

# REVISIONS TSE101

Ces notes ne doivent contenir que des éléments essentiels (mots-clés, schémas, chiffres)

## Critère système Terre

différentes sphères : atmosphère, biosphère, hydrosphère, cryosphère, lithosphère

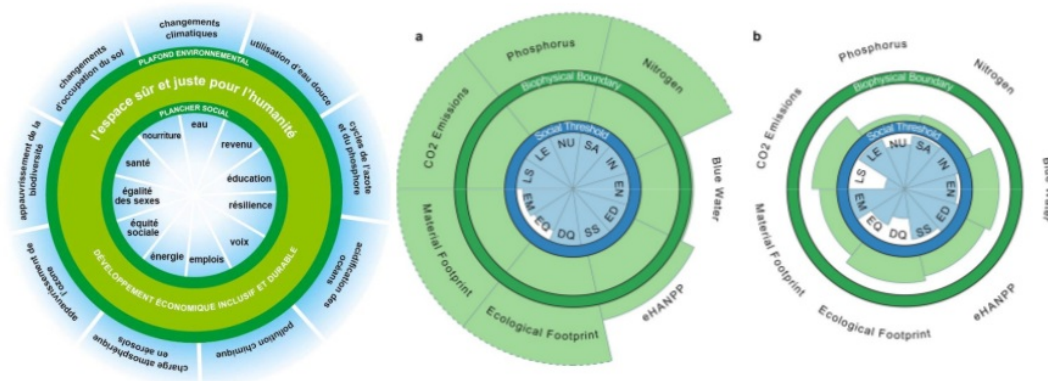
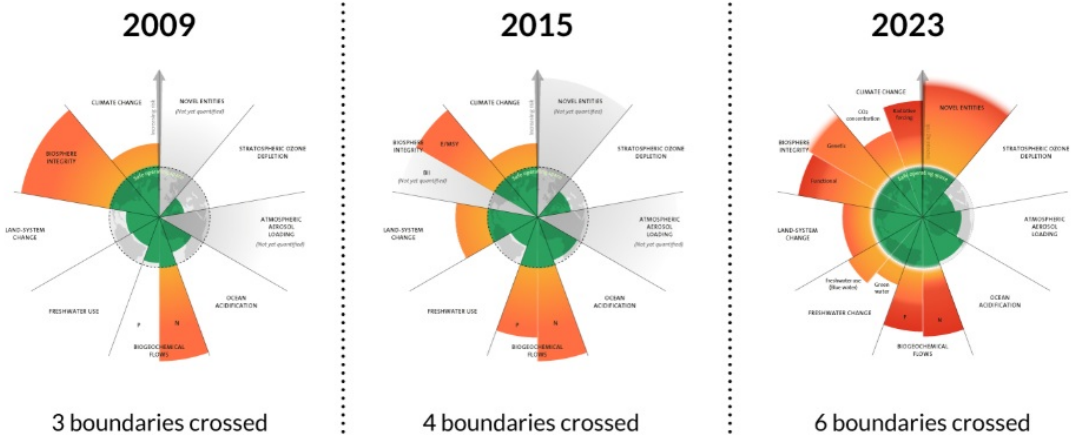


Objectifs Développement Durable -> adoptés en 2015

Phénomène	2009/2023	seuil	pré-indus.
Réchauffement planétaire (concentration CO <sub>2</sub> en ppm) (rayonnement radiatif W.m <sup>-2</sup> ) Basculement	380/415 1.5/2.9	350 1	280 0
Biosphère/biodiversité (extinction d'espèces en ppm/an) (production pris par l'Homme en %) Basculement	100 30	10 10	1 2
Cycles biochimiques (N: apport en Tg/an <sup>-1</sup> ) (P: rejet dans l'océan en Tg/an <sup>-1</sup> ) Basculement	190 18	60 6	0 0
Couche d'ozone (O <sub>3</sub> en Dobson=0.44mol/m <sup>2</sup> ) Basculement	283/285	275	275
	Protection aux ultra-violets		

Phénomène	2009/2023	seuil	pré-indus.
Acidification des océans (aragonite/CaCO <sub>2</sub> saturés en %) Basculement	2.9/2.8	2.8	3.44
Usage de l'eau douce (consommation en km <sup>3</sup> /an) Basculement	2600/4300	4000	415
Modification des usages des sols (forêts originelles en champs en %) Basculement	85/60	75	99
Aérosols atmosphériques (profondeur optique interhémisphère) Basculement	? /0.076	0.1	0.03
Pollution chimique (nouvelles entités non sécurisées) Basculement	? /> 1	0	0
		Santé	

Les limites planétaires :

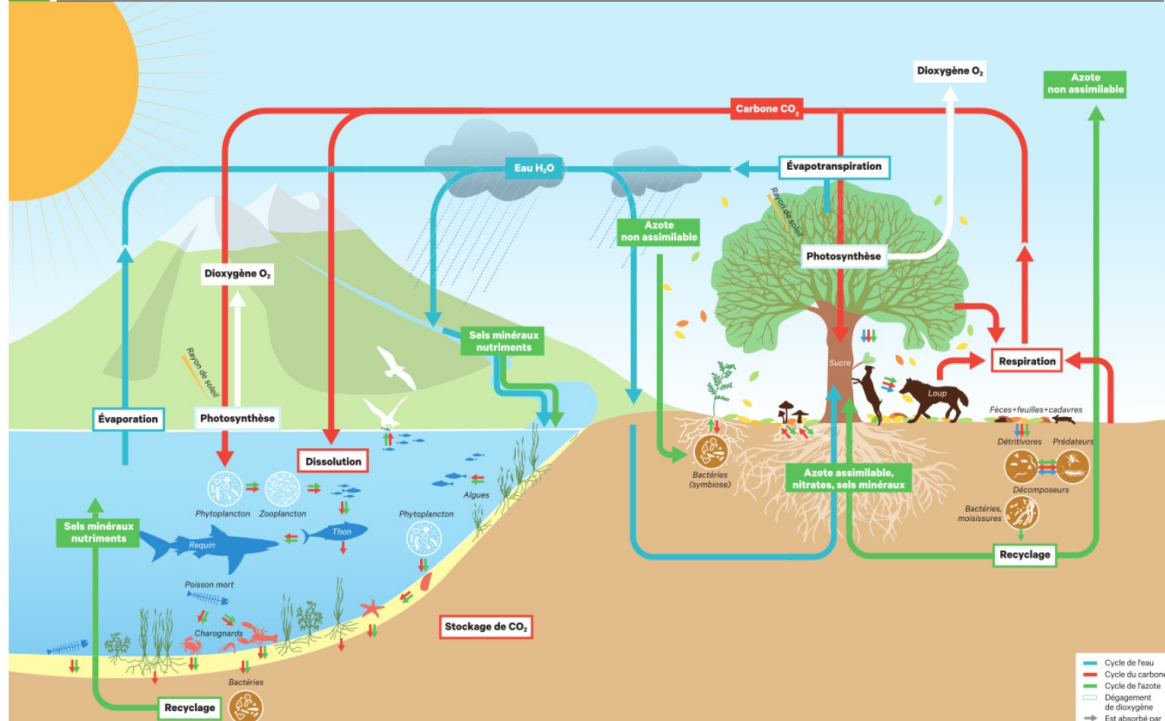


## ● Théorie du Donut

### ● Plancher social (11 ODDs) et plafond environnemental (9)

Un système complexe : unités interconnectées, pas d'autorité centrale, compliqué à toutes les échelles, structure évolutive, fonctions mal établies, propriétés émergentes -> la Terre est un système complexe : beaucoup de sous-systèmes/cycles en interaction et chaque sous-système est complexe

