





# Une transformation du monde

Dérèglement climatique

# Une transformation du monde

Dérèglement climatique

Perte de biodiversité

# Une transformation du monde

Dérèglement climatique

Perte de biodiversité

Imprégnation chimique

.....

# Une transformation du monde

Dérèglement climatique

Perte de biodiversité

Imprégnation chimique

Qu'ont-elles en commun ?.

# Leur ampleur



Ceci est un baril de pétrole  
Il fait 160 litres

Combien en brûle-t-on  
**PAR JOUR**  
dans le monde ?

# Leur ampleur



Ceci est un baril de **pétrole**  
Il fait 160 litres

Combien en brûle-t-on  
PAR JOUR  
dans le monde ?

100 000 000

Autant en **charbon**  
Autant en **gaz**

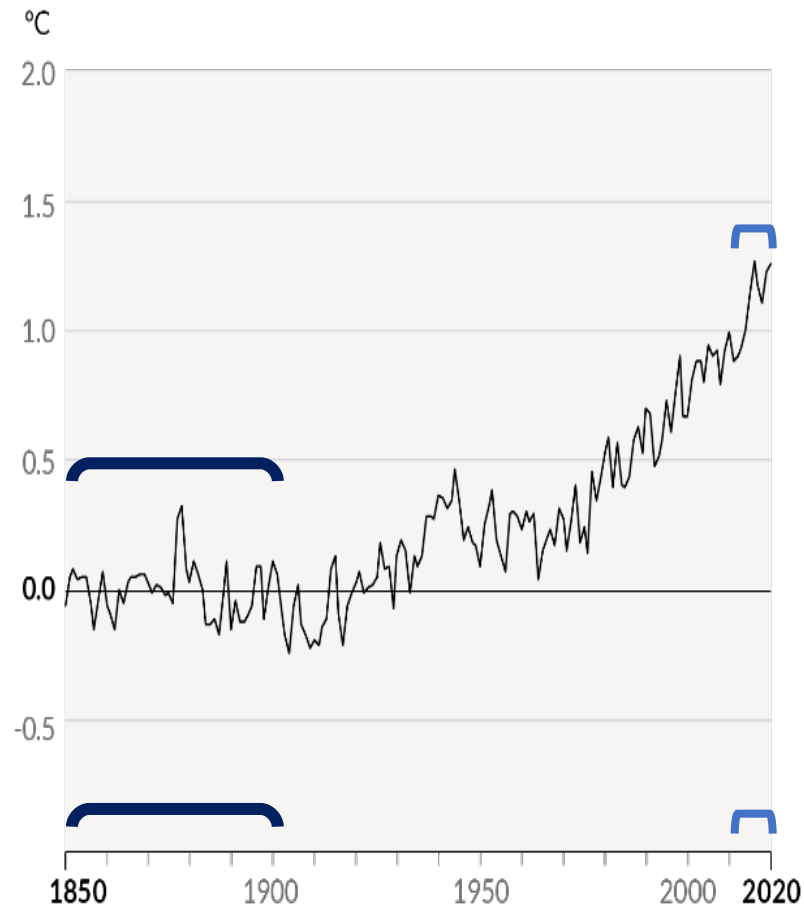
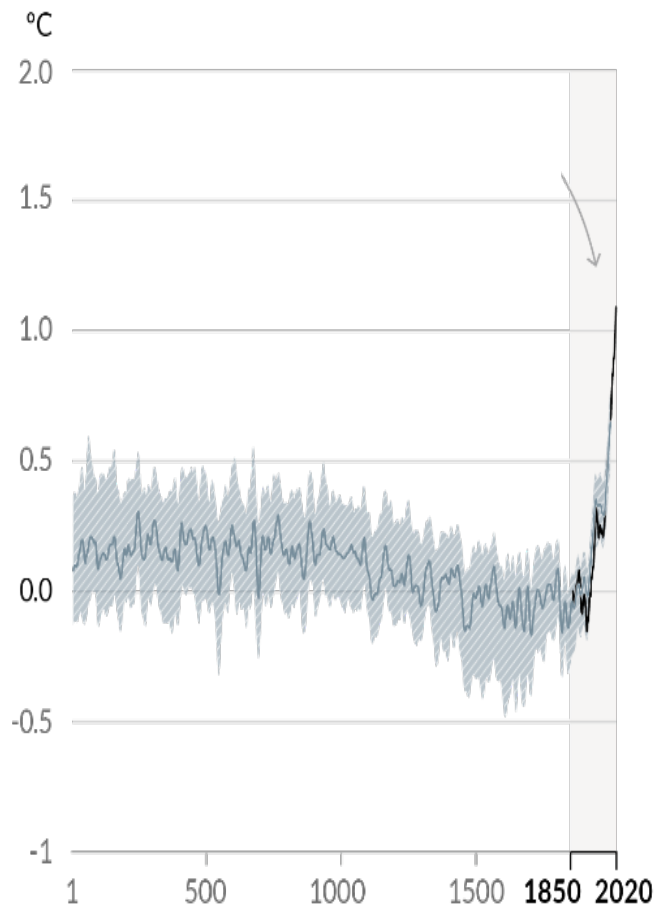


# Leur rapidité

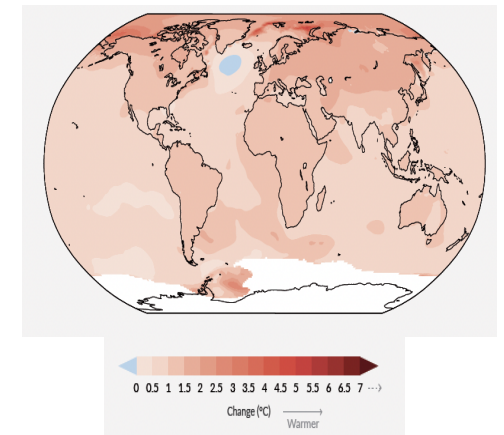
- Le point de départ est 1850
  - La révolution industrielle
- L'autre référence est 1970
  - La grande **accélération**
- Aucun signe de ralentissement
  - Accord de Paris 2015

