

VIII - LA COMPTABILITÉ CARBONE



Chapitre 42 - La nécessité d'un changement de paradigme économique

▶ <https://youtu.be/UPy7XeKO3F0>

Chapitre 43 - Bilan carbone et PRG

▶ <https://youtu.be/PT8a5WwpM98>

Chapitre 44 - Calcul et mesure des émissions de GES

▶ <https://youtu.be/PMf-gcEyFL8>

- A / Les calculs
- B / Les facteurs d'émissions pour l'énergie
- C / Les facteurs d'émissions pour l'électricité
- D / Les facteurs d'émissions pour les matériaux de base
- E / Les facteurs d'émissions pour le transport
- F / Les facteurs d'émissions pour la nourriture

Chapitre 45 - Le bilan carbone préalable à l'action

▶ <https://youtu.be/LutzgmRcwWk>

Éléments de base sur l'énergie au 21^è siècle



Jean-Marc Jancovici – Mines Paristech 2019 Partie 8 - Le carbone et son contrôle de gestion

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

Résumé des cours précédents : histoire d'un pari faustien, comme Faust les hommes ont vendu leur âme au diable en échange d'un instant de félicité sur Terre.

Sujet de la leçon :

- comment aborder la problématique du dérèglement climatique du point de vue des entités économiques
- le carbone et son contrôle de gestion

Notre axiome (de type « terre plate ») de départ



Les ressources naturelles **sont inépuisables**, car sans cela, nous ne les obtiendrions pas **gratuitement**. Ne pouvant ni être multipliées ni épuisées, **elles ne sont pas l'objet des sciences économiques**.

Jean-Baptiste Say, *Traité d'économie politique* (1803)

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

Rappel : la théorie économique classique ne prend pas en compte

- les ressources naturelles
- donc la dépendance des activités productives à l'énergie

- et par voie de conséquence elle occulte le dérèglement climatique

L'argent ne tenant pas compte des limites naturelles, le conflit d'objectif est inévitable lorsqu'il s'agit de poser des limites aux entités économiques, et en premier lieu aux entreprises dont le Code civil stipule que leur but est le profit.

Notre capital de départ



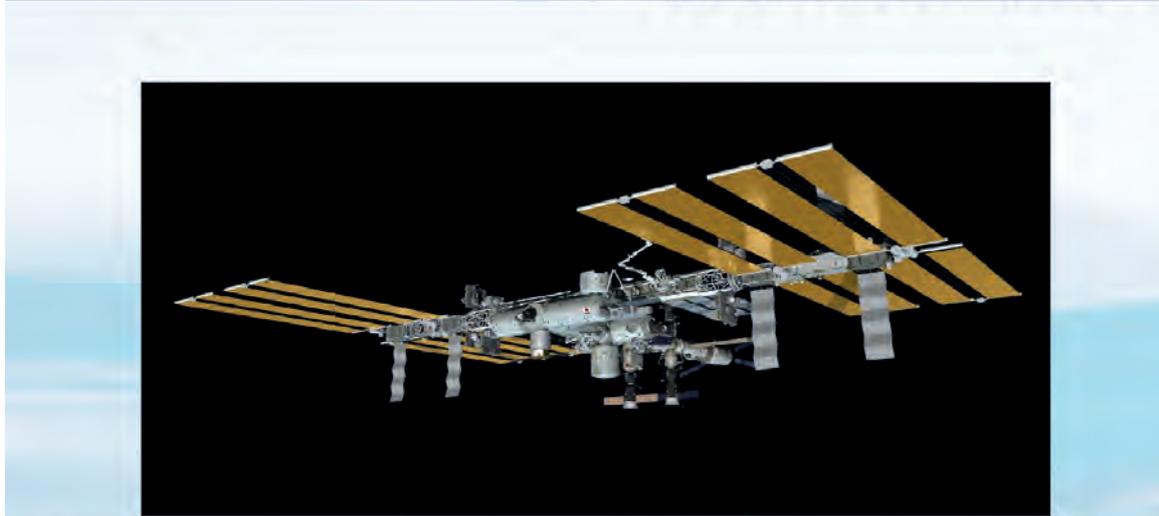
GRATUIT !

Le seul vaisseau spatial habitable pour 7 milliards d'habitants que nous ayons à notre disposition

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

L'économie classique considère que les ressources fournies par la Terre sont gratuites, même s'il a fallu 14 milliards d'année depuis le Bigbang pour créer la planète.

Et si on veut le remplacer ?



100 milliards de dollars pour 6 habitants (15 milliards par habitant). Pas d'espèces, pas de sols, pas d'océan, et bien sûr aucune mine ni aucun pétrole. Combien vaut la planète ?

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

Considérer les ressources naturelles comme gratuites relève de la pure convention économique, elle est totalement hors-sol dès que l'on opte pour une approche physique des éléments.

Preuve :

- la station spatiale internationale est capable d'héberger 6 personnes
- il faut pour cela recréer les conditions de vie terrestre (protection contre le vide sidéral, contre le froid, fournir l'air, l'eau et l'énergie, ... le strict minimum pour la vie humaine)

- et dépenser pour sa construction 100 milliards de dollars

Dit autrement pour 15 milliards de dollars par occupant, la station est capable d'assurer 3 fonctions disponibles naturellement sur Terre : eau, chaleur, air.

Question : à ce tarif, combien vaut la planète ?

Rions un peu (si l'on veut...)

Par habitant, la planète vaut au moins aussi cher que la station spatiale internationale, soit 15 milliards de dollars

Nous en détruisons au moins 1‰ par an, soit 15 millions de dollars « détruits » par personne et par an

La production économique au sens du PIB est de 15.000 dollars par terrien et par an

Combien de temps peut survivre une entreprise qui, chaque année, facture 1000 fois moins que la perte de son capital de départ ?

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

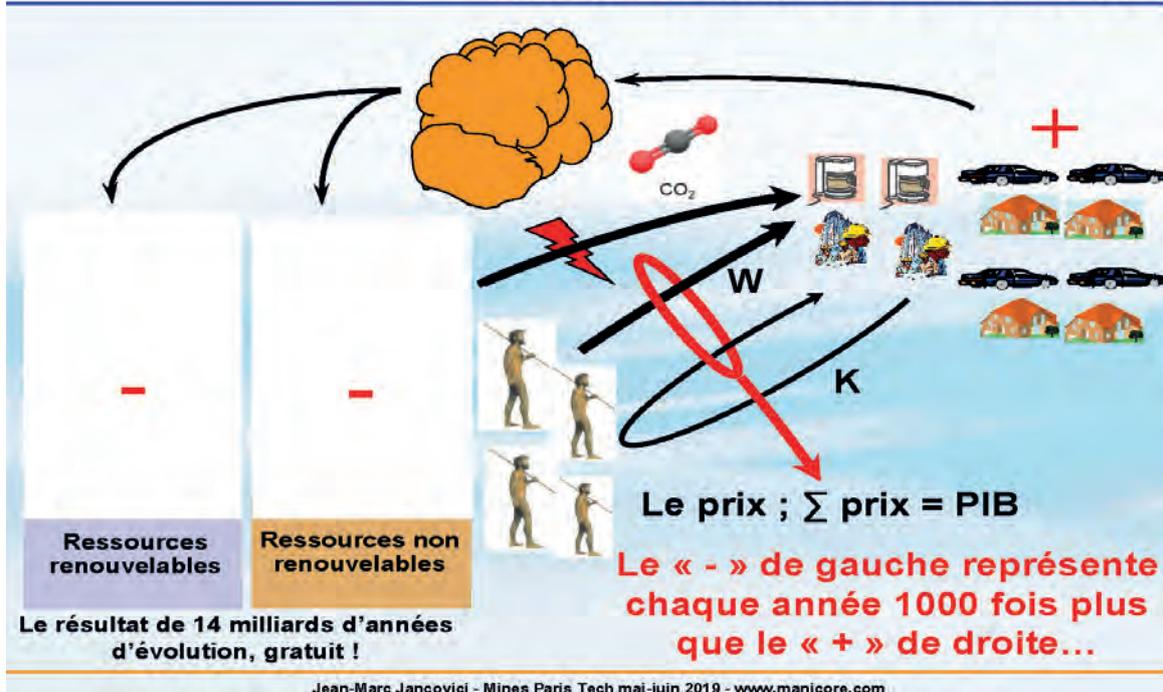
Petit calcul "amusant" si on pose par convention que la planète et la station spatiale internationale ont la même valeur :

- nos sociétés exploitent le capital naturel initial, c'est à dire le stock de minerais (or, argent, ...) et autres matières premières au rythme de 1/1000 par an. C'est une moyenne optimiste, par exemple l'extraction du pétrole ou la pêche se font à un rythme beaucoup plus soutenu
- nos sociétés détruisent donc 15 millions de ressources naturelles par personne et par an alors qu'elles ne produisent que 15 000 dollars de PIB par personne et par an, soit 1000 fois moins.

Conclusion :

- ne pas avoir intégré les ressources naturelles dans les prix explique que les prix n'aident en rien à gérer les enjeux liés au dérèglement climatique. La monnaie / la fixation des prix ne comporte en elle-même aucun indicateur quant aux limites physiques
- dit autrement, comprendre comment se fixent les prix est inutile pour décarboner la société.

L'économie mondiale en un clin d'œil



Ce qui compte aujourd'hui c'est le PIB, c'est à dire un flux annuel de transformation (= prendre des ressources pour les transformer en produits manufacturés).

Alors que si l'on voulait être véritablement pertinent au regard des limites physiques, il faudrait passer à une comptabilité de stock (= cela consiste à comptabiliser dans les "dépenses" les ressources consommées)

Le fait que le PIB soit une unité de flux et pas une unité de stock présente un danger majeur : lorsque la croissance du PIB ralentit (voire s'inverse) du fait de manque de ressources, c'est qu'il est déjà trop tard pour espérer rétablir la situation. C'est tout le propos du livre "Limit to growth" publié en 1972 par Denis Meadows & Co au MIT : la poursuite de la croissance perpétuelle nous conduira dans un état final d'"Overshoot and collapse" (= atteinte d'une limite puis effondrement).

Si on veut traiter des limites physiques, il faut

- un autre outil que le PIB ou la monnaie qui sont inopérants pour les enjeux naturels
- une comptabilité spécifique prenant en compte les ressources et la diminution des stocks

Reprenons : nos prix sont faux, et notre économie aussi

Nous avons tous appris ~~$P = F(K, W)$~~ . Les ressources naturelles ne sont pas dans la formation des prix : seuls y figurent le coût du travail humain, et le consentement - humain - à se défaire de sa propriété

En fait $P = F(K, W, R)$. Il faut « corriger » les prix de :

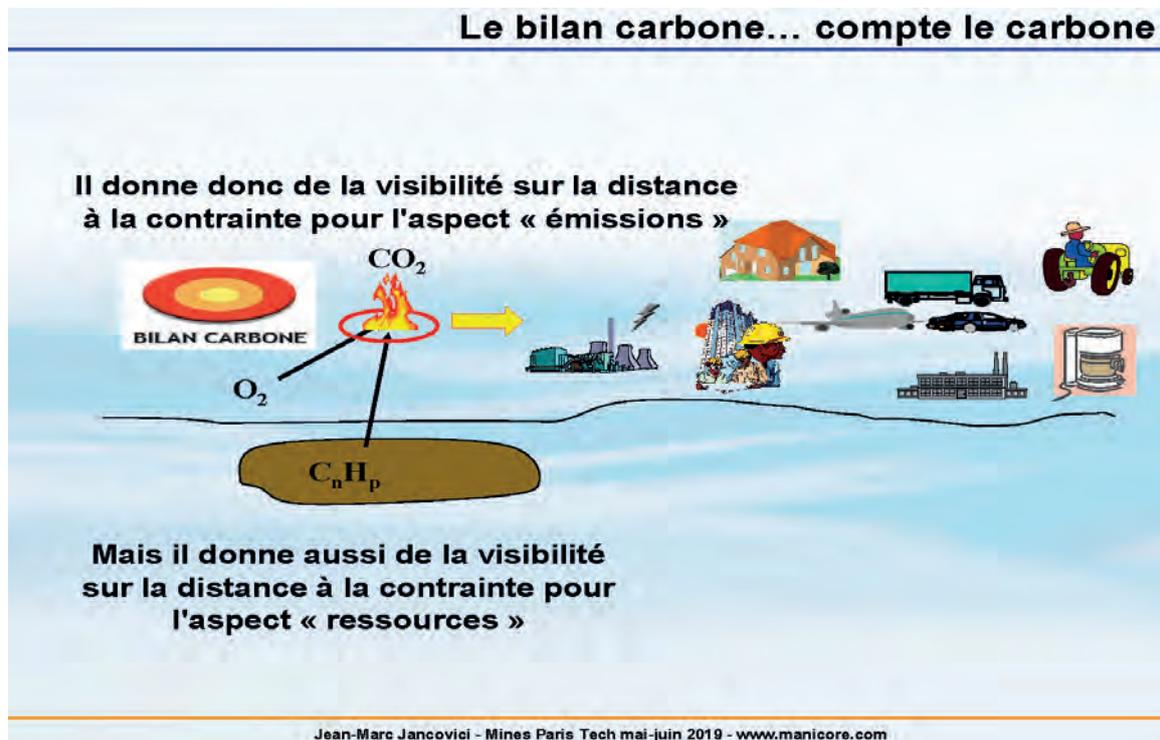
- la « dotation aux amortissements » pour diminution des stocks de toute sorte, et notamment d'hydrocarbures
- la « provision pour risques » pour perturbations à venir, dont le changement climatique

L'énergie – donc le carbone pour 80% - est un **traceur des flux physiques** -> elle permet de détecter les signaux faibles

1ère option consisterait à modifier la convention comptable / corriger les comptes :

- Prix = 2 Facteurs (Capital, Travail) devient Prix = 3 Facteurs (Capital, Travail, Ressource naturelle)
- Cela revient à inclure dans l'équation une dotation aux amortissements : puisque la production consomme une partie du stock / des ressources non renouvelables (par exemple les hydrocarbures), la part consommée entre dans les charges.
- Sans oublier un coût supplémentaire lié aux risques différés dans le temps (les émissions actuelles auront des conséquences / un coût différé pour la génération suivante). En comptabilité, cela prend la forme d'une "provision pour risque" (mettre dans les charges un montant pour "réparer" les dégâts)

Chapitre 43 - Bilan carbone et PRG



Les prix ne permettent pas de détecter les signaux faibles (information d'alerte précoce, de faible intensité, pouvant être annonciatrice d'une tendance ou d'un événement important), il faut se fier aux mesures physiques et non pas économiques.

Il faut établir une comptabilité distincte de la comptabilité monétaire et qui s'attache directement à l'observation des flux physiques.

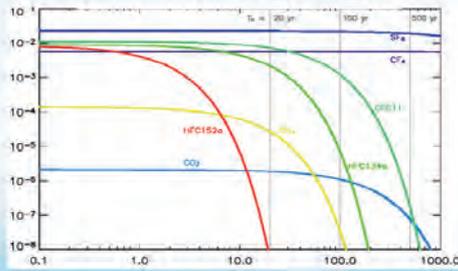
Le bilan carbone (= la comptabilité carbone) regarde avec des unités physiques (des unités de masse en l'occurrence) la quantité de carbone extraite du sol qui une fois oxydée termine dans l'atmosphère. Cela s'applique à tous les GES : CO₂, méthane, etc.

Le bilan carbone se situant entre le réservoir et l'atmosphère, il permet d'obtenir une visibilité sur la contribution de chacune de nos activités sur l'enrichissement de l'atmosphère en GES. C'est son rôle initial. En bonus, et par construction, la même métrique permet de connaître le stade d'épuisement des ressources / la distance à la contrainte pour l'aspect "ressources".

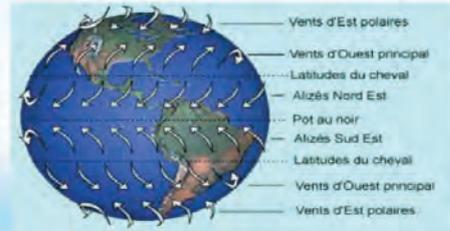
Il y a un double intérêt donc de la comptabilité carbone / du bilan carbone puisque la même comptabilité physique permet de s'attaquer à 2 problèmes distincts :

- la question de la disponibilité en combustibles fossiles
- la question du réchauffement climatique

Additionner, mais quoi ?



+



= **le lieu d'émission est sans importance pour l'avenir climatique**

Cela donc du sens de mettre dans un même calcul toutes les émissions, quel que soit le lieu, pourvu qu'elles se rapportent à une même entité, pour laquelle le total a du sens.

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

Qu'est-ce qui légitime le fait que l'on additionne des émissions de GES provenant de lieux géographiquement distincts ?

Ce n'est pas légitime par exemple pour les émissions de dioxyde de soufre, qui :

- provoquent de la pollution locale
- sous forme de pluies acides et d'aérosols réfléchissant à proximité des sources d'émission

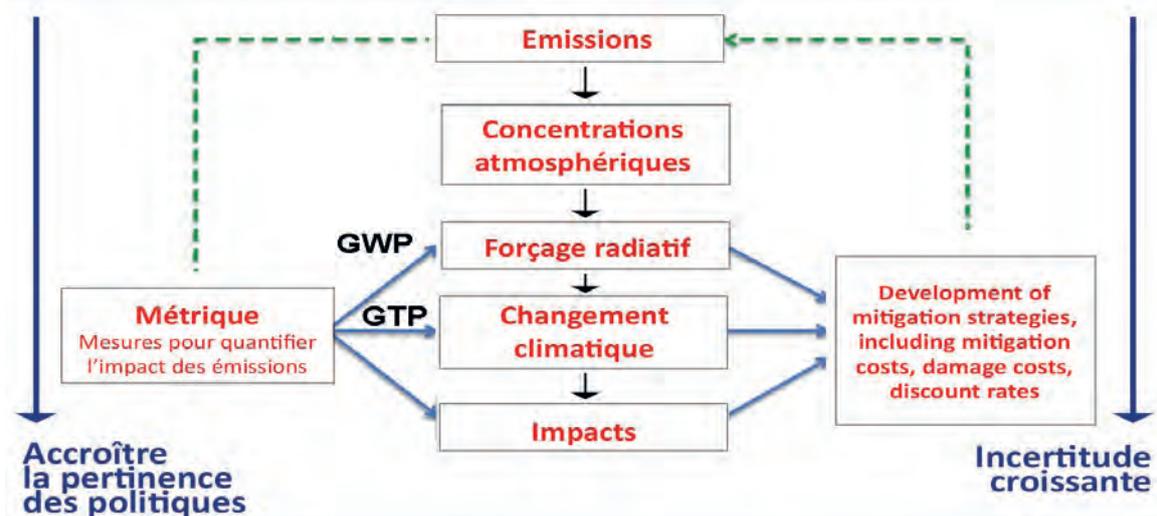
Les caractéristiques physiques des GES rendent légitime leur adition quelque soient les lieux d'émission

- les GES ont un très grande longévité chimique, ils restent longtemps dans l'atmosphère (décennies ou siècles)
- or l'atmosphère circule et est brassée continuellement et quasiment sur la totalité de l'espace planétaire en 1 ou 2 ans

Par conséquent

- le lieu d'émission est sans importance pour l'avenir climatique
- et il est donc fondé d'additionner les émissions des activités de production aboutissant à tel ou tel produit (par exemple évaluer le bilan carbone de la fabrication du foie gras, de l'élevage des oies à la livraison au magasin en passant par la fabrication de la conserve). Cela permet de cibler les secteurs qui pèsent le plus lourd dans le bilan carbone.

Mesurer, pourquoi faire ?



Source : IPCC, 5^e rapport d'évaluation, 2014

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

Les émissions de GES provoquent un enchaînement de causes / conséquences :

- modification des concentrations atmosphériques
- augmentation du forçage radiatif
- provocation du changement climatique
- impacts

Difficulté intrinsèque :

- on sait simplement mesurer les émissions provoquées par l'activité humaine.
- mais personne n'hérite directement des conséquences de ses propres émissions puisqu'elles sont brassées dans l'atmosphère commune

Il n'y a pas de lien de cause à effet direct entre les émissions domestiques (parfaitement mesurables) et les conséquences du changement climatique.

