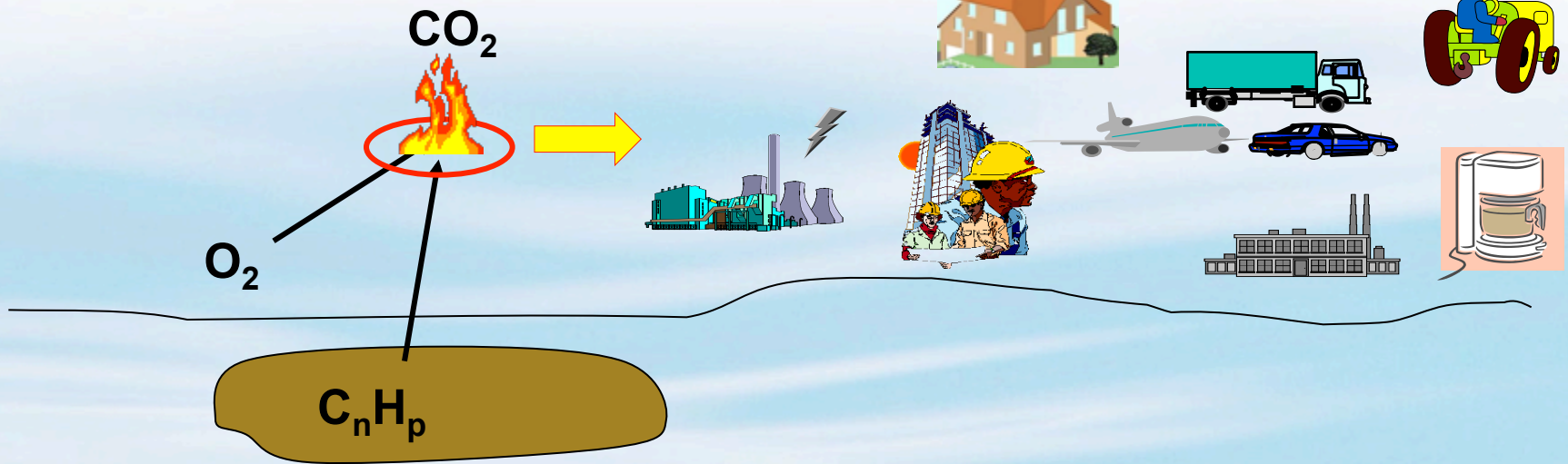


Éléments de base sur l'énergie au 21^e siècle



Jean-Marc Jancovici – Mines Paristech 2020
Partie 8 - Le carbone et sa gestion

Du carbone... ou du carbone ?



Au niveau international : la convention climat

1992 : Signature de la Convention Climat par laquelle les pays signataires s'engagent à « stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique ».

Dans le cadre de cette convention les signataires envoient 2 fois par an des délégations dans des COP (Conference Of the Parties)

1997 : Protocole de Kyoto. Les pays dits « riches » s'engagent à baisser, ou ne pas trop augmenter, leurs émissions entre 1990 et la moyenne de la période 2008-2012

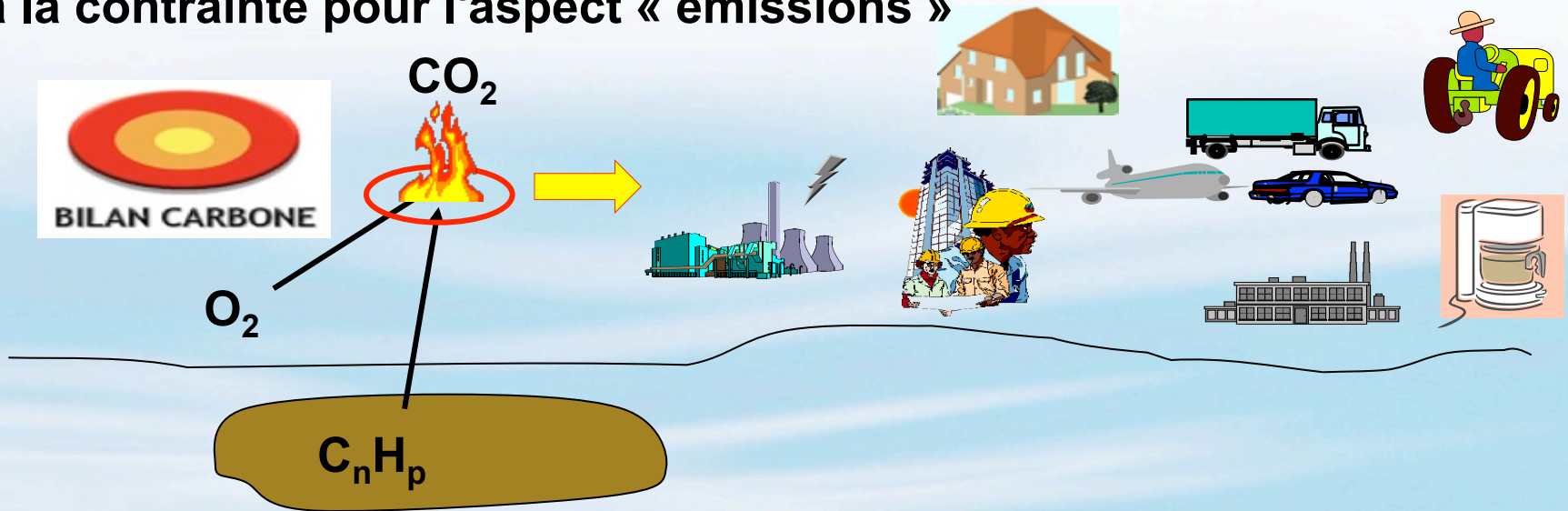
2009 : Conférence de Copenhague : 2°C, 100 milliards du fonds vert, clause de dommages...

2015 : Accord de Paris. On entérine les résultats de Copenhague, et on crée les INDC (Intended Nationally Determined Contribution)

-> pour sa mise en œuvre, il faut donc compter !

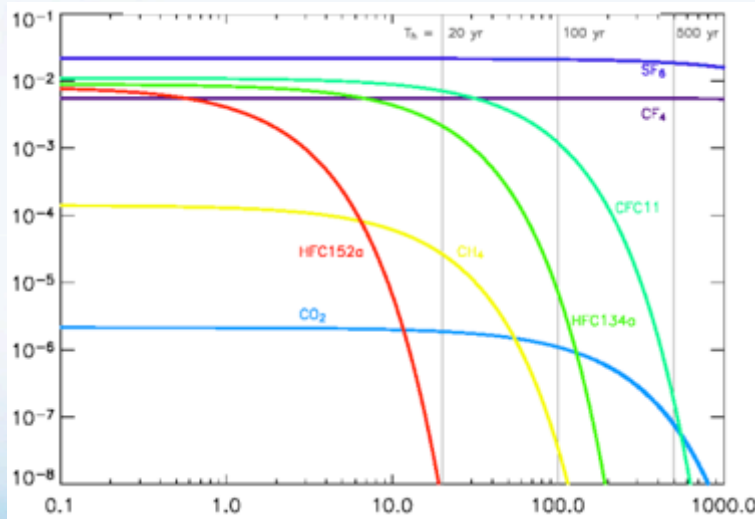
Le bilan carbone... compte le carbone

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

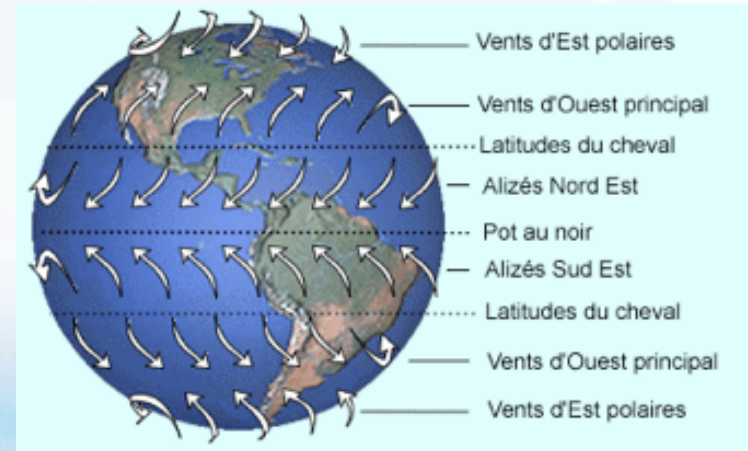


Mais il donne aussi de la visibilité
sur la distance à la contrainte pour
l'aspect « ressources »

Additionner, mais quoi ?