# Le réchauffement planétaire atteint 1,1°C – inédit depuis plus de 2 000 ans

Changement **observé** de température de surface planétaire depuis 1850-1900 50-1900



+ 1,7°C ↓ en France





# Leur complexité

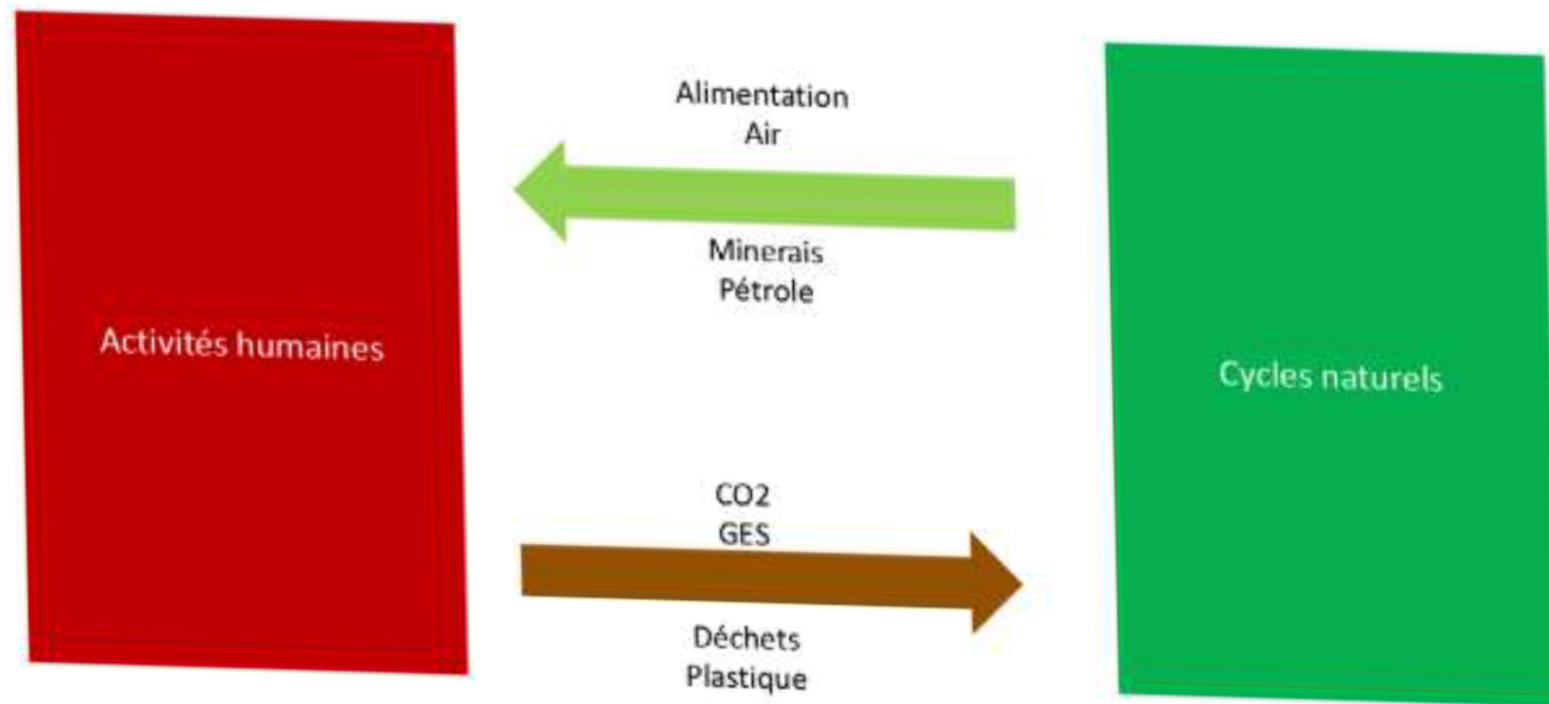
- Complexité **numérique**
  - Le CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère et les océans: les variables et les équations sont connues
- Complexité **conceptuelle**
  - En écologie une multitude de variables en interaction, sans séparation nette entre les échelles et sans phénomène d'émergence
- Manque **d'information**
  - Les transformateurs endocriens sont sous les radars

