

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

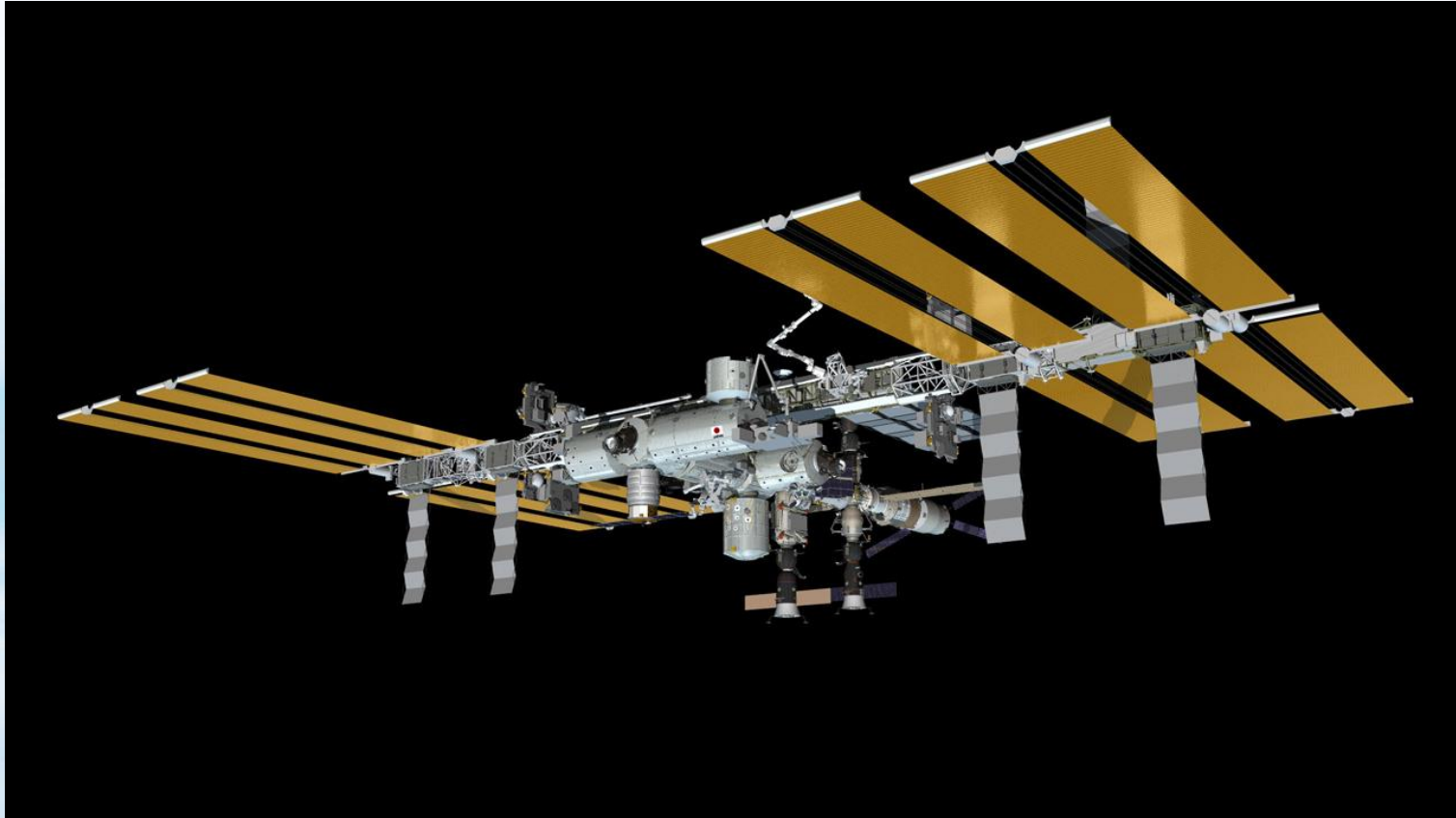


Les ressources naturelles **sont inépuisables**, car sans cela, nous ne les obtiendrions pas **gratuitement**. Ne pouvant ni être multipliées ni épuisées, **elles ne sont pas l'objet des sciences économiques**.

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



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



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 ?

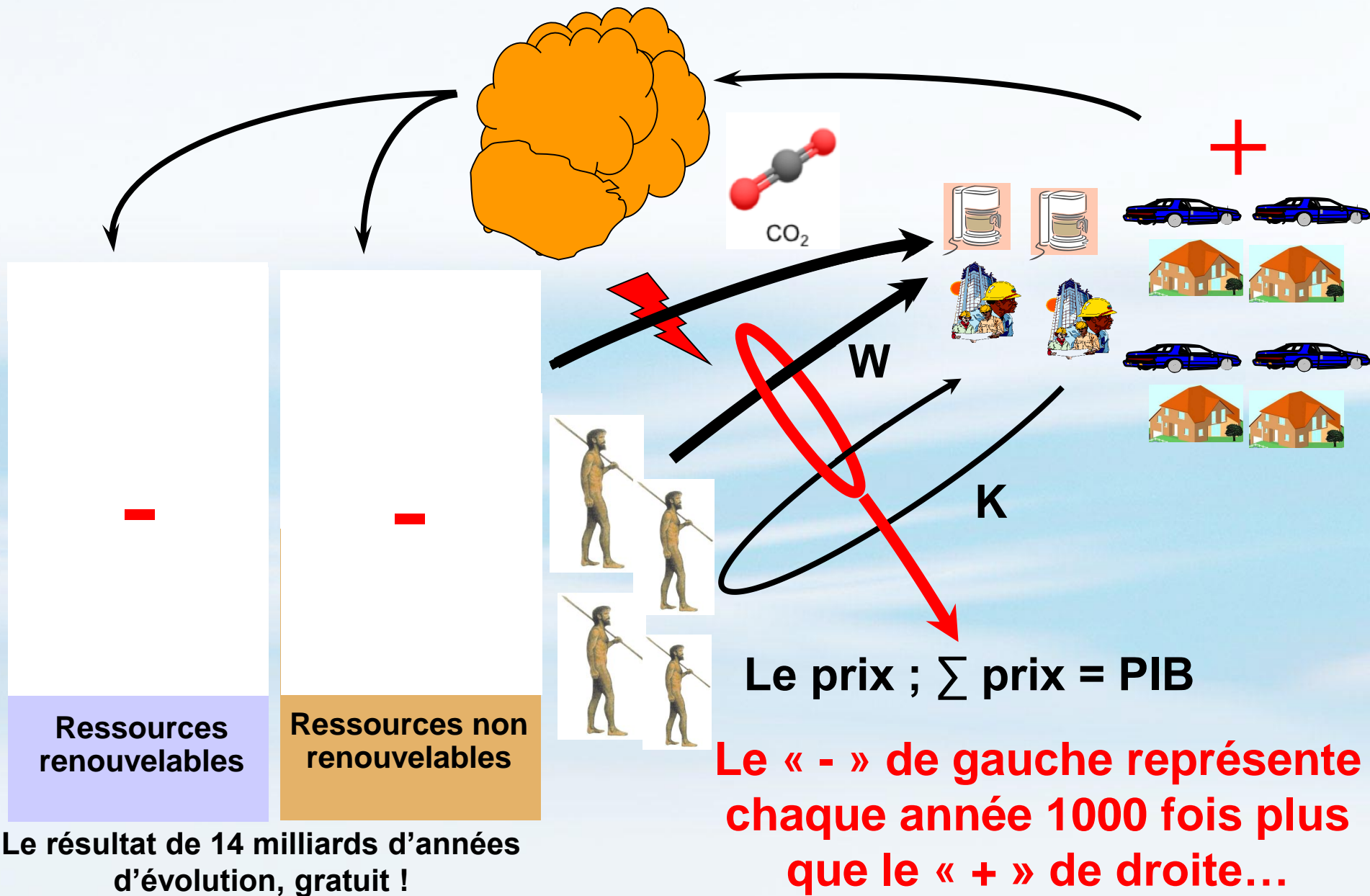
Par habitant, la planète vaut au moins aussi cher que la station spatiale internationale, soit 15 milliards de dollars

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 ?

L'économie mondiale en un clin d'œil



Reprenons : nos prix sont faux, et notre économie aussi

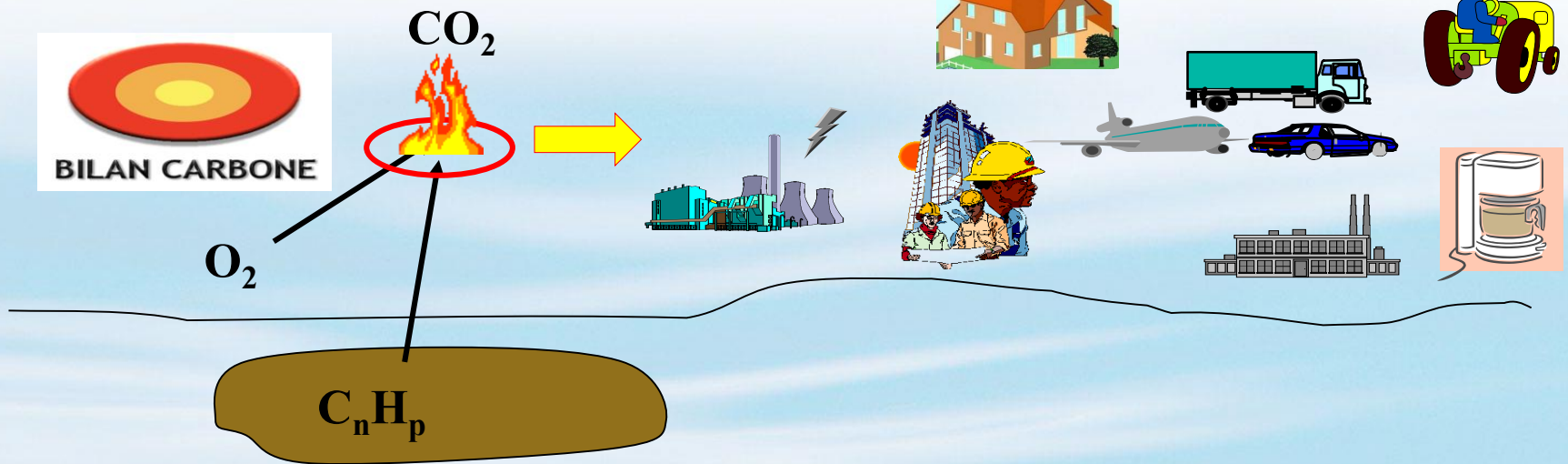
Nous avons tous appris ~~$P = F(K, W)$~~ . Les ressources naturelles ne sont pas dans la formation des prix : seuls y figurent le coût du travail humain, et le consentement - humain - à se défaire de sa propriété

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

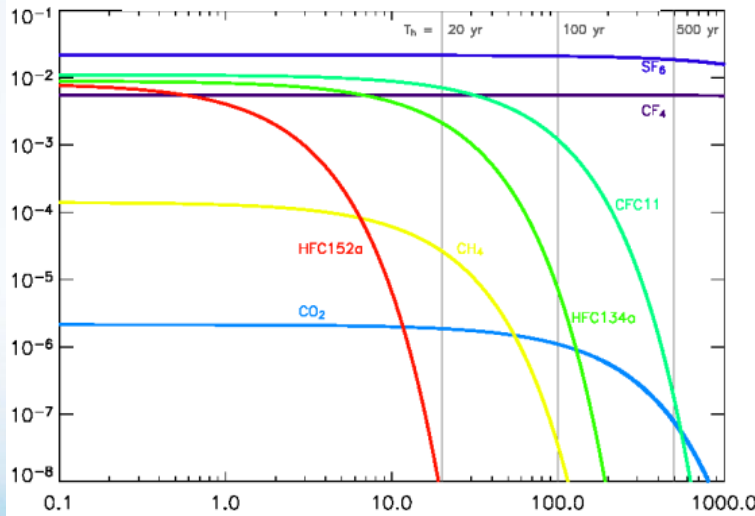
L'énergie – donc le carbone pour 80% - est un **traceur des flux physiques -> elle permet de détecter les signaux faibles**

Il donne donc de la visibilité sur la distance
à la contrainte pour l'aspect « émissions »

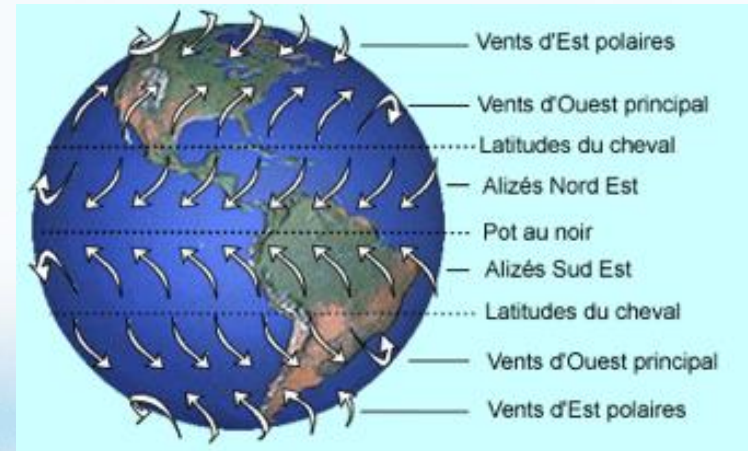


Mais il donne aussi de la visibilité
sur la distance à la contrainte pour
l'aspect « ressources »

Additionner, mais quoi ?



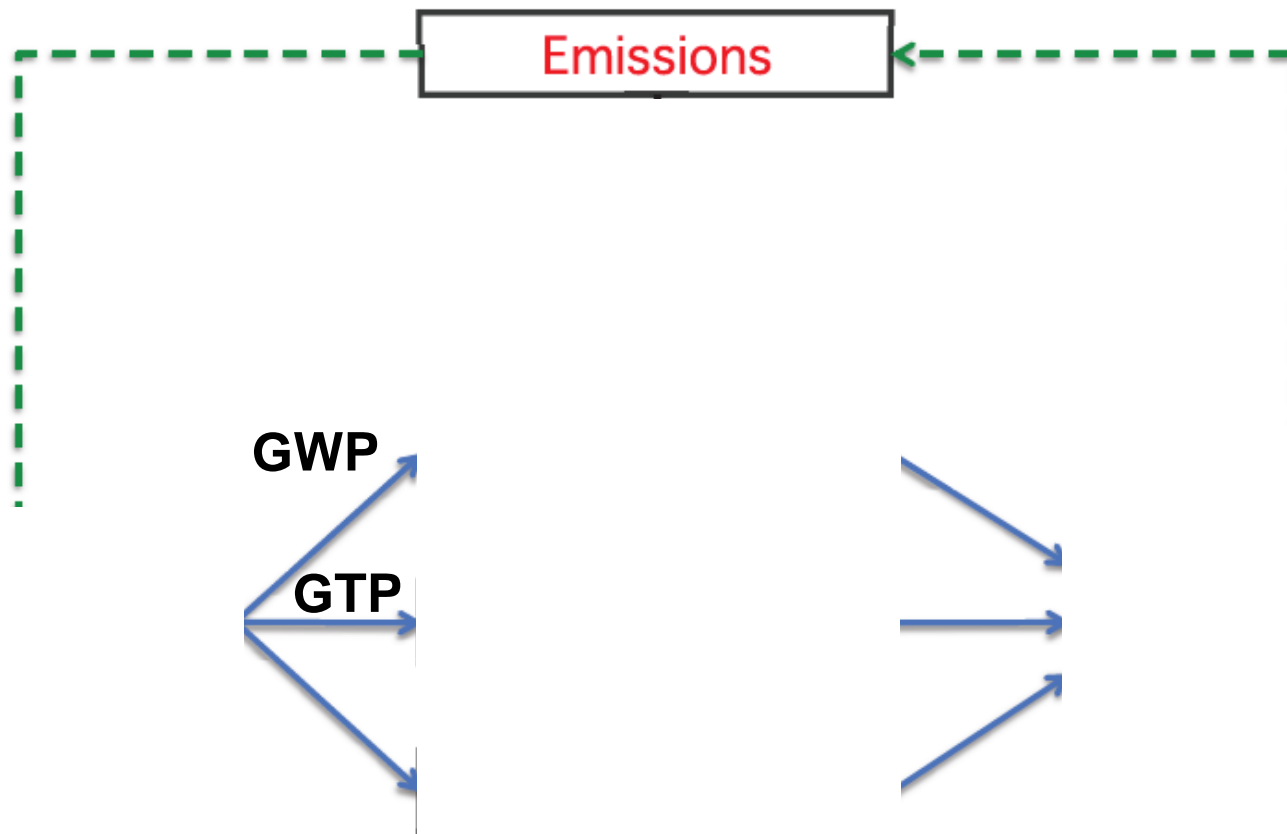
+



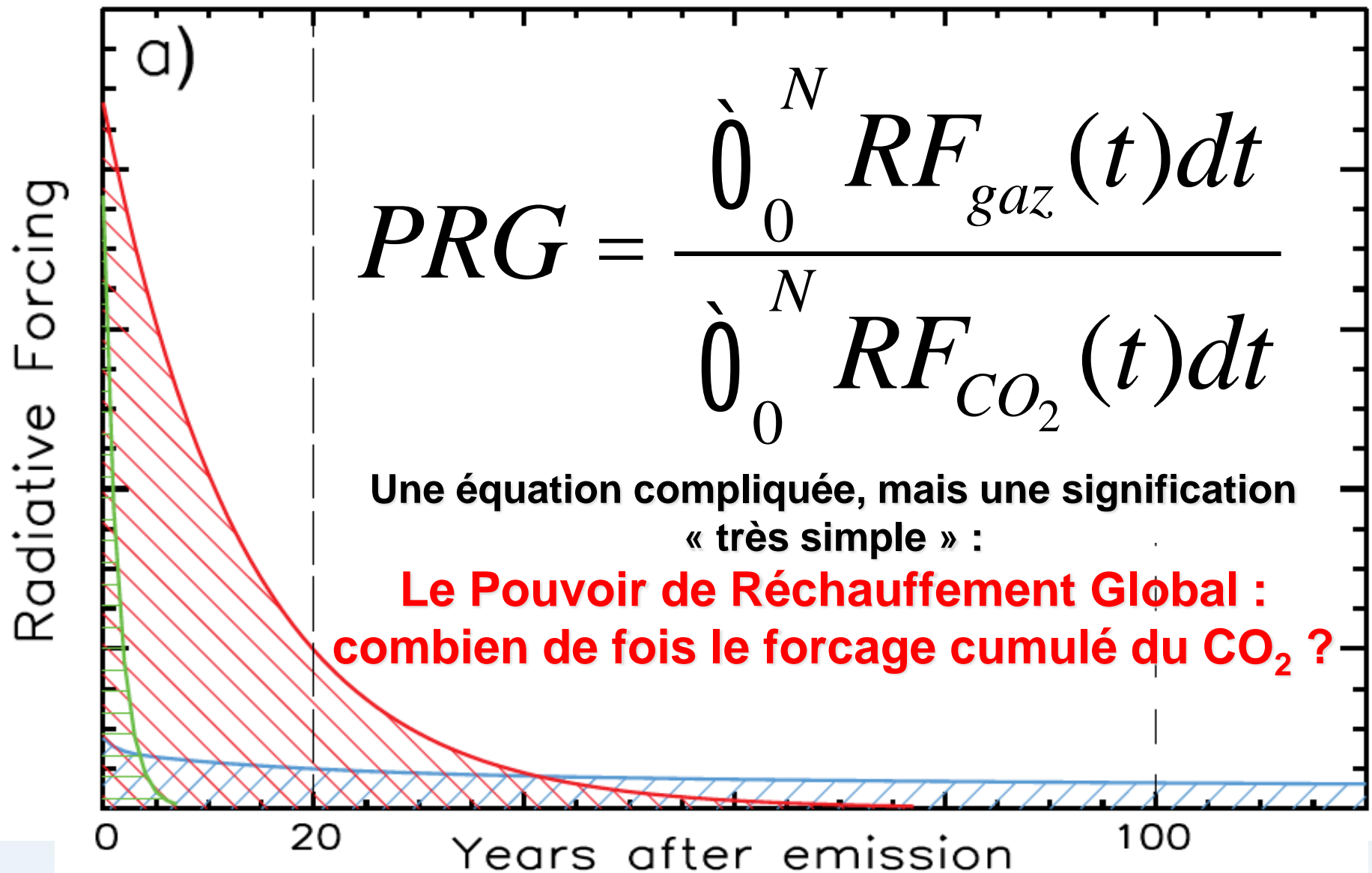
=

**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.



Source : IPCC, 5è rapport d'évaluation, 2014



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

	Lifetime (years)		GWP ₂₀	GWP ₁₀₀	GTP ₂₀	GTP ₁₀₀
CH ₄ ^b	12.4 ^a	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 ^a	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, 5è rapport d'évaluation, 2014

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

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.

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]

Article 225 **(Article 173 de la LTE)**



Article 75 **(BEGES réglementaire)**

OBLIGÉS

Entreprises cotées
Entreprises 500 employés et +100 M€ CA

Entreprises 500 employés

PÉRIMÈTRE DES EMISSIONS

Émissions significatives sur un périmètre
scopes 1, 2 et 3

Scopes 1 et 2 obligatoire, scope 3
volontaire

PÉRIODICITÉ

Tous les ans

Tous les 4 ans

PÉRIMÈTRE GÉOGRAPHIQUE

Monde

France

CONTROLE

Commissaires aux comptes

DREAL et amende de 1500 € si obligation
non remplie

Périmètres de comptabilisation des émissions exigés par les réglementations carbone

SCOPE 1



SCOPES 1+2



**SCOPES 1+2
+ SCOPE 3 recommandé**



SCOPES 1+2+3



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 !

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

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

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

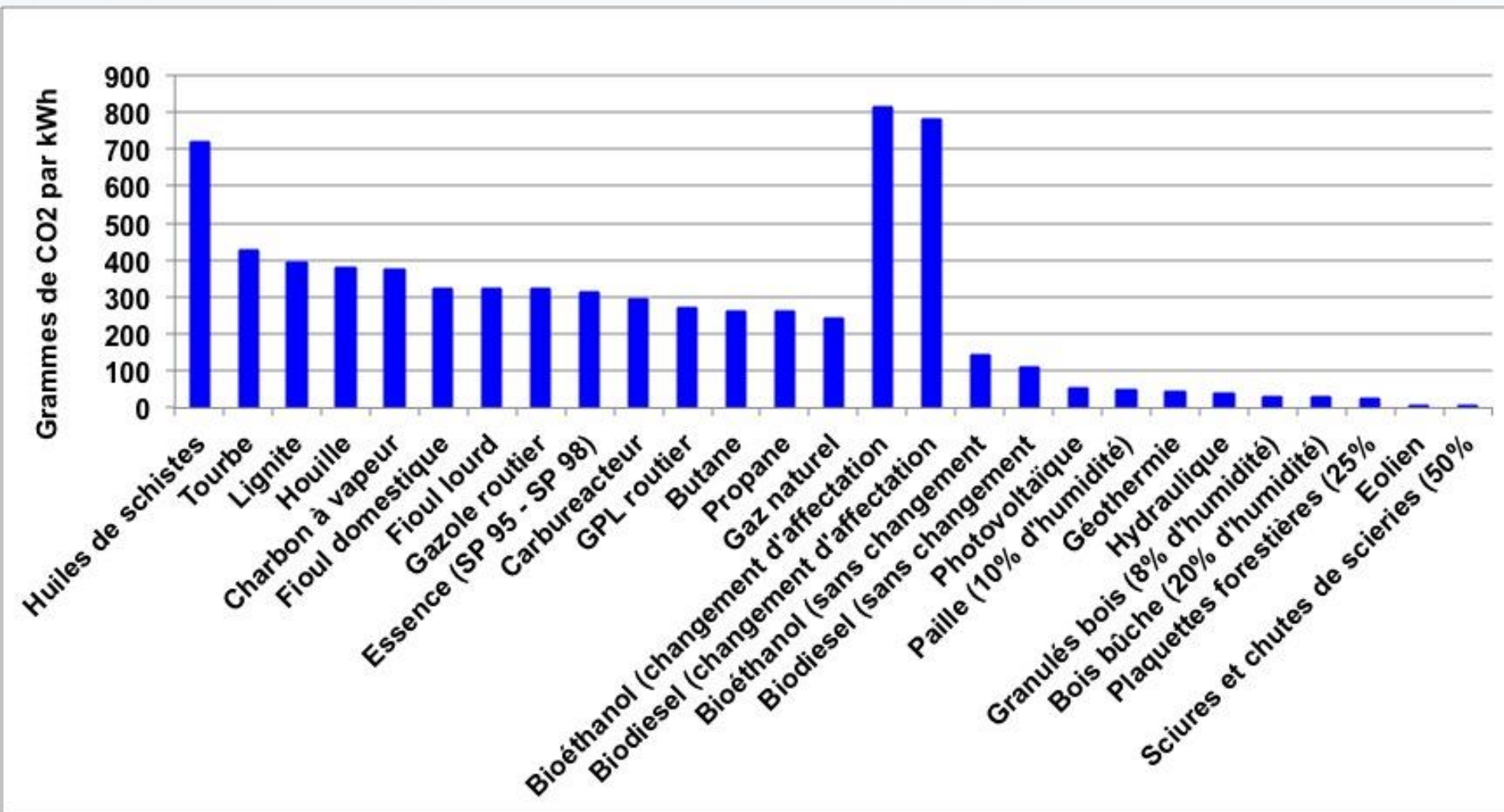
Et donc 1 kg de carbone qui brûle donne $44/12$ (~3,67) kg de CO₂