2 grandeurs utilisées pour mesurer le changement climatique :

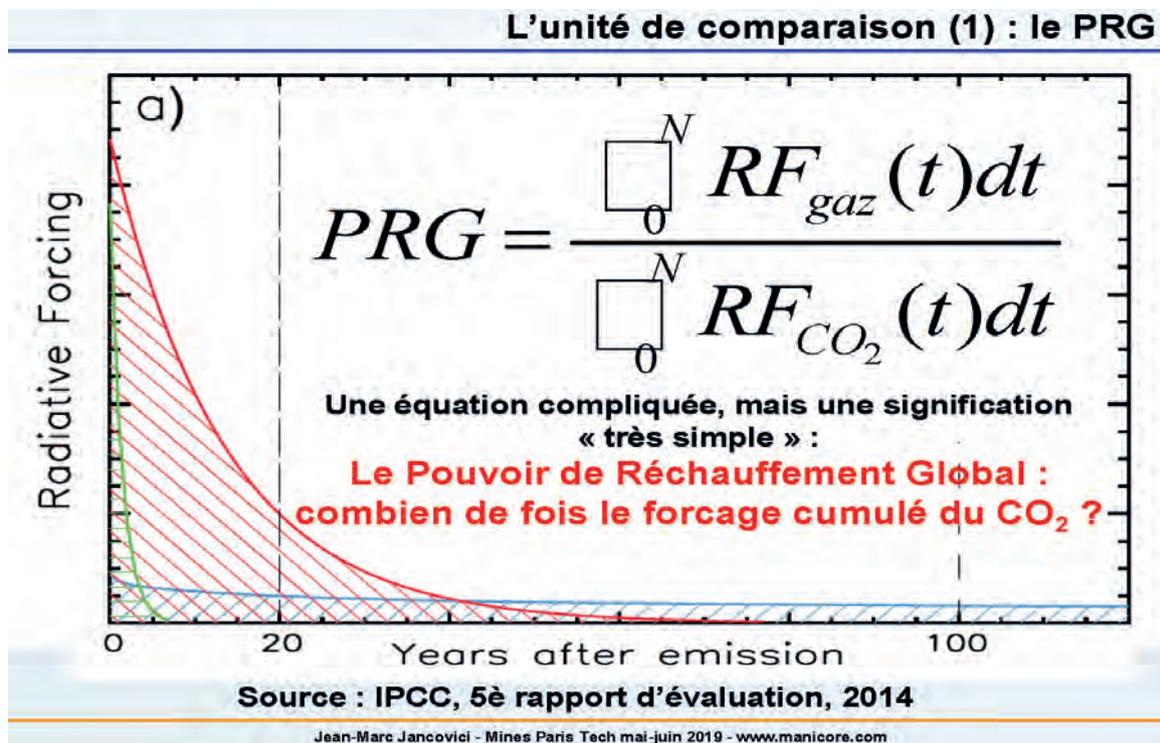
- GWP / Global Warming Potential / Pouvoir de Réchauffement Global : utilisé pour mesurer le forçage radiatif
- GTP / Global Temperature Potential : rarement utilisé

GWP : consiste à mesurer la quantité totale d'énergie renvoyée vers la surface qui fait suite au renvoi dans l'atmosphère d'une unité de GES

- émission de GES
- augmentation de l'effet de serre
- augmentation du flux radiatif renvoyé vers le sol

La question est :

- quel le lien / le rapport entre le supplément de GES émis et le supplément d'énergie récupéré au sol ?
- et puisqu'il s'agit d'un forçage radiatif / d'une puissance, il est nécessaire pour pouvoir calculer ce forçage radiatif de se donner un horizon de temps



Le pouvoir de réchauffement global se définit comme :

- le forçage radiatif (RF) du gaz à effet de serre, cumulé sur un horizon de temps donné
- mesuré non pas en valeur absolue mais par souci de simplification en relatif, c'est-à-dire rapporté au forçage radiatif du CO₂ sur le même horizon de temps

Signifie que le PRG consiste à déterminer :

- combien de fois plus ou combien de fois moins de forçage cumulé de CO₂ pour tel ou tel GES ?
- dit autrement quel multiple du forçage cumulé de CO₂ pour tel ou tel GES ?

Par définition le PRG, quelque soit l'horizon de temps, est bien entendu 1.

Le PRG en pratique

| | Lifetime (years) | | GWP ₂₀ | GWP ₁₀₀ | GTP ₂₀ | GTP ₁₀₀ |
|------------------|------------------|------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| CH ₄ | 12.4* | No cc fb | 84 | 28 | 67 | 4 |
| | | With cc fb | 86 | 34 | 70 | 11 |
| HFC-134a | 13.4 | No cc fb | 3710 | 1300 | 3050 | 201 |
| | | With cc fb | 3790 | 1550 | 3170 | 530 |
| CFC-11 | 45.0 | No cc fb | 6900 | 4660 | 6890 | 2340 |
| | | With cc fb | 7020 | 5350 | 7080 | 3490 |
| N ₂ O | 121.0* | No cc fb | 264 | 265 | 277 | 234 |
| | | With cc fb | 268 | 298 | 284 | 297 |
| CF ₄ | 50,000.0 | No cc fb | 4880 | 6630 | 5270 | 8040 |
| | | With cc fb | 4950 | 7350 | 5400 | 9560 |

Source : IPCC, 5^e rapport d'évaluation, 2014

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

- Tous les GES autre que le CO₂ ont un PRG supérieur à 1
- Le PRG à 20 ou 100 ans n'est pas le même : le délais d'épuration varie en fonction des gaz
 - Si la durée de vie d'un gaz dans l'atmosphère est supérieure à celle du gaz de référence le CO₂, son PRG augmente avec l'horizon temporel. Typiquement : les gaz fluorés utilisés dans la chaîne du froid
 - Si la durée de vie d'un gaz dans l'atmosphère est inférieure à celle du CO₂, son PRG diminue avec l'horizon temporel.

L'horizon temporel est essentiel pour réaliser des choix dans la diminution de l'émission de GES :

- cela permet de fixer des priorités
- il faut être capable de comparer les gaz pour passer à l'action efficacement

Exemple : si on passe de l'horizon temporel de 100 ans à 20 ans, la question du cheptel bovin devient cruciale. Elle l'est beaucoup moins urgente si on considère 100 ans.

Les pays ont déjà leur comptabilité du problème aval

Dans le cadre de la Convention Climat (UNFCCC), les pays doivent faire des inventaires d'émission :

Prenant en compte toutes les sources présentes sur le territoire, mais rien que ces sources (pas de prise en compte des importations et exportations)

Limités aux « 6 gaz » : CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC, SF₆ (ni ozone, ni vapeur d'eau stratosphérique)

Dont la communication est obligatoire dans le cadre de la convention Climat

Dont ils peuvent déduire ce qui est économisé « ailleurs », sous certaines limites

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

Une fois qu'on est capable de comparer les gaz, on est capable de faire un inventaire "tous gaz confondus".

Historiquement, la Convention climat de la Conférence de Rio (1992) a été la première occasion de réaliser des inventaires des GES à grande échelle. Il était alors question de mesurer les émissions de GES afin de les limiter (dans le texte : "limiter le changement climatique anthropique à un niveau qui ne présente pas de danger pour l'humanité").

Dans le cadre de la Convention climat il a été décidé que chaque pays mesurerait ses émissions de GES, il s'agit donc d'un inventaire domestique.

Le bilan d'une usine sur le territoire est dans l'inventaire, celui d'une usine dont on importe les produits ne sont pas dans l'inventaire. C'est la grande différence entre :

- un inventaire national
- un inventaire empreinte carbone

Les GES concernés initialement sont au nombre de 6 :

- CO₂ - Dioxyde de carbone
- CH₄ - Méthane
- N₂O - Protoxyde d'azote
- HFC - Hydrofluorocarbure
- PFC - Composés perfluorés
- SF₆ - Hexafluorure de soufre

Note : les mesures de CO₂ de l'atmosphère existent depuis les années 60, il faut attendre les années 90 pour les autres gaz.

Un septième a été ajouté récemment mais totalement insignifiant dans les inventaires :

- NF₃ - Trifluorure d'azote

Un inventaire de GES est

- un inventaire national qui prend en compte l'ensemble des sources (x7)
- et qui mesure également le puits forestier du territoire national afin de le déduire des émissions.

Notes :

- Si le pays déforeste (Brésil, Indonésie, ...), on ne parle plus de puits car la forêt devient une "source d'émission", qui dans l'inventaire doit être additionnée aux 6 gaz à effets de serre. En effet, déforester revient à brûler un stock de carbone qui se retrouve dans l'atmosphère sous forme de CO₂.
- La croissance d'une forêt est parfois difficile à estimer, une partie de son exploitation échappe au commerce / à la facturation et les outils de mesure aériens ne permettent pas d'affiner les estimations

En France, cet inventaire est établi par le CITEPA, <https://www.citepa.org>. Chaque pays dispose de ce type d'organisme.

Et la France en a rajouté une couche

Loi Grenelle 2, votée en mai 2010 :

Sont tenus d'établir un bilan de leurs émissions de gaz à effet de serre :

1 - Les personnes morales de droit privé employant plus de cinq cents personnes ;

2 - L'état, les régions, les départements, les communautés urbaines, les communautés d'agglomération et les communes ou communautés de communes de plus de 50 000 habitants ainsi que les autres personnes morales de droit public employant plus de deux cent cinquante personnes

Ce bilan est rendu public. Il est mis à jour au moins tous les trois ans. Il doit avoir été établi pour le 31 décembre 2012.

Evaluation en France s'affine à partir de la loi Grenelle 2 voté en mai 2010. Obligation d'un inventaire

- pour les entreprises de plus de 500 personnes
- pour l'Etat, les Régions, les Départements et les communes de plus de 50 000 habitants
- pour les personnes morales de Droit public de plus de 250 personnes

> inventaires peu contraignant car ne devaient comptabiliser que les émissions directes

> exemple pour un supermarché, la seule émission à comptabiliser selon cette loi est celle de la chaudière et pas les produits en rayon ni les camions de livraison ou les voitures des clients...

Et la France en a rajouté une couche

Article 173 de la loi de transition énergétique :

Le rapport présenté par le conseil d'administration ou le directoire (...) à l'assemblée générale (...) comprend (...) des informations sur la manière dont la société prend en compte (...) les conséquences sur le changement climatique de son activité et de l'usage des biens et services qu'elle produit ;

Les établissements de crédit et les sociétés de financement mettent en place des dispositifs, stratégies et procédures (...) leur permettant de détecter, de mesurer et de gérer les risques auxquels ils sont ou pourraient être exposés du fait de leurs activités.

Ces risques incluent notamment (...) les risques mis en évidence dans le cadre de tests de résistance régulièrement mis en œuvre.

Le Gouvernement remet au Parlement, avant le 31 décembre 2016, un rapport sur [les] risques associés au changement climatique

Les entreprises d'assurance et de réassurance (...), les mutuelles (...), les institutions de prévoyance (...), [et divers établissements publics assimilés] mentionnent dans leur rapport annuel (...) les moyens mis en œuvre pour contribuer à la transition énergétique et écologique. (...) La prise en compte de l'exposition aux risques climatiques, notamment la mesure des émissions de gaz à effet de serre associées aux actifs détenus, ainsi que la contribution au respect de l'objectif international de limitation du réchauffement climatique et à l'atteinte des objectifs de la transition énergétique et écologique [à fournir]

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

Deuxième loi passée en 2015, loi dite de la Transition énergétique, est beaucoup plus contraignante

- il faut prendre en compte les émissions qui sont la contrepartie de l'activité de façon beaucoup plus large, c'est à dire tous les postes significatifs d'émission de GES
- concerne toutes les entreprises de 500 employés mais également toutes celles côtés et / ou ayant un CA supérieur à 100 millions d'€
- le rapport à publier par les entreprises est désormais annuel (non plus tous les 4 ans) et contrôlé (Commissaire aux comptes)

Exemple pour un supermarché, il faut désormais comptabiliser

- les émissions des camions qui livrent la marchandise (sans camion = rien à vendre dans le supermarché)
- les émissions des véhicules des clients
- les émissions liées à la fabrication des produits
- ...

La LTE impose également au secteur financier (banques, assurances, mutuelles ...), la publication d'un rapport indiquant

- l'empreinte carbone des portefeuilles détenus (actions d'entreprises, dettes d'Etats, ...)
- les moyens mis en oeuvre pour contribuer à la transition énergétique
- les risques d'exposition de leurs activités financières du fait du changement climatique

Exemple de risque économique : Allemagne, fin 2018, petite récession économique due à une sécheresse très intense au sud du pays. Le débit du Rhin a cessé d'être navigable pour les convois les plus lourds, empêchant

- certaines centrales électriques alimentées au charbon de fonctionner
- et certains industriels de faire fonctionner leurs usines

Cette contrainte aux organismes de crédit et établissement financiers n'est pas vraiment pesante, obéit au principe du "Comply or explain" / "se conformer à la demande ou alors expliquer pourquoi vous ne l'avez pas fait".



Non traité



Lorsque l'article 173 de loi LTE est passé en 2015, la France était le seul pays au monde a demandé aux entreprises de tenir compte des émissions amont et aval dont elles dépendaient.

Scope 1 : reporting des émissions directes

Scope 1+2 : reporting des émissions directes + émissions indirectes dues à l'approvisionnement énergétique (= les émissions des centrales électriques, des voitures de fonction, des chauffages au fuel s'il y a lieu, etc.)

Scope 1+2+3 : amont + aval

Les scopes 1 et 2 sont des mesures très partielles, avec inévitablement un "effet lampadaire" :

- "pourquoi est-ce que tu cherches tes clés sous le lampadaire ? Il n'y a que là qu'il y a de la lumière."
- dit autrement n'incite pas les entreprises à ne se soucier que des émissions domestiques / infra-entreprise et ne pas du tout tenir compte des émissions induites, "externalisées"

En économie, un maître mot : la dépendance

Le bilan carbone vise à caractériser non un lien de responsabilité ou de territorialité, mais un **lien de dépendance :**

Dans le BC d'un magasin, on doit trouver le fret pour acheminer les marchandises jusqu'au magasin

Dans le BC d'un distributeur d'eau, on doit trouver les émissions de fabrication des tuyaux renouvelés

Dans le BC d'un coiffeur, on doit trouver les émissions de fabrication des laques, mais aussi celles du chauffage du magasin ou encore celles liées au déplacement des client(e)s

Dans le BC d'un constructeur d'immeubles on doit trouver les émissions de fonctionnement de l'immeuble une fois vendu, et dans le BC d'un constructeur auto celles du fonctionnement des véhicules après la vente

Dans le BC d'une banque il y aura les émissions de fabrication de l'informatique, voire celles de la formation des informaticiens...

On peut encore faire le BC d'un toiletteur pour chiens, d'un fabricant de bottes, d'une agence de mannequins ou d'une école d'ingénieurs !

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

Avec le bilan carbone, il s'agit de réaliser un inventaire d'émissions afin de caractériser / décrire un lien de dépendance

- non pas un lien de responsabilité
- ni de territorialité

Il s'agit en premier lieu pour l'entreprise de comprendre de quels processus dépend son activité :

- pour un magasin, prise en compte du fret
- pour un distributeur d'eau, prise en compte des émissions dues à la fabrication des tuyaux, des regards en fonte, du chauffage de l'eau
- pour un coiffeur, comptabilisation des produits cosmétiques, du déplacement des clients, du chauffage de la boutique
- pour un constructeur d'immeuble, comptabiliser les émissions dues aux équipements de chauffage, aux voies d'accès, ...
- pour un constructeur de voitures, comptabiliser les émissions dues au fonctionnement des voitures après la vente. Se contenter des émissions directes d'un constructeur automobile (sa chaudière, ses machines outils, ...) est très partiel lorsqu'il s'agit de mesurer les émissions dont il dépend. Il faut également comptabiliser les émissions produites par les voitures une fois vendues si l'on veut se donner les moyens d'agir sur le bilan carbone du constructeur et atteindre les +2° C d'ici 2050 (= division des émissions par 3). La question que doit se poser / pouvoir résoudre le constructeur avec un Bilan carbone, est de savoir à quoi ressemblerait un monde avec des émissions divisées par 3, de gré ou de force.
- pour le secteur bancaire, le Bilan carbone de son activité directe (chauffage des locaux, électricité, informatique ...) est une part infime de son bilan carbone, il faut incorporer les émissions induites dans les activités détenues dans le portefeuille financier.

Note : l'empreinte carbone du numérique traitée par le Shift Project, <https://theshiftproject.org/article/deployer-la-sobriete-numerique-rapport-shift/>. La digitalisation est un phénomène qui accroît les émissions de gaz à effet de serre

Le bilan carbone concerne toutes les activités économiques :

- Toute activité économique est une activité de transformation
- Toute transformation implique de l'énergie
- La production d'énergie étant essentiellement fossile
- Alors, toute activité économique est susceptible de faire l'objet d'un bilan carbone

Le carbone est toujours présent dans les activités économiques, c'est une "monnaie" au sens où

- il peut servir à agréger tous les processus qui comptent dans une transformation productive
- il a une valeur universelle, ne varie pas en fonction de l'endroit d'émission

Qu'allons nous compter exactement ?

Comme les inventaires de l'UNFCCC, le bilan carbone est un inventaire (particulier) des émissions humaines de GES

Seules sont prises en compte les émissions qui modifient de manière discernable le forçage radiatif du gaz considéré

les émissions directes de vapeur d'eau sont exclues (pas de modification de la concentration dans l'air), sauf dans le cas de la stratosphère (avion)

les émissions de CO₂ organique sont exclues pour toute combustion de biomasse qui se renouvelle

Seuls sont pris en compte les gaz directement émis dans l'air sans nécessité de réaction chimique atmosphérique

l'ozone troposphérique est exclu (pas d'émissions directes et incapacité à calculer les émissions indirectes avec une règle simple)

L'unité de compte se base sur le PRG à 100 ans : PRG = équivalent CO₂

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

A / Les calculs

Dans un bilan carbone, toutes les émissions de GES aval et amont sont prises en compte.

Ce qui est pris en compte

- les gaz émis par l'activité humaine et qui modifient significativement la concentration atmosphérique
- les gaz émis directement

Les gaz qui n'ont pas d'émission directe ne sont pas pris en compte, dit autrement si une réaction chimique est nécessaire dans l'atmosphère pour pouvoir y déceler le gaz, celui-ci n'est pas comptabilisé. Exemple, l'ozone troposphérique (= près du sol) qui pourtant est un GES ne peut être inclus dans le bilan carbone car on est dans l'incapacité d'imputer ce surplus de GES à un individu donné, les paramètres sont trop nombreux (dépend des conditions météo, du comportement des autres individus au moment de l'émission, etc.) pour pouvoir établir un lien direct entre le surplus d'ozone et l'émetteur. L'ozone troposphérique n'est donc pas pris en compte dans les GES.

La vapeur d'eau n'est pas prise en compte

- les émissions de vapeur d'eau, pourtant un gaz à effet de serre. Par exemple, la vapeur d'eau d'un aéro-refrigérant de centrale électrique n'est pas comptabilisée dans le bilan carbone. Explication : émettre de la vapeur d'eau ne modifie pas significativement la concentration en vapeur d'eau de l'atmosphère. Cette concentration dépend seulement du fait des océans (2/3 de la surface de la Terre) et de la température de l'atmosphère, les émissions anthropiques de vapeur d'eau ne changent rien.
- exception concernant la vapeur d'eau, celle émise par les avions dans la stratosphère.

Le CO₂ émis par une biomasse qui se renouvelle est considérée comme neutre dans le bilan carbone, il n'est pas comptabilisé.

