisons de parler d'autres crises socio-environnementales

- L'environnement est trop souvent réduit au climat → il y a d'autres crises
- Certaines sont au moins aussi critiques, notamment concernant les impacts sanitaires et sociaux

Le climat est un sujet emblématique pouvant servir à décrypter d'autres crises socio-environnementales.

Mauvaises justifications pour ne pas en parler

On en parle partout, et tout le temps: **Oui, mais**

- c'est sous contrôle **seulement dans les discours?**
- on connaît **suffisamment bien les fondements scientifiques sur le sujet ?**

Environnement et société: pourquoi parler de la crise climatique?

Bonnes raisons de parler d'autres crises socio-environnementales

- L'environnement est trop souvent réduit au climat → il y a d'autres crises
- Certaines sont au moins aussi critiques, notamment concernant les impacts sanitaires et sociaux

Le climat est un sujet emblématique pouvant servir à décrypter d'autres crises socio-environnementales. ⇒ Dernière partie

Mauvaises justifications pour ne pas en parler

On en parle partout, et tout le temps: **Oui, mais**

- c'est sous contrôle **seulement dans les discours? ⇒ Milieu de la présentation**
- on connaît **suffisamment bien les fondements scientifiques sur le sujet ? ⇒ Première séquence avec le GIEC**

II. Les fondements scientifiques : le GIEC

Petit sondage

1. Savez vous comment sait-t-on que le climat se réchauffe ?
2. Savez vous comment sait-t-on qu'il est d'origine humaine (anthropique) ?
3. Différence entre adaptation et atténuation ?
4. Pourra-t-on s'adapter à tout ?
5. Qu'est que le budget carbone restant pour viser X° / ou la neutralité carbone ?
6. Qui a déjà entendu parlé de noeud gordien / "wicked problem" (pb foireux) ?
7. Avec vous des exemples de désinformation climatique? et les moyens de les débunker ?

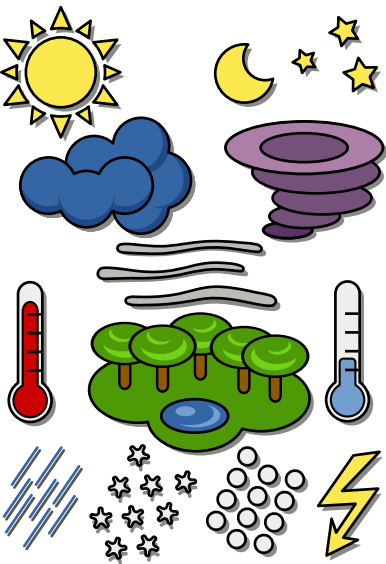
Le fil rouge de cette partie

Quel point commun entre:

- Les Gouttières
- Produits maraichers locaux
- Dignes et ponts de l'Isère
- Le bâtis de la région
- Notre garde-robe
- Système Grenoblois eau potable/usée
- Notre présence ici !!

Une idée ?????

Rappels: Météo vs climat vs réchauffement climatique



Mêmes variables atmosphériques

Température, Précipitation, Nébulosité, Vent, Rayonnement, ...

Quelle différence ?

Rappels énergétiques

1. Énergie: c'est ce qui permet de transformer le monde
 2. Chaînes ultra-longues, complexes, interconnectées et en symbiose
- Système énergétique actuel majoritairement basé sur les NRJs fossiles

Rappels énergétiques

Sources



Stockage



Transformation



Transport



Usage final



Rappel : le GIEC kesako?

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (anglais: IPCC)



Points Clefs

- Organisme scientifico-politique onusien
- Expertise la littérature et rend compte des consensus/dissensus scientifiques
- +1000 scientifiques
- +10000 études scientifiques analysées
- 3 groupes de travail

Les rapports sont approuvés en assemblée plénière du GIEC

par les pays représentés dans l'assemblée du GIEC (y compris les USA, ou l'Arabie Saoudite).

III. Réchauffement climatique: où en sommes nous et où allons nous?



Groupe de Travail 1 : bases Physiques du changement climatique

Questions posées



- Observations: Combien de degrés depuis l'ère pré-industrielle? Évolution des forçages climatiques?
- Attribution: Pourquoi ça chauffe? Quelle(s) cause(s)?
- Projections: Combien en plus d'ici 2050? 2100?
- Déclinaisons: disparités régionales? saisonnalité? extrêmes?

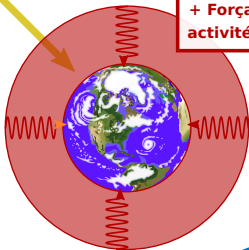
Disciplines engagées

Essentiellement physique⁺⁺⁺, chimie⁺⁺, biologie⁺.

Consensus total: “virtually certain”

Le climat terrestre: $\neq$ forçages et rétro-actions internes

**Forçage externe = énergie solaire reçue
(soleil + paramètres orbitaux)**



**Energie disponible = Soleil
+ Forçages internes (tectonique,
activité volcanique, GES, Albédo)**

**Ré-équilibre énergétique
via les fluides terrestres**



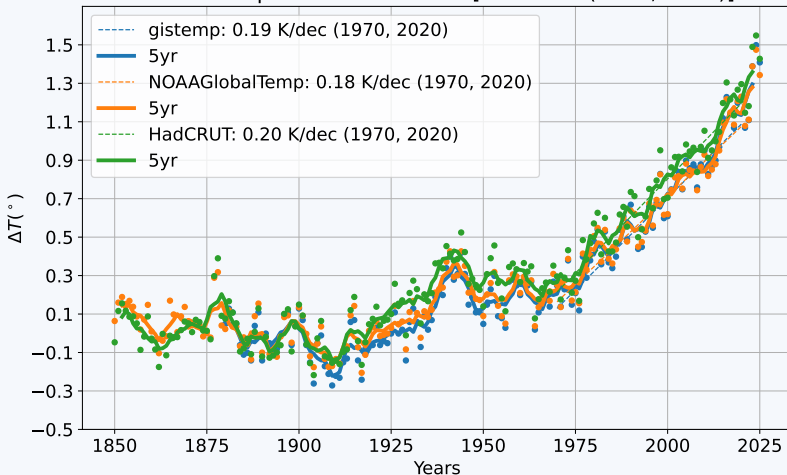
Évolutions passées?

- réponse climatique?
- forçages?

Observations: réponse climatique

Température moyenne terrestre (océan+terres)

Global temperature anomalies [baseline=(1880, 1900)]



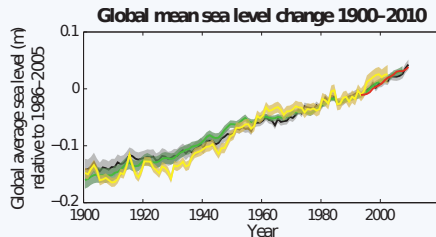
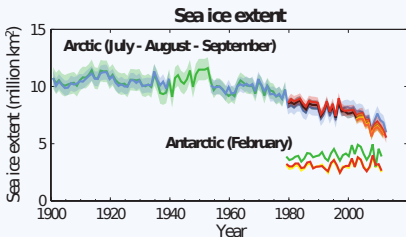
Moyenne des 3 dernières années $\geq +1.4^{\circ}\text{C}$ (par rapport à l'ère pre-industrielle)

Observations: réponse climatique

Température moyenne terrestre (océan+terres)

Moyenne des 3 dernières années $\geq +1.4^{\circ}\text{C}$ (par rapport à l'ère pre-industrielle)

Niveau et mer et extension des glaces



Tendances à la baisse des glaces de mers et à la hausse du niveau marin

Observations: réponse climatique

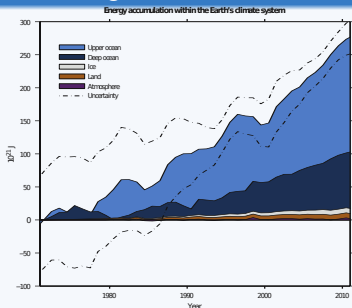
Température moyenne terrestre (océan+terres)

Moyenne des 3 dernières années $\geq +1.4^{\circ}\text{C}$ (par rapport à l'ère pre-industrielle)

Niveau et mer et extension des glaces

Tendances à la baisse des glaces de mers et à la hausse du niveau marin

Bilan d'énergie



Accumulation d'énergie à la surface

- 90 % dans les océans
- $\approx 1\%$ dans l'atmosphère

Δ forçage radiatif net à la surface $\approx 2.7[2; 3.5] \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ (vs ère pré-industrielle)

Observations: réponse climatique

Température moyenne terrestre (océan+terres)

Moyenne des 3 dernières années $\geq +1.4^{\circ}\text{C}$ (par rapport à l'ère pre-industrielle)

Niveau et mer et extension des glaces

Tendances à la baisse des glaces de mers et à la hausse du niveau marin

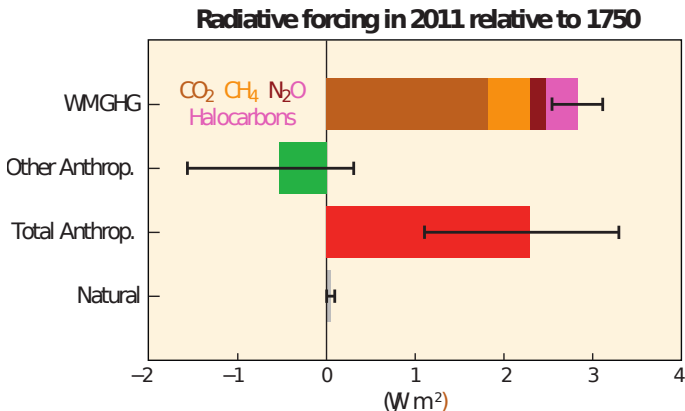
Bilan d'énergie

Δ forçage radiatif net à la surface $\approx 2.7[2; 3.5] \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ (vs ère pré-industrielle)

Effet “zoom” (variabilité naturelle) ? ou “réelle” tendance ?

“Warming of the climate system is unequivocal, and since the 1950s, many of the observed changes are unprecedented over decades to millennia. The atmosphere and ocean have warmed, the amounts of snow and ice have diminished, and sea level has risen.” [IPCC, 2014]

Observations: forçages climatiques

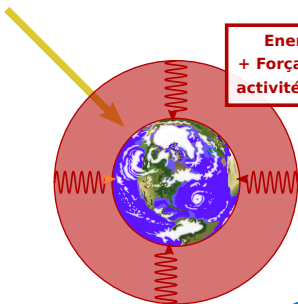


En résumé

- Volcanisme (aérosol stratosphérique): $\searrow \bar{T}$ lors éruptions majeures
- Radiation solaire: peu de changements
- Gaz à effet de serre: forte hausse

Attribution: comprendre les évolutions et leurs causes

**Forçage externe = énergie solaire reçue
(soleil + paramètres orbitaux)**



**Energie disponible = Soleil
+ Forçages internes (tectonique,
activité volcanique, GES, Albédo)**

**Ré-équilibre énergétique
via les fluides terrestres**



Évolutions passées?

- réponse climatique?
- forçages?

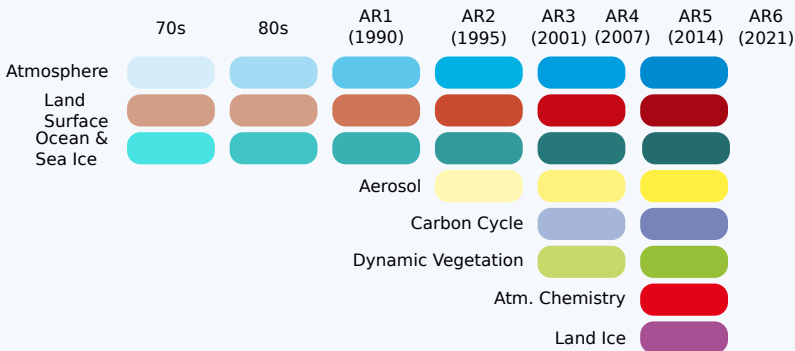
Attribution

Lien entre ces évolutions?
⇒ modèles numériques:
Causes&Effets

Attribution: comprendre les évolutions et leurs causes

Sous le capot des modèles climatiques (maintenant Earth System Model)

Des équations (différentielles, paramétrés) pour $\neq$ processus des $\neq$ compartiments, reliées via un coupleur



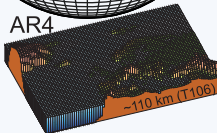
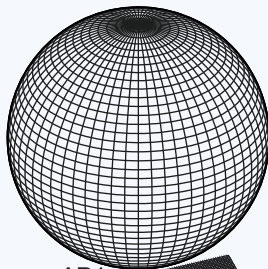
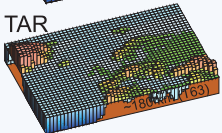
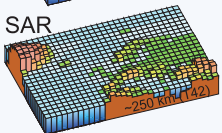
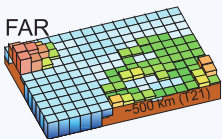
COUPLER

Attribution: comprendre les évolutions et leurs causes

Sous le capot des modèles climatiques (maintenant Earth System Model)

Des équations (différentielles, paramétrés) pour $\neq$ processus des $\neq$ compartiments, reliées via un coupleur

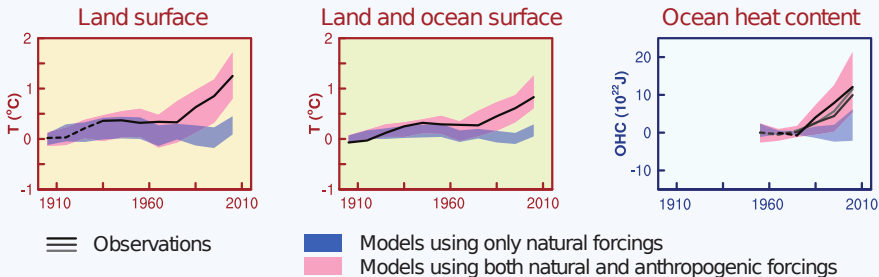
Et résolues sur un maillage de la terre en 3D



Attribution: comprendre les évolutions et leurs causes

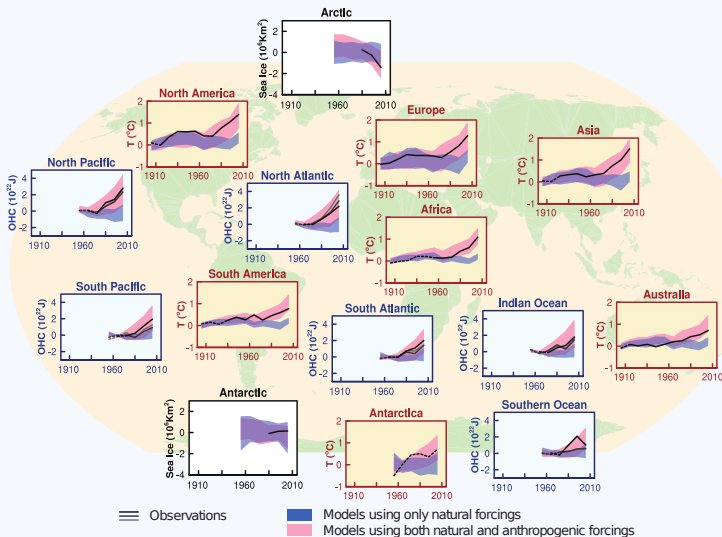
Comparaison simulations & observations

Global averages



Attribution: comprendre les évolutions et leurs causes

Comparaison simulations & observations



Attribution: comprendre les évolutions et leurs causes

Résultat de l'attribution

- ✗ Sans GES Anthropique: les évolutions passées ne sont **pas** reproduites.
- ✓ Avec forçages anthropiques **oui**: pour $\neq$ régions et $\neq$ variables.

L'origine anthropique du réchauffement est indéniable

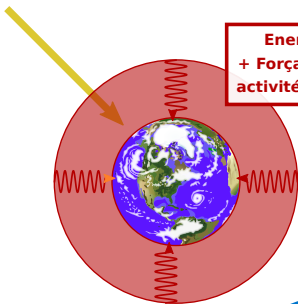
Consensus scientifique ayant suivi la démarche scientifique

- compréhensible / appréhendable
- cohérente: théorie, observations, simulations, prédictions
- aucune hypothèse alternative n'est arrivée à ce stade

⇒ **seule hypothèse tenable**

Projections futures

**Forçage externe = énergie solaire reçue
(soleil + paramètres orbitaux)**



**Energie disponible = Soleil
+ Forçages internes (tectonique,
activité volcanique, GES, Albédo)**

**Ré-équilibre énergétique
via les fluides terrestres**



Évolutions passées?

- réponse climatique?
- forçages?

Attribution

Lien entre ces évolutions?
⇒ modèles numériques:
Causes&Effets

Et le futur?