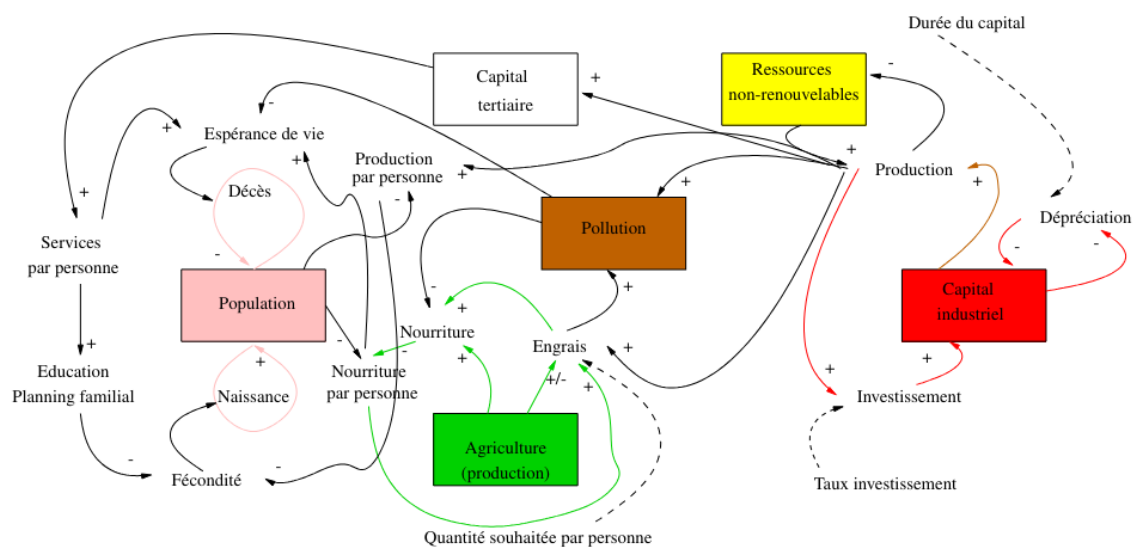
Un modèle très simple de climat : GIEC/AR5



Crise de l'azote et crise politique : en hollande(grosse exportations de produits agricoles et viande de porc), les quantités dépassent les seuils -> nouvelle politique de réduction drastique(baisse totale des rejets de 50%, arrêt de toute construction, 20% d'arrêts et 32% de diminution ou passage au bio d'exploitations); création d'un nouveau parti politique(BBB)

Modèle Wordl 3(en simple)

Cinq grands boîtiers: agriculture, capital (industriel/tertiaire), pollution, population, ressources non-renouvelables

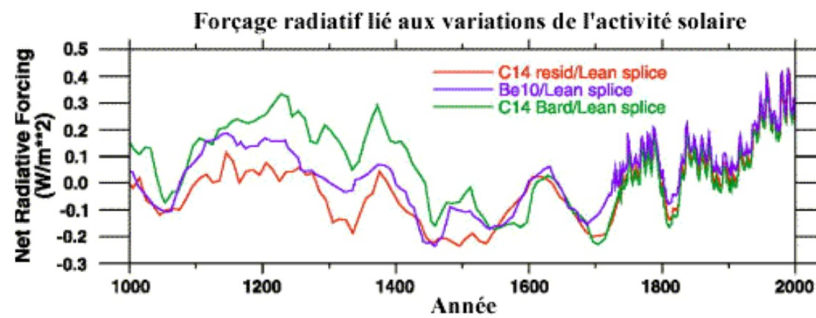


## Energies du système-Terre

albedo : ~30%

variation de l'axe de la Terre tous les 20 000 ans -> impact sur les saisons

Insolation: quantité d'énergie reçue au sommet de l'atmosphère



environ  $\pm 0,3 \text{ W/m}^2$

- Petit âge glaciaire (1350-1850)
- Minimum de Maunder (1645-1715)
- Optimum médiéval (800-1300)

Chaleur interne à la Terre  $\sim 1 \text{ W/m}^2$

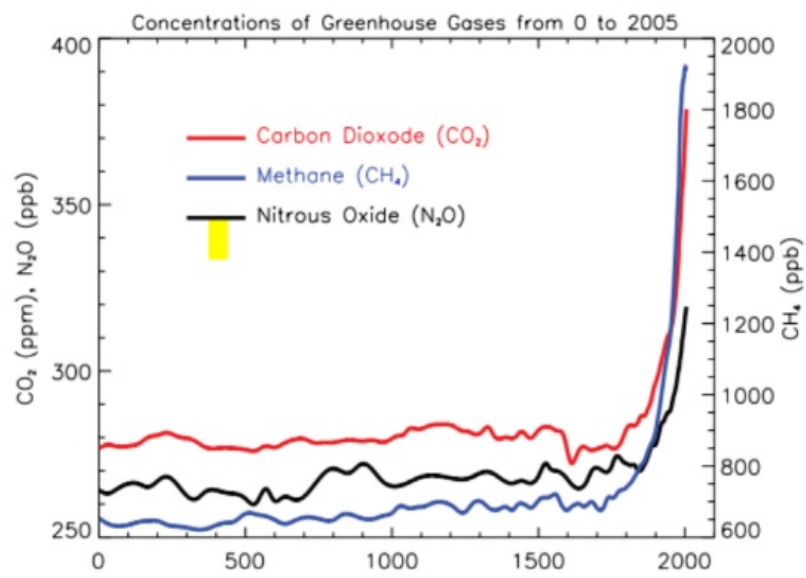
Sans effet de serre, équilibre radiatif au sol :  $-18^\circ\text{C}$

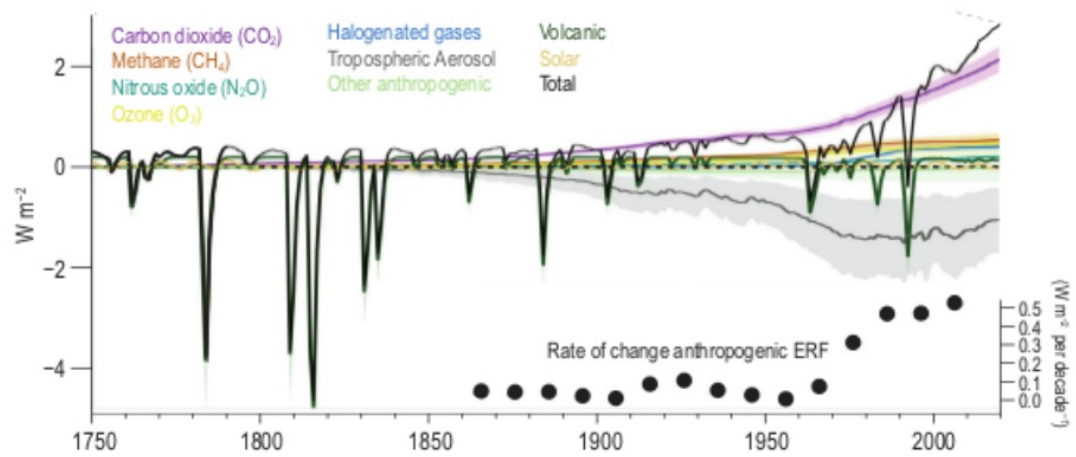
En italique, les gaz à effet de serre (GES)/ *GreenHouse Gas (GHG)*

Gaz	Molécule	%
Diazote	$\text{N}_2$	78
Dioxygène	$\text{O}_2$	21
<i>Vapeur d'eau</i>	$\text{H}_2\text{O}$	0 à 4
<i>Dioxyde de carbone</i>	$\text{CO}_2$	0,0420000
<i>Méthane</i>	$\text{CH}_4$	0,0001745
<i>Protoxyde d'azote</i>	$\text{N}_2\text{O}$	0,0000300
<i>Ozone</i>	$\text{O}_3$	0,0000040

