

III - LE CHANGEMENT CLIMATIQUE 1/2



Chapitre 14 - Changement climatique : qu'est-ce que l'effet de serre ?

▶ https://youtu.be/lwObeoNwB_E

Chapitre 15 - Les émissions humaines de Gaz à Effet de Serre

▶ <https://youtu.be/-JdmkofSYsQ>

Chapitre 16 - Mesurer l'émission de GES

▶ https://youtu.be/4SFaD_-RBr4

Chapitre 17 - Poids respectif des différents GES

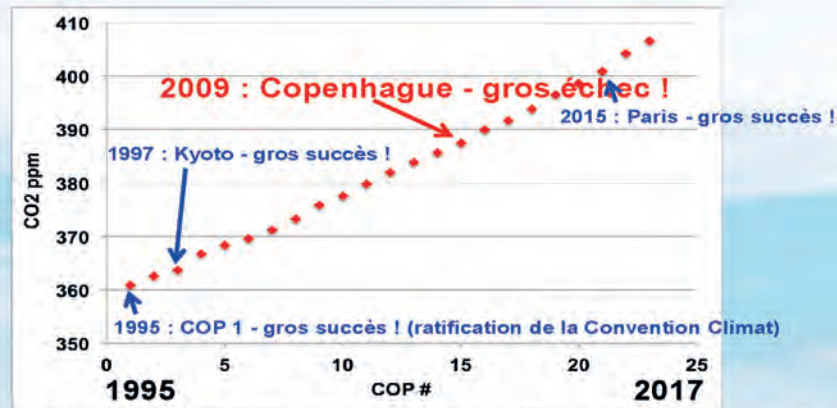
▶ <https://youtu.be/Za54qHtZujM>

Chapitre 14 - Changement climatique : qu'est-ce que l'effet de serre ?

Nous avons un problème de climat ? Meuh non, c'est réglé !



Tu causes, tu causes...



Concentration atmosphérique en CO₂ mesurée à chaque Conférence des Parties. Jancovici, d'après données NOAA ESRL.

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

Accords de Paris décembre 2015

- accords non contraignants des Etats pour limiter la hausse des températures au XXIe à moins de 2°
- 21e Convention Climat depuis 1995 : aucun infléchissement dans la concentration de CO₂ dans l'atmosphère constaté, la concentration augmente parallèlement au "bruit" médiatique sur la question

Attention : le climat, ce n'est pas la météo !

Avec nos sens, nous ne percevons que **la météo**. La météo, c'est le temps qu'il fait « tout de suite et devant ma porte ». Elle concerne des valeurs **instantanées** et **locales** de la température, des précipitations, de la pression, de la nébulosité, etc.

Par contre, le climat désigne des conditions **moyennes** de température ou de précipitations, et leurs variations les plus régulières (saisons par ex.), sur une zone plus ou moins vaste.

La confusion est possible parce que le **climat** utilise les **mêmes grandeurs** que la météo : température, précipitations, vent, nébulosité, etc.

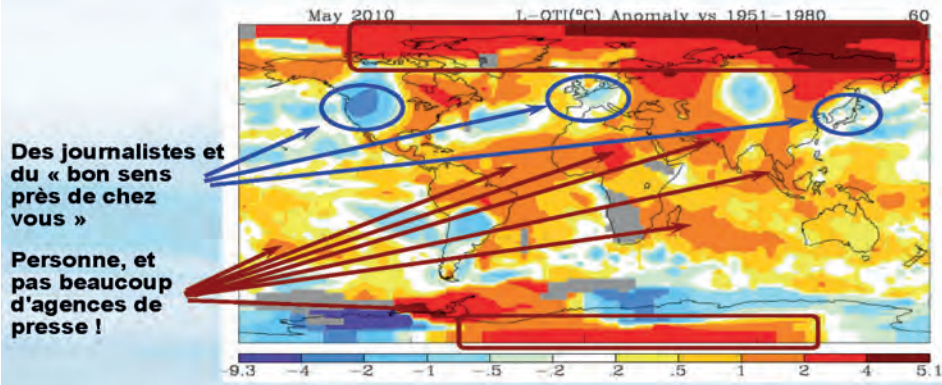
Le climat change (et a toujours changé), mais pas aussi vite que la météo !

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

Confusion commune

- météo, immédiatement perceptible immédiatement par les sens (construit avec des valeurs instantanées)
- climat, non perceptible directement, construit / décrit avec des moyennes spatiales et / ou temporelles

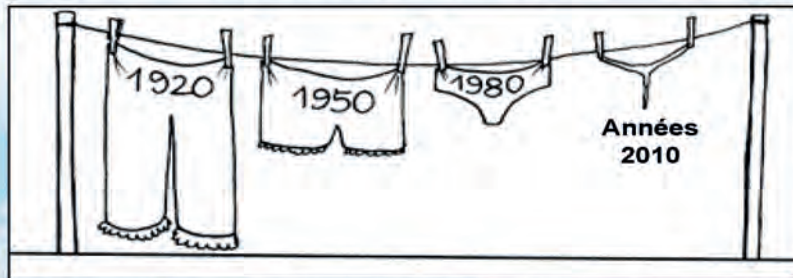
Aglagla... et le climat se réchauffe ?



Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

Une série exacte peut être mal interprétée...

Il est évident qu'Allègre néglige des données d'observation irréfutables



Effet du relèvement des températures l'habillement depuis 1920
Source : Petit Bateau ; Playtex ; Aubade ; Princesse Tam Tam
Vivement 2020 ?

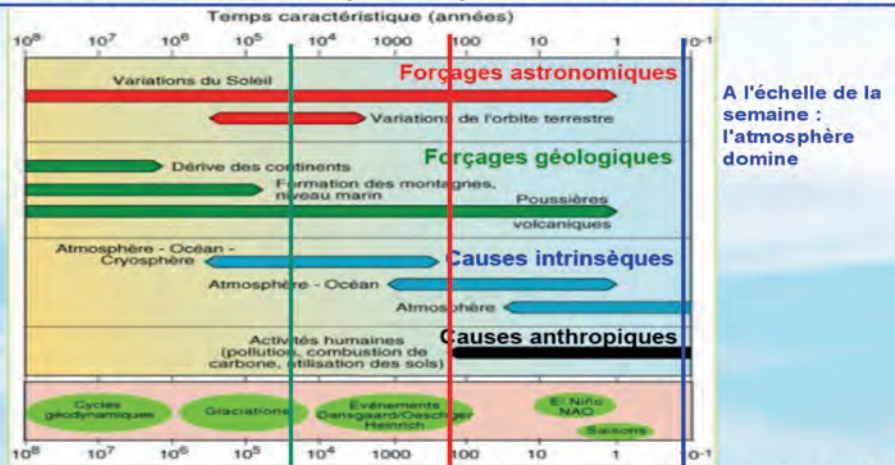
-> Attention aux vues partielles et aux corrélations transformées en lien de cause à effet !

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

Défauts de raisonnement :

- raisonnements qui transforment une corrélation en un lien de cause à effets
- vue partielle d'une série exacte peut déboucher sur une mauvaise interprétation

Que des hommes pour tripoter le climat ? Allons donc...



Causes diverses d'influence sur le climat et échelles de temps caractéristiques. Edouard Bard, exposé au Collège de France.

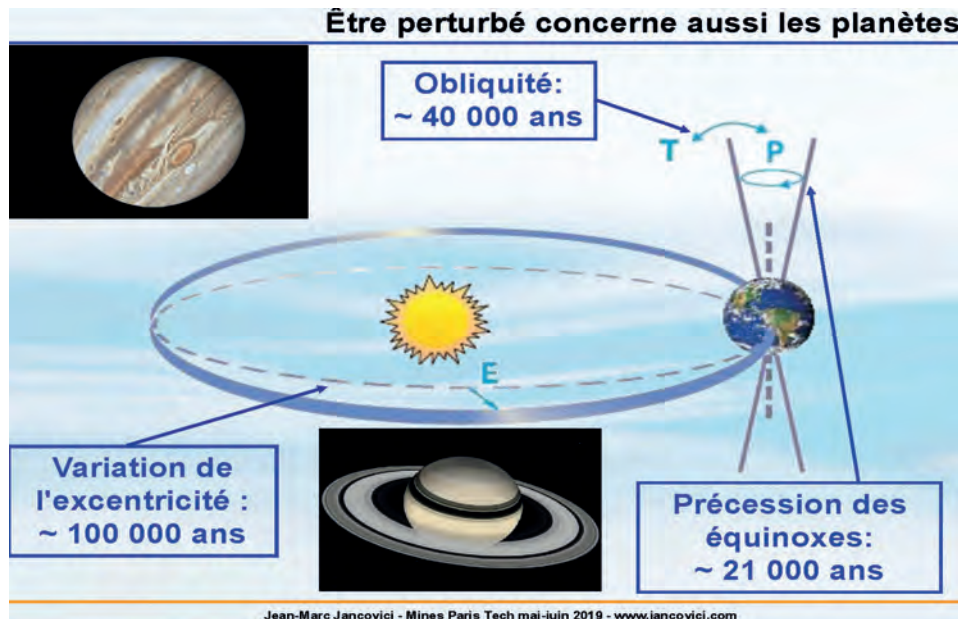
Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

Ne pas oublier la donnée temporelle / la variable échelle de temps

- le climat n'a jamais été stable à l'échelle des temps géologiques
- au sein d'une même ère géologique, les derniers millions d'années de l'ère quaternaire par exemple, on constate de grandes oscillations climatiques (succession de phases de glaciations & de réchauffements)

Les causes d'influence sur le climat sont diverses et agissent à des échelles de temps différentes

(source : Edouard Bard, Collège de France, <https://www.college-de-france.fr/site/edouard-bard/symposi-um-2009-05-15-09h45.htm>) :



- échelle 10 000 / 100 000 ans :

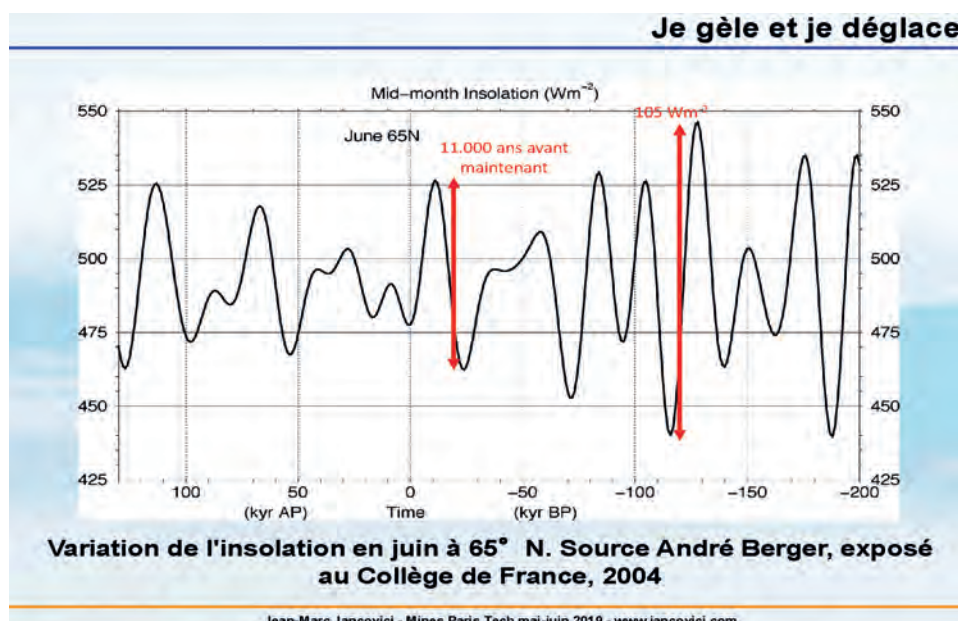
--- forçages astronomiques : le système solaire fait varier le climat de la terre

----> l'attraction des divers astres modifie l'excentricité de l'ellipse terrestre autour du soleil (100 000 ans)

----> l'obliquité de la terre se modifie (orientation qui détermine la présence des saisons et leur intensité ... plus l'axe est incliné plus les saisons sont prononcées / plus l'axe est redressé plus l'été est froid et moins la glace des pôles fond, entrée progressive en glaciation) 40 000 ans

----> l'axe de la rotation de la terre varie chauffant alternativement (21000 ans) une hémisphère plutôt qu'une autre

--- + forçages géologiques (dérive des continents, formation des reliefs et niveaux marins). Exemple : installation de la calotte antarctique sur la pôle sud il y a 20 millions d'années a créé une surface réfléchissante et provoqué la chute des températures de plusieurs degrés



- échelle du siècle ou millénaire : océans, circulation des fluides peuvent changer le climat sur une période de temps d'1 siècle à 1 millénaire. C'est le compartiment qui pilote le changement climatique à l'échelle du siècle.

