

# Éléments de base sur l'énergie au 21<sup>e</sup> siècle



**Jean-Marc Jancovici - ENSMP 2010**  
**Partie 8 - Le Carbone et son contrôle de gestion**

# 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

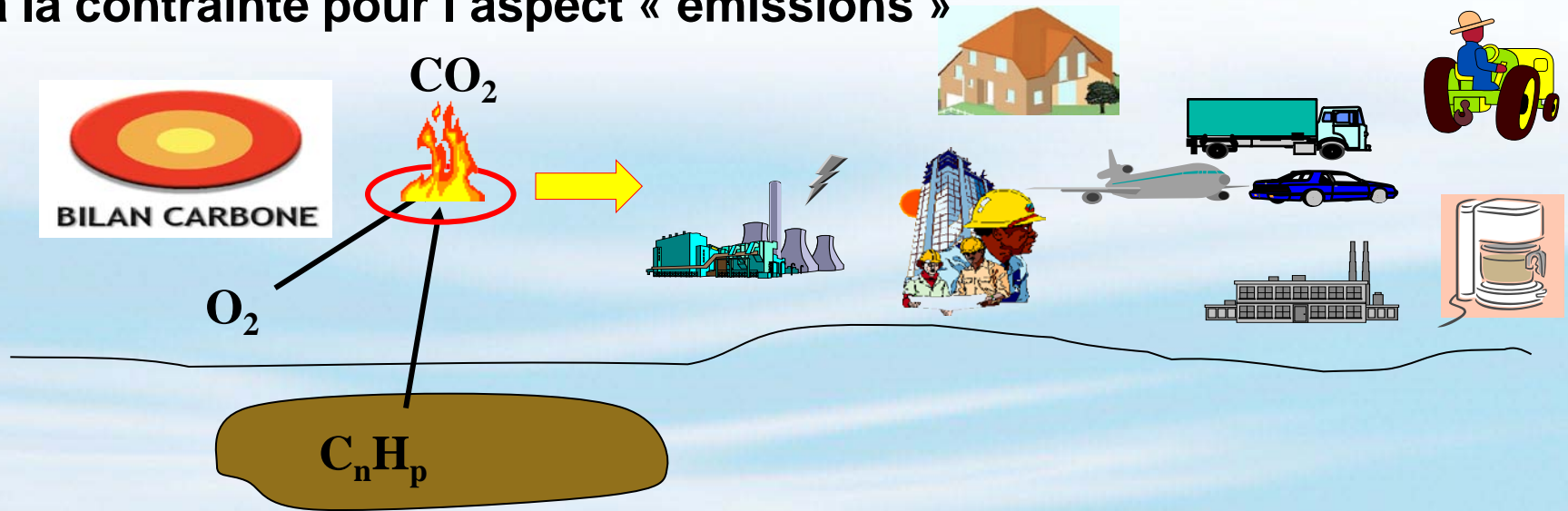
En fait  $P = F(K, W, R)$ . Il faut « corriger » les prix de :

- la « dotation aux amortissements » pour diminution des stocks de toute sorte, et notamment d'hydrocarbures
- la « provision pour risques » pour changement climatique futur (**Rapport Stern**)

Comme le carbone n'est pas dans la formation des prix, l'économie « ordinaire » ne permet pas de voir venir les risques présentés plus haut

**Il faut repartir de la physique pour 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 »

# 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<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFC, PFC, SF<sub>6</sub> (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 :**

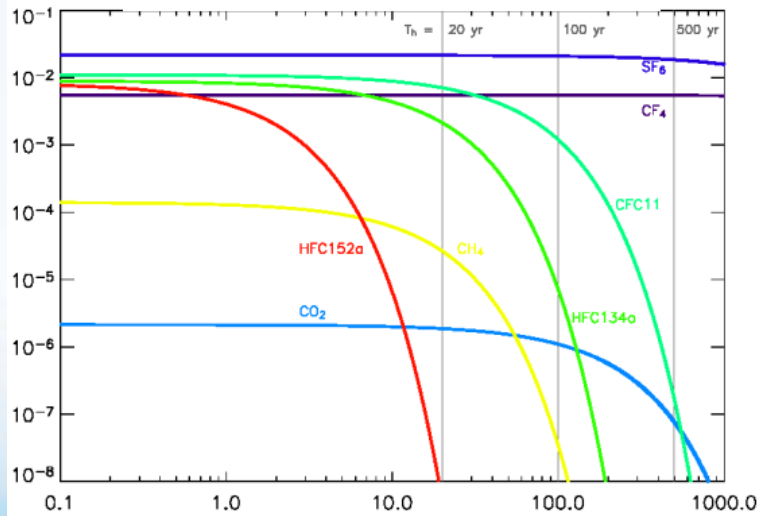
**1 - Les personnes morales de droit privé employant plus de cinq cents personnes ;**