Temps de latence: **qq
décennies**

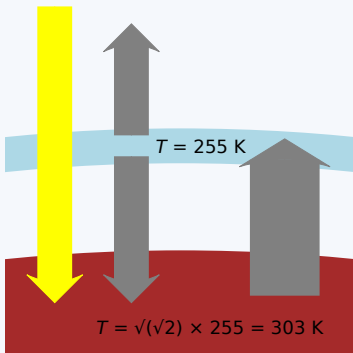
- 10-20 ans: déjà dans l'air
- Après: ça dépendra de nos choix

Le mal nommé “effet de serre”?

L'effet de serre: Schéma illustratif

Rayonnement infra-rouge d'un corps noir
(Stefan–Boltzmann)

$$\epsilon \times \sigma \times T^4$$



Température de la terre

Valable uniquement pour
l'illustration

- Sans Atmosphère (pas d'effet de serre): $255\text{K} \approx -18^\circ\text{C}$
- Avec l'effet de serre de l'atmosphère: $288\text{K} \approx 15^\circ\text{C}$

Le mal nommé “effet de serre”?

1. Absorptivité du CO₂ saturée et notion d'altitude d'émission

Schématiquement

Basse couche (zone aveugle) Rayonnement IR de la surface
totalement absorbé puis ré-émis
(dans toutes les directions)

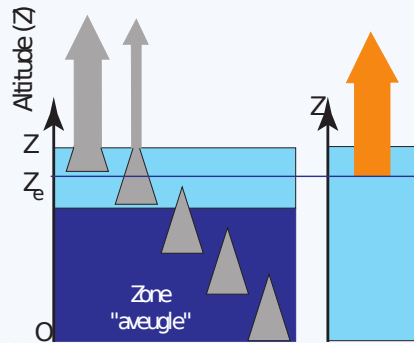
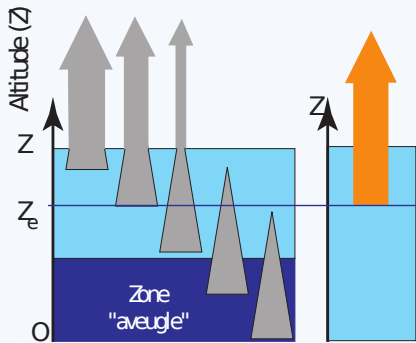
Moyenne troposphère Une partie du rayonnement émis
atteint l'espace

Haute troposphère La quasi totalité atteint l'espace

⇒ Altitude d'émission: altitude moyenne à laquelle le rayonnement qui atteint l'espace est émis

Le mal nommé "effet de serre"?

1. Absorptivité du CO₂ saturée et notion d'altitude d'émission



Le mal nommé “effet de serre”?

1. Absorptivité du CO₂ saturée et notion d'altitude d'émission

Hausse de pCO₂ $\Rightarrow$ ↘ distance parcouru par un rayon IR avant absorption $\Rightarrow$ Hausse de l'altitude d'émission

2. $IR = \epsilon \times \sigma T(Ze)^4$

Si atm isotherme pas “d'effet de serre”

3. Gradient adiabatique

Adiabatique d'une atmosphère sèche: l'énergie statique est conservée

$$es = cpT + gz = cst$$

$$\Rightarrow dT/dz = -g/cp = -9.8^\circ/\text{km}$$

$$\text{Atmosphère Humide} \approx -6.5^\circ/\text{km}$$

Le mal nommé “effet de serre”?

1. Absorptivité du CO₂ saturée et notion d'altitude d'émission

Hausse de pCO₂ $\Rightarrow$ ↘ distance parcouru par un rayon IR avant absorption $\Rightarrow$ Hausse de l'altitude d'émission

2. $IR = \epsilon \times \sigma T(Ze)^4$

Si atm isotherme pas “d'effet de serre”

3. Gradient adiabatique

Adiabatique d'une atmosphère sèche: l'énergie statique est conservée

$$es = cpT + gz = cst$$

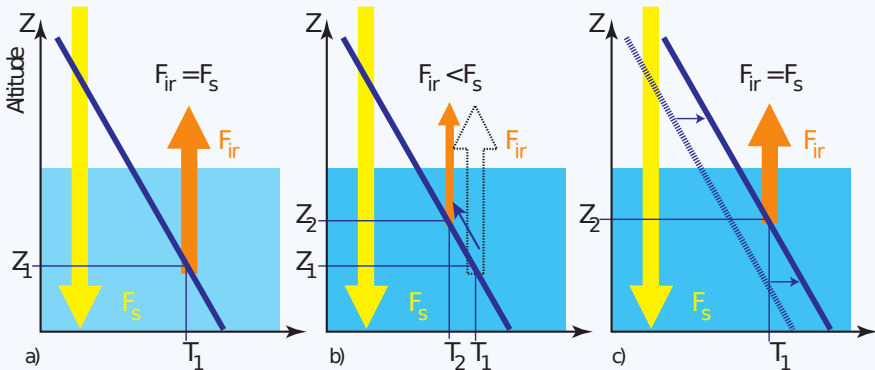
$$\Rightarrow dT/dz = -g/cp = -9.8^\circ/km$$

Atmosphère Humide $\approx -6.5^\circ/km$

1. & 2. & 3. $\Rightarrow$ rayonnement IR vers l'espace ↘ lorsque pCO₂ ↗.

Le mal nommé “effet de serre”?

L'accroissement de la température se fait “par le haut”



⇒ Effet de serre de serre additionnel: ce n'est pas instantané

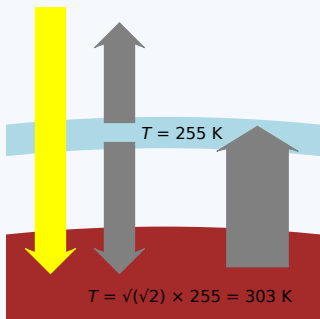
Source et explications supplémentaires [Dufresne and Treiner, 2011]:

<https://www.climat-en-questions.fr/reponse/fonctionnement-climat/effet-serre-par-philippe-bousquet-jean-louis-dufresne>

Le mal nommé 'effet de serre'

L'effet de serre: Schéma illustratif

Rayonnement infra-rouge d'un corps noir (Stefan-Boltzmann): $\epsilon \times \sigma \times T^4$



Valable uniquement pour l'illustration

Réalité bien plus complexe

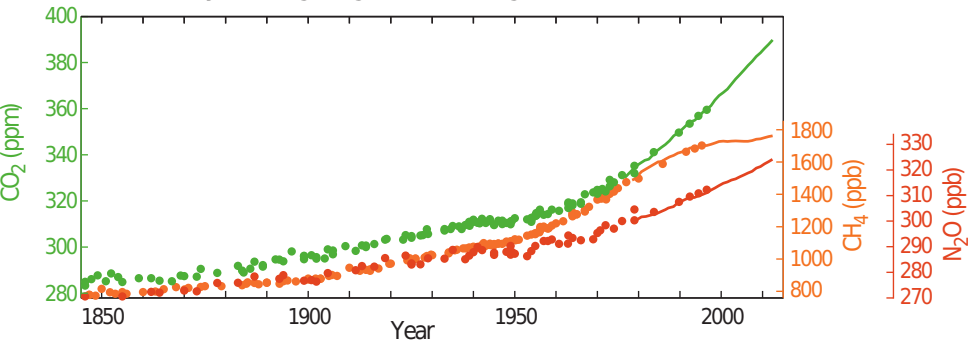
Pour aller plus loin: Source et explications supplémentaires [Dufresne and Treiner, 2011]: ICI

À retenir

$$\Delta \overline{T_{global}} \propto p\text{CO}_2$$

Le carbone émis s'accumule dans l'atmosphère

Globally averaged greenhouse gas concentrations



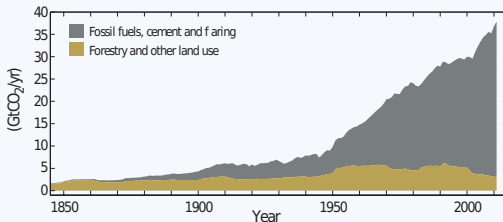
Quelques repères

- 280 ppm à l'aube de la révolution industrielle
- 400 ppm: barre "emblématique" dépassée la première fois en 2017

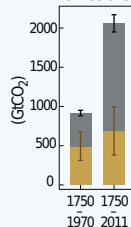
Le carbone émis s'accumule dans l'atmosphère

Une source de GES ...

Global anthropogenic CO₂ emissions



Cumulative CO₂ emissions



**Bilan pour
l'atmosphère**
 $\approx +20 \text{ GtCO}_2\text{eq/an}$
Airborne fraction
 $\text{cst} \approx 0.45 \text{ stable}$

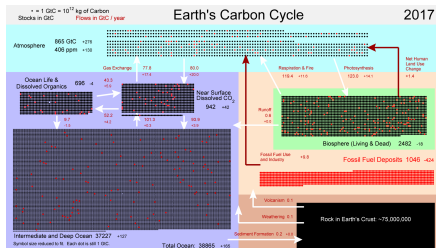
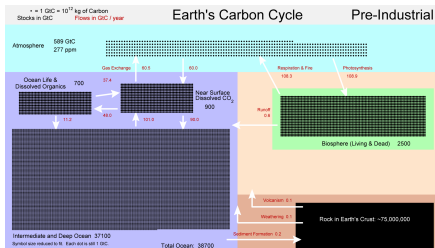
... et des puits

- Océans
- Surfaces continentales (végétation)
- Atmosphère

Le carbone émis s'accumule dans l'atmosphère

Source ici: <https://www.youtube.com/watch?v=dwVsD9CiokY>

Le carbone émis s'accumule dans l'atmosphère

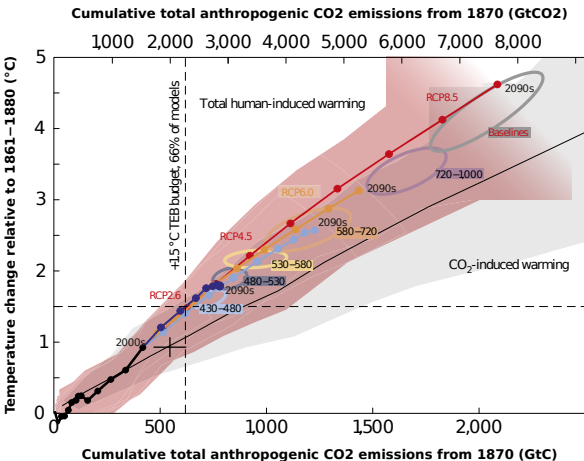


À retenir

$$p\text{CO}_2 \propto \sum \text{CO}_{2\text{ANT}}$$

En Bref

“LA” figure du GT1 [Millar et al., 2017]



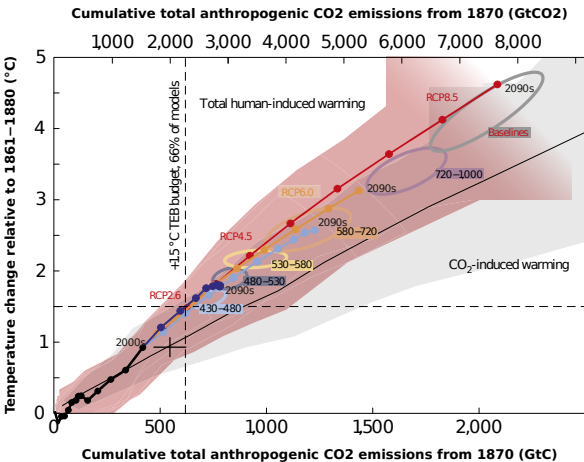
Réponse simple d'un système complexe

$$\Delta \overline{T_{global}} \propto pCO_2 \propto \sum CO_{2ANT}$$

- $\Delta \overline{T_{global}} \Rightarrow$ impacts (GT2)
- $\sum CO_{2ANT} \Rightarrow$ causes (GT3)

En Bref

“LA” figure du GT1 [Millar et al., 2017]



Réponse simple d'un système complexe

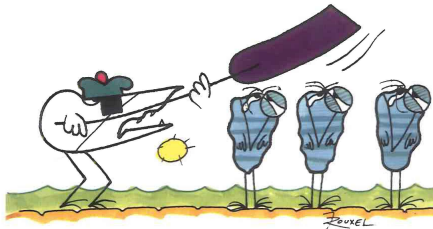
$$\Delta \overline{T_{global}} \propto pCO_2 \propto \sum CO_{2ANT}$$

- $\Delta \overline{T_{global}} \Rightarrow$ impacts (GT2)
- $\sum CO_{2ANT} \Rightarrow$ causes (GT3)

Des questions / remarques ????

IV. Du réchauffement au dérèglement climatique: Impacts & Adaptation

La devise Shadok de la semaine



POUR QU'IL Y AIT LE MOINS DE
MÉCONTENTES POSSIBLE IL FAUT TOUJOURS
TAPER SUR LES MÊMES.

GT 2 : impact, adaptation et vulnérabilité

Questions posées



- Ça chauffe et alors?
- Quels impacts (positifs/négatifs) prévisibles?
- Peut-t-on s'adapter à tout ?
- Injustice & Équité?

Disciplines engagées

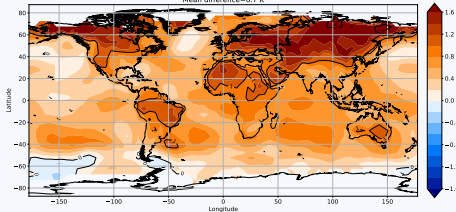
Idem GT1 + tous les modèles d'impacts: hydrologie, agronomie, sociologie, écologie, médecine

Chaines causales + longues: un consensus qui oscille selon les cas entre “likely” et “virtually certain”

Impacts: disparités régionales et cycle de l'eau

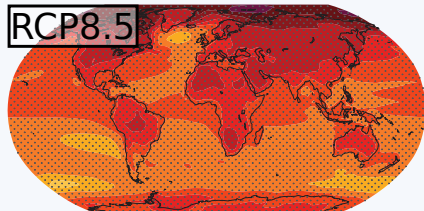
Observations

Temperature difference (2000, 2020) - (1950, 1970)
Mean difference = 0.7 K

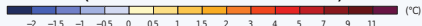


Projections

RCP8.5



Change in average surface temperature
(1986-2005 to 2081-2100)



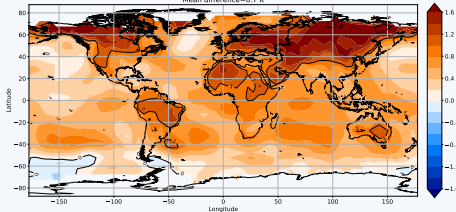
Réchauffement partout

- Contraste Terres/Océans
- Zones polaires, régions semi-arides et montagneuses se réchauffent plus fortement

Impacts: disparités régionales et cycle de l'eau

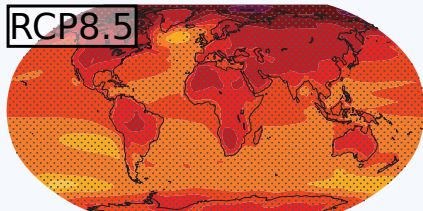
Observations

Temperature difference (2000, 2020) - (1950, 1970)
Mean difference=0.7 K

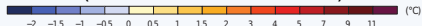


Projections

RCP8.5



Change in average surface temperature
(1986-2005 to 2081-2100)



Réchauffement partout

- Contraste Terres/Océans
- Zones polaires, régions semi-arides et montagneuses se réchauffent plus fortement

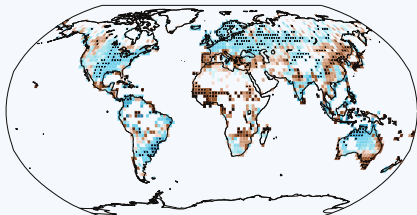
Les climats locaux vont changer

De façon différenciée et dépendamment de la variable

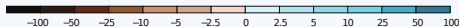
Impacts: disparités régionales et cycle de l'eau

Observations

1951–2010



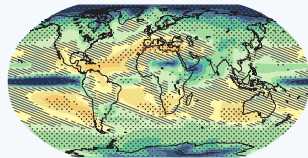
Observed change in annual precipitation over land



(mm yr⁻¹ per decade)

Projections

RCP 8.5



Change in average precipitation (1986–2005 to 2081–2100) (%)

Précipitations: tendance globale à l'augmentation

Signal bcp moins clair (forte variabilité temporelle) et fortes disparités régionales observées et attendues

Impacts: disparités régionales et cycle de l'eau

Intensification hydrologique globale: théorie, observations & modèles

Pluies moyennes (Énergie)

1 to 4 % K⁻¹

Pluies extrêmes (Thermodynamique)

≈ 7 % K⁻¹

Impacts: disparités régionales et cycle de l'eau

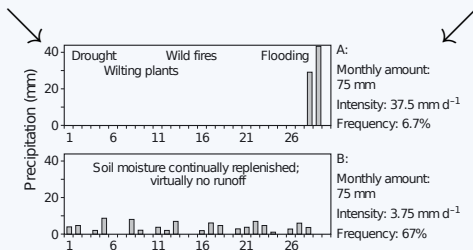
Intensification hydrologique globale: théorie, observations & modèles

Pluies moyennes (Énergie)

1 to 4 % K^{-1}

Pluies extrêmes (Thermodynamique)

$\approx 7\% K^{-1}$



Hausse de l'intensité hydro-climatique: sécheresses + longues et pluies intenses + fortes

Impacts: disparités régionales et cycle de l'eau

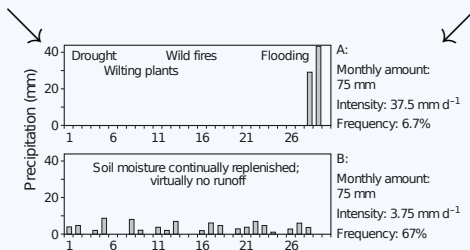
Intensification hydrologique globale: théorie, observations & modèles

Pluies moyennes (Énergie)

1 to 4 % K^{-1}

Pluies extrêmes (Thermodynamique)

$\approx 7 \% K^{-1}$

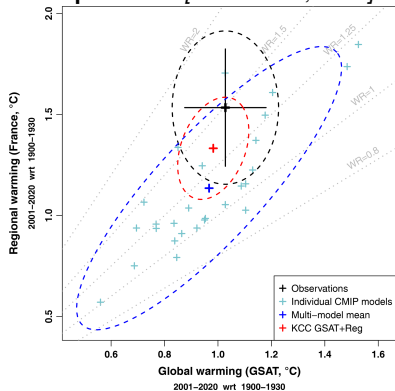


Hausse de l'intensité hydro-climatique: sécheresses + longues & pluies intenses + fortes

Effets multi-échelles de la dynamique atmosphérique $\Rightarrow$ des disparités régionales

Et pour la France?