L'unité de compte est le PRG - Potentiel de réchauffement global à 100 ans.

Emissions de GES : calcul ou mesure ?

Pour une activité humaine, il n'est généralement pas possible de procéder par mesure directe : impossible de mettre un capteur sur tout pot d'échappement, ou de mettre toute vache sous cloche !

Le bilan carbone s'appuie donc sur des métrologies existantes (pompes à essence, masse des matériaux achetés, métrage des bâtiments construits, poids des déchets jetés, etc) et utilise un **facteur d'émission pour les « convertir » en émissions.**

Un facteur d'émission désigne donc la grandeur qui permet de convertir des « données d'activité » (litres d'essence consommés, km parcourus, tonnes d'acier coulé...) en équivalent carbone ou CO₂.

Il est souvent le résultat, pour le coup, d'une analyse « de laboratoire » ou d'un calcul précis.

**Exemple : combustion de 1 litre d'essence
émissions de CO₂ = FE x litres d'essence**

FE est le Facteur d'Emission. Il peut refléter un processus unique ou un ensemble de processus

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

Pas de mesure directe des GES, cela reviendrait à placer des capteurs sur chaque source émettrice. Donc passage obligé par un calcul et donc l'emploi d'un facteur d'émission.

Cela consiste à employer des données d'activité parfaitement mesurables :

- le débit des stations services / litres d'essence consommés
- le métrage des bâtiments construits
- le poids des déchets jetés
- la quantité de véhicules en circulation
- ...

Puis, pour obtenir la quantité de GES, on multiplie la donnée d'activité par un facteur d'émission, représentatif du processus moyen d'émission. Le facteur d'émission désigne la grandeur qui permet de convertir des "données d'activité" en équivalent carbone ou CO₂.

Le facteur d'émission peut être :

- mesuré, c'est alors un facteur d'émission élémentaire, qui en général est le résultat de données d'observations
- calculé lui-même. Exemple pour la combustion d'1 litre d'essence, on est capable en mesurant la quantité de CO₂ émis par le moteur des voitures, d'obtenir un facteur d'émission calculé, qui pourra être employé pour mesurer la pollution automobile en général.
- sophistiqué. Par exemple calculer le bilan carbone d'un repas en restauration collective, revient à effectuer des calculs compliqués sur la base de facteurs élémentaires

Une comptabilité carbone s'apparente à une comptabilité monétaire, elle est "chaînée" :

- les valeurs obtenues à l'aval
- dépendent de la manière dont on calcul les valeurs retenues à l'amont

Chaîne comptable :

- Les premiers facteurs d'émission sont ceux qui se trouvent près de la matière (la combustion d'1 litre d'essence, brûlet 1 kg e charbon, ...)
- Le deuxième facteur d'émission se situe juste avant l'exploitation de la matière, c'est par exemple l'extraction du pétrole, du minerais de fer, ...

... se complexifie selon les objets concernés :

- plus la mesure du bilan carbone concerne un produit manufacturé
- plus le résultat obtenu est le fruit d'un calcul (et moins le fruit de données d'observations des flux initiaux)

Attention à ne pas confondre carbone et CO₂ !

Dans CO₂, il y a... un atome de carbone et 2 d'oxygène

Et donc 1 kg de carbone qui brûle donne 44/12 (~3,67) kg de CO₂

Inversement un kg de CO₂ contient 12/44 de kg de carbone

Equivalent carbone -> x 44/12 -> équivalent CO₂

Equivalent carbone <- x 12/44 <- équivalent CO₂

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

Ne pas confondre Carbone et CO₂ !

Aujourd'hui l'unité de mesure est l'équivalent CO₂.

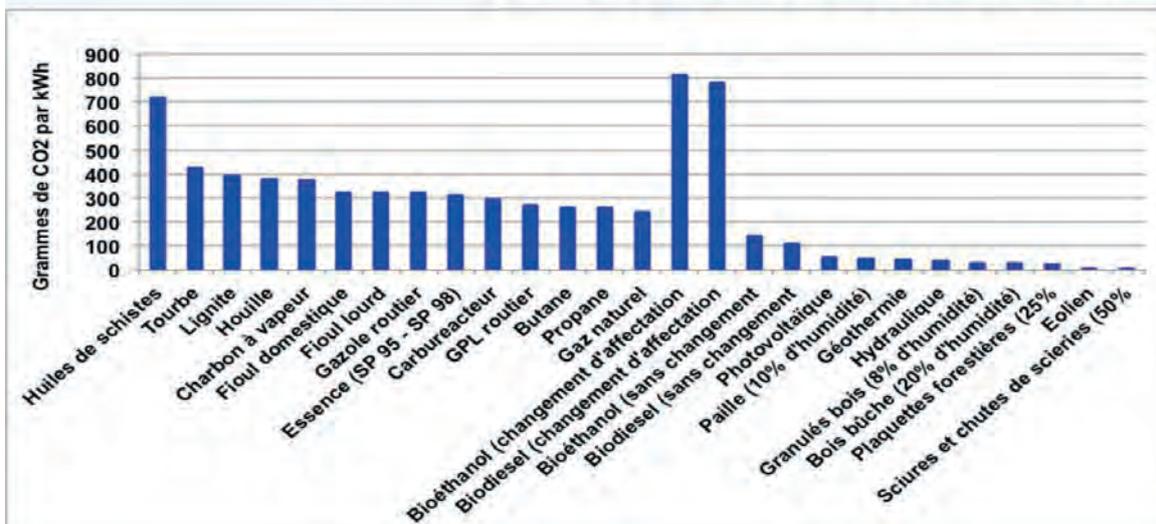
Auparavant, il s'agissait de l'équivalent Carbone :

- avantage d'être très simple pour lier émissions et extractions (les physiciens continuent à utiliser cette unité, par exemple les petagramme de carbone apparaissent dans les inventaires d'émissions)
- par exemple : extraire 1kg de carbone d'un puits de pétrole équivaut à 1 kg équivalent carbone de GES

La prise en compte des GES concerne à présent tous les agents de l'économie, la comptabilité carbone est passée à l'unité de mesure "équivalent CO₂" Pour faire le lien avec le carbone, il convient de diviser par 44 / 12e

B / Les facteurs d'émissions pour l'énergie

Facteurs d'émissions pour l'énergie



Grammes équivalent CO₂ par kWh, en analyse de cycle de vie.
Ademe, base carbone, 2015

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

Les facteurs d'émissions pour l'énergie

Concernant l'énergie, il s'agit essentiellement de facteurs d'émissions :

- résultant de données d'observations (dits "facteurs d'émissions élémentaires")
- et non pas le résultat de calculs plus ou moins sophistiqués (Les facteurs d'émissions calculés)

Combustibles solides (les plus émetteurs)

- Huiles de schistes (= ne pas confondre avec le Shell oil, les huiles de schistes sont un schiste bitumineux, c'est-à-dire un kérogène qui n'a pas fini d'être pyrolysé et qui doit être chauffé pour pouvoir en extraire du combustible)
- Tourbe
- Lignite
- Houille
- Charbon à vapeur

Combustibles liquides :

- Fiouls
- Gazole
- Essences...

Combustibles gazeux :

- Butane
- Propane
- Gaz naturel...

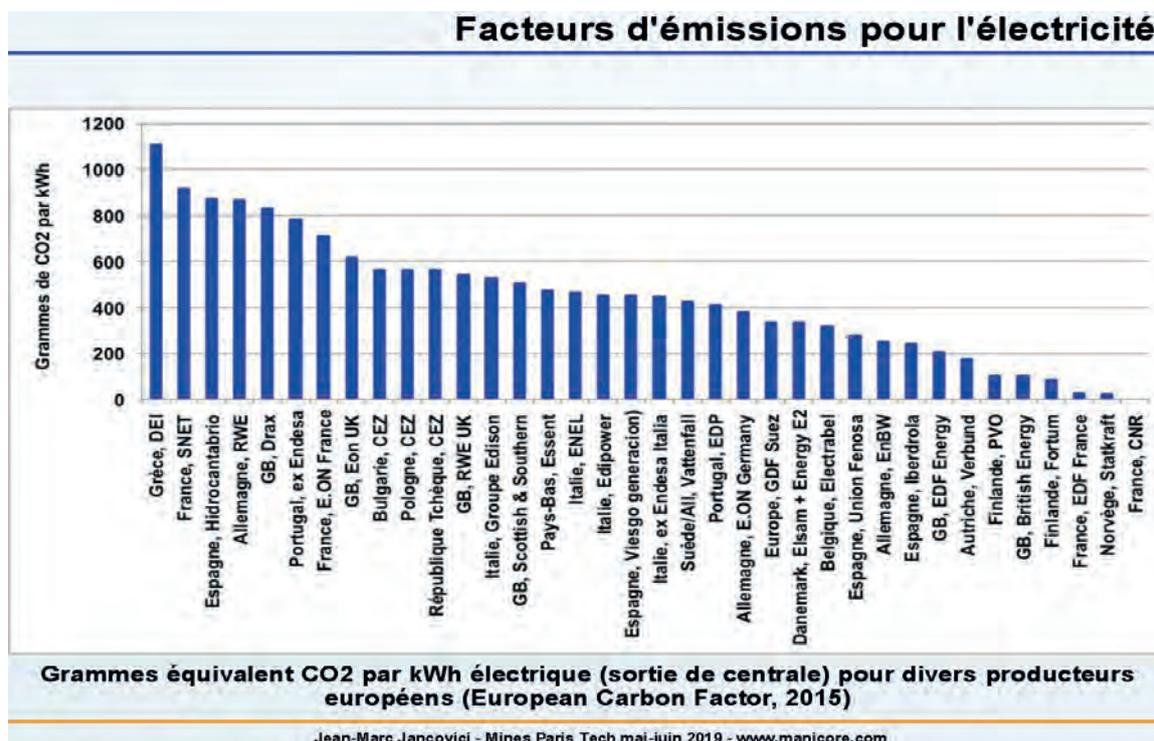
Conclusion :

- tous les combustibles fossiles émettent du CO₂
- passage du charbon au pétrole, pour une même quantité d'énergie thermique, économie de 25% d'émissions
- passage du pétrole au gaz, économie de 25% d'émissions
- passage vers les énergies renouvelables (à droite) permet d'économiser des émissions

Avec les biocarburants, le Bioéthanol et le Biodiésel, le facteur d'émission est déjà un peu composite / calculé

- avec changement d'affectation = avec déforestation (sans changement = sans déforestation)
- on tient compte dans la mesure, des émissions de production des biocarburants (produire les végétaux, les engrais azotés, récolte, presse ou distillation...) et de la déforestation (directe si les espaces pris sur la forêts sont dédiés à cette culture / indirecte si la production de biocarburant remplace une zone agricole déjà en exploitation)
- si pour produire des agrocarburants on est obligé de déforester, le résultat est encore bien pire que d'utiliser du pétrole

C / Les facteurs d'émissions pour l'électricité

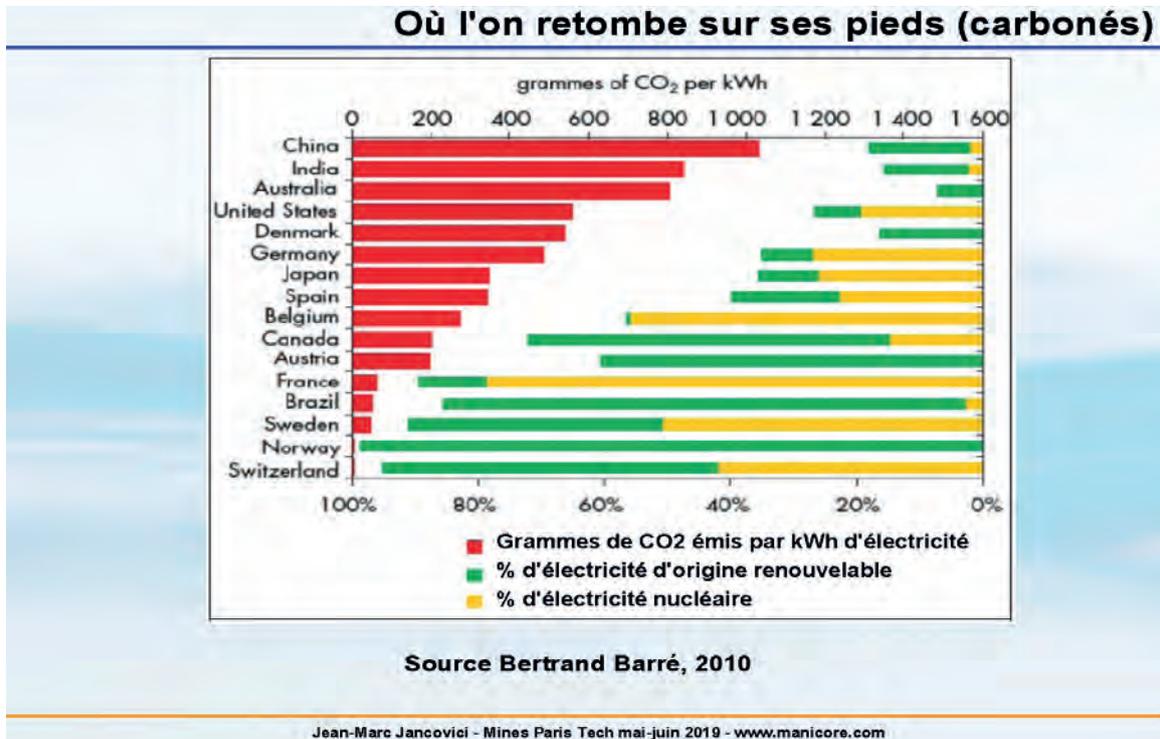


Facteurs d'émissions pour des électriciens européens.

Le facteur d'émission est extrêmement dépendant de la manière produire l'électricité

- à gauche : charbon
- à droite : hydraulique ou nucléaire

Passer du charbon au gaz puis aux énergies renouvelables voire au nucléaire est un moyen d'économiser des émissions / de faire baisser le facteur d'émission de l'électricité.



Facteur d'émissions de la production électrique dans différents pays

- permet de déduire les technologies dominantes, charbon vs ENR / nucléaire
- le facteur d'émission de la production électrique est grosso modo une fonction inverse de la part de nucléaire, d'hydroélectricité et de renouvelable présent dans mix de production électrique
- Brésil, Suisse, Norvège, Suède : essentiellement hydroélectricité
- Danemark : essentiellement des ENR
- Allemagne : beaucoup d'ENR
- France : essentiellement du nucléaire

- polymérisation des monomères, nécessite encore de la chaleur
- etc. la chaîne de fabrication du plastique est très émettrice de CO₂ du fait de ses grands besoins de chaleur

Wikipedia : le vapocraquage est un procédé pétrochimique qui consiste à obtenir, à partir d'une coupe pétrolière telle que le naphta, ou d'alcènes légers, des alcènes (éthylène, propylène) mieux valorisés. Ces alcènes sont principalement à la base de l'industrie des matières plastiques (polyéthylène, polypropylène, etc.)

La production de la plupart des métaux émettent du CO₂ car ils sont produits dans des fours, dont une partie est électrique, eux-mêmes alimentés par des centrales à charbon

- fours à nickel par exemple,
- une partie des fours à cuivre,

Pour l'aluminium on utilise également de grandes quantités d'électricité puisque l'aluminium se fabrique par électrolyse de l'alumine (30 à 40% des coûts de production de l'aluminium proviennent de l'électricité)

Emploi engins de mine + énergie carbonée pour réduire les molécules + électricité des fours = provoquent des émissions dans la production des matériaux de base :

- or (très émissif mais petites quantités)
- diamants (très émissif mais petites quantités)
- terres rares (très émissif mais petites quantités)
- aluminium
- nickel

En valeur absolue :

- L'acierie / la production d'acier est la première source de GES dans l'industrie de production des métaux de base. A lui seul ce secteur représente environ 4% des émissions de GES mondiales.
- Pour ce qui concerne les matériaux non métalliques, le premier est le ciment qui représente à lui seul environ 6% des émissions de GES mondiales.

Une moyenne peut avoir un écart type majeur

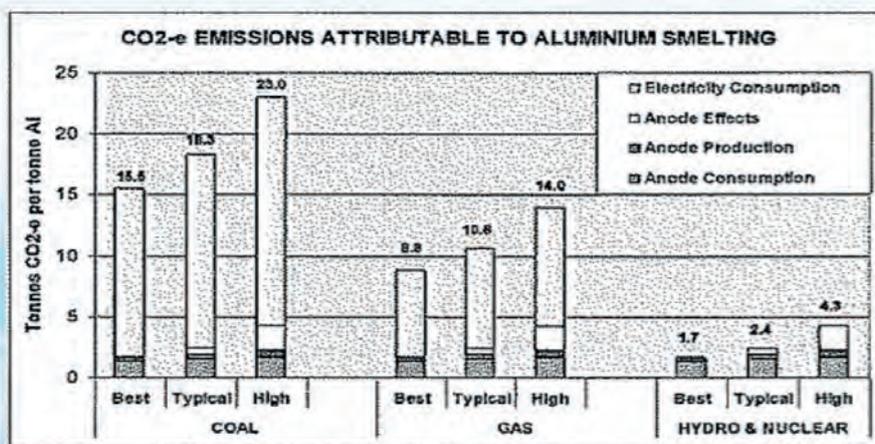


Figure 3 Total GHG Emissions Depending on Smelter Efficiency and Power Source

Source : « Aluminium smelting greenhouse footprint and sustainability », Jeffrey Keniry, 2008

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

Pour un même matériau de base, on peut observer une grande variabilité du facteur d'émissions possible.

Ce n'est pas le cas pour tous les matériaux de base : par exemple la fabrication de l'acier primaire ne peut pas réduire son facteur d'émission sous un certain seuil du fait de la structure chimique (fabriquer de l'acier consiste à réduire avec du carbone de l'oxyde de fer).

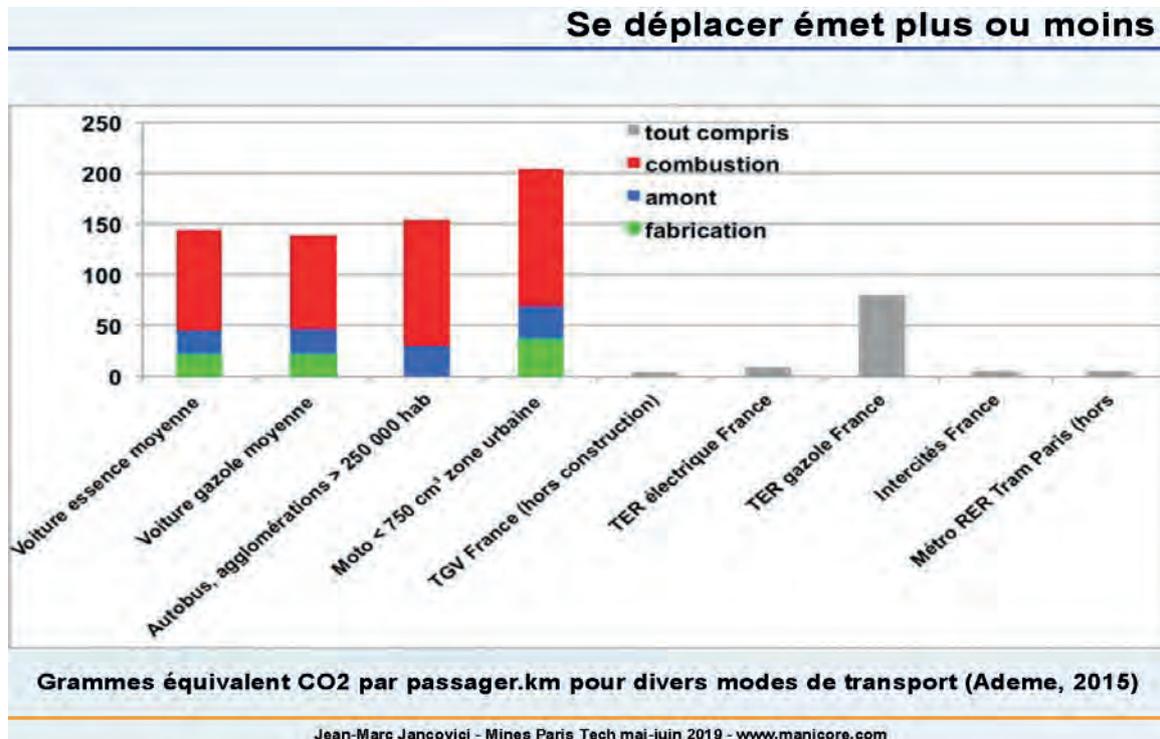
Pour d'autres procédés de fabrications des matériaux primaires, on constate une grande variabilité d'émissions : par exemple l'aluminium. L'essentiel des émissions étant liées à la production de l'électricité employée pour l'électrolyse :

- en Australie où l'électricité est produite au charbon, le facteur d'émissions de la fabrication d'aluminium est x10 par rapport à une production en Islande ou en France

- L'Islande a beaucoup de fonderie d'aluminium notamment du fait d'une disponibilité massive et peu onéreuse d'hydroélectricité

Note : la fabrication d'aluminium émet toutefois une quantité de CO₂ irréductible et invariant quelque soit la nature de la source électrique puisque elle recourt à des anodes en carbone pour électrolyser de l'aluminium. Ces anodes se consomment au cours du processus d'électrolyse et produisent des gaz fluorés (réaction avec les adjuvants fluorés présents dans le bain d'alumine). Les gaz fluorés obtenus sont CF₄ et C₂F₆, des GES extrêmement puissants.