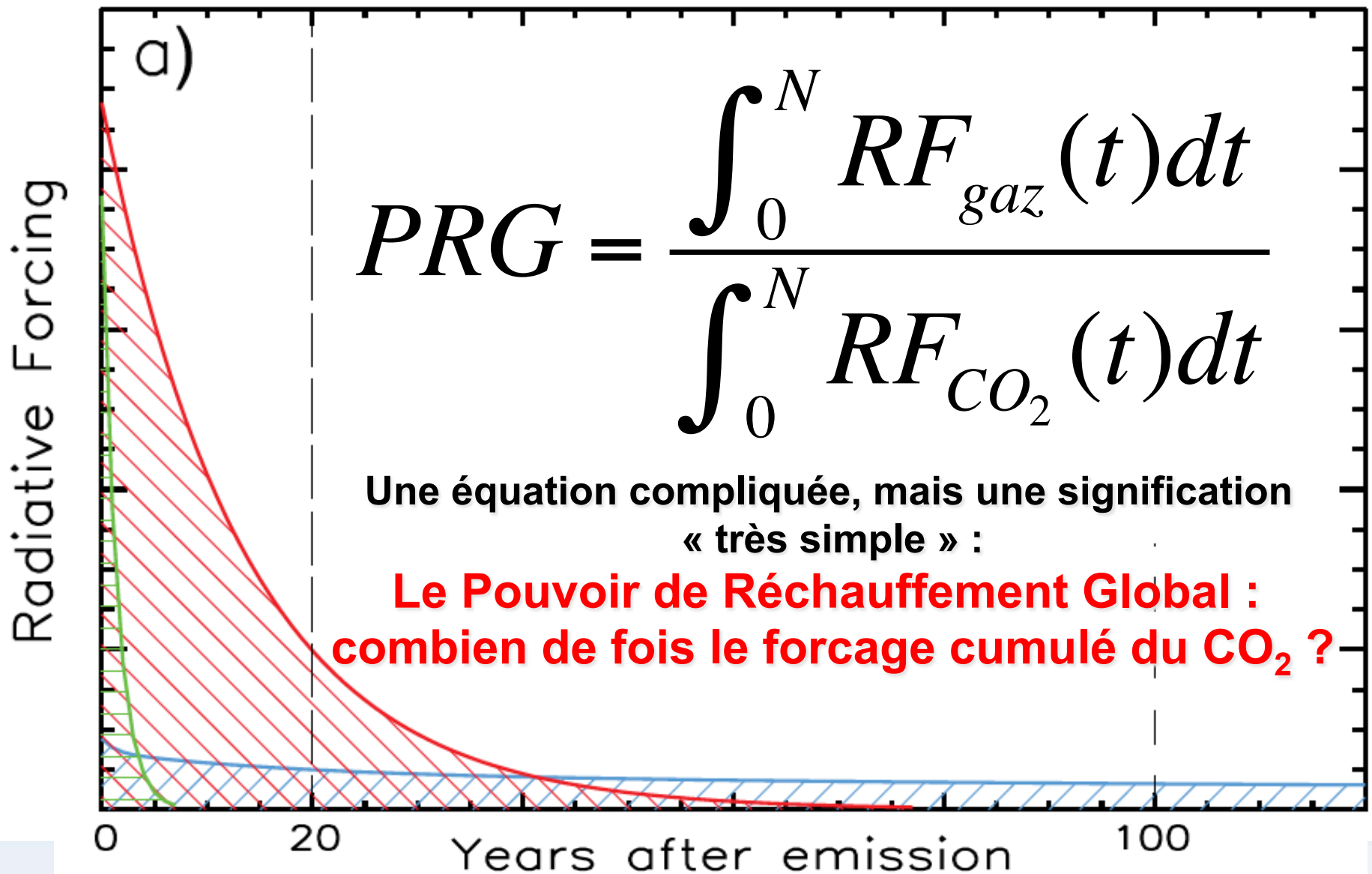
+



=

**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, 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 » : CO_2 , CH_4 , N_2O , HFC, PFC, SF_6 (ni ozone, ni vapeur d'eau stratosphérique) + NF_3

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

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

Il commence à y avoir un peu de « hard law » ou « soft law »

Loi Grenelle 2, votée en mai 2010 : un certain nombre d'entités doivent rendre leurs émissions directes publiques.

Article 173 de la loi de transition énergétique, votée en août 2015 : les sociétés, au-delà d'un certain seuil d'effectifs ou de chiffre d'affaires, doivent publier un certain nombre d'informations relatives au climat (postes significatifs d'émissions, mesures mises en œuvre, etc)

Task Force on Climate-related Financial Disclosures (fin 2015) : demande aux sociétés cotées de fournir un certain nombre d'informations pour permettre au milieu financier de comprendre les risques climat de l'entreprise.

Taxonomie européenne sur les activités vertes, norme ISO, labels, communication volontaire (CDP)... la grande bataille de la norme a commencé !

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

Attention à ne pas confondre carbone et CO₂ !

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

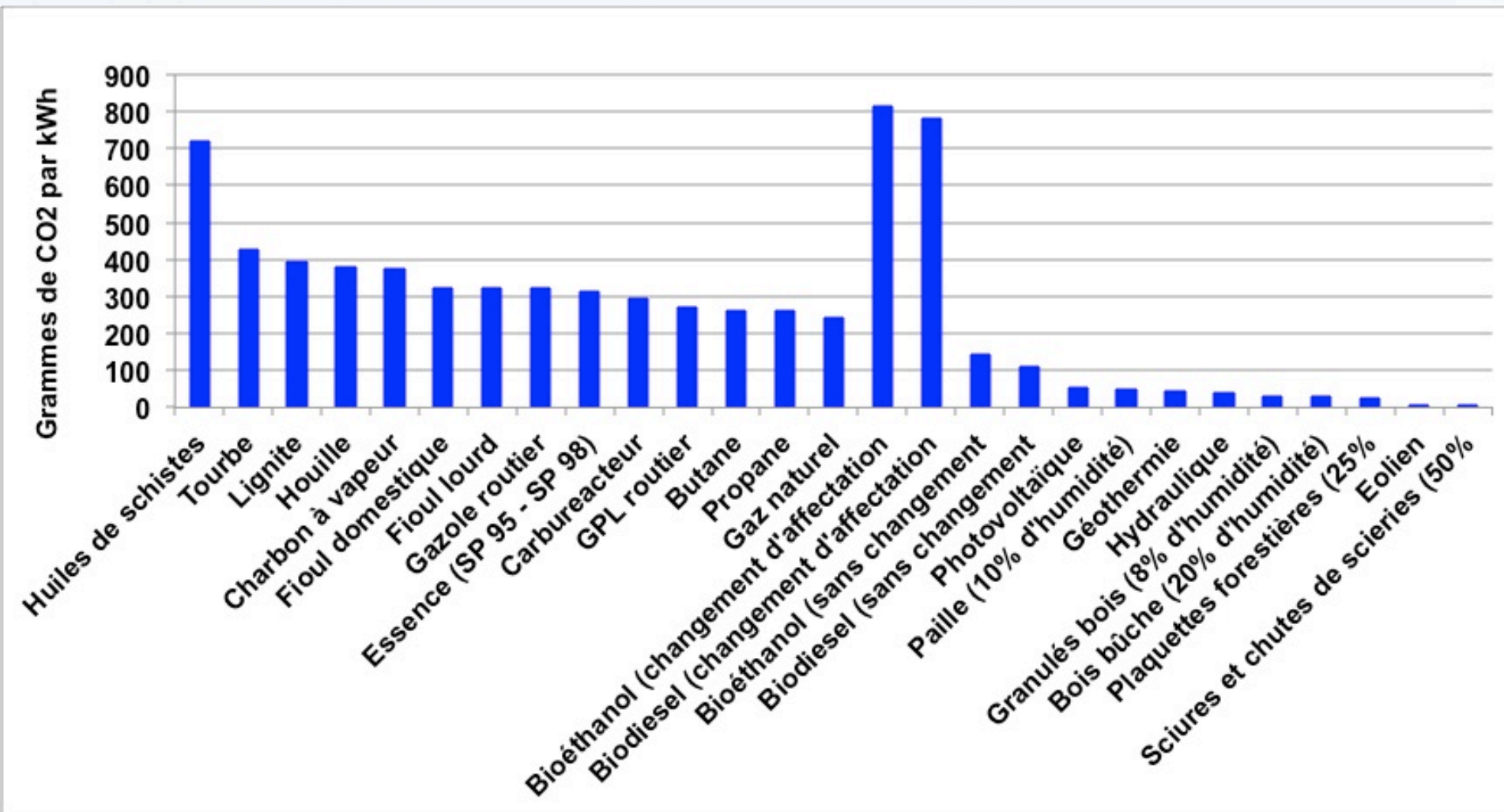
Et donc 1 kg de carbone qui brûle donne $44/12$ (~3,67) kg de CO₂

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

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

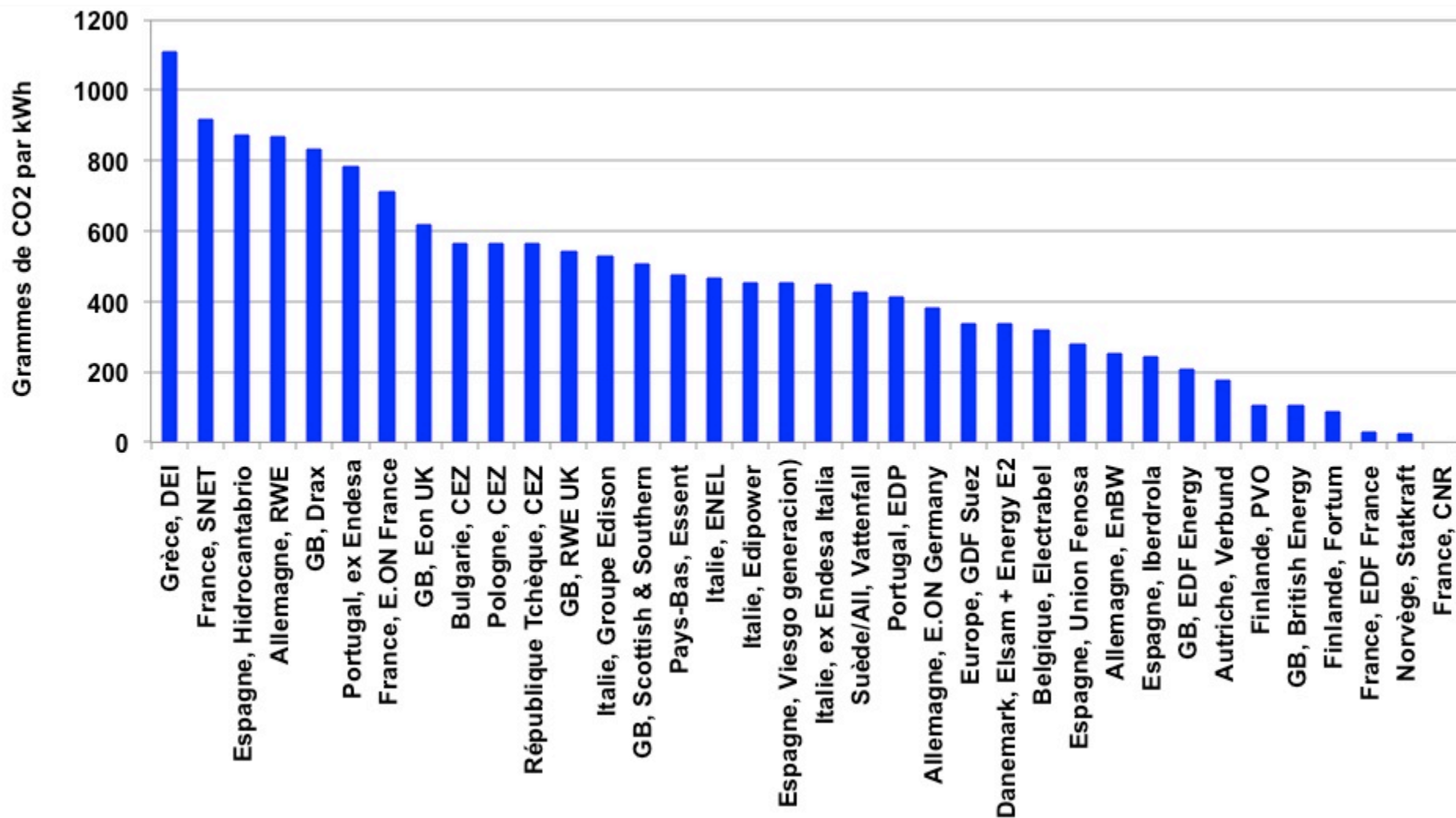
Equivalent carbone $\leftarrow \times 12/44 \leftarrow$ équivalent CO₂