Températures [Ribes et al., 2022]



Précipitations (à gros traits)

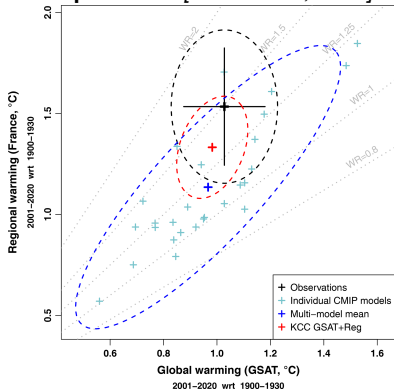
- $\neq$ Nord/Sud
- Hivers + humides & étés + secs
- Plus d'événements extrêmes (secs et humides)

- Annuelle: $1.5 \times \Delta \overline{T_{global}}$

- JJA: $2 \times \Delta \overline{T_{global}}$

Et pour la France?

Températures [Ribes et al., 2022]



- Annuelle: $1.5 \times \Delta \overline{T}_{global}$
- JJA: $2 \times \Delta \overline{T}_{global}$

Précipitations (à gros traits)

- $\neq$ Nord/Sud
- Hivers + humides & étés + secs
- Plus d'événements extrêmes (secs et humides)

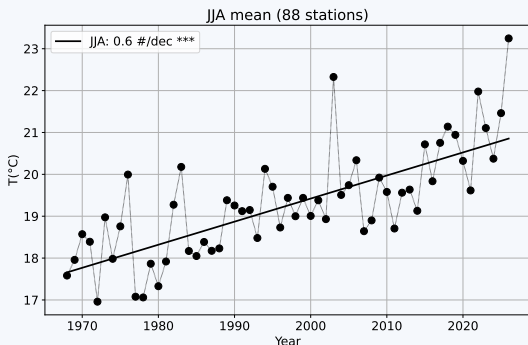
Nouvelles conditions climatiques

Nos habitudes/infrastructures
sont/vont être mises à mal $\Rightarrow$
Adaptation ... jusqu'à un certain point

Et pour la France?

2026: un été hors normes

Températures



Été record sur de très nombreux indicateurs
 (“Virtually Certain”)

Sécheresse

Extrême mais plus de nuances

- En “concurrence” avec les étés records de 1976, 2003, 2019 et 2022.
- Dépend de la variable, de l'indicateur, et de la région.
- **N.B.:** Nécessite des analyses spécifiques, une fois les données brutes contrôlées.

Une “dérive” et des “chocs”



Mais où est le pb?

Hypothèses du “climate denier” (type III)

- “Dérive”: l’humanité s’est adaptée à tout les climats (on remplace le temps par l’espace)
- Extrêmes hydro-meteo: on peut s’adapter à tout (la “techno” nous sauvera)

Argumentation imparable

Sauf à s’attaquer aux prémisses:

- quelle est notre dépendance au climat?
- quid de la physiologie humaine? de la biodiversité?

Dépendance et adaptation au climat: réflexions préliminaires

Notre dépendance au climat: réflexions préliminaires

Dictons et al.

- Témoignages de nos adaptations aux climats locaux
- Que le lien de cause à effet soit réel ou non: ce qui a une capacité prédictive reste dans les récits et dans l'imaginaire collectif.

Dans quels secteurs / types d'activité?

Exemples:

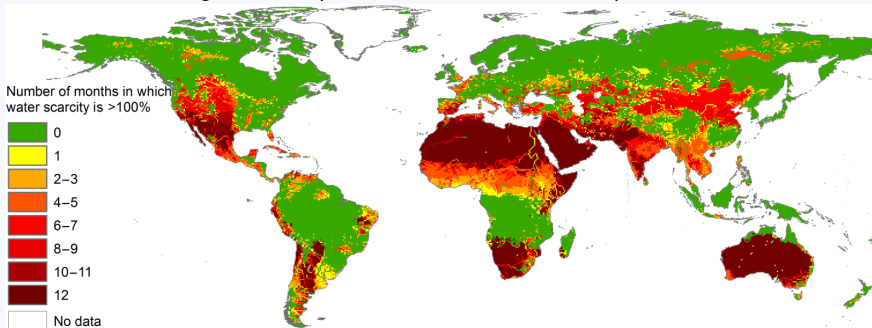
- Petite histoire amérindienne: el nino
- En Avril ne te découvre pas d'un fil
- Les saints de glace
- Apprentissage des vignes et degrés jours

⇒ **Les pratiques et infrastructures en sont aussi le reflet**

Dépendance et adaptation au climat: Quels secteurs ?

L'eau

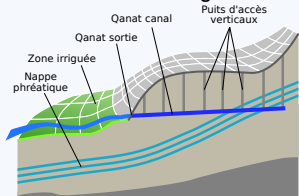
Des ressources inégalement réparties $\Rightarrow$ infrastructures adaptées



Dépendance et adaptation au climat: Quels secteurs ?

L'eau

Des ressources inégalement réparties $\Rightarrow$ infrastructures adaptées



Dépendance et adaptation au climat: Quels secteurs ?

L'eau

Des ressources inégalement réparties $\Rightarrow$ infrastructures adaptées

Le bâtis

De la protection la plus rudimentaire à la recherche du confort (thermique, ...)



Dépendance et adaptation au climat: Quels secteurs ?

L'eau

Des ressources inégalement réparties $\Rightarrow$ infrastructures adaptées

Le bâtis

De la protection la plus rudimentaire à la recherche du confort (thermique, ...)



Dépendance et adaptation au climat: Quels secteurs ?

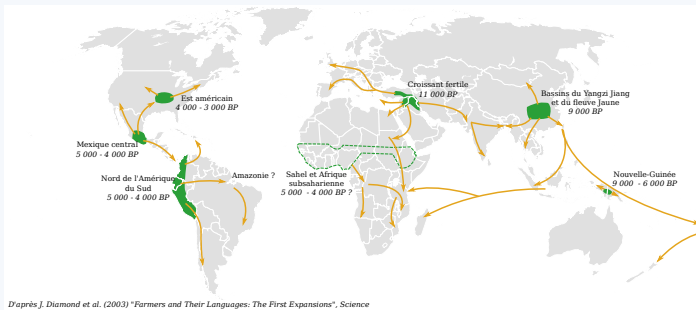
L'eau

Des ressources inégalement réparties $\Rightarrow$ infrastructures adaptées

Le bâtis

De la protection la plus rudimentaire à la recherche du confort (thermique, ...)

Agriculture: céréales, maraichage, élevage



Dépendance et adaptation au climat: Quels secteurs ?

L'eau

Des ressources inégalement réparties $\Rightarrow$ infrastructures adaptées

Le bâtis

De la protection la plus rudimentaire à la recherche du confort (thermique, ...)

Agriculture: céréales, maraichage, élevage



Maïs

575 mm/an

635 10⁶ tonnes



Riz

770 mm/an

585 10⁶ tonnes



Blé

550 mm/an

557 10⁶ tonnes



Sorgho

475mm/an

59 10⁶ tonnes

Besoins en eau

Production Année 2003 (FAO)

Dépendance et adaptation au climat: Quels secteurs ?

L'eau

Des ressources inégalement réparties $\Rightarrow$ infrastructures adaptées

Le bâtis

De la protection la plus rudimentaire à la recherche du confort (thermique, ...)

Agriculture: céréales, maraichage, élevage

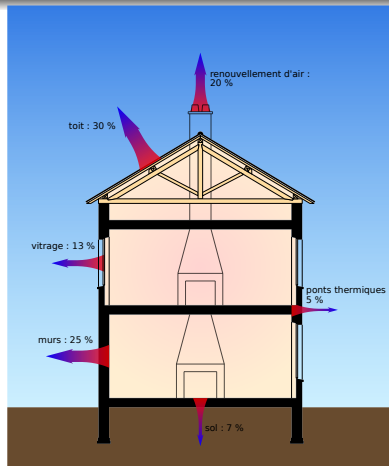
Si les précédents secteurs sont des piliers des sociétés complexes

alors quels secteurs ne seraient pas dépendants du climat de près ou de loin?

Dépendance et adaptation au climat: paramètres “décisionnels”?

Pour se protéger/se prémunir

Saisonnalité (froid hivernal & chaleurs estivales) + événements hydro-météorologiques “impactants” (crues, sécheresse, canicule, ...)



Dépendance et adaptation au climat: paramètres “décisionnels”?

Pour se protéger/se prémunir

Saisonnalité (froid hivernal & chaleurs estivales) + événements hydro-météorologiques “impactants” (crues, sécheresse, canicule, ...)



Dépendance et adaptation au climat: paramètres “décisionnels”?

Pour se protéger/se prémunir

Saisonnalité (froid hivernal & chaleurs estivales) + événements hydro-météorologiques “impactants” (crues, sécheresse, canicule, ...)



Dépendance et adaptation au climat: paramètres “décisionnels”?

Pour se protéger/se prémunir

Saisonnalité (froid hivernal & chaleurs estivales) + événements hydro-météorologiques “impactants” (crues, sécheresse, canicule, ...)

S'aider/s'appuyer sur les ressources climatiques

Énergies renouvelables, cultures, tourisme, ...



Dépendance et adaptation au climat: paramètres “décisionnels”?

Pour se protéger/se prémunir

Saisonnalité (froid hivernal & chaleurs estivales) + événements hydro-météorologiques “impactants” (crues, sécheresse, canicule, ...)

S'aider/s'appuyer sur les ressources climatiques

Énergies renouvelables, cultures, tourisme, ...



Dépendance et adaptation au climat: paramètres “décisionnels”?

Pour se protéger/se prémunir

Saisonnalité (froid hivernal & chaleurs estivales) + événements hydro-météorologiques “impactants” (crues, sécheresse, canicule, ...)

S'aider/s'appuyer sur les ressources climatiques

Énergies renouvelables, cultures, tourisme, ...



Dépendance et adaptation au climat: paramètres “décisionnels”?

Pour se protéger/se prémunir

Saisonnalité (froid hivernal & chaleurs estivales) + événements hydro-météorologiques “impactants” (crues, sécheresse, canicule, ...)

S'aider/s'appuyer sur les ressources climatiques

Énergies renouvelables, cultures, tourisme, ...

⇒ **Indicateurs spécifiques à chaque adaptation/solution**

⇒ Obtenus sous hypothèse stationnaire Et la température moyenne ? et précipitations annuelle moyennes?

Dépendance et adaptation au climat: paramètres “décisionnels”?

id	Station	$\overline{T}$ (°C)	$\overline{P}$ (mm/an)
755	EMBRUN	10.9	720
2192	BASEL-MULHOUSE	10.9	760
11243	TROYES-BARBEREY	11.0	640
737	LILLE-LESQUIN	11.0	730
2200	MILLAU	11.1	700
740	ALENCON	11.1	730

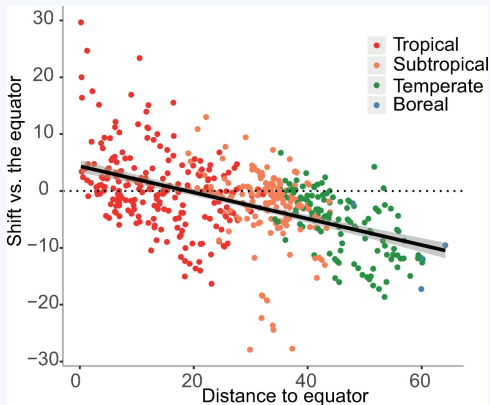
Climat dans sa globalité influence les adaptations et les modes de vie

Températures et précipitations moyennes ne reflètent pas toute cette finesse.

Dependance et adaptation au climat: paramètres “décisionnels”?

Alors pourquoi s'inquiéter d'un réchauffement de qq degrés?

Une étude qui a fait du bruit: *Bastin et al. [2019a]*

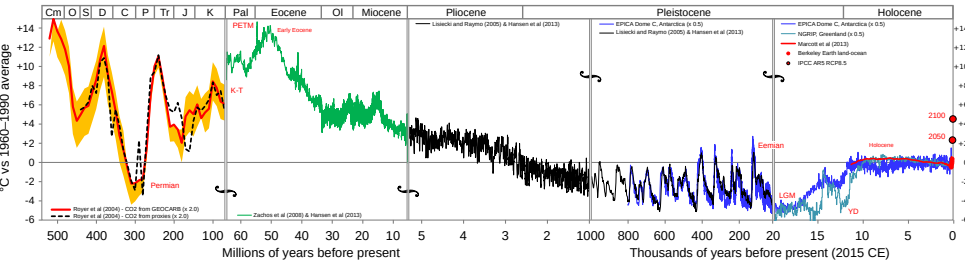


“We notably predict that Madrid’s climate in 2050 will resemble Marrakech’s climate today, Stockholm will resemble Budapest, London to Barcelona, Moscow to Sofia, Seattle to San Francisco, Tokyo to Changsha.”

$\Delta \bar{T}$ & $\Delta \bar{P}$ à un endroit donné reflètent des changements du climat local pour $\neq$ paramètres climatiques

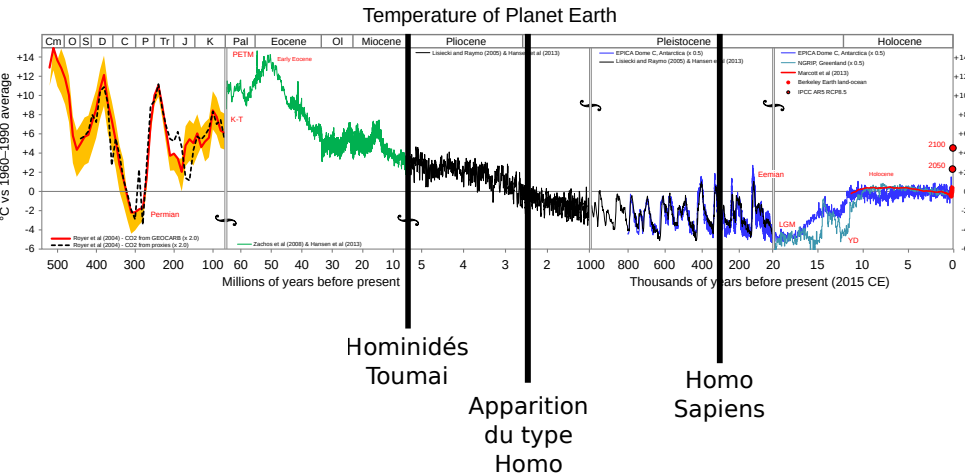
Un climat global stable depuis qq milliers d'années

Temperature of Planet Earth



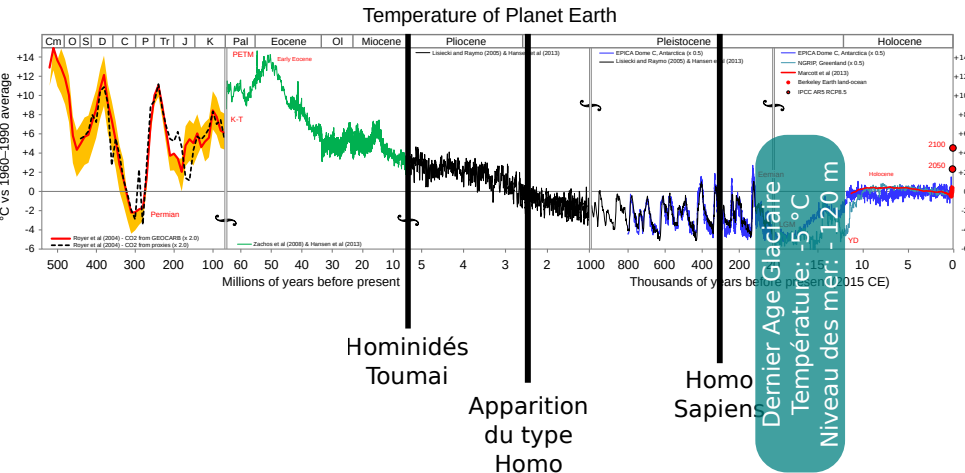
La stabilité du climat: n'est-ce pas un paramètre essentiel pour le développement et l'adaptation des sociétés complexes?