- échelle de la semaine (météo) : l'atmosphère

Cause anthropique s'est ajoutée : la civilisation humaine est devenue un agent climatique



Effet de serre :

- matières réfléchissantes sur terre : glace + déserts : évacue 1/3 de l'énergie solaire qui touche la planète
- 2/3 non réfléchis, donc absorbés par le sol (dont 2/3 d'eau), qui cherche à se mettre à l'équilibre énergétique, via 3 processus :
 - > par contact avec l'air, restitution d'une part de l'énergie qui chauffe l'air en contact direct avec le sol
 - > par évaporation, restitution de la chaleur dans l'atmosphère
 - > par rayonnement de l'infrarouge ("infrarouge lointain", longueurs d'onde spécifique) qui "rebondit" sur la couche atmosphérique

L'atmosphère laisse presque tout passer sauf

- à l'aller les ultra-violets du soleil (bloqués par l'ozone situé dans la stratosphère)
- au retour, les infrarouges lointains ré-émis par le sol qui butent sur l'atmosphère,
 - > l'atmosphère absorbe alors l'énergie de ces infrarouges
 - > pour se mettre à l'équilibre, l'atmosphère rayonne à nouveau l'infrarouge dont 1 partie en direction du sol
 - > 2nd chauffage du sol après celui reçu directement du rayonnement solaire

L'effet de serre est un processus naturel qui permet de gagner 30°C. Sans effet de serre pas de vie sur terre. La civilisation humaine vient perturber ce cycle naturel

- en émettant des gaz à effets de serre supplémentaires
- qui s'accumulent sans se dissiper
 - > augmentation de la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère
 - > augmentation de l'opacité de l'atmosphère au rayonnement des infrarouges lointains émis par la planète
 - > réchauffement de la basse atmosphère (troposphère, les 10 premiers kilomètres) et du sol (qui augmente la restitution de la chaleur par ses 3 processus habituels)

Impacte les phénomènes météorologiques intenses (ouragans, orages, tornades encouragés) :

- température de la stratosphère diminue
- température de la troposphère augmente (et avec la puissance convective)

Climatologue, cela n'existe (presque) pas !

Pour cerner le comportement du climat, il faut une multitude de disciplines scientifiques, dont aucune ne s'appelle « climatologie » :

Astrophysiciens -> énergie solaire reçue par la Terre

Dynamiciens de l'atmosphère -> échanges surface-espace

Chimistes de l'atmosphère (aérologues) -> composition de l'air

Océanographes -> océan,

Glaciologues -> calottes polaires, paléoclimats,

Vulcanologues -> volcans,

Géophysiciens -> dérive des continents,

Biogéochimistes -> cycle des éléments (N, C, P, O...), paléoclimats

Biologistes -> végétation,

Sans parler de toutes les sciences humaines, puisque l'homme est devenu un agent climatique....

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

Le terme de "climatologue" souvent employé dans la presse recouvre en réalité de multiples disciplines

- toutes utiles pour comprendre le dérèglement climatique et sa part anthropique
- et mises en commun sous l'égide des Nations Unies, le GIEC Groupe Intergouvernemental sur l'évolution du climat (IPCC, International Panel on Climate Change en anglais)
- cela signifie qu'aucun scientifique n'est expert du climat en général, il peut l'être dans un domaine particulier

L'effet de serre est de l'histoire (scientifique) très ancienne

1824 : Joseph Fourier, physicien français, publie "Remarques générales sur les températures du globe terrestre et des espaces planétaires", où il expose que la température du sol est augmentée par le rôle de l'atmosphère

1838 : Claude Pouillet, physicien français, puis Joseph Tyndall, un irlandais, attribuent l'effet de serre naturel à la vapeur d'eau et au gaz carbonique. Pouillet affirme que toute variation de la quantité de vapeur d'eau, comme de CO₂, doit se traduire par un changement climatique

1896 : Svante Arrhenius, chimiste Suédois (Prix Nobel 1903) prédit que l'utilisation intensive des combustibles fossiles engendra un réchauffement climatique. Il donne un ordre de grandeur : 4° C en plus pour un doublement du CO₂ dans l'air.

1922 : Lewis Fry Richardson, un physicien anglais, tente une première expérience de modélisation du climat à partir des seules équations de la physique (sans ordinateur !).

1950 : Le premier ordinateur (l'ENIAC) est utilisé pour expérimenter le premier modèle numérique de prédiction météorologique

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

Découverte de l'effet de serre :

- 1824 : Joseph Fourier démontre que la température de la planète est augmentée par le rôle de l'atmosphère
- 1838 : la vapeur d'eau et le CO₂ identifiés comme gaz à effet de serre
- 1896 : calculs sur les conséquences d'un effet de serre plus puissant par le suédois Arrhénius
--> doublement du CO₂ dans l'atmosphère = entraîne un réchauffement global de 4° (c'est exact)
--> structure spatiale de cette élévation de température décrite avec justesse : augmentation d'autant plus marquée que la température de départ est basse (l'effet d'un supplément d'interception d'infrarouges terrestres impacte davantage les zones froides de la planète, c'est-à-dire les pôles plus que les tropiques, la nuit plus que le jour, plus vite l'hiver que l'été)
- 1950 : premier ordinateur utilisé (ENIAC) dès 1950 pour réaliser le premier modèle de simulation de l'atmosphère / de prédiction météorologique
- années 70 : découverte des spectromètres de masse qui permettent de réaliser des analyses isotopiques (indispensables pour reconstituer les températures du passé, via des échantillons prélevés sur la croûte terrestre, dont les carottes polaires)

Vous avez dit gaz à effet de serre ?

Un gaz est dit « à effet de serre » si il est capable d'absorber du rayonnement infrarouge émis par la Terre

Cela concerne essentiellement :

La vapeur d'eau H_2O

Le dioxyde de carbone ou « gaz carbonique » ; CO_2

Le méthane, ou gaz naturel ; CH_4

Le protoxyde d'azote, ou gaz hilarant ; N_2O

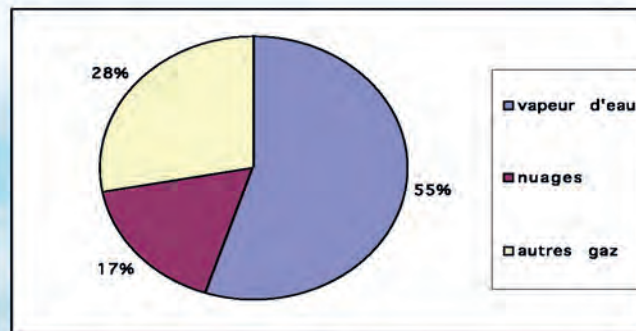
Des molécules plus complexes telles les halocarbures ; $C_xH_yF_zCl_t$

Un gaz sans émissions directes : l'ozone

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

- Gaz à effets de serre (capable d'absorber des rayonnement infrarouge émis par la terre),
- tous des gaz tri-atomique ou plus (par exemple l'oxygène et l'azote sont transparents à l'infrarouge terrestre)

Origine de l'effet de serre « naturel » : que d'eau !

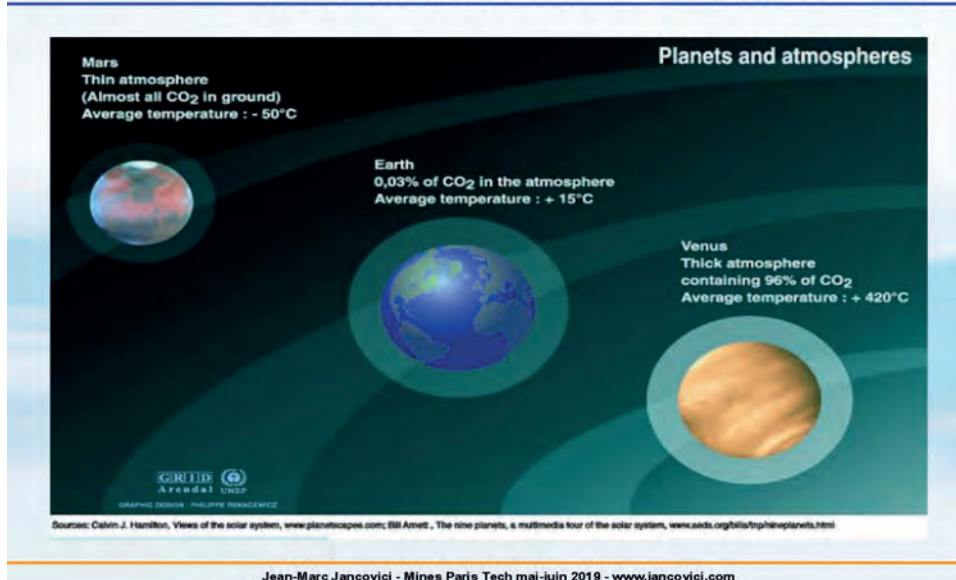


Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

essentiellement :

- vapeur d'eau (H_2O) / présent naturellement dans l'atmosphère depuis 4,5 milliards d'années
- dioxyde de carbone (CO_2) / présent naturellement dans l'atmosphère depuis 4,5 milliards d'années
- méthane (CH_4) / présent naturellement dans l'atmosphère (apparu avec la vie sur terre et ses micro-organismes unicellulaires primitifs les archées, <https://fr.wikipedia.org/wiki/Archaea>)
- protoxyde d'azote (N_2O)
- molécules complexes mises au point par les hommes, par exemple Halo carbures qui constituent des GES extrêmement puissants (hydrocarbures où l'on a substitué tout ou partie de l'hydrogène par une molécule d'allogène, par exemple chlore ...)
- ozone qui ne se contente pas d'absorber les ultraviolets du soleil, il sait également absorber les infrarouges terrestres

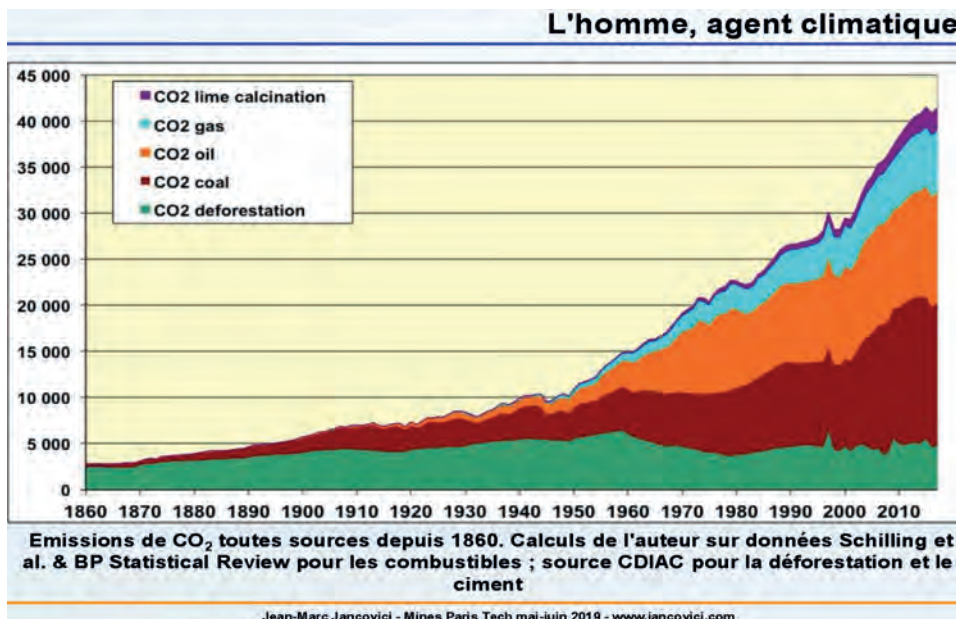
La Terre n'a pas le monopole de l'effet de serre