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

Equivalent carbone $\rightarrow \times 44/12 \rightarrow$ équivalent CO₂

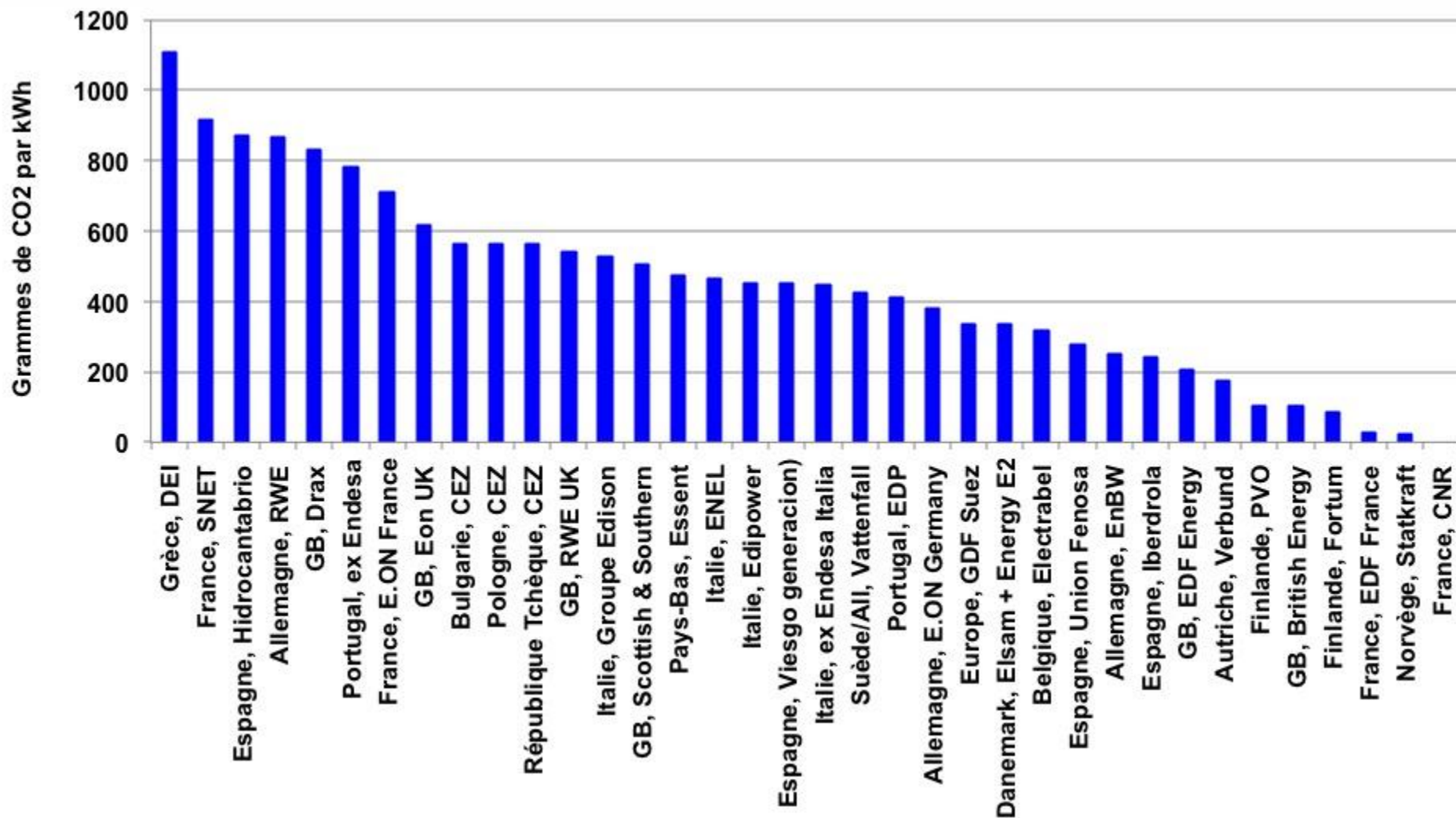
Equivalent carbone $\leftarrow \times 12/44 \leftarrow$ équivalent CO₂

Facteurs d'émissions pour l'énergie



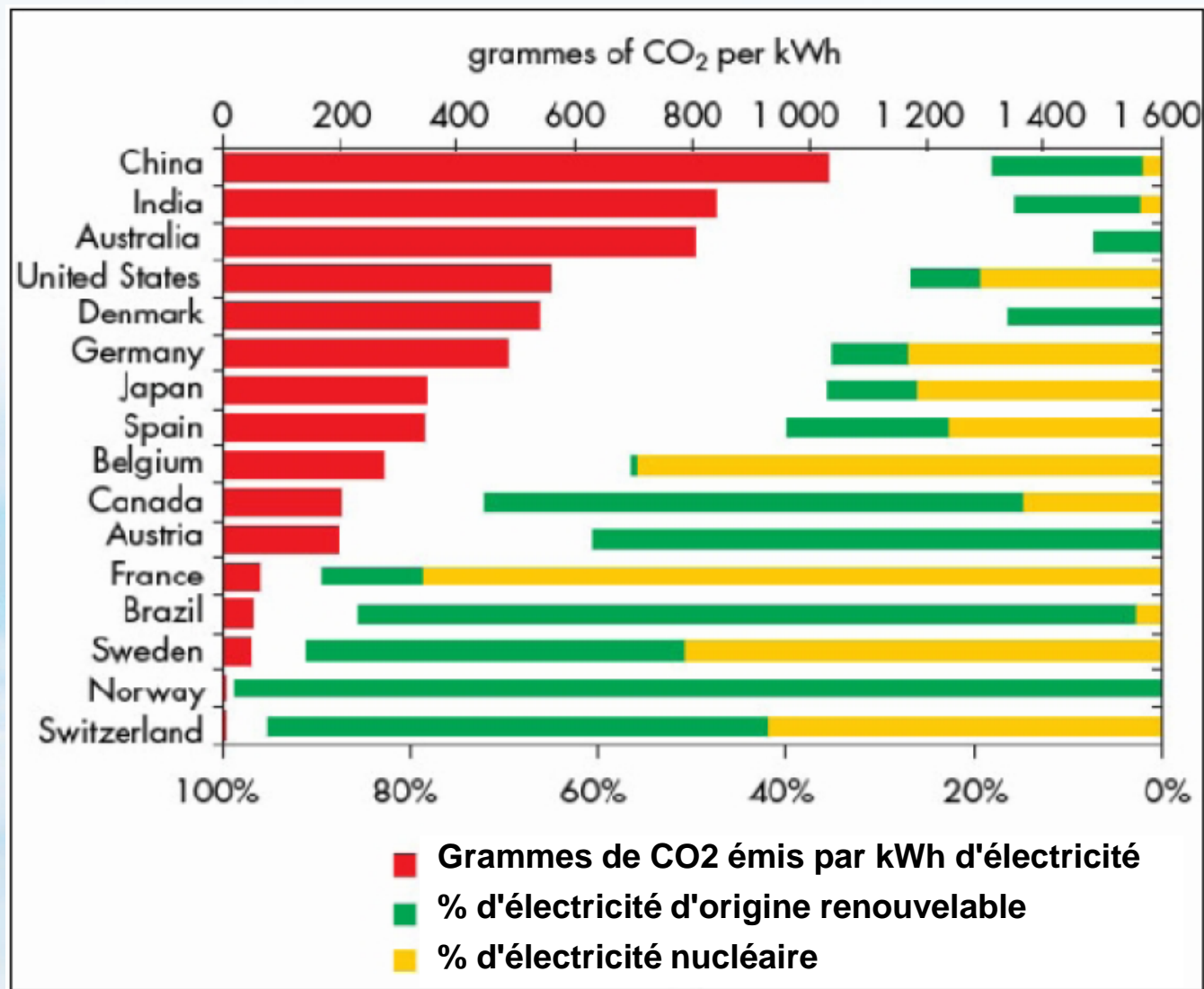
Grammes équivalent CO2 par kWh, en analyse de cycle de vie.
Ademe, base carbone, 2015

Facteurs d'émissions pour l'électricité



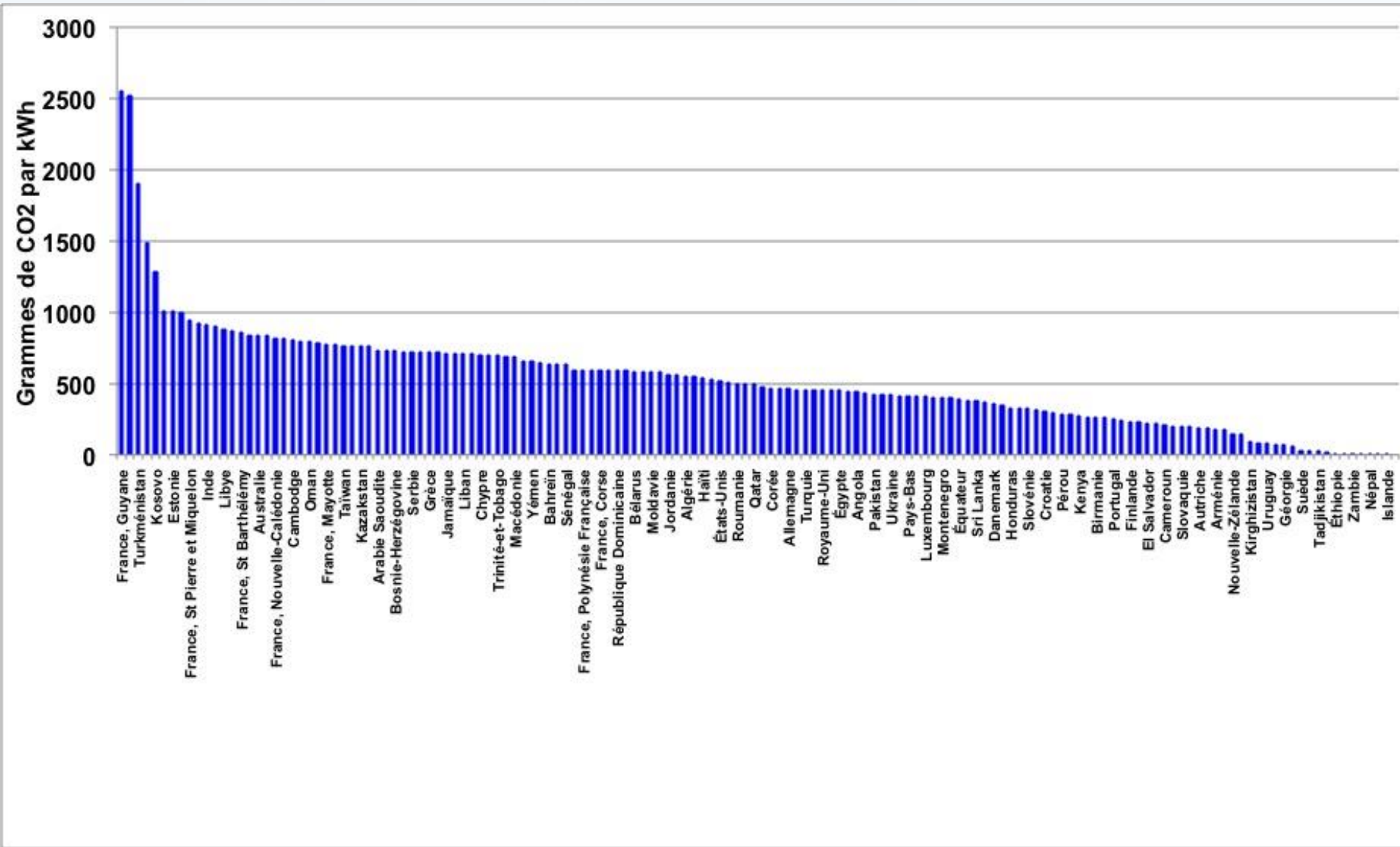
Grammes équivalent CO2 par kWh électrique (sortie de centrale) pour divers producteurs européens (European Carbon Factor, 2015)

Où l'on retombe sur ses pieds (carbonés)



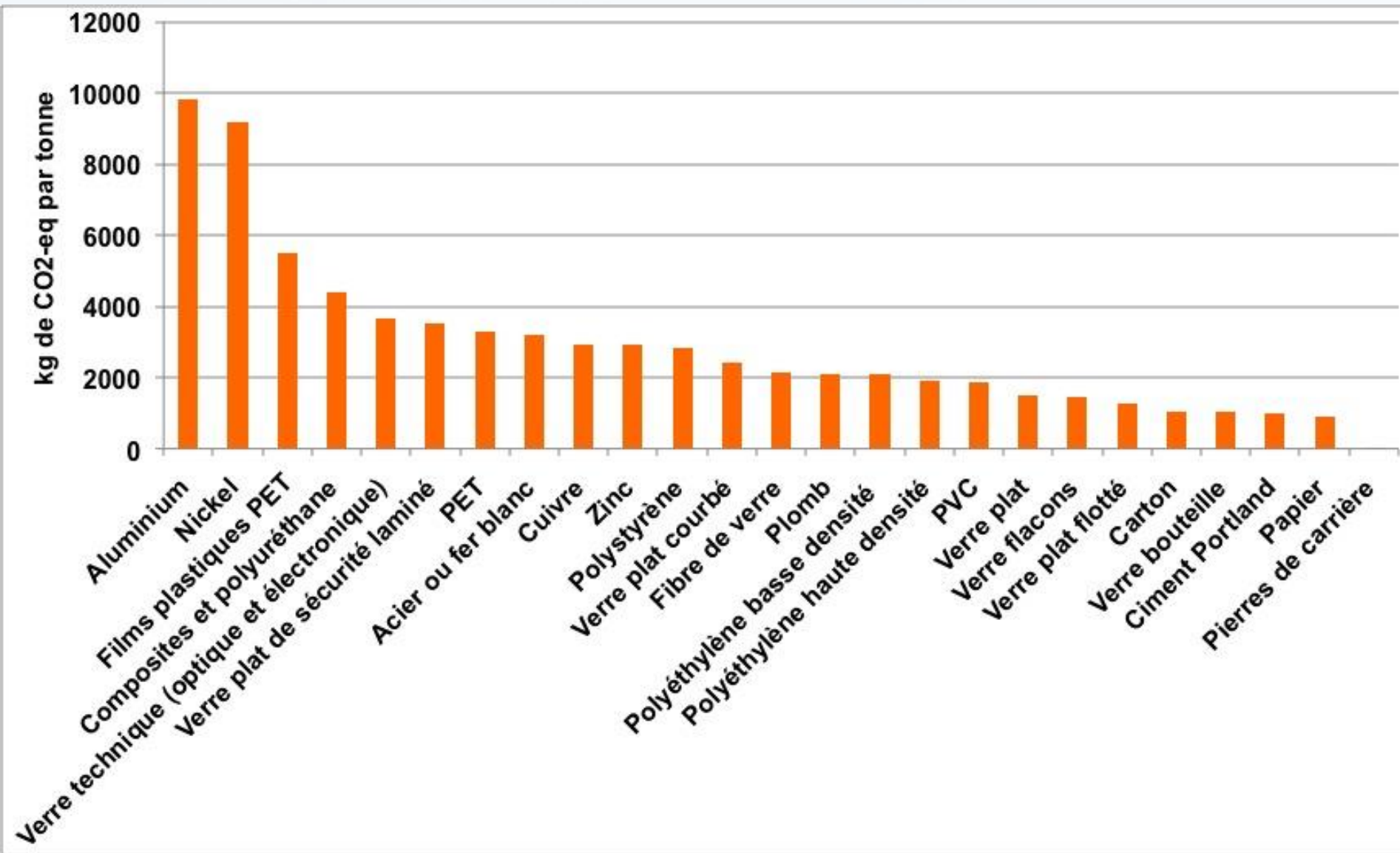
Source Bertrand Barré, 2010

L'électricité, de presque zéro à > 1 kg de CO₂ par kWh



Kg eqv C par kWh électrique en 2014. Source Ademe, 2015

Facteurs d'émissions pour certains matériaux



Kg équivalent CO2 par tonne pour divers matériaux (moyenne européenne), en analyse de cycle de vie. Source Ademe, 2015

Une moyenne peut avoir un écart type majeur

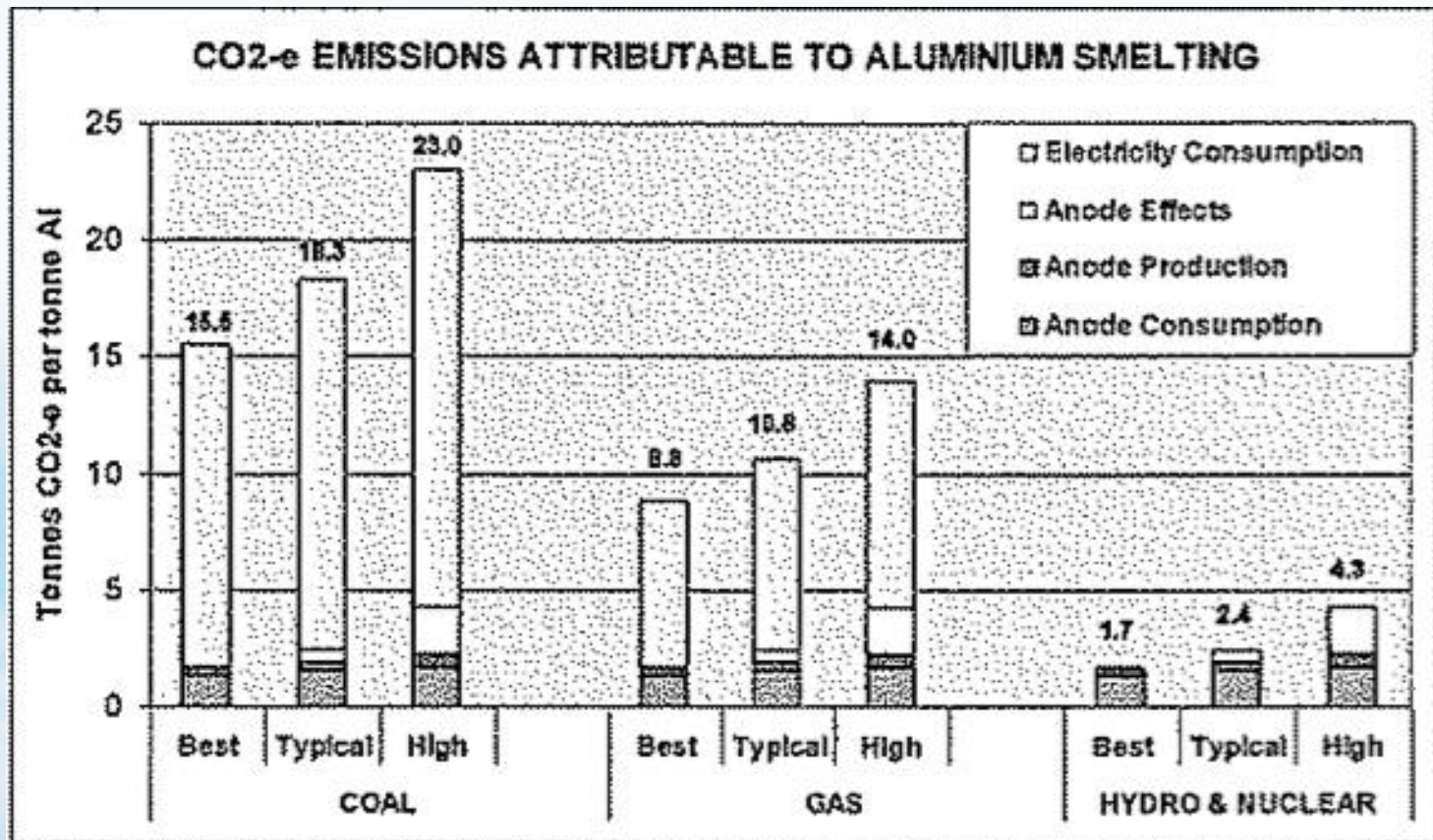
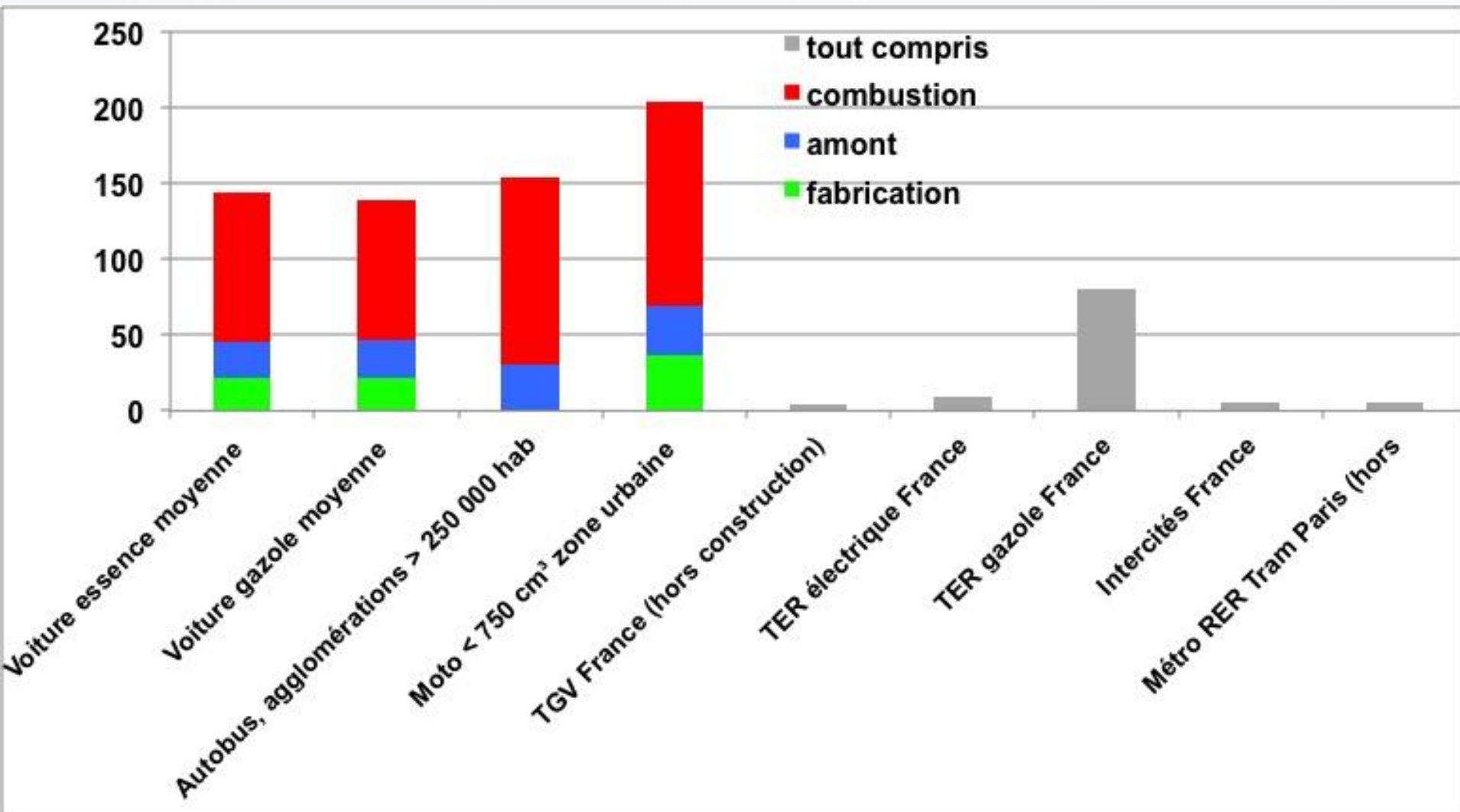


Figure 3 Total GHG Emissions Depending on Smelter Efficiency and Power Source

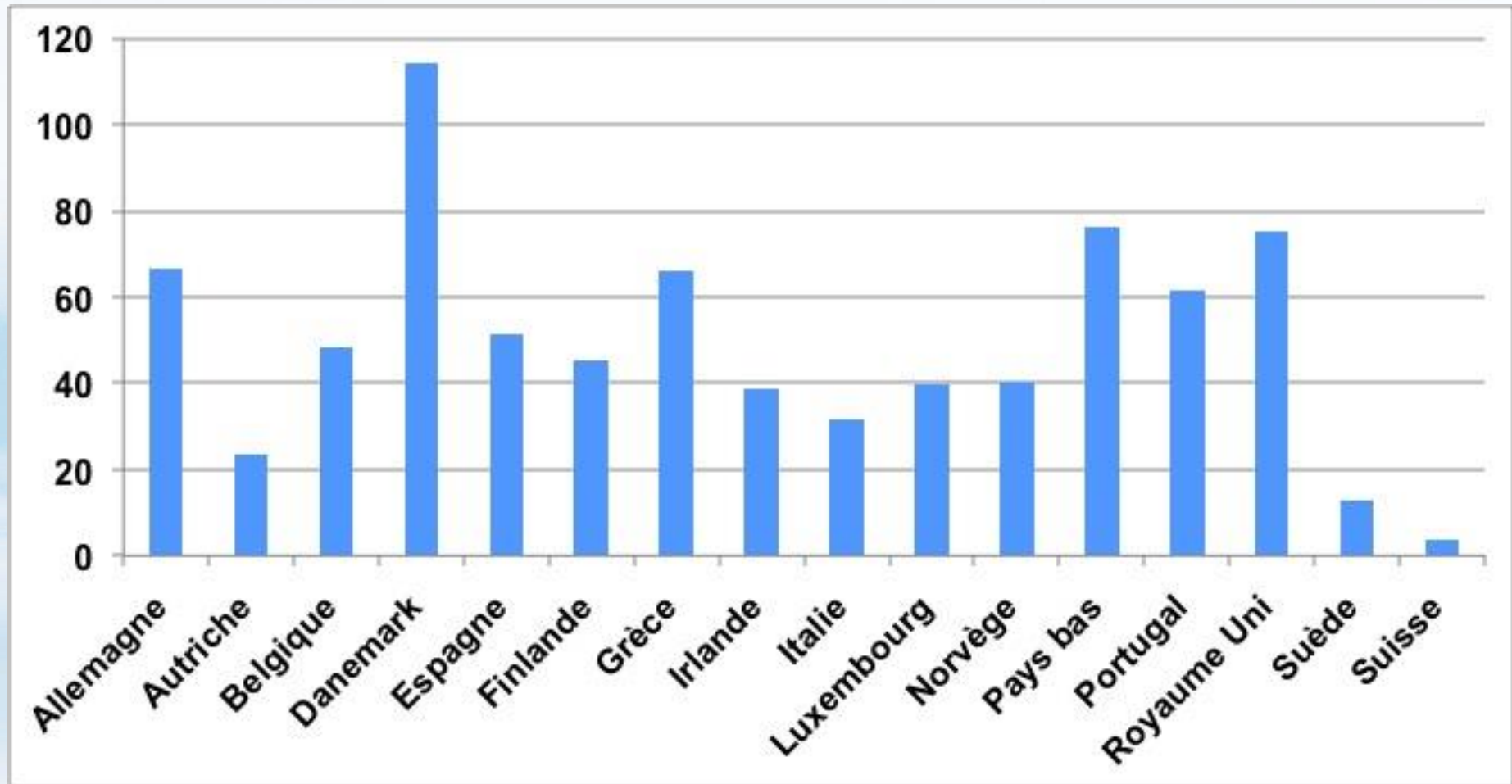
Source : « Aluminium smelting greenhouse footprint and sustainability », Jeffrey Keniry, 2008