Un climat global stable depuis qq milliers d'années



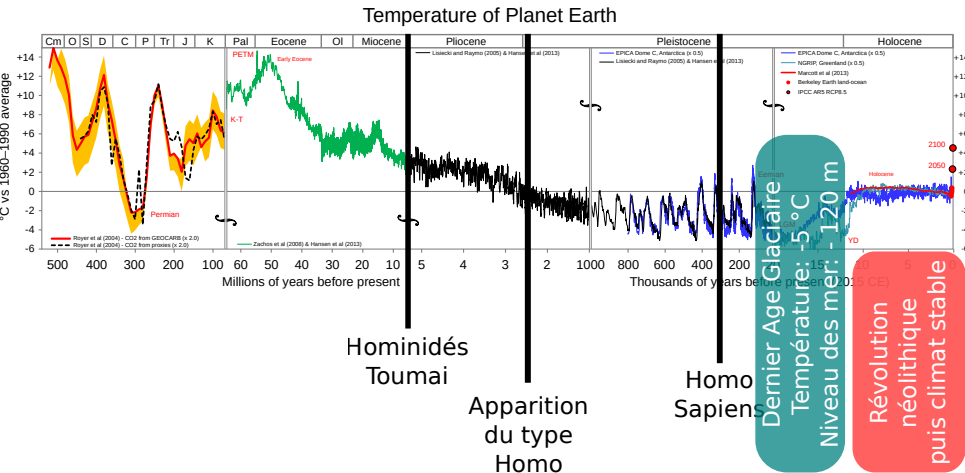
La stabilité du climat: n'est-ce pas un paramètre essentiel pour le développement et l'adaptation des sociétés complexes?

Un climat global stable depuis qq milliers d'années



La stabilité du climat: n'est-ce pas un paramètre essentiel pour le développement et l'adaptation des sociétés complexes?

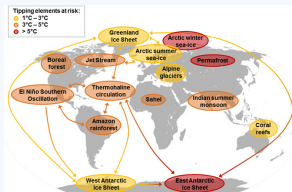
Un climat global stable depuis qq milliers d'années



La stabilité du climat: n'est-ce pas un paramètre essentiel pour le développement et l'adaptation des sociétés complexes?

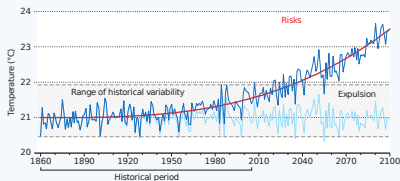
Une “dérive” vers un nouveau climat

Dérive & bascules climatiques



Steffen et al. [2018]

Vers un climat inconnu



Power [2014]: “expulsion from history”

Bref: R.D.V en “terra incognita”

Future of the human climate niche

Chi Xu^{a,1}, Timothy A. Kohler^{b,c,d,e}, Timothy M. Lenton^f, Jens-Christian Svenning^g, and Marten Scheffer^{c,h,i,1}

www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1910114117

PNAS Latest Articles | 1 of 6

“We demonstrate that depending on scenarios of population growth and warming, over the coming 50 y, 1 to 3 billion people are projected to be left outside the climate conditions that have served humanity well over the past 6000 y.”

Climat moyen vs extrêmes climatiques

Peut-t-on s'adapter à tout?

- ✓ **En théorie:** on peut s'adapter à une grandes variétés de changements ! y compris pour les extrêmes (crues, vagues de chaleur, sécheresses, ...)
- ✗ **En pratique:** même quand "c'est jouable" il y a des ratés!!

Climat moyen vs extrêmes climatiques

Peut-t-on s'adapter à tout?

- ✓ **En théorie:** on peut s'adapter à une grandes variétés de changements ! y compris pour les extrêmes (crues, vagues de chaleur, sécheresses, ...)
- ✗ **En pratique:** même quand "c'est jouable" il y a des ratés!! **Des exemples ??**

Climat moyen vs extrêmes climatiques

Peut-t-on s'adapter à tout?

- ✓ **En théorie:** on peut s'adapter à une grandes variétés de changements ! y compris pour les extrêmes (crues, vagues de chaleur, sécheresses, ...)
- ✗ **En pratique:** même quand "c'est jouable" il y a des ratés!! **Des exemples ??**
- ✗ Certains enchainements difficilement anticipables (e.g. cyclone + vague de chaleur humide) → il va y avoir des loupés

Climat moyen vs extrêmes climatiques

Peut-t-on s'adapter à tout?

- ✓ **En théorie:** on peut s'adapter à une grandes variétés de changements ! y compris pour les extrêmes (crues, vagues de chaleur, sécheresses, ...)
- ✗ **En pratique:** même quand "c'est jouable" il y a des ratés!! **Des exemples ??**
- ✗ Certains enchainements difficilement anticipables (e.g. cyclone + vague de chaleur humide) → il va y avoir des loupés
- ✗ Quid des îles du Pacifique? des températures létales?

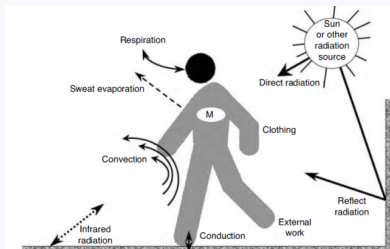


Fig. 1. The balance of human body temperature towards the environment [11]

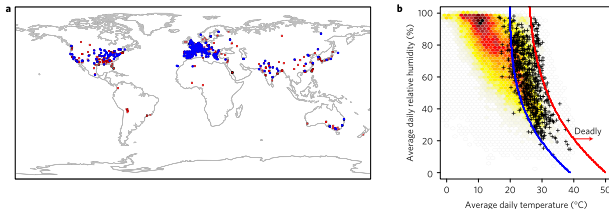
Climat moyen vs extrêmes climatiques

nature
climate change

LETTERS

PUBLISHED ONLINE: 19 JUNE 2017 | DOI: 10.1038/NCLIMATE3322

Global risk of deadly heat



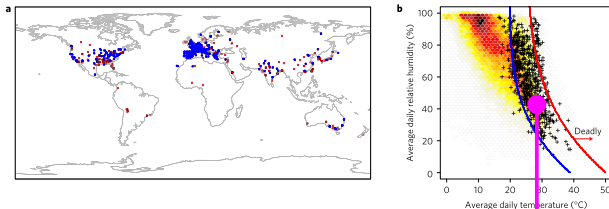
Climat moyen vs extrêmes climatiques

nature
climate change

LETTERS

PUBLISHED ONLINE: 19 JUNE 2017 | DOI: 10.1038/NCLIMATE3322

Global risk of deadly heat



Pic canicule
2026

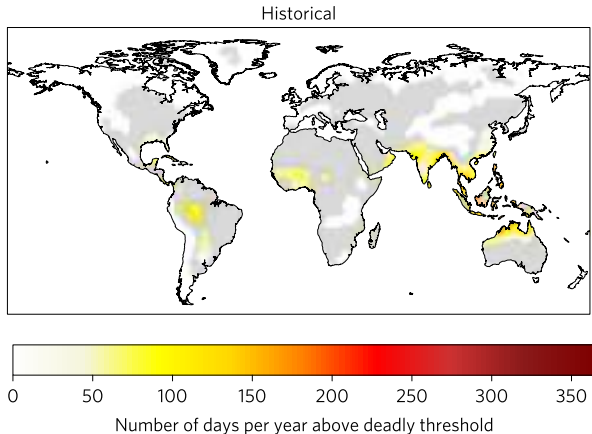
Climat moyen vs extrêmes climatiques

nature
climate change

LETTERS

PUBLISHED ONLINE: 19 JUNE 2017 | DOI: 10.1038/NCLIMATE3322

Global risk of deadly heat



Climat moyen vs extrêmes climatiques

nature
climate change

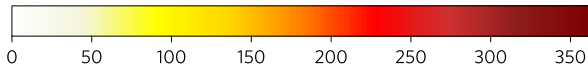
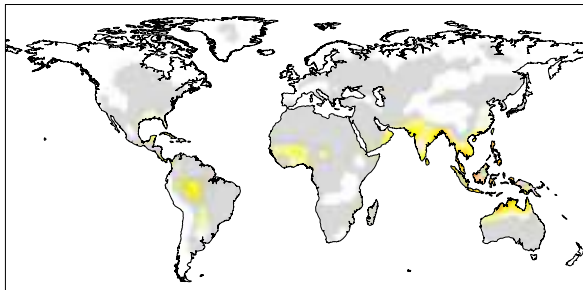
LETTERS

PUBLISHED ONLINE: 19 JUNE 2017 | DOI: 10.1038/NCLIMATE3322

Global risk of deadly heat

**Pop mondiale
30%**

Historical



Number of days per year above deadly threshold

Climat moyen vs extrêmes climatiques

nature
climate change

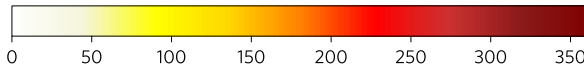
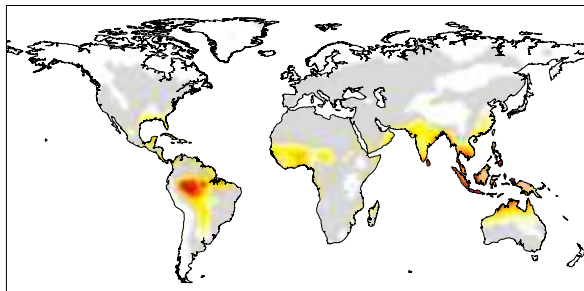
LETTERS

PUBLISHED ONLINE: 19 JUNE 2017 | DOI: 10.1038/NCLIMATE3322

Global risk of deadly heat

**Pop mondiale
50%**

RCP 2.6



Number of days per year above deadly threshold

Climat moyen vs extrêmes climatiques

nature
climate change

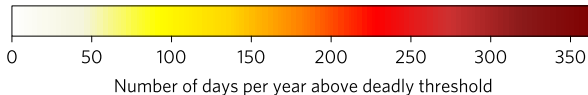
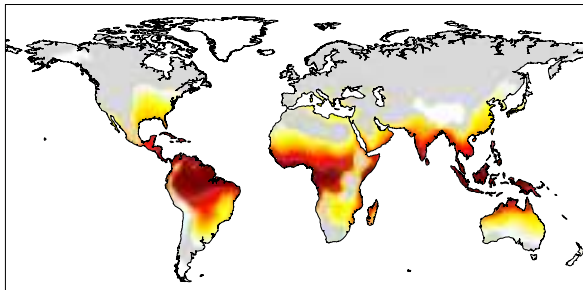
LETTERS

PUBLISHED ONLINE: 19 JUNE 2017 | DOI: 10.1038/NCLIMATE3322

Global risk of deadly heat

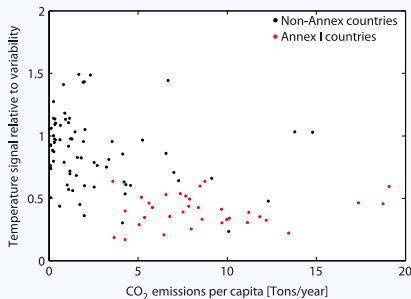
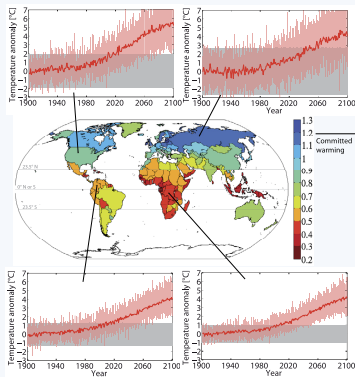
**Pop mondiale
75%**

RCP 8.5



Bonus: quelques réflexions sur l'(in)équité / l'(in)justice climatique

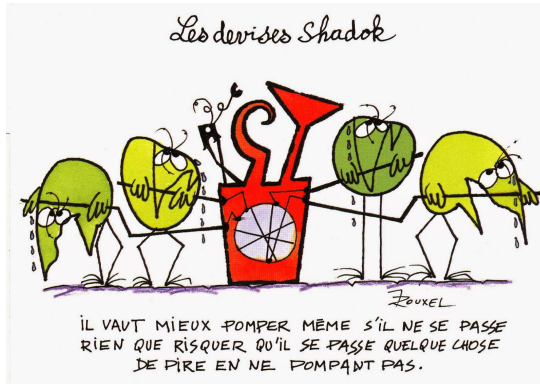
Zone Inter-tropicale



- Premières zones touchées par l'“expulsion from history”
- Idem côté extrêmes
- Faible contribution passée

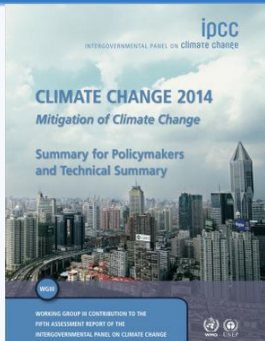
Des questions / remarques ????

V. Atténuation du réchauffement climatique: des remèdes “salés”?



GT3: atténuation du changement climatique

Questions posées



- Évaluer les coûts et bénéfices de l'atténuation
- Intervention humaine pour réduire les sources ou augmenter les puits de GHG.

Disciplines engagées

Idem GT1 + tous les modèles d'impacts du GT2 + modèles d'évolution socio-éco

Chaines causales très longues et des "valeurs" non épistémiques incluses dans les analyses: consensus plus faible et moins robuste

GT3: atténuation du changement climatique

Contre quoi on lutte ? et pourquoi?

✗ $\Rightarrow \nearrow p\text{CO}_2$

✗ $\Rightarrow$ effet de serre additionnel $\Rightarrow \nearrow \bar{T}$ dans l'absolue

✓ déstabilisation rapide et significative du climat

✓ attention aux remèdes pire que le mal : biodiversité, agriculture, eau, ...

Comment fixer l'objectif?

- Coût de l'atténuation? Le pétrole c'est magique $\Rightarrow \approx$ sevrage
- Mise en oeuvre : des scénarios globaux qu'ils faut décliner à $\neq$ échelles pour $\neq$ secteurs

GT3: atténuation du changement climatique

Contre quoi on lutte ? et pourquoi?

✗ $\Rightarrow \nearrow p\text{CO}_2$

✗ $\Rightarrow$ effet de serre additionnel $\Rightarrow \nearrow \bar{T}$ dans l'absolue

✓ déstabilisation rapide et significative du climat

✓ attention aux remèdes pire que le mal : biodiversité, agriculture, eau, ...

Comment fixer l'objectif?

- Coût de l'atténuation? Le pétrole c'est magique $\Rightarrow \approx$ sevrage
- Mise en oeuvre : des scénarios globaux qu'ils faut décliner à $\neq$ échelles pour $\neq$ secteurs

Quelle est notre cible ?

GT3: atténuation du changement climatique

Contre quoi on lutte ? et pourquoi?

✗ $\Rightarrow \nearrow p\text{CO}_2$

✗ $\Rightarrow$ effet de serre additionnel $\Rightarrow \nearrow \bar{T}$ dans l'absolue

✓ déstabilisation rapide et significative du climat

✓ attention aux remèdes pire que le mal : biodiversité, agriculture, eau, ...

Comment fixer l'objectif?