Gaz à effets de serre présents sur d'autres planètes : Exemple Vénus,

- 96% de CO₂ dans l'atmosphère. Surchauffe de 420°C (la proximité avec le soleil ne joue que pour quelques dizaines de degrés)
- différence avec la terre : Vénus n'a pas porté la vie (archées ou plus tard plantes capables de faire de la photosynthèse)

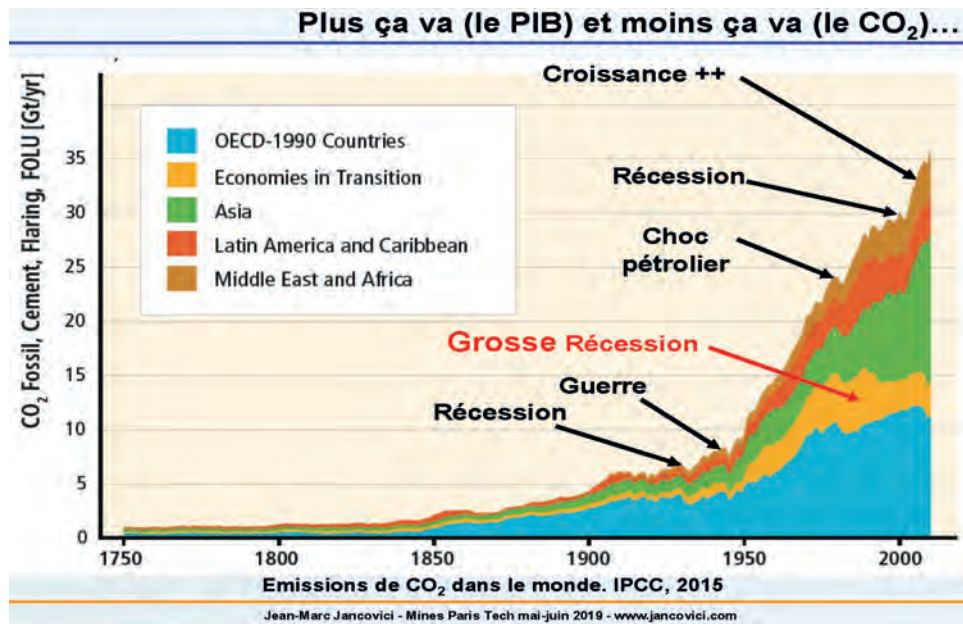
Chapitre 15 - Les émissions humaines de Gaz à Effet de Serre



5 causes humaines d'émission de CO₂

- gaz
- pétrole
- charbon
- déforestation
 - > pour l'essentiel du défrichage pour de nouvelles surfaces agricoles
 - > pic de déforestation dans les années 60, continue aujourd'hui. Précision des mesures discutable, la détection se faisant par détection satellitaire.
 - > 1er mécanisme de libération de CO₂ : lorsque les arbres sont exploités par la filière bois, une grande partie ne dure dans le temps - papiers, emballages, meubles bons marchés... - et par conséquent libère le CO₂ (déchets incinérés). En France 7% du bois coupé est du bois d'œuvre à longue durée de vie)
 - > 2e mécanisme : le sol agricole est labouré et libère du CO₂ contenu dans le sol (exposition de l'humus à l'oxygène de l'air, déstockage du carbone par oxydation accélérée)
- calcination du calcaire (carbonate de calcium, CaCO₃) pour faire du ciment (chaux vive CAO + additifs), c'est à dire couper en 2

CACO3 (CAO + CO2) via un four à ciment dans lequel le calcaire est porté à plus de 1000°C. CO2 rejeté dans l'atmosphère

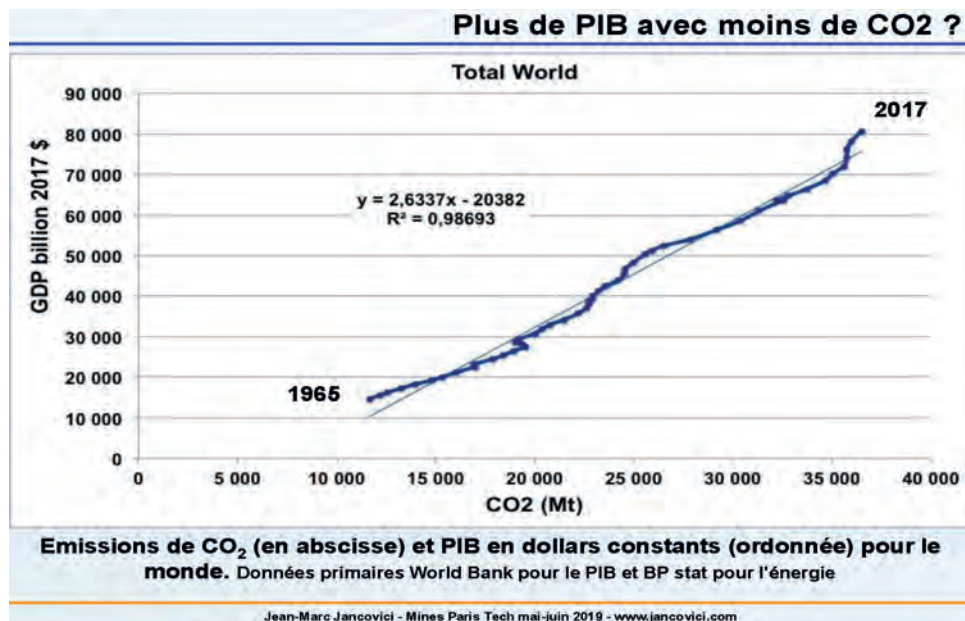


Zones d'émissions du CO₂

- zone OCDE stagne
- Asie passé devant

Les deux seules années au cours du XXe siècle où les émissions de CO₂ ont baissé de 4% ou plus (cap fixé par les Accords de Paris) :

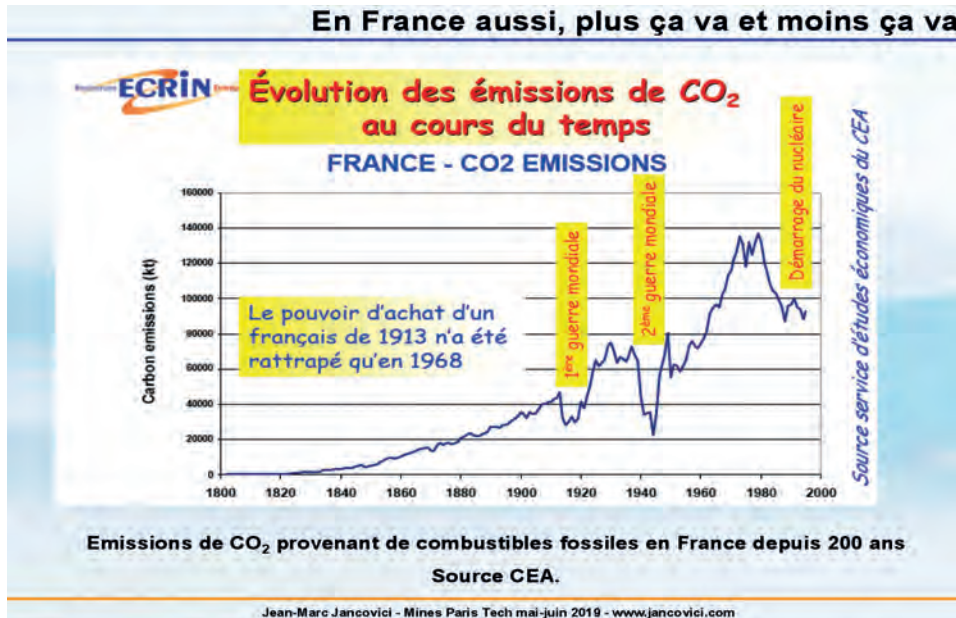
- 1932 : au plus fort de la crise de 1929
- 1945 : éradication industrielle de l'Allemagne et du Japon



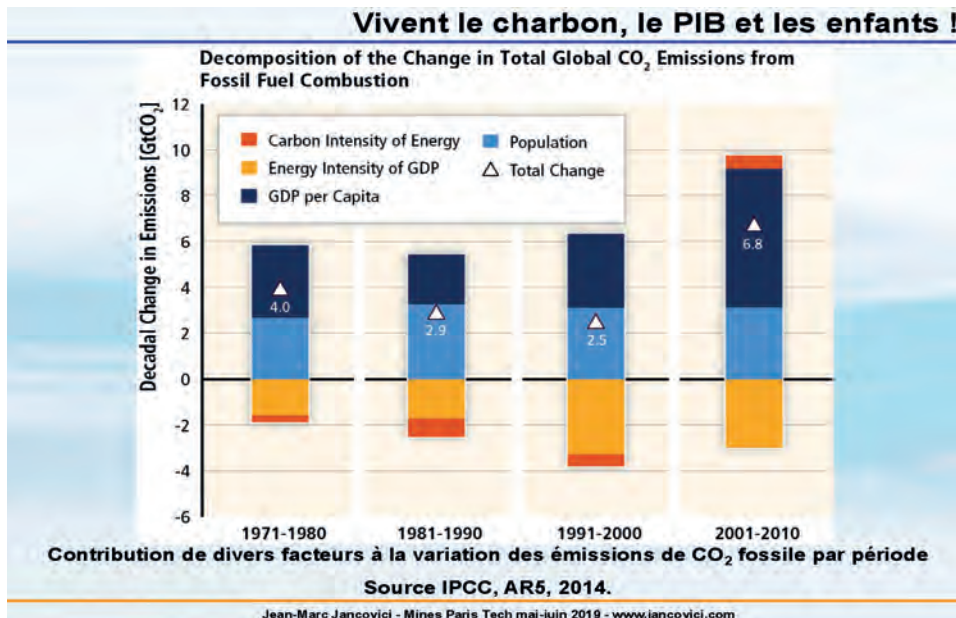
Moins de CO₂ avec plus de PIB : totalement impossible, on ne sait pas faire plus de PIB sans utiliser plus de machines

- plus de PIB = plus de flux productif
- le flux productif par définition mesuré par l'énergie = plus de PIB = plus d'énergie
- étant donné que l'énergie est essentiellement fossile = plus d'énergie = plus d'émission de CO₂

En France aussi, plus ça va et moins ça va



Sur le long terme, l'évolution des émissions de CO₂ en France obéit au modèle commun hausse PIB = hausse des émissions. Une originalité survient dans les années 70 / 80 avec le démarrage du programme nucléaire français qui fait chuter sensiblement (mais temporairement) les émissions.