Facteurs d'émissions pour l'énergie



Grammes équivalent CO2 par kWh thermique, 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)

Une moyenne peut avoir un écart type majeur

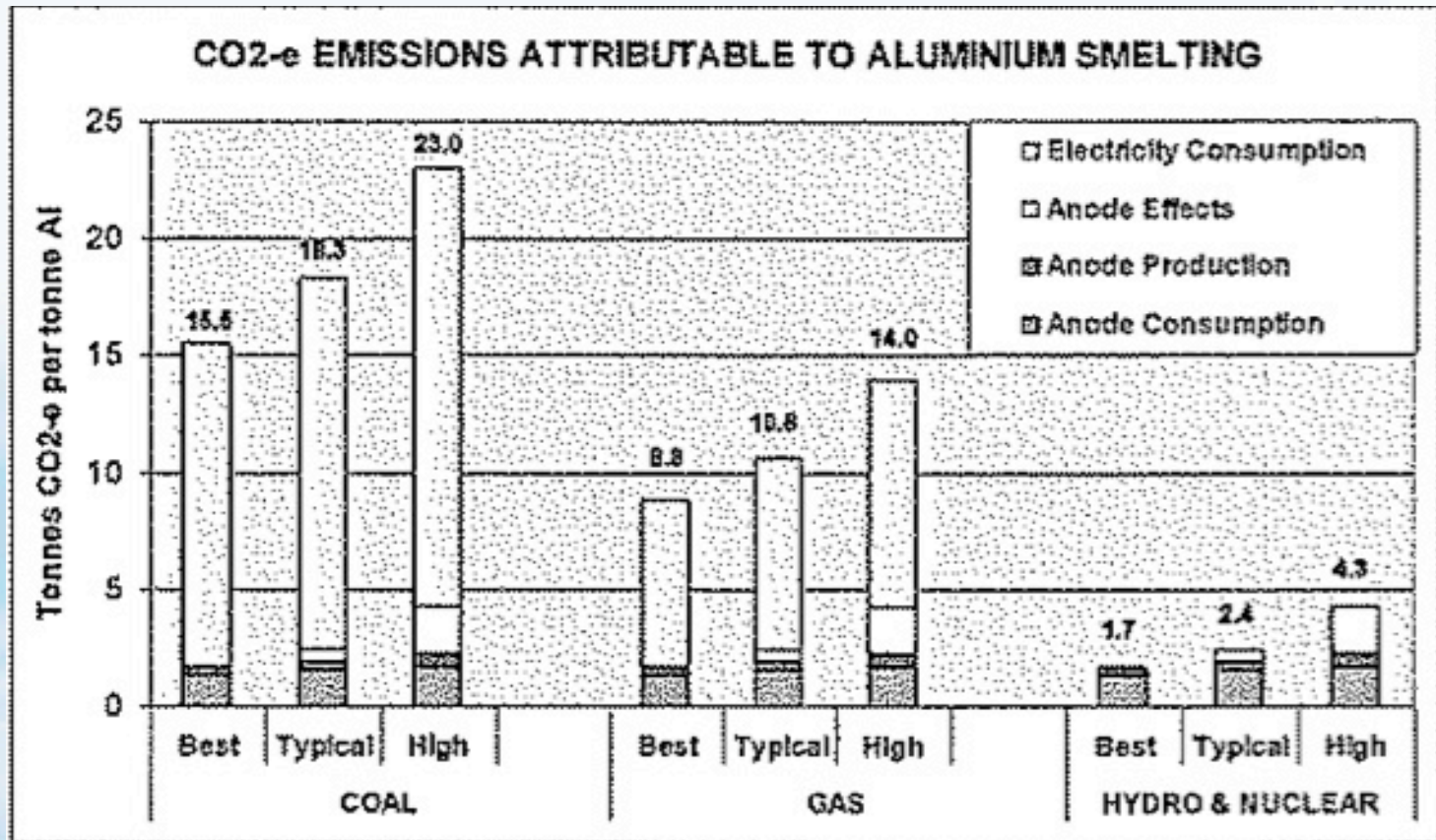
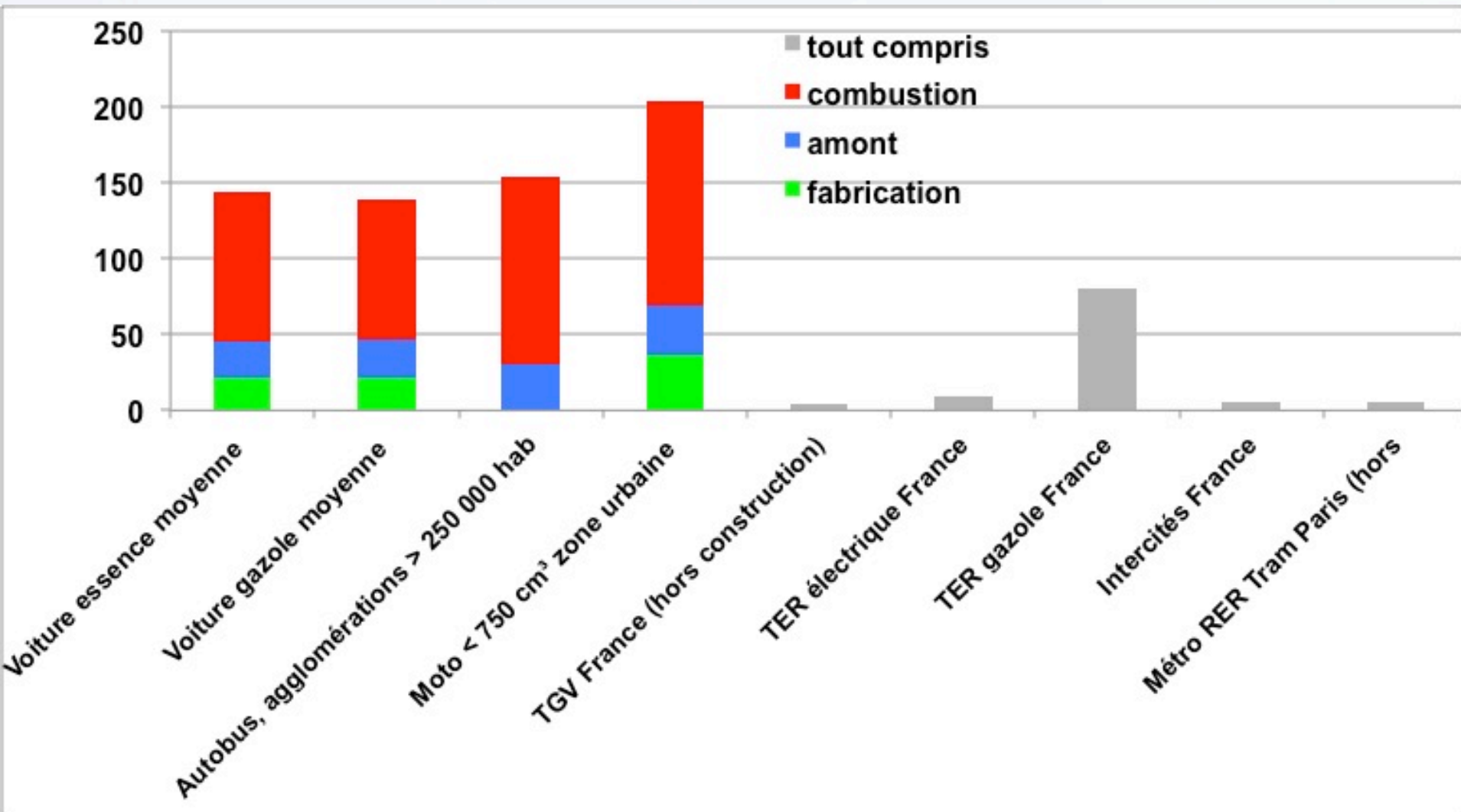