E / Les facteurs d'émissions pour le transport



Emission de GES provoquée par le déplacement d'1 personne sur 1 km en fonction du mode de transport
Exemple de facteur d'émissions composites / calculés à partir de facteurs d'émissions élémentaires.

Echelle du passage km

- 1 personne sur 10 km = 10 passagers km
- 10 personnes sur 10 km = 10 passagers km

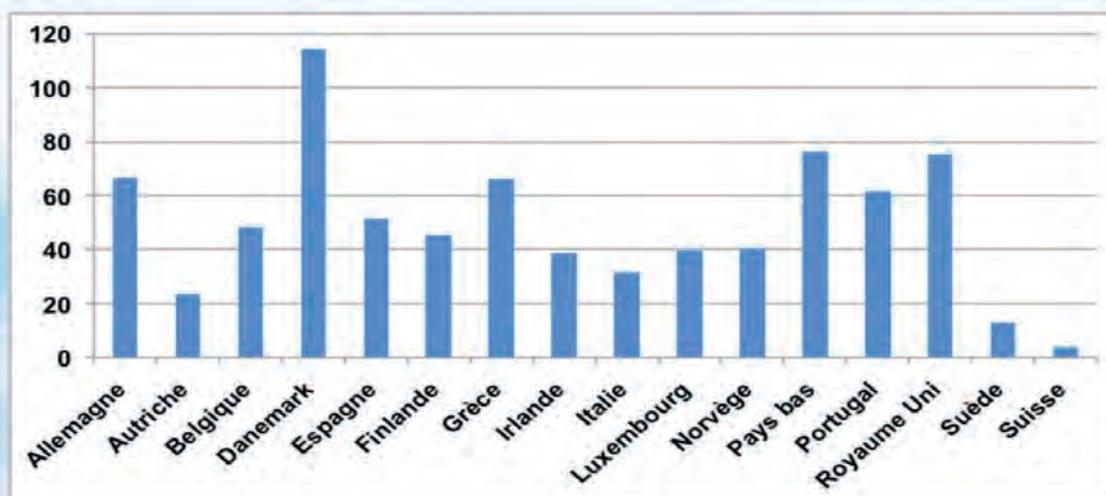
Prise en compte dans le calcul du facteur d'émission de

- la fabrication. Par exemple pour une voiture : entre 1 et 1,5 tonne avec 70% d'acier, 10% de plastiques et dérivés, textiles, fluides, de l'électronique (avec l'équivalent de 2 à 3 ordinateurs), ... Sachant que la fabrication d'une voiture produit environ 6 tonnes de CO₂ par tonne de voiture et que la durée de vie d'une voiture est de 200 000 km, le calcul consiste à diviser 6 tonnes par 200 000 = 30 gr de CO₂ par kilomètre (dans les faits 25)
- "amont" = les émissions de production du carburant. Le véhicule ne roulant pas au pétrole brut mais au carburant raffiné diesel ou essence. Pour obtenir ce carburant raffiné, il a fallu l'extraire, le transporter et le raffiner. Cela représente environ 15% des émissions de CO₂ d'une voiture.
- combustion du carburant = émissions de combustion

Observations :

- les émissions gazole / essence sont très voisines
- 150 gr par passager / km pour les voitures (avec le taux de remplissage actuel des voitures). Le constructeur n'aura pas la même estimation (plutôt 80 gr) car minimise les calculs de la combustion et ne tient pas compte de la fabrication ni de l'amont. Grosso modo il faut multiplier par deux les valeurs fournies par le constructeur automobile.
- un bus urbain émet en moyenne comme une voiture. Une bonne partie de la journée, le bus est vide
- les motos émettent plus que les voitures : certes le poids est moindre (quoique certains modèles soient très proches) mais la consommation de carburant bien plus importante
- le train en France est le plus sobre, sauf TER diesel. En Allemagne (où l'électricité est en partie produite au charbon) un autocar rempli et un train à moitié vide sont au même niveau du point de vue des émissions par passage km

La vertu ferroviaire n'est pas automatique



Grammes équivalent CO2 par passager.km pour le train dans divers pays, construction exclue (Ademe, 2015)

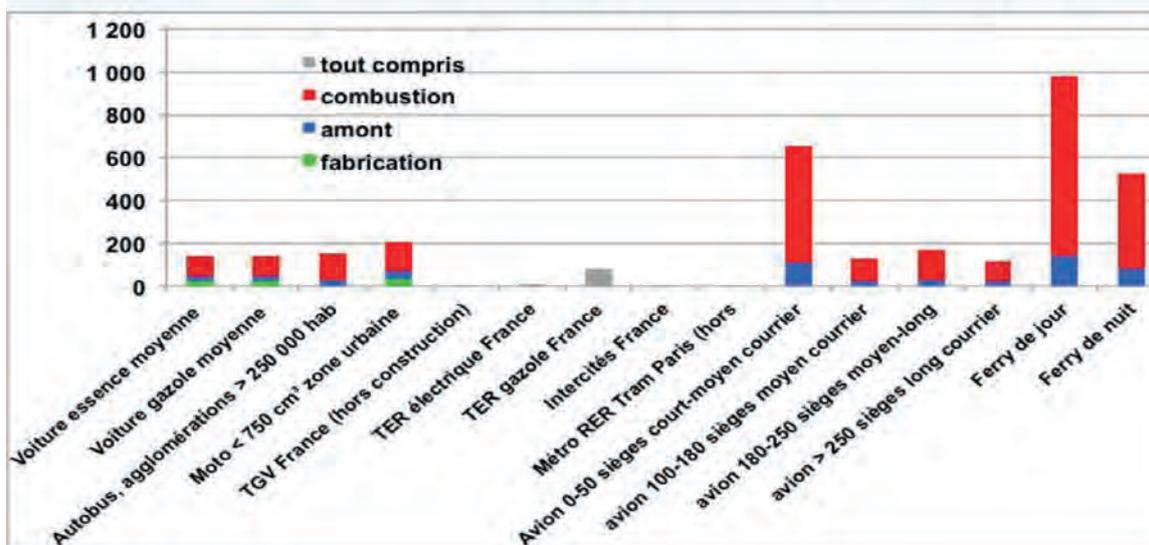
Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.manicore.com

Comparaison des émissions par passager km du train dans différents pays européens.

- Variation en fonction du mix électrique du pays (électricité plus ou moins carbonée), du parc de trains au diesel plus ou moins important et du taux de remplissage
- Suisse très bien placée : électricité décarbonée et taux de remplissage excellent (topographie place nécessairement le réseau en fond de vallée, là où résident les habitants et qui par conséquent sont toujours proches d'une gare).

Notes : dans un pays de plaine, l'urbanisation s'opère en étoile et le taux de remplissage des trains est forcément réduit du fait d'une densité de population réduite

Parfois se déplacer émet plus ou plus



Grammes équivalent CO2 par passager.km pour divers modes de transport (Ademe, 2015)

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

Emission par passager.km des différents modes de transport en France (ajout de l'avion et des ferrys)

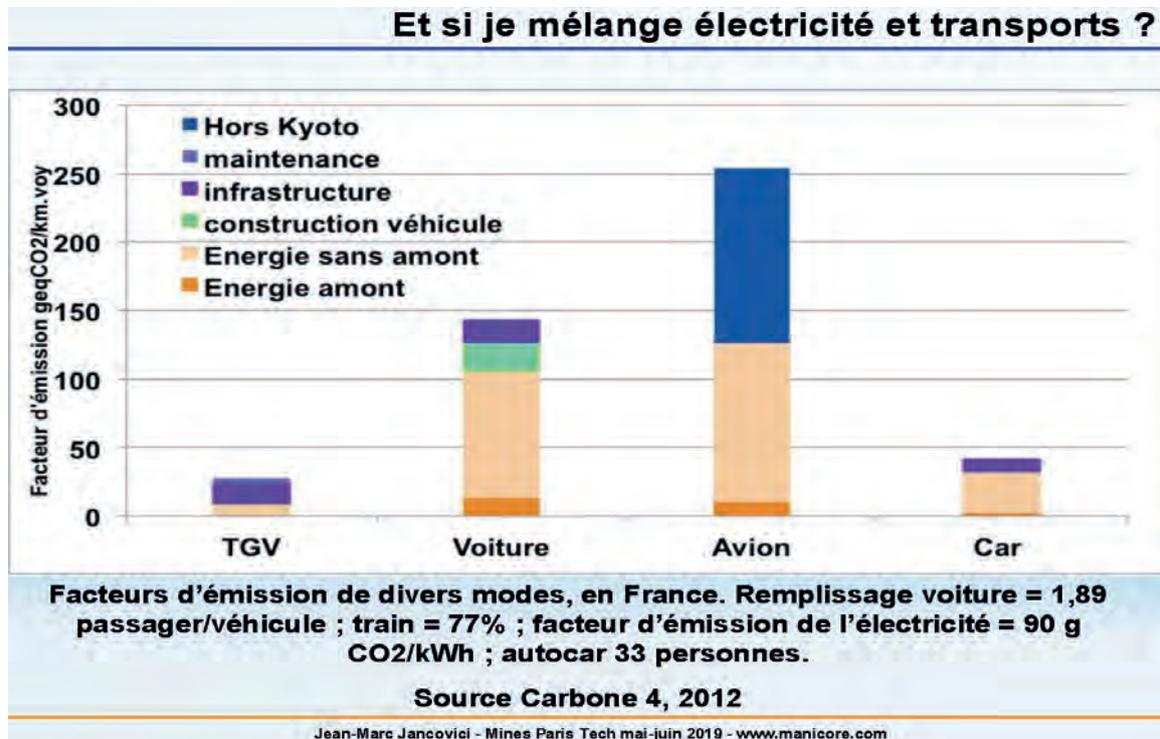
Constats :

- en ce qui concerne l'avion, et notamment le court courrier, les émissions sont significativement plus élevées que pour l'auto-

mobile.

- le pire, le "Queen Mary", c'est-à-dire les paquebots de croisière (ferry de jour, qui est supérieur au ferry de nuit qui comprend le fret)

Note : pour une place d'avion en 2nd classe, on consomme à peu près autant de carburant qu'en voiture, pour des trajets qui seront en moyenne considérablement plus long. Si on mesure les émissions non plus par passager.km mais par trajet, on a un facteur 100 pour l'avion par rapport à un trajet en automobile.



Facteurs d'émission de divers modes de transport en France

Constats

- les cars pour remplacer le train = une mauvaise idée en France pour réduire les GES
- le TGV reste bien plus performant que la voiture même en incluant les émissions liées à l'infrastructure (électricité décarbonée, taux de remplissage bien meilleur et infrastructure reposant sur un contact fer / fer)
- proposition de loi à l'Assemblée nationale (rejetée) visant à interdire les vols domestiques où existent une desserte de train ne rallongeant pas le voyage de plus de 2h30 (en fait, le delta de temps véritable étant donné les attentes en aéroport est plutôt de 30 min.). Ne concerne pas la grosse ligne domestique française (voire européenne), Paris - Toulouse avec ses 2 millions de passagers par an.

Calcul :

- TGV 30 gr / passager.km
- Avion 150 gr / passager.km
- interdiction des vols domestiques desservis par le train = économiserait quelques millions de tonnes de CO2
- impactant un nombre de passagers assez faible (1 million de passager par an), beaucoup sont en transit et l'usage de l'avion n'est pas "vital" (75% de trafic aérien = voyage de loisir, rendre visite à des connaissances)

Note "Hors-Kyoto" du secteur aérien

- = les effets sur le climat du secteur aérien qui ne sont pas dans les inventaires d'émission officiels
- soit entre 20 % et un doublement (selon les méthodes de calcul) du facteur d'émission du secteur aérien

Ce qui est dans les inventaires :

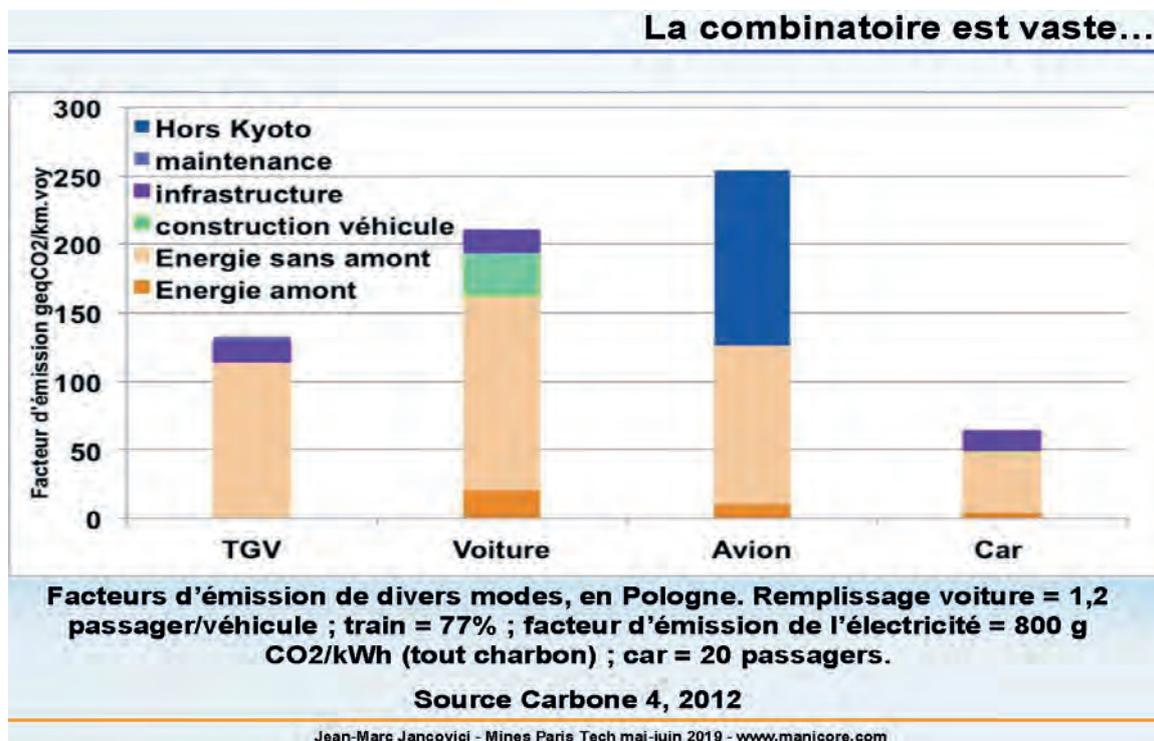
- CO2
- méthane
- protoxyde d'azote
- les gaz fluorés...

Ce qui n'est pas dans les inventaires : la vapeur d'eau. Or l'avion en altitude de croisière vole à la limite de la troposphère et de la stratosphère, zone optimale pour la portance et la vitesse des avions (zone d'inversion de température). Le kérosène brûlé par les avions émet donc de la vapeur d'eau à la limite de la stratosphère, une partie de cette vapeur d'eau entre dans la strat-

osphère et mettra beaucoup de temps à en sortir (à cause de la limite convective des nuages à la tropopause - zone de l'atmosphère terrestre qui fait la transition entre la troposphère et la stratosphère). La vapeur d'eau étant un gaz à effet de serre, cela va contribuer à un supplément de réchauffement climatique.

Par ailleurs les trainées de condensation des avions ont le même type de forçage radiatif que les cirrus, c'est-à-dire que leur effet de serre l'emporte sur leur effet réflexif. Deuxième source donc d'accroissement du forçage radiatif dû aux avions.

Juste après le 11 septembre, les vols aux Etats-Unis ont été interdits (25% du trafic aérien mondial se situe aux Etats-Unis) et on a constaté immédiatement une baisse des températures (nocturnes notamment) de quelques degrés. Raison : disparition du forçage radiatif causé par les trainées de condensation.