Equation de Kaya décompose les émissions de CO₂ en 4 termes

- population
- PIB par personnes
- intensité énergétique du PIB (quantité de kw/h qu'il faut pour créer de la valeur ajoutée)
- l'efficacité CO₂ de l'énergie (quantité de CO₂ émis lorsqu'on utilise 1 Kw/h)

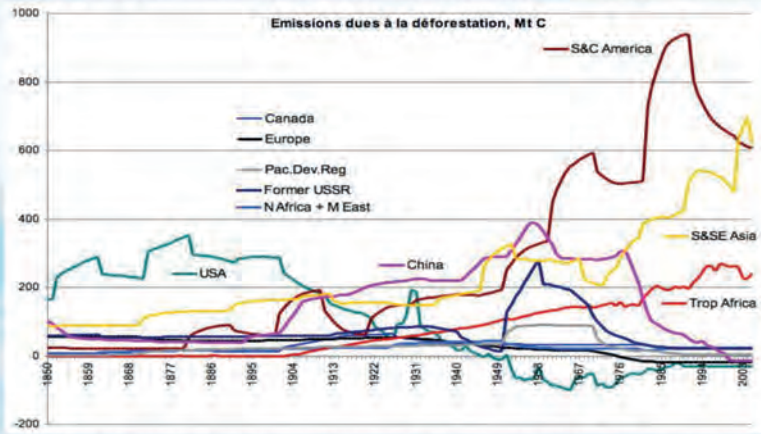
Selon le GIEC, l'émission de CO₂ toujours croissante sur les 4 dernières décennies

- 1970's : +4
- 1980's : +2,9
- 1990's : +2,5
- 2000's : +6,8

Mais décomposition révèle : l'augmentation démographique + l'augmentation de la transformation de l'environnement (PIB par personne) sont plus rapides que les gains / améliorations obtenus

- par l'amélioration de l'efficacité CO₂ de l'énergie sauf sur la dernière décennie (dégradation du fait de l'essor industriel de la Chine et l'explosion de l'exploitation du charbon)
- et par l'amélioration de l'intensité énergétique du PIB

La déforestation, historiquement la première source



Emissions dues à la déforestation, par grande zone, de 1850 à 2005.

Source : Houghton, The Woods Hole Research Center sur <http://cdiac.ornl.gov/trends>

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

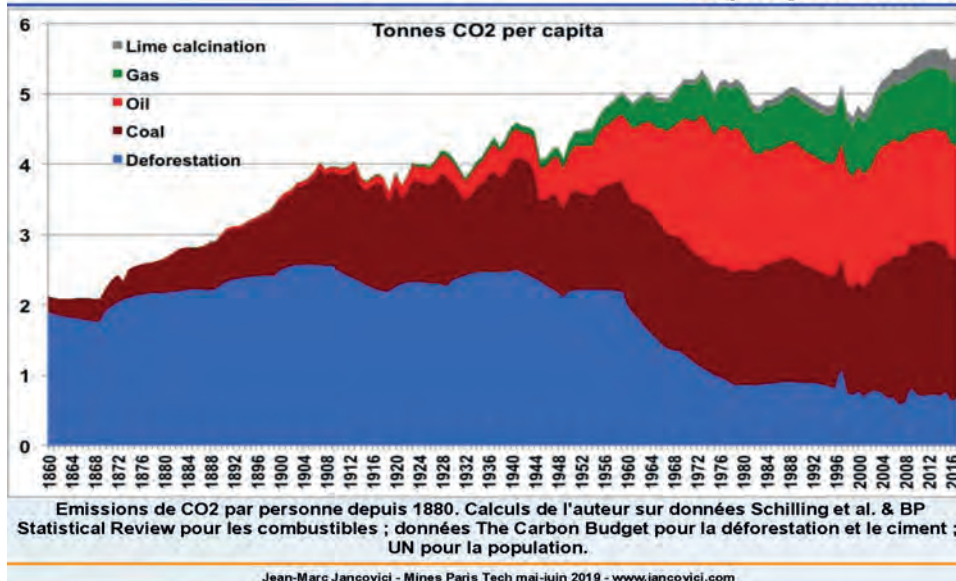
Les premières émissions de CO₂ provoquées par l'activité humaine sont dues à la déforestation.

Mécanisme :

- on déforeste pour faire face à l'augmentation de la taille de la population = augmentation des surfaces cultivables
- on déforeste pour satisfaire un régime alimentaire carné = augmentation des surfaces agricoles par personne

Augmentation de la population et augmentation de la part carnée dans l'alimentation sont les deux moteurs de la déforestation. Le retour à une agriculture extensive pour se passer / réduire les intrants chimiques sans changer de régime alimentaire se ferait au détriment de la forêt.

Et par personne ?



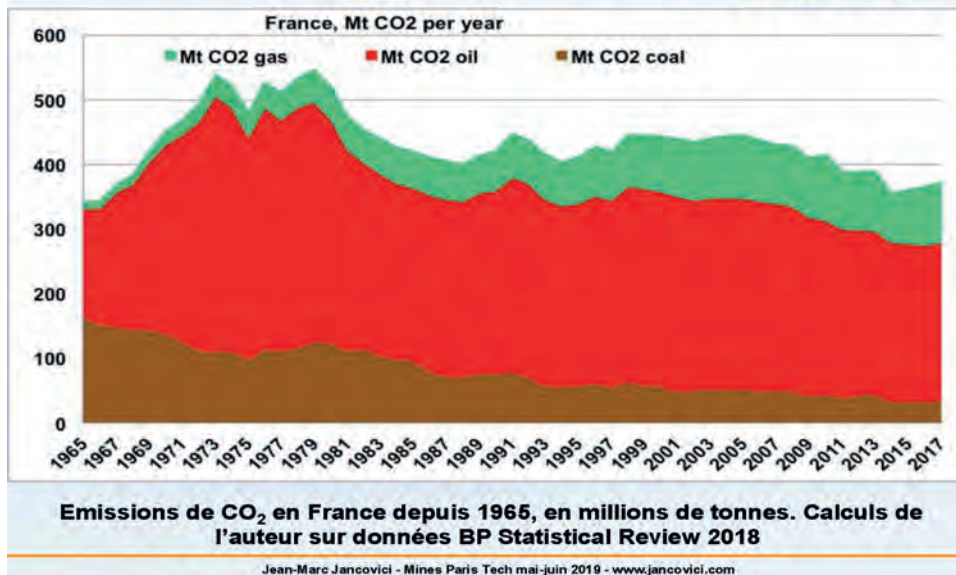
Emissions de CO₂ par personne depuis 1880. Calculs de l'auteur sur données Schilling et al. & BP Statistical Review pour les combustibles ; données The Carbon Budget pour la déforestation et le ciment ; UN pour la population.

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

Les émissions de GES par personne ont été multipliées par 2,5 depuis le milieu du XIXe :

- fort recul du facteur déforestation (déclin dans les années 1960)
- explosion des énergies fossiles

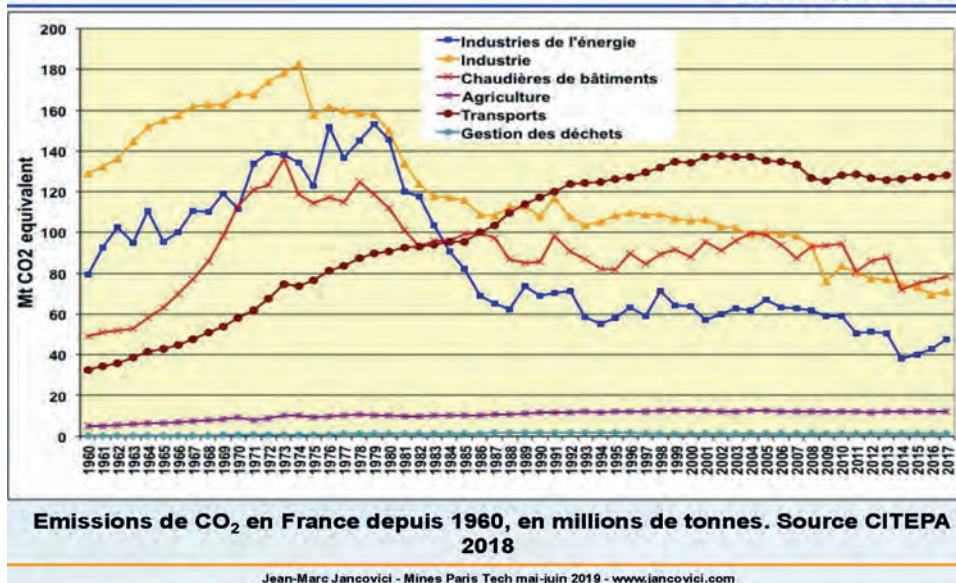
Et en France ?



Les émissions de CO₂ brutes en France ont tendance à baisser depuis le premier choc pétrolier (pic aux alentours de 550 Mt CO₂) :

- moins de charbon : moins utilisé car d'une part moins de sidérurgie et d'industrie en général et d'autre part plus d'électricité nucléaire
- moins de pétrole : chassé des usages industriels et d'une partie du chauffage par le gaz et l'électricité nucléaire
- gaz n'augmente plus ses émissions depuis le milieu des années 2000

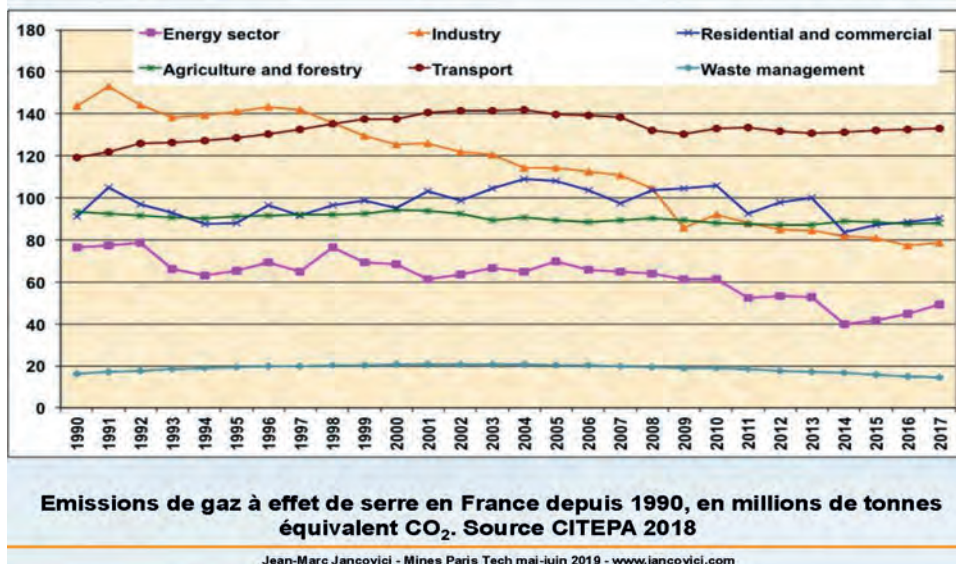
Et en France ?



Les émissions de CO₂ en France par secteurs d'activité :

- émissions de CO₂ de l'industrie ont très fortement baissé depuis les chocs pétroliers (ce qui signifie que l'industrie est le secteur dans lequel les émissions sont les plus sensibles au prix)
- chute dans les émissions des centrales électriques (surtout) et les raffineries (= Industries de l'énergie), les centrales électriques fonctionnant aux énergies fossiles Gaz / Pétrole / Charbon de plus en plus rares et remplacées par le nucléaire
- baisse des émissions de CO₂ dans le secteur du bâtiment (= chaudières de bâtiment)
- seul secteur en hausse : les transports, jusqu'au milieu des années 2000 où on observe une stagnation voire une baisse (constatée dans tous les autres pays européens), causée par le stress d'approvisionnement en hydrocarbure liquide

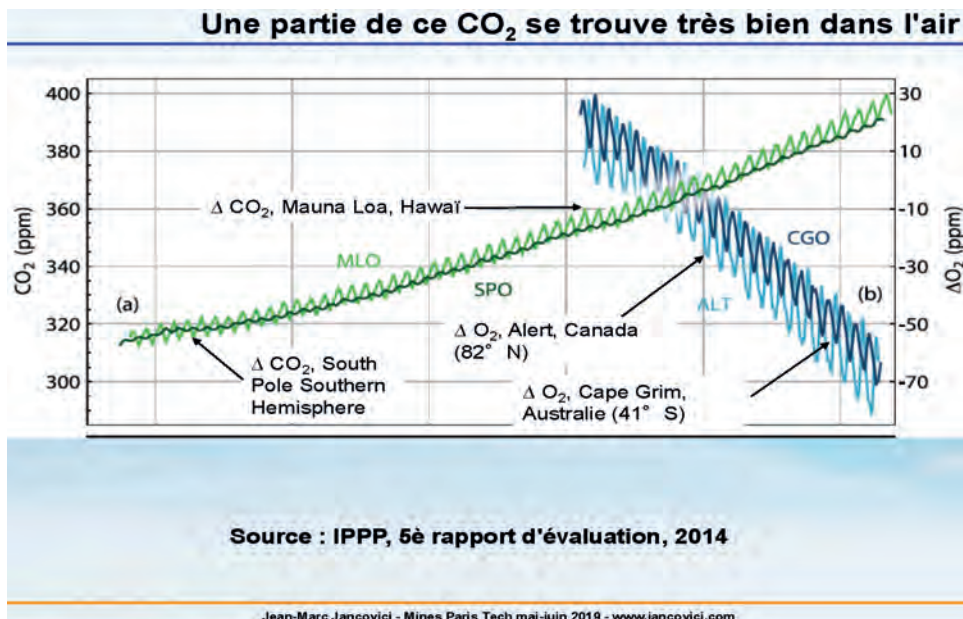
Et en France ?