# Ils sont étroitement liés entre eux

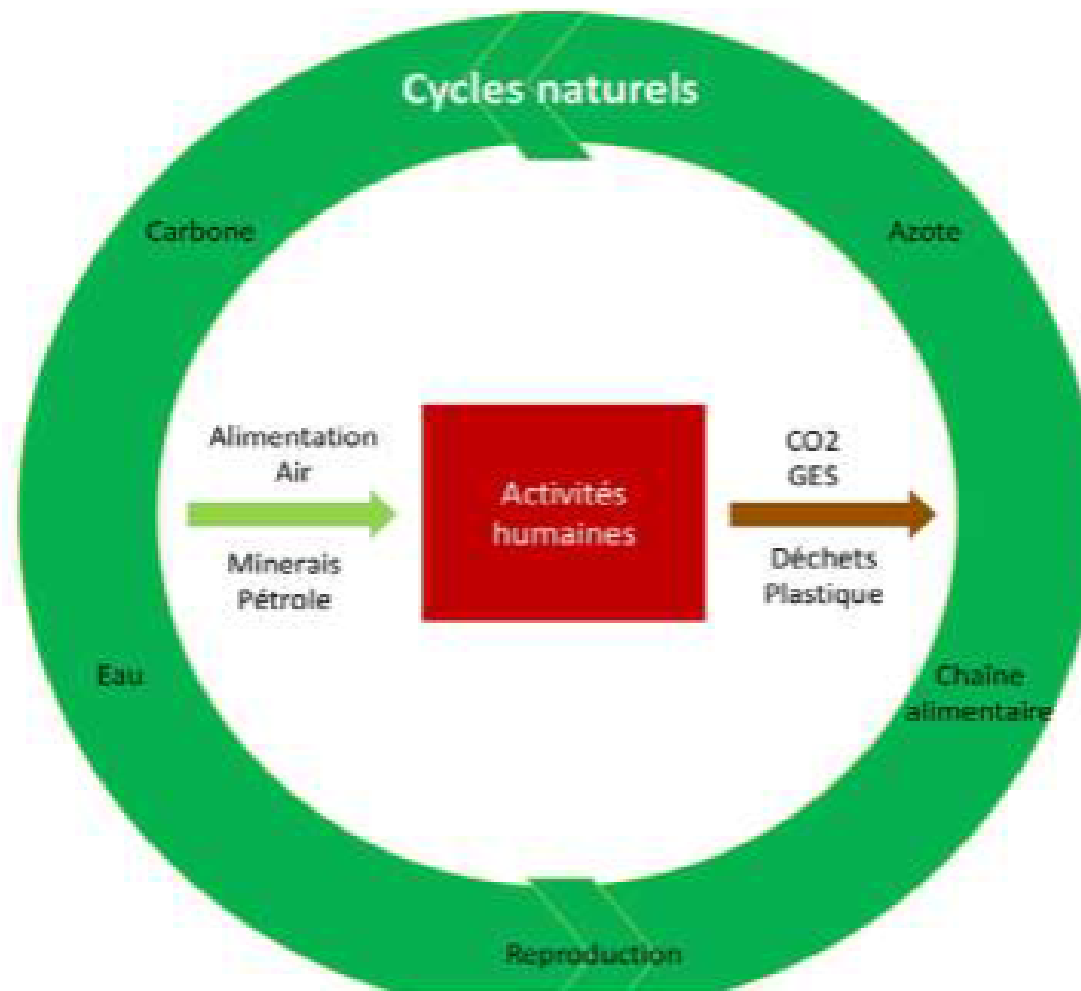
## L'agriculture industrielle

- Contribue au **réchauffement** en détruisant les sols et brûlant des combustibles fossiles (engrais, mécanisation)
- Diminue la **biodiversité**: les semences paysannes (de population) ne sont pas autorisées dans l'UE, on n'a droit qu'à des clones
- Laisse dans les sols des **pesticides** dont l'effet sur la santé humaine est mal connu

# et avec le système social: la représentation



# contre la réalité



## 4. Les voies et les forces de changement

# Les conséquences pour la formation et la recherche

- Nous souffrons d'une double ignorance
  - Les citoyens comme les décideurs ne comprennent plus ce qu'est la science
    - Pouyanné (Total): *Je respecte les scientifiques, mais moi je suis dans la vraie vie*
  - Les scientifiques sont cloisonnés en disciplines et ne s'intéressent plus aux problèmes globaux
    - La science comme métier
- Pourtant c'est en s'ouvrant aux autres disciplines que l'on comprend le monde et que l'on trouve des problèmes intéressants



# Exemple 1: les leçons de l'histoire

- Peut-on diminuer les émissions en améliorant les moteurs ?
  - Un moteur plus performant consomme **moins** !

# Exemple 1: les leçons de l'histoire

- Peut-on diminuer les émissions en améliorant les moteurs ?
  - Un moteur plus performant consomme moins
- **Effet rebond**: améliorer les rendements entraîne une augmentation de l'utilisation
  - Mis en évidence par Jevons (1865) : de la mine de charbon à la locomotive et au bateau
  - On n'a jamais consommé autant de charbon qu'aujourd'hui