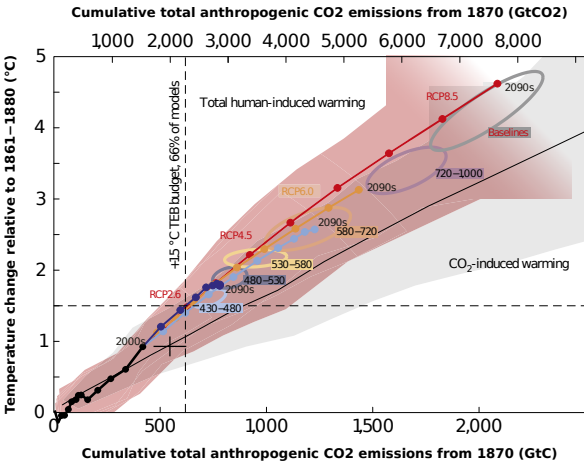
- Coût de l'atténuation? Le pétrole c'est magique $\Rightarrow \approx$ sevrage
- Mise en oeuvre : des scénarios globaux qu'ils faut décliner à $\neq$ échelles pour $\neq$ secteurs

Quelle est notre cible ?

Admettons que ce soit = $\Delta \overline{T}_{\text{global}} = 1.5 \text{ à } 2^\circ$

$\Delta \overline{T_{global}} = 1.5 \text{ à } 2^\circ$? quel budget?

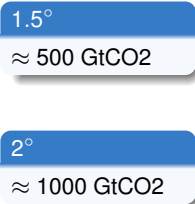
“LA” figure du GT1 [Millar et al., 2017]



Réponse simple d'un système complexe

$$\Delta \overline{T_{global}} \propto pCO_2 \propto \sum CO_{2ANT}$$

- $\Delta \overline{T_{global}} \Rightarrow$ impacts (GT2)
- $\sum CO_{2ANT} \Rightarrow$ causes (GT3)



Target 1.5°

Target 2°

$\Delta T_{global} = 1.5$ à 2° ? trajectoires?

Le point A (émissions actuelles)

- fossil fuel: 40 GtCO₂eq/an
 - LULC: 5 GtCO₂eq/an
- Bilan pour l'atmosphère: +20 GtCO₂eq/an

Émissions cumulées depuis 1850 $\approx$ 2400 GtCO₂eq (Airborne fraction = 0.45 stable)

Le point B (émissions nettes)

- Si dépassement budget: émissions nettes négatives
- Si pas dépassement: atteinte des émissions nettes 0 (stabilisation)

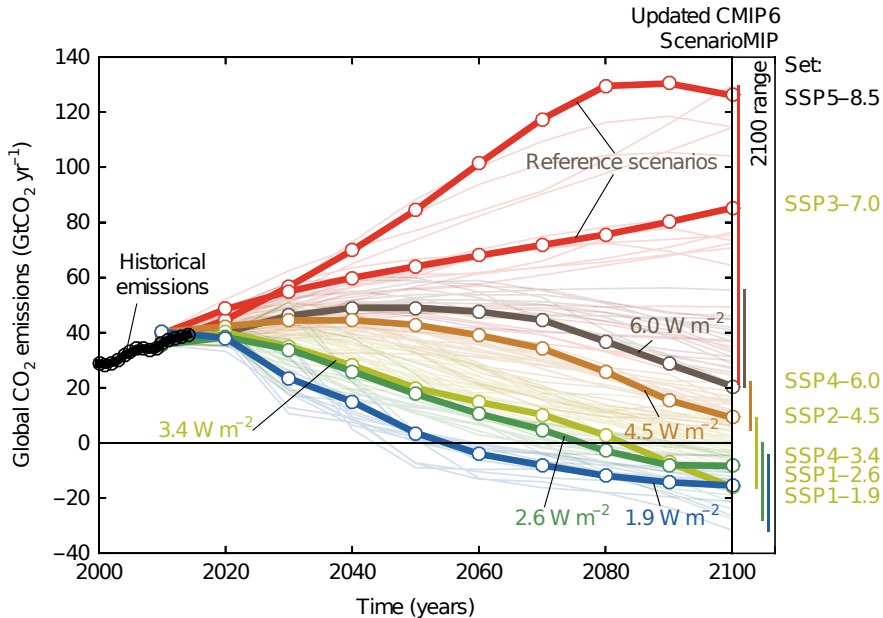
Un gouffre entre A et B (AR6)?

$1.5^\circ \approx 100$ GtCO₂eq ($\approx$ 2 ans au rythme actuel)

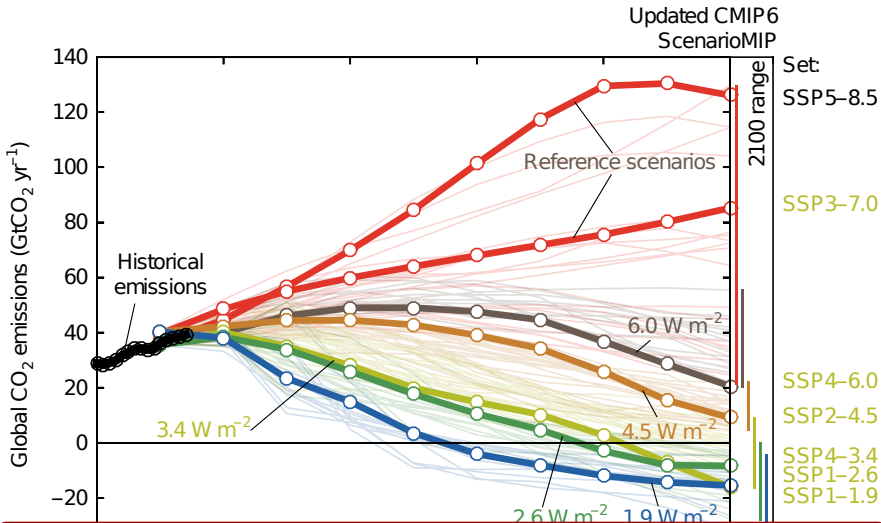
$1.7^\circ \approx 500$ GtCO₂eq ($\approx$ 10 ans au rythme actuel)

$2.0^\circ \approx 1000$ GtCO₂eq ($\approx$ 20 ans)

$\Delta T_{global} = 1.5 \text{ à } 2^\circ$? trajectoires?



$\Delta T_{global} = 1.5 \text{ à } 2^\circ$? trajectoires ?

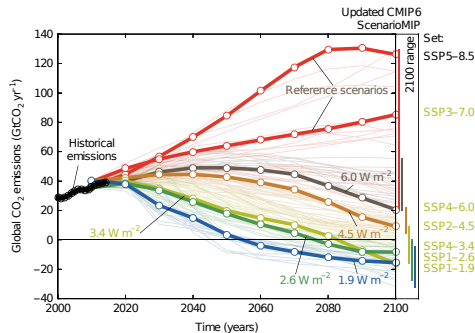


Des réactions/questions ?

Comparaison covidéenne ?

Time (years)

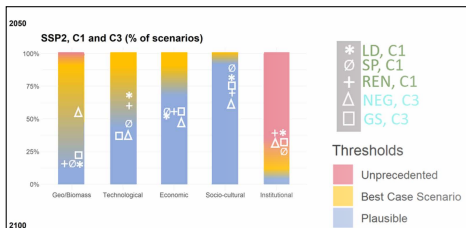
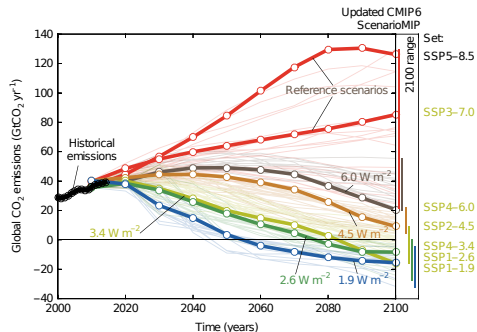
$\Delta T_{global} = 1.5 \text{ à } 2^\circ$: en bref



Descente énergétique pentue

- Découplage PIB/CO₂ insuffisant
- Implique + que l'échelle individuelle

$\Delta T_{global} = 1.5 \text{ à } 2^\circ$: en bref



Descente énergétique pentue

- Découplage PIB/CO₂ insuffisant
- Implique + que l'échelle individuelle

Et la techno?

a sa place dans la décarbonation, **mais**

- ni le levier majeur
- ni le facteur limitant

Se rendre compte par soi-même de l'effort à fournir

Avoir une idée des ordres de grandeur

Via des calculateurs de bilan CO2

- Calculateur CO2 individuel:
<http://avenirclimatique.org/micmac/index.php>
- Calculateur CO2 France: <http://mission-climat.io/about>
- Calculateur CO2 Monde: <https://en-roads.climateinteractive.org>

Mais surtout ...

Se faire un avis sur les implications des $\neq$ choix/techniques/solutions au sein d'un monde complexe:

- Possibles externalités positives/négatives
- Socio-techniques
- Démocratiques/politiques
- ...

Des questions / remarques ????

VI. Fondements scientifiques du GIEC: On récapitule

Les devises Shadok



Quel point commun entre:

- Les Gouttières
- Produits maraichers locaux
- Dignes et ponts de l'Isère
- Le bâtis de la région
- Notre garde-robe
- Système Grenoblois eau potable/usée
- Notre présence ici !!

GT2: dépendent $\pm$ du climat local

Façonnés dans le temps long pour y être adaptés

⇒ permis par la stabilité du climat global.

Quel point commun entre:

- Les Gouttières
- Produits maraichers locaux
- Dignes et ponts de l'Isère
- Le bâtis de la région
- Notre garde-robe
- Système Grenoblois eau potable/usée
- Notre présence ici !!

GT2: dépendent $\pm$ du climat local

Façonnés dans le temps long pour y être adaptés
⇒ permis par la stabilité du climat global.

GT3: dépendent $\pm$ de l'énergie abondante

issue des fossiles (pétrole, gaz, charbon)
⇒ une descente énergétique abrupte!

Quel point commun entre:

- Les Gouttières
- Produits maraichers locaux
- Dignes et ponts de l'Isère
- Le bâtis de la région
- Notre garde-robe
- Système Grenoblois eau potable/usée
- **Notre présence ici !!**

GT2: dépendent $\pm$ du climat local

Façonnés dans le temps long pour y être adaptés
⇒ permis par la stabilité du climat global.

GT3: dépendent $\pm$ de l'énergie abondante

issue des fossiles (pétrole, gaz, charbon)
⇒ une descente énergétique abrupte!

Quel point commun entre:

- Les Gouttières
- Produits maraichers locaux
- Dignes et ponts de l'Isère
- Le bâtis de la région
- Notre garde-robe
- Système Grenoblois eau potable/usée
- Notre présence ici !!

GT2: dépendent $\pm$ du climat local

Façonnés dans le temps long pour y être adaptés
 $\Rightarrow$ permis par la stabilité du climat global.

GT3: dépendent $\pm$ de l'énergie abondante

issue des fossiles (pétrole, gaz, charbon)
 $\Rightarrow$ une descente énergétique abrupte!

GT1: c'est incompatible

$$\Delta \overline{T}_{global} \propto \sum CO2_{ANT}$$

Quel point commun entre:

- Les Gouttières
- Produits maraichers locaux
- Dignes et ponts de l'Isère
- Le bâtis de la région
- Notre garde-robe
- Système Grenoblois eau potable/usée
- Notre présence ici !!

GT2: dépendent $\pm$ du climat local

Façonnés dans le temps long pour y être adaptés

⇒ permis par la stabilité du climat global. **La techno?**

GT3: dépendent $\pm$ de l'énergie abondante

issue des fossiles (pétrole, gaz, charbon)

⇒ une descente énergétique abrupte! **La techno?**

GT1: c'est incompatible

$$\Delta \overline{T}_{global} \propto \sum CO2_{ANT}$$

Quel point commun entre:

- Les Gouttières
- Produits maraichers locaux
- Dignes et ponts de l'Isère
- Le bâtis de la région
- Notre garde-robe
- Système Grenoblois eau potable/usée
- Notre présence ici !!

GT2: dépendent $\pm$ du climat local

Façonnés dans le temps long pour y être adaptés

⇒ permis par la stabilité du climat global. **La techno?**

GT3: dépendent $\pm$ de l'énergie abondante

issue des fossiles (pétrole, gaz, charbon)

⇒ une descente énergétique abrupte! **La techno?**

GT1: c'est incompatible

$$\Delta \overline{T}_{global} \propto \sum CO2_{ANT}$$

C'est un noeud Gordien, un "Wicked problem" (pb épineux/foireux)

Pas de solutions miracles, faciles clefs en main || Et il y a des divergences d'intérêts.

Quel point commun entre:

- Les Gouttières
- Produits maraichers locaux
- Dignes et ponts de l'Isère
- Le bâtis de la région
- Notre garde-robe
- Système Grenoblois eau potable/usée
- Notre présence ici !!

GT2: dépendent $\pm$ du climat local

Façonnés dans le temps long pour y être adaptés

⇒ permis par la stabilité du climat global. **La techno?**

GT3: dépendent $\pm$ de l'énergie abondante

issue des fossiles (pétrole, gaz, charbon)

⇒ une descente énergétique abrupte! **La techno?**

GT1: c'est incompatible

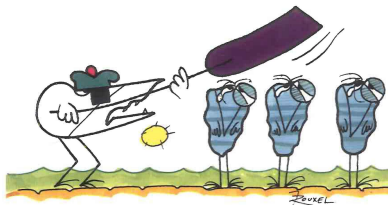
$$\Delta \overline{T_{global}} \propto \sum CO2_{ANT}$$

C'est un noeud Gordien, un "Wicked problem" (pb épineux/foireux)

Pas de solutions miracles, faciles clefs en main || Et il y a des divergences d'intérêts.

VII. Comment tranche-t-on ce noeud Gordien? Hyatus entre discours et actions/faits

La devise Shadok de la semaine



POUR QU'IL Y AIT LE MOINS DE
MÉCONTENTIS POSSIBLE IL FAUT TOUJOURS
TAPER SUR LES MÊMES.

Des promesses (qui n'engagent que ceux qui y croient) ...

Accords de Paris (unfccc)



PARIS2015
COP21-CMP11



“ The Paris Agreement has a long-term temperature goal which is to keep the rise in global surface temperature to well below 2 °C above pre-industrial levels. The treaty also states that preferably the limit of the increase should only be 1.5 °C ”

Emissions Gap Report 2025 (UNEP)



“ Global warming projections based on current policies have declined from just below 4°C at the time of adoption of the Paris Agreement, to just below 3°C today. ”

Tout cela est public, mainstream, fait par des dispositifs onusiens.

Sans juger des intentions (consciemment ou non) : à qui cela “profite” ?

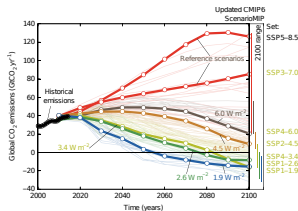


- Le choix du statu-quo: pas d'atténuation
- Favorise ceux qui bénéficient de l'NRJ et qui se sentent à l'abri: les acteurs puissants (états, individus, sociétés, etc ...)
- **PB:** Une adaptation **couteuse**

“Climat stabilisé” (après un temps)

- Le choix de la descente énergétique
⇒ la moindre puissance
- Favorise les plus vulnérables face aux aléas climatiques
- **PB:** Implique une ré-organisation radicale et remet en cause les acteurs puissants établis

Des promesses (qui n'engagent que ceux qui y croient) ...



“NRJ abondante” (pour qq temps)

- Le choix du statu-quo: pas d'atténuation
- Favorise ceux qui bénéficient de l'NRJ et qui se sentent à l'abri: les acteurs puissants (états, individus, sociétés, etc ...)
- **PB:** Une adaptation **couteuse**
- **N.B.:** attention à la voiture balai.

“Climat stabilisé” (après un temps)

- Le choix de la descente énergétique
⇒ la moindre puissance
- Favorise les plus vulnérables face aux aléas climatiques
- **PB:** Implique une ré-organisation radicale et remet en cause les acteurs puissants établis
- **N.B.:** il faudra tout de même s'adapter, et sous contrainte

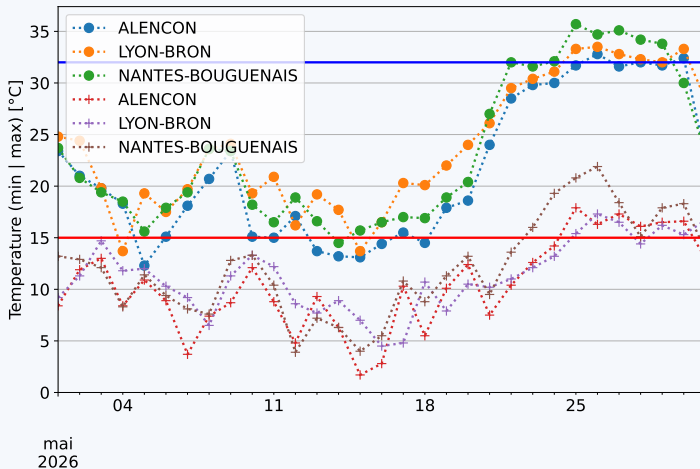
... des stratégies de “délai / report” ...