Tous GES confondus en France :

- transports en tête des émissions (130 Mt équivalent CO₂)
- le secteur agricole fait un bond dans le classement par rapport si on considère l'ensemble des GES car émet d'autres gaz.

Chapitre 16 - Mesurer l'émission de GES



Augmentation du CO₂ dans l'atmosphère est de manière certaine liée à l'oxydation des ressources fossiles.

L'analyse de la teneur isotopique de l'atmosphère le prouve.

- comparaison des évolutions de teneur en CO₂ de l'atmosphère et d'oxygène, le premier monte tandis que le second descend (cela ne peut pas être imputé à l'activité volcanique qui ne fait pas varier le taux d'oxygène)

• autre preuve : le carbone 14

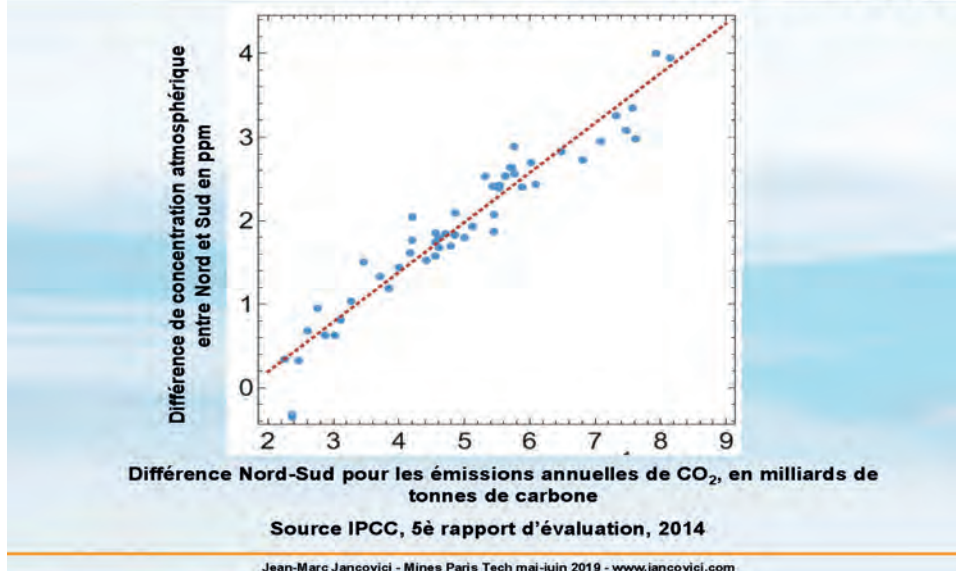
- l'azote de la haute atmosphère, sous l'effet du rayonnement cosmique, se transforme en Carbone 14

- le carbone 14 entre dans le cycle du carbone et est ingéré par les êtres vivants

- lors de la combustion des ressources fossiles (qui ont perdu leur carbone 14 depuis des millions d'années), on doit assister à un changement de la teneur isotopique de l'atmosphère : appauvrissement de l'atmosphère en carbone 14 et augmentation de la teneur en CO₂

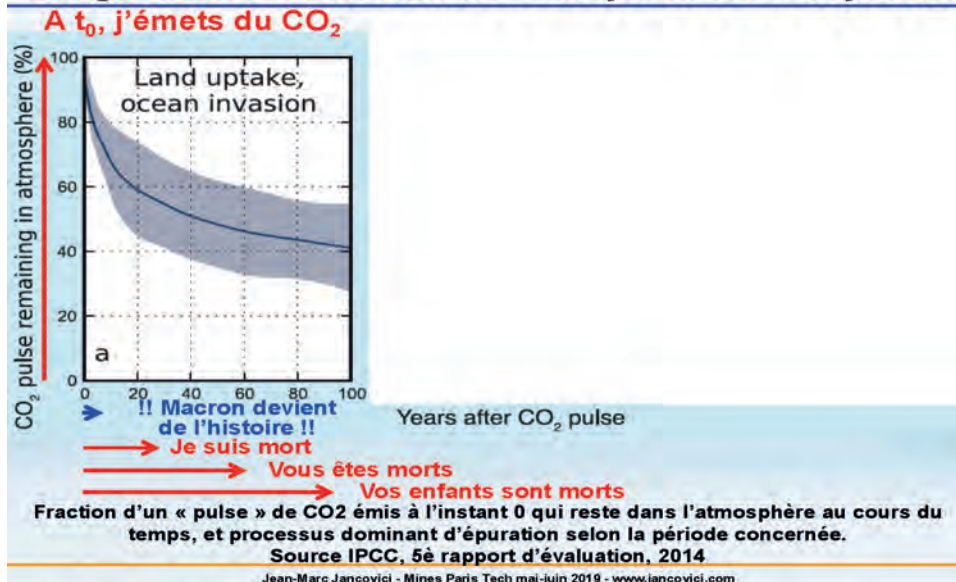
- c'est ce qui est constaté actuellement

Même là, il y a des inégalités Nord-Sud !



- actuellement 400ppm de CO₂ dans l'atmosphère
- 10% de CO₂ dans l'atmosphère = toxicité aigüe = mort assurée
- CO₂ = un oxyde = c'est-à-dire une molécule extrêmement stable chimiquement.

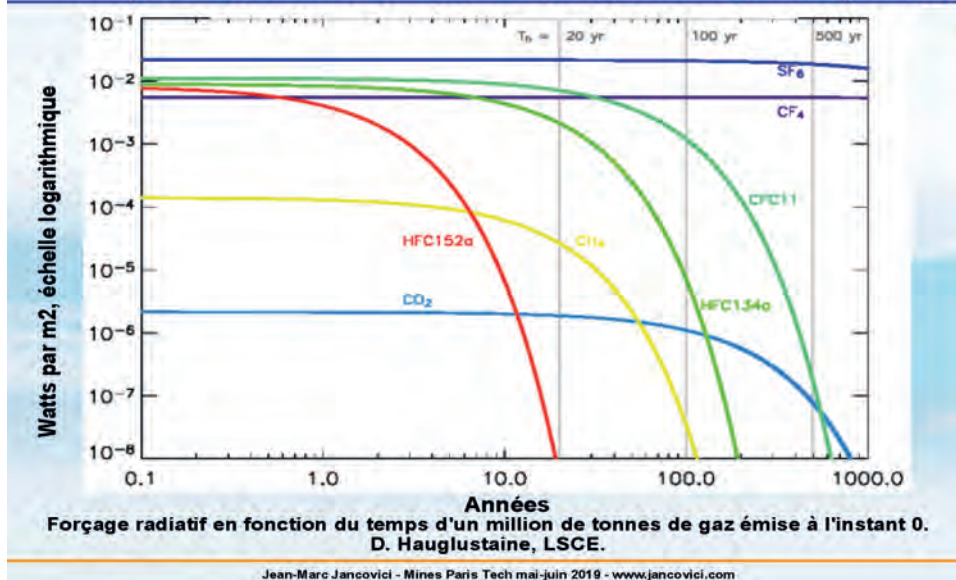
Les gaz à effet de serre aiment s'envoyer en l'air... et y rester



Autre exemple : l'oxyde de fer présent depuis l'oxydation du fer lors de la formation des continents, soit plusieurs milliards d'année

- pas de processus d'épuration chimique du CO₂ envoyé dans l'atmosphère (= ne se mélange pas à d'autres gaz), les deux seuls processus d'épuration étant :
 - processus physique 1 : dissolution du CO₂ dans l'eau océanique (= processus d'équilibrage de pression partielle entre l'atmosphère et l'océan)
 - processus physique 2 : photo synthétisation du CO₂ (métabolisation du CO₂ par les plantes, réaction endothermique par l'entremise des photons)

Le gaz à effet de serre aime s'envoyer en l'air... et y rester



- conséquence de l'extrême stabilité du CO₂ : le temps qu'il faut pour évacuer le surplus de CO₂ envoyé dans l'atmosphère est très long
 - 1 siècle après : 40% du surplus toujours présent dans l'atmosphère
 - 1 millénaire après : 20% du surplus toujours présent dans l'atmosphère
 - 10 000 ans après : 10% du surplus toujours présent dans l'atmosphère

> le processus du changement climatique n'a aucune réversibilité, impossible de revenir en arrière

> autre certitude : en raison de l'inertie du CO₂ dans l'atmosphère, la dégradation de la situation par rapport au présent est inéluctable

> échelles de temps : inadaptation des organisations sociales (Etats, démocraties, entreprises, ...) et de nos perceptions mentales

Autres émissions de gaz à effet de serre dont le Méthane,

- avec effet radiatif plus important que le CO₂
- mais reste moins longtemps dans l'atmosphère grâce à l'existence d'un processus d'épuration chimique de l'atmosphère (le seul gaz dans ce cas)

On sait mesurer l'augmentation du taux de CO₂ dans l'atmosphère

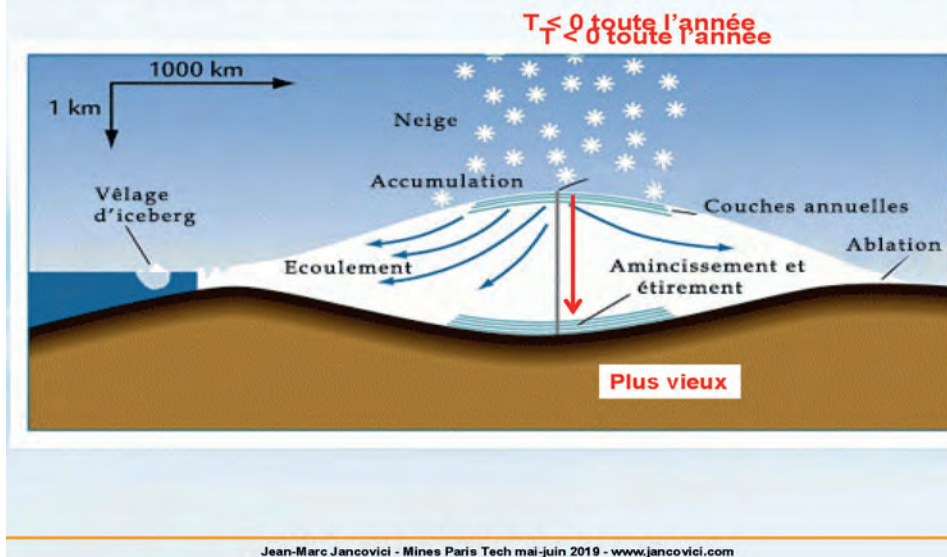
- de manière instrumentale depuis 1958
- par carottage des calottes glaciaires aux pôles pour comparer la situation présente avec les périodes plus anciennes
- formation des calottes =>

01. La neige accumulée qui ne fond jamais et qui en se tassant au fil des siècles devient de la glace (effet de pression).