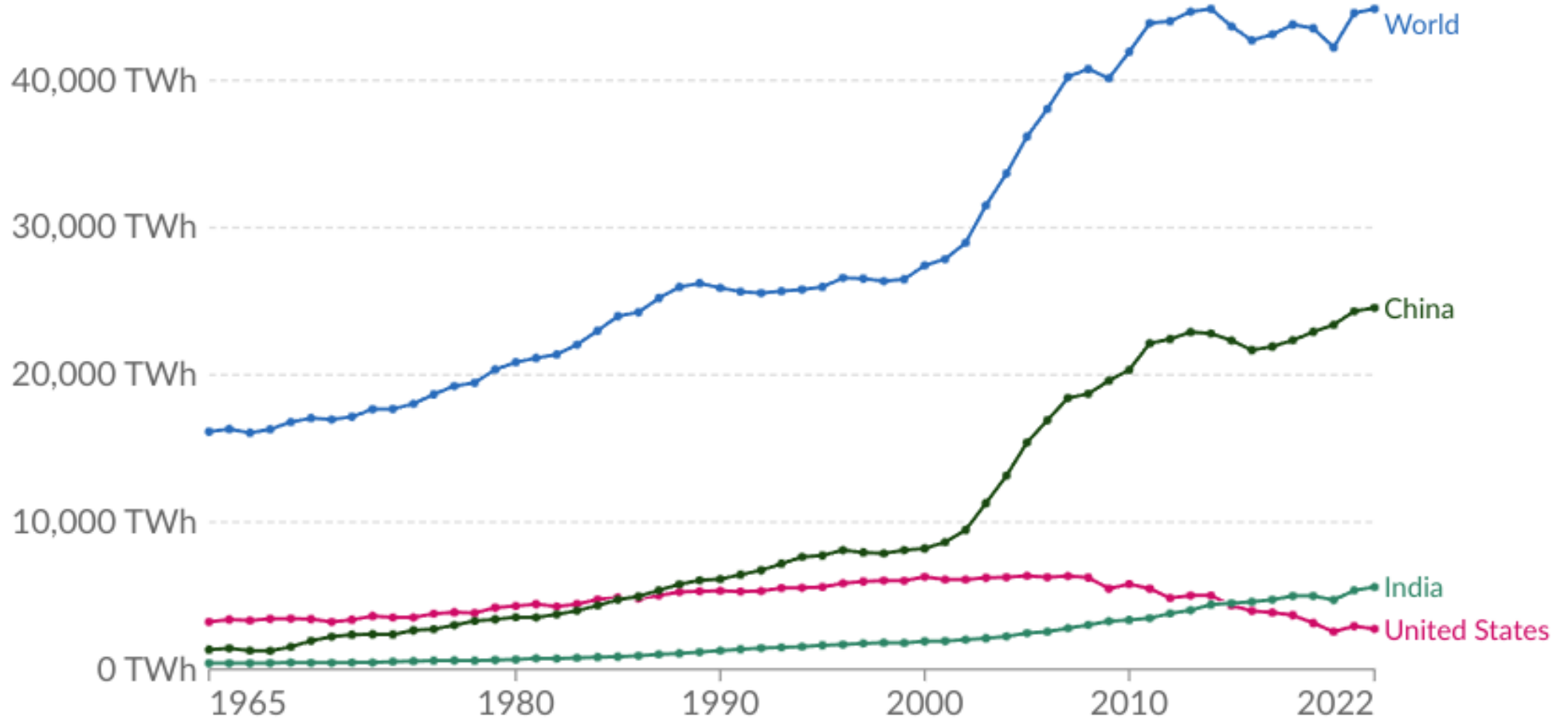
# Coal consumption

Coal consumption by country or region, measured in terawatt-hours (TWh).

Table | Map | Chart

Edit countries and regions

Settings



Data source: Energy Institute Statistical Review of World Energy (2023) - [Learn more about this data](#)

OurWorldInData.org/fossil-fuels/LCC/PV

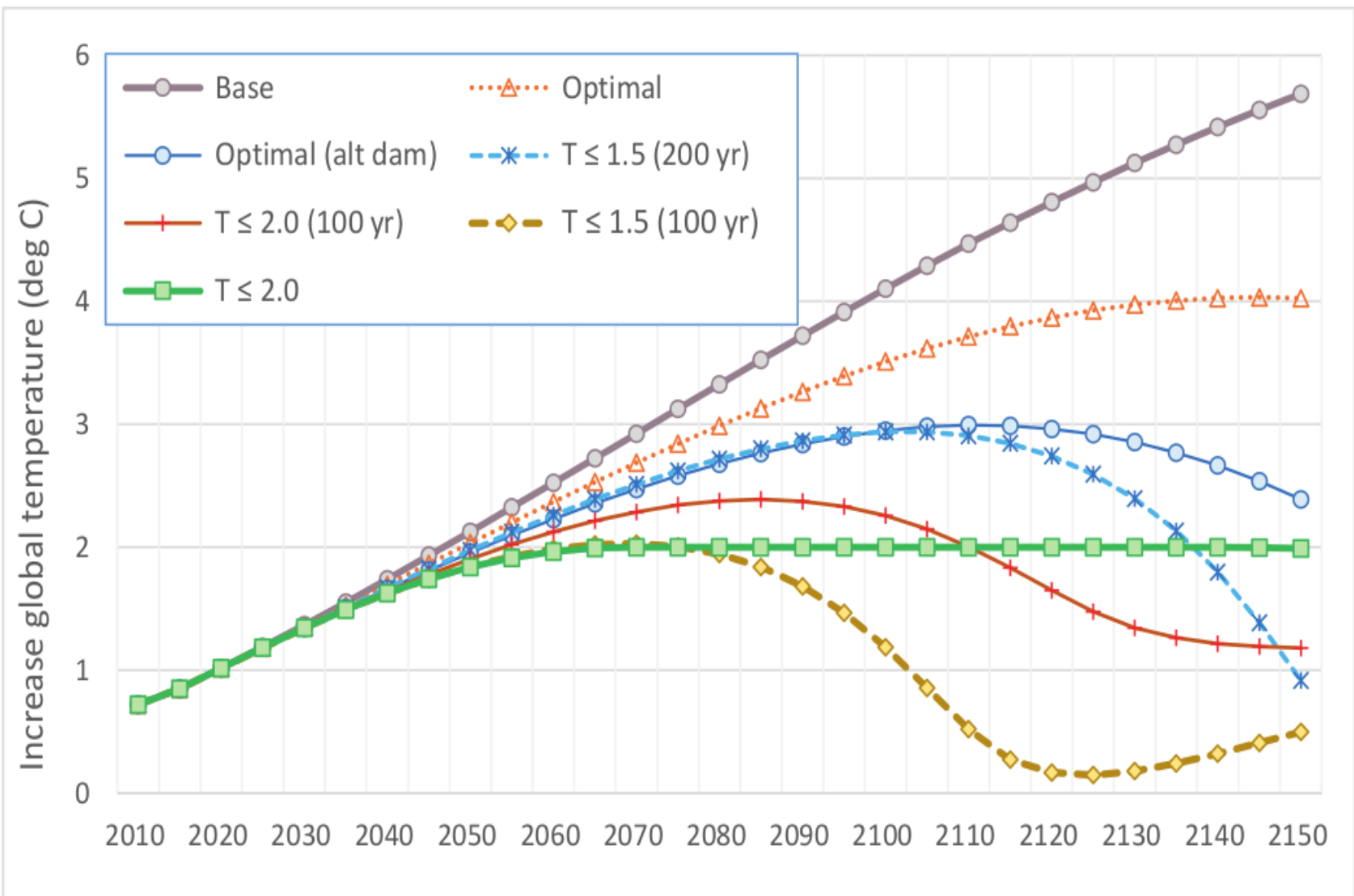
Download | Share | Full Screen

# Exemple 1: les leçons de l'histoire

- Ces dernières années, l'amélioration des rendements des moteurs thermiques a servi à remplacer les berlines par des SUV
- Si les SUV étaient un pays, ce serait le 6ème émetteur de GES, devant la France
- **Il n'y a jamais eu de transition énergétique**