Se déplacer émet plus ou moins



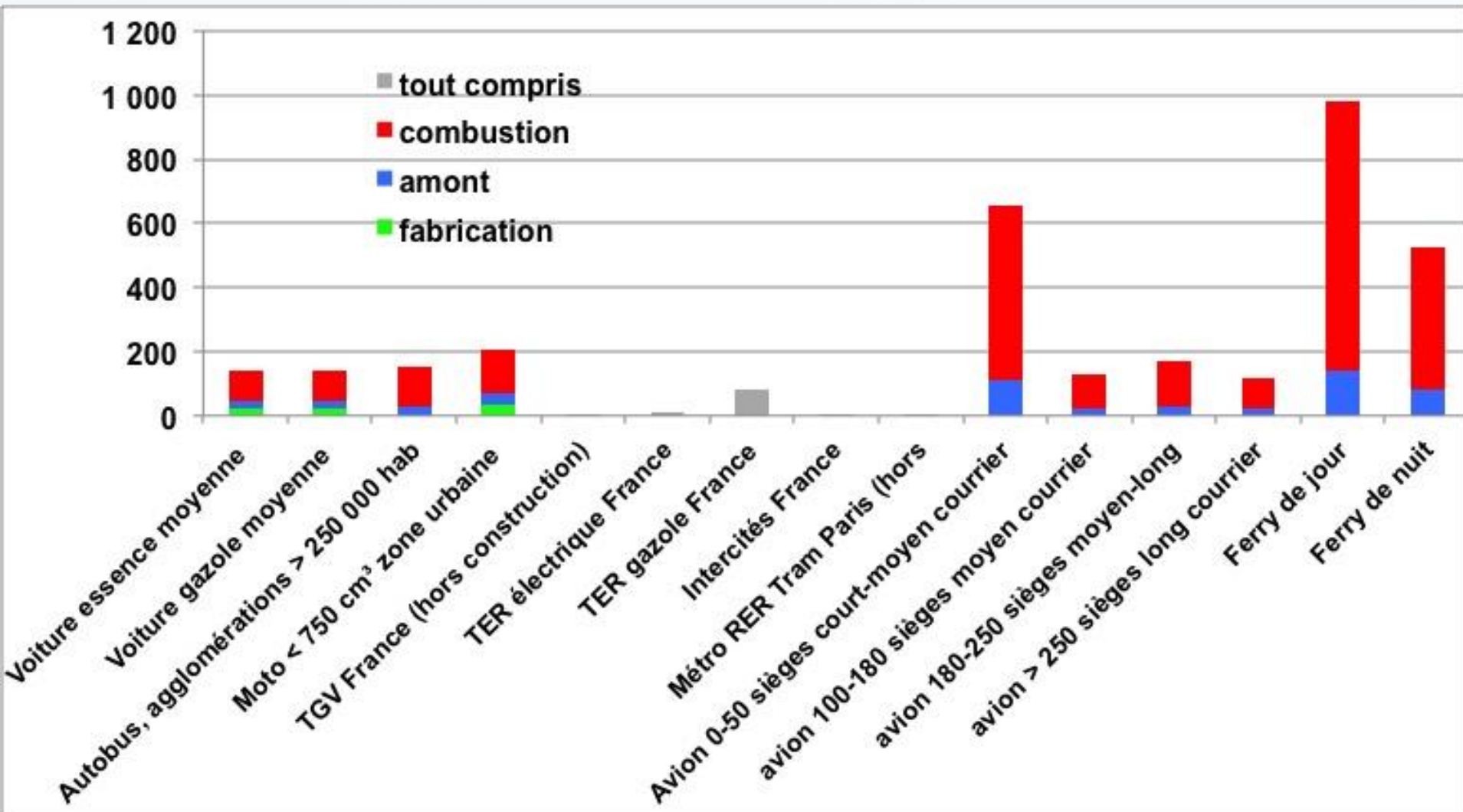
Grammes équivalent CO2 par passager.km pour divers modes de transport (Ademe, 2015)

La vertu ferroviaire n'est pas automatique



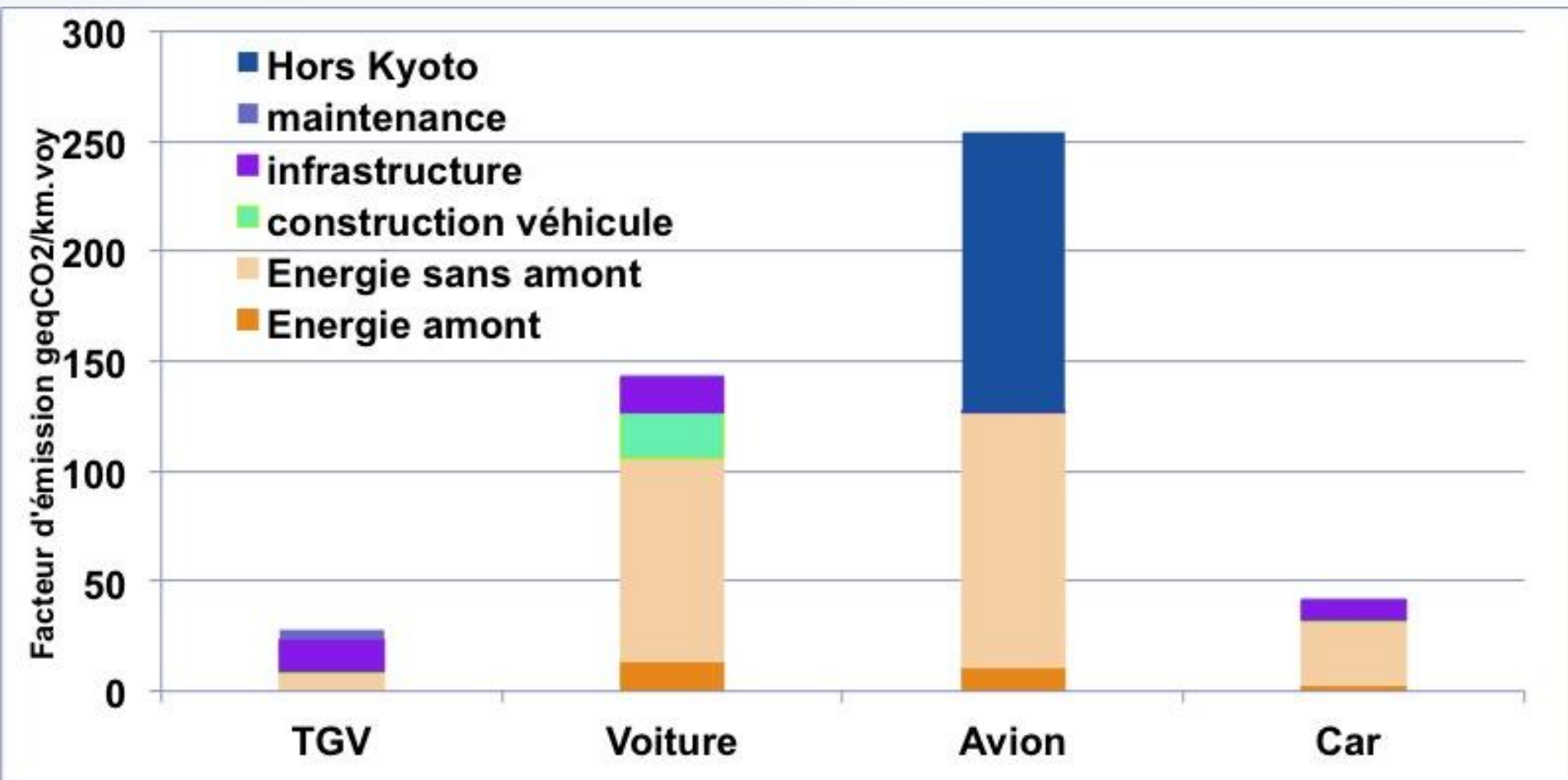
Grammes équivalent CO2 par passager.km pour le train dans divers pays, construction exclue (Ademe, 2015)

Parfois se déplacer émet plus ou plus



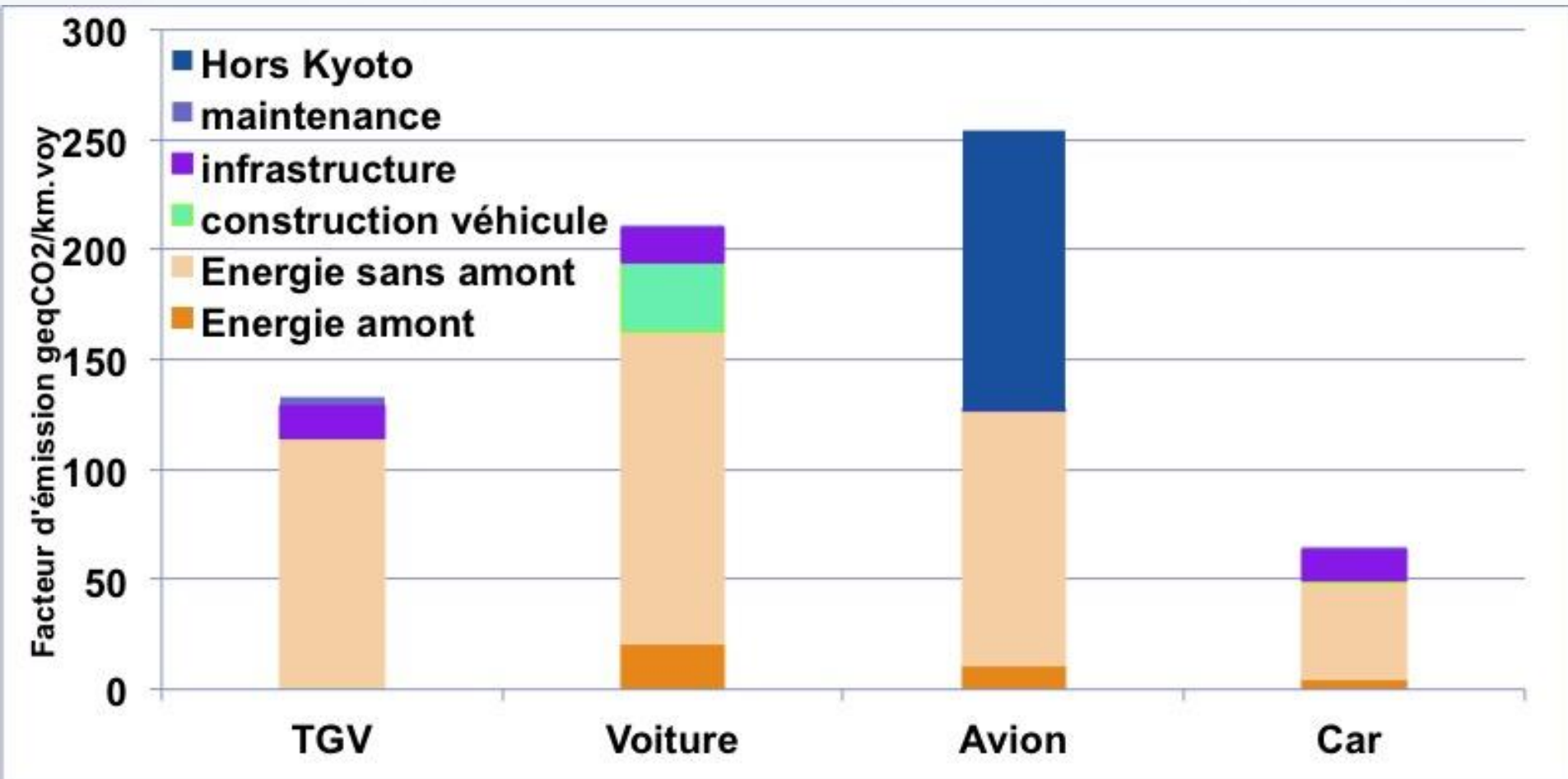
Grammes équivalent CO2 par passager.km pour divers modes de transport (Ademe, 2015)

Et si je mélange électricité et transports ?



Facteurs d'émission de divers modes, en France. Remplissage voiture = 1,89 passager/véhicule ; train = 77% ; facteur d'émission de l'électricité = 90 g CO2/kWh ; autocar 33 personnes.

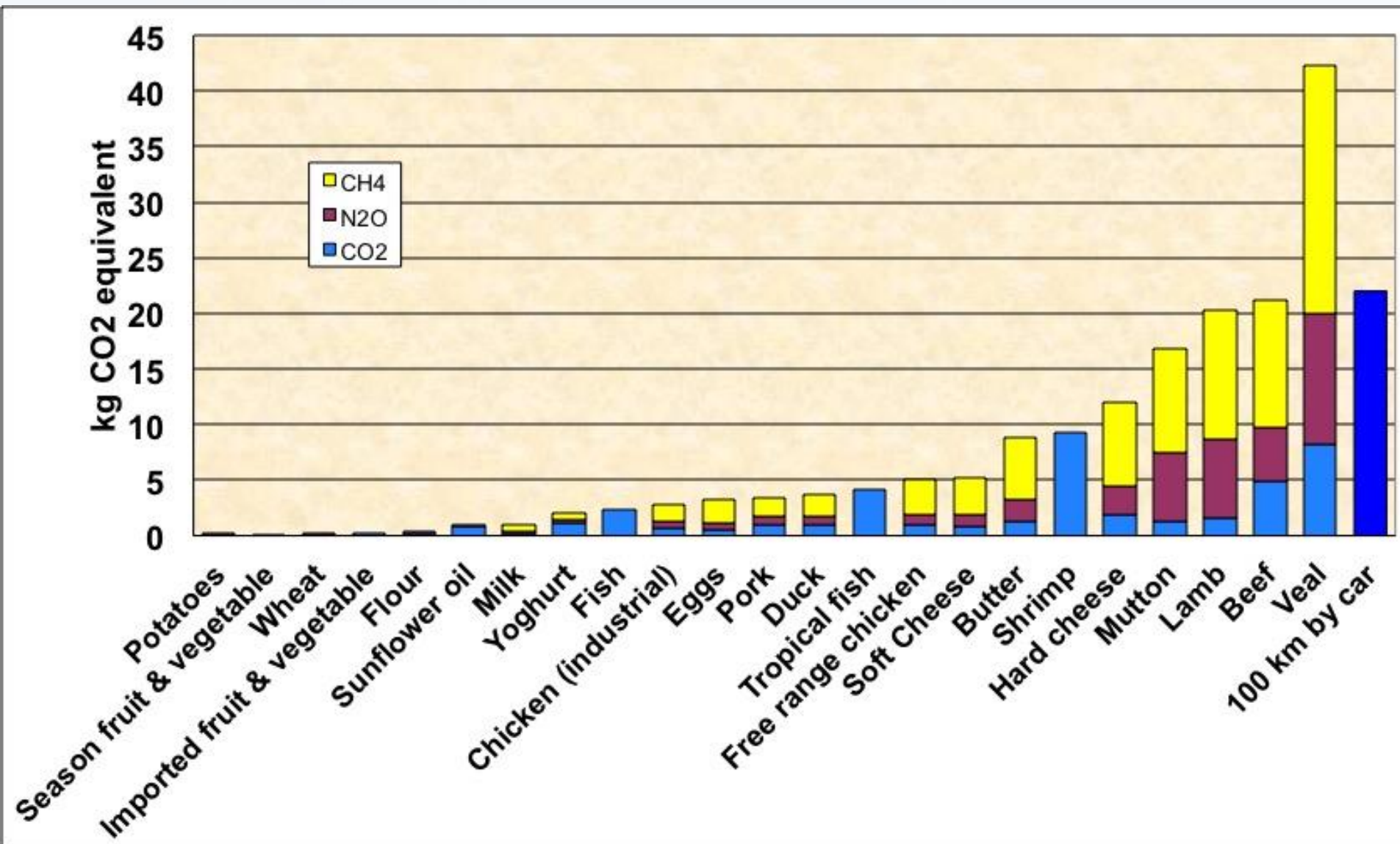
Source Carbone 4, 2012



Facteurs d'émission de divers modes, en Pologne. Remplissage voiture = 1,2 passager/véhicule ; train = 77% ; facteur d'émission de l'électricité = 800 g CO2/kWh (tout charbon) ; car = 20 passagers.

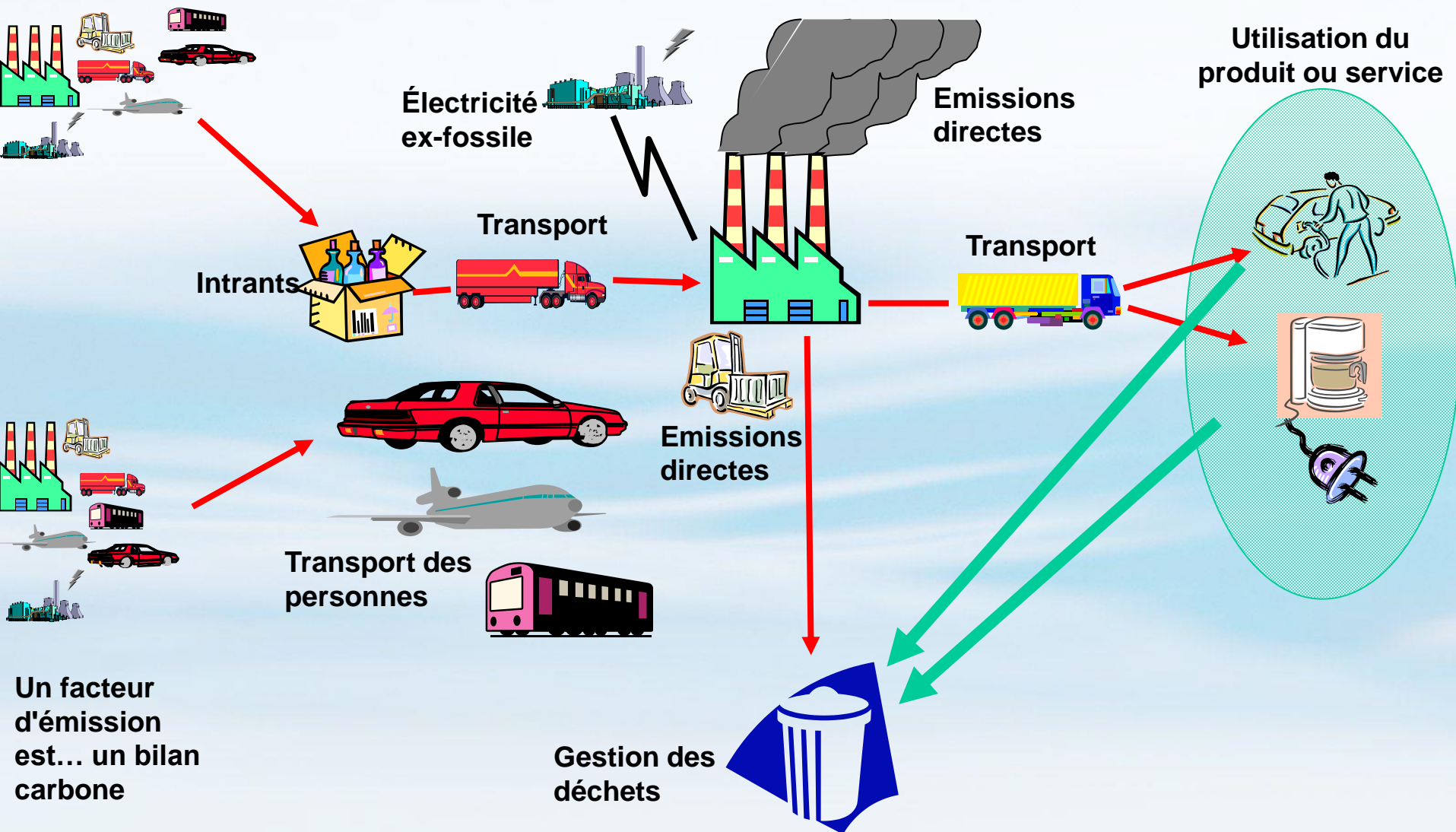
Source Carbone 4, 2012

Et même la nourriture !



Kg équivalent carbone pour la production d'un kg de nourriture. Source : Jancovici/Ademe, 2009

Un bilan carbone est un bilan, donc doit permettre d'agir

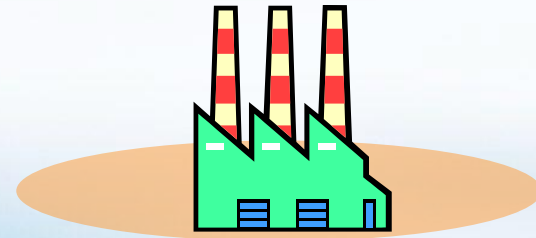


Cas d'une collectivité, vue sous l'angle « territoire » : ce dernier devient un site unique

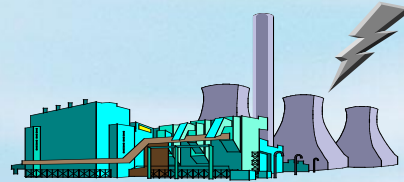
Fret
marchandises



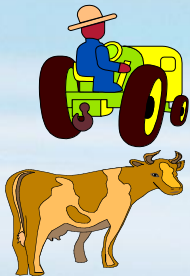
Industries



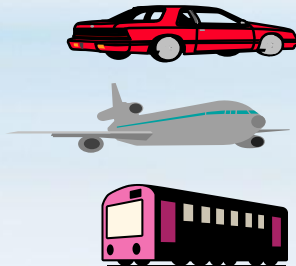
Production d'énergie



Agriculture



Transport
personnes



Tertiaire



Construction
et voirie



Eau, déchets,
assainissement

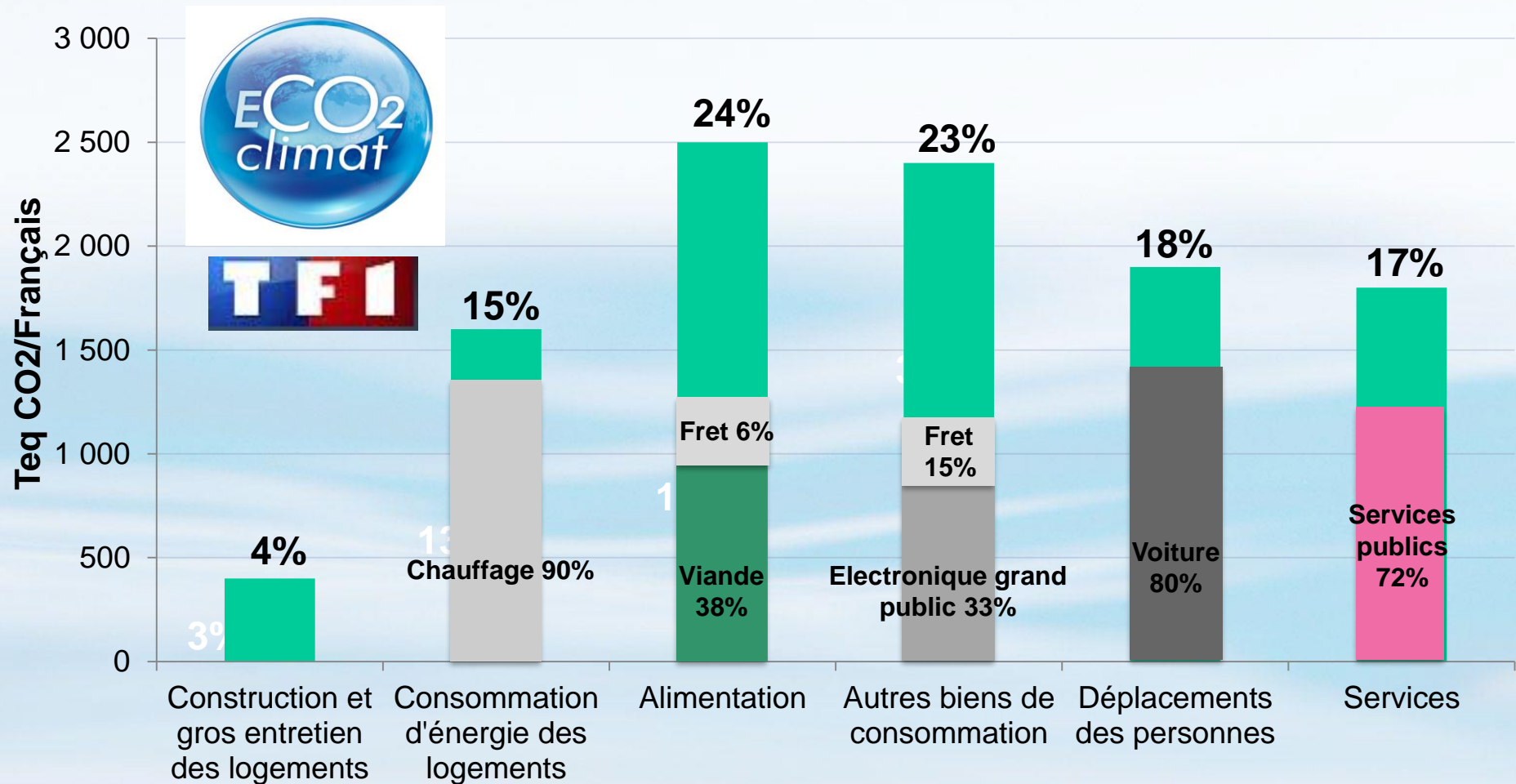


Résidentiel

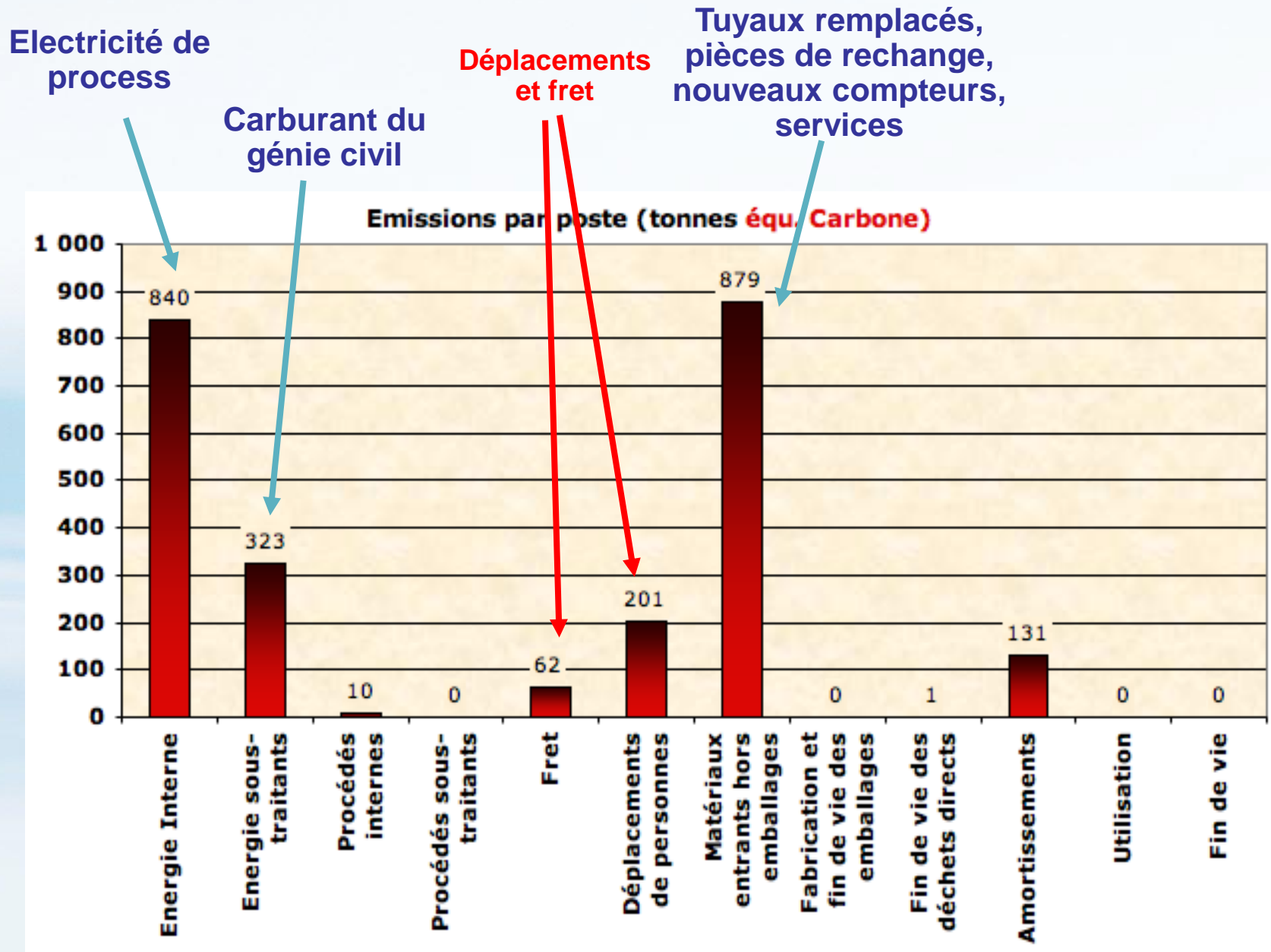


Difficulté à appréhender les intrants, ce qui peut faire un paquet !