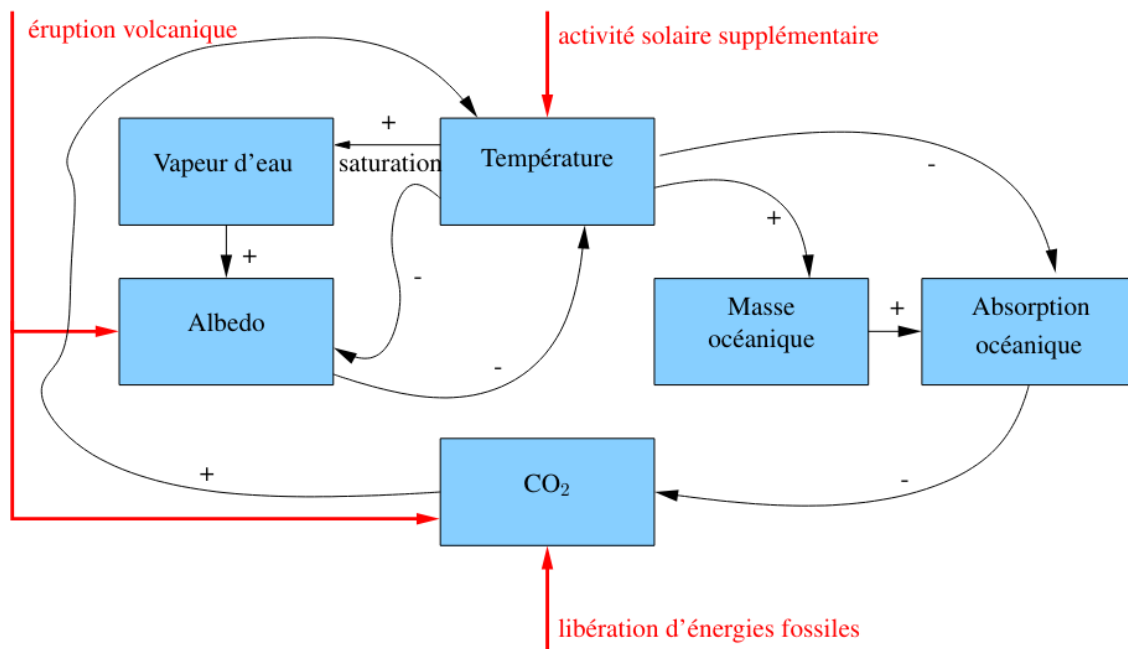
Durée de vie :  $\text{CO}_2 \rightarrow 50\sim 200$  ans ;  $\text{CH}_4 \rightarrow 10$ ans;  $\text{N}_2\text{O} 6\sim 120$  ans

- $\text{CO}_2$  n'est pas l'unique problème
- car progression des deux autres aussi





boucle de rétroaction



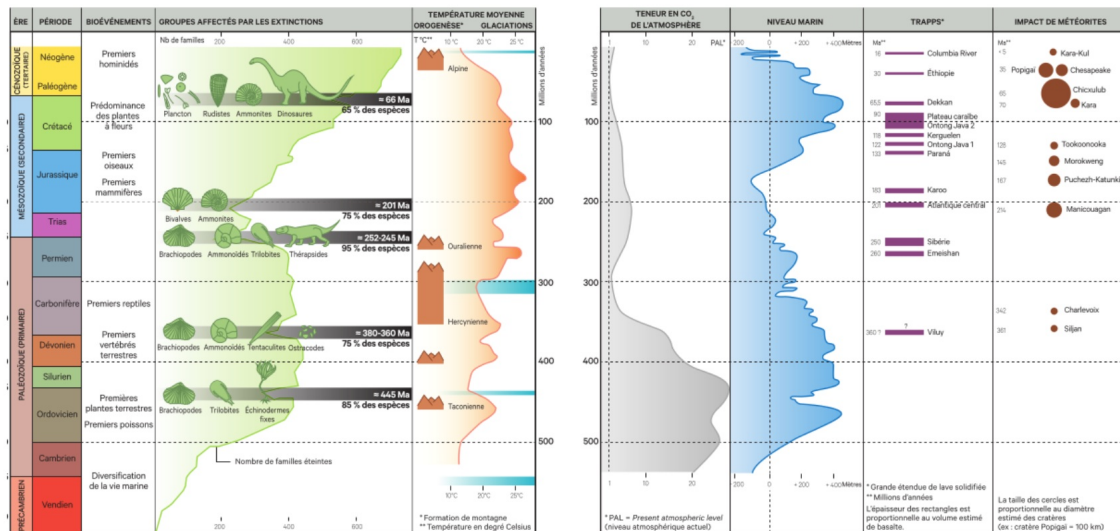
## Paléoclimat

Rayonnement du soleil : puissance du soleil ( $10^9$  ans) : +9% dans 1 milliard d'années

Pour mesurer les évolutions de climats, on s'intéresse aux "archives" (ex : fossiles, sédiments) ->

Paléothermomètre et gazomètre





## Climat futur

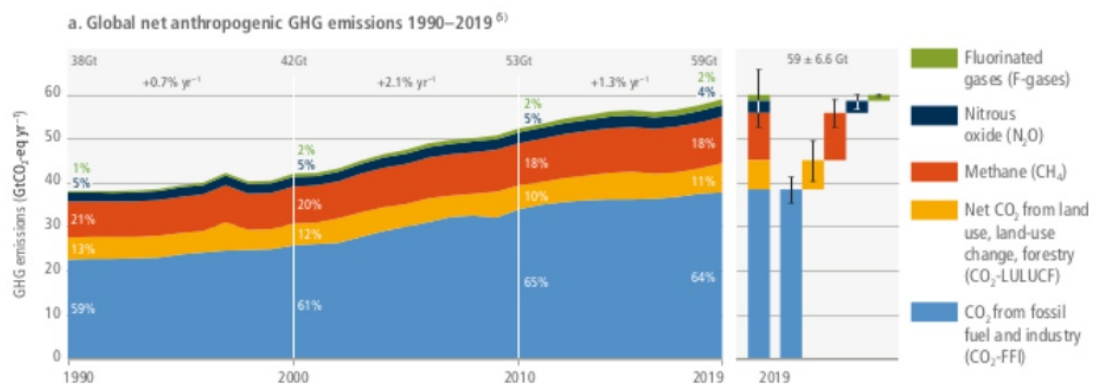
Alertes scientifiques : 1979 (rapport J charney), 1988 (Article C Genthon), 1988 (Audition J Hansen), quelques remarques grand public de 1959

Puis les politiques commencent à s'intéresser au pb

Parallèle : la couche d'ozone(1974 premier article, 1979 première mesure de confirmation d'un trou, 1988 article cloturant le débat)