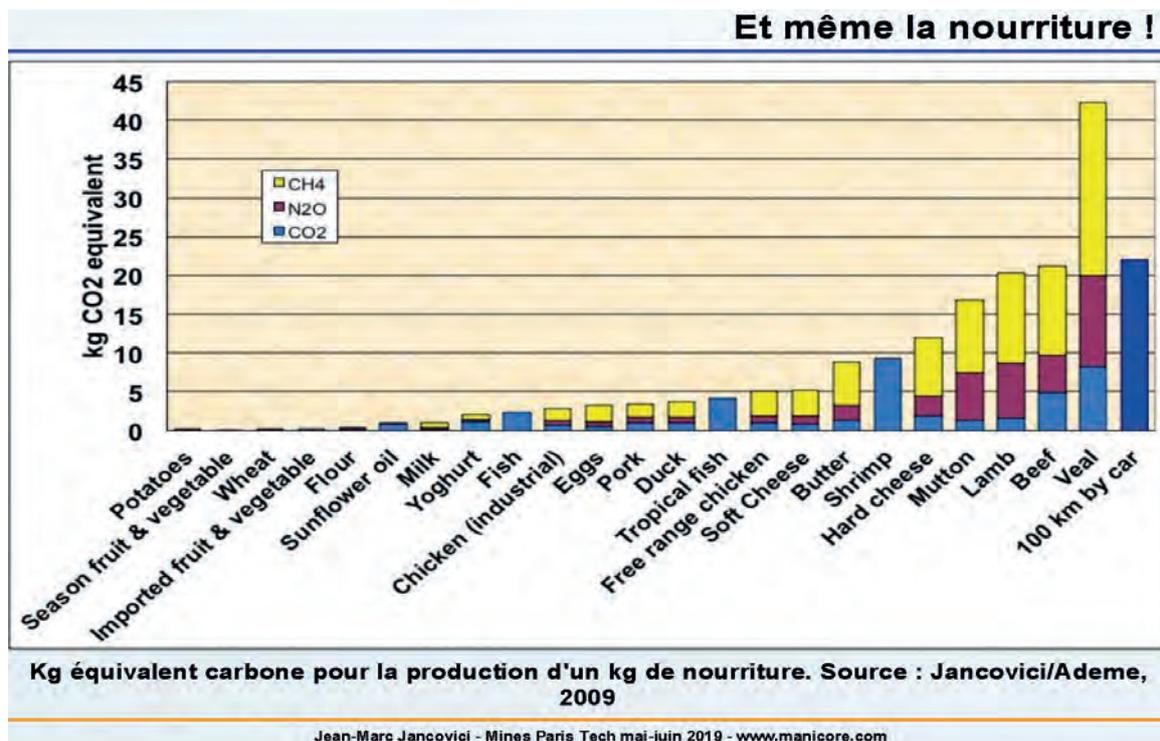


Facteurs d'émission de divers modes de transport en Pologne

En Pologne où l'électricité = charbon,

- il vaut mieux circuler en car qu'en train si le train n'est pas bien rempli (77%)
- dans tous les cas de figure le train demeure plus performant que la voiture, mais l'écart n'est pas si marqué qu'en France (où le post infrastructure domine) du fait du mode de production de l'électricité au charbon

F / Les facteurs d'émissions pour la nourriture



Facteurs d'émission calculés, relatifs à la production de nourriture

Trois types d'émissions :

- CH4
- N2O
- CO2

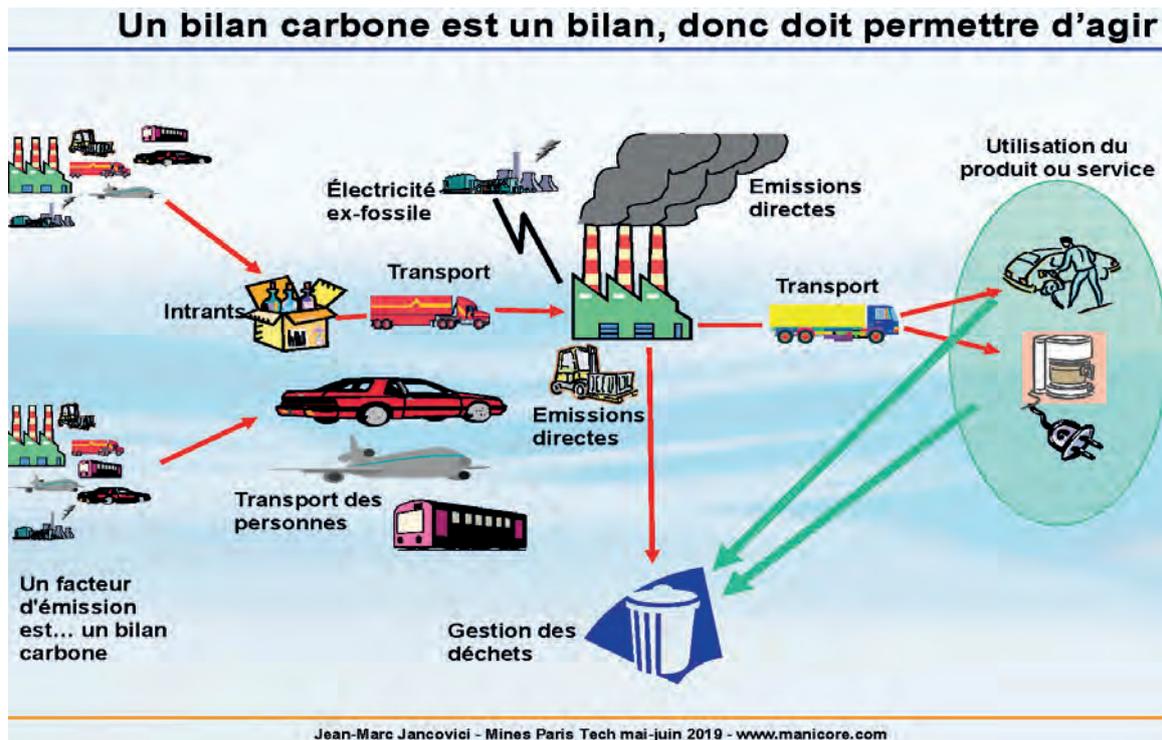
Constats :

- pêche = consommation d'hydrocarbures. Le facteur d'émission des crevettes ("Shrimp") est particulièrement élevé car il s'agit d'une pêche peu sélective. Les filets utilisés sont à petites mailles et attrapent un peu de tout (80% de prises accessoires) et il faut beaucoup de diesel par kg de crevettes pêché. La pêche des poissons tropicaux a un facteur d'émission élevé du fait des thoniers, gros navires qui consomment beaucoup de carburant.
- élevage = également émission de CO2. Mécanisation agricole (pétrole) mais surtout engrais (gaz). Craquage du méthane pour fabriquer de l'hydrogène : concrètement mélange gaz naturel + vapeur d'eau chauffés à haute température (= réformage) pour obtenir en sortie de l'hydrogène et ... du CO2. Ensuite fabrication de l'ammoniac, composé des engrais. Ces engrais sont utilisés pour la nourriture végétale des animaux. Au final, manger 1kg de boeuf = manger 1kg d'hydrocarbure.
- le protoxyde d'azote (N2O) apparaît après les épandages de l'ammonitrate (engrais azotés minéraux simples à base de nitrate d'ammonium) sous l'effet de l'activité microbienne.
- le méthane (CH4) provient de la fermentation entérique des animaux d'élevage
- fromages : 2kg de lait pour faire 1kg de camembert / 10kg de lait pour faire 1 kg de Conté. Par unité de poids, les fromages à pâte dure sont plus émissifs que les fromages à pâte molle.
- fruits & légumes de saison et fruits et légumes importés ont des émissions très comparables. Emission d'un camion de fret = 15 gr par tonne.km, c'est à dire émissions beaucoup plus faible qu'une même production sous serre chauffée. Exemple : toutes les tomates françaises jusqu'en avril ou mai poussent sous serre chauffée, 1kg de gaz pour 1kg de tomates. Il est moins polluant de consommer des tomates importées à cette période, ou des bananes importées par bateau.
- le cheptel bovin est une source d'émissions très importante, manger de la viande blanche plutôt que de la viande rouge est moins émissif. Le porc transforme beaucoup plus vite la matière végétale en matière animale (en règle général plus l'animal est petit et plus son taux de transformation est efficace) et en plus il ne rumine pas (pas d'émissions entériques)

Rappel : 80% de la surface agricole française dévolue à la nourriture d'animaux : tout le maïs, toutes les prairies, la moitié du blé, toute la luzerne, etc.

Wikipedia : réformage = une réaction chimique qui consiste à produire de l'hydrogène à partir du méthane présent dans le gaz naturel ou du biométhane

Chapitre 45 - Le bilan carbone préalable à l'action



Raison d'être d'un bilan carbone : agir en connaissance de cause.

Les facteurs d'émission sont plus ou moins près des flux élémentaires, plus ou moins le fruit de calculs. Ils permettent de mesurer des flux unitaires d'émission, la question est alors de savoir les organiser dans une comptabilité pouvant être exploitée par les acteurs (entreprises, administrations, ...)

Pour les inventaires d'émissions destinés aux entreprises, on procède par postes de regroupement (comme dans toute comptabilité). Ces postes font l'objet d'une norme ISO, donc reconnue dans le monde.

1er poste de regroupement :

- les émissions directes des sources fixes (par exemple la chaudière d'une usine),
- les émissions directes des sources mobiles (parc utilitaires...)
- les émissions directes liées aux émissions à la fois énergétiques et de procédés

2e poste de regroupement :

- les émissions indirectes dues à l'utilisation de l'énergie (= essentiellement les émissions des centrales électriques)

3e poste :

- le déplacement des personnes (pour accéder au lieu de travail + déplacements dans le cadre de la fonction)

4e poste :

- le fret des marchandises

5e poste :

- la fabrication de ce qui entre ("les intrants", achats nécessaires à l'activité de l'entreprise)

6e poste :

- la gestion des déchets qui sortent

7e poste :

- transport à l'aval
- utilisation des produits ou services

8e poste :

- fin de vie des produits / déchets

Quelle est la logique qui a prévalu à l'organisation de ces postes comptables ? Cela correspond à l'organisation des départements des grandes entreprises. Si la direction de l'entreprise souhaite agir sur le bilan carbone de l'activité, il dispose d'un interlocuteur en son sein pour gérer chaque poste d'émission.



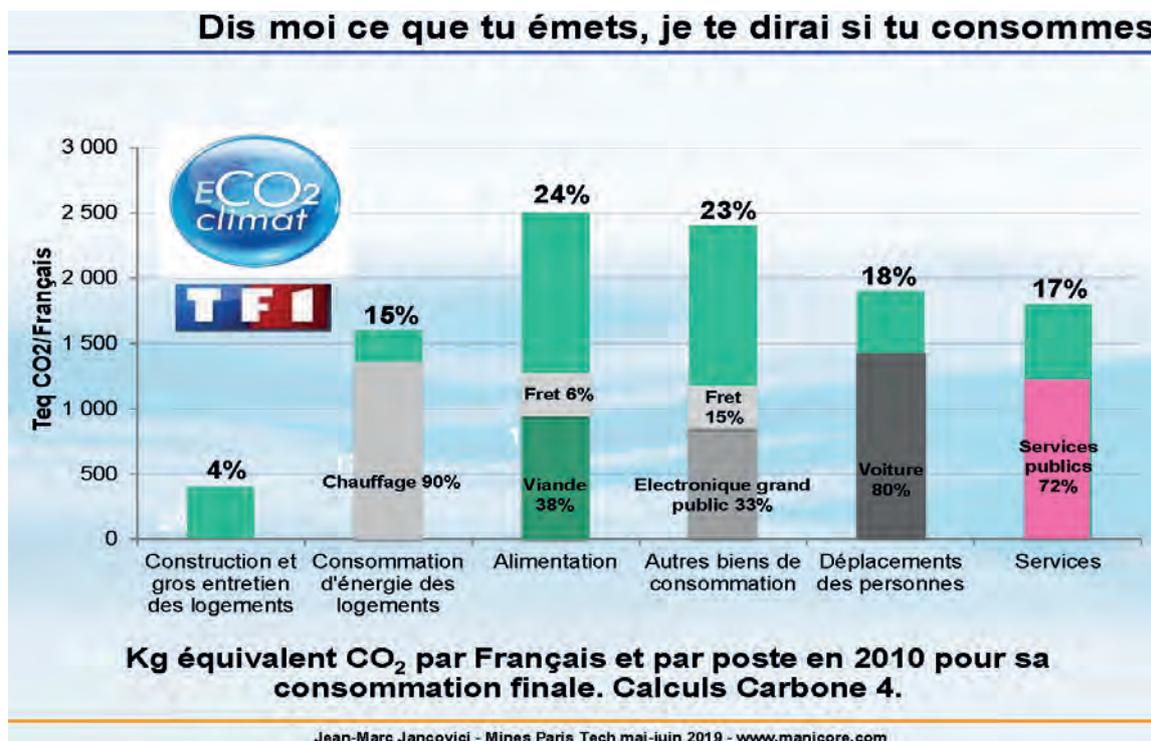
Cas d'une collectivité vue sous "l'angle territoire"

Comme pour une entreprise, les inventaires d'émissions des collectivités locales recourent à des regroupements comptables :

- industries
- production d'énergie
- fret marchandises
- transport des personnes
- etc.

Le découpage en postes de regroupement a également pour objectif d'avoir un interlocuteur bien identifié pour chaque poste, de façon à faciliter le passage à l'action, en l'occurrence agir pour baisser les émissions.

Dis moi ce que tu émetts, je te dirai si tu consommes



Consommation finale d'un Français en 2010 par poste de regroupement, exprimé en kg équivalent CO₂

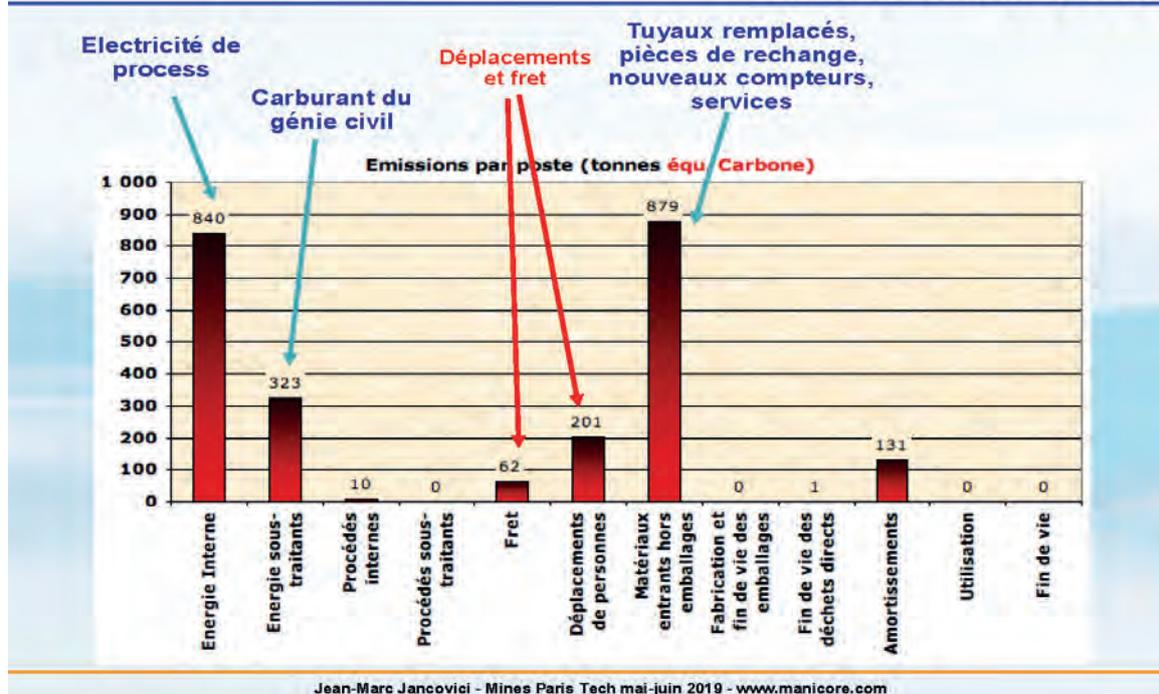
Le premier type de comptabilité carbone mis au point était, au niveau des Etats, la comptabilité des émissions directes. D'autres types ont vu le jour depuis, et notamment la comptabilité "empreinte carbone" qui se développe de plus en plus. Celle-ci consiste à appréhender les émissions comme la contrepartie de la consommation (marchande ou non) des individus. Dit autrement, dans la vision "empreinte carbone", on comptabilise les émissions qui sont la contrepartie de la fabrication et de la mise à disposition de tout ce dont bénéficie l'individu.

Au total l'empreinte carbone annuelle d'un Français est de 10 tonnes équivalent CO₂

Postes de regroupement :

- Construction et gros entretien des logements : quelques centaines de kg de CO₂ pour chaque Français. 400 kg correspond à la 1 ou 2 m² de construction en béton (prise en compte des cimenteries, aciéries, etc.)
- Consommation d'énergie des logements : les émissions qui sont la contrepartie du "confort énergétique" des logements (à 90% le chauffage, le reste étant les usages électriques comme la machine à laver, l'aspirateur, l'éclairage, ascenseur, frigo...) sont équivalent à 1500 kg de CO₂ par an et par Français. Note : le rapport 90% / 10% est propre à la France du fait de son électricité décarbonée et en raison de la prédominance du chauffage au fuel et au gaz (pour le chauffage, il y a 4x plus d'énergie consommée en fuel et en gaz qu'en électricité, 400 teraWatts / heure de fuel et de gaz contre 100 teraWatts / heure pour l'électricité)
- Alimentation : la mise à disposition des aliments occasionne 1/4 de l'empreinte carbone d'un Français, avec plus de 50% causé par le cheptel bovin (viande + lait).
- Autres biens de consommation : tous types d'objets (vêtements, meubles, équipements électroniques, ... tout ce qui se trouve dans les magasins), qui représentent au final presque 1/4 de l'empreinte carbone d'1 Français. Parmi ces émissions, plus de la moitié concernent des biens de consommation importés (les émissions sont hors du territoire mais bien sûr comptabilisées)
- Déplacement des personnes : 4/5 du fait des voitures, le reste étant essentiellement imputable aux déplacements en avion. Il s'agit ici exclusivement des déplacements personnels, les déplacements professionnels étant inclus dans le bilan carbone des biens de consommation ou des services.
- Services : notamment les Services publics avec des ministères très émetteurs comme la Santé (construction des bâtiments, dotation en instruments, en médicaments, en consommables, déplacement du personnel et des patients, ...au final 4 à 5% de l'empreinte carbone de la France), l'Education nationale (immense parc de bâtiments à chauffer) et l'armée.

Un distributeur d'eau



Cas pratique n°1 : Bilan carbon d'un distributeur d'eau (1 agence Veolia)

Trois postes importants :

- électricité de process : la mise sous pression de l'eau nécessite de l'électricité pour qu'elle puisse circuler dans le réseau, cela provoque des émissions de CO2 (même en France, il faut activer énormément de pompes)
- le renouvellement permanent du réseau : émissions liées à la fabrication des compteurs, des regards, des tuyaux
- le génie civil : carburant utilisé par les engins de travaux

Ensuite, loin derrière : acheminement du personnel, fret, ...

L'agence doit agir sur les postes importants d'émissions :

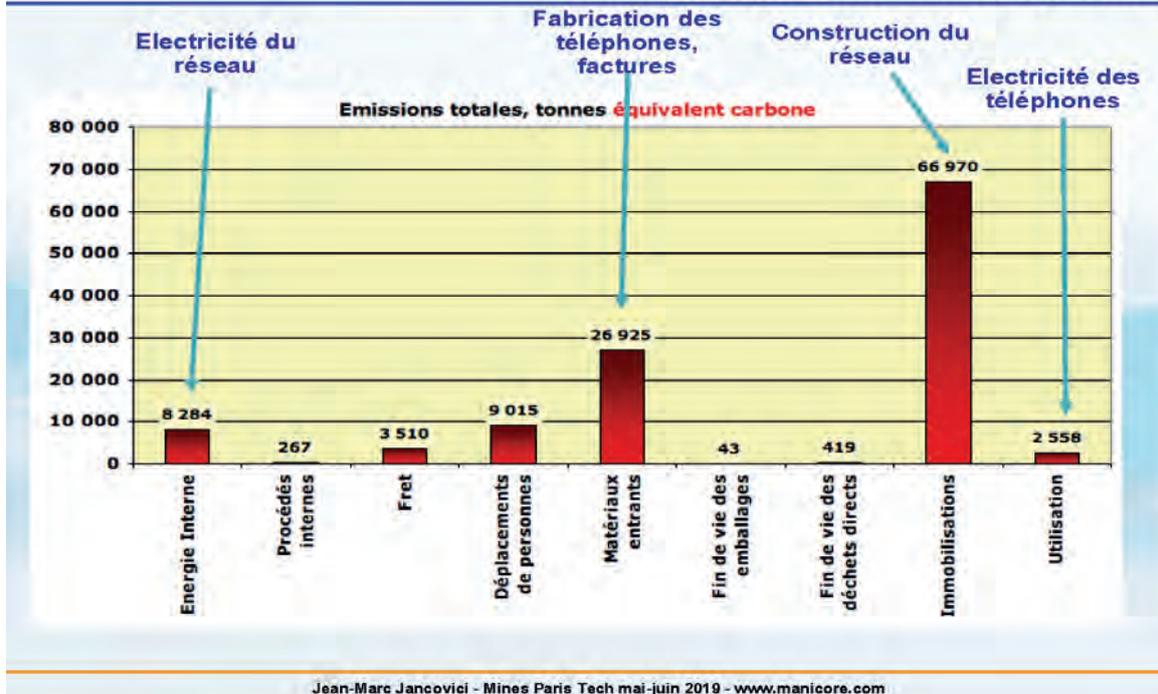
- les pompes du réseau
- les émissions induites par les matériaux utilisés
- le génie civil / les émissions des tractopelles
- puis éventuellement sur les voitures / les déplacements de ses employés

20 ans pour diviser par 3 les émissions de l'agence...

- fabriquer des équipements avec des matériaux les moins émissifs possibles (par exemple tuyaux en plastiques recyclés)
- baisser les émissions du génie civil en groupant les travaux (eau, électricité, fibre, gaz ... maintenance en 1 seule fois)
- ...

Arbitrages à faire, contreparties à accepter pour chaque arbitrage...