# Exemple 2: les leçons des mathématiques

- La question de l'**overshoot**
  - Nous allons investir pour trouver des moyens d'extraire les GES de l'atmosphère
  - Quand ces technologies seront au point, elles permettront de **réduire** la concentration des GES
  - Il ne faut donc pas s'inquiéter si ces concentrations dépassent momentanément les seuils autorisés (1,5 pour l'accord de Paris) puisqu'on pourra les réduire
- Ces technologies non existantes encore sont prises en compte dans les prévisions du GIEC



# René Thom (1923-2002)

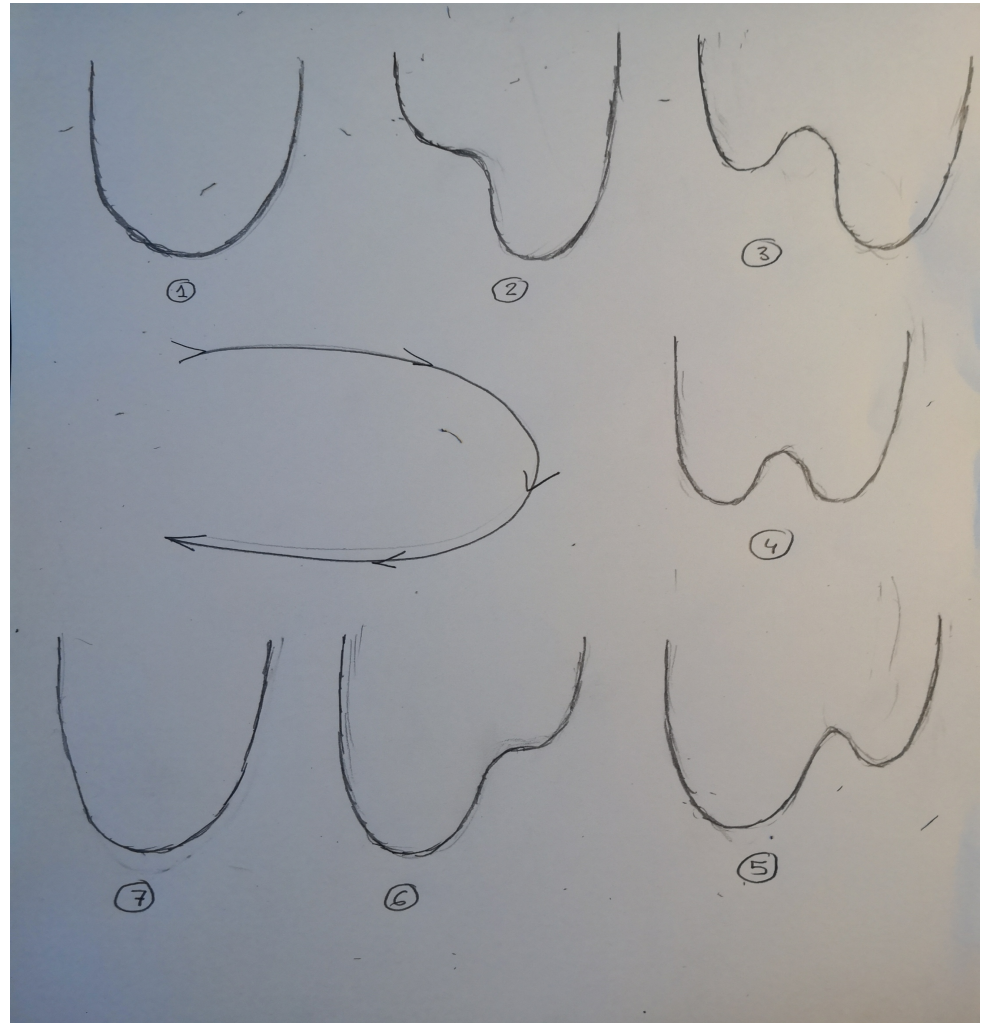


# Changements continus du système

On passe continûment de la pos 1 à la pos 7

On revient sans problème de 7 à 1

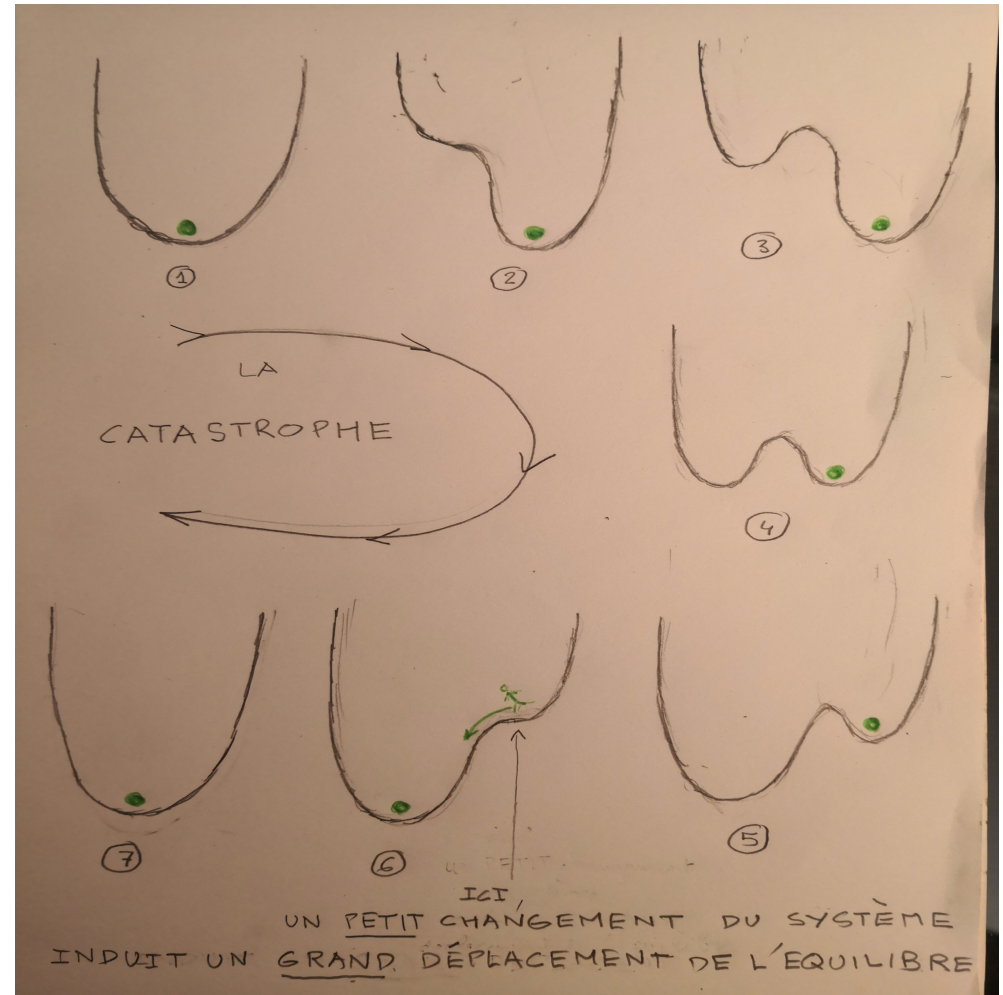
La transformation est continue réversible





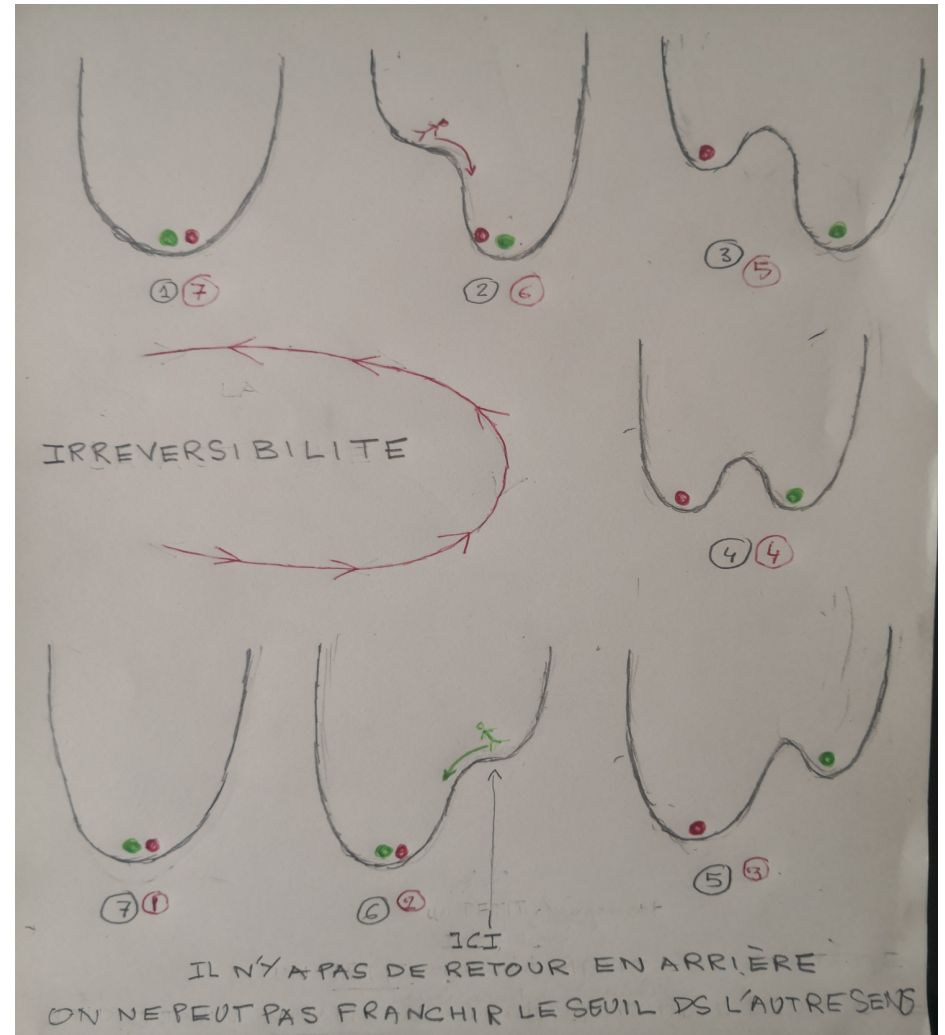
# Réponse discontinue de l'équilibre

- On met une bille: elle se place en bas, c'est l'équilibre du système (ici **le climat**)
- En allant de 1 à 7 la bille bascule en 6
- Un **petit** changement du système induit un **profond** changement de l'équilibre