COP = Conférence of Parties depuis 1995 à Berlin

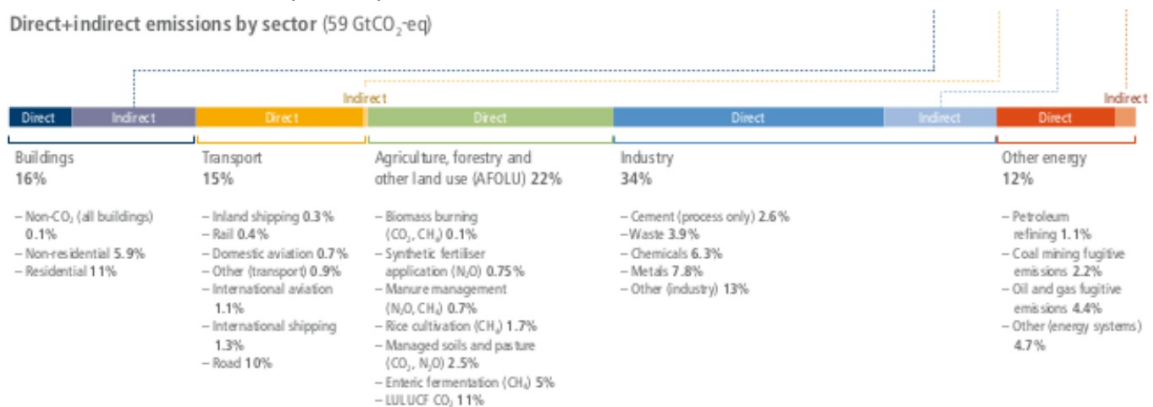
AR(GIEC0)= Assesment Report

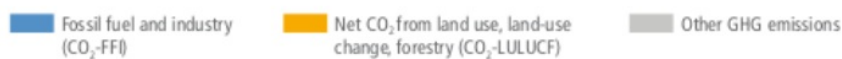


60Gt/an dont 40Gt de Co2 direct, hausse de 50% en 30ans

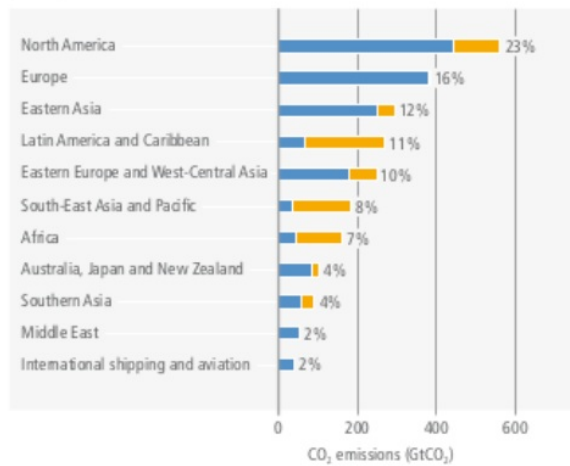
33% du au charbon idem pour le pétrole

Direct+indirect emissions by sector (59 GtCO<sub>2</sub>-eq)

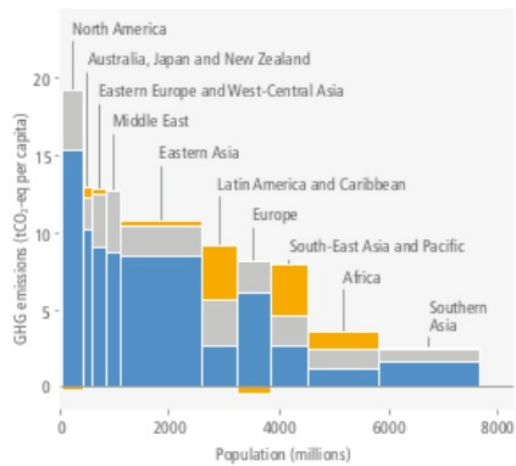




(a) Historical cumulative net anthropogenic CO<sub>2</sub> emissions per region (1850–2019)



(b) Net anthropogenic GHG emissions per capita and for total population, per region (2019)



Pays occidentaux : 40% en stock

Empreinte carbone par individus en france/an : 9.6tCO<sub>2</sub>

dans le monde : 6.6tCO<sub>2</sub>

CO<sub>2</sub> injecté depuis 1850 : 2550GtAR(1990) : 1000Gt

now par an : 42Gt

SSP	<i>T</i> en 2100	Total restant	Zero émission	Total en 2040	Concentration en 2100
1-1.9	1,5°C	233Gt	5 ans	2800Gt	400ppm
1-2.6	2°C	980Gt	23 ans	3100Gt	450ppm
2-4.5	3°C	x	x	3300Gt	600ppm
3-7.0	4°C	x	x	3500Gt	850ppm
5-8.5	> 4°C	x	x	3600Gt	1100ppm

Zone de stockage de CO<sub>2</sub> : aquifère salins profonds(400 à 10 000Gt) + anciens gisements d'hydrocarbures(6000 à 42 000 Gt)

hausse de température => plus de sécheresse/canicule/cyclones, moins de neige + pb de stockage de l'eau

## Energie et décarbonation

énergie : ce qui permet de modifier l'environnement

tep = Tonne Equivalent Petrole

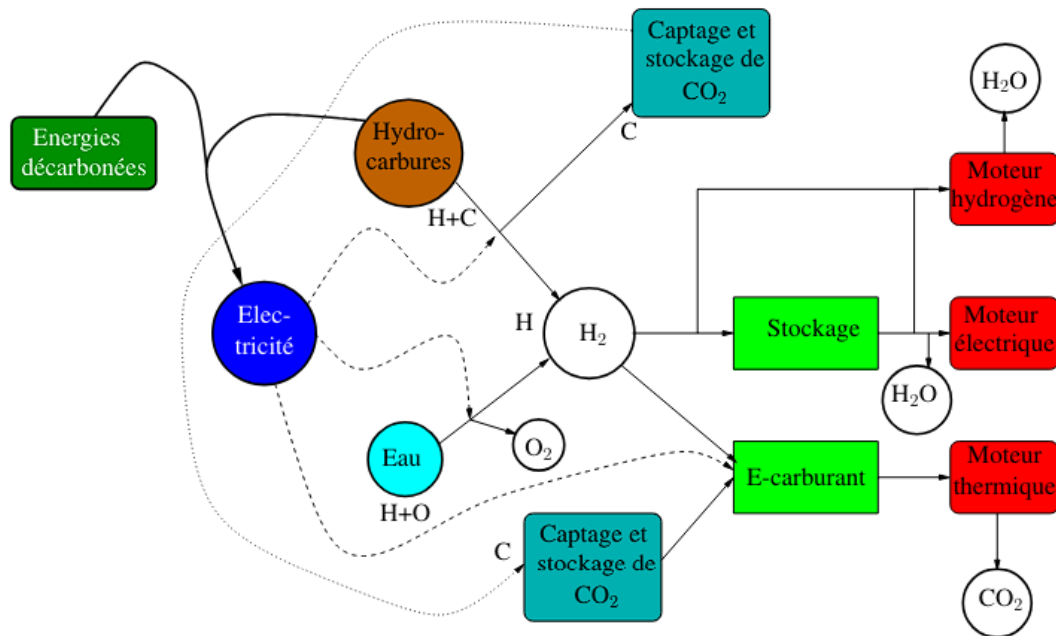
ODG :

- réacteur nucléaire: 1GW, 8.6TWh/an, 56 réacteurs : 486TWh/an
- un humain -> métabolisme : 2500kcal/j
- aspirateur : 2000 W
- tracteur 125kW

Production annuelle de 170.000TWh/14Gtep (mais 85.000TWh/7Gtep en 1979)

Intensité carbone en france : 81g Co<sub>2</sub>/kwh en 2017; 59g Co<sub>2</sub>/kwh en 2023

- Effet rebond : une technologie s'améliore donc est plus utilisée
- Effet de levier : une technologie permet à des secteurs de diminuer leur consommation énergétique



	Intensité carbone	Densité surfactive	Densité massique
Charbon	820	550	5
Pétrole	700	225	13
Gaz naturel	490	550	50
Biogaz	230	0,2	1
Solaire	27	11	
Eolien	12	2	
Hydraulique	12	13	
Nucléaire	12	1100	22e6 (U235)
	(gCO <sub>2</sub> /kWh)	(W/m <sup>2</sup> )	(kWh/kg <sup>-1</sup> )

En France, se mettre 100% à l'éolien impliquerait d'avoir des éoliennes sur 1% du territoire; pour le solaire 10 000 km<sup>2</sup>

A consommation et mix constant, les réserves sont de

- 2 siècles pour le charbon
- 35 années pour le pétrole, 50 années pour le gaz naturel
- 1 siècle pour l'uranium

Prospective: mix de 25% de hydro, solaire, éolien et nucléaire

- Consommation mondiale: 166PWh/an ou 19TW
- 4500 réacteurs nécessaires (actuellement 450)
- 160t d'uranium pour 8,7TWh (1GW) → 720kt/a → 7a
  - ↳ Uranium dans l'eau: pas exploitable actuellement
  - ↳ Thorium: réacteur expérimental en Chine
  - ↳ Sursurgénérateur: à l'arrêt en Etats-Unis et en France
  - ↳ Fusion (ITER): objectif au XXII<sup>e</sup> siècle