**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**

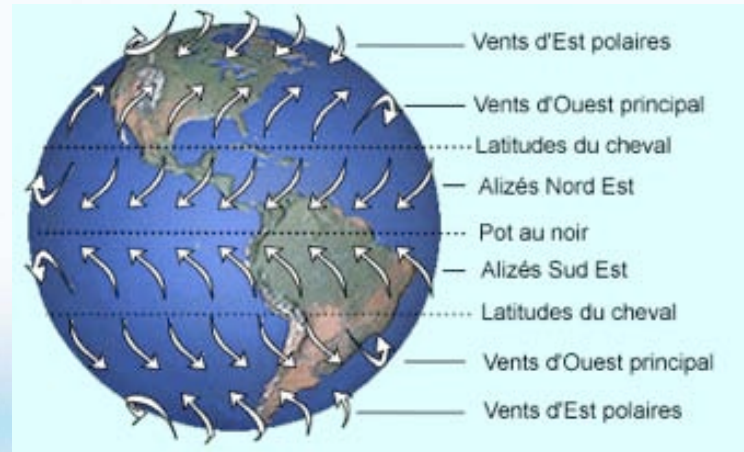
**Ce bilan est rendu public. Il est mis à jour au moins tous les trois ans. Il doit avoir été établi pour le 31 décembre 2012.**



# Un acteur économique doit-il compter comme un pays ?



+



=

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

Une entreprise est toujours un acteur d'une chaîne, et n'a pas d'existence indépendamment de ce qui se passe en amont (fournisseurs) et en aval (clients).

Cela donc du sens de mettre dans un même calcul toutes les émissions « dont dépend une entreprise », quel que soit l'émetteur et où qu'il se trouve, pour avoir une **vision globale**

# 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 CO<sub>2</sub> 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 (équivalent carbone ou équivalent CO<sub>2</sub>) se base sur le PRG 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.

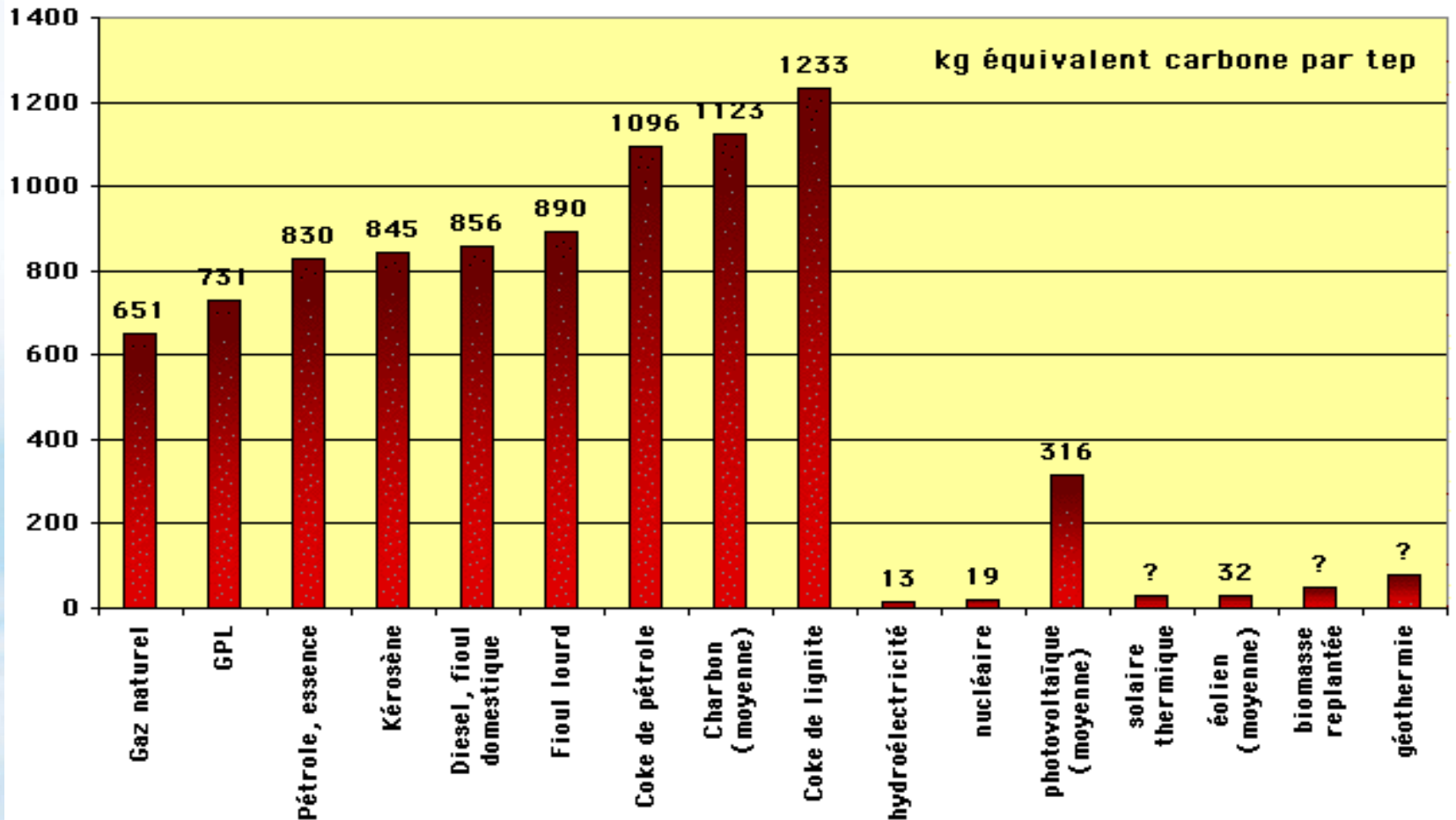
Un facteur d'émission désigne donc la grandeur qui permet de convertir des « données d'activité » (litres d'essence consommés, km parcourus, tonnes d'acier coulé...) en équivalent carbone ou CO<sub>2</sub>.