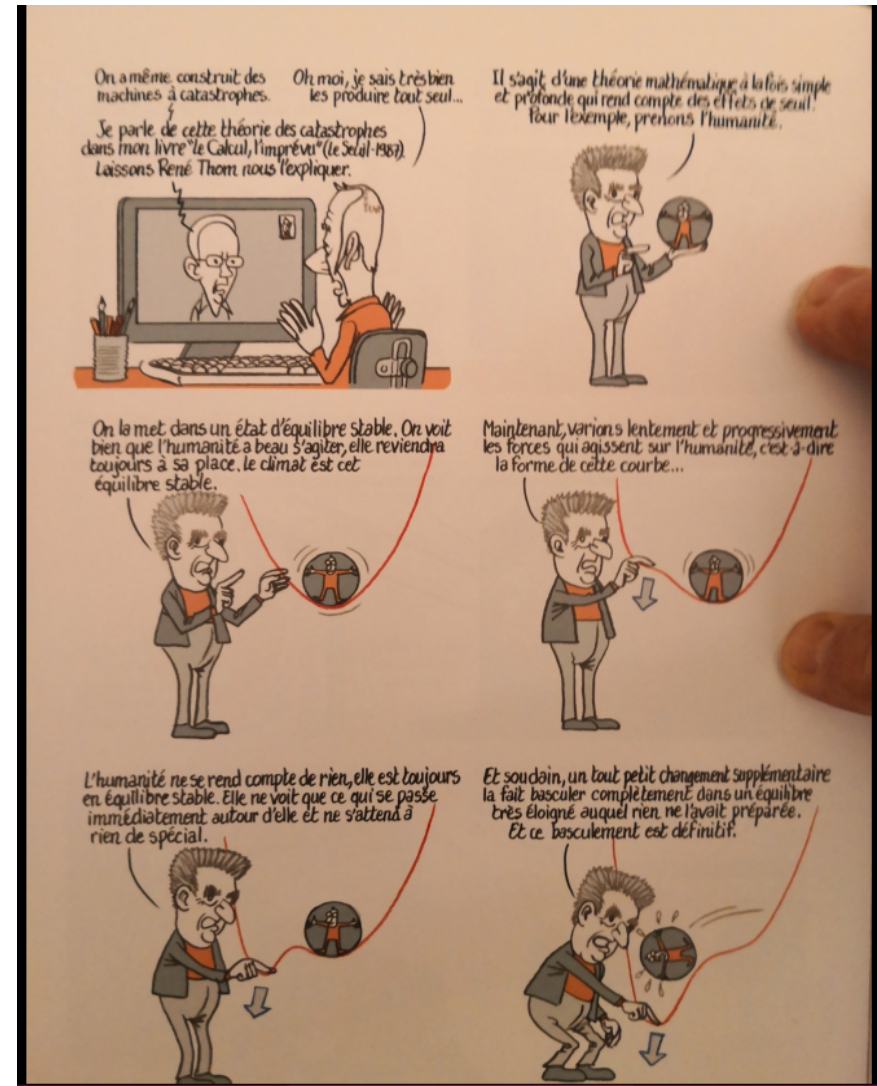
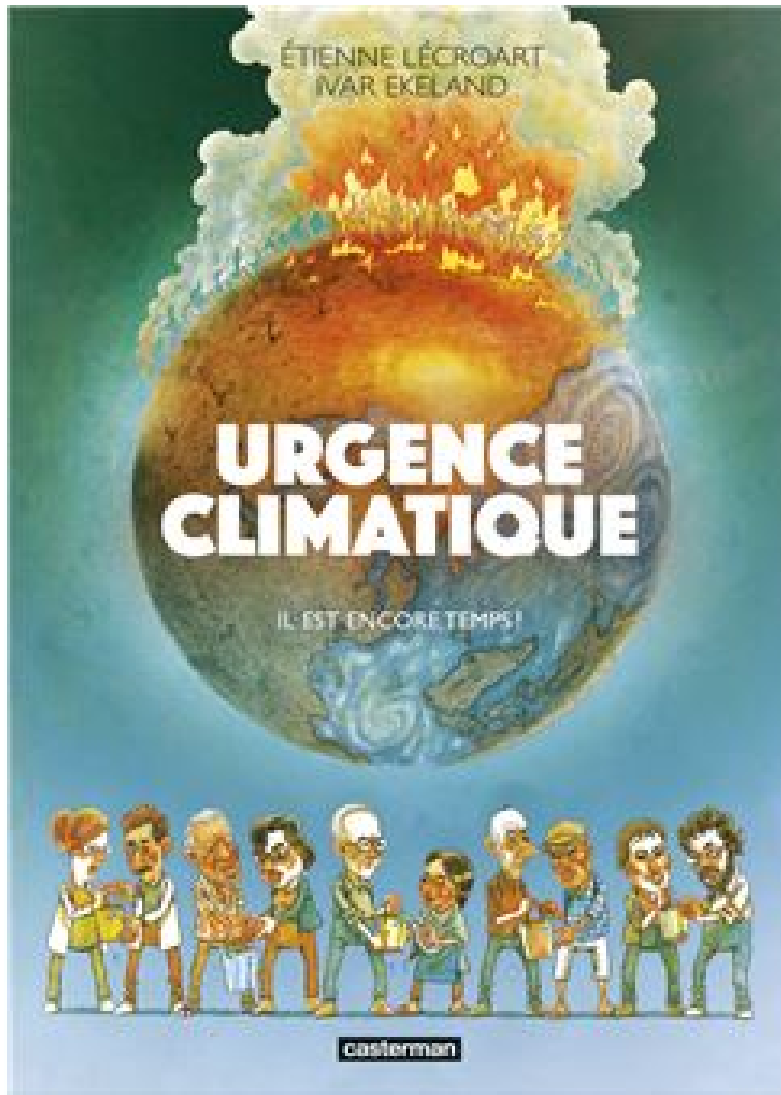


# Ce changement est irréversible

- On veut maintenant revenir en arrière
- L'équilibre ne reviendra pas à sa position antérieure en franchissant le point 6 où il avait basculé
- Pour retrouver l'équilibre antérieur, il faudra aller beaucoup plus loin pos 2



# Le maître lui-même



On a même construit des machines à catastrophes. Oh moi, je sais très bien les produire tout seul...