Figure 3 Total GHG Emissions Depending on Smelter Efficiency and Power Source

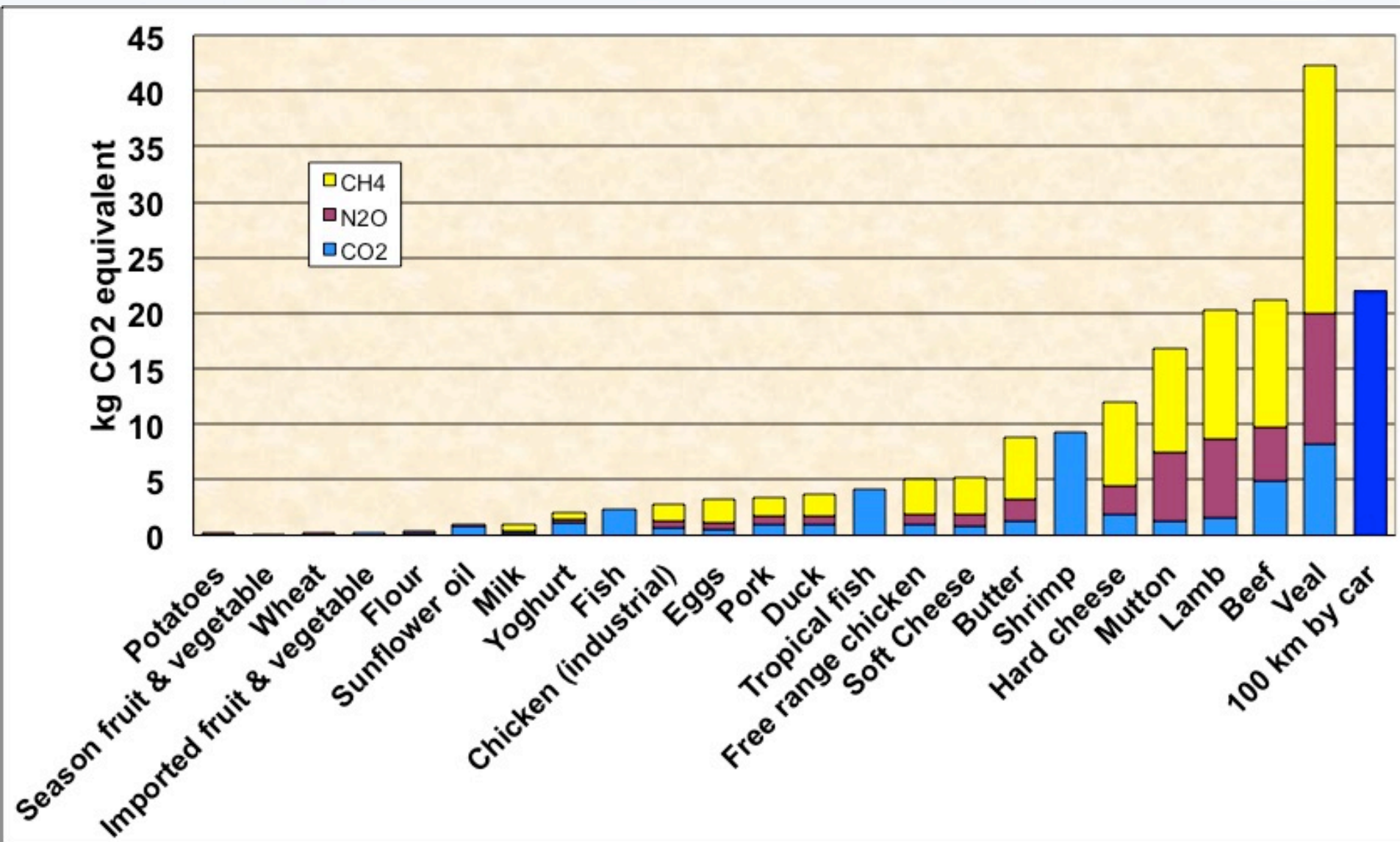
Source : « Aluminium smelting greenhouse footprint and sustainability », Jeffrey Keniry, 2008

Se déplacer émet plus ou moins



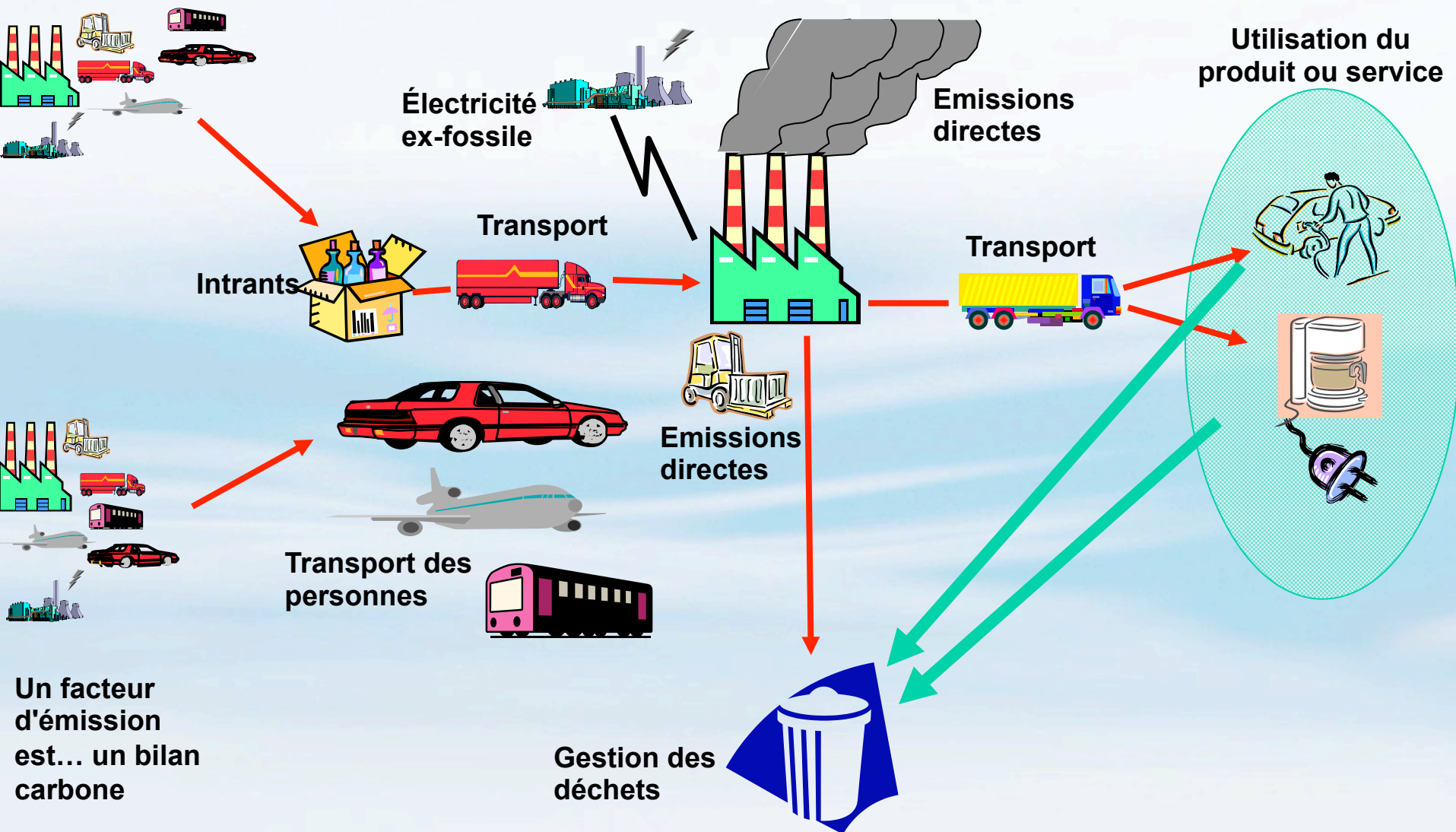
Grammes équivalent CO2 par passager.km pour divers modes de transport (Ademe, 2015)

Et même la nourriture !

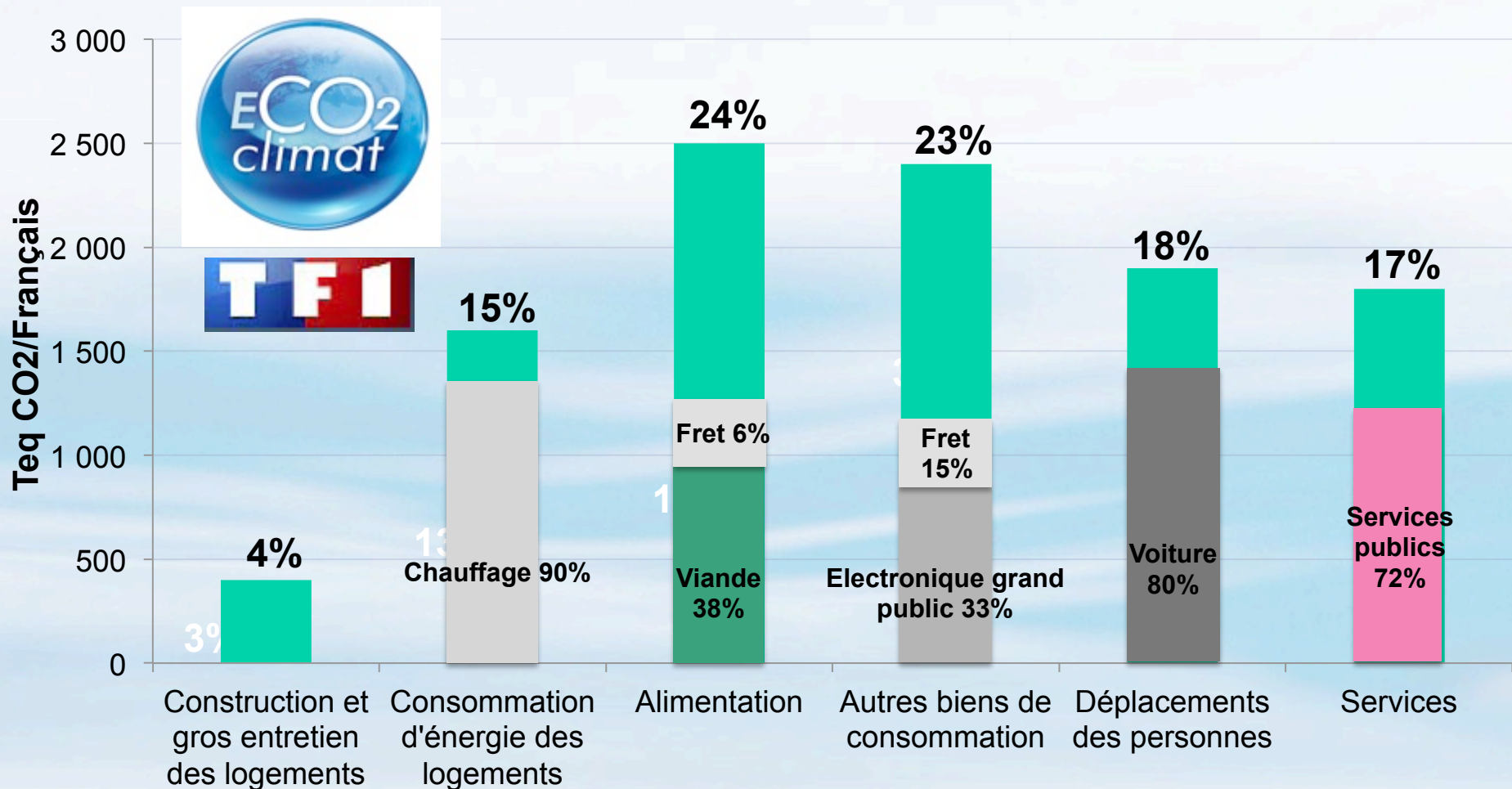


Kg équivalent carbone pour la production d'un kg de nourriture. Source : Jancovici/Ademe, 2009