02. L'air qui circule entre les flocons est emprisonné sous forme de petites bulles d'air, qui permettent de retrouver en l'état l'atmosphère de l'époque de la formation de la glace

03. La glace ne reste pas immobile, tend sous son propre poids à fluer vers l'océan.

Pour savoir ce qui s'est passé, il faut fouiller les archives

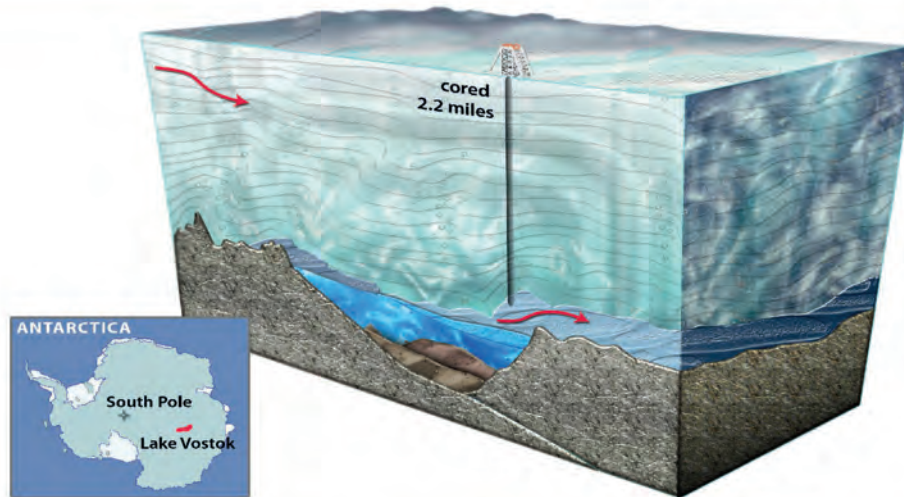


L'opération de carottage consiste à creuser un amas de glace qui flue verticalement / s'enfonce et non la part qui se déplace vers les océans
- carotte glaciaire permet de récupérer une atmosphère fossile de plus en plus ancienne au fur et à mesure que la carotte est profonde

Allons à la neige (ou plutôt à la glace)



J'fais des trous, des p'tits trous...



Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

Le glaçon peut coûter fort cher... mais rapporter gros



Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

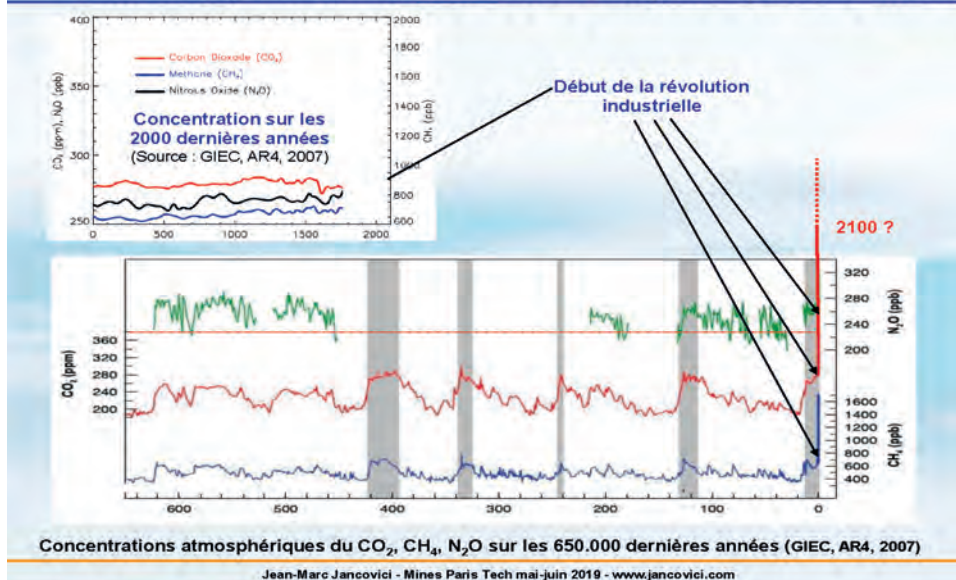
- On retrouve dans les carottes toutes les espèces chimiques contenues dans cette atmosphère (CO₂, méthane,...), on analyse en particulier :

- la composition isotopique de l'eau / de la glace permet de fournir la température planétaire de l'époque (à partir de la fraction d'oxygène-18 et la fraction de deutérium dans l'hydrogène de l'eau : plus la chaleur est élevée, plus l'évaporation de l'eau est forte, moins l'oxygène-18 et le deutérium sont présents)
- l'air fossilisé dans les petites bulles fournit le taux de CO₂, méthane, protoxyde d'azote, ... de l'atmosphère

Note : le carottage au Groenland n'est plus possible pour les périodes récente car désormais la neige en surface de la calotte fond, il n'y a plus d'accumulation de glace / de piégeage de l'air dans la glace.

Pour les périodes récentes, le carottage est seulement possible en Antarctique

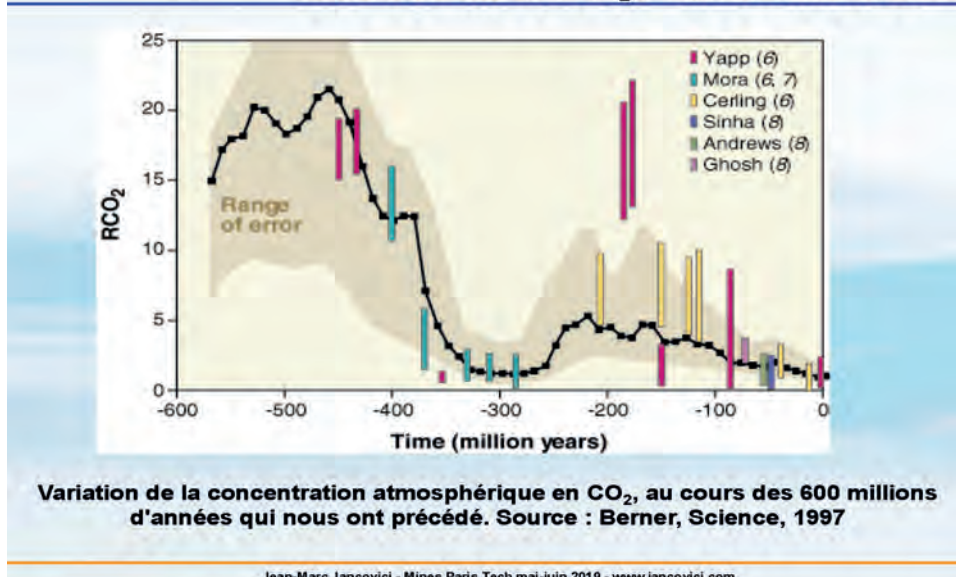
Emettons, émettons, il en restera toujours quelque chose



Résultat des carottages :

- jusqu'à 800 000 ans (carotte Antarctique)
- augmentation exponentielle des concentrations de GES depuis la révolution industrielle
- dans les périodes précédentes on constate de fortes variations de la teneur en CO₂ et en méthane de l'atmosphère
- cette variabilité s'explique par les forçages astronomiques qui changent la température sur terre qui en retour change la concentration des GES dans l'atmosphère
- conjonction depuis 10 000 ans puisque nous entrons alors dans une phase interglaciaire, phase classique de déstockage du CO₂
- > l'eau chaude dissout moins le CO₂ que l'eau froide, en période interglaciaire les océans dégazent du CO₂
- > les zones humides plus nombreuses expliquent le surcroît d'émission de méthane pendant les périodes Interglaciaires
- depuis la Révolution industrielle, le surplus de GES envoyé dans l'atmosphère
- est bien supérieur à toutes les variations naturelles / d'origines astronomiques connues
- provoque une discontinuité brutale, dont on ne connaît pas les conséquences sur des milliers d'années (et même en baissant drastiquement les émissions, du fait de la persistance des GES dans l'atmosphère)

Plus ou moins de CO₂, c'est naturel aussi...



La concentration de CO₂ dans l'atmosphère a déjà été bien plus élevée :

- 20 à 30 supérieurs à la concentration actuelle, il y a 500 millions d'années.
- Epoque où la puissance solaire était moins forte et où il y avait très peu de vie sur les terres émergées

Comparer les gaz, comment on fait ?

$$PRG = \frac{\int_0^N F_{gaz}(t) dt}{\int_0^N F_{CO_2}(t) dt}$$

Le Pouvoir de Réchauffement Global, ou PRG (en anglais Global Warming Potential, ou GWP) : une équation compliquée pour une notion simple : combien de fois le CO₂ ?

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

Mesure des différents GES :

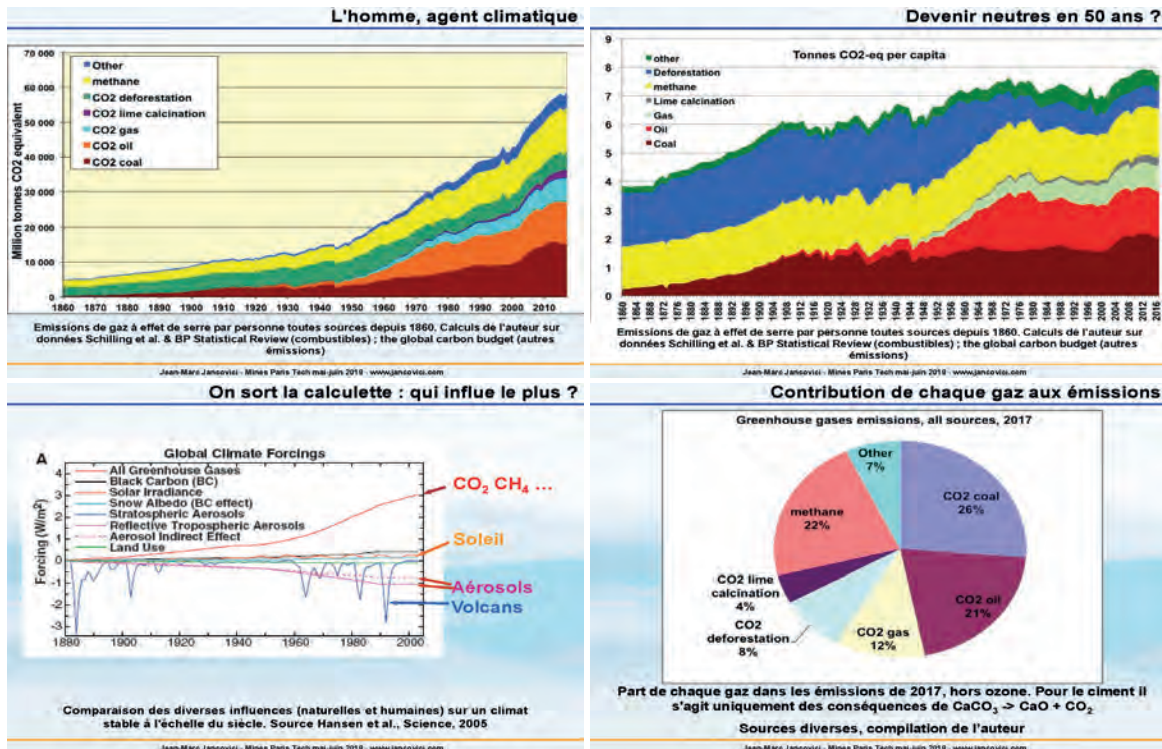
- le PRG (Pouvoir de Réchauffement Global / GWP : Global Warming Potential)
- le forçage radiatif cumulé qu'apporte 1 unité de GES dans l'atmosphère
- plus exactement, il s'agit d'une unité relative : c'est le rapport entre le forçage radiatif cumulé d'1 unité de GES sur une durée donnée / sur le forçage radiatif pour la même durée du même poids de CO₂
- par convention le PRG du CO₂ vaut 1 quel que soit l'horizon de temps concerné