## Taux de conversion

- Primaire → Finale électrique  $\approx 2,3$  en France
- Finale électrique → Utile (propulsion)  $\approx 1,11$

- un baril de pétrole = 160 L

### ● France:

- ↪ 9tCO<sub>2</sub>e/hab en empreinte (11tCO<sub>2</sub>e/hab en 1990)
- ↪ 6,7tCO<sub>2</sub>e/hab en **émission** (9,4tCO<sub>2</sub>e/hab en 1990)

### ● Monde: 7,5CO<sub>2</sub>e/hab (émission = empreinte)

- objectif 2tCO<sub>2</sub>e/hab

SSP - : trajectoires socio-économiques partagées (GIEC)

: le forçage en W/m<sup>2</sup> en 2100

: numéro attribué par le GIEC en fonction des mesures politiques prises

- SSP1 : Durabilité (Prendre la route verte) = évolution croissante vers des pratiques durables
- SSP2 : Milieu de la route = Trajectoire actuelle sans déviations substantielles
- SSP3 : Rivalités régionales (Une route cahoteuse) = priorité à la sécurité et souveraineté régionale
- SSP4 : Inégalités (Une route divisée) = grandes inégalités au sein des pays et entre pays
- SSP5 : Développement alimenté par les combustibles fossiles (Prendre l'autoroute) = intensité énergétique forte basée sur les fossiles

investissements importants dans l'éducation et la santé,

croissance économique rapide, institutions stables = SSP1 et SSP5

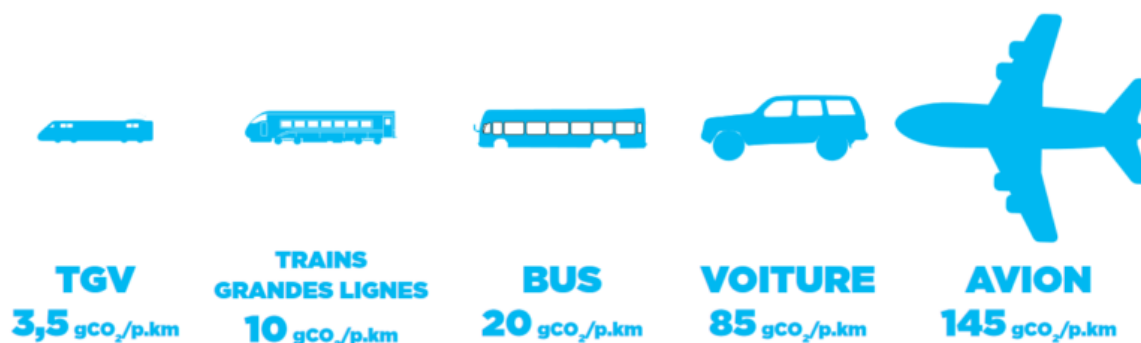
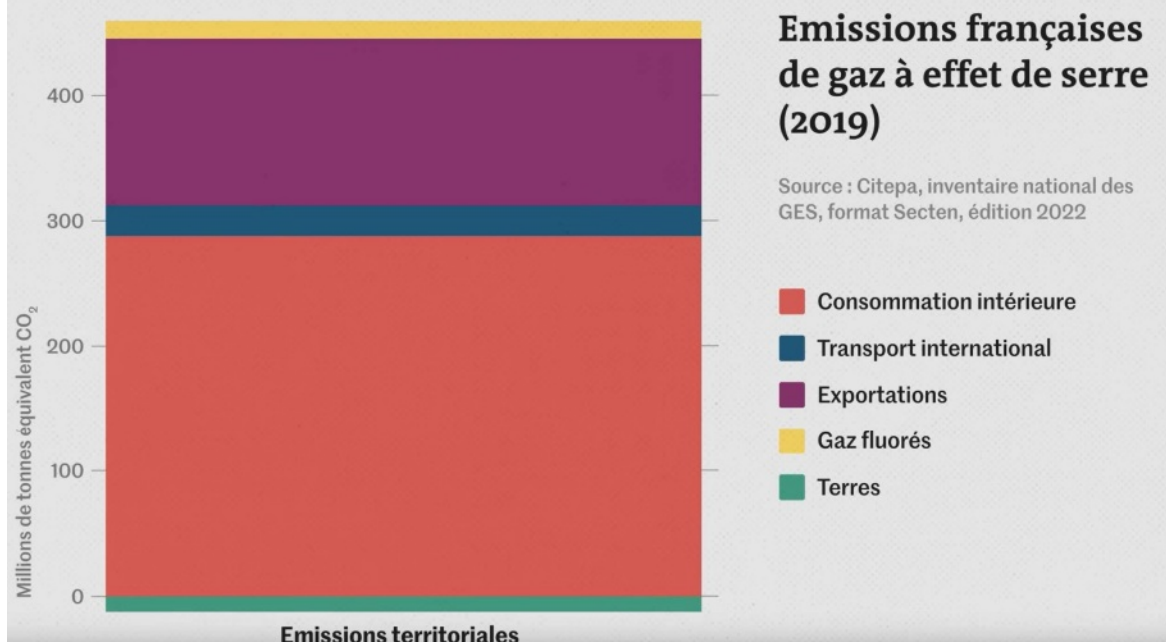
investissements faibles dans l'éducation ou la santé, croissance

économique atone, croissance démographique rapide = SSP2 et SSP4

On change rien = SSP2

: forçage radiatif attendu en 2100 (en W/m<sup>2</sup>). Le *forçage radiatif* est l'augmentation de la puissance solaire reçue par surface au sol, du fait d'interventions externes (par exemple, une augmentation des émissions de G.E.S.)

SSP2-4.5 -> le plus probable; SSP3-7.0 -> probable en 2050 mais pas au-delà; SSP5-8.5 -> probable début 2050, peu au delà



- Production mondiale annuelle d'électricité : 27 000 TWh

Consommation primaire France /an = 2 571 TWh

Emission énergétique : 700g CO<sub>2</sub>/ kWh (Intensité Carbone)

Pays extracteurs de Pétrole : Guyana, Canada, US, Brésil, Arabie Saoudite, Russie

Centrales électriques actuelle : rendement ~ 35% => 60% avec des centrales à cycle combiné

Transport : 25% des émissions (50% voitures)

agriculture : 14%

industrie : 21%

Prod d'énergie : 41%

## Le numérique

Téléphonie (France)

- 77% possèdent un smartphone, 18% un autre type de téléphone (personnes âgées de plus de 15 ans)
- 5% ne possèdent pas de téléphone portable !
- 94% des 15-21 ans ont un smartphone
- 84% des foyers possèdent un ordinateur
- 56% des foyers ont une télévision connectée

Téléphonie (Monde)

- 67% (tous âges) possèdent un téléphone mobile
- +2% en 1 an (hausse population: 1.1%)

Le nombre mensuel d'utilisateur actifs sur whatsapp augment en ligne droite et pour les sms c'en est pas loin -> pas de remplacement mais cumulation  
 roissance exponentielle du stockage de données