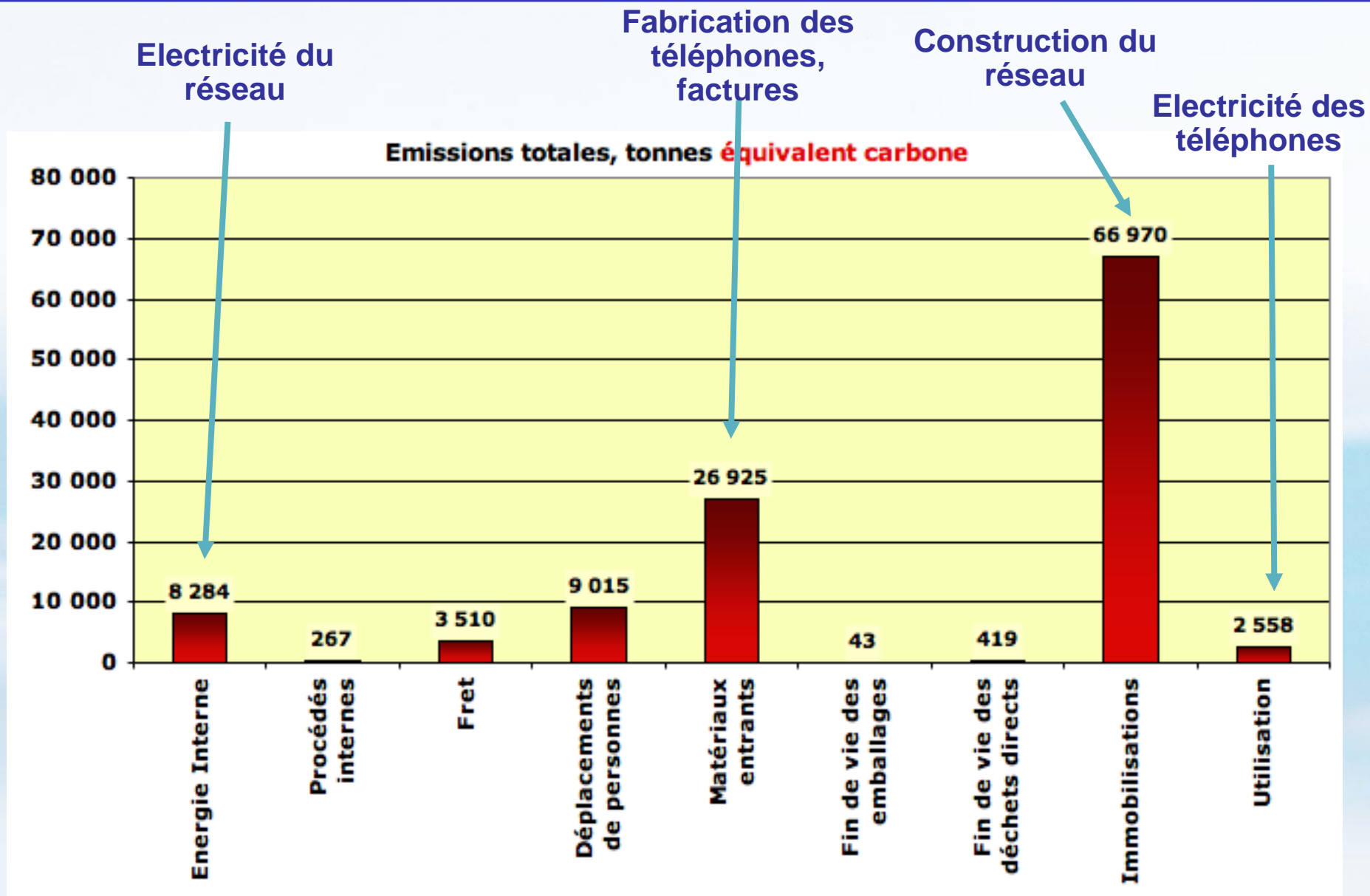
Dis moi ce que tu émetts, je te dirai si tu consommes



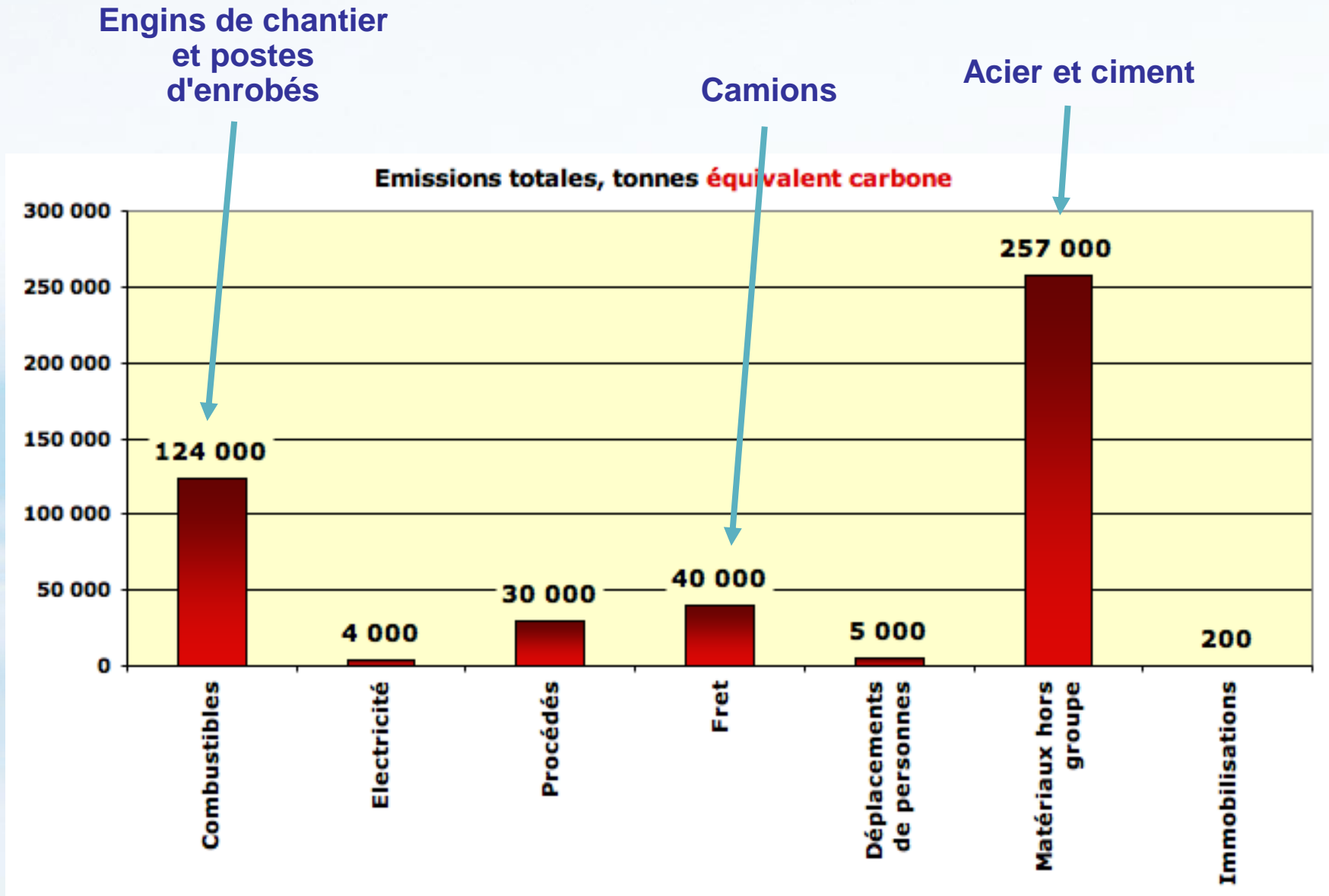
Kg équivalent CO₂ par Français et par poste en 2010 pour sa consommation finale. Calculs Carbone 4.



Un opérateur de téléphone



Une société de BTP (hors utilisation)



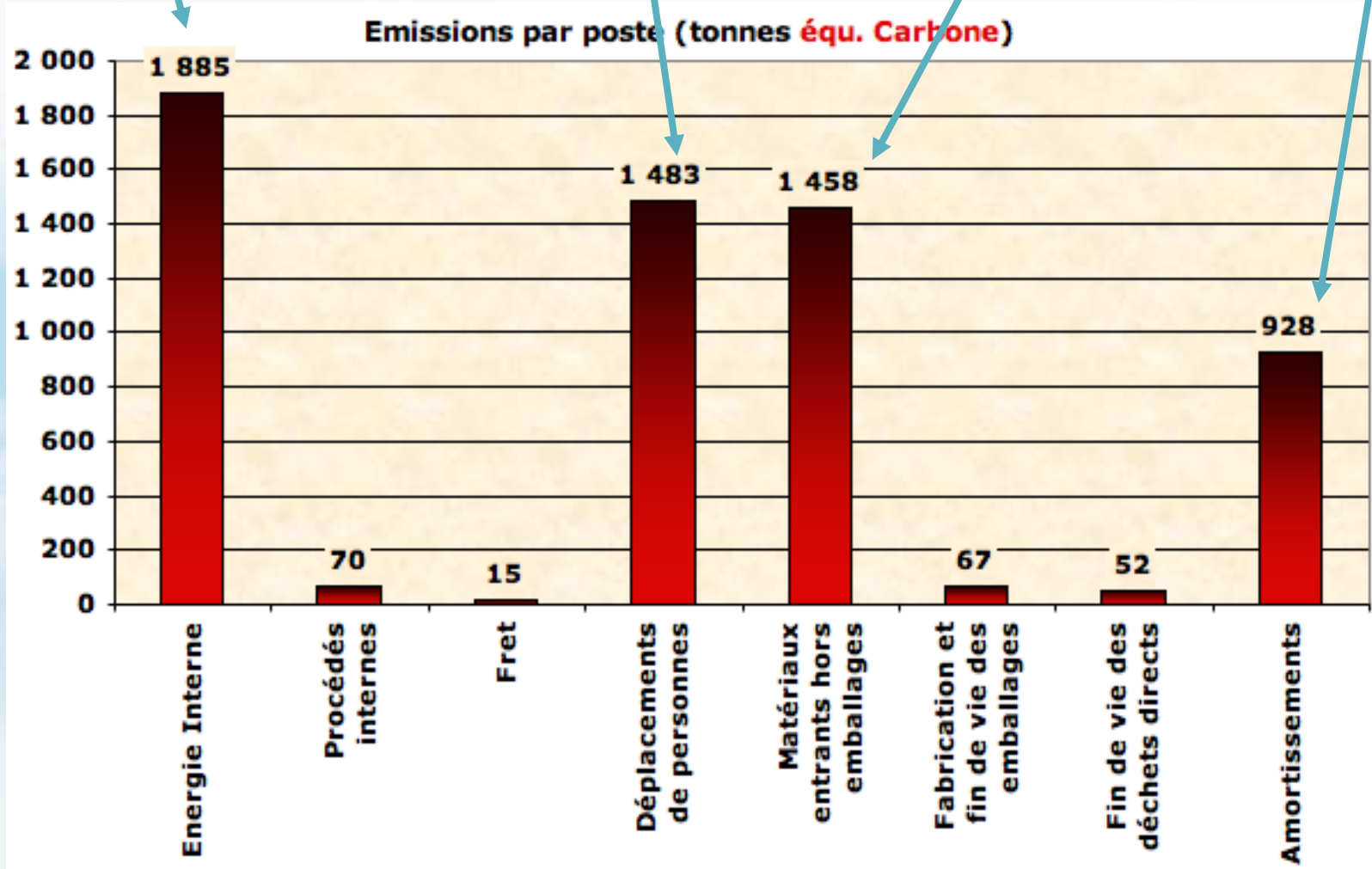
Une banque (hors prêts)

Chauffage (pour l'essentiel)
& électricité

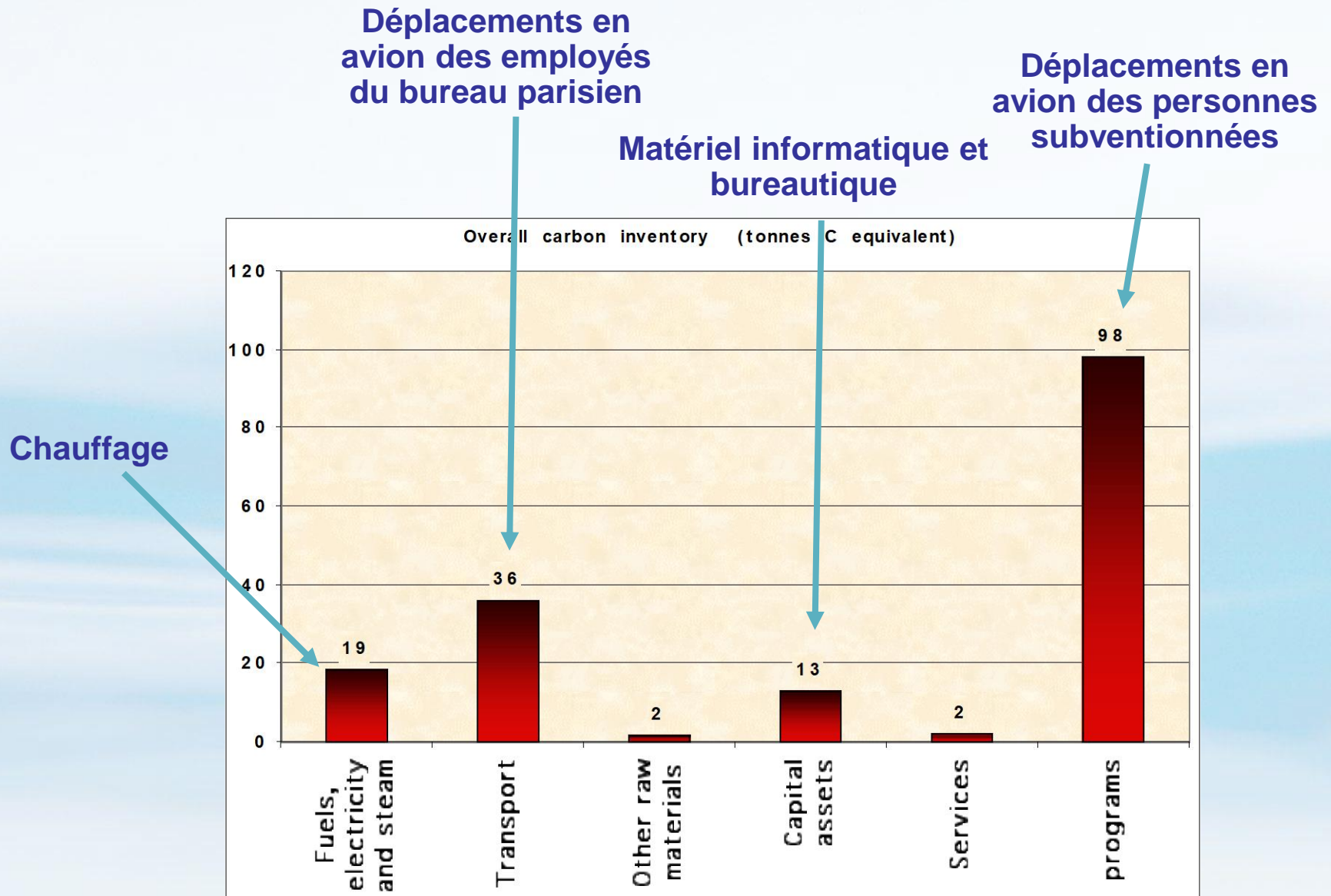
Déplacements domicile
-> travail + avion

Services pour
l'essentiel

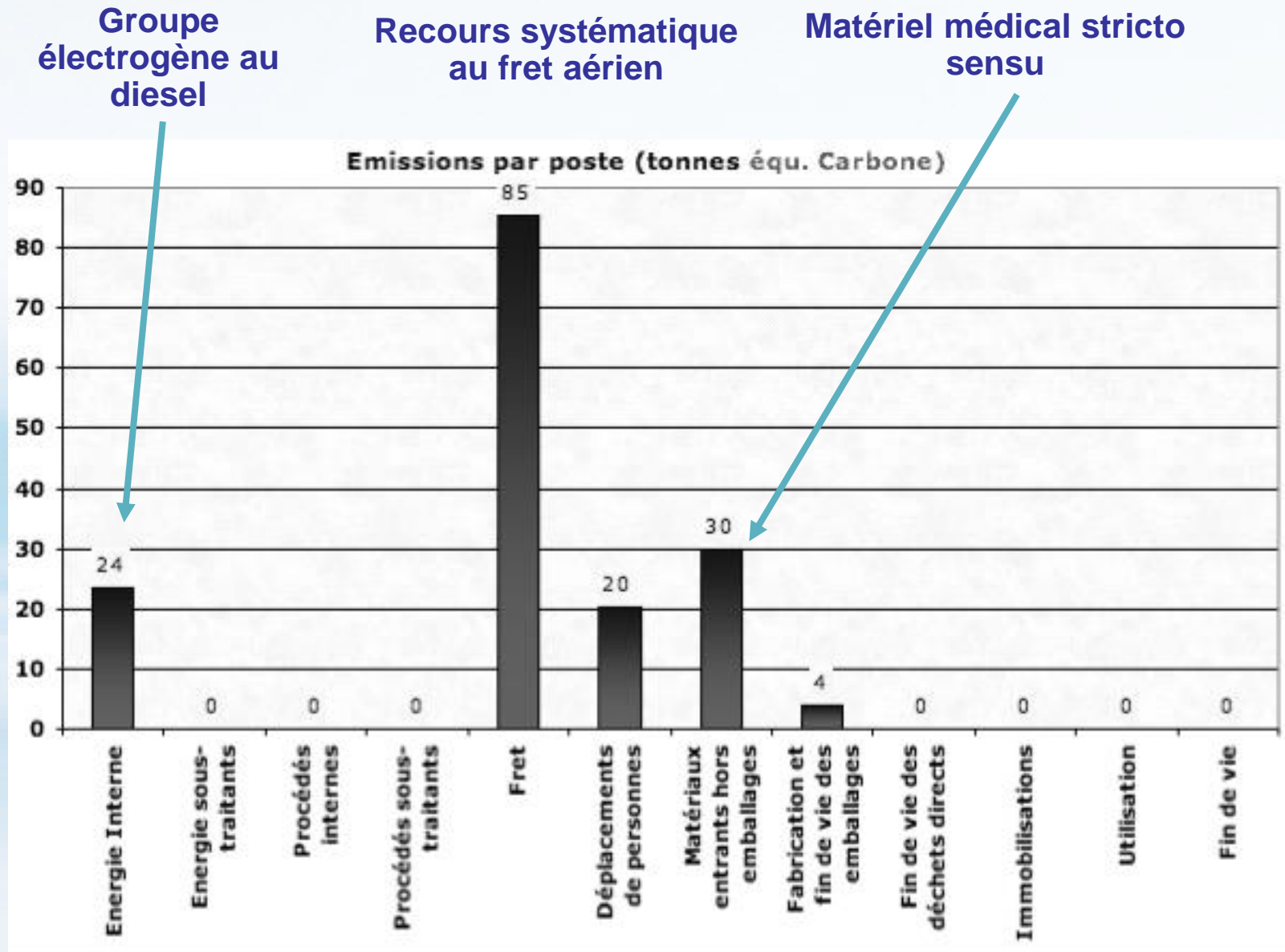
Construction
des bureaux et
fabrication des
ordinateurs



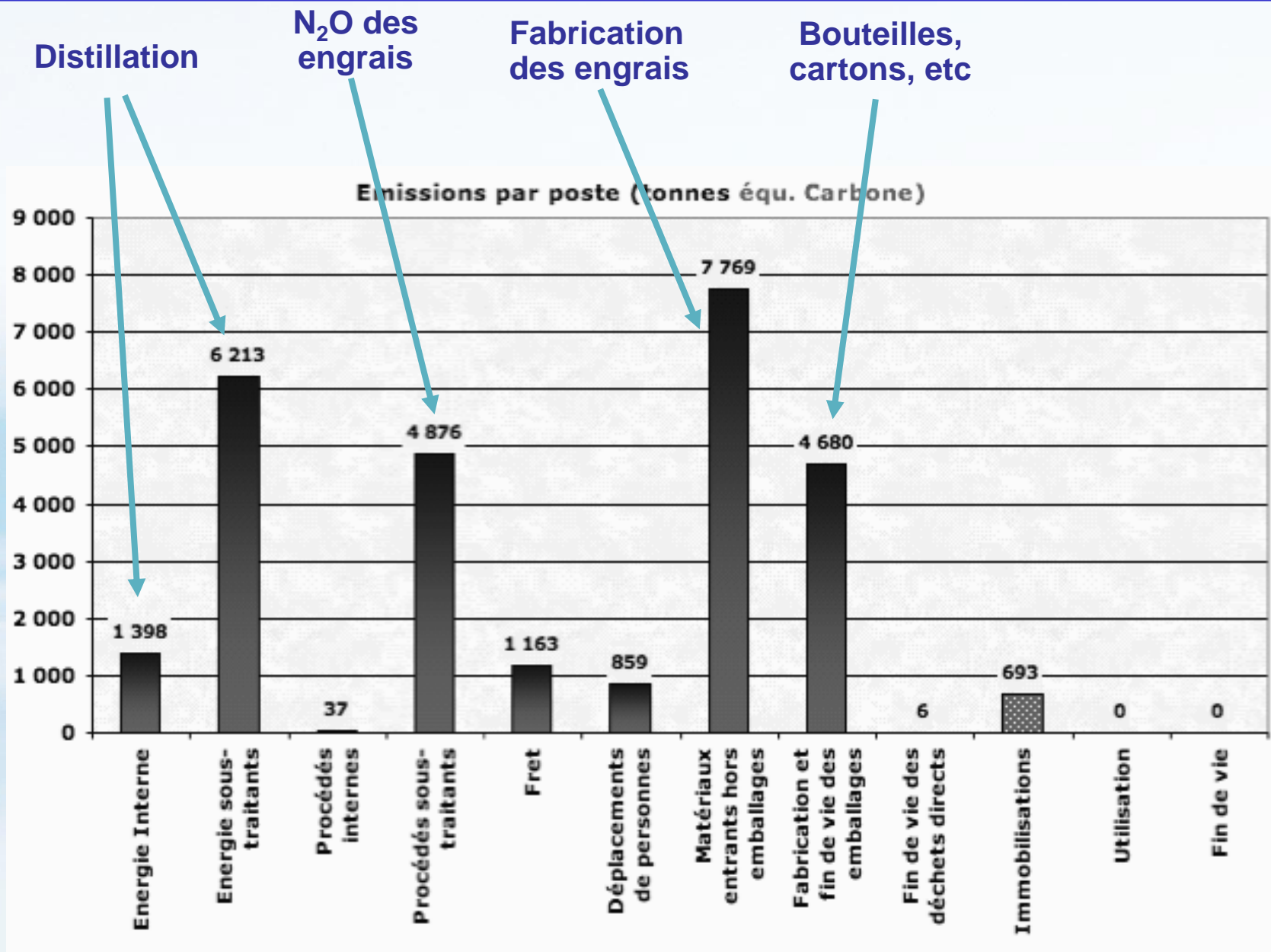
Un organisme public de promotion des échanges culturels



Une antenne de médecins sans frontières



Et même un producteur de spiritueux !