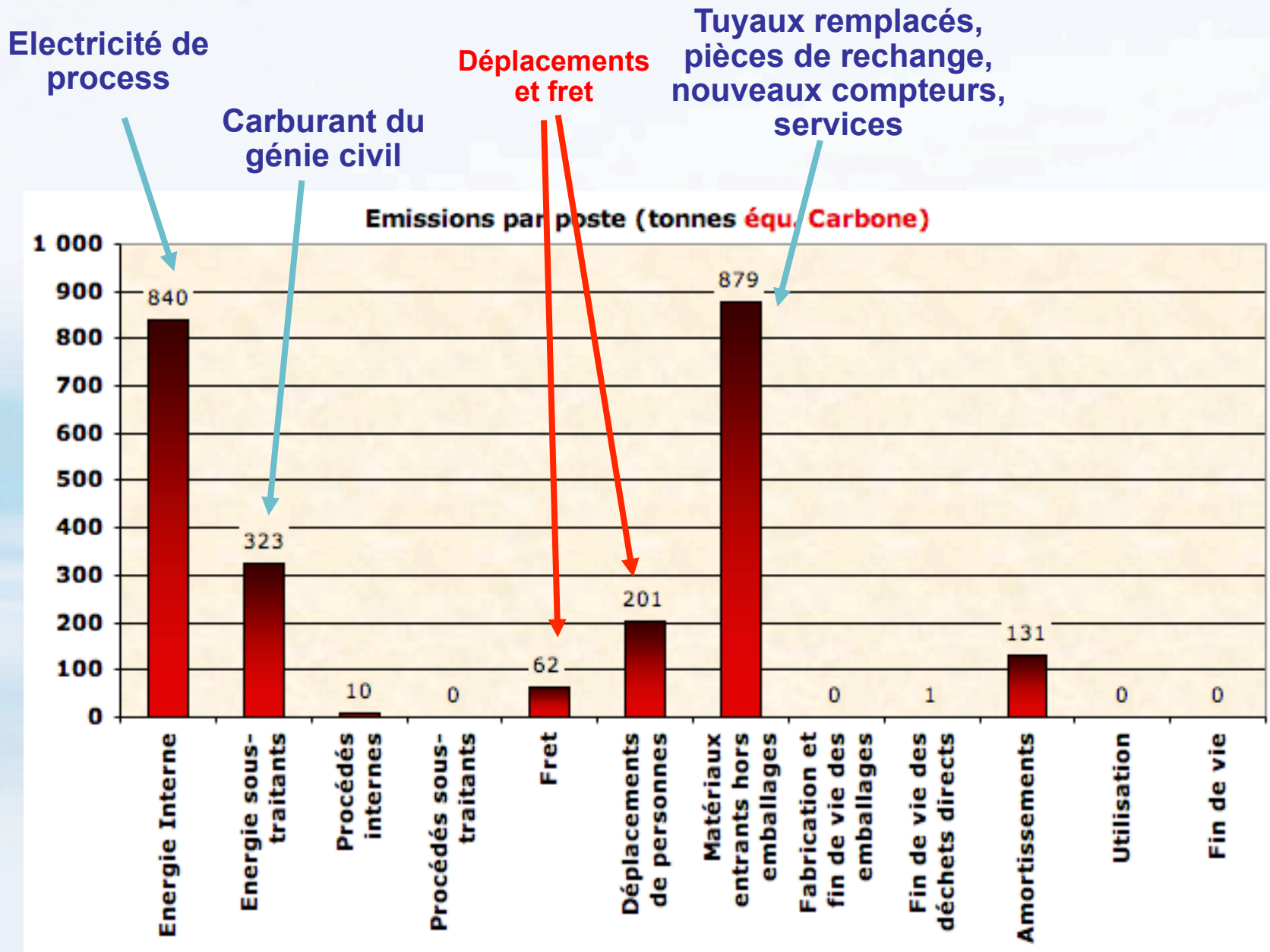
Un bilan carbone est un bilan, donc doit permettre d'agir