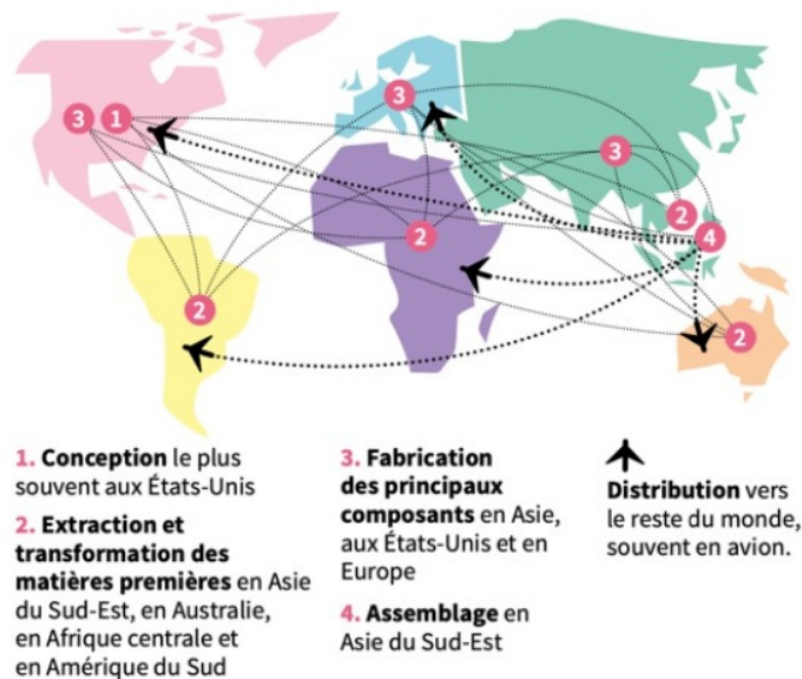
Numérique : ~4% des émissions mondiales et ~8% de croissance annuelle

1 data center : ~400TWh(= le nucléaire français ou 2% de l'électricité mondiale)

PUE (Power Usage Effectiveness) proche de 1.1 maintenant

Métaux rares dans les téléphones et ordi presque impossible à récupérer (analogie : le sel dans le pain <3>-> enjeux géopolitiques aussi car limités et monopoles sur les sources

## Le transport dans le processus de fabrication d'un téléphone portable car 4 fois le tour du monde



Etude d'Apple en 2019 sur les portables MacBook 16 pouces stockage 521 Go, fréquence 2,6 GHz. La phase d'utilisation en première main est considérée à 4 ans. l'empreinte carbone est de 394 kgCO<sub>2</sub>eq

- la fabrication constituant alors 75%
- le transport 5%
- l'utilisation 19%
- la fin de vie le 1% restant.

Il faudrait utiliser cet ordinateur 4 fois plus longtemps pour que la part de l'utilisation soit du même ordre que la fabrication.

### Solutions pour/par le numérique :

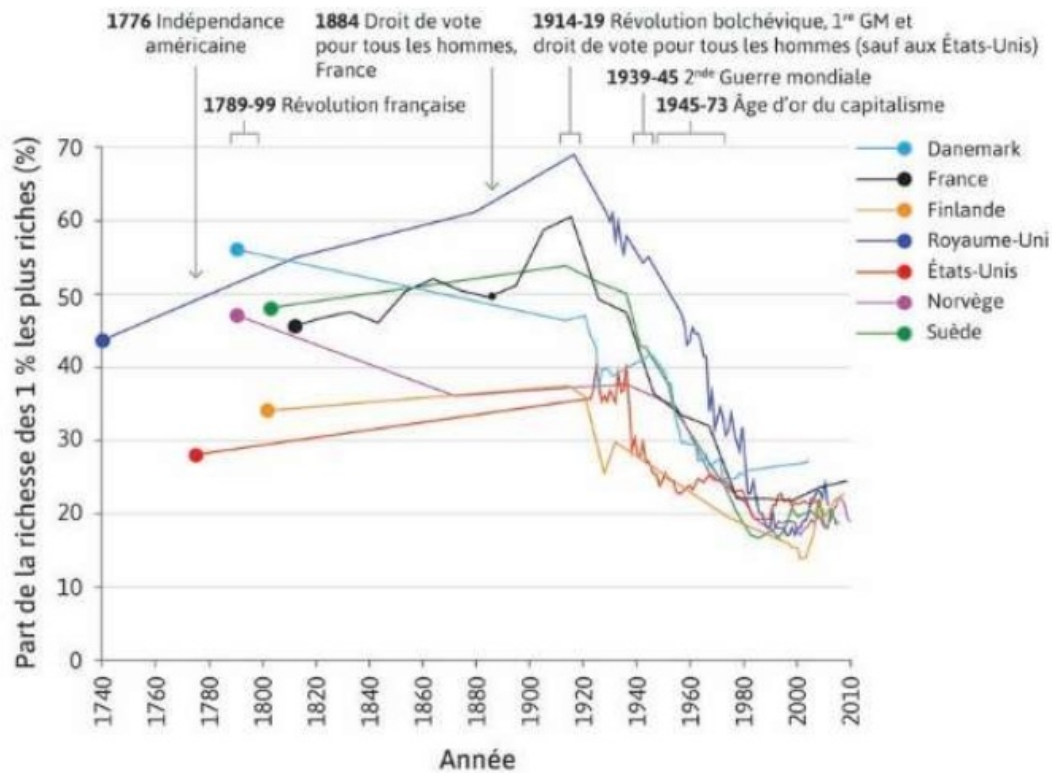
- GreenIT (terme générique : moins d'énergie consommée par unité produite) mais effet rebond
- ITforGreen
- Sobriété

OpenAI: facture électrique de 700k\$ par an ⇔ 120MW

## Activités économiques et crises écologiques

On peut mesurer le PIB de 3 façons différentes mais équivalentes :

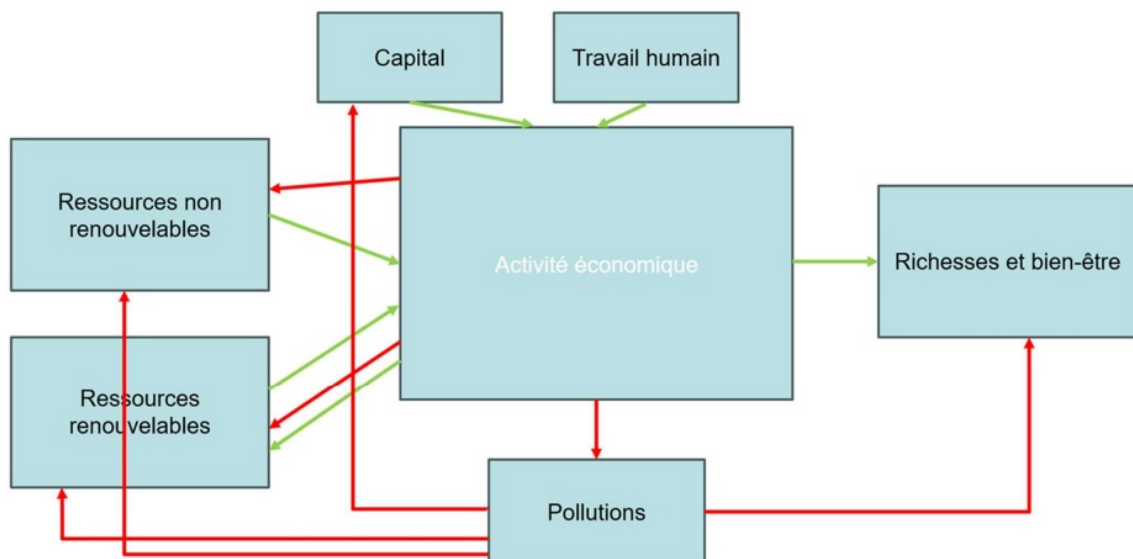
- Du point de vue de la consommation : valeur en euros des B&S finaux.
- Du point de vue de la production : la somme des valeurs ajoutées.
- Du point de vue des revenus : la somme des revenus distribués.