Exemples de chantiers à ouvrir

Diminuer l'énergie de distillation

Développer le co-voiturage, le bus, le vélo et la marche à pied

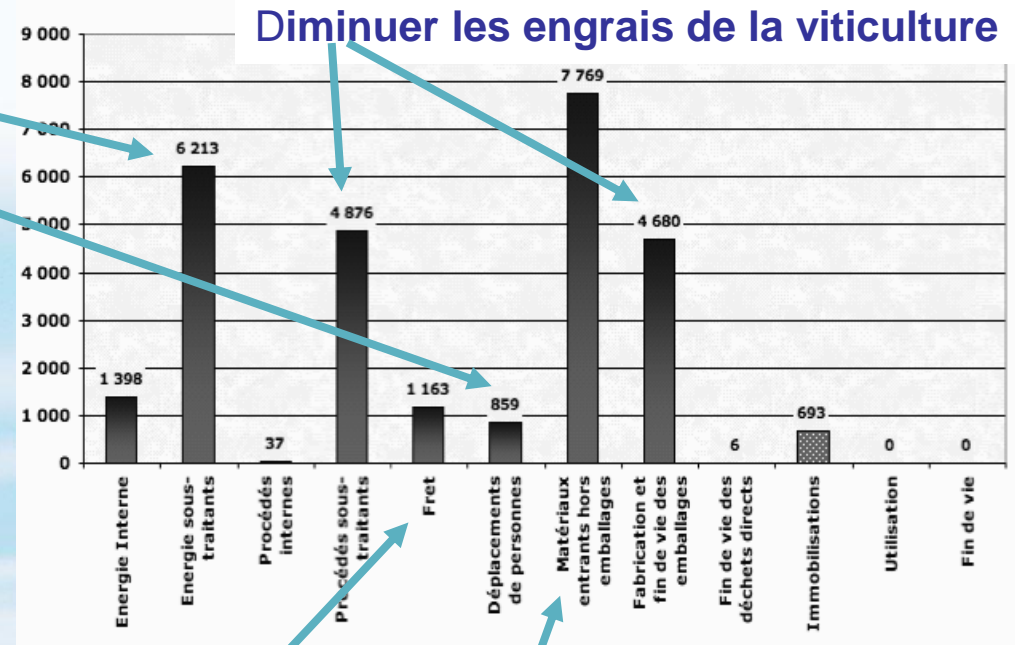
Moins prioritaire et/ou + difficile :

Revoir la politique produits (la valeur ajoutée par unité de poids)

Efficacité des process ;
électricité EDF ; Isolation ;
chauffage solaire : marginal

Revoir le fret routier jusqu'à l'embarquement

Revoir le flaconnage et le suremballage

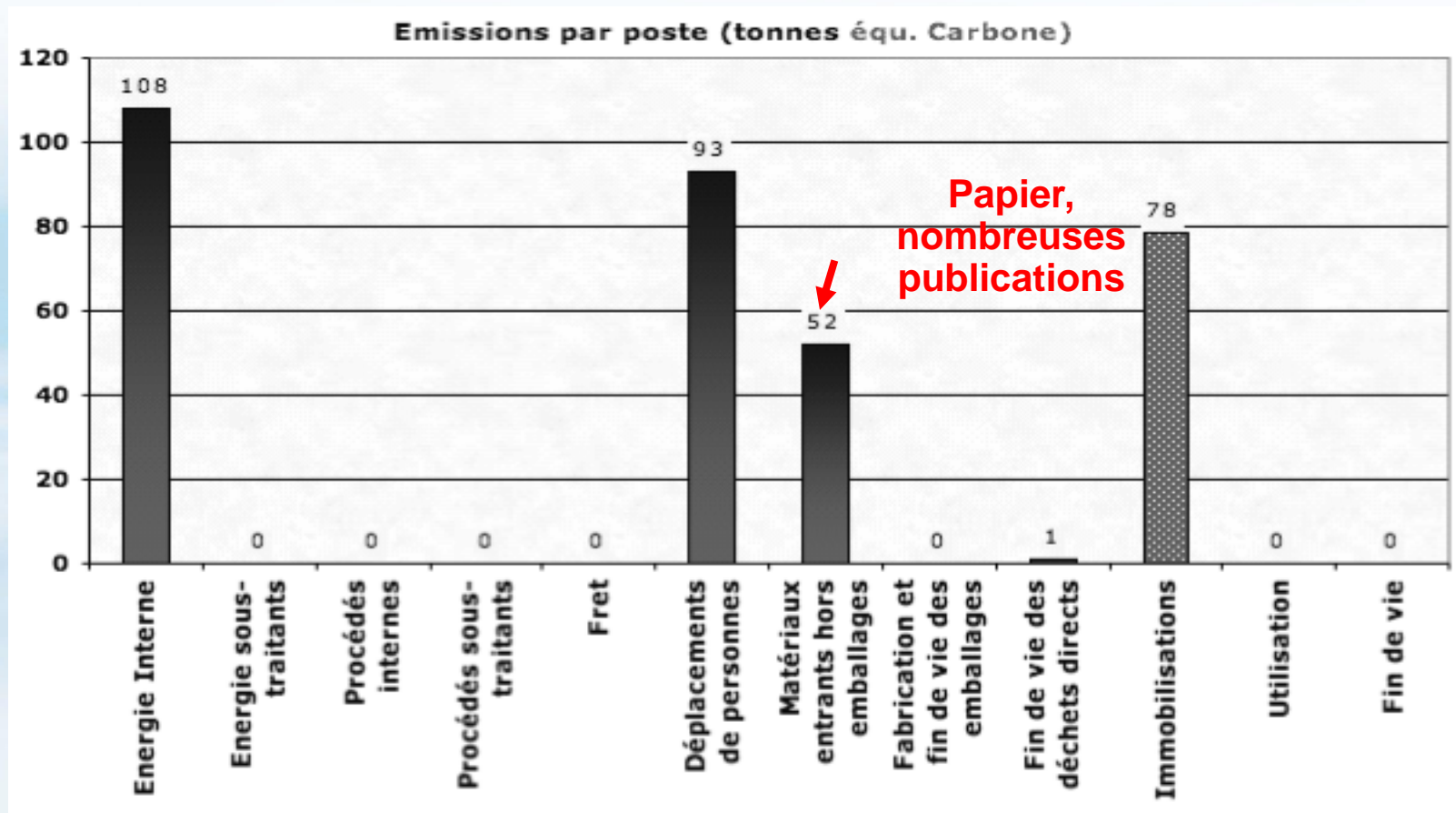


Vos anciens (enfin presque) : la DGEMP

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

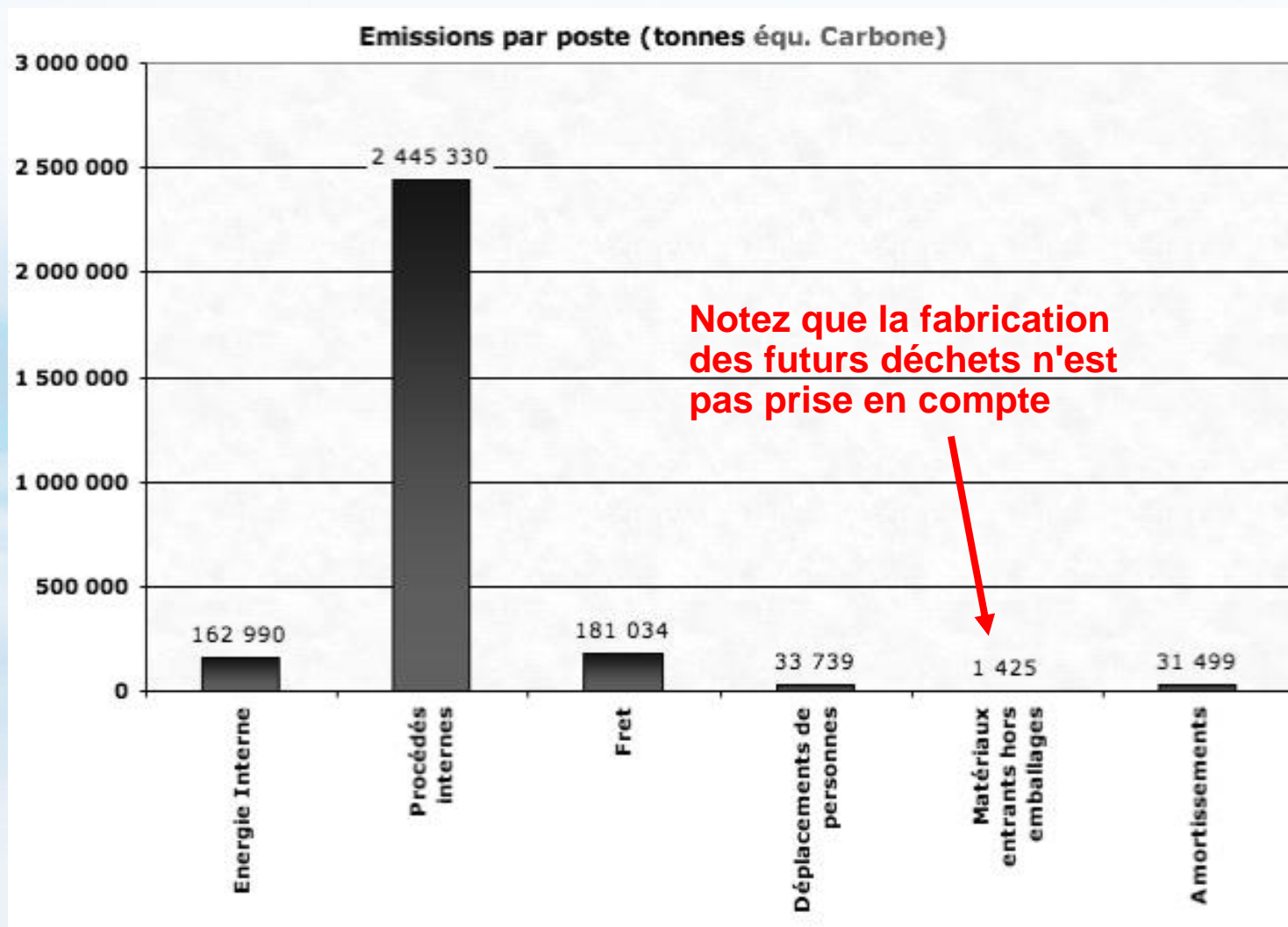
Déplacements dans
le cadre du travail
(domicile-travail
négligeable)

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



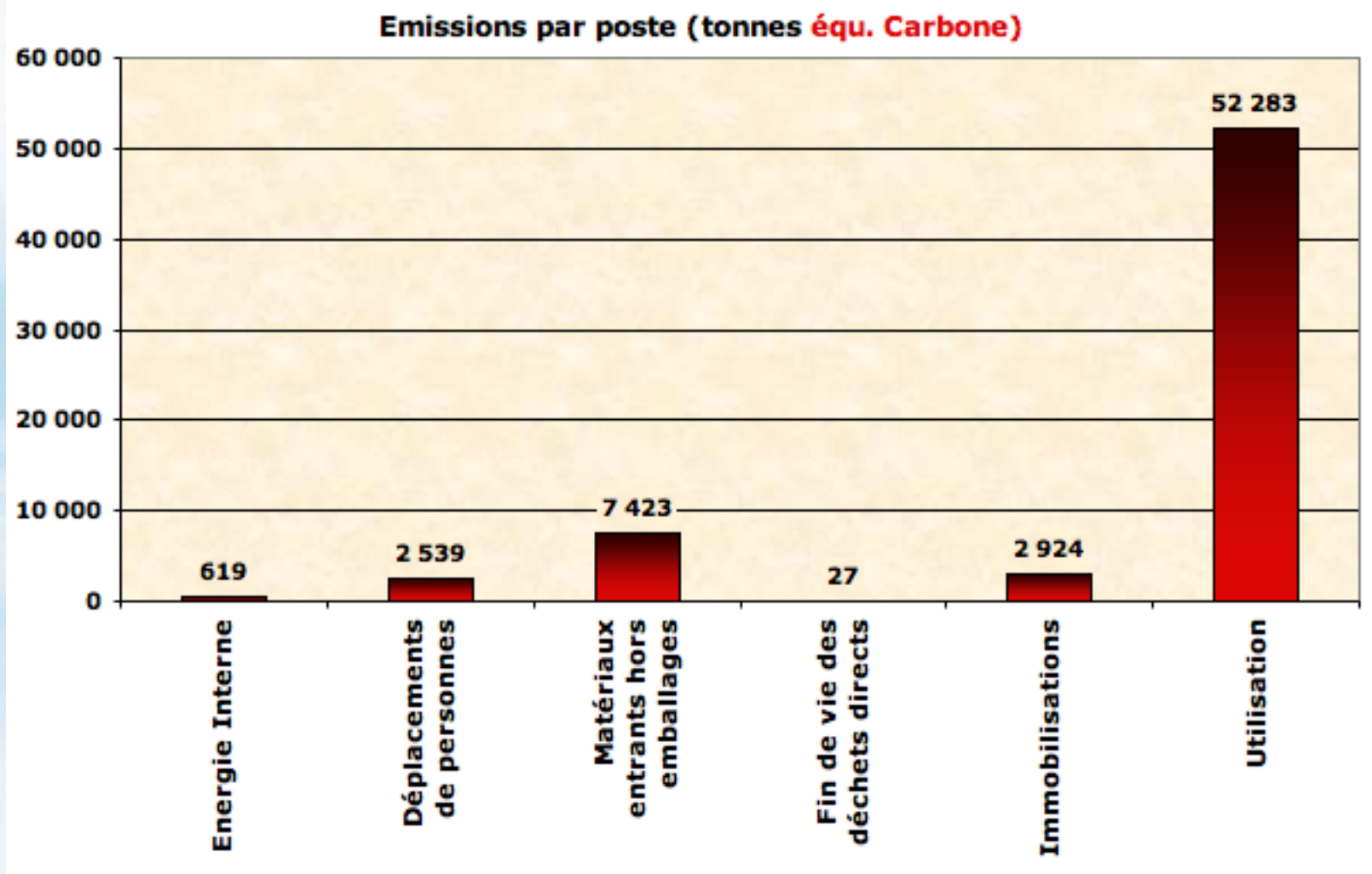
Un gestionnaire de déchets ménagers

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



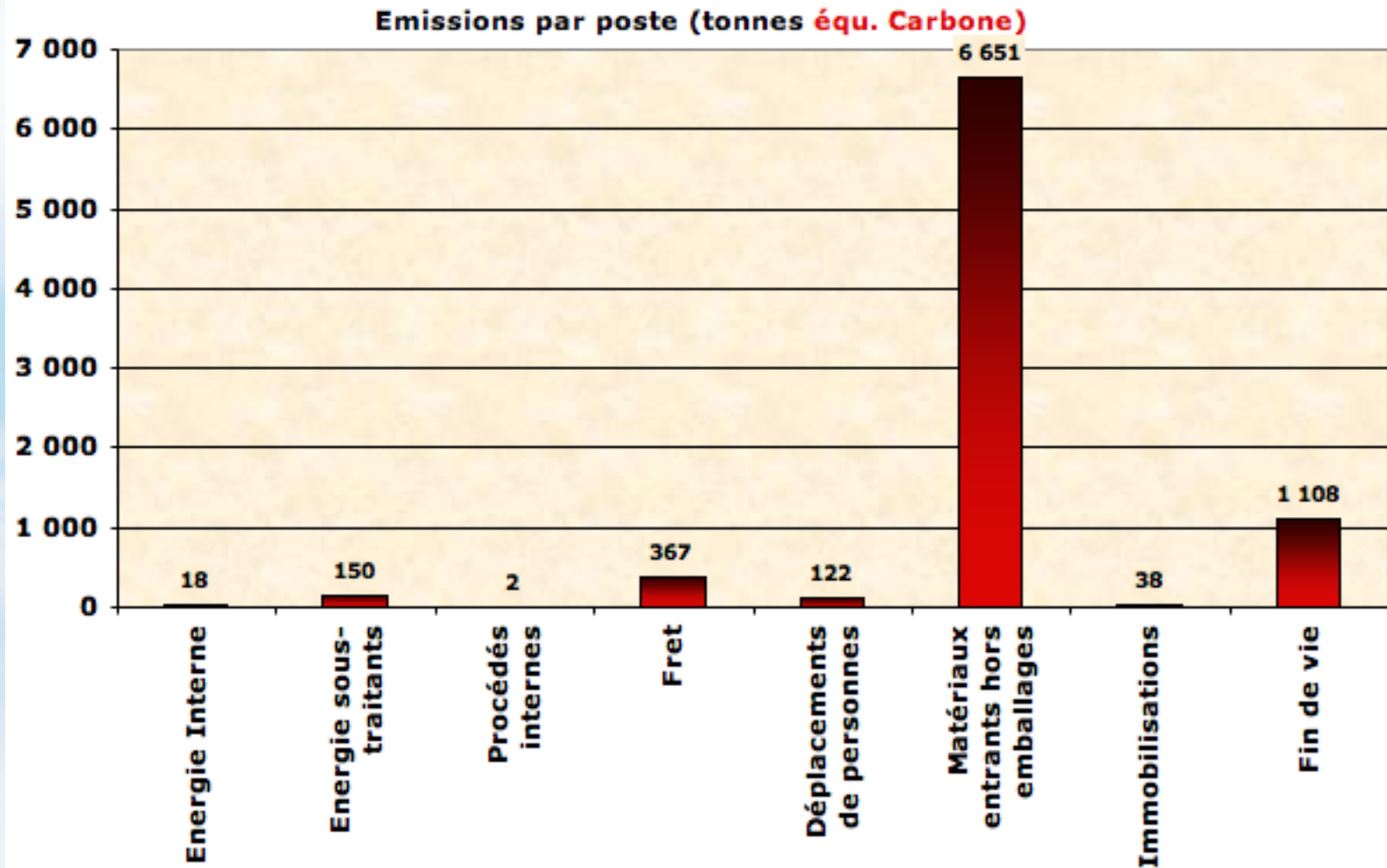
Une chaîne de télévision

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



Une agence imprimant des prospectus publicitaires

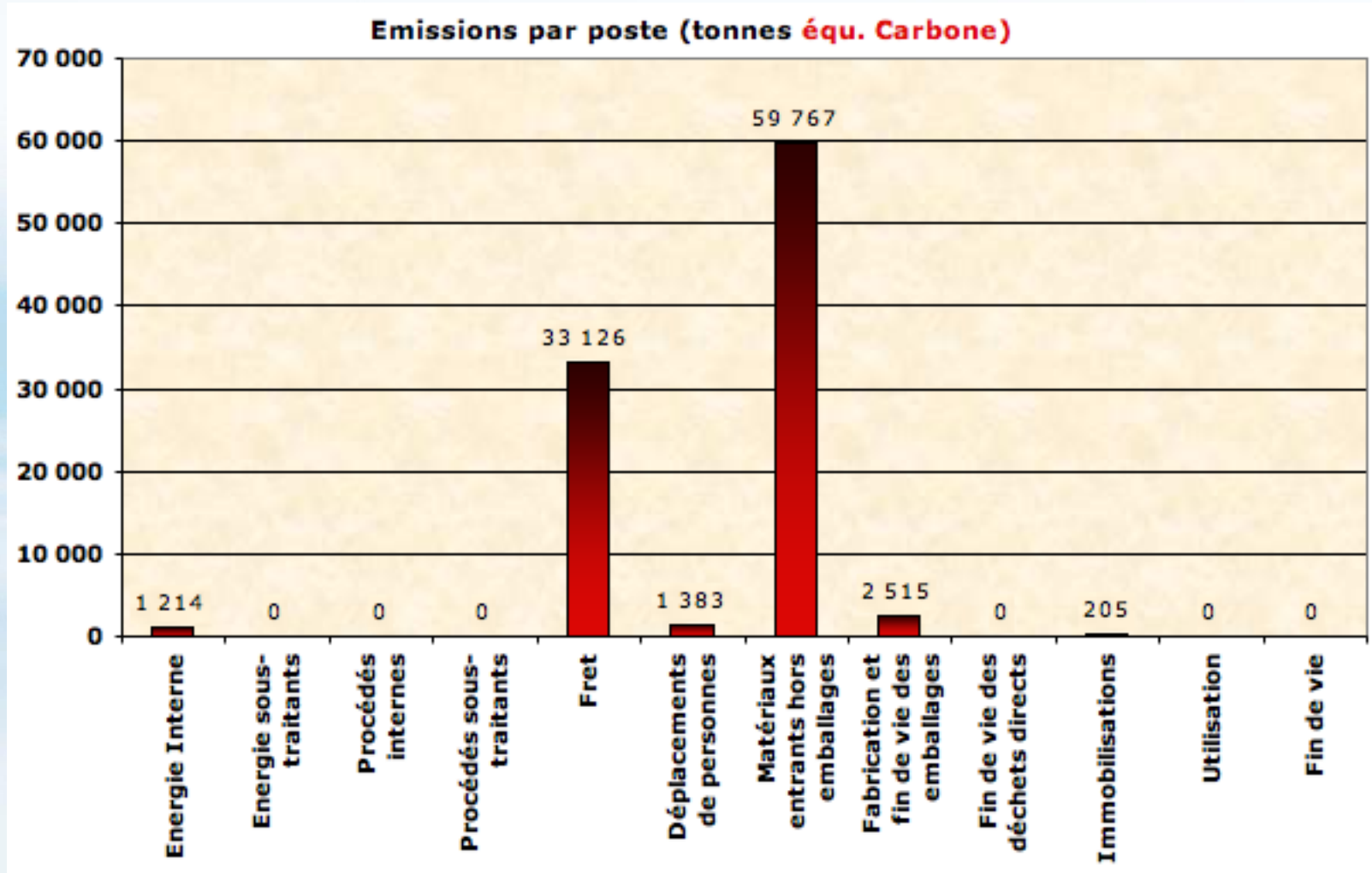
Faire des
prospectus
sans papier ?



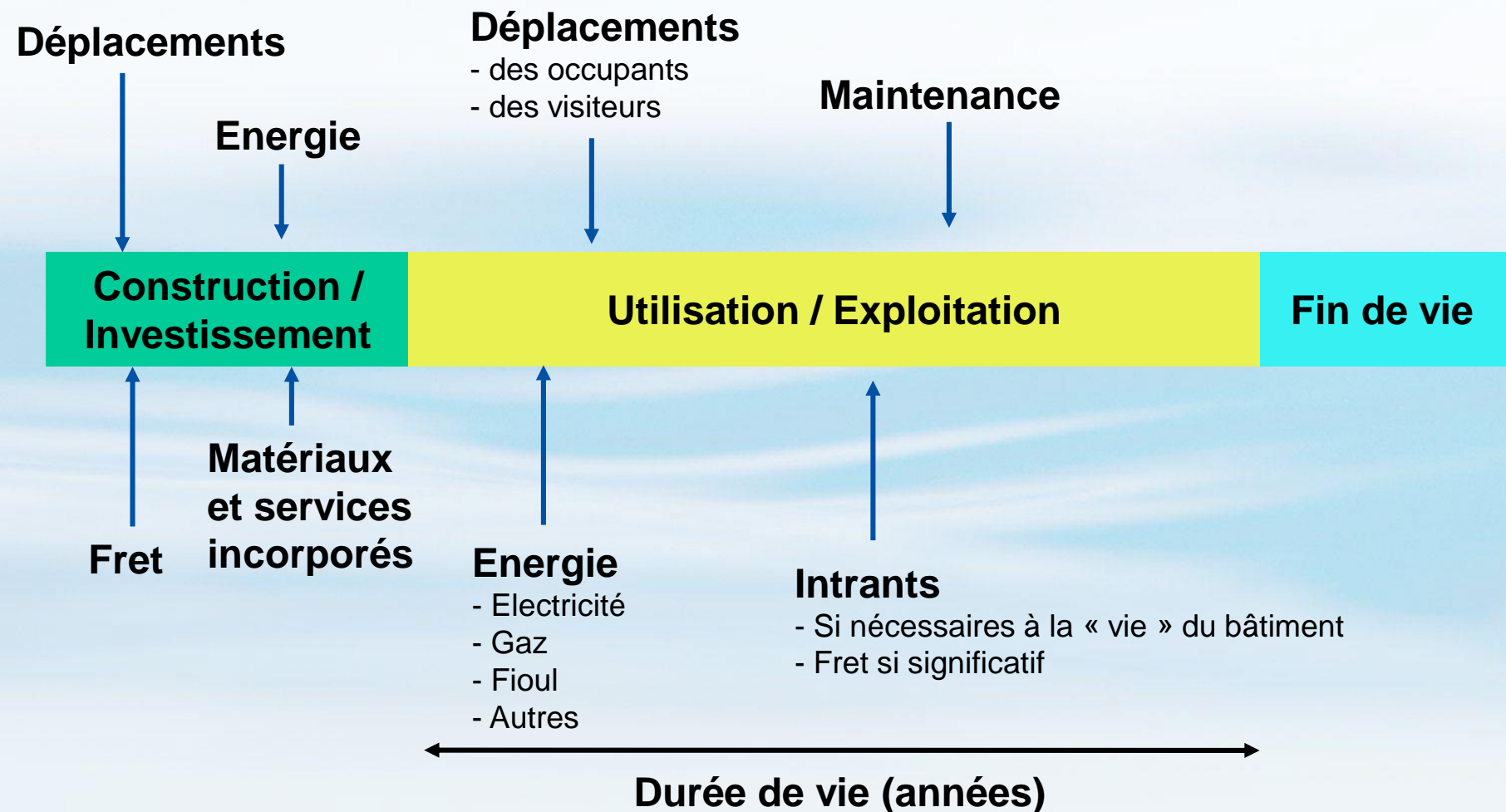
Un industriel des biens d'équipement (hors consommation)

Réorganiser la
logistique

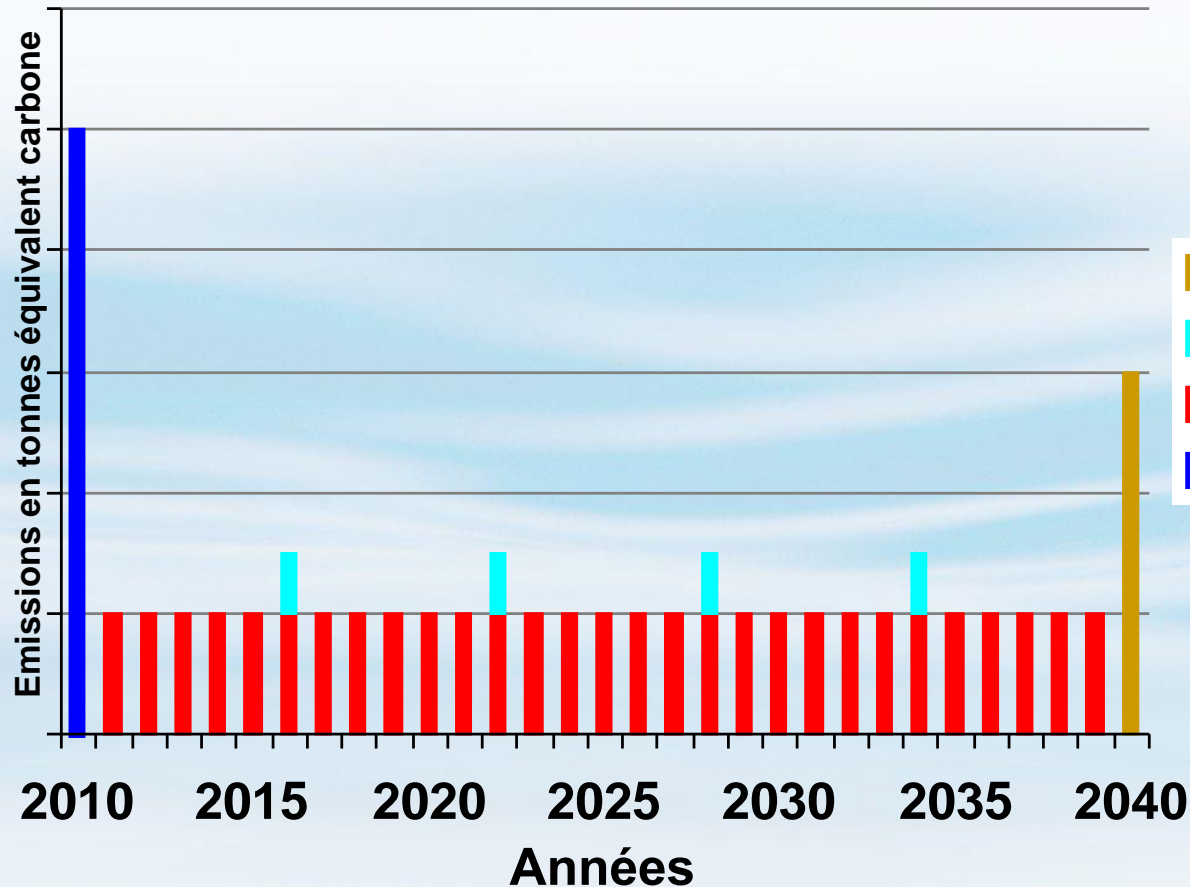
Concevoir
différemment
les produits ?