En Appendix

- La compensation carbone
- Le mythe de l'échelle individuelle

... et des absurdités

“c’est normal c’est l’été”: phrase entendue en mai 2026



... et des absurdités

“c’est normal c’est l’été”: phrase entendue en mai 2026

	ALENCON		LYON-BRON		NANTES-BOUGUENAIS		
1945-05-11	NaN	NaN	15.5	32.2	NaN	NaN	
1945-05-17	NaN	NaN	NaN	33.0	17.8	NaN	
1947-05-28	NaN	NaN	NaN	NaN	16.8	32.4	
1947-05-29	15.1	NaN	NaN	NaN	17.4	32.7	
2009-05-24	NaN	NaN	18.1	34.0	NaN	NaN	
2009-05-25	NaN	NaN	17.1	33.0	NaN	NaN	
2017-05-26	NaN	NaN	NaN	NaN	16.9	32.8	
2022-05-19	NaN	NaN	19.0	32.4	NaN	NaN	
2026-05-24	NaN	NaN	NaN	NaN	19.3	32.1	
2026-05-25	17.9	NaN	15.4	33.3	20.8	35.7	
2026-05-26	16.3	32.8	17.3	33.5	21.9	34.7	
2026-05-27	17.3	NaN	16.5	32.8	18.4	35.1	
2026-05-28	16.1	NaN	NaN	32.3	15.1	34.2	
2026-05-29	16.5	NaN	16.2	NaN	17.9	33.8	
2026-05-30	16.6	32.4	15.3	33.3	18.3	NaN	

... et des absurdités

“c’est normal c’est l’été” : phrase entendue en mai 2026

E.Macron faisant référence aux feux de forêt de 2022 en Gironde.

“Qui aurait pu prédire [...] la crise climatique aux effets spectaculaires encore cet été dans notre pays ?”

Yann Barthès dans l’émission Quotidien, 2026

“Tout le monde a chaud, c’est rare d’ailleurs de vivre un événement universel, on est tous logés à la même enseigne. Si vous croisez Bernard Arnault, il aura chaud, un ministre, il aura chaud, il aura aussi chaud que vous ou que votre voisin du dessus ou du dessous.”

... et des absurdités

“c’est normal c’est l’été” : phrase entendue en mai 2026

E.Macron faisant référence aux feux de forêt de 2022 en Gironde.

“Qui aurait pu prédire [...] la crise climatique aux effets spectaculaires encore cet été dans notre pays ?”

Yann Barthès dans l’émission Quotidien, 2026

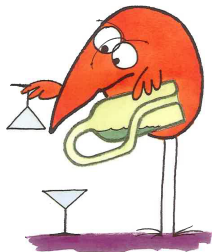
“Tout le monde a chaud, c’est rare d’ailleurs de vivre un événement universel, on est tous logés à la même enseigne. Si vous croisez Bernard Arnault, il aura chaud, un ministre, il aura chaud, il aura aussi chaud que vous ou que votre voisin du dessus ou du dessous.”

Comment & pourquoi des gens intelligents peuvent-t-ils dire cela?

Qu’est-ce que la crise climatique a de si particulier qu’elle génère des discours niant **autant** les faits/la réalité?

VIII. “Carte d’identité” de la crise NRJ-climat et comparaison avec d’autres crises

La devise Shadok de la semaine

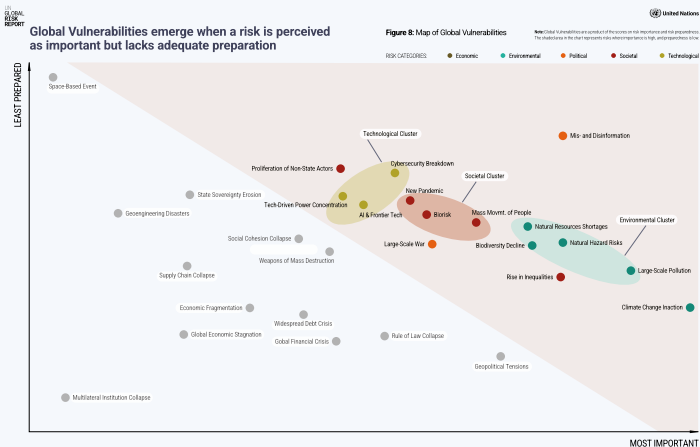


*S'IL N'Y A PAS DE SOLUTION
C'EST QU'IL N'Y A PAS DE PROBLÈME.*

Quelle est la “gravité” de la crise?

Une crise existentielle

- Comme bcp d'autres (Trou d'ozone, COVID,)
- Qui commence à se voir/sentir → sujet inévitable. ($\neq$ **biodiv??**)



Que peut-t-on espérer des progrès scientifiques/techniques?

L'idée: on sert les dents avant une libération technique

- Statu-quo en “vendant” des lendemains qui chantent
- jusqu'à trouver une solution technique
- Implémentation avec si besoin des lois/protocoles

Des exemples en tête ???

Que peut-t-on espérer des progrès scientifiques/techniques?

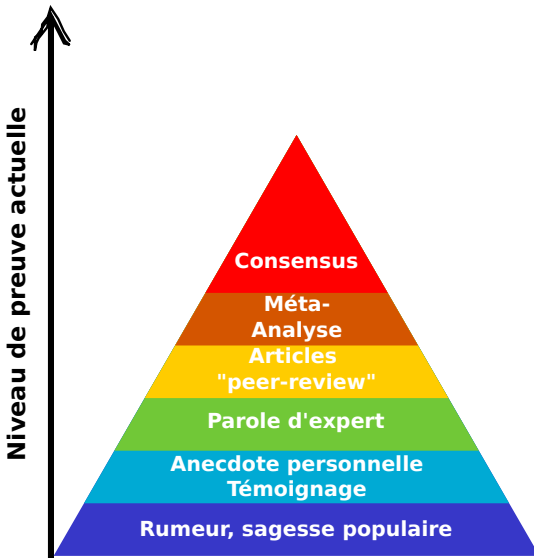
L'idée: on sert les dents avant une libération technique

- Statu-quo en “vendant” des lendemains qui chantent
- jusqu'à trouver une solution technique
- Implémentation avec si besoin des lois/protocoles

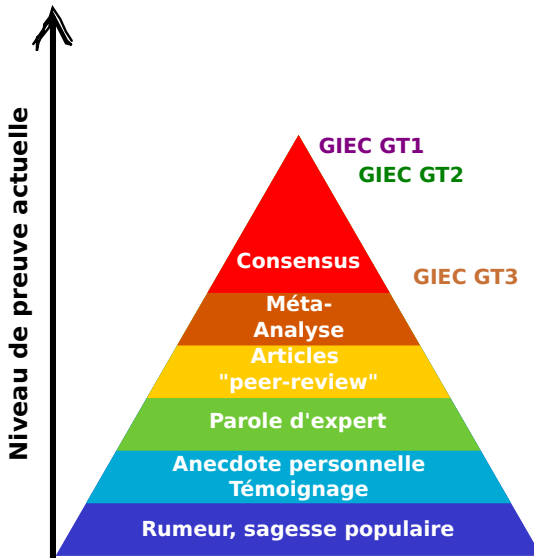
Des exemples en tête ???

cf COVID, Trou d'Ozone
Et pour le climat??

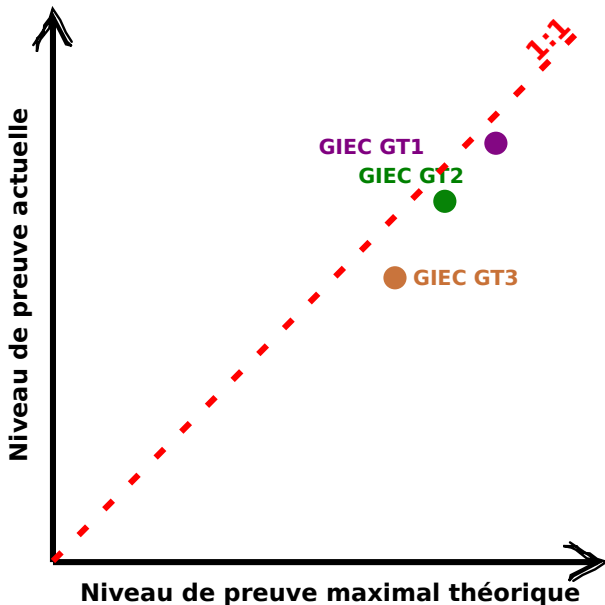
Que peut-t-on espérer des progrès scientifiques/techniques?



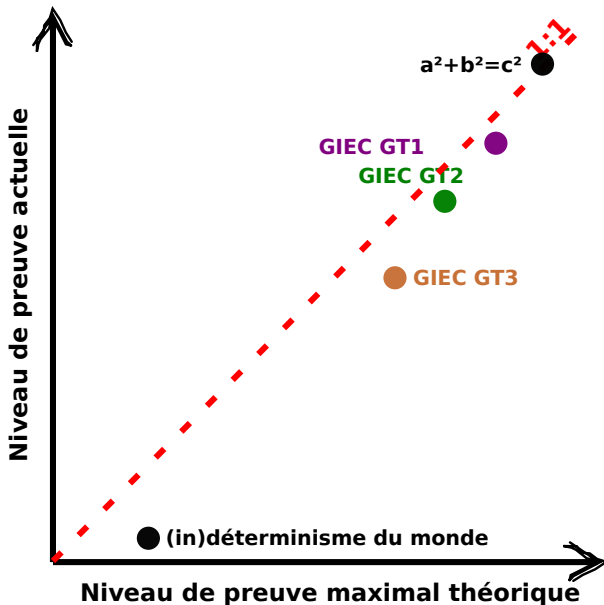
Que peut-t-on espérer des progrès scientifiques/techniques?



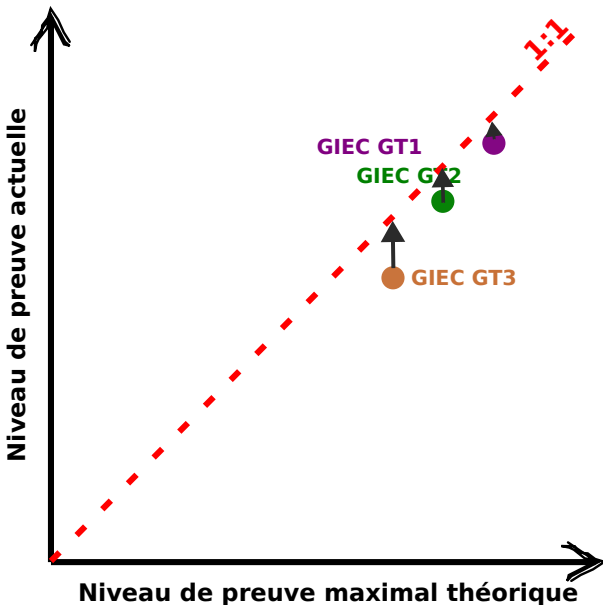
Que peut-t-on espérer des progrès scientifiques/techniques?



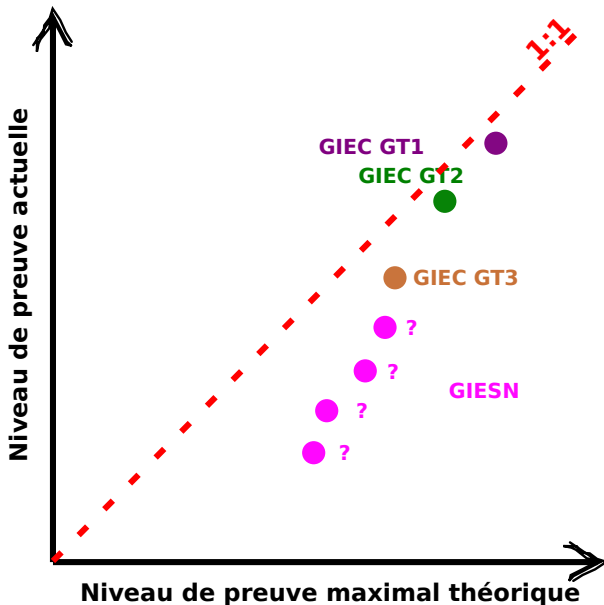
Que peut-t-on espérer des progrès scientifiques/techniques?



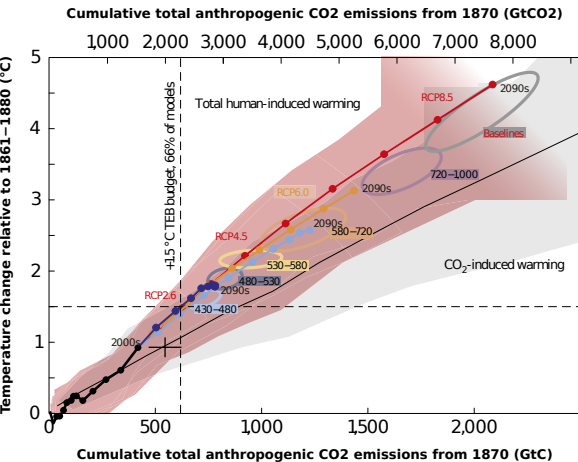
Que peut-t-on espérer des progrès scientifiques/techniques?



Que peut-t-on espérer des progrès scientifiques/techniques?



Un problème global ET de stock

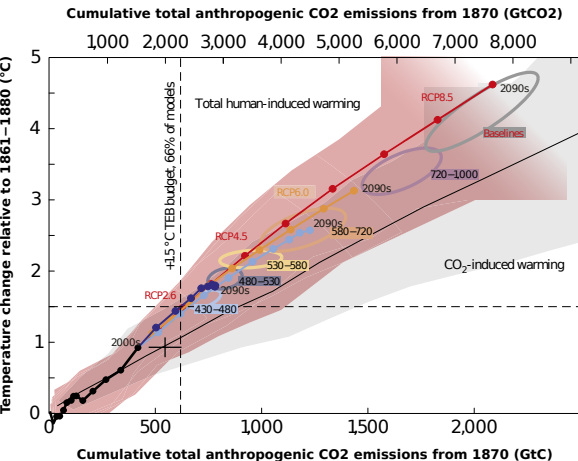


CO₂

Temps de vie long + mobile

- Cumulatif
- avec une dose d'irréversibilité
- et la possibilité de points de bascule

Un problème global ET de stock



CO₂

Temps de vie long + mobile

- Cumulatif
- avec une dose d'irréversibilité
- et la possibilité de points de bascule

Et alors??