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

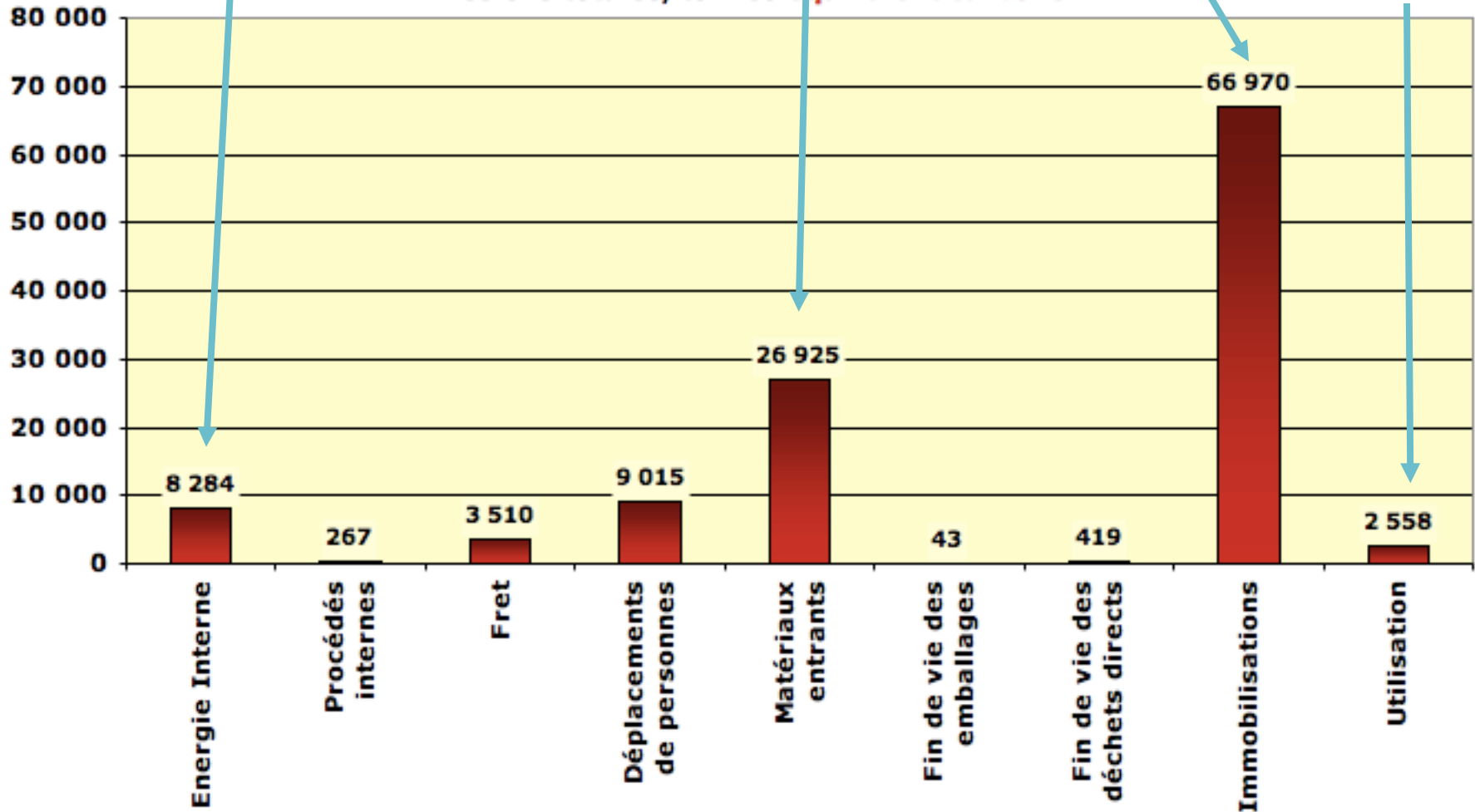
Electricité du réseau

Fabrication des téléphones, factures

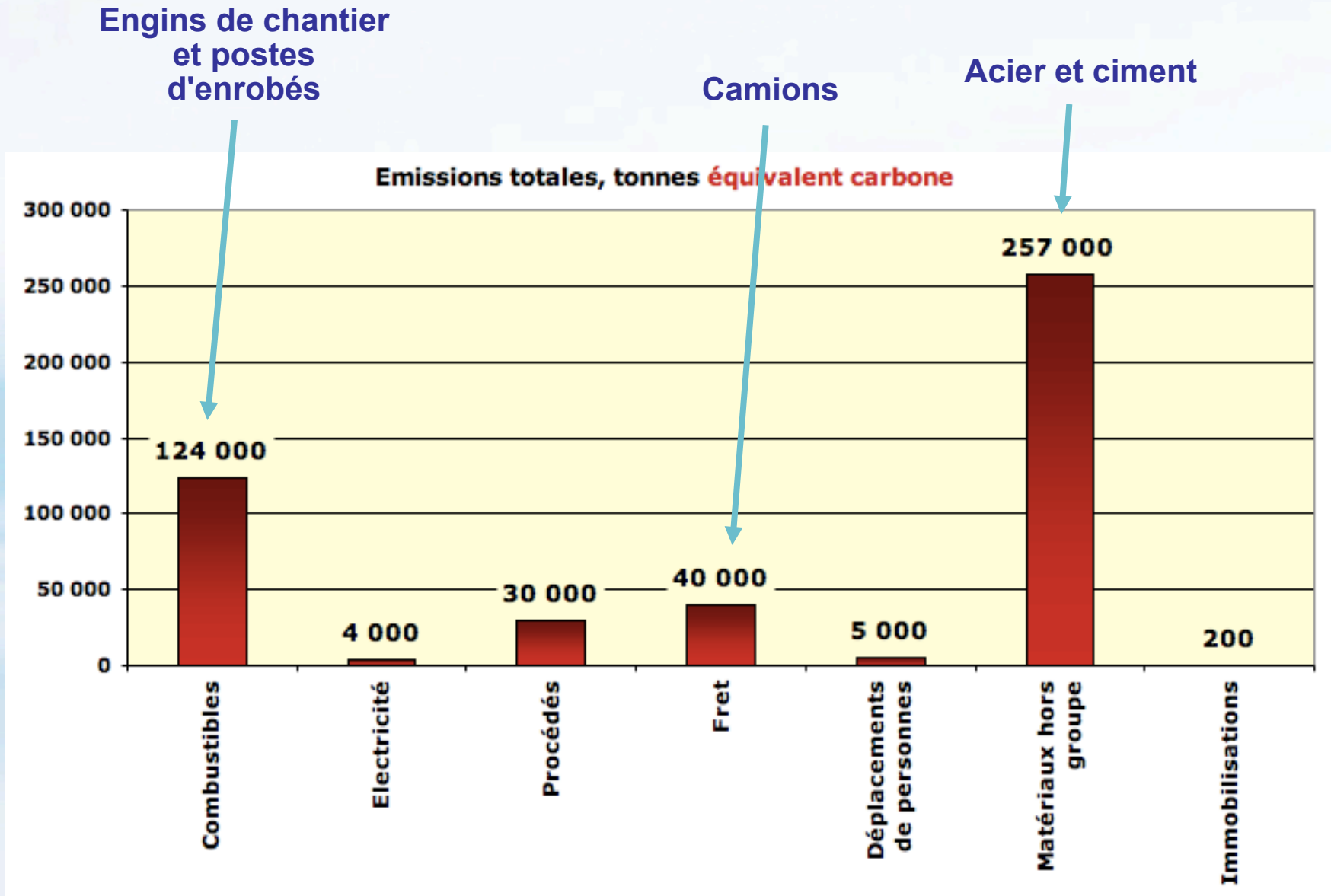
Construction du réseau

Electricité des téléphones

Emissions totales, tonnes équivalent carbone



Une société de BTP (hors utilisation)



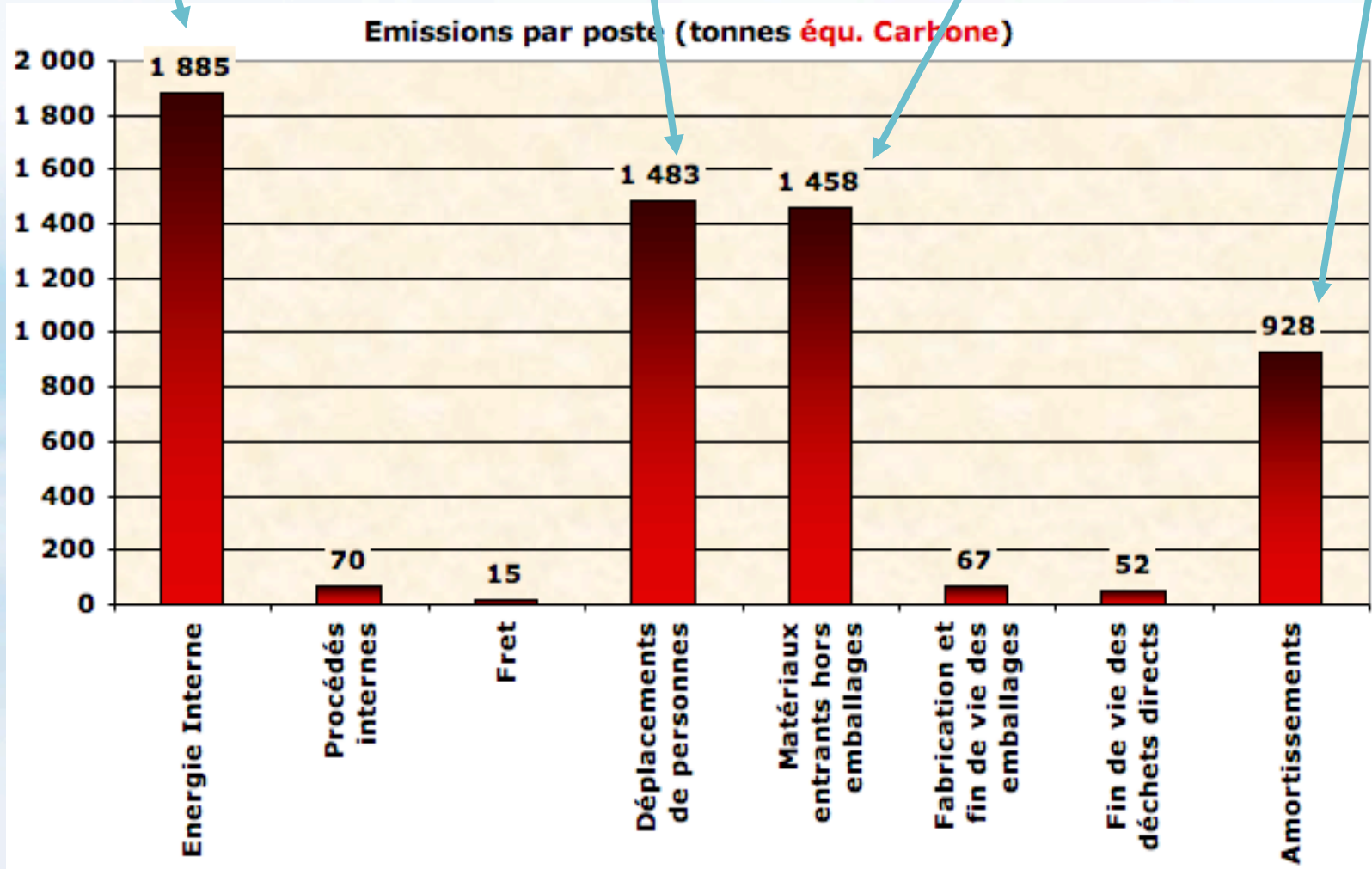
Une banque (hors prêts)

Chauffage (pour l'essentiel)
& électricité

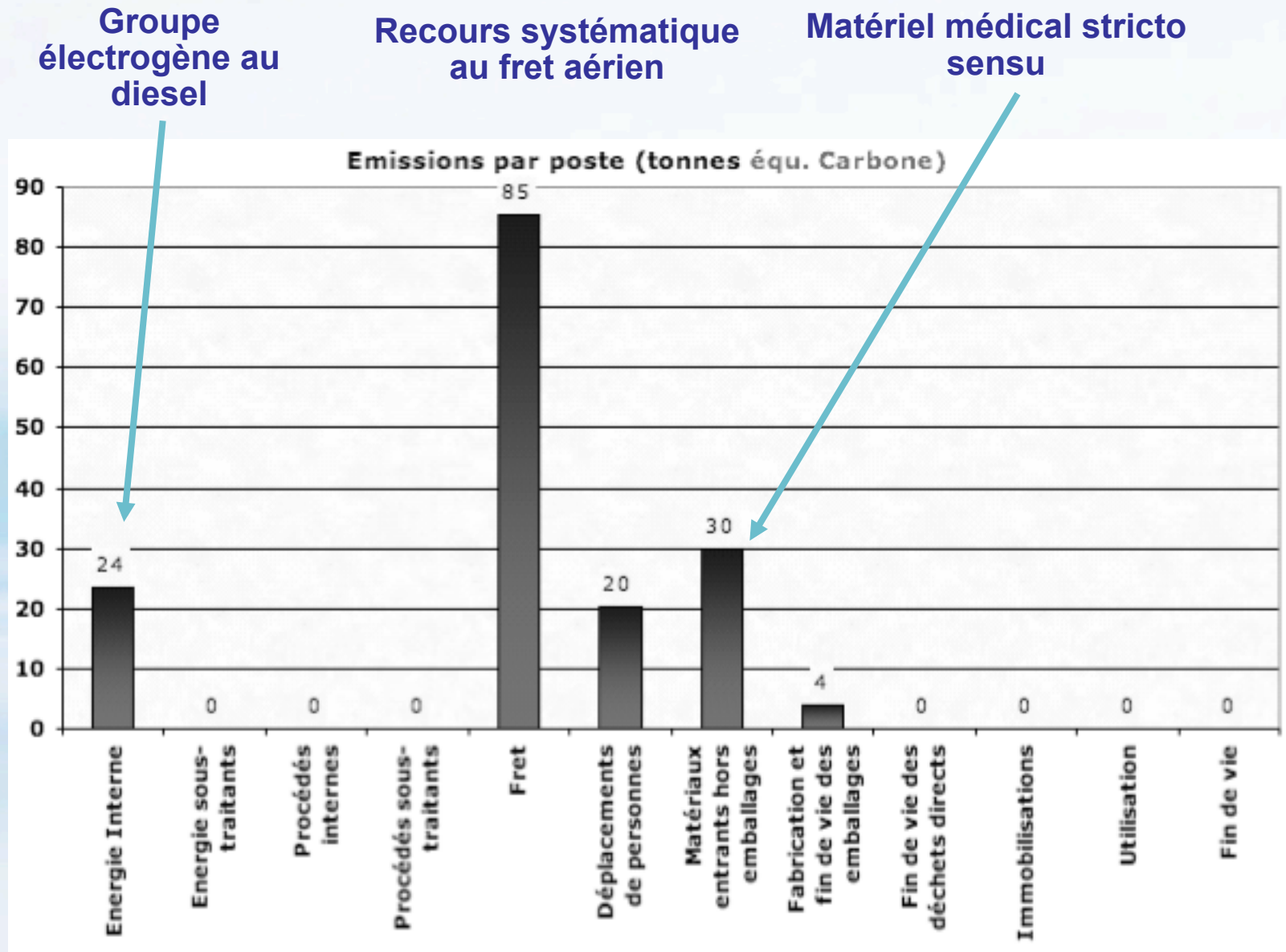
Déplacements domicile
-> travail + avion