Un opérateur de téléphone



Cas pratique n °2 : Opérateur de téléphone Orange en France

Panorama des émissions :

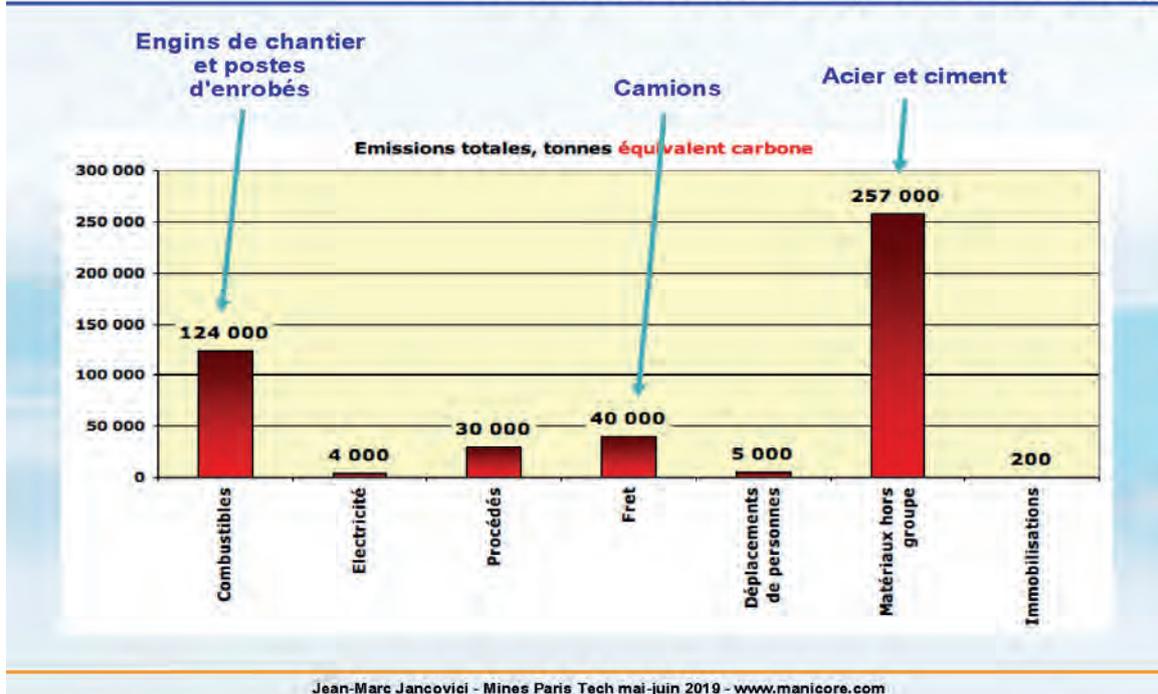
- 1er poste : les investissements récurrents dans le réseau, nécessaires pour pouvoir supporter l'augmentation du flux de données (quelques dizaines de % par an, notamment du fait de la vidéo qui représente chez Orange 80% du flux de données avec Youtube, Netflix, ...). Concrètement c'est changer les câbles, les routeurs, antennes, ... la fabrication de tous les composants du réseau
- 2e poste : la fabrication des smartphones. La moitié de l'émission de la fabrication d'un smartphone provient de l'écran.
- 3e poste : l'électricité du réseau

Peu émissif : la consommation électrique des téléphones est un non sujet (l'émission carbone du téléphone ne se situe pas dans son utilisation mais dans sa fabrication)

20 ans pour diviser par 3 les émissions de la société ?

- ne pas passer à la 5G (prioritaire pour ne pas augmenter les émissions)
- ne plus proposer de contrats avec des renouvellements de smartphone. Eventuellement, renouvellement modulaire (par exemple batterie)
- proposer des smartphones avec une durée de vie supérieure. Mais inconvénient, l'innovation technologique pénètre moins vite et il faudra totalement revoir le discours marketing de la "high tech"
- ...

Une société de BTP (hors utilisation)



Cas pratique n°3 : une société de BTP

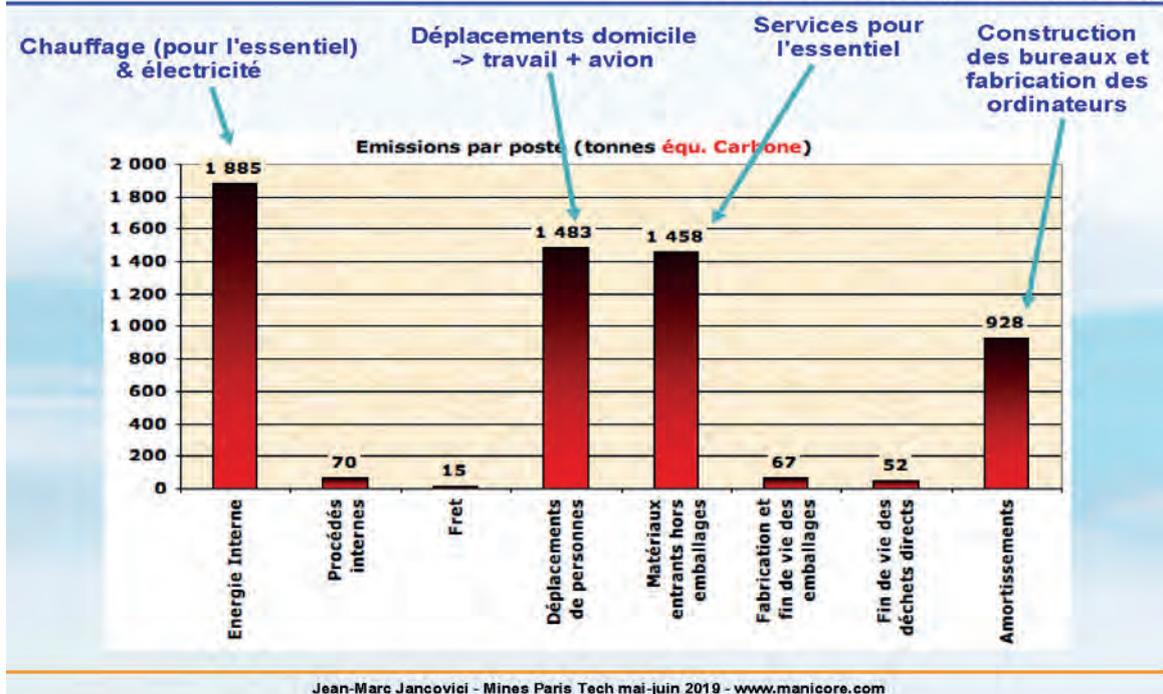
Panorama des émissions (hors utilisation des bâtiments et infrastructures) :

- 1er poste : Acier et ciment
- 2e poste : les combustibles des engins de chantier + fabrication des routes
- 3e poste : la logistique / fret

20 ans pour diviser par 3 les émissions de la société ?

- augmenter la construction en bois ... à voir en fonction de la productivité des forêts françaises car cela ne permettra pas de construire en bois les 300 000 logements construits annuellement
- réduire les structures des bâtiments : moins de ciment par m3 de béton
- meilleur recyclage de l'acier lors de la déconstruction des bâtiments
- pierre de taille (mais beaucoup + onéreux)
- basculer de la construction vers l'usage : plutôt que de construire des bâtiments, utiliser le parc existant en réaffectant l'usage

Une banque (hors prêts)



Cas pratique n°4 : une banque

Panorama des émissions Hors prêts (= hors émission des clients)

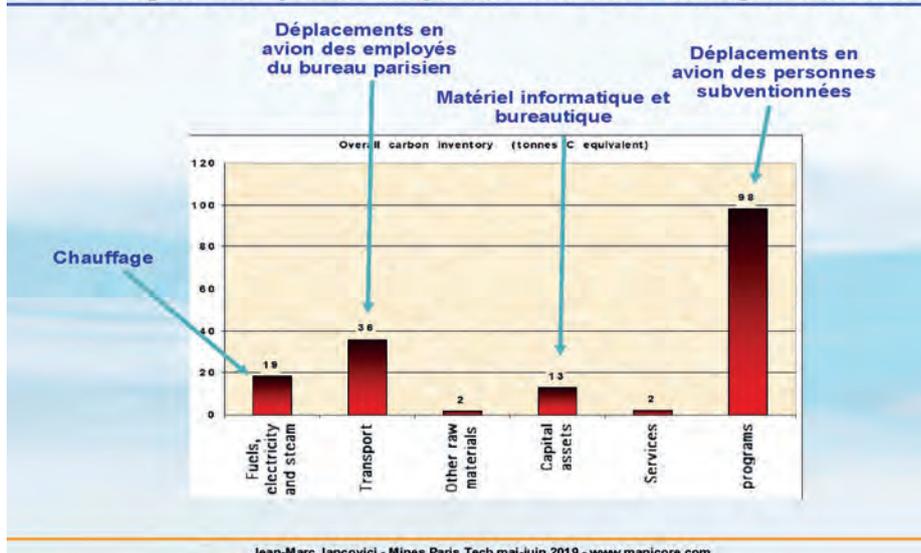
- 1er poste : émissions dues au fonctionnement des bâtiments
- 2e poste : les déplacements du personnel
- 3e poste : matériaux entrants (= achats de services)
- 4e poste : amortissements (construction des bureaux, fabrication de l'IT, ...)

Note : chaque année en France pour gagner 1 € de produit net bancaire, le secteur bancaire doit faire circuler 30% de données en plus

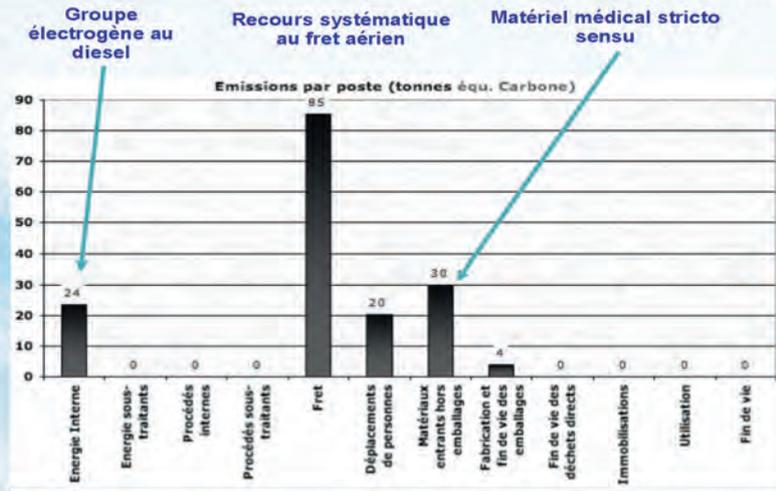
20 ans pour diviser par 3 les émissions de la société ?

- améliorer le confort thermique des bâtiments (chaudière + efficace, ...)
- favoriser le télétravail à temps partiel (pas besoin de bureaux supplémentaires à construire et à chauffer, ...) qui peut effectivement réduire les émissions. A certaines conditions : 1 même bureau pour plusieurs employés (optimisation des m2 au sol utilisés), télétravailler à domicile sans en profiter pour sortir en voiture, ...
- ...

Un organisme public de promotion des échanges culturels

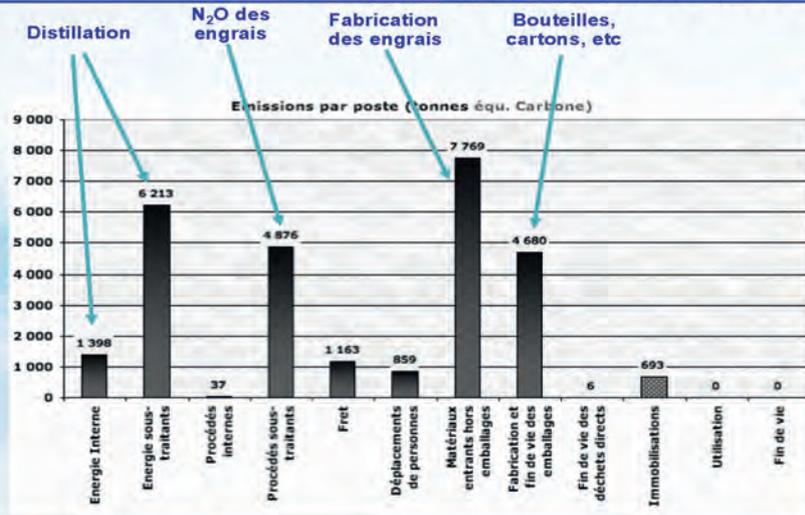


Une antenne de médecins sans frontières



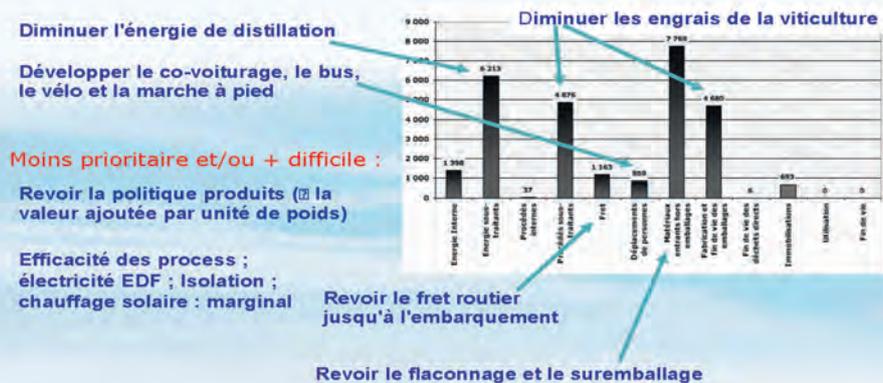
Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.manicore.com

Et même un producteur de spiritueux !



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

Exemples de chantiers à ouvrir



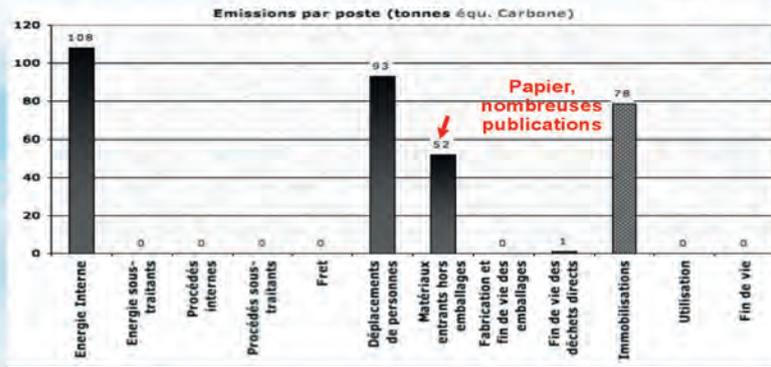
Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.manicore.com

Vos anciens (enfin presque) : la DGEMP

Moins de chauffage (isolation, taille bureaux, température intérieure, etc) ; moins de bureautique ; télétravail ?

Déplacements dans le cadre du travail (domicile-travail négligeable)

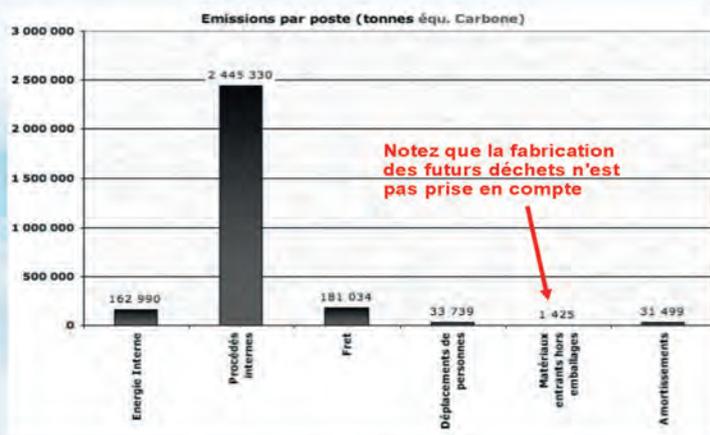
Immeuble : plus rien à faire. Rotation du parc informatique à allonger



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

Un gestionnaire de déchets ménagers

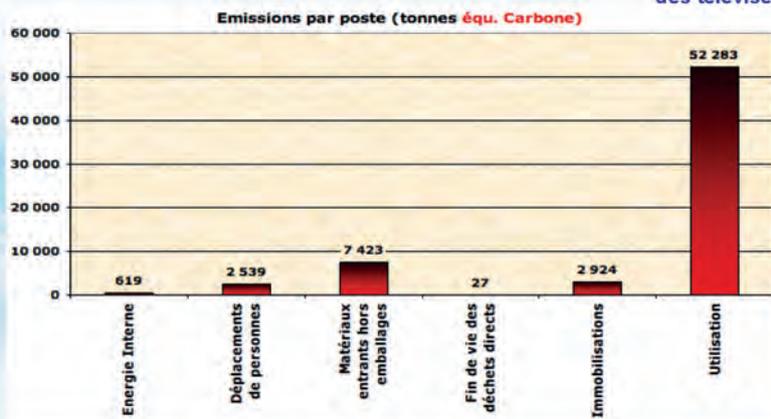
Une seule chose à faire ou presque : capter le méthane !



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

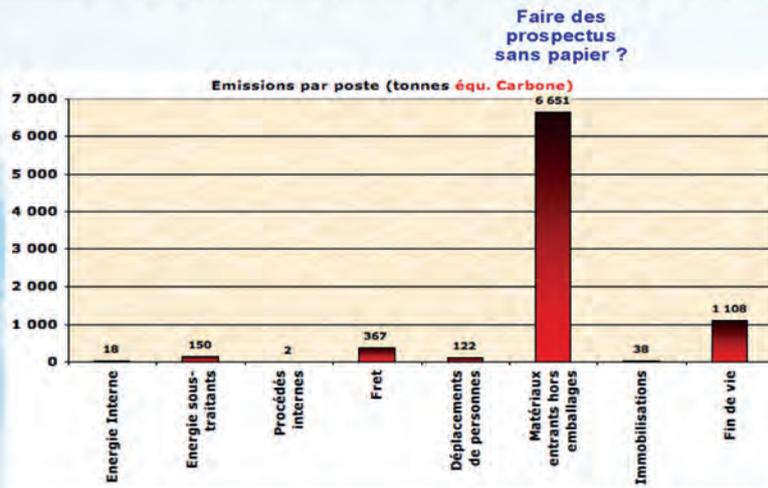
Une chaîne de télévision

Travailler sur la consommation et la durée de vie des téléviseurs ?