Se parle de cette théorie des catastrophes dans mon livre "Le Calcul, l'imprévu" (Le Seuil-1987).  
Laissons René Thom nous l'expliquer.



Il s'agit d'une théorie mathématique à la fois simple et profonde qui rend compte des effets de seuil. Pour l'exemple, prenons l'humanité.



On la met dans un état d'équilibre stable. On voit bien que l'humanité a beau s'agiter, elle reviendra toujours à sa place. Le climat est cet équilibre stable.



Maintenant, variaisons lentement et progressivement les forces qui agissent sur l'humanité, c'est-à-dire la forme de cette courbe...



L'humanité ne se rend compte de rien, elle est toujours en équilibre stable. Elle ne voit que ce qui se passe immédiatement autour d'elle et ne s'attend à rien de spécial.



Et soudain, un tout petit changement supplémentaire la fait basculer complètement dans un équilibre très éloigné auquel rien ne l'avait préparée. Et ce basculement est définitif.



Ce basculement brutal et irréversible d'un état à un autre qui vient interrompre un changement lent et graduel, c'est ce que René Thom appelle une catastrophe. Aujourd'hui, pour exprimer la même chose, on parle d'effet de seuil.



L'humanité est en train de changer progressivement un des paramètres importants du système Terre: la concentration de CO2 dans l'atmosphère.



Actuellement ce taux augmente de 0,5% par an. La terre réagit graduellement.



Mais rien ne garantit qu'on ne franchisse pas un seuil et que tout le système ne bascule dans un état différent et inconnu.



Dans leur appel, Andersen et Dasgupta déclarent que les écosystèmes naturels atteignent des seuils critiques.

Les rapports du GIEC en ont déjà identifié plusieurs. Mais il y en a sûrement d'autres qu'on ne soupçonne pas.



# Exemple 3: les leçons des mathématiques

- Peut-on s'en remettre au marché pour préserver les espèces vivantes et nos conditions de vie sur la planète ?
- Nous sommes en 1970 et les baleines sont menacées. Quelles mesures de conservation ?
- Il est proposé de créer un **monopole**, sachant que le monopoleur aura tout intérêt à préserver le stock

Soit  $x$  la population de baleine. Elle est régie par l'équation logistique:

$$\frac{dx}{dt} = rx \left(1 - \frac{x}{K}\right) - h(t)$$

où  $r$  est le taux de croissance (quand la population est faible),  $K$  la population maximale que peut supporter le milieu, et  $h(t)$  la quantité prélevée.

Si n'y a pas de chasse,  $h = 0$  la population converge vers le niveau d'équilibre

$$x_0 = \frac{K}{2}$$

Si on chasse,  $h(t) > 0$ , la population sera nécessairement plus basse

Le monopoleur gère son profit sur le long terme. Le prix de la prise est  $p$  et le coût de celle-ci est  $c$ . Le profit associé est donc:

$$ph - ch$$

Si le taux d'intérêt financier est  $i$ , le profit total associé à un calendrier de prélèvements  $h(t)$  est:

$$\int_0^{\infty} e^{-it} (p - c) h(t) dt$$

Il faut donc trouver le calendrier  $h(t)$  qui maximise cette expression en tenant compte des contraintes biologiques.



# Le profit contre les baleines

On montre que deux cas se présentent:

- Soit  $i$  n'est pas trop grand, auquel cas il est optimal de maintenir la population au niveau  $x_1$  solution de l'équation

$$F'(x) - \frac{c}{p-c} F(x) = i$$

$$F(x) = rx \left(1 - \frac{x}{K}\right)$$

- Soit  $i$  est grand, auquel cas il est optimal de tuer toutes les baleines maintenant et de mettre l'argent à la banque.

# Exemple 3: les leçons des mathématiques

- Les **marchés financiers** commandent les marchés économiques et la survie des espèces vivantes (y compris la nôtre)
- On ne peut pas s'en remettre à eux pour préserver la planète: une **régulation** est nécessaire pour limiter leur emprise
- Il faut parfois passer par la **loi** (l'interdiction) plutôt que par l'incitation financière (subvention ou taxation)

# Erreurs à ne pas commettre

- Il y a une solution simple
  - On va continuer comme avant et on va trouver de nouvelles sources d'énergie
  - On va continuer comme avant et on va extraire le carbone de l'atmosphère et des océans

# Erreurs à ne pas commettre

- Il y a une solution simple
  - On va continuer comme avant et on va trouver de nouvelles sources d'énergie
  - On va continuer comme avant et on va extraire le carbone de l'atmosphère et des océans
- Les **problèmes complexes ont des solutions complexes**: il faut transformer tout le système

# Erreurs à ne pas commettre

- C'est un problème éthique !
- Nous sommes tous sur la même planète.

# Erreurs à ne pas commettre

- **Nous ne sommes pas tous sur la même planète!**
  - 10% des gens font 50% des émissions de GES
  - 50% des gens font 10% des émissions de GES
  - C'est vrai au sein des nations comme entre les nations
  - Il y a les émissions de luxe et les autres
- Ce n'est pas un problème éthique, mais un problème **politique**
- Toutes les luttes se rejoignent

# Fin

- <https://www.ceremade.dauphine.fr/~ekeland/>