Services pour
l'essentiel

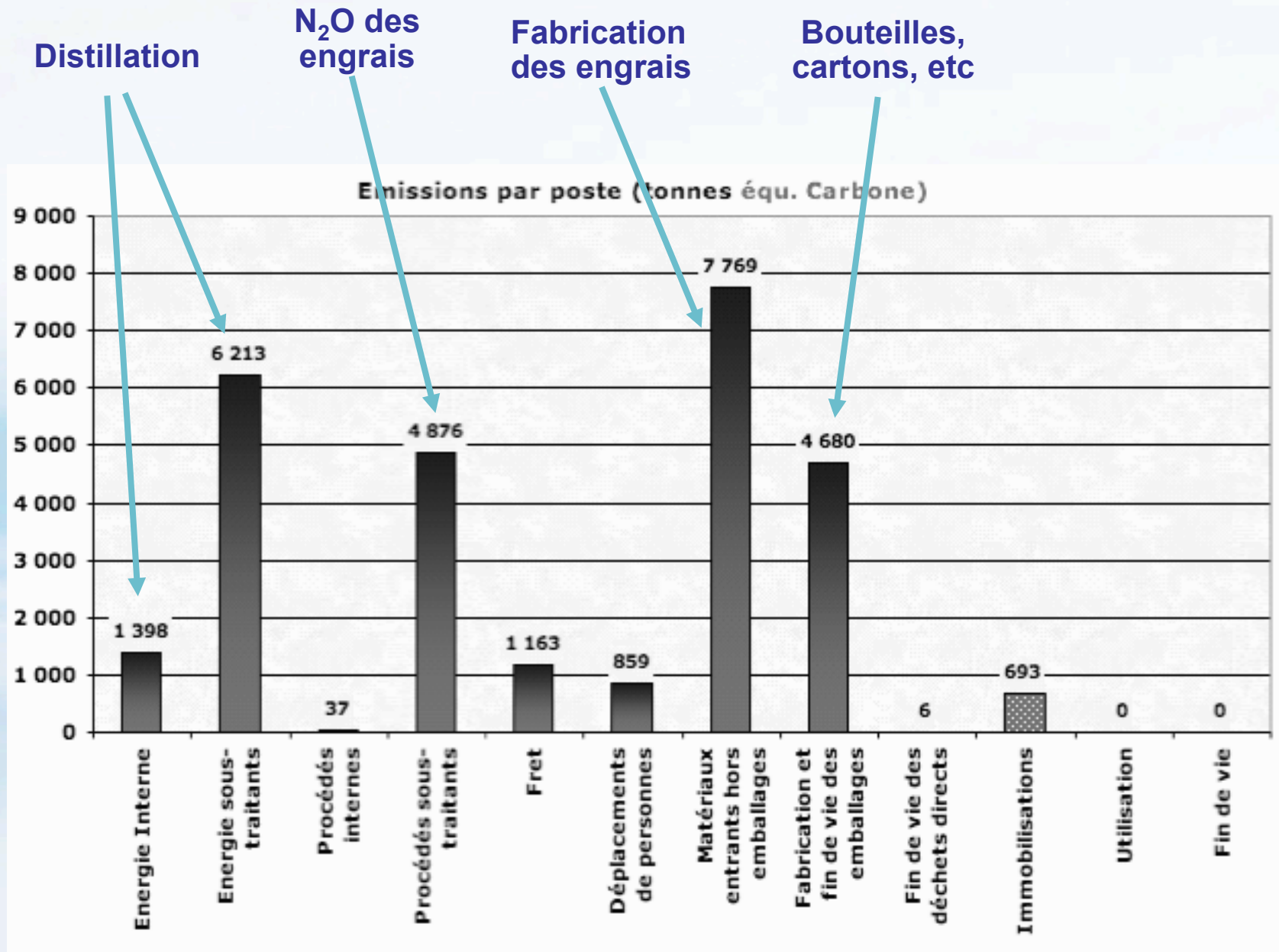
Construction
des bureaux et
fabrication des
ordinateurs



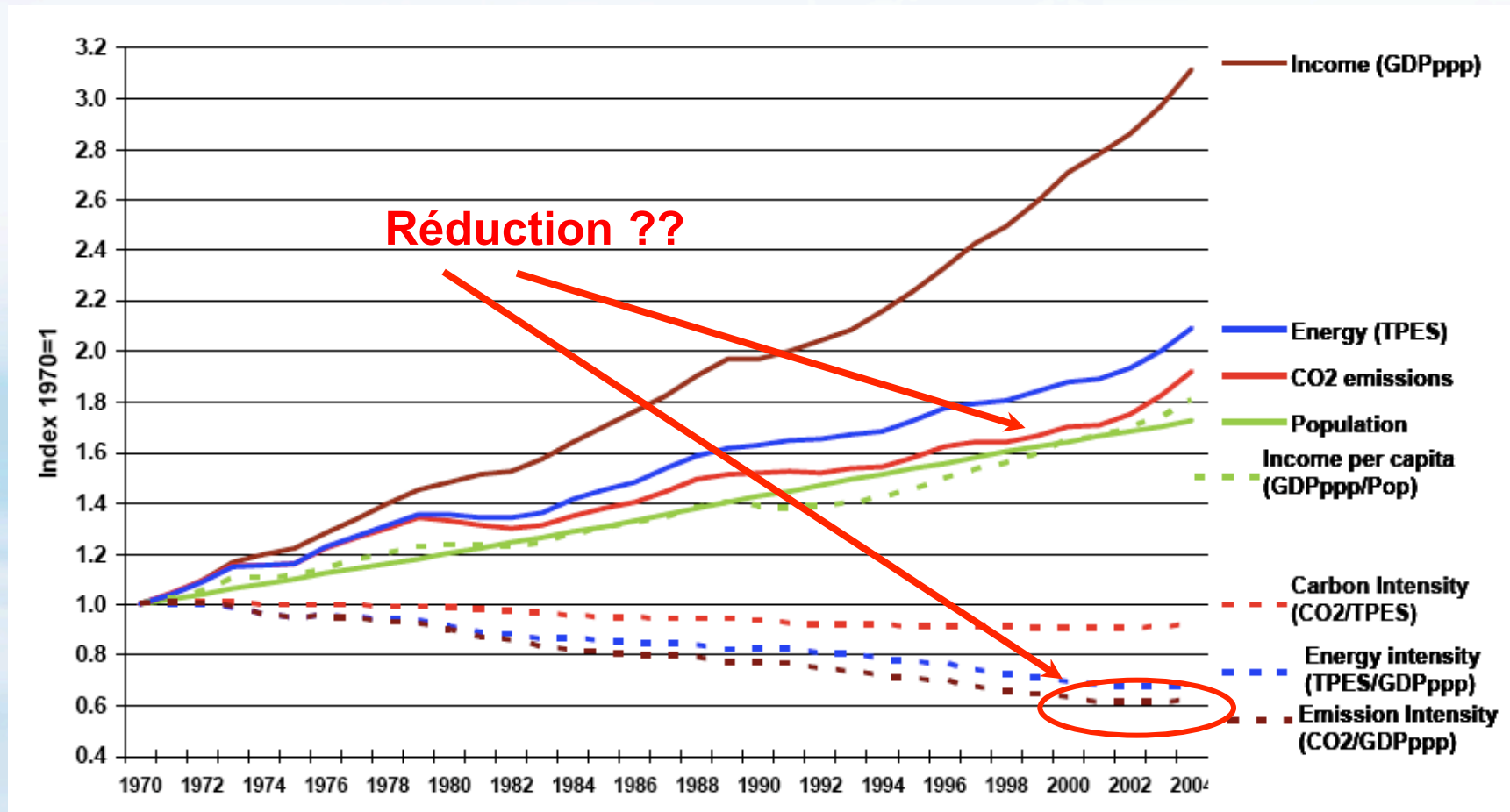
Une antenne de médecins sans frontières



Et même un producteur de spiritueux !



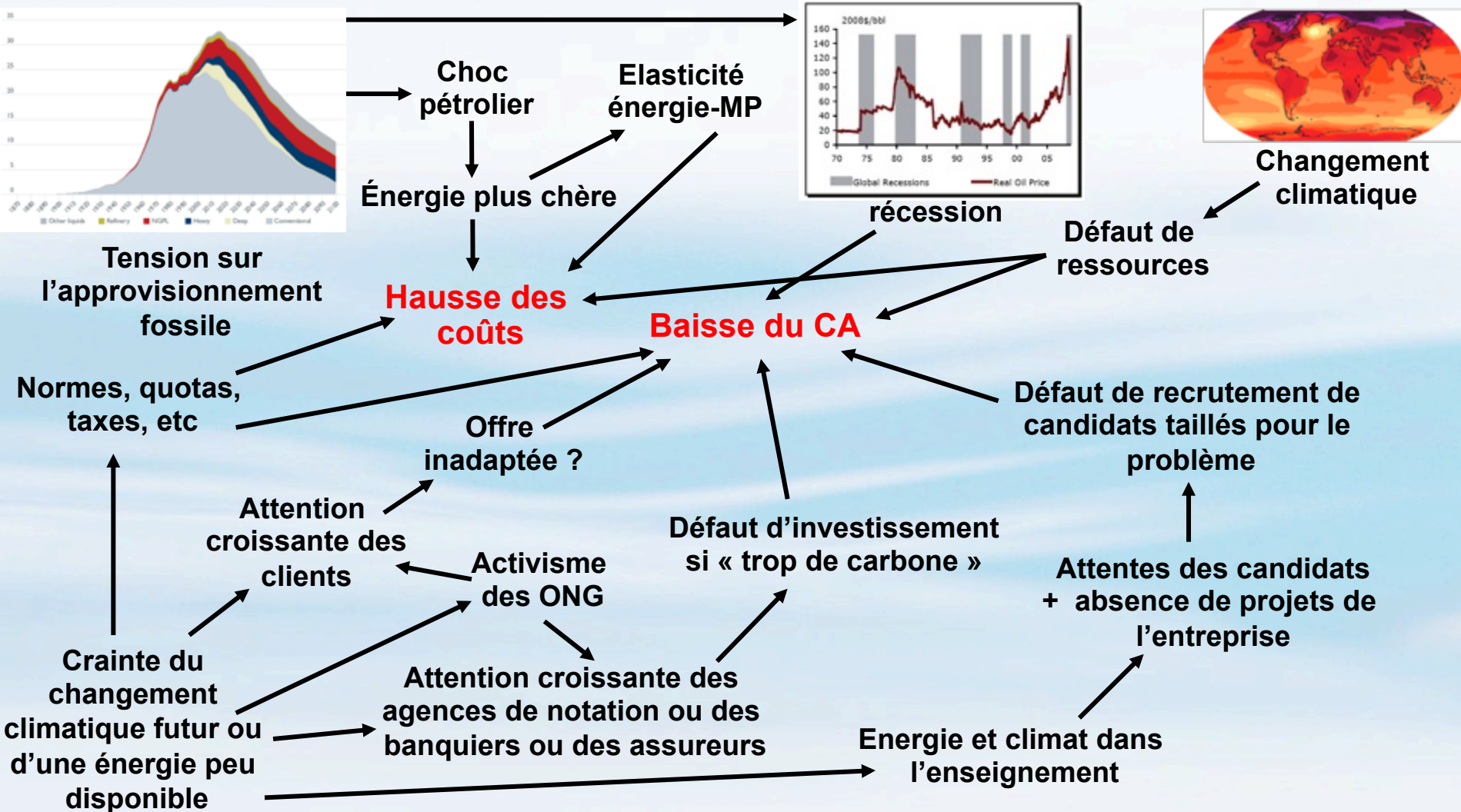
Quand on réduit, ne pas se tromper d'indicateur



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

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

L'entreprise cernée par le carbone



Quels métiers pour le « développement durable » ?