En 2009, « invention » du film carbone

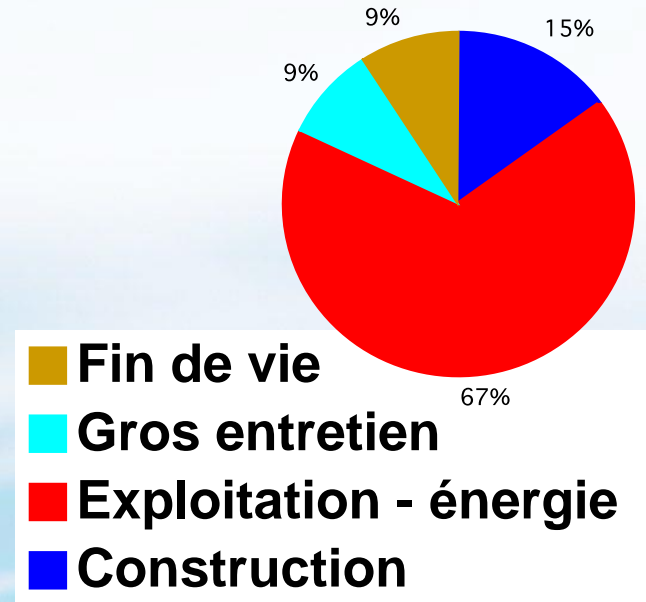
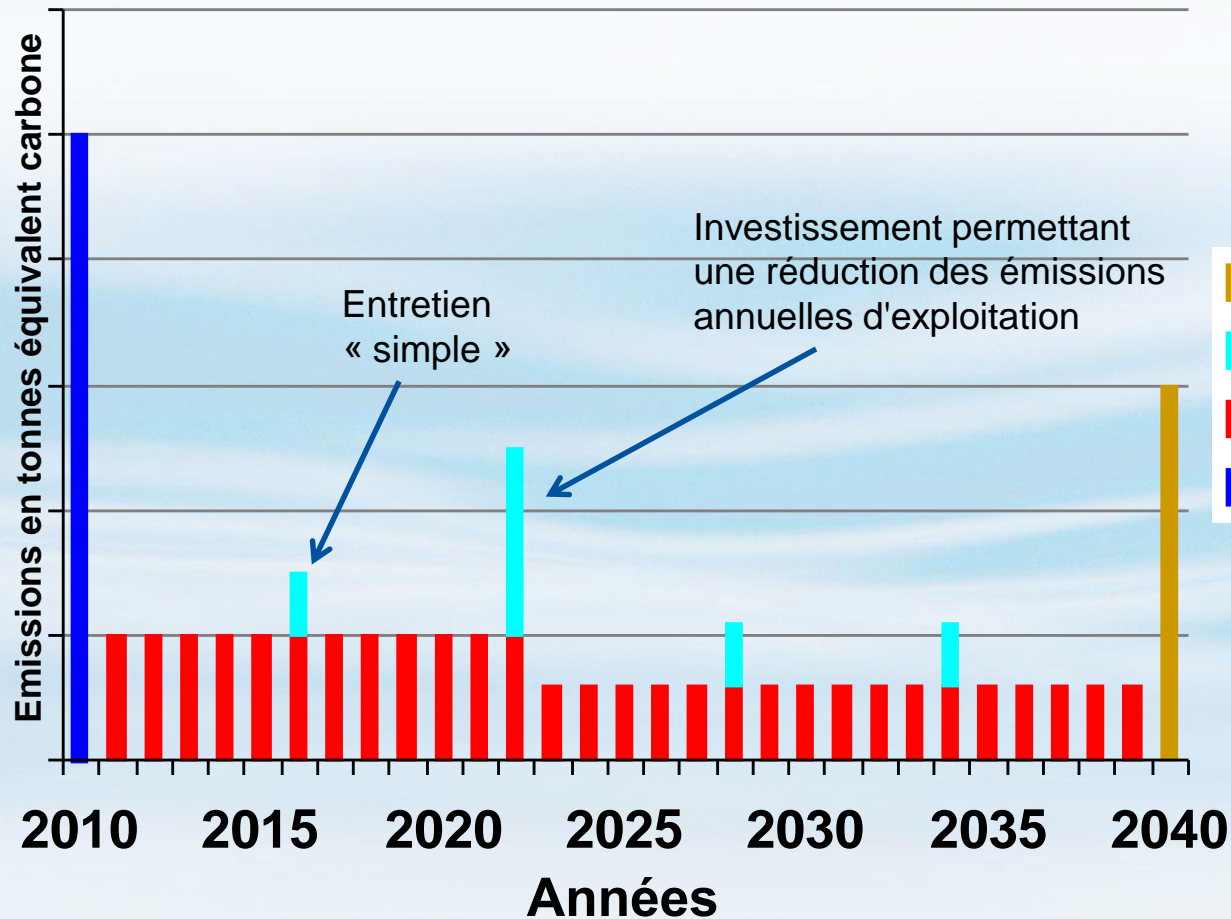


Emissions de l'infrastructure au cours du temps *Construction et utilisation sur la durée de vie*



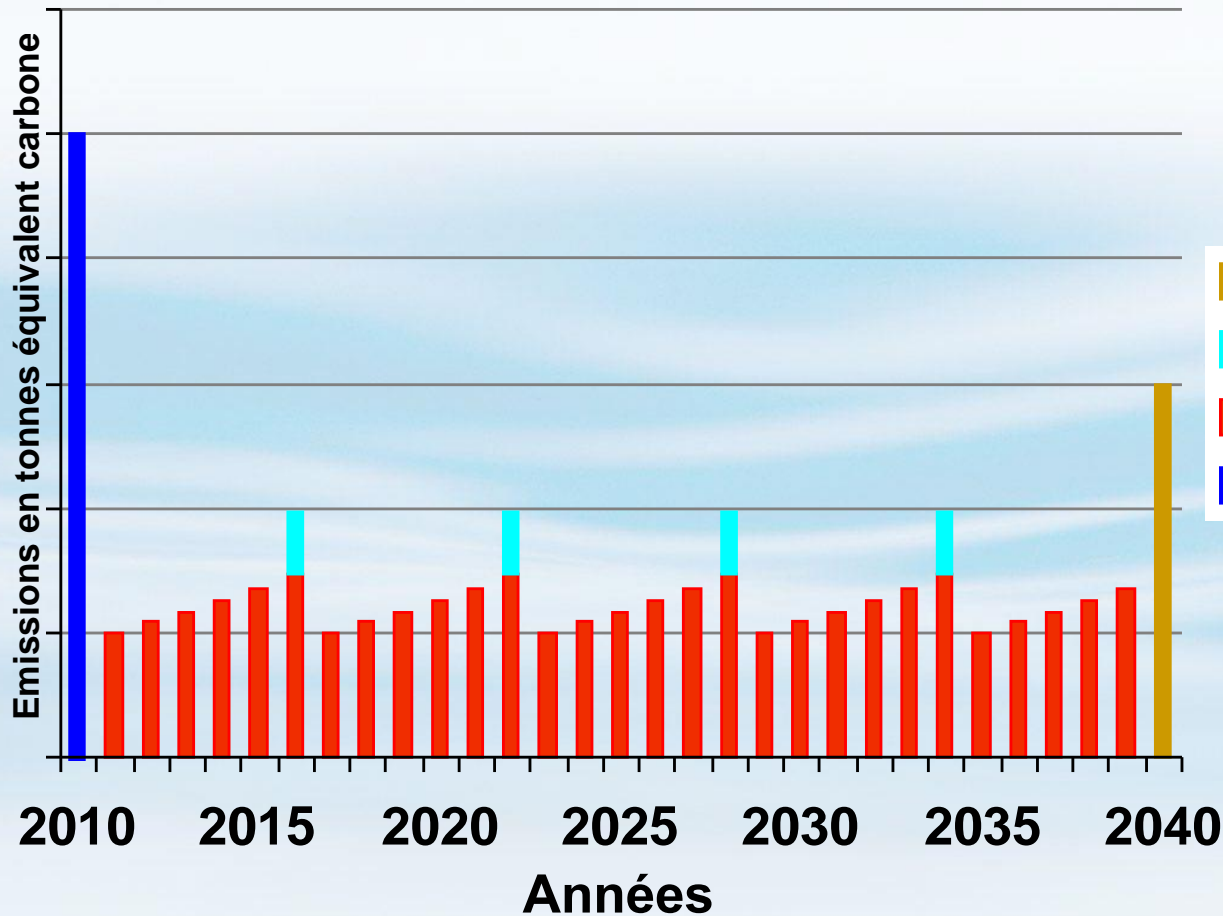
Le film permet d'envisager plusieurs scénarios d'évolution

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

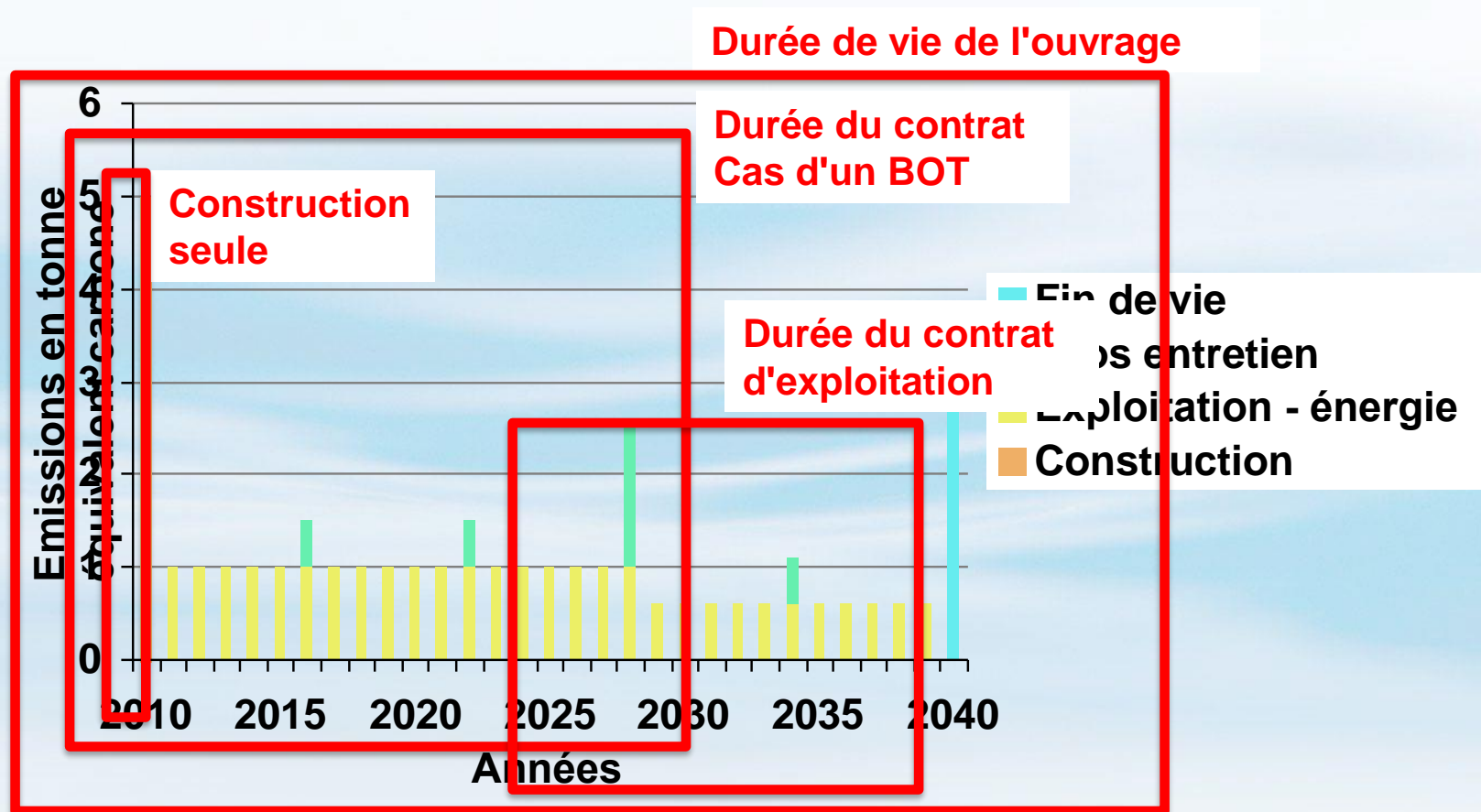


Simulation d'une perte de rendement

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

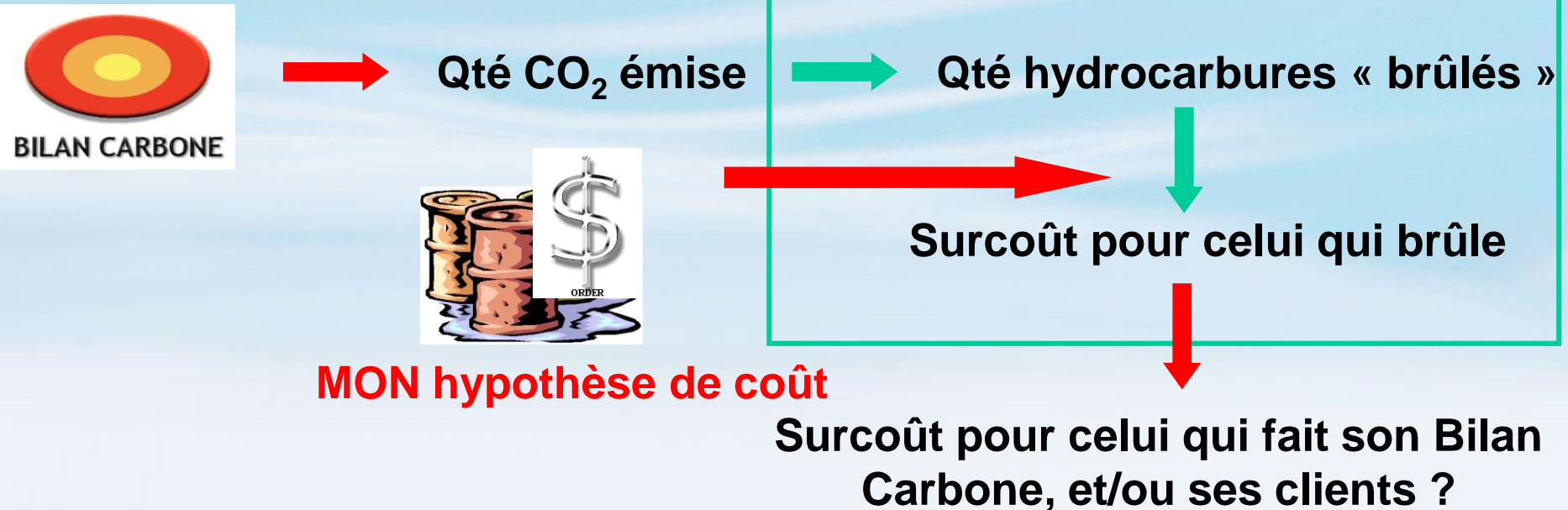


Là comme ailleurs, bien poser les limites est essentiel

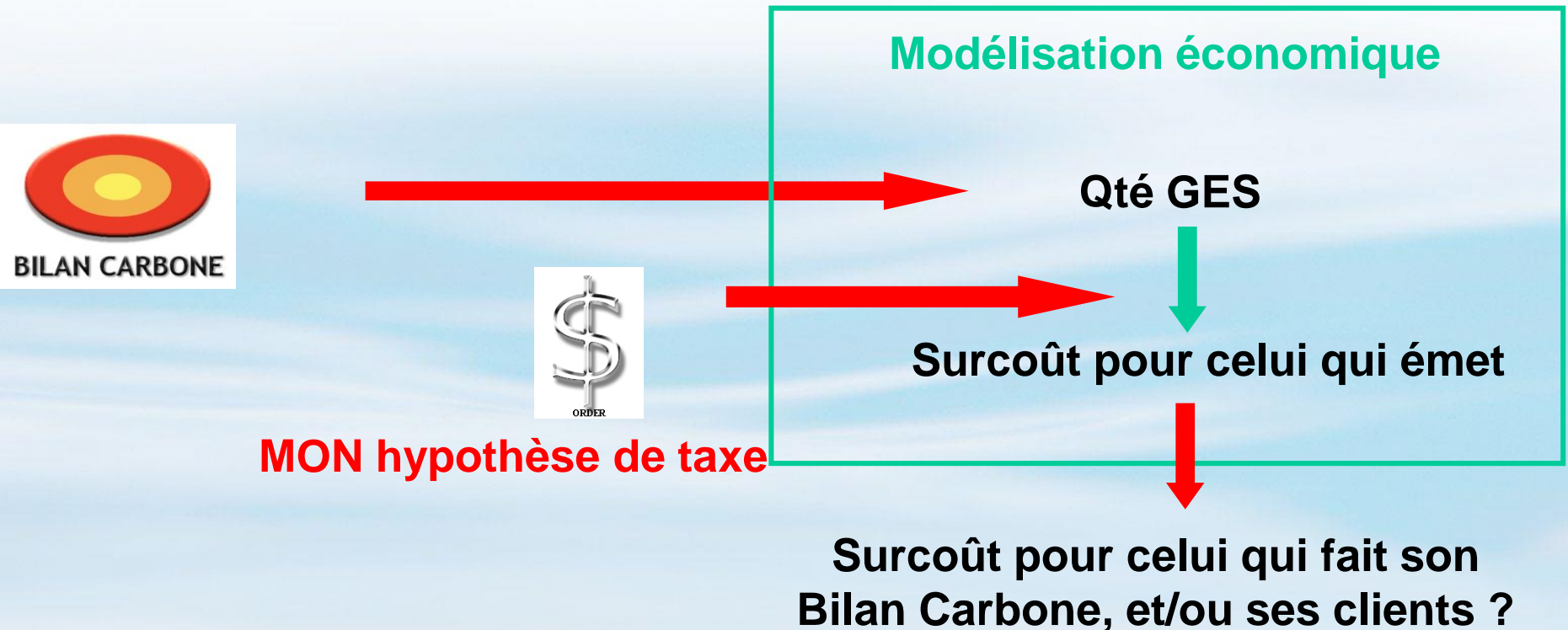


Objectif : disposer d'un **ordre de grandeur** du surcoût lié à une hausse des hydrocarbures

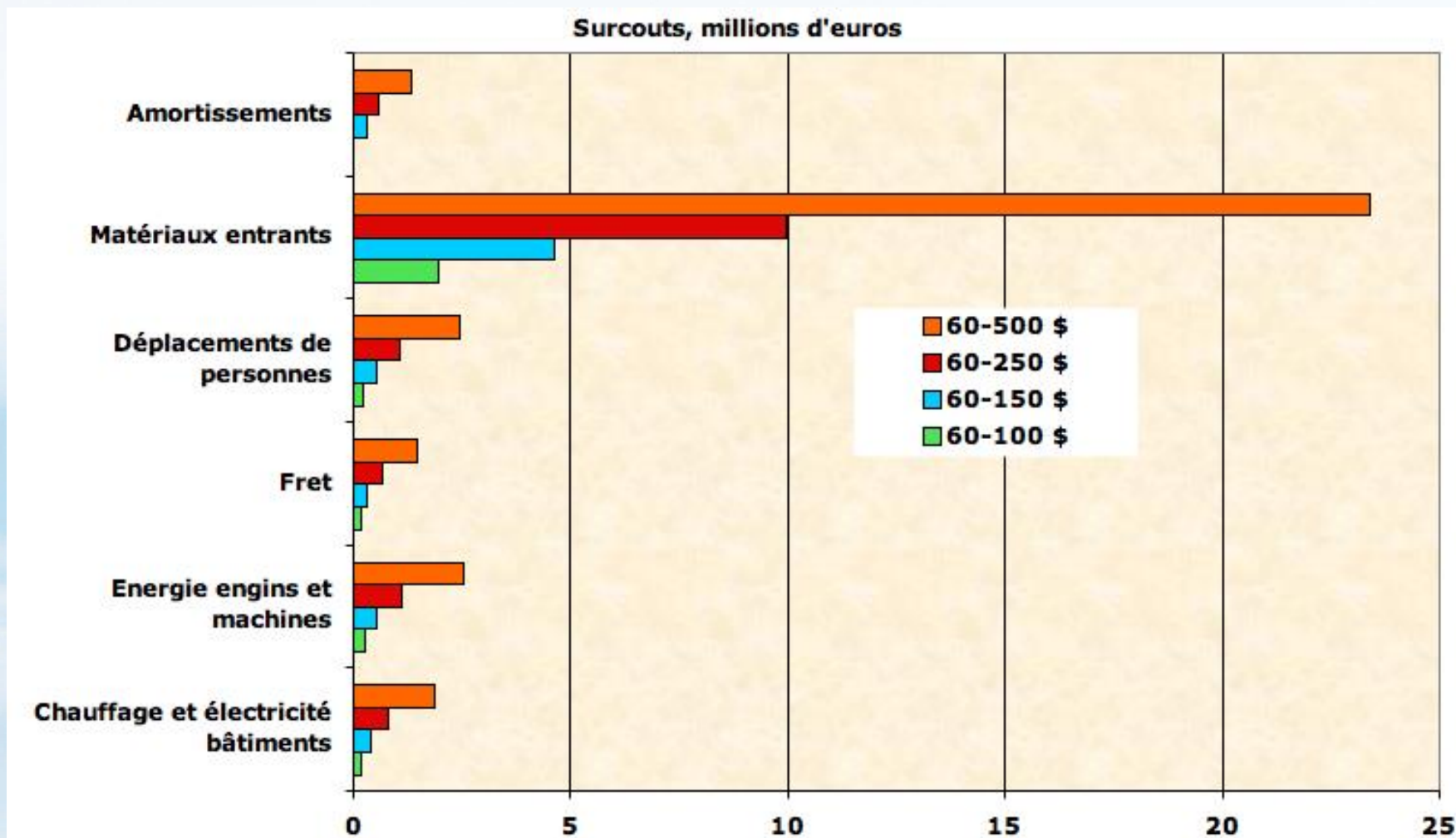
En effet, dès qu'il y a du CO₂ dans le Bilan Carbone (quel que soit le poste), c'est qu'il y a eu des hydrocarbures (liquides, solides ou gazeux) de brûlés « quelque part ». On peut donc « remonter à la source » :



On peut jouer presque au même jeu avec la taxe carbone

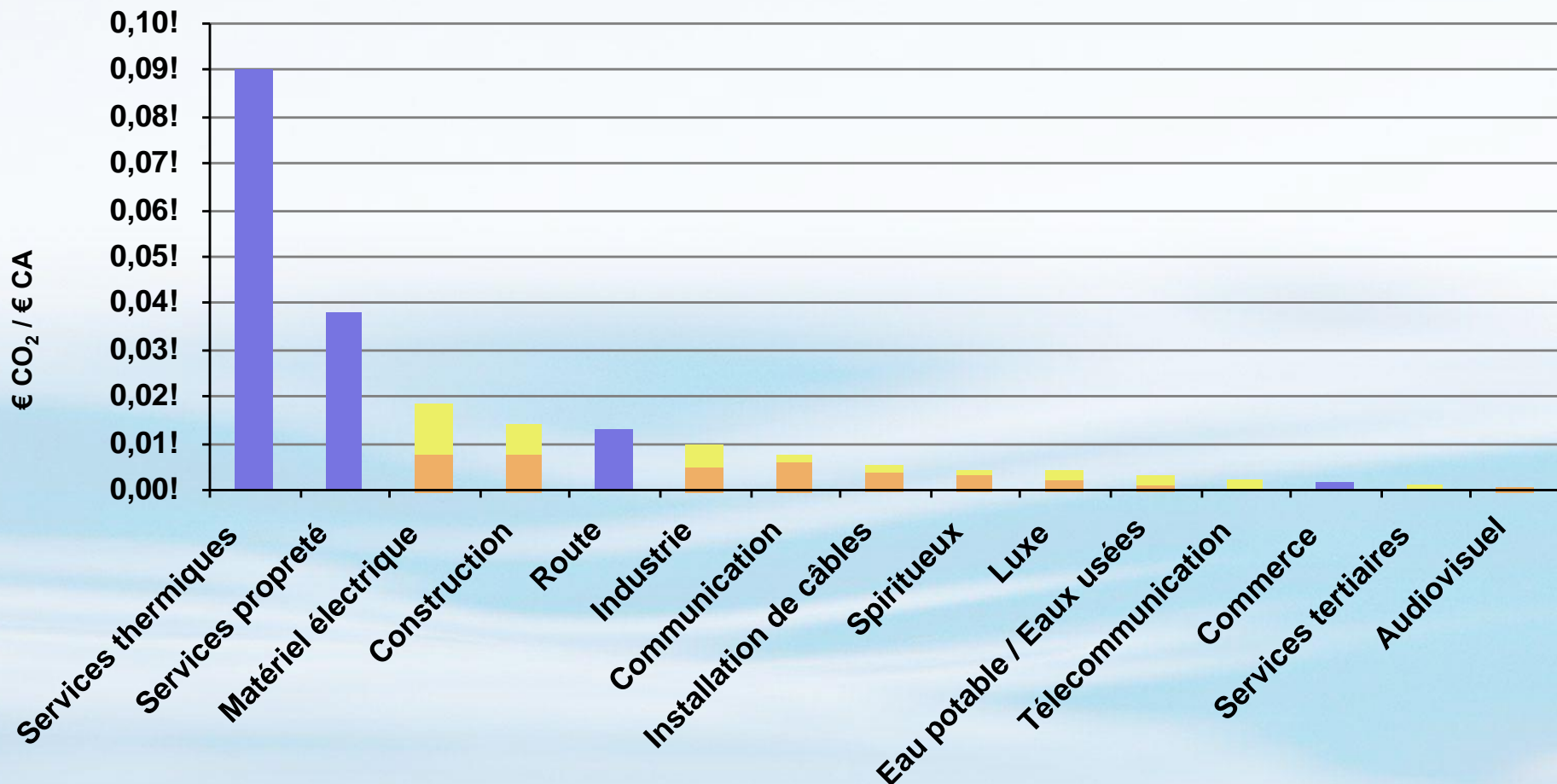


Si les hydrocarbures augmentent, d'où vient la facture ?