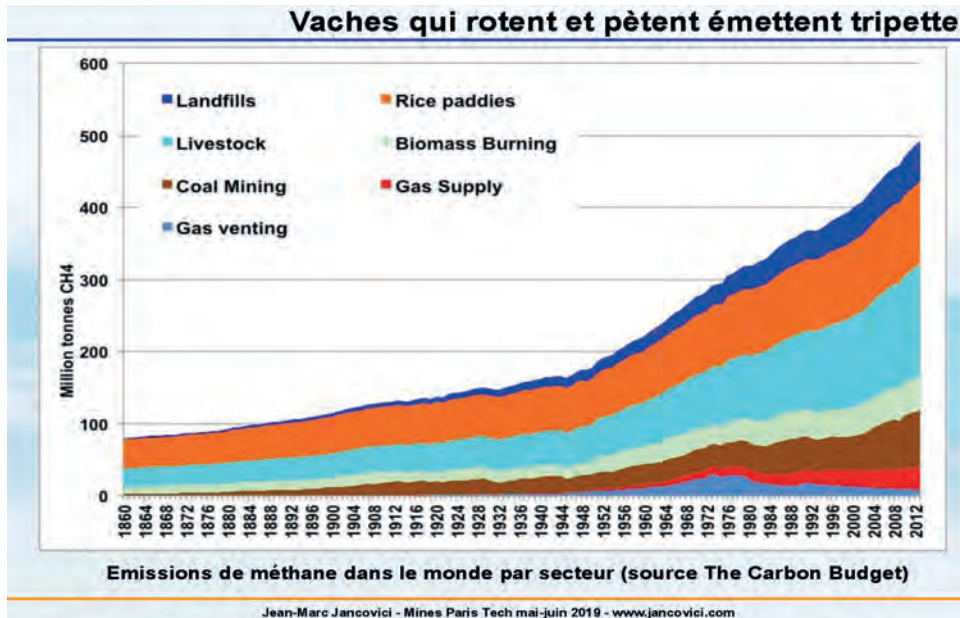
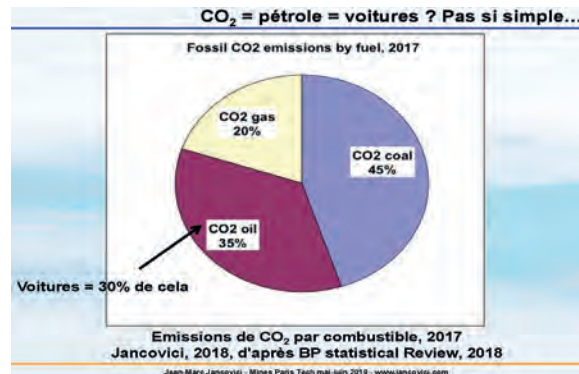
Quelle est la bonne échelle de temps du PRG ?

- à 1 siècle, le méthane est 25 fois plus nocif que le CO₂
- à 20 ans, il est 80 fois plus nocif que le CO₂

> débat de l'échelle de temps pertinente entre les pays émetteurs de méthane (rizières Asie, élevages Nouvelle Zélande, ...) et les pays plus émetteurs de CO₂

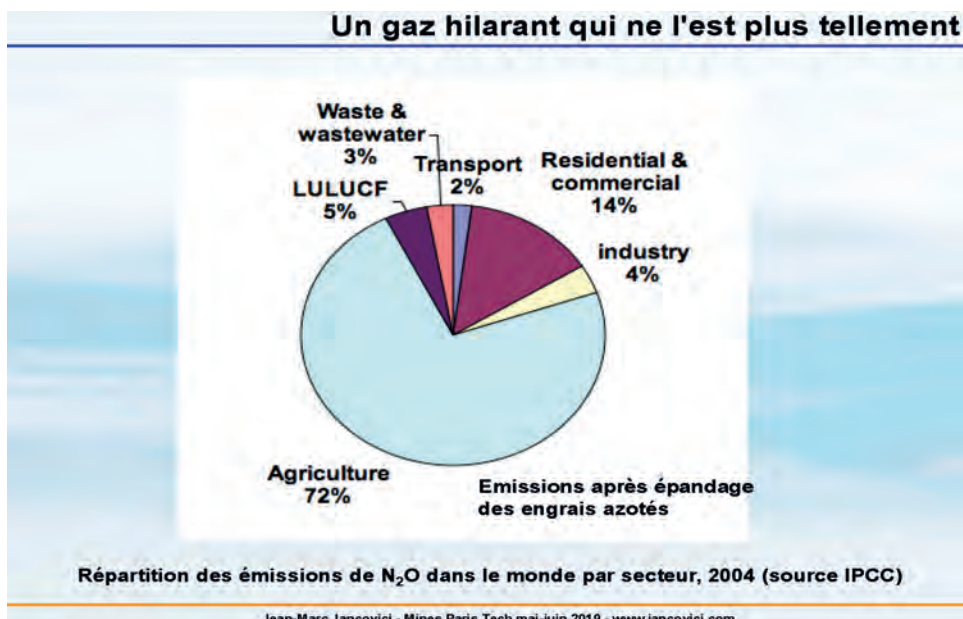
> question du temps pilote la charge de l'effort en fonction des sources d'émission





Détail des émissions de méthane

- fuite dans les réseaux de gaz
- extraction (mines de charbon)
- combustion de la biomasse
- cheptel des ruminants (essentiellement des vaches, 1,5 à 2 milliards de vaches sur terre = 1ère biomasse des mammifères, rotent du méthane du fait de la fermentation anaérobie dans leurs 4 estomacs)
- rizières (décomposition végétale à l'abri de l'air)
- décharges (empilement des déchets organiques, qui en fermentant émettent du méthane ... dont la captation est possible / accessible aux pays riches)



Autre GES, le protoxyde d'azote. Provenances dans le monde :

- combustion, transport, industrie, chaudières de bâtiment

> processus de combustion : emploi de l'oxygène de l'air, non pur / embarque de l'azote de l'air : le processus de combustion réarrange l'oxygène sous forme d'oxyde d'azote. Le protoxyde d'azote est une petite partie de cet oxyde d'azote)

- cause essentielle d'émission du protoxyde d'azote : l'agriculture (72%)

> utilisation d'engrais azotés (que ce soit pour les engrais de synthèses mais également pour les engrais "naturels" comme le lisier, le purin, ...)

> phénomène lors de l'épandage sur le sol l'action microbienne du sol forme une petite partie de protoxyde d'azote

Chaîne du froid et mauvaises odeurs sous les bras...

Les halocarbures

La première famille - désormais interdite de production - est mondialement connue : les CFC. Leur premier usage a été le remplacement de l'ammoniac dans les circuits réfrigérants, puis ils ont servi comme gaz propulseurs, solvants, expandeurs de mousses plastiques...

Désormais interdits de production, les CFC ont été remplacés par des substituts aux doux noms de HFC, HCFC, PFC...

Ces gaz servent - toujours - dans les circuits de fluide réfrigérants, mais aussi comme gaz propulseurs, de gaz expandeurs (industries des mousses plastiques), de solvants (semi-conducteurs), et viennent parfois de manière « indésirables » de certains procédés industriels (par exemple électrolyse de l'alumine

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

Autre GES, les molécules dites d'halo carbures.

- gaz que l'on obtient en remplaçant dans les hydrocarbures de l'hydrogène par des halogènes

• pour quoi faire ? Car la liaison Carbone-Halogène est extrêmement stable et donc en réalisant ce genre de composé on peut obtenir des molécules quasi-indestructibles. C'est-à-dire non toxiques.

> exemple : dans les chaînes du froid, les halocarbures ont remplacé le CO2 (moins efficace sur le plan thermodynamique) et surtout l'ammoniaque dans les circuits frigorifiques (les molécules de gaz halogénées sont totalement inertes, sont respirables)

> exemple : gaz propulseur des bombes aérosols (gaz halogénés à la place des gaz hydrocarbures inflammables utilisés avant)

> exemple : gaz expandeur de mousse, solvants dans l'industrie ...

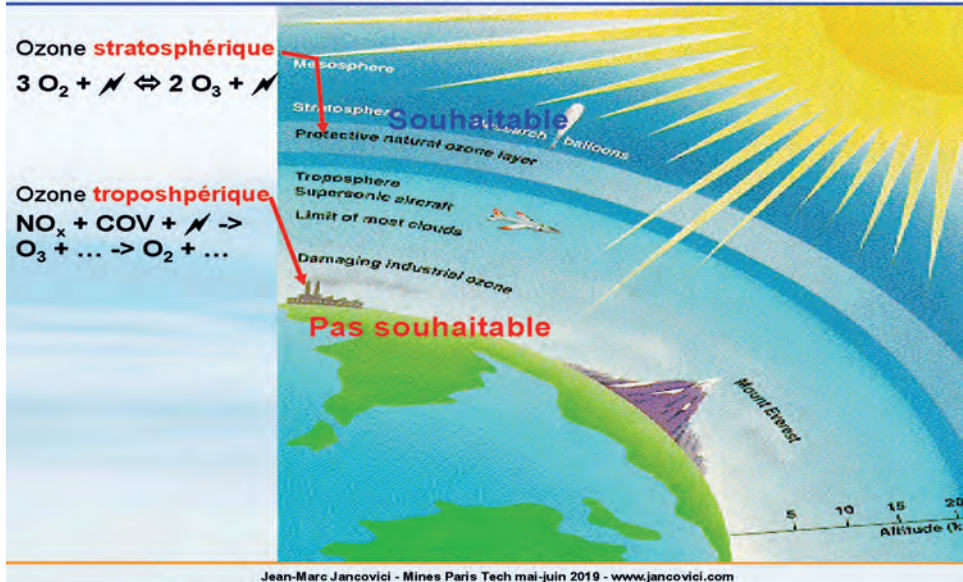
- les halo carbures plus ou moins nocifs :

> le + dangereux : le CFC (chloro-fluocarbure) qui a été supprimé. Stabilité telle que ce gaz atteignait la haute atmosphère sans être altéré, et en contact avec les UV libère son chlore et agresse l'ozone atmosphérique

> la production de CFC a été supprimé mais pas les émissions totalement (par exemple le CFC utilisé dans les expandeurs de mousse, toujours stocké par exemple dans les vieux modèles de frigo)

> remplacé par d'autres gaz qui n'agressent pas la couche d'ozone mais qui en revanche sont des GES extrêmement puissants

Ozone des villes et ozone d'en haut



Autre GES, sans émission directe, l'ozone.

- l'ozone se retrouve à 2 endroits :

- > ozone stratosphérique, dans la haute atmosphère. fonctions capitales x2 :

- Intercepte les UV durs du soleil

- et en absorbant de l'énergie, il réchauffe la haute atmosphère (ce qui crée une inversion de température, préserve la condensation et empêche le contact H2O et UV qui aboutirait à une fuite de l'hydrogène dans l'espace, in fine à la disparition de l'eau sur terre)

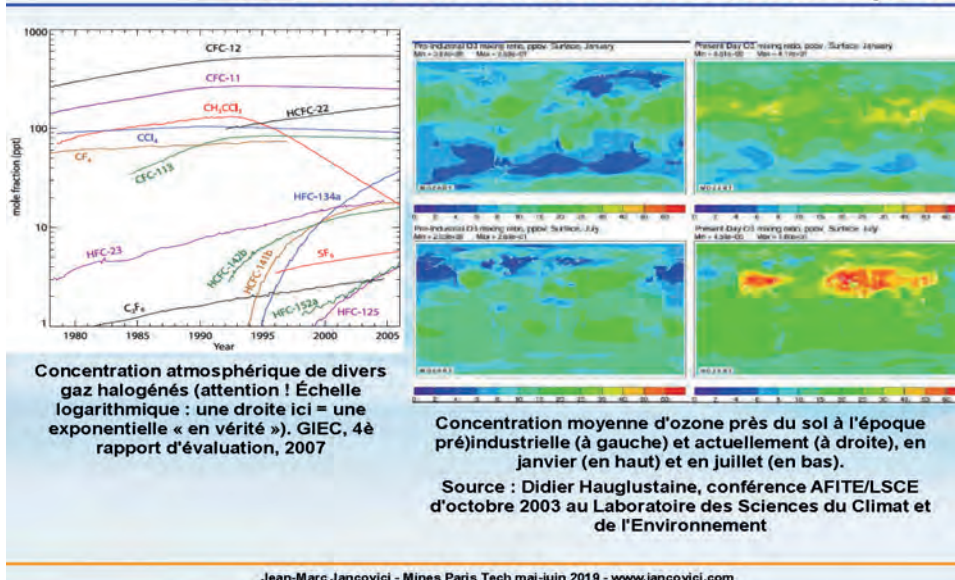
- > ozone troposphérique, près du sol.