Une crise très systémique



Sustainability Institute

Leverage Points Places to Intervene in a System

by Donella Meadows

Sustainability Institute, December, 1999

Places to Intervene in a System
(in increasing order of effectiveness)

12. Constants, parameters, numbers (such as subsidies, taxes, standards)
11. The sizes of buffers and other stabilizing stocks, relative to their flows.
10. The structure of material stocks and flows (such as transport networks, population age structures)
9. The lengths of delays, relative to the rate of system change
8. The strength of negative feedback loops, relative to the impacts they are trying to correct against
7. The gain around driving positive feedback loops
6. The structure of information flows (who does and does not have access to what kinds of information)
5. The rules of the system (such as incentives, punishments, constraints)
4. The power to add, change, evolve, or self-organize system structure
3. The goals of the system
2. The mindset or paradigm out of which the system—its goals, structure, rules, delays, parameters—arises
1. The power to transcend paradigms

Une crise très systémique



Leverage Points Places to Intervene in a System

Sustainability Institute, December, 1999

Places to Intervene in a System
(in increasing order of effectiveness)

12. Constants, parameters, numbers (such as subsidies, taxes, standards)
11. The sizes of buffers and other stabilizing stocks, relative to their flows.
10. The structure of material stocks and flows (such as transport networks, population age structures)
9. The lengths of delays, relative to the rate of system change
8. The strength of negative feedback loops, relative to the impacts they are trying to correct against

Climat et Biodiv

À minima niveau 3 : “buts du système (croître, soumettre de plus en plus de monde)”

Voir niveau 2 : “mentalité à l'origine du système (L'argent mesure quelque chose de réel, On peut posséder la terre, etc...)”

by Donella Meadows

parameters—arises

1. The power to transcend paradigms

Une forte asymétrie causes-conséquences

Définition

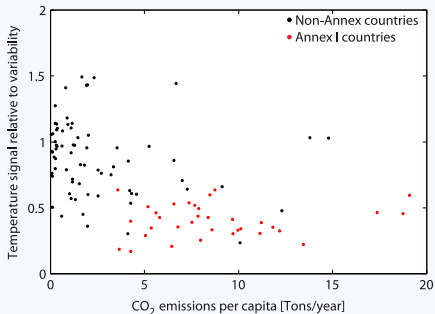
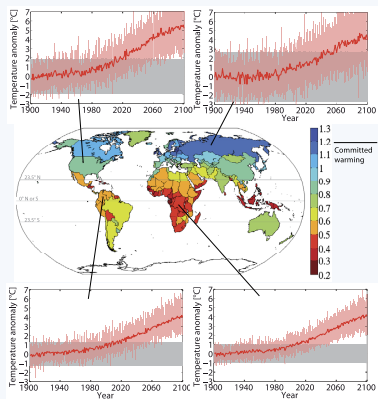
- Pb universel: Chacun est touché par les conséquences du pb, à la hauteur de sa responsabilité concernant ses causes
- Forte asymétrie causes-conséquences: ceux qui bénéficient des causes ne paient pas les conséquences

NRJ-Climat : difficile de faire pire en terme d'asymétrie causes-conséquences

- géographique
- générationnelle
- de classe sociale
- de "richesse" inter pays

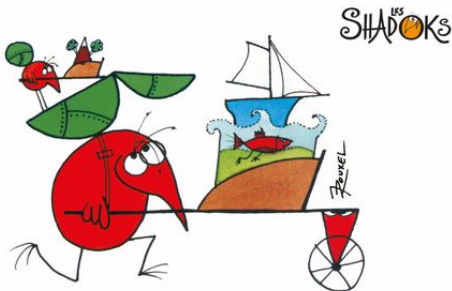
Une forte asymétrie causes-conséquences

Zone Inter-tropicale



- Premières zones touchées par l'“expulsion from history”
- Idem côté extrêmes
- Faible contribution passée

IX. En guise de conclusion



on change de planète !!

Ce dont on a parlé

La crise NRJ-Climat

- Noeud gordien: climat stable et NRJ abondante sont incompatibles
- Hyatus entre les discours et les actions/faits → Maintien du statu-quo au détriment de ceux qui ont le moins contribué
- Une crise qui cumule les mauvaises propriétés:
 1. Existentielle
 2. Peu de progrès scientifiques ou techniques à attendre
 3. Un pb global et de stock
 4. Très systémique
 5. Avec une très forte asymétrie causes-conséquences

Ce dont on a pas parlé

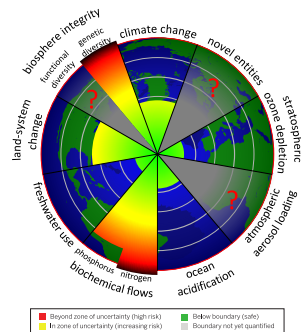
Appendix : dimensionnement

Appendix : compensation

Appendix: le mythe de l'échelle individuelle

Ce dont on a pas parlé

Y'a pas que le climat dans la vie, il y a le reste aussi



Les limites planétaires

Climat = une limite emblématique **mais** une seule !

✗ La plus importante/urgente ?

✓ Utile pour d'autres crises !

Une question en guise de fin

Comment souhaite-t-on faire face aux crises ?

Une question en guise de fin

Comment souhaite-t-on faire face aux crises ?

Préférence personnelle: des choix éclairés, compréhensibles & conscients.

Ce qui contraint à *minima*:

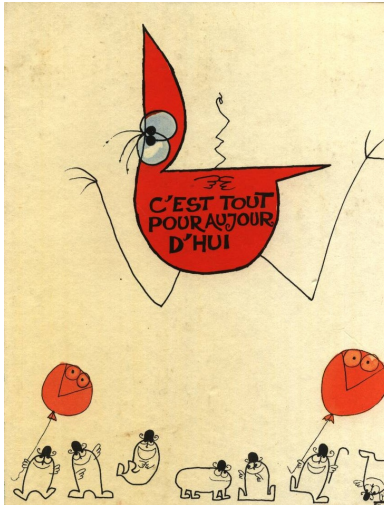
- Gouvernance, Règles économiques, Système médiatique, Éducation/instruction, ...
- Le tout, basé sur des fondements scientifiques solides: **condition nécessaire mais pas suffisante.**

Implication individuelle

Se faire un avis étayé en sachant que l'on peut être des(mal)-informé

Questions?

< geremy.panthou@univ-grenoble-alpes.fr >

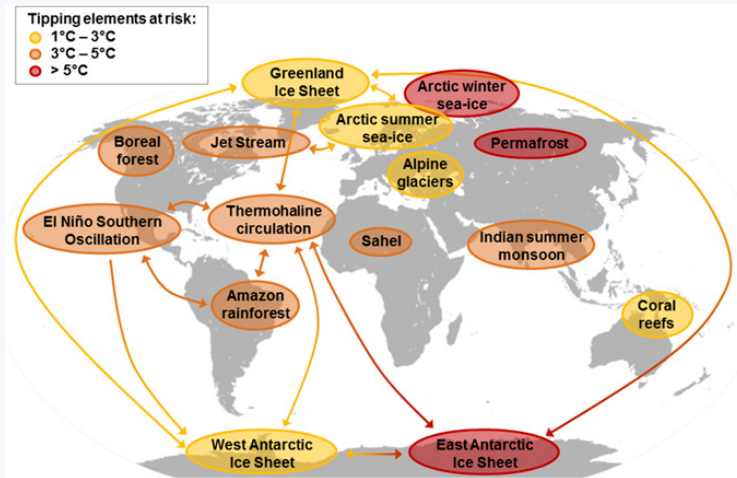


- J.-F. Bastin, E. Clark, T. Elliott, S. Hart, J. van den Hoogen, I. Hordijk, H. Ma, S. Majumder, G. Manoli, J. Maschler, L. Mo, D. Routh, K. Yu, C. Zohner, and T. Crowther. Understanding climate change from a global analysis of city analogues. PLOS ONE, 14(7):e0217592, 2019a.
- J.-F. Bastin, Y. Finegold, C. Garcia, D. Mollicone, M. Rezende, D. Routh, C. M. Zohner, and T. W. Crowther. The global tree restoration potential. Science, 365(6448):76–79, 2019b.
- G. B. Bonan. Forests and Climate Change: Forcings, Feedbacks, and the Climate Benefits of Forests. Science, 320(5882):1444–1449, 2008. ISSN 0036-8075, 1095-9203. doi: 10.1126/science.1155121. URL <https://www.sciencemag.org/lookup/doi/10.1126/science.1155121>.
- P. H. Brancalion and R. L. Chazdon. Beyond hectares: four principles to guide reforestation in the context of tropical forest and landscape restoration. Restoration Ecology, 25(4):491–496, 2017. ISSN 1061-2971. Publisher: Wiley Online Library.
- J.-L. Dufresne and J. Treiner. L'effet de serre atmosphérique : plus subtil qu'on ne le croit ! La Météorologie, 8(72):31, 2011. ISSN 0026-1181. doi: 10.4267/2042/39839. URL <http://hdl.handle.net/2042/39839>.
- F. Hua, X. Wang, X. Zheng, B. Fisher, L. Wang, J. Zhu, Y. Tang, D. W. Yu, and D. S. Wilcove. Opportunities for biodiversity gains under the world's largest reforestation programme. Nature Communications, 7(1), 2016.
- IPCC. Climate change 2014: synthesis report. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland, 2014.
- C. D. Jones, P. Ciais, S. J. Davis, P. Friedlingstein, T. Gasser, G. P. Peters, J. Rogelj, D. P. van Vuuren, J. G. Canadell, A. Cowie, R. B. Jackson, M. Jonas, E. Kriegler, E. Littleton, J. A. Lowe, J. Milne, G. Shrestha, P. Smith, A. Torvanger, and A. Wiltshire. Simulating the Earth system response to negative emissions. Environmental Research Letters, 11(9):095012, Sept. 2016. ISSN 1748-9326. doi: 10.1088/1748-9326/11/9/095012. URL <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/11/9/095012>.
- B. Locatelli, C. P. Catterall, P. Imbach, C. Kumar, R. Lasco, E. Marín-Spiotta, B. Mercer, J. S. Powers, N. Schwartz, and M. Uriarte. Tropical reforestation and climate change: beyond carbon. Restoration Ecology, 23(4):337–343, July 2015. ISSN 1061-2971, 1526-100X. doi: 10.1111/rec.12209. URL <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/rec.12209>.
- R. Millar, J. Fuglestedt, P. Friedlingstein, J. Rogelj, M. Grubb, H. D. Matthews, R. Skeie, P. Forster, D. Frame, and M. Allen. Emission budgets and pathways consistent with limiting warming to 1.5 C. Nature Geoscience, 10(10):741–747, 2017.
- S. Power. Expulsion from history. Nature, 511(7507):38, 2014.
- A. Ribes, J. Boé, S. Qasmi, B. Dubuisson, H. Douville, and L. Terray. An updated assessment of past and future warming over France based on a regional observational constraint. Earth System Dynamics, 13(4):1397–1415, Oct. 2022. ISSN 2190-4987. doi: 10.5194/esd-13-1397-2022. URL <https://esd.copernicus.org/articles/13/1397/2022/>.

- W. Steffen, J. Rockström, K. Richardson, T. M. Lenton, C. Folke, D. Liverman, C. P. Summerhayes, A. D. Barnosky, S. E. Cornell, M. Crucifix, J. F. Donges, I. Fetzer, S. J. Lade, M. Scheffer, R. Winkelmann, and H. J. Schellnhuber. Trajectories of the Earth System in the Anthropocene. Proceedings of the National Academy of Sciences, 115(33):8252, 2018. doi: 10.1073/pnas.1810141115. URL <http://www.pnas.org/content/115/33/8252.abstract>.
- A. Trabucco, R. J. Zomer, D. A. Bossio, O. van Straaten, and L. V. Verchot. Climate change mitigation through afforestation/reforestation: A global analysis of hydrologic impacts with four case studies. page 18, 2008.
- X. Wang, F. Hua, L. Wang, D. S. Wilcove, and D. W. Yu. The biodiversity benefit of native forests and mixed-species plantations over monoculture plantations. Diversity and Distributions, 25(11):1721–1735, Nov. 2019. ISSN 1366-9516, 1472-4642. doi: 10.1111/ddi.12972. URL <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/ddi.12972>.

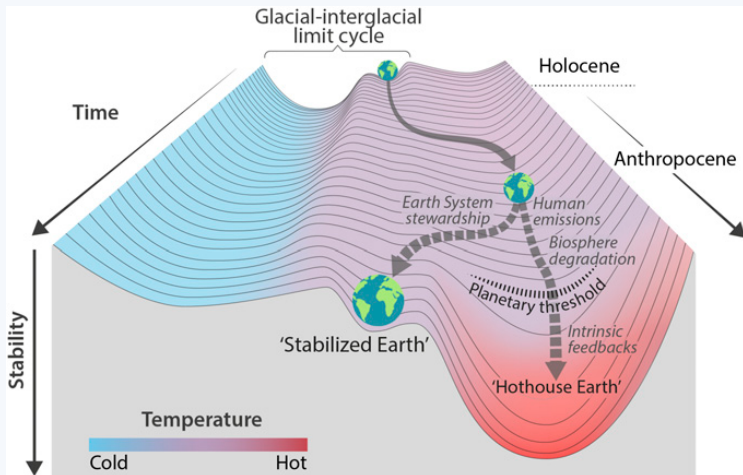
Et les rétro-actions? de potentiels points de bascules (Tipping Points)

Possibles si des boucles de retro-actions positives s'enclenchent et effet domino



Et les rétro-actions? de potentiels points de bascules (Tipping Points)

Possibles si des boucles de retro-actions positives s'enclenchent et effet domino



Et les rétro-actions? de potentiels points de bascules (Tipping Points)

Possibles si des boucles de retro-actions positives s'enclenchent et effet domino

À Retenir.

Au total: feedback < 0 mais hausse à venir. ah bon? pourquoi?

Et les rétro-actions? de potentiels points de bascules (Tipping Points)

Possibles si des boucles de retro-actions positives s'enclenchent et effet domino

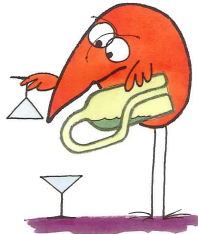
À Retenir.

Au total: feedback < 0 mais hausse à venir. ah bon? pourquoi?

- Feedback Planck
- Rétro-actions à venir > 0

XI. Dimensionner & aménager: Comment poser les problèmes? (et donc penser les solutions)

La devise Shadok de la semaine



S'IL N'Y A PAS DE SOLUTION
C'EST QU'IL N'Y A PAS DE PROBLÈME.

Adaptation vs atténuation: un pb mal posé?

Crise(s), climat: plan de transformation de l'économie française

PRÉSENTATION D'UN CHANTIER D'URGENCE

MAI 2020

Défis du futur

Dimensionner & concevoir des solutions à des pb complexes.

Prenant en compte:

- la non-stationnarité, l'incertitude et des objectifs multiples (adaptation)
- sous contraintes physiques & socio-eco-politiques (atténuation)

Mots clefs: Résilience, No-regrets, Modularités, Adaptables

Dimensionner: non stationnarité, multi-objectifs & sous contraintes

Dimensionnement de digues/barrages/canalisation eaux pluviales



Méthodes de dimensionnement: Gumbel, GEV, Gradex, etc.

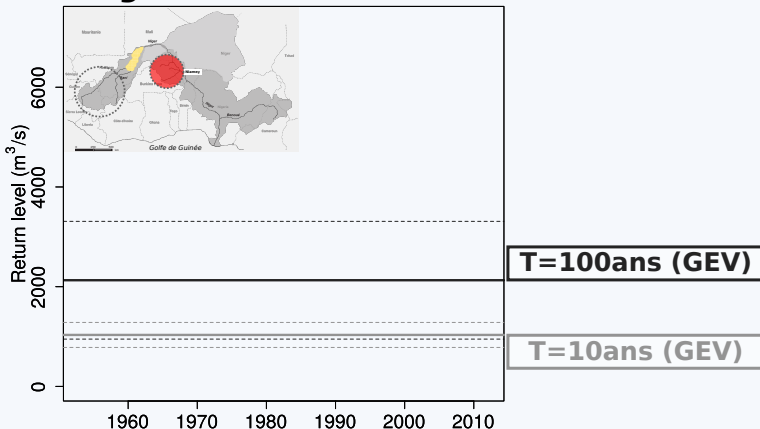
Conçues pour des séries d'extrêmes stationnaires

Comment faire lorsque la fréquence des crues change?