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

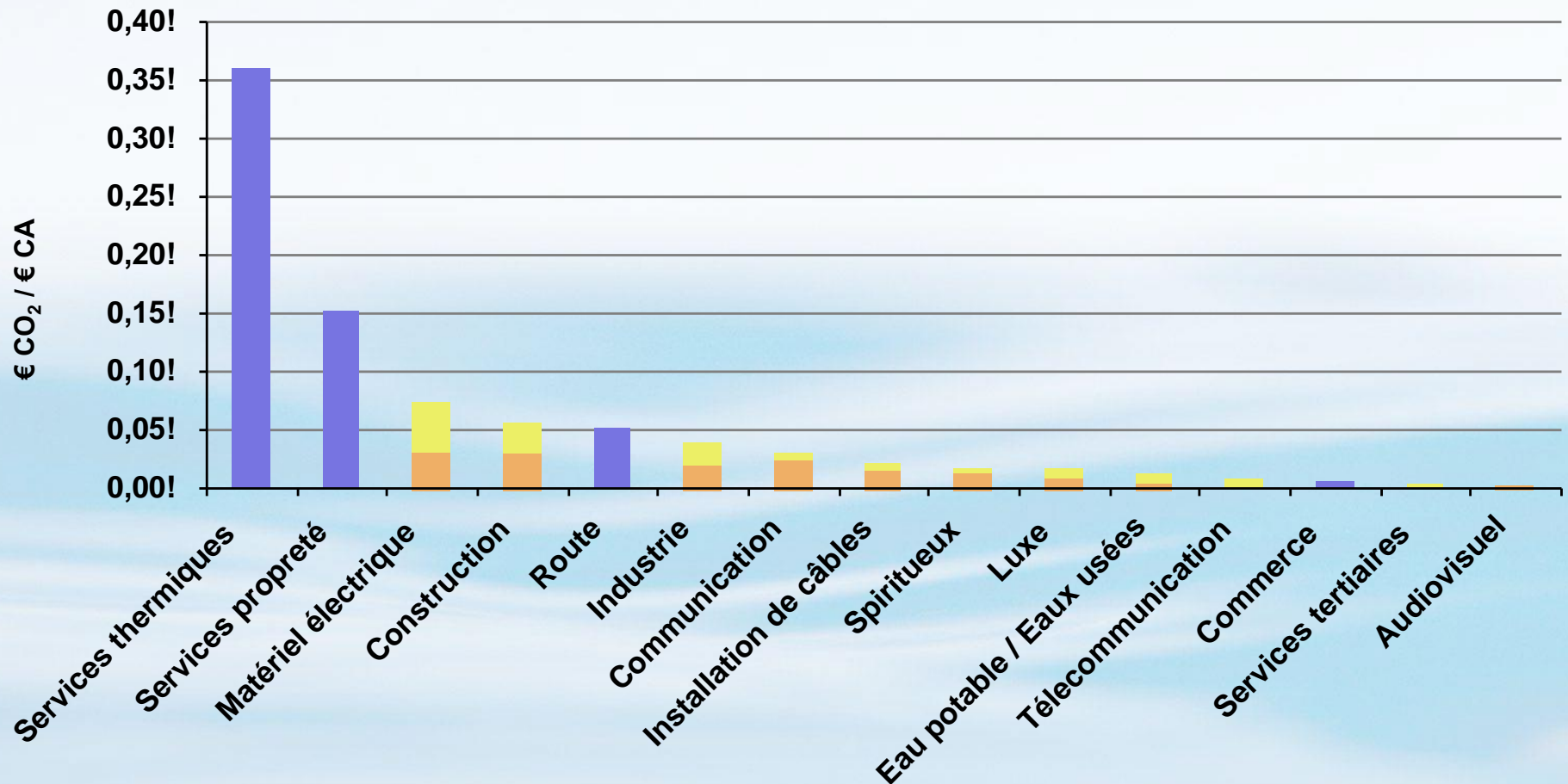
Taxons un peu, ça ne fait pas vraiment mal



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

Calculs Carbone 4

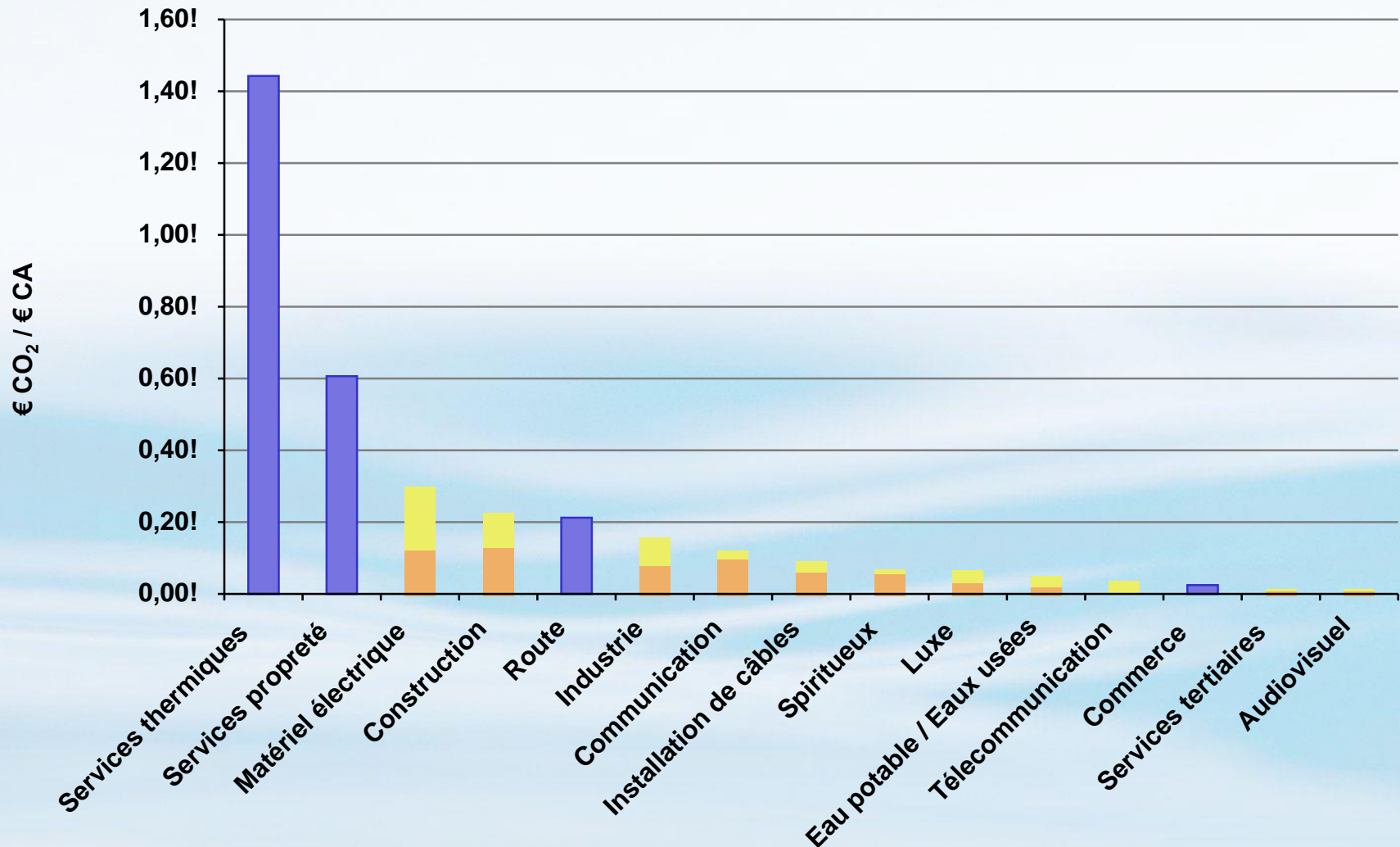
Taxons un peu plus, ça commence à se voir



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

Calculs Carbone 4

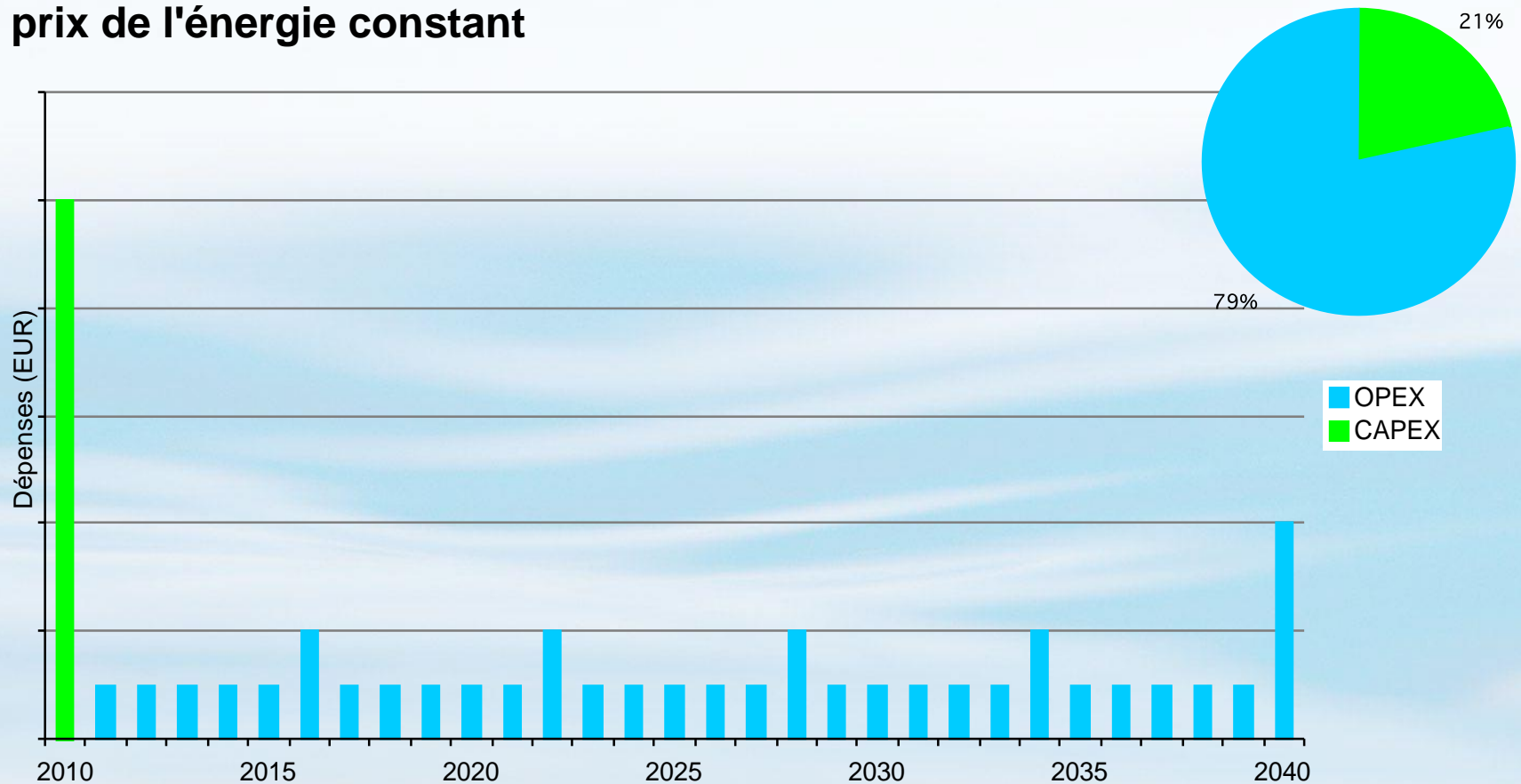
Taxons pour de vrai, l'économie se déplace



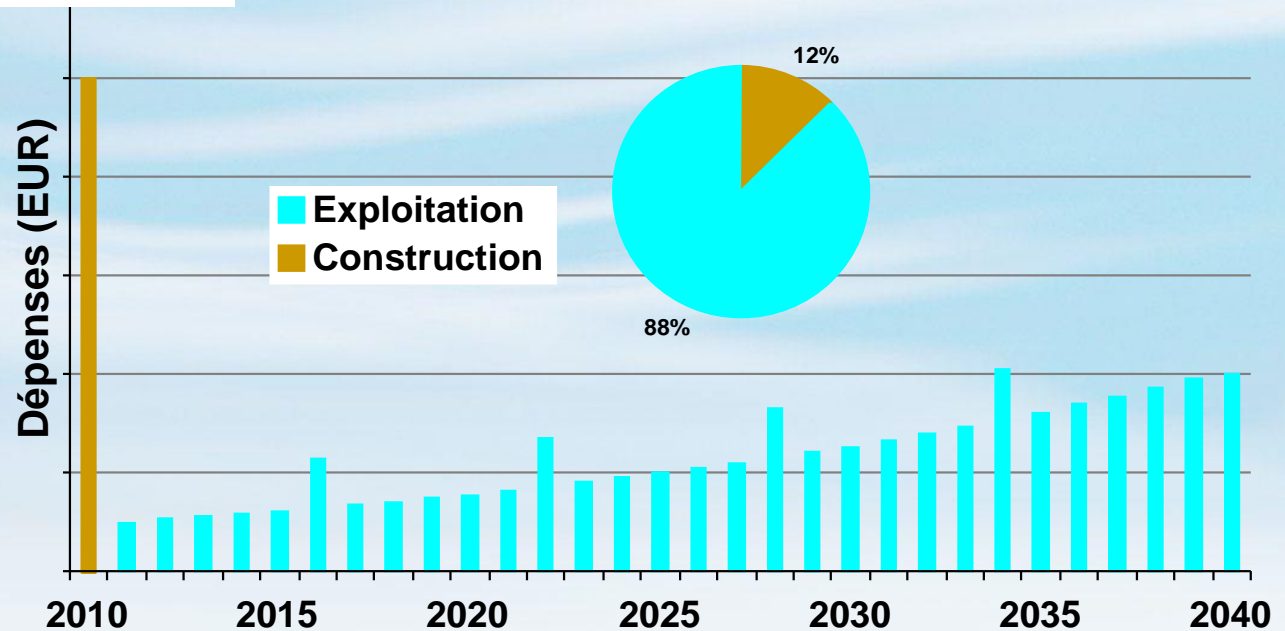
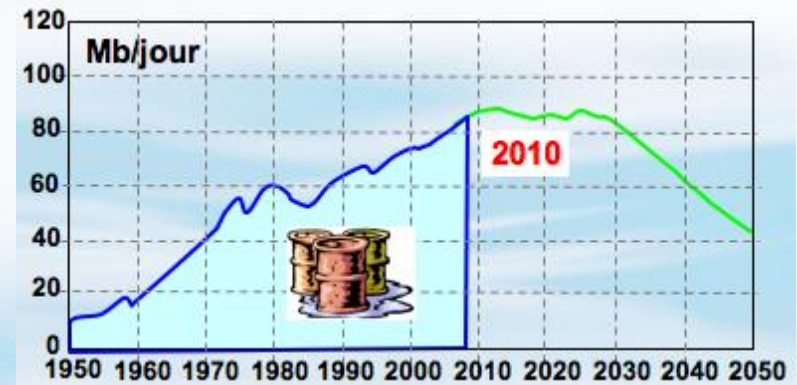
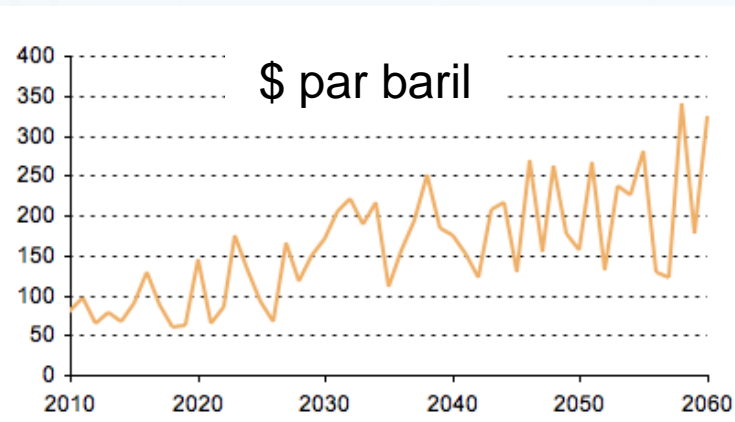
Impact (€) d'une taxe de 400 €/tCO₂ sur un € de CA (exemples d'entreprises du secteur).

Calculs Carbone 4

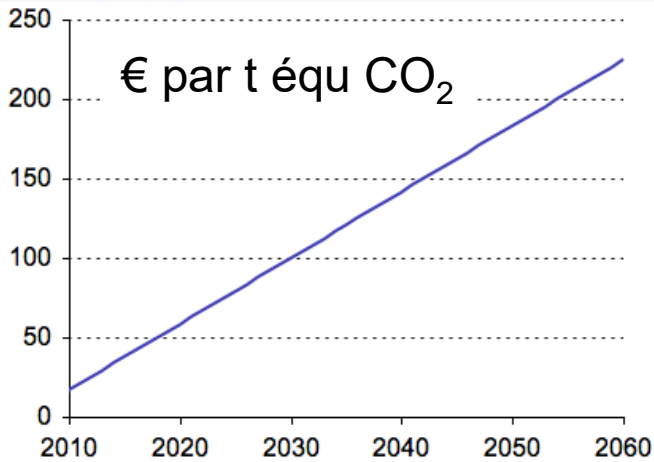
Dépenses liées à l'infrastructure au cours du temps à prix de l'énergie constant



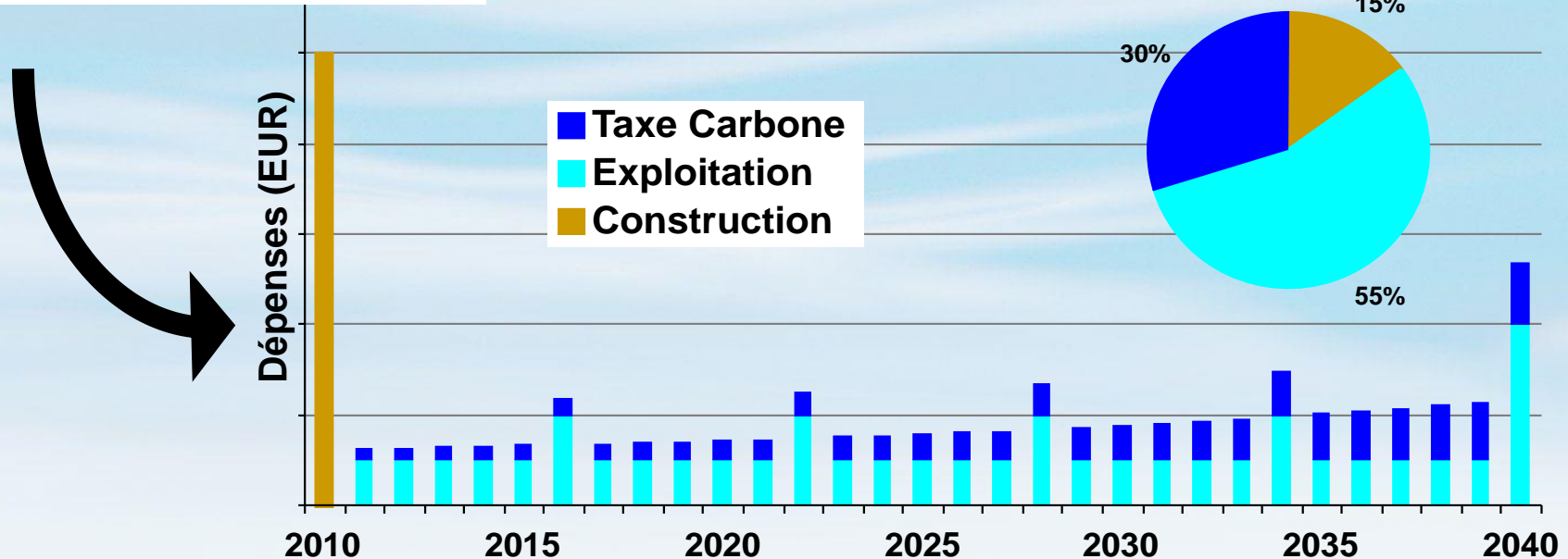
Le prix de l'énergie pilote le coût complet



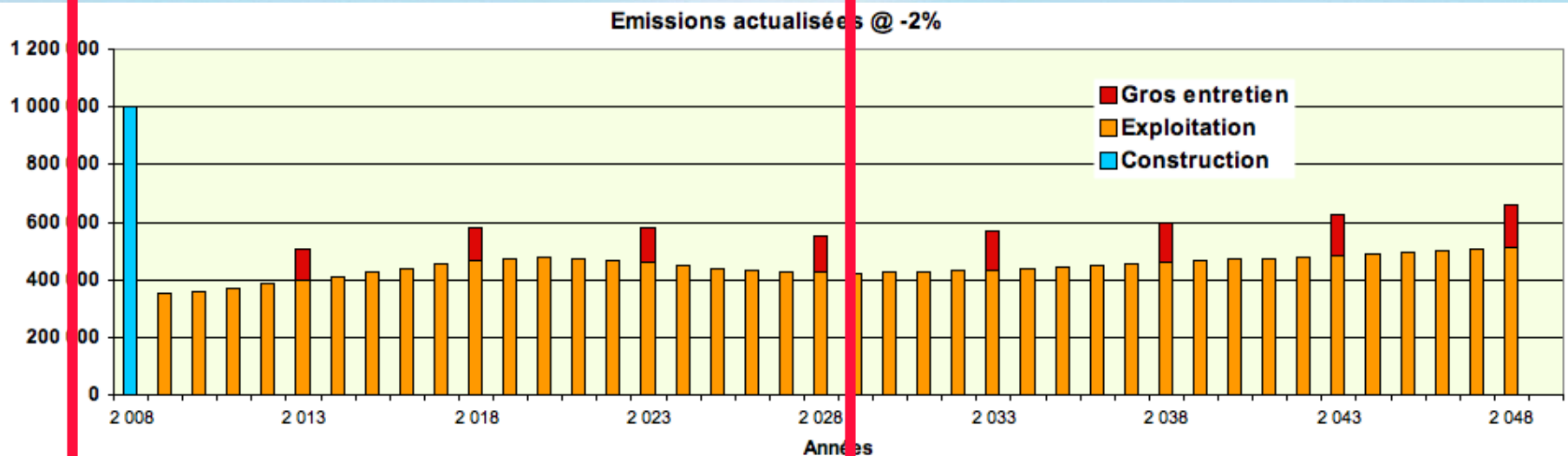
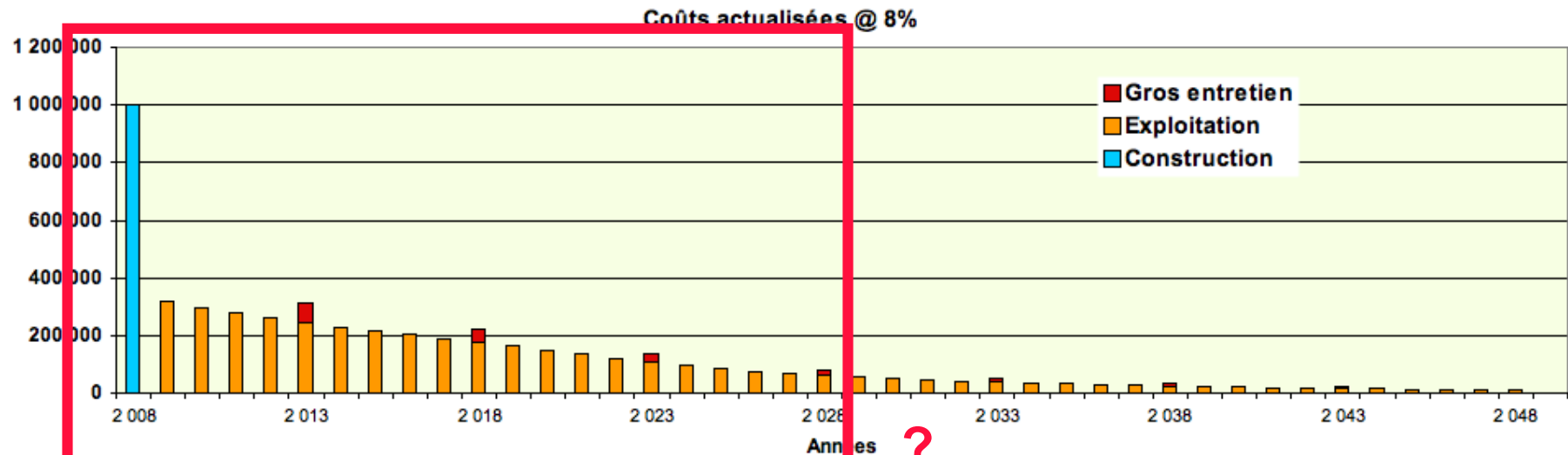
Une taxe carbone aussi !