- apparaît du fait de l'activité humaine qui envoie dans l'atmosphère des oxydes d'Azote et des composés organiques volatiles

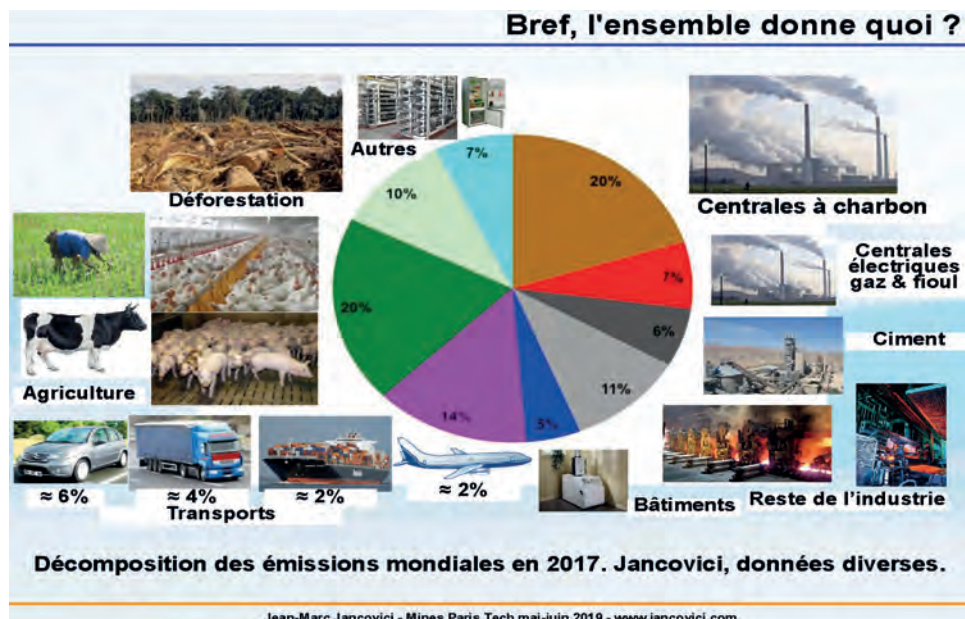
- le rayonnement solaire agit sur ces pollutions et forme de l'ozone

- cet ozone est une pollution dangereuse pour la santé, participe à l'effet de serre et a un effet inhibiteur sur la croissance des plantes

Et tout cela s'accumule aussi dans l'atmosphère



Chapitre 17 - Poids respectif des différents GES

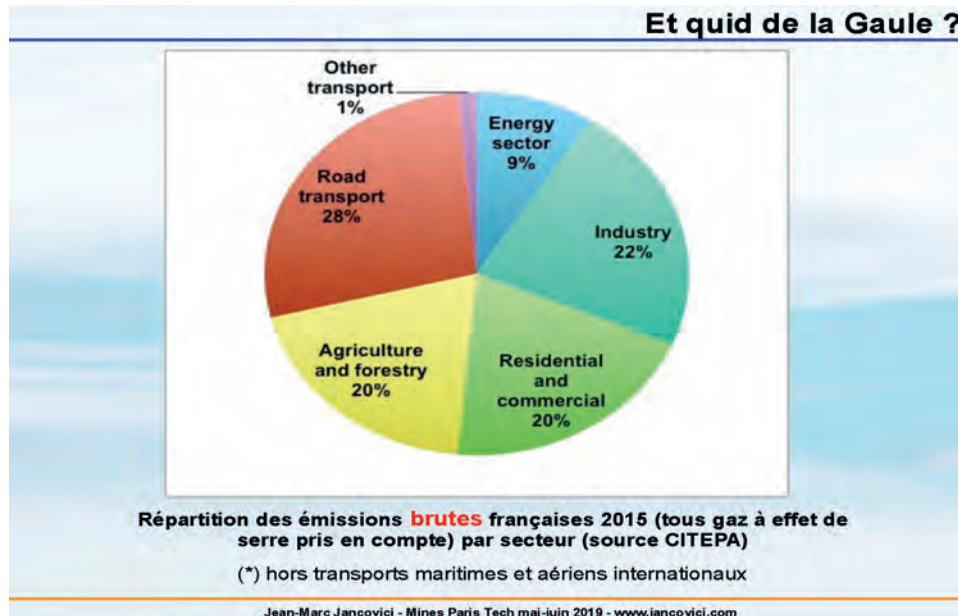


Représentations des GES

1) GES en fonction des émissions directs par les différents secteurs d'activité

- 20% des émissions planétaires = centrales à charbon
- 7% = centrales à gaz et un peu fioul
- 6% = cimenteries
- 12% = le reste de l'industrie dont 4% pour les aciéries
 - > émissions directes, consommation électrique non comptabilisée ici, double probablement si incluse)
 - > construire les ponts et des bâtiments (acier + cimenteries) équivaut à presque 10% des émissions
- 6% = chauffage des bâtiments dans le monde (chiffre apparemment faible mais parce que dans le monde une bonne partie des bâtiments n'a pas besoin d'être chauffée)
- 16% = transports
 - > voitures 6%
 - > camions 4%
 - > bateaux 2%
 - > avions 2%
- 20% = agriculture
 - > essentiellement des gaz hors CO₂
 - méthane des vaches, puis autre cheptel de ruminants, les rizières,
 - le protoxyde d'azote des champs
- 10% = déforestation
 - > lié à l'activité agricole, c'est un processus amont, et donc l'activité "nutrition" proche des 30%
- 7% = divers
 - > gestion des déchets, fuites des chaînes du froid, ...

Et quid de la Gaule ?

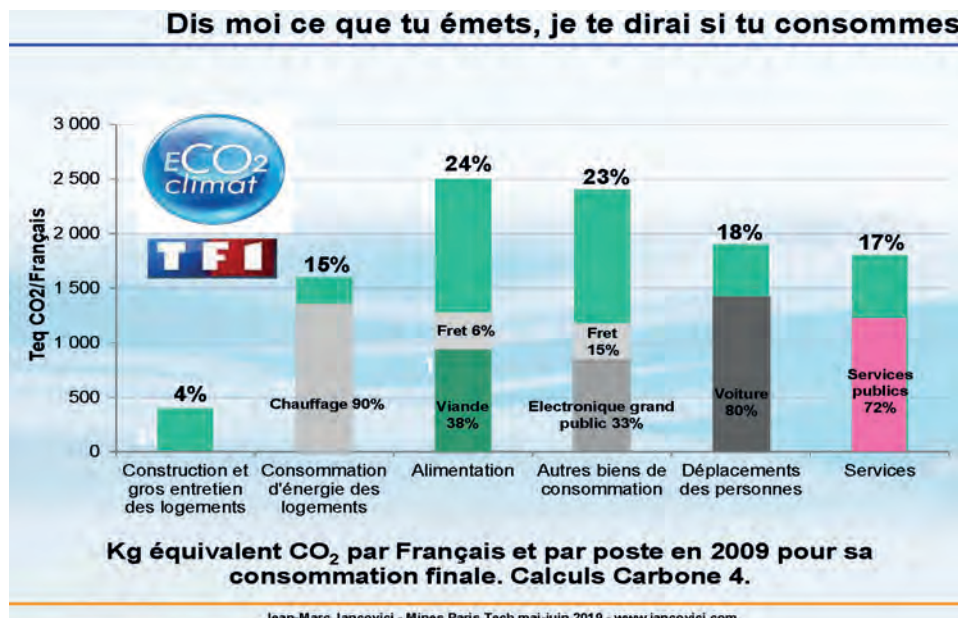


Zoom par secteurs d'activité en France

- 28% = transport en tête
- 22% = industrie
- 20% = bâtiments pro et individuels
- 20% = agriculture
- 9% = secteur énergétique (très petit car très de production électrique au charbon)

2) Autre manière de présenter les GES : les émissions issues de notre empreinte carbone

- Définition : par opposition aux émissions dites territoriales (les émissions émises en France), l'empreinte Carbone est un point de vue "consommation", elle mesure les émissions de ce que l'on consomme
- > Emissions domestiques (= françaises) de GES par Français et par an = environ 6 tonnes CO₂ + 2 tonnes autres GES
- > Empreinte Carbone = 11 tonnes
- > 3 tonnes d'émissions qui ont été générées à l'étranger, pour produire les biens de consommation importés
- > soit presque 1/4 des émissions de CO₂ des Français



• A quels actes de la vie courante sont associées les émissions des Français ?

(dit autrement quels leviers le consommateur peut activer pour faire baisser ses émissions)

- 4% = entre 200 et 400 kg de CO₂ par an = construction de plusieurs centaines de milliers de logements chaque année (il s'agit d'une moyenne, 1 maison de 100m² = au moins 20 à 40 tonnes de CO₂ émis entre acier des fers à béton, ciment, plastique, tuiles, ...)

- 15% = confort thermique et énergétique du logement

> dont 90% pour le chauffage domestique, qui consomme 4 fois plus d'énergies fossiles (gaz et fioul) que

d'énergie nucléaire

> particularité de la France, électricité nucléaire fournit un confort électrique très peu carboné.

> à l'opposé de la France, les pays à l'énergie fossile aux hivers rigoureux et aux étés chauds (climat continental), le confort thermique et énergétique occupent une part très importante des émissions

- 24% achat alimentation

> dont Viande 38% + produits lactés (dérivé essentiellement du cheptel bovin) = entre 50 et 66% de l'empreinte carbone de l'alimentation d'un Français

> Précision sur le mode de calcul : cycle de vie complet, tout ce qui a été nécessaire pour produire la viande

: des émissions servant à faire pousser la nourriture des animaux, en passant par le diesel des machines agricoles, la fabrication des engrais azotés N2O, émissions de protoxydes d'azote en provenance des champs, émissions du métabolisme des ruminants / Méthane, ...

> 1 vache dans sa vie produit 30 tonnes de lait / 10 tonnes de lait par an

> 10 litres de lait nécessaires pour 1 kg de fromage type Conté : contenu carbone du Conté 10 fois supérieur au contenu Carbone du lait

- 23% achats / biens de consommation

> depuis 1990 croissance due aux émissions liées à l'électronique grand public (33%), les autres postes sont stables

> les émissions du système numérique mondial (= la production annuelle des ordinateurs, serveurs, pc, Smartphones + éléments de réseau pour les faire communiquer + électricité) = 4% des émissions planétaires et en augmentation de 10% par an

> dématérialisation = pollution = non durable

>> alimentation + achats : la moitié de l'empreinte carbone d'un Français se trouve dans l'alimentation et les achats

- 18% déplacements individuels (dont 80% voiture et presque 20% pour l'avion, qui était quasiment à 0 en 1990 : rapporté à l'heure de travail, facteur prix divisé par 10)

> ne prend pas en compte les déplacements professionnels

- 17% services (dont 72% Services publics)

> exemple Education nationale, 1 million d'employés à déplacer, chauffer, ...

> exemple Secteur de la Santé, environ 5% de l'empreinte carbone de la France (fabrication matériel et médicaments, bâtiments, ...)

> exemple Armée. Consommation de pétrole de l'armée US : entre le 1/3 et la moitié de la consommation de pétrole de la France.