## Part du patrimoine total possédée par le percentile le plus riche

croissance économique mondiale : 2,7%

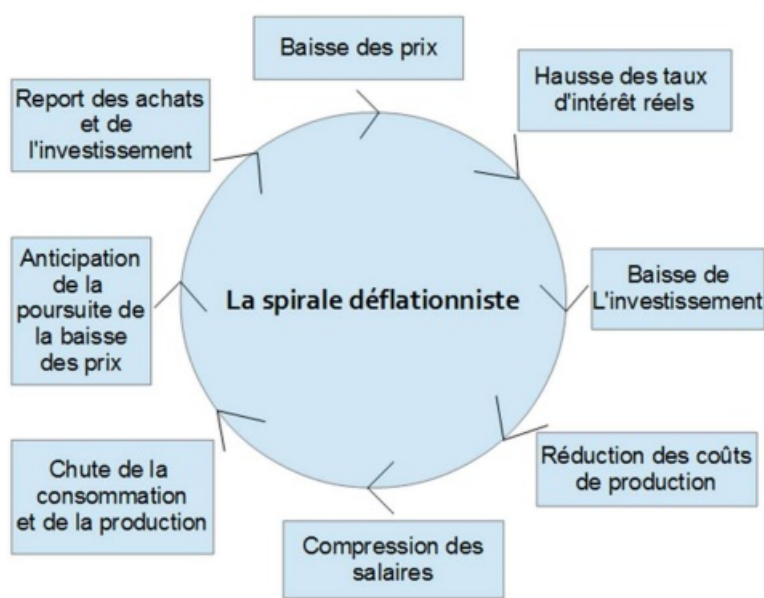
Pourquoi la croissance génère des problèmes environnementaux :



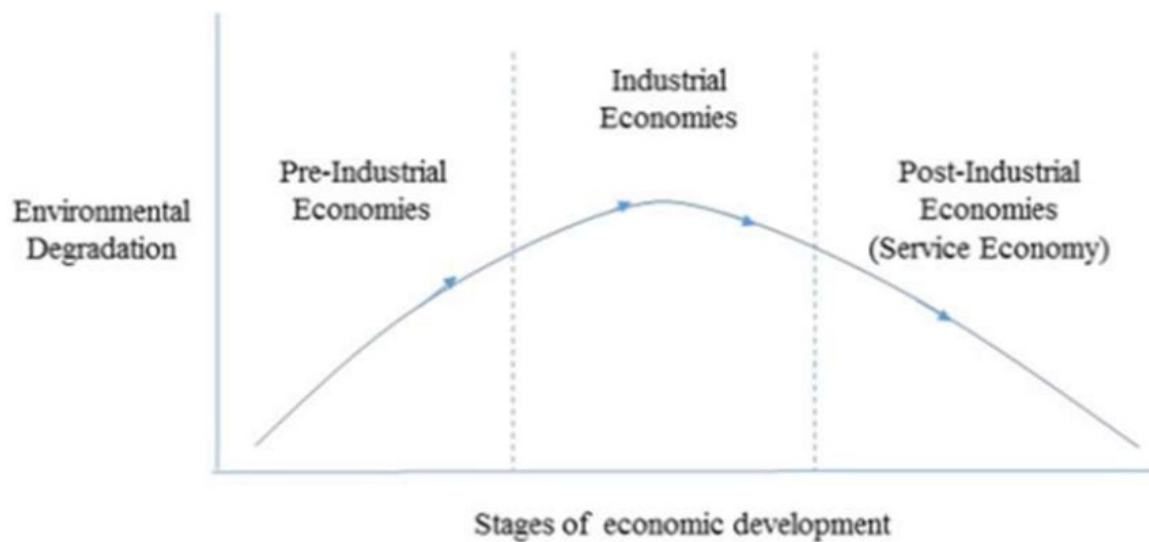
INSEE : 18,5% de la

population Française habite à la campagne et 2,6%

Pourquoi on cherche la croissance à tout prix : la spirale déflationniste



Courbe environnementale de Kuznets :

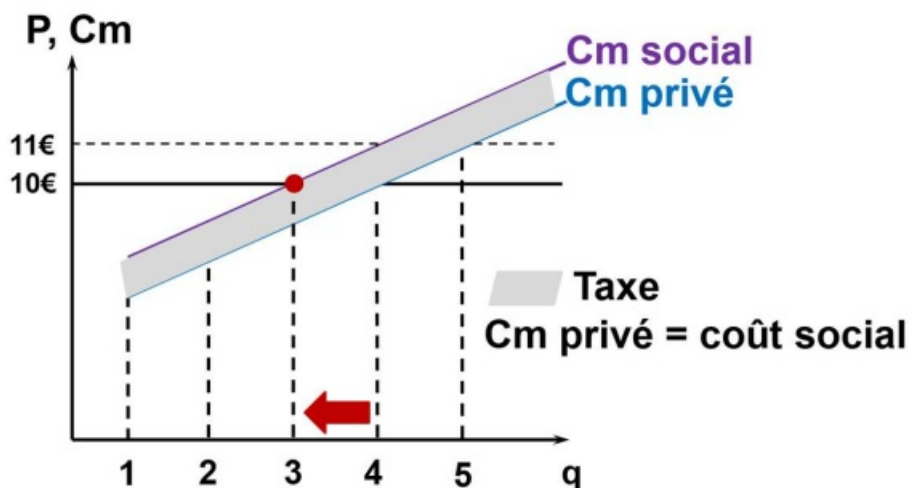


Il serait nécessaire de polluer au début puis on pourrait découpler (découplage relatif/absolu)

Effet rebond : ex. masse moyenne voitures +450kg depuis 1986

leviers : appel financier, quotas, marchés des droits à polluer, augmenter la dépense publique pour financer la transition

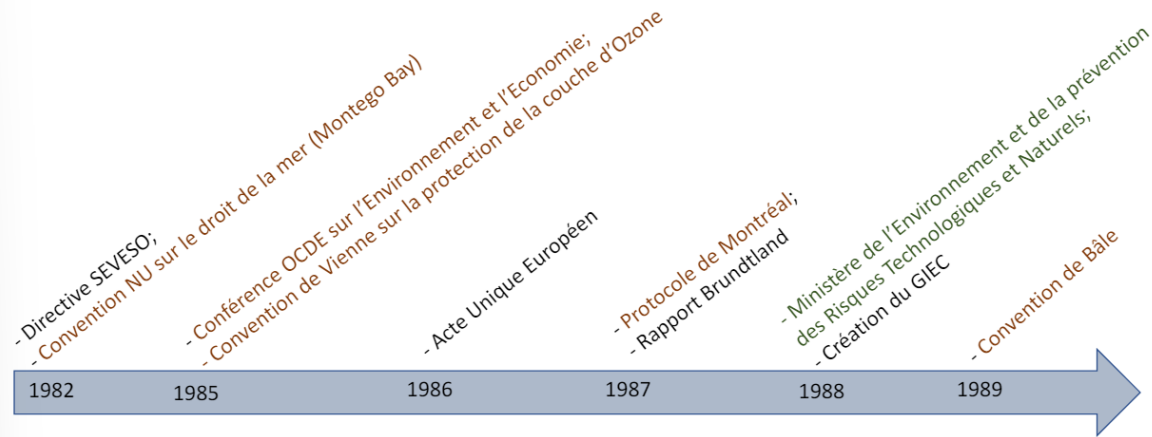
Taxation : idéal d'un "double dividende" ( $C_m$  = coût marginal)



Socio-histoire de la question environnementale



# Les années 1980 : haute pression écologique et formalisation de la politique environnementale (II)



Evènements marquants de l'institutionnalisation de l'environnement dans les années '80

Evolution de l'opinion publique -> production de politiques publiques

Grandes étapes du processus d'*institutionnalisation de l'environnement* :

- préhistoire de la question environnementale (avant les années 60)
- construction de la question écologique à partir des années 60 ; en France, création du Ministère de l'Environnement en 1971
- pas de grande nouveauté depuis la fin des années 90

contrainte du consensus : facteur d'inertie

Seveso -> 1976: Explosion d'un réacteur de l'usine chimique Icmesa, 700 personnes évacuées, 2000 traitées par empoisonnement, évènement symbolique -> 1982: Directive européenne Seveso - prévention des accidents dans les installations industrielles

Facteurs de l'institutionnalisation de l'environnement :