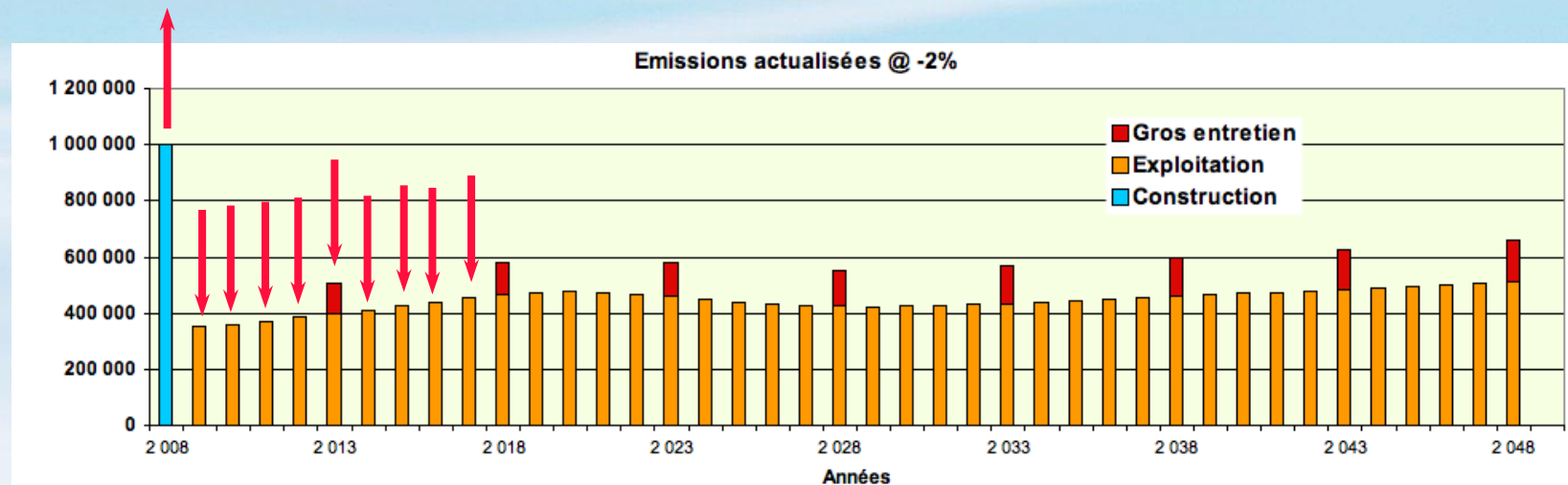
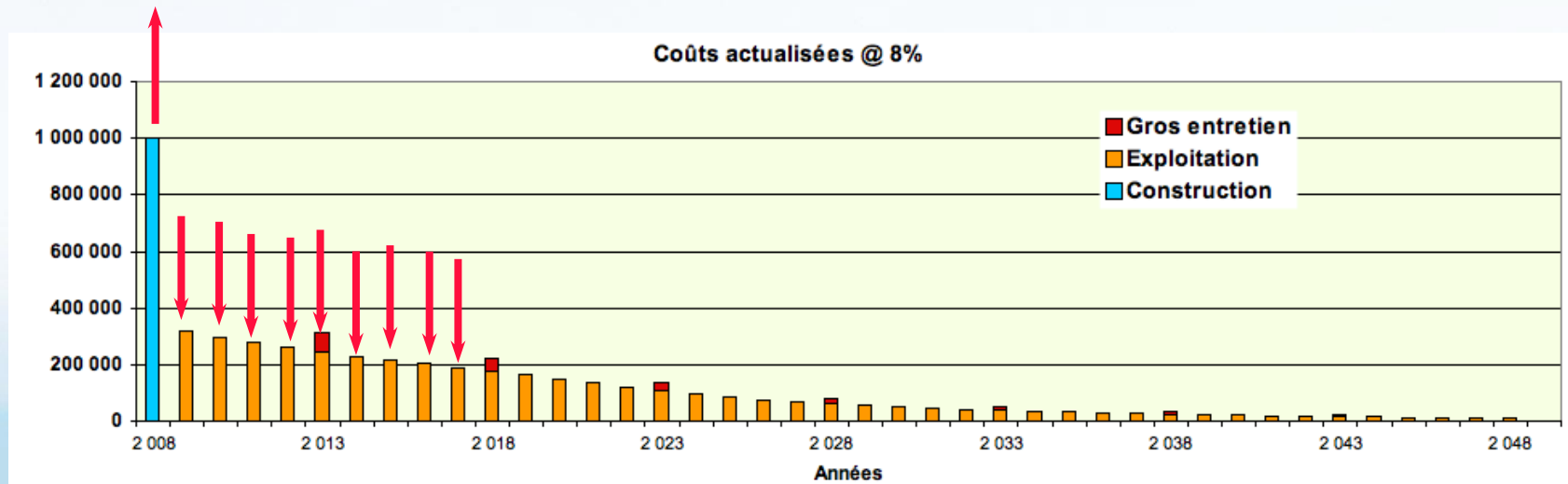
Loi de finances



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



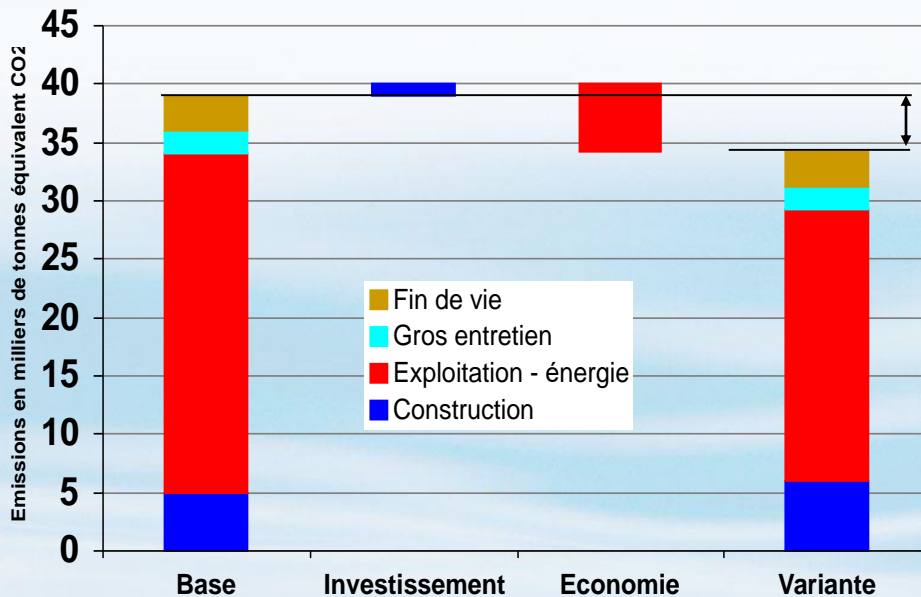
Et puis on arbitre...



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

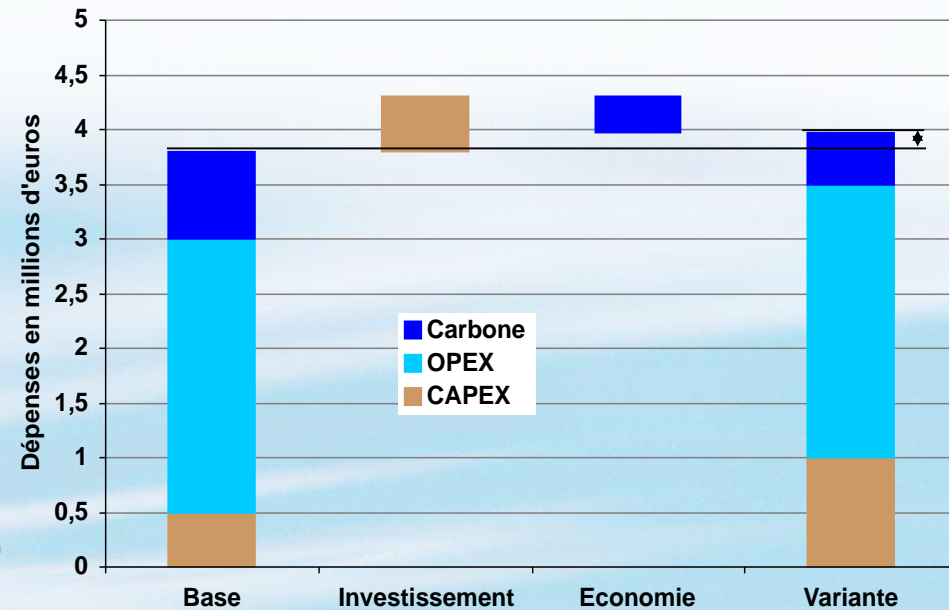
Investissement << Economie

Gain = - 4 800 tonnes équivalent CO₂



Investissement > Economie

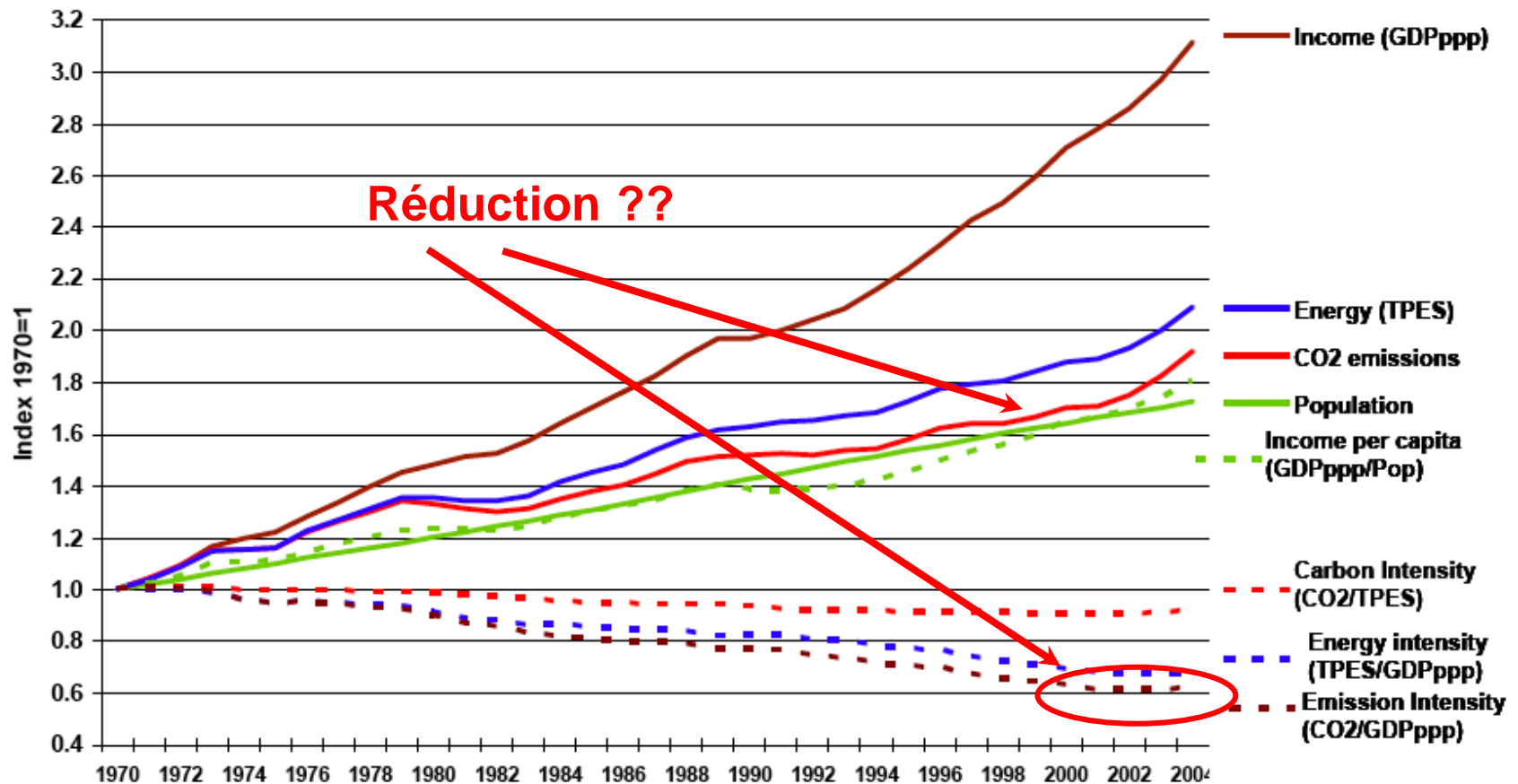
Coût = + 170 kEUR



La réduction globale des émissions est de 4 800 de tonnes éq. CO₂ pour un coût global de 170 000 €, le coût à la tonne de CO₂ résultant est :

$$170\,000 \div 4\,800 = 35 \text{ € / t CO}_2\text{eq}$$

Quand on réduit, ne pas se tromper d'indicateur



Evolution des émissions brutes et rapportées au PIB de 1970 à 2004.

Source : GIEC, 4^e rapport d'évaluation, mai 2007

Le mariage des euros et des GES peut aussi donner ceci

Moyenne des services en France \approx **30** grammes équivalent carbone par euro HT

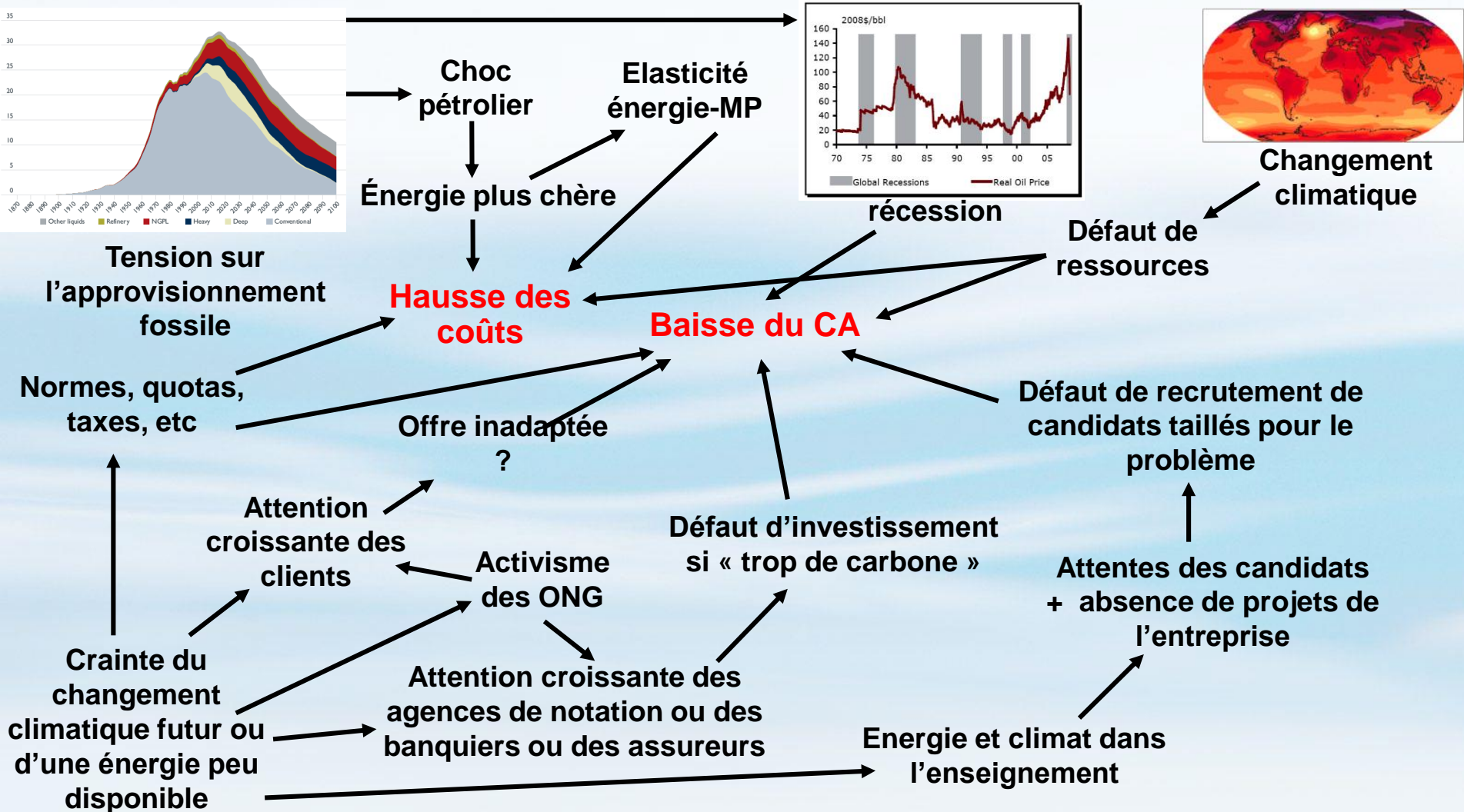
Moyenne des « gens dans un bureau » (avocats, comptables, caisses de retraite) \approx **10** grammes équivalent carbone par euro

Moyenne de l'industrie manufacturière française \approx **100** grammes équivalent carbone par euro de CA

Moyenne de l'€ de PIB en France \approx **75** grammes équivalent carbone

Ce à quoi il faut arriver à PIB constant : \approx **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 !

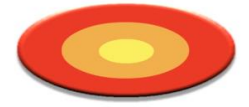
L'entreprise cernée par le carbone



Quels métiers pour le « développement durable » ?

Et revoici Kaya...

$$GES = \frac{GES}{TEP} * \frac{TEP}{PIB} * \frac{PIB}{POP} * POP$$



BILAN CARBONE

$$\text{Emissions de gaz carbonique} = \text{Contenu en gaz carbonique de l'énergie} * \text{Intensité énergétique de l'économie} * \text{Production par personne} * \text{Population}$$

Faire du « greenwashing »
Expliquer que le problème n'existe pas
Ou qu'il est totalement sous contrôle
Ou publier l'indicateur qui va bien... mais rien d'autre !

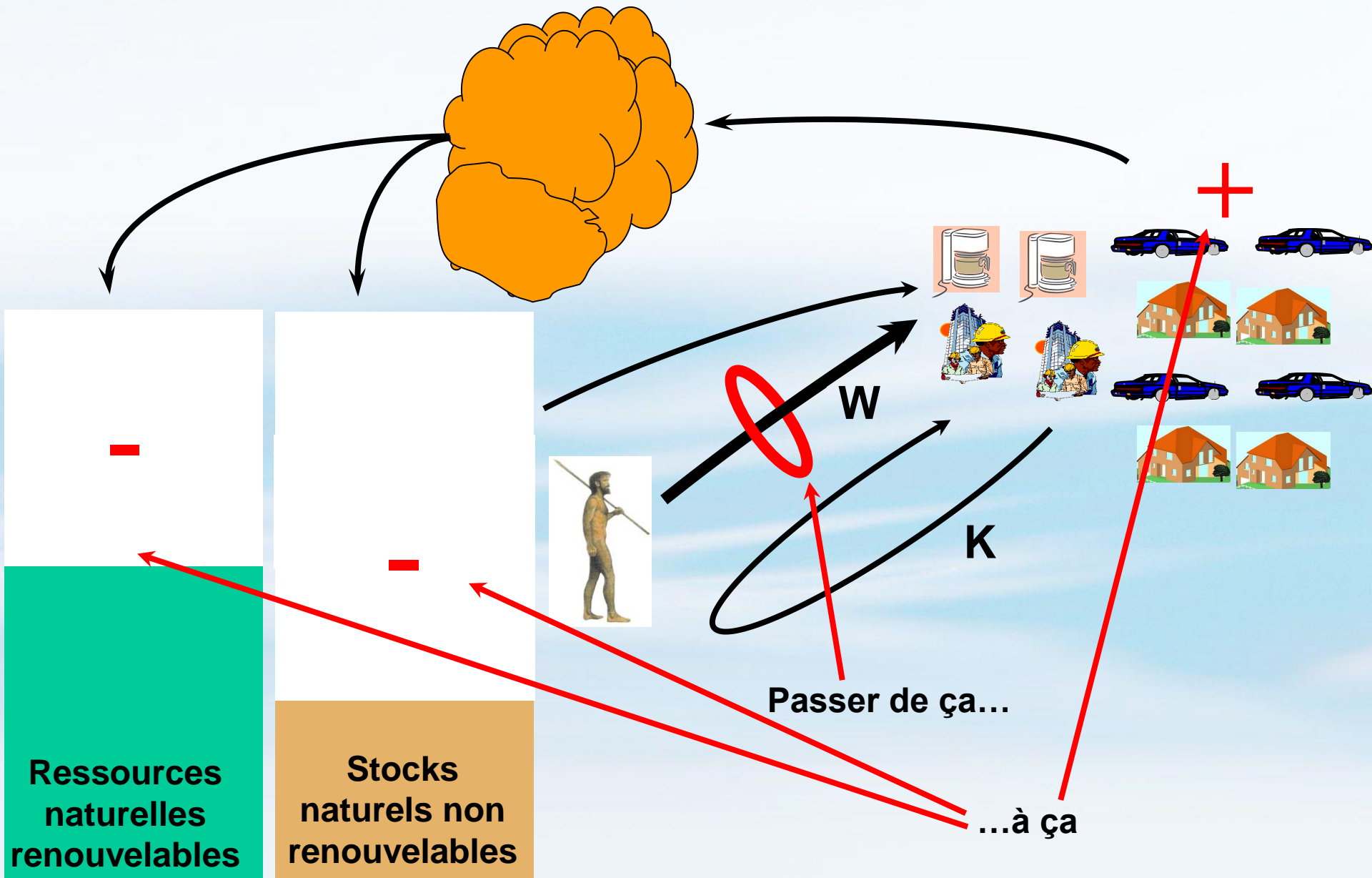
Le plus naturel pour d'autres ingénieurs :
Renouvelables
Nucléaire

Le plus « naturel » pour un ingénieur
Améliorer les procédés
Isoler les bâtiments
Modifier les déplacements (un peu de technique, beaucoup de social)
Repenser une organisation, un produit, un service, une structure des métiers...

Le plus difficile : Planning familial, éducation des femmes, modification du rapport à la mort, toucher à la religion, à la politique de la famille, etc

Le plus macro : jeter le PIB à la poubelle et trouver le « bon » indicateur de pilotage macro-économique, puis attendre patiemment le Prix Nobel
Plus généralement, réfléchir aux bons indicateurs à utiliser

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



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

Eviter la déforestation :

Contrôle de la démographie

Gestion du foncier dans les pays concernés (règles de propriété, cadastre)

rendements des cultures

Régimes alimentaires

Efficacité des foyers...

Et surtout mécanismes de financement

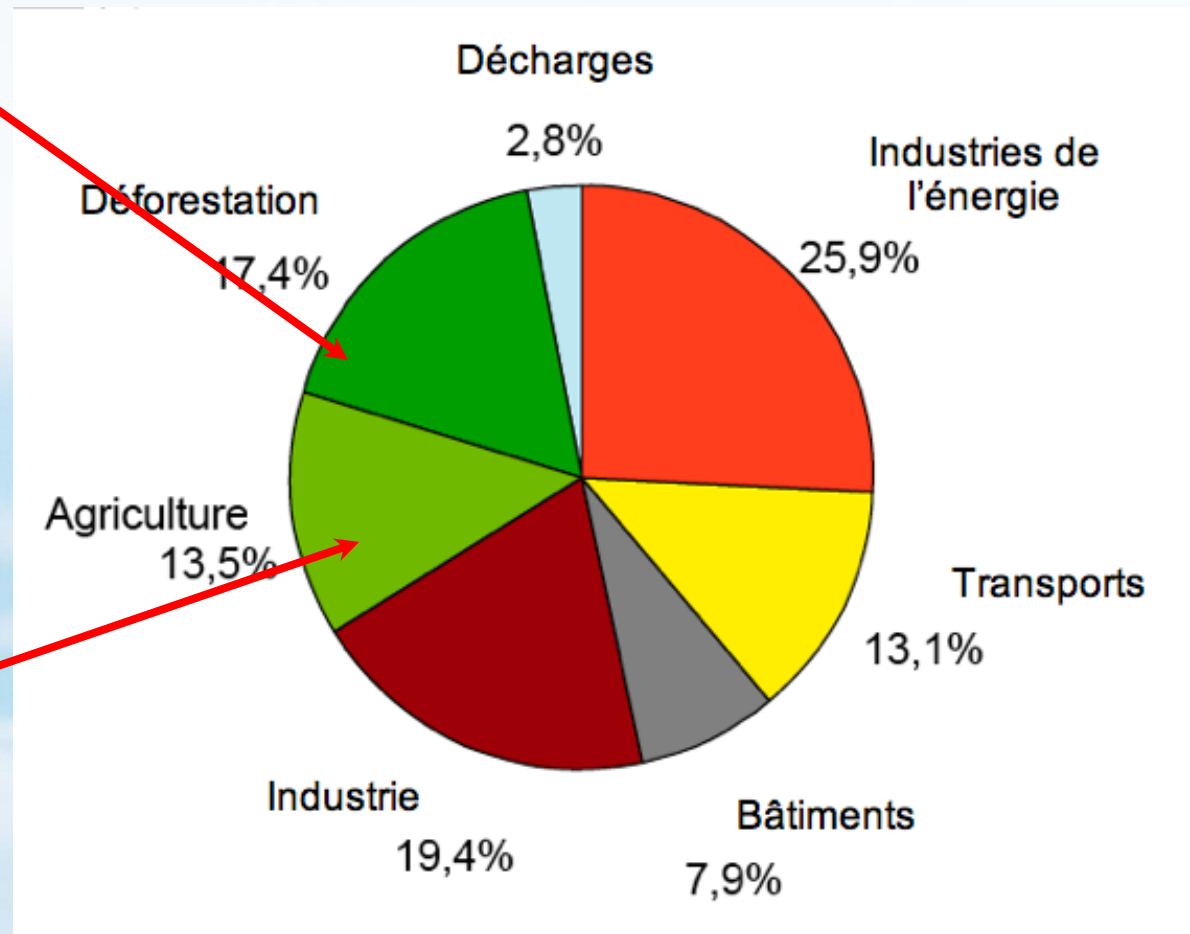
Régimes alimentaires

Nature des amendements

Systèmes de gestion des effluents (purin, lisier...), etc

Méthanisation des bovins

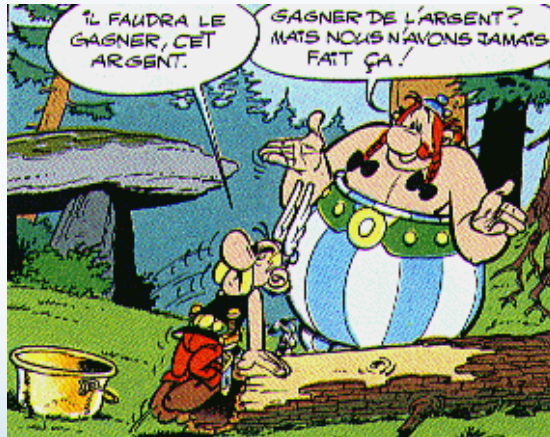
Nature de riz cultivé



Répartition des émissions de gaz à effet de serre dans le monde par activité, 2004, hors ozone.
(Source IPCC)

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

Savoir comment on fait la révolution est nécessaire, mais il faut aussi...



trouver quelqu'un qui accepte de payer pour cela



Etre capable de proposer l'organisation qui va avec



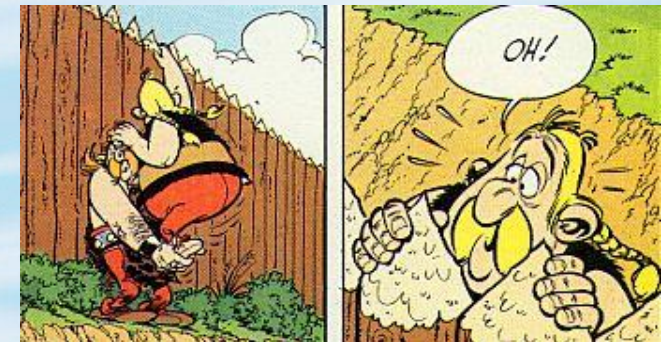
savoir vendre



pouvoir expliquer simplement ce que l'on a en tête



savoir négocier (et se mettre à la place d'autrui)



savoir observer



Ne **jamais** avoir peur de poser une question

BON VENT !