Et revoici Kaya...

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



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

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 !

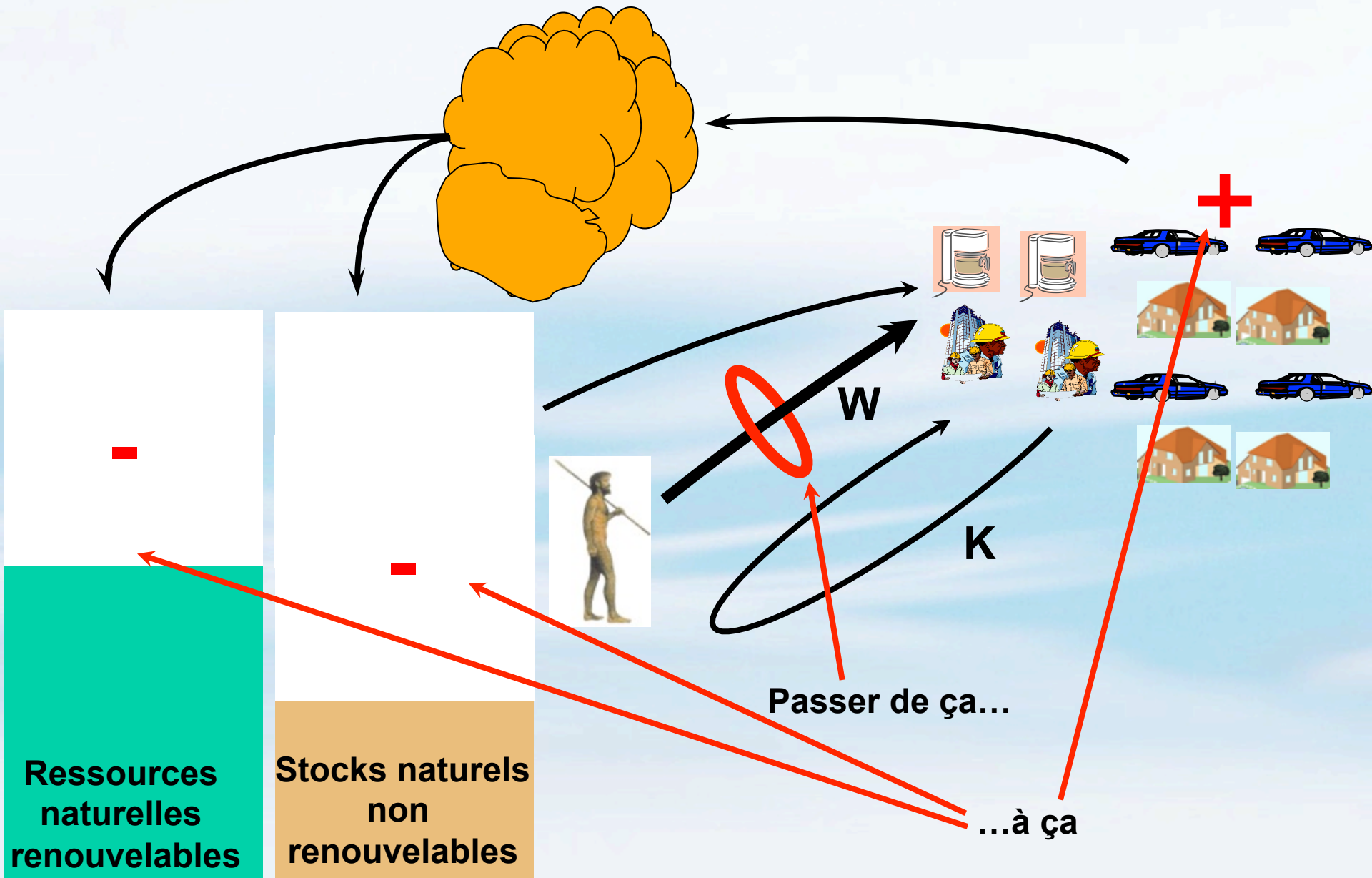
Le plus naturel pour d'autres ingénieurs :
Renouvelables
Nucléaire

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

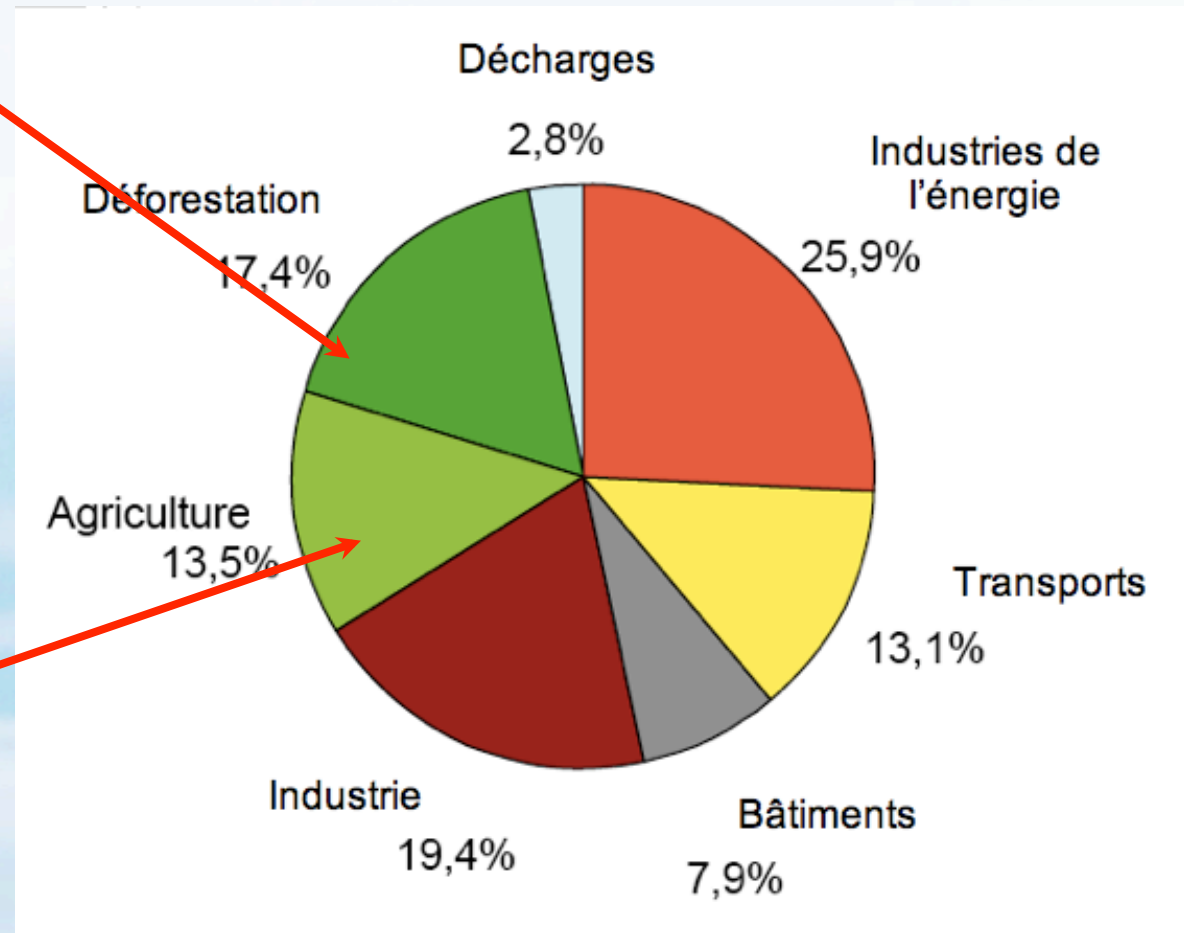
Régimes alimentaires

Nature des amendements

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

Méthanisation des bovins

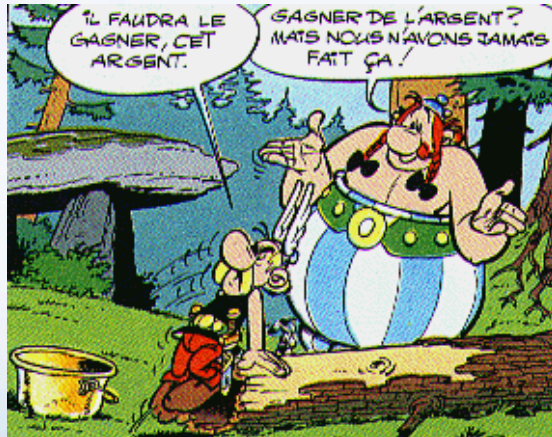
Nature de riz cultivé



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



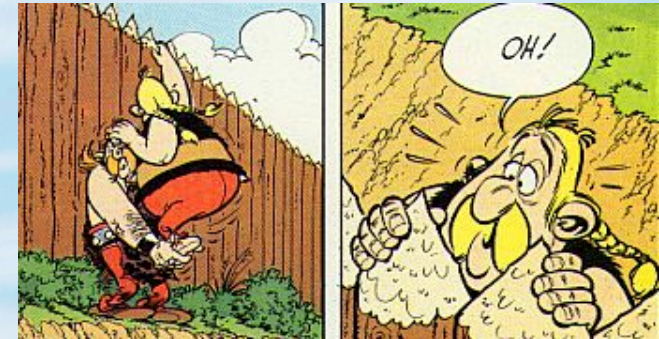
Etre capable de proposer l'organisation qui va avec



savoir vendre



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



savoir observer



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

BON VENT !