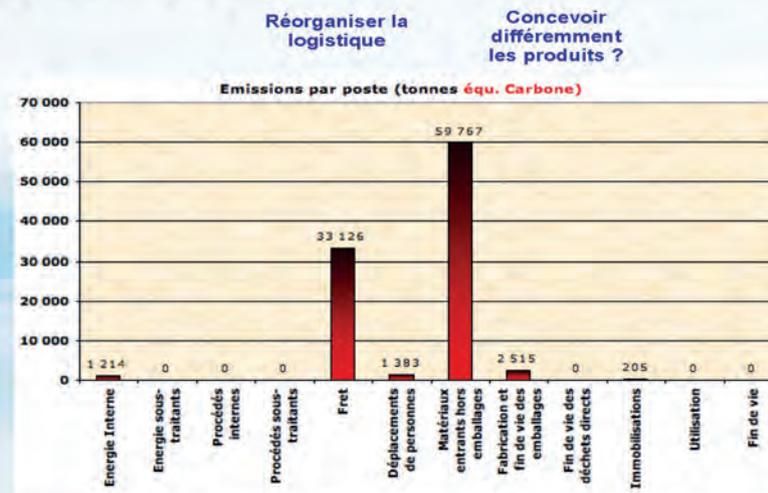
Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.manicore.com

Une agence imprimant des prospectus publicitaires



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

Un industriel des biens d'équipement (hors consommation)



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

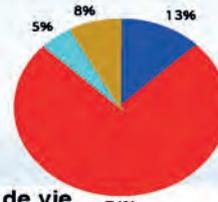
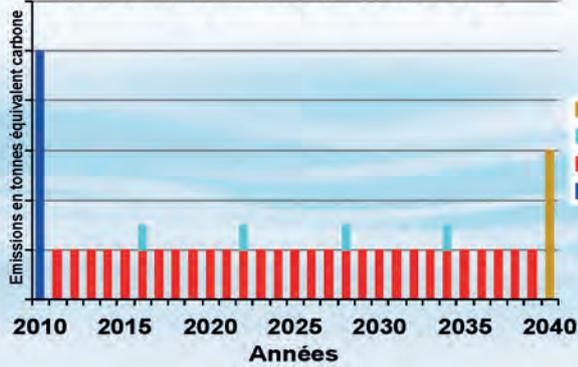
Ensuite, se projeter dans la durée



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

De la photo au film carbone

Emissions de l'infrastructure au cours du temps Construction et utilisation sur la durée de vie

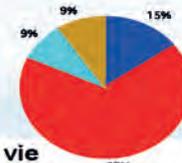
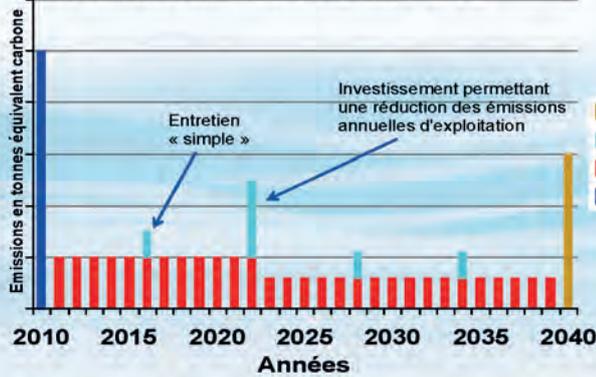


■ Fin de vie
■ Gros entretien
■ Exploitation - énergie
■ Construction

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

Le film permet d'envisager plusieurs scénarios d'évolution

Emissions de l'infrastructure au cours du temps Construction et utilisation sur la durée de vie

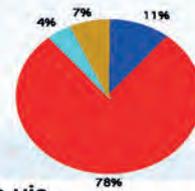
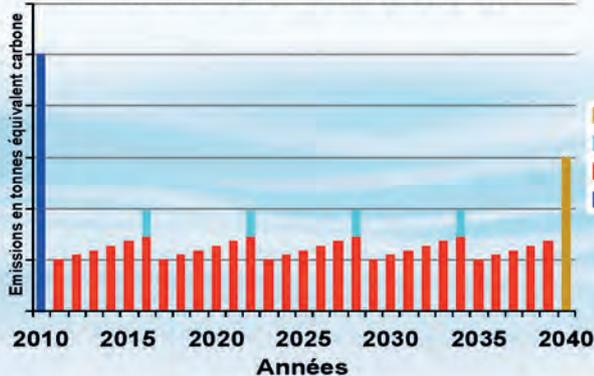


■ Fin de vie
■ Gros entretien
■ Exploitation - énergie
■ Construction

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

Simulation d'une perte de rendement

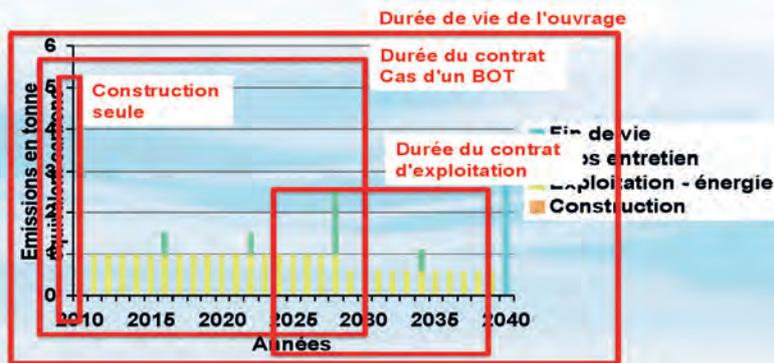
Emissions de l'infrastructure au cours du temps Construction et utilisation sur la durée de vie



■ Fin de vie
■ Gros entretien
■ Exploitation - énergie
■ Construction

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

Là comme ailleurs, bien poser les limites est essentiel

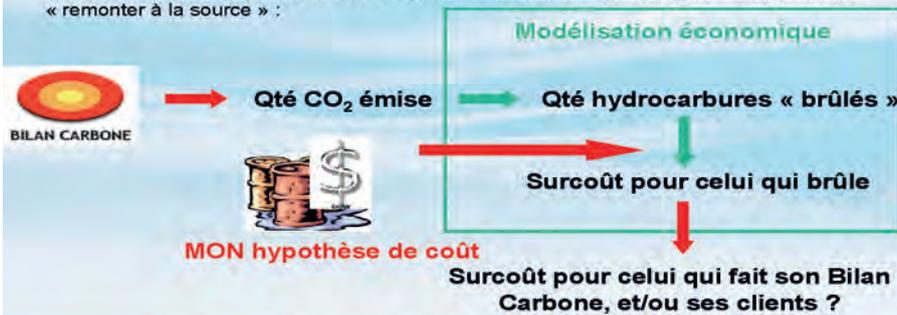


Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.manicore.com

Revenons aux euros, finalement...

Objectif : disposer d'un ordre de grandeur du surcoût lié à une hausse des hydrocarbures

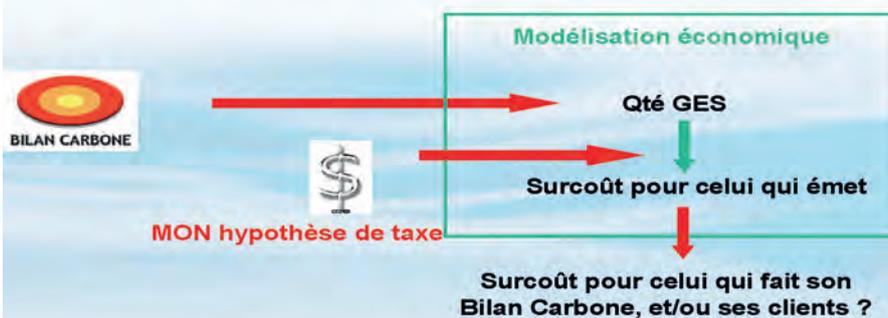
En effet, dès qu'il y a du CO₂ dans le Bilan Carbone (quel que soit le poste), c'est qu'il y a eu des hydrocarbures (liquides, solides ou gazeux) de brûlés « quelque part ». On peut donc « remonter à la source » :



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

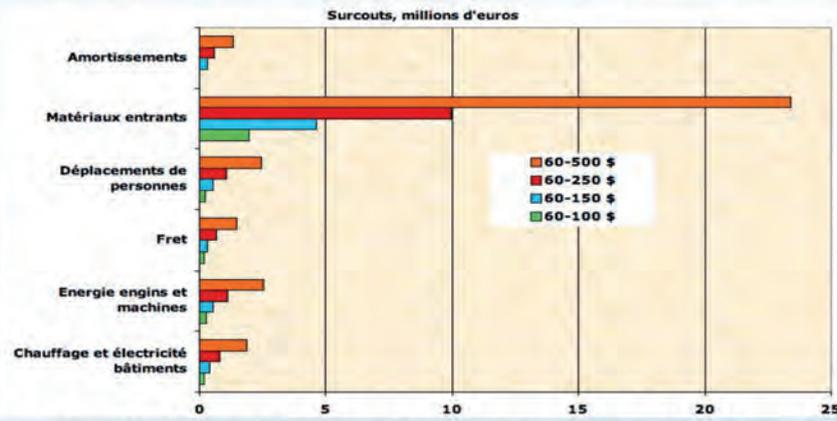
Revenons aux euros (bis)

On peut jouer presque au même jeu avec la taxe carbone



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

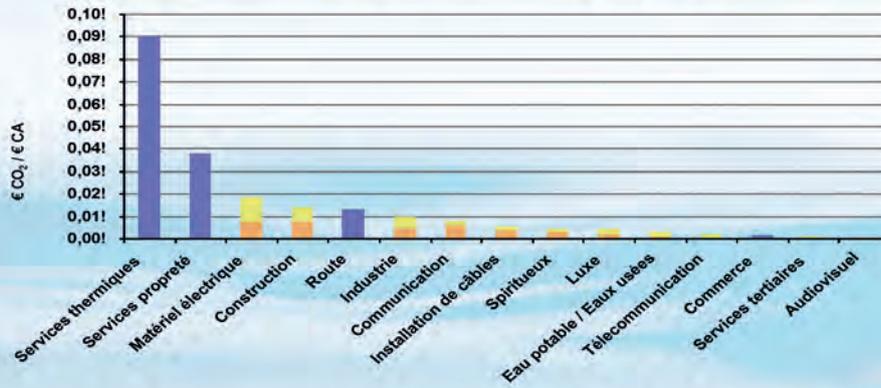
Si les hydrocarbures augmentent, d'où vient la facture ?



Exemple d'utilisation de la simulation économique dans le Bilan Carbone

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

Taxons un peu, ça ne fait pas vraiment mal

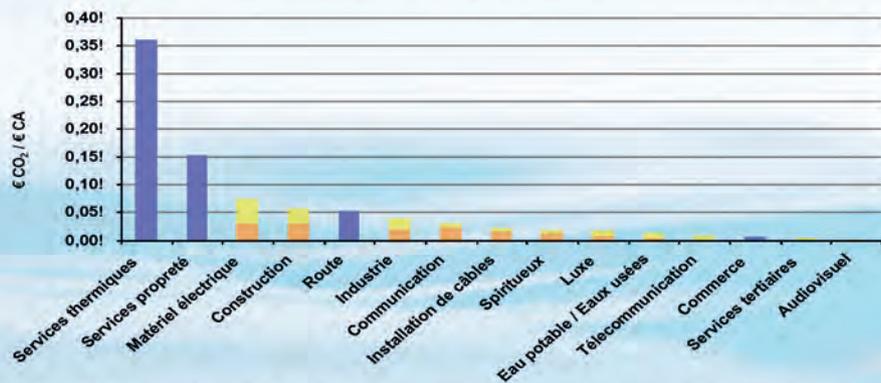


Impact (€) d'une taxe de 25 €/tCO₂ sur un € de CA (exemples d'entreprises du secteur).

Calculs Carbone 4

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

Taxons un peu plus, ça commence à se voir

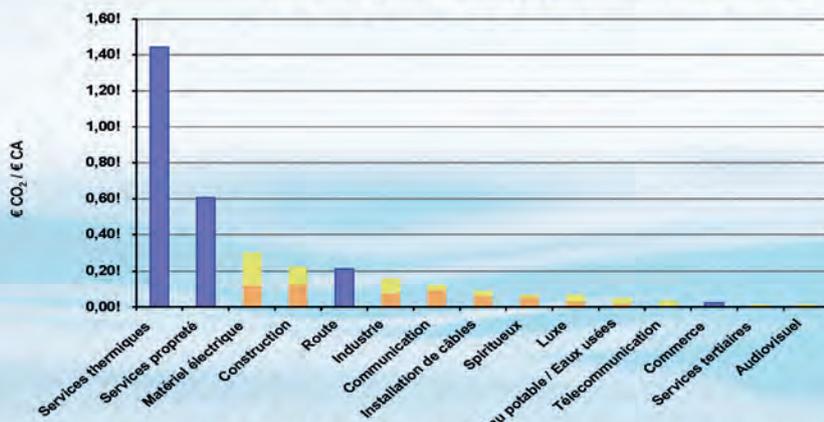


Impact (€) d'une taxe de 100 €/tCO₂ sur un € de CA (exemples d'entreprises du secteur).

Calculs Carbone 4

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

Taxons pour de vrai, l'économie se déplace

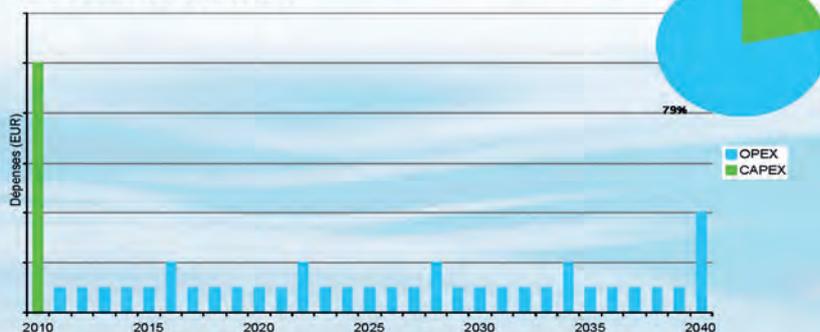


Impact (€) d'une taxe de 400 €/tCO₂ sur un € de CA (exemples d'entreprises du secteur).
Calculs Carbone 4

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

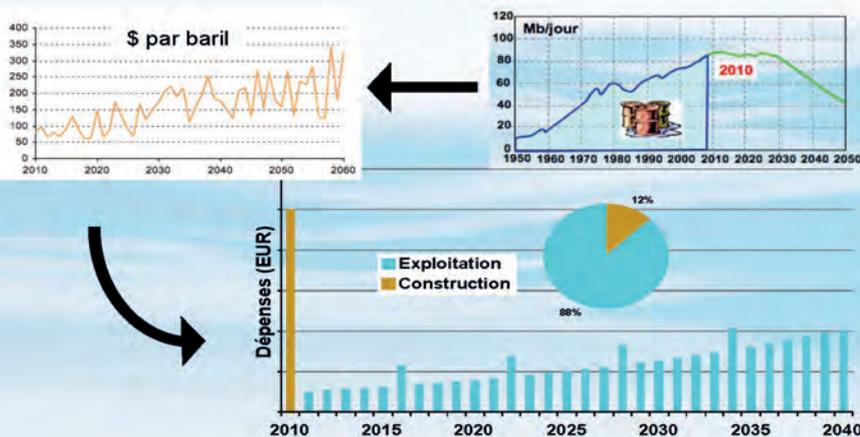
Emissions ou euros, on raisonne pareil

Dépenses liées à l'infrastructure au cours du temps à prix de l'énergie constant



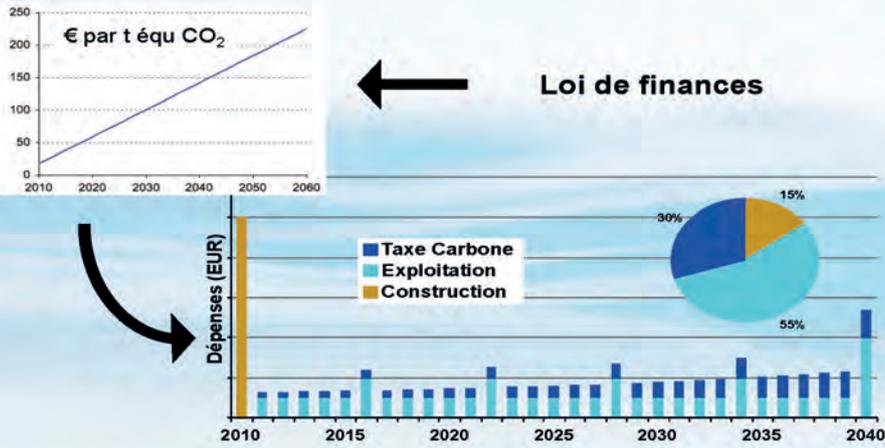
Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.manicore.com

Le prix de l'énergie pilote le coût complet



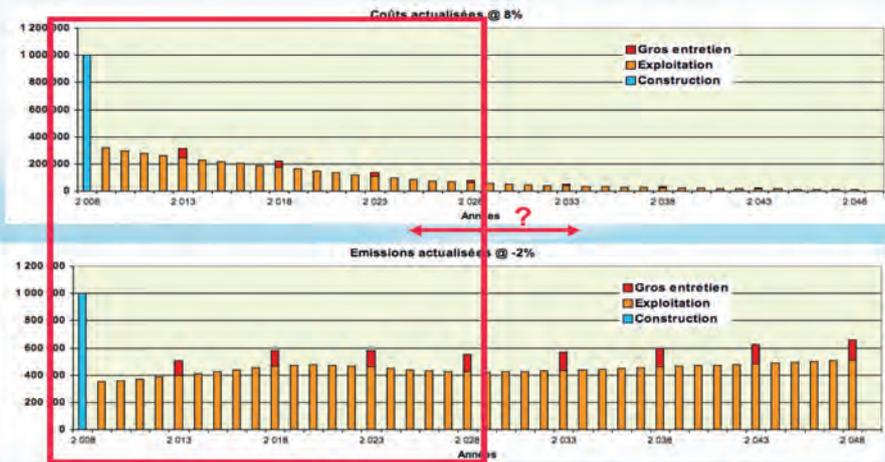
Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.manicore.com

Une taxe carbone aussi !



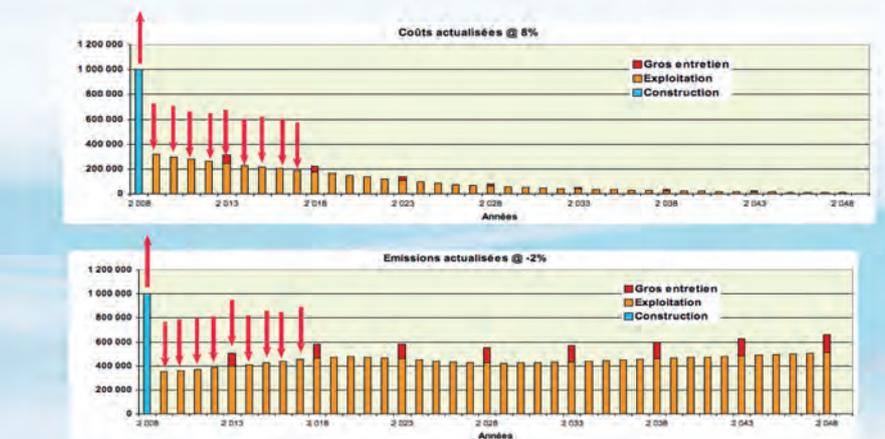
Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.manicore.com

Qu'est-ce que le cout à la tonne de CO₂ évitée ?



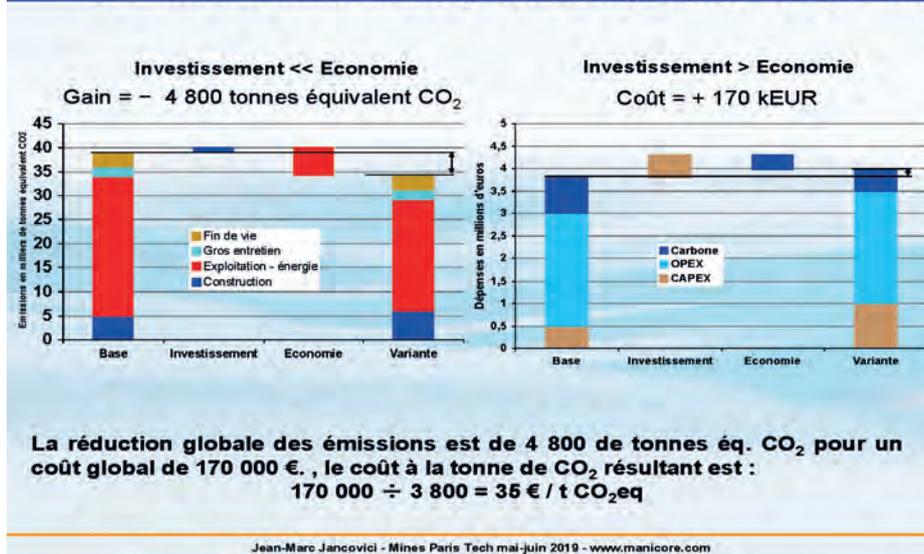
Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.manicore.com

Et puis on arbitre...