Dimensionner: non stationnarité, multi-objectifs & sous contraintes

Exemple: évolution des débits de crues sur le Fleuve Niger

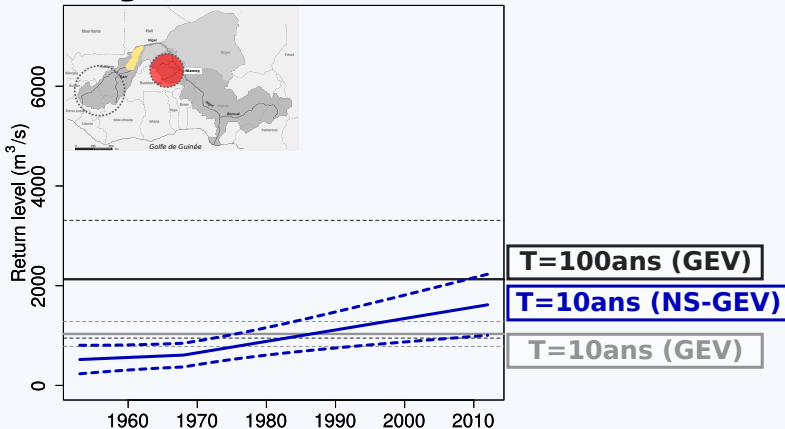
Right bank tributaries - Return levels



Dimensionner: non stationnarité, multi-objectifs & sous contraintes

Exemple: évolution des débits de crues sur le Fleuve Niger

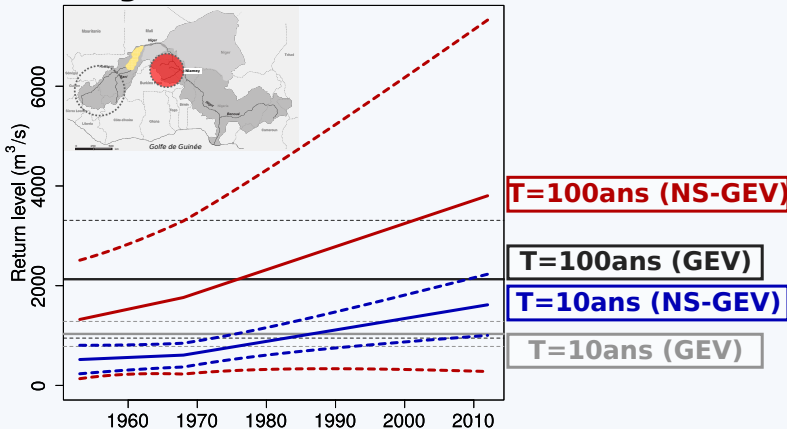
Right bank tributaries - Return levels



Dimensionner: non stationnarité, multi-objectifs & sous contraintes

Exemple: évolution des débits de crues sur le Fleuve Niger

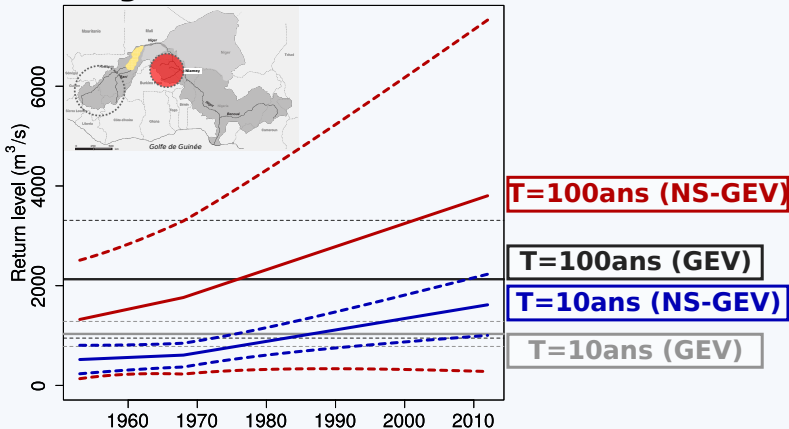
Right bank tributaries - Return levels



Dimensionner: non stationnarité, multi-objectifs & sous contraintes

Exemple: évolution des débits de crues sur le Fleuve Niger

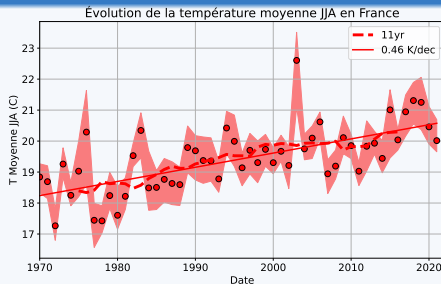
Right bank tributaries - Return levels



Non-stationnarité: L'objectif de l'ouvrage ne change pas: mais que faire lorsque les niveaux de retour doublent en 50 ans?

Dimensionner: non stationnarité, multi-objectifs & sous contraintes

Retenue collinaire pour irrigation

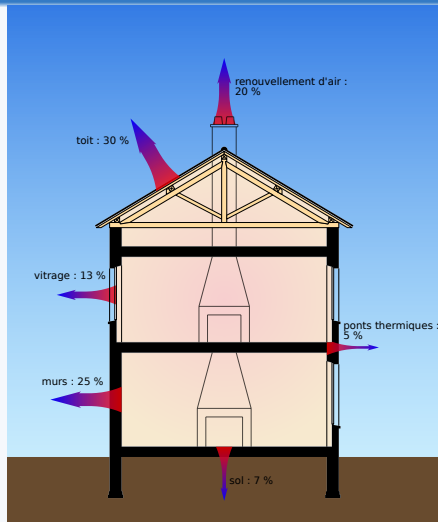


- Demande des plantes: ↗ (JJA: $+0.5\text{K} \cdot \text{Decade}^{-1}$) et ressource estivale: ↘
- Contraintes réglementaires sur les usages de l'eau: ???
- Possibilité de changer les pratiques et les cultures: ???

Incertitude très forte: doit être pensé dans un cadre plus global de l'exploitation.
⇒ Existe t-il des solutions plus résilientes? moins dépendantes d'aléas externes?

Dimensionner: non stationnarité, multi-objectifs & sous contraintes

Isolation des bâtiments

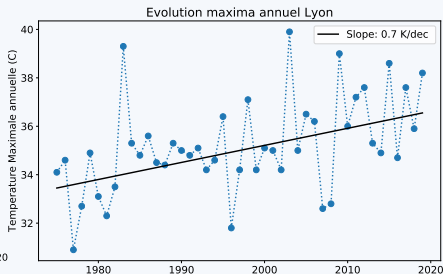
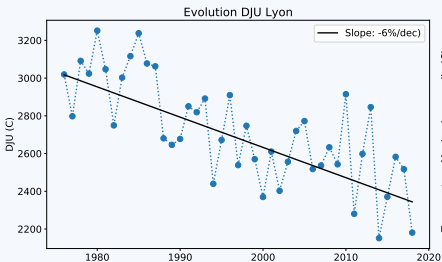


La problématique principale était l'isolation contre le froid (paramètre $DJU \leq 19^{\circ}\text{C}$) **mais** la problématique de se protéger des chaleurs estivales devient un enjeu

Dimensionner: non stationnarité, multi-objectifs & sous contraintes

Isolation des bâtiments

⇒ Une solution multi-objectifs pour confort d'hiver et d'été + d'autres paramètres non évoqués (choix des matériaux, protection du bâti, ...)

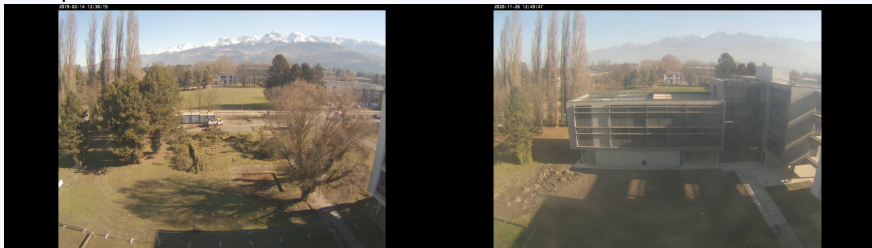


Dimensionner: non stationnarité, multi-objectifs & sous contraintes

Isolation des bâtiments

⇒ Une solution mutli-objectifs pour confort d'hiver et d'été + d'autres paramètres non évoqués (choix des matériaux, protection du bâtis, ...)

Exemple d'aberration:



Dimensionner: non stationnarité, multi-objectifs & sous contraintes

Complexité et mauvais remèdes

Ouverture d'une brèche afin de limiter les crues du Sénégal ...

4 octobre 2003: 4 m de largeur



6 oct. 2003: 200 m



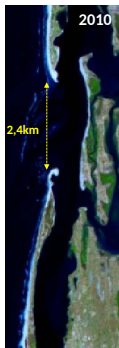
Dimensionner: non stationnarité, multi-objectifs & sous contraintes

Complexité et mauvais remèdes

Ouverture d'une brèche afin de limiter les crues du Sénégal ...



Source: DIENG (2013)



Dimensionner: non stationnarité, multi-objectifs & sous contraintes

Complexité et mauvais remèdes

Ouverture d'une brèche afin de limiter les crues du Sénégal ...

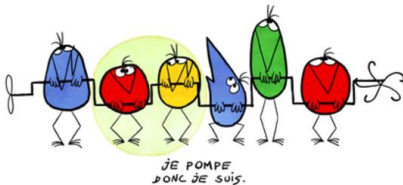
Problème engendré: salinisation des terres par incursion d'eau de mer.

Raison: ce n'était "pas dans le viseur"

Exemples nombreux dans la "maîtrise de l'environnement"

Des questions / remarques ????

XII. La compensation est-t-elle une solution pour atteindre la neutralité ?



Posons la question différemment

Qu'en pense Sherlock ?

Source ici: <https://www.youtube.com/watch?v=PQbYk1p2cn8>

Posons la question différemment

Principe: 1kg CO₂eq émis = 1kg stocké (e.g. dans les arbres.)



Exemple:

Un eucalyptus de 12-15 ans

8 mètres de haut, 40 cm de diamètre

≈ 1 m³ de bois ≈ 800kg

Matière sèche (65%): 520kg

dont la moitié de C: 260 kg

Stockage CO₂: ≈ 1 tonnes de CO₂

Posons la question différemment

Un peu plus compliqué que cela

une forêt est plus que la somme des arbres qu'elle contient

Stock:

Forêt tropicale: 50 kgC/m^2

Forêt tempérée: 40 kgC/m^2

Forêt boréale: 15 kgC/m^2

Flux:

Forêt tropicale: $400 \text{ gC/m}^2/\text{yr}$

Forêt tempérée: $300 \text{ gC/m}^2/\text{yr}$

Forêt boréale: $100\text{-}200 \text{ gC/m}^2/\text{yr}$

Grassland: $\approx 100 \text{ gC/m}^2/\text{yr}$

Et avec nouvel écosystème forestier

Attention à ne faut pas oublier l'écosystème original: ΔStock et ΔFlux

Si tout le monde compense ses émissions alors c'est ok?

Oui, la neutralité concept surtout valide à l'échelle mondiale **mais**:

- est-ce théoriquement possible?
- si oui, quels écueils à éviter (dans la pratique)?

Posons la question différemment

Compenser (t)héroïquement: la limite physique surface forestable

- Débat dans la communauté scientifique
- Discussions sur: surface (a)(re)forestable & quantité stockable par m²

⇒ **Hypothèses héroïques** de *Bastin et al. [2019b]*: **10 millions de km²** (Surfaces émergées: 140 Millions de km², dont 40 déjà forêts.)

Stock C (troncs,racines&biomes)

Méthodes: règle de 3, arguments historiques, stocks moyens dans les forêts, biblio [*Bonan, 2008; Jones et al., 2016*]

≈ 100 GTC [40–200] en 40 ans (τ forêt mature)

Au mieux 2.5GTC/yr (≈ 1/4 émissions actuelles):
pas suffisant + réalisable **1** seule fois

Flux C long-terme

Airborne fraction, règle de trois et NEE

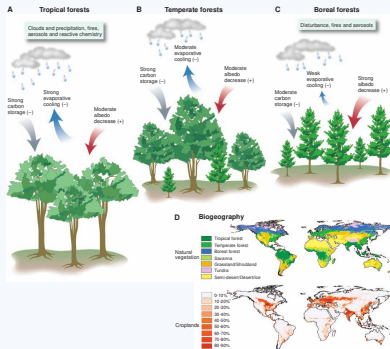
≈ 1GT CO₂eq/an ⇒ < 5% de nos émissions actuelles.

Posons la question différemment

Compenser (t)héroïquement: le temps une autre limite physique

- Temps d'émissions **V.S.** temps de stockage
 - dette de carbone $\Rightarrow \Delta$ forçage radiatif
 - intérêts de la dette: perte de surface forestable [Bastin et al., 2019b]
- Temps de résidence: $\tau_{\text{fossilfuel}} = 10^7$ ans **V.S.** $\tau_{\text{Cbiologique}} \approx 10^2$ ans. **Garantie?**

ET la neutralité climatique?



Posons la question différemment

Programmes de forestation à grande échelle

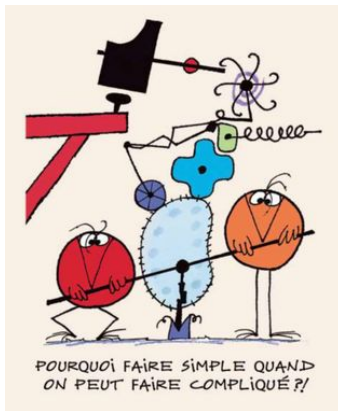
⇒ Impacts par nature importants, pouvant générer

- “externalités négatives”: climat & hydrologie régional [Trabucco et al., 2008], perte de biodiversité [Hua et al., 2016; Wang et al., 2019], accaparement des terres ⇒ maintien des inégalités (géographiques, de richesse, inter-générations, ...)
- co-bénéfices socio & environnementaux [Locatelli et al., 2015; Brancalion and Chazdon, 2017]

À retenir: Des précautions à prendre

Pas facile de faire son analyse: marketing fort et chiffres douteux non vérifiables **Mais** de potentiels projets intéressants (e.g. Silva?)

XIII. Si non, l'échelle individuelle suffit-t-elle pour atteindre la neutralité?



Autopsie d'une solution qui ne fonctionne pas pour moi

Si tout le monde fait cela: ça marche: 😊😊😊

- Éviter: on retire tout le superflu, le gras
- Réduire: on diminue l'impact de ce qui ne peut être réduit
- On compense le reste

Outils de Bilan CO2:

- MicMac: <http://avenirclimatique.org/micmac/simulationCarbone.php>
- Ademe: <https://nosgestesclimat.fr/>

Autopsie d'une solution qui ne fonctionne pas pour moi

Si tout le monde fait cela: ça marche: 😊😊😊

- Éviter: on retire tout le superflu, le gras
- Réduire: on diminue l'impact de ce qui ne peut être réduit
- On compense le reste

Outils de Bilan CO2:

- MicMac: <http://avenirclimatique.org/micmac/simulationCarbone.php>
- Ademe: <https://nosgestesclimat.fr/>

Exemple d'une stratégie ERC "volontariste"

Autopsie d'une solution qui ne fonctionne pas pour moi

Éviter: "émissions de luxe"

?????

Réduire: "émissions de subsistance"

- Habitation:
- Alimentation:
- Transport:
- Service public:
- Biens & Services:

?????

Autopsie d'une solution qui ne fonctionne pas pour moi

Éviter: "émissions de luxe"

avion ? smart-phone & autre objets connectés ? compte épargne rémunéré ?

Réduire: "émissions de subsistance"

- Habitation: 100-1000 kgCO₂
- Alimentation: 1000-1500 kgCO₂
- Transport: 1000 kgCO₂
- Service public: 1000 kgCO₂
- Biens & Services: 1000 kgCO₂

⇒ 4-5 tonnes CO₂ (25% professionnel)

Compenser pro (1 tCO₂/hab/an)

On foreste le campus (120 ha sans stock/flux initial :-D)) et on compte que les 6000 personnels

D'abord 40 ans: $\Delta \text{ Stock} \approx 800 \text{ kg CO}_2/\text{an}/\text{hab}$

Puis: $\Delta \text{ Flux} \approx 200 \text{ kg CO}_2/\text{an}/\text{hab}$

Et le reste (4 tCO₂/hab/an)

D'abord 40 ans: $\approx 1000 \text{ m}^2 \text{ (a/re)foresté}$

Puis: $\Delta \text{ Flux} \approx 4000 \text{ m}^2 \text{ (a/re)foresté}$

Jouable ?? SAU?? Surface déjà en forêts??

Autopsie d'une solution qui ne fonctionne pas pour moi

Éviter: "émissions de luxe"

avion ? smart-phone & autre objets connectés ? compte épargne rémunéré ?

Réduire: "émissions de subsistance"

- Habitation: 100-1000 kgCO₂
- Alimentation: 1000-1500 kgCO₂
- Transport: 1000 kgCO₂
- Service public: 1000 kgCO₂
- Biens & Services: 1000 kgCO₂

⇒ 4-5 tonnes CO₂ (25% professionnel)

Compenser pro (1 tCO₂/hab/an)

On foreste le campus (120 ha sans stock/flux initial :-D)) et on compte que les 6000 personnels

D'abord 40 ans: $\Delta \text{ Stock} \approx 800 \text{ kg CO}_2/\text{an}/\text{hab}$

Puis: $\Delta \text{ Flux} \approx 200 \text{ kg CO}_2/\text{an}/\text{hab}$

Et le reste (4 tCO₂/hab/an)

D'abord 40 ans: $\approx 1000 \text{ m}^2 \text{ (a/re)foresté}$

Puis: $\Delta \text{ Flux} \approx 4000 \text{ m}^2 \text{ (a/re)foresté}$

Jouable ?? SAU?? Surface déjà en forêts??

Neutralité: Difficilement solvable, isn't it?

⇒ Ne veut pas dire qu'il ne faille pas éviter, réduire et planter des arbres (ou autre).

En résumé

Neutralité

- carbone $\neq$ climat (voir <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/glossary/>)
- Neutralité carbone=Émissions nettes **zero** à l'échelle **mondiale**.
- Neutralité climatique qui ajoute des contraintes à la neutralité carbone

Ce n'est pas une opinion

Compensation

- Théoriquement impossible (mondiale comme locale)
- Externalités négatives potentiellement sérieuses et nombreuses

Opinion personnelle: Ça sent le "greenwash"

ERC à l'échelle individuelle

- Théoriquement impossible, sans parler de la souhaitabilité ?
- Effort collectif indispensable

Opinion personnelle: Discuter la répartition entre individuel et collectif