- l'alerte des scientifiques : Rachel Carlson, *Silent Spring*
- la mobilisation d'associations : Greenpeace, WWF...
- les situations de crise : Tchernobyl (1986), explosion AZF (Toulouse, 2001)
- les médias : polarisateurs et amplificateurs

Historiquement : superposition des énergies, pas de remplacement

Protocole Kyoto (1997) – limitation des rejets de gaz à effet de serre -> 8%, 2008-2012, par rapport à 1990

COP 28 : Dubaï (2023): définir les moyens pour maintenir le réchauffement climatique en deçà de 1,5 °C

## Théories de la transition

Les 5 cadres de la transition :

- transition socio-technique : innovation
- transition écologique : Climat
- transition énergétique : vers durable
- transition juste : équité
- transition économique

Accord de Kyoto : -5% par rapport à 1990 (en 2012) -> rempli

Planification en France pour respecter les accords de Paris : neutralité carbone d'ici 2050

En France, changement climatique : 46% des gens sont convaincus, 8% sceptiques, 46% hésitants

Aux US : 37% care 'a great deal', 35% care 'some', 27% 'not too much/not at all'

COP21 : but  $<2^{\circ}$  ou même  $<1.5^{\circ}$

COP28 : 11 000 GW d'énergies renouvelables en 2030

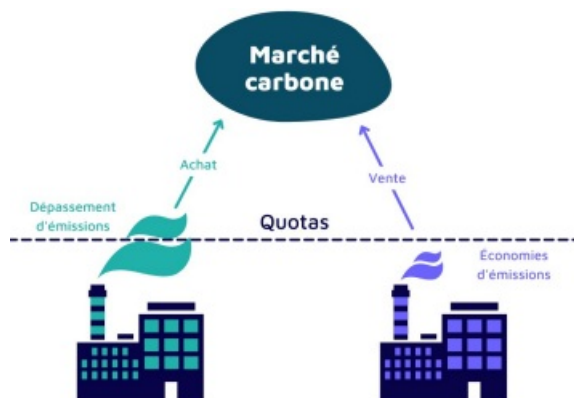
## Différentes stratégies de transition

- accords de Paris :
  - -40% émissions CO2 d'ici 2030
  - $+2^{\circ}\text{C}$  max ( $+1.5^{\circ}\text{C}$  à terme)
  - Coopération internationale

### 1. Technosolutionnisme (Business as Usual)

### 2. Capitalisme vert (Green New Deal)

- donner un coût au CO2
- risque d'inciter à l'inaction
- marché carbone européen : couvre 36% des émissions de l'UE



- évolution prix du carbone : 90 euros/t aujourd'hui, contre 5 euros/t en 2014
- dans le monde : 55% des émissions de GES

### 3. Green New Deal

- intervention forte (et investissement) de l'état
- plan Biden : 2000 milliards \$
- Green Deal européen : 800 milliards €, -55%GES en 2030
- risque : "tunnel du carbone"

### 4. La décroissance

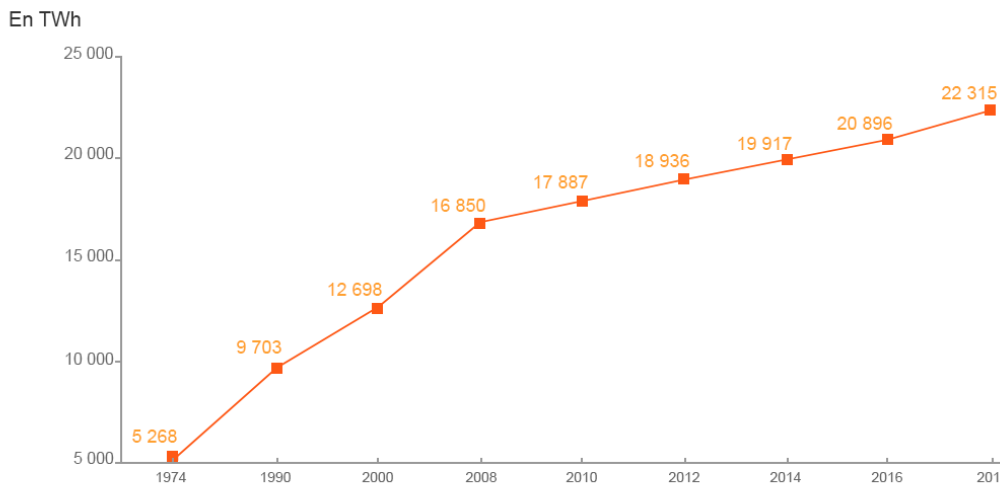
- réfléchir aux "vrais" besoins
- difficultés : comment se mettre d'accord démocratiquement sur ce qui est important ?
- "low tech"
- limites : "low" en quoi ? Energie, matériaux... ?

### 5. L'effondrement ("catastrophisme positif" de Pablo Servigne)

## Consommation

- La marge d'action des individus sur leur empreinte carbone est réduite (10% environ) et contrainte par les choix collectifs
- bio en France : 2,8 Mha = 10,7% des terres cultivées = 14% des fermes
- Trois composantes d'une pratique sociale :
  - Représentations
  - Routines:
  - Infrastructure:

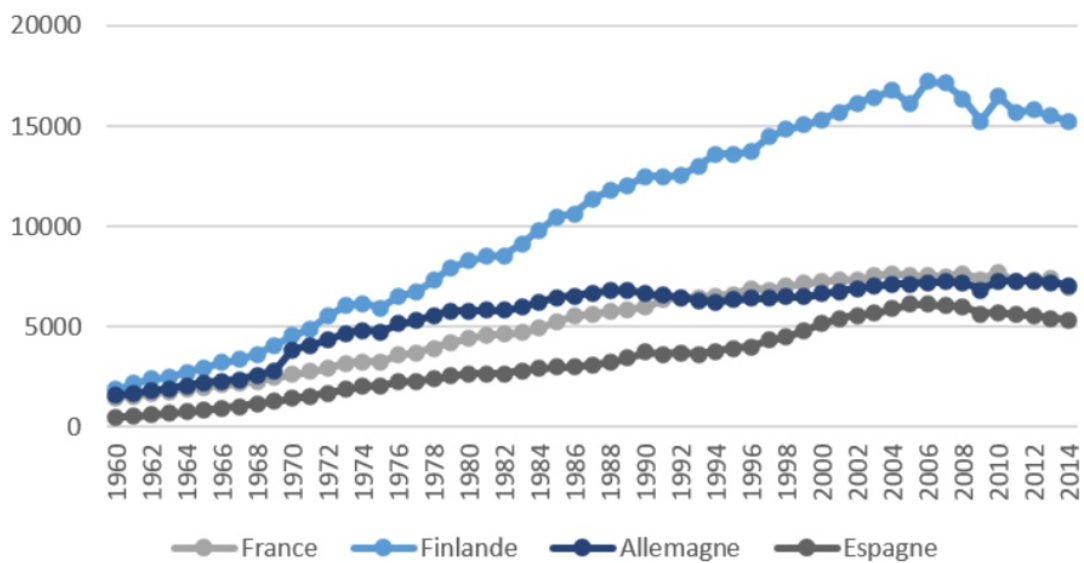
- RSE : Responsabilité Sociale de l'Entreprise



### Évolution de la consommation électrique finale dans le monde entre 1974 et 2018

Source IEA - Electricity Information 2020

© EDF



en kWh/pers

## Comment les entreprises peuvent-elles s'emparer des questions écologiques ?

- en 2023 : baisse de 5,8% des émissions en France
- RSE : Responsabilité Sociale de l'Entreprise : éthique (par conviction), stratégique (pour toucher des nouveaux marchés), institutionnelle (contraintes légales et culturelles)
- entreprises à mission
- mais : signale qu'une entreprise ne maximise pas ses bénéfices ; proba d'être ciblé par un fonds spéculatif x2