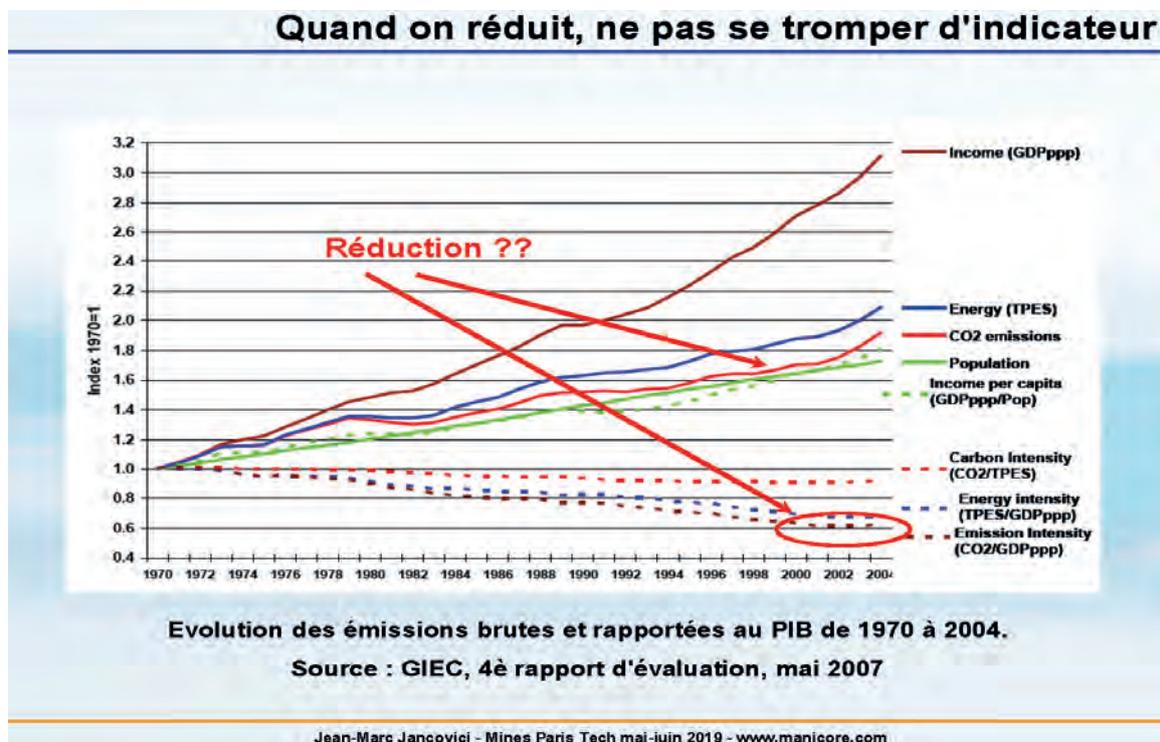
Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.manicore.com

Le coût à la tonne de CO₂ évitée, sage critère de gestion



Non traités

Quand on réduit, ne pas se tromper d'indicateur



Les objectifs en valeur absolue sont ceux qui comptent. Ce qu'il faut pour limiter le réchauffement, c'est réduire les émissions globales de l'humanité. Il ne faut pas raisonner par limitation de l'émission par personne, par voiture, etc.

Du coup pour une entreprise, la bonne question à se poser :

- n'est pas "comment limiter les émissions par produit vendu" ? (objectif relatif)
- mais "comment limiter les émissions de l'ensemble de l'entreprise" ?

Le but de l'entreprise étant de toujours vendre plus de produits, la première approche est incohérente et absolument pas à la hauteur des objectifs climat. Cette approche est pourtant celle qui est dominante dans le monde économique.

Les émissions par objet fabrique ou par service rendu baissent de manière régulière depuis 50 ans (Emission Intensity) alors que les émissions globales ne cessent d'augmenter.

Pour faire baisser les émissions, il ne faut donc pas se tromper d'indicateur et se fixer un objectif sur les émissions globales.

Dans de nombreux cas, les entreprises qui souhaiteraient réellement faire baisser leurs émissions globales ne le feront pas spontanément car cela signifierait contraindre leur activité (exemple, ne pas déployer la 5G). Si ce n'est pas la puissance publique qui se charge de faire respecter les objectifs de réduction des émissions, quoiqu'il en coûte, les entreprises n'agiront pas.

Risque de faillites de certaines entreprises ? C'est l'évidence. Mais cela ne serait pas une nouveauté absolue : les entreprises qui ne parviennent pas à s'acquitter de leur contribution au bien commun (TVA, cotisations sociales...) font faillite sans que cela ne provoque de scandales. Le devoir de réduire les émissions selon un objectif contraignant fixé par la puissance publique serait dans la même logique dépôt de bilan si l'entreprise ne parvient pas à réduire ses émissions.

Le mariage des euros et des GES peut aussi donner ceci

Moyenne des services en France ≈ 30 grammes équivalent carbone par euro HT

Moyenne des « gens dans un bureau » (avocats, comptables, caisses de retraite) ≈ 10 grammes équivalent carbone par euro

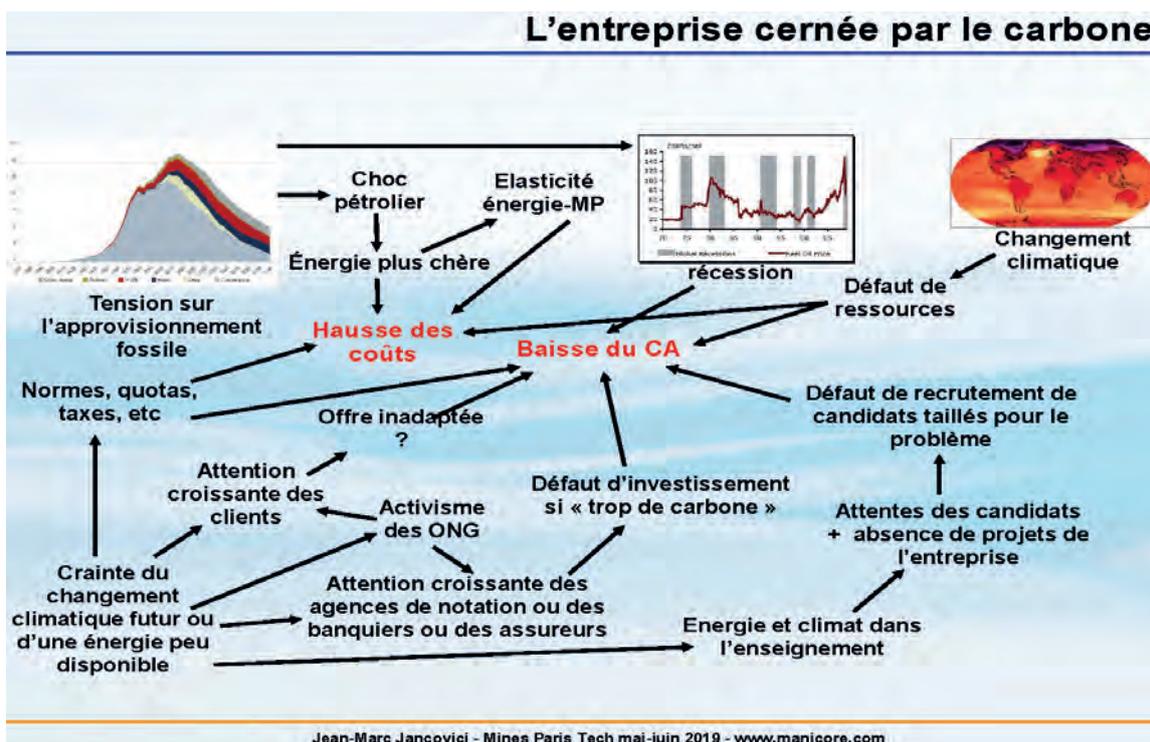
Moyenne de l'industrie manufacturière française ≈ 100 grammes équivalent carbone par euro de CA

Moyenne de l'€ de PIB en France ≈ 75 grammes équivalent carbone

Ce à quoi il faut arriver à PIB constant : ≈ 17 grammes équivalent carbone par euro ; avec 2% de croissance du PIB par an : 7,5 grammes équivalent carbone par euro, 10 fois moins qu'aujourd'hui !

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

Non traité



Puisque d'une part l'activité économique consiste à employer de l'énergie pour transformer / déplacer la matière et que d'autre part l'énergie est essentiellement fossile, les entreprises sont cernées par le carbone.

Que se passe-t-il aujourd'hui, dans un contexte de tension sur l'approvisionnement fossile ?

A court terme, sur les charges des entreprises :

- survenue d'un choc de prix de l'énergie qui a pour conséquence une hausse des coûts (= effet inflationniste)
- 2e conséquence qui également contribue au renchérissement des coûts, peut être beaucoup plus important dans certaines entreprises, l'augmentation du prix de toutes les matières premières achetées par les entreprises. Effet financier = toutes les matières premières sont asservies au prix du pétrole, qu'il s'agisse des céréales, des minerais, ... du fait de la financiarisation de l'économie.

A plus long terme, sur le CA des entreprises :

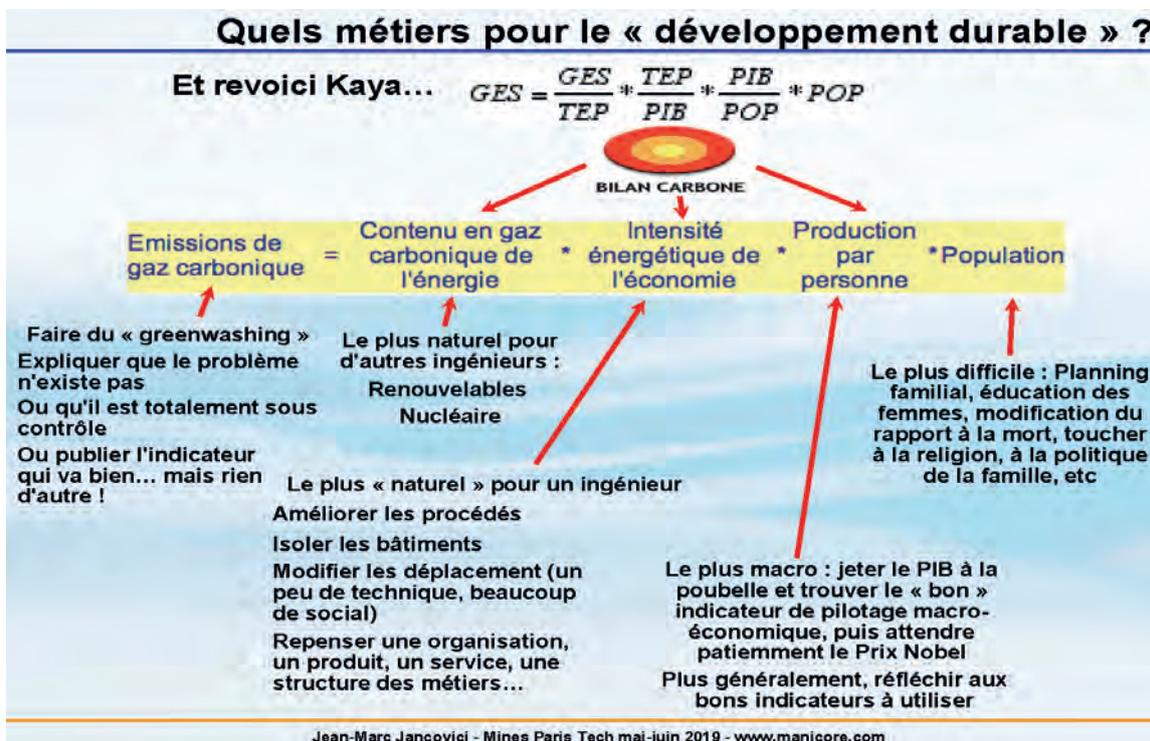
- la contraction de l’approvisionnement énergétique engendre un récession
- ce qui impacte les ventes fdes entreprises

Que se passe-t-il aujourd’hui, dans un contexte de changement climatique, dont on constate déjà les effets ?

- défaut de ressources, d’accès aux ressources

La crainte du changement climatique ou de l’épuisement des ressources

- pousse les clients à s’orienter vers des offres responsables. Se pose la question de la mise en adéquation de l’offre des entreprises à cette nouvelle demande : baisse du CA si pas d’adaptation
- conduit la puissance publique à édicter des règles / normes environnementales, à créer de nouvelles taxes, ... qui renchérit le coût de production, voire contraint l’entreprise à changer ses produits et chaînes de production. Baisse du CA également.
- incite les financiers et assureurs à être plus regardants sur les risques, et donc à moins prêter. Baisse des investissements.
- contraint les entreprises à se doter d’un personnel formé (sujet RH) pour anticiper / traiter les problématiques liées au changement climatique, avant qu’il n’impacte significativement l’activité de l’entreprise
- donne de l’écho à l’action des ONG qui pousse les clients à être plus responsables dans leur mode de consommation et les acteurs économiques à être plus “vertueux” vis à vis du Bien commun



Quels métiers pour le développement durable ?

D’un point de vue technique

Les ingénieurs doivent s’occuper de l’efficacité énergétique

- améliorer les procédés
- isoler les bâtiments
- modifier les déplacements (solutions techniques 1 petite part du problème)
- ... produire mais de manière à moins émettre

Ils auront aussi en charge le développement des énergies “propres”

- renouvelables
- nucléaire
- séquestration
- ...

D’un point de vue macro

Les économistes doivent revoir leur indicateur, le PIB, qui n’est pas du tout adapté pour penser une économie en contraction structurelle.

D'un point de vue culturel / sociétal

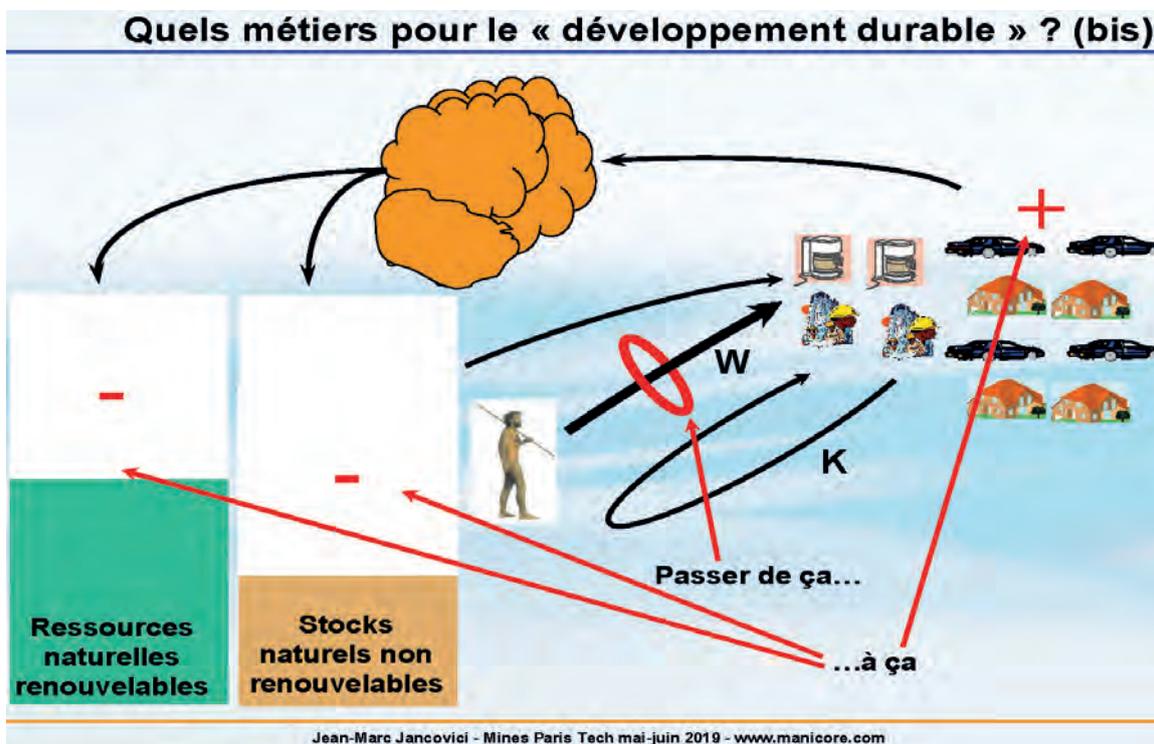
Toutes les personnes qui limitent la croissance démographique font oeuvre utile, contribuent au "développement durable"

- éducation (des femmes)
- politiques familiales
- rapport à la mort
- ...

Importance des statisticiens

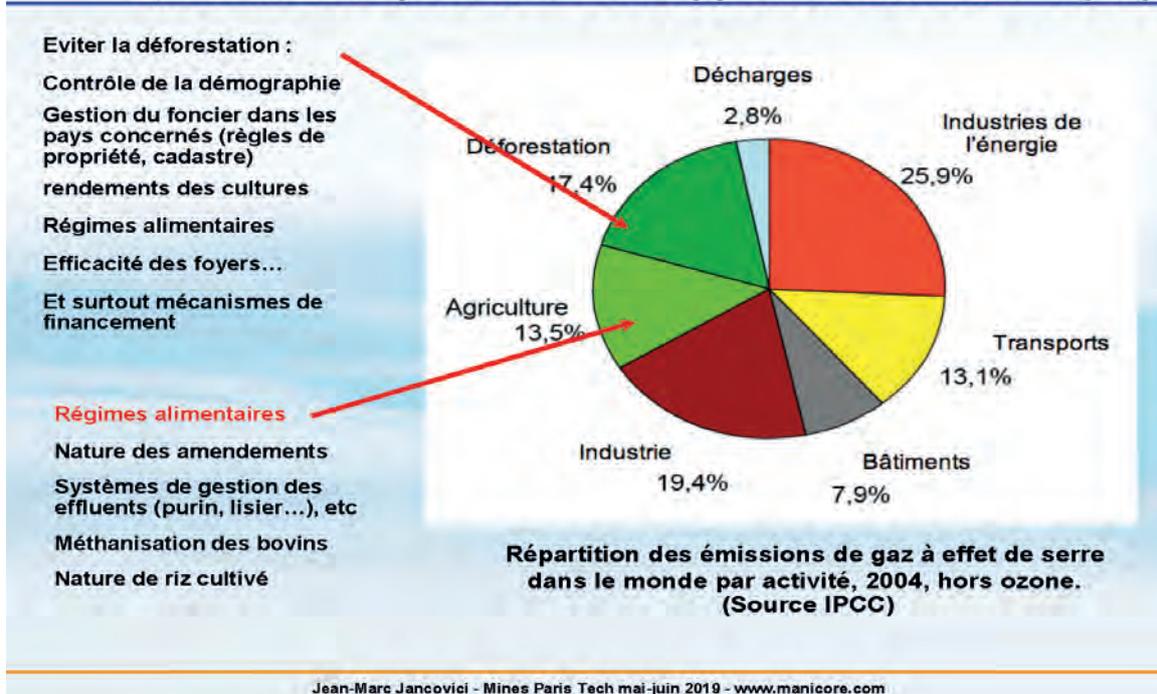
Importance de mesurer les bilans carbone des acteurs économiques et des individus avant de passer à l'action pour réduire les émissions.

Nuisance des bonimenteurs qui peuplent les Services de communication des entreprises et qui affirment que le problème est sous contrôle, déjà traité et qui focalisent l'attention sur le détail plutôt que sur l'ensemble... greenwashing.



Non traité

Quels métiers pour le « développement durable » ? (ter)



Les emplois utiles pour baisser les émissions.

Gestion des forêts

Limiter la déforestation permet de réduire la part de la déforestation comme source de GES (17,4% des émissions mondiales). Cela consiste à :

- contrôler la démographie / planning familial
- gestion rigoureuse du foncier dans les pays qui déforestent
- améliorer le rendement des cultures (anticiper le changement climatique avec des essences résistantes)
- améliorer l'efficacité du chauffage au bois
- mécanismes de financement de la protection forestière
- ...

Gestion des régimes alimentaires

Rendre moins émissifs l'élevage et l'agriculture :

- nature des amendements utilisés
- meilleure gestion des effluents
- recyclage du méthane produit par le cheptel bovin
- réduire les émissions des rizières en sélectionnant les variétés
- ...

Gestion de la "résilience"

Tous les métiers qui anticipent sur les dégâts inévitables et à venir provoqué par le changement climatique.