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 CO<sub>2</sub> = FE x litres d'essence

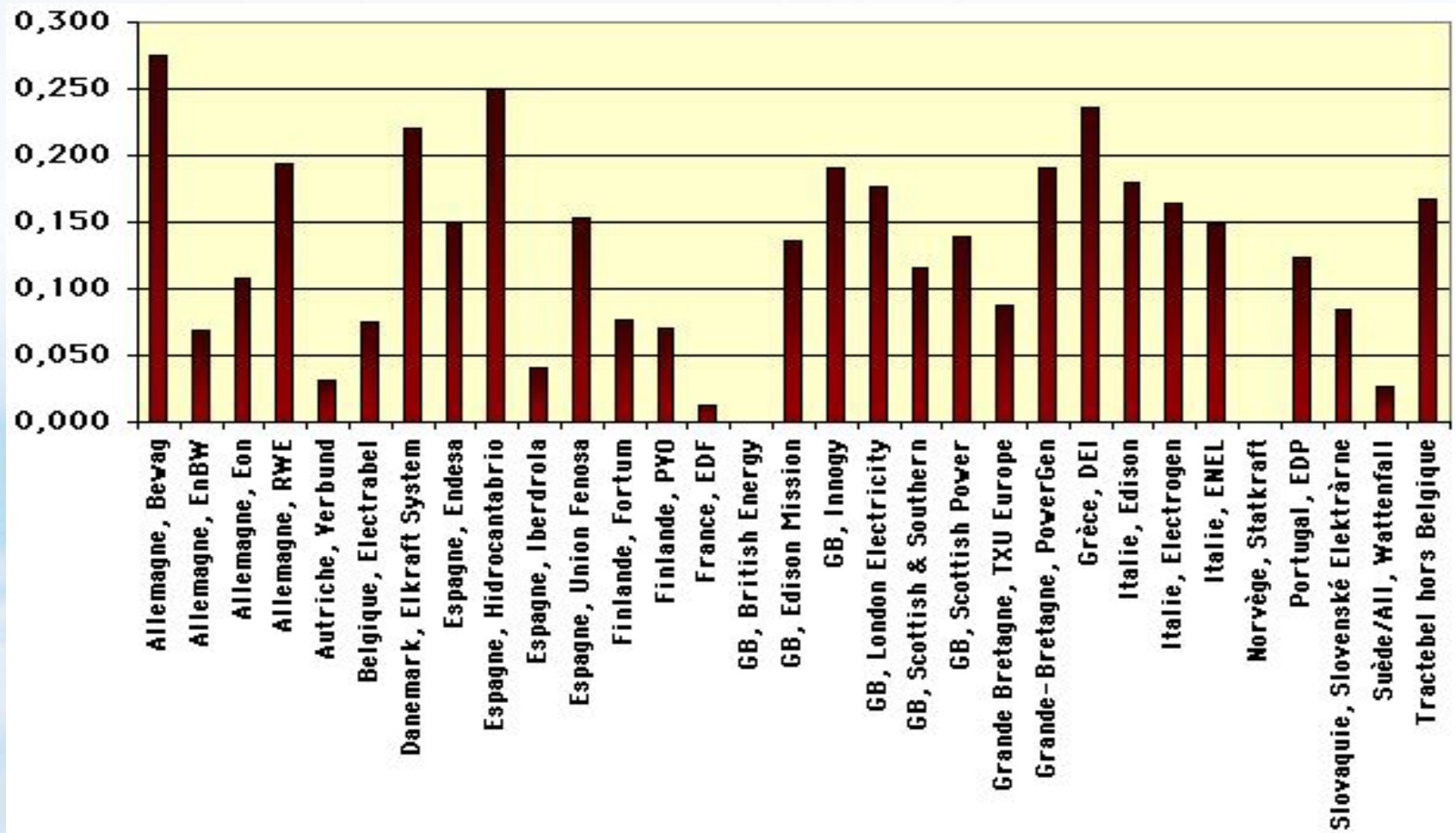
**FE est le Facteur d'Emission. Il peut refléter un processus unique ou un ensemble de processus**

# Facteurs d'émissions pour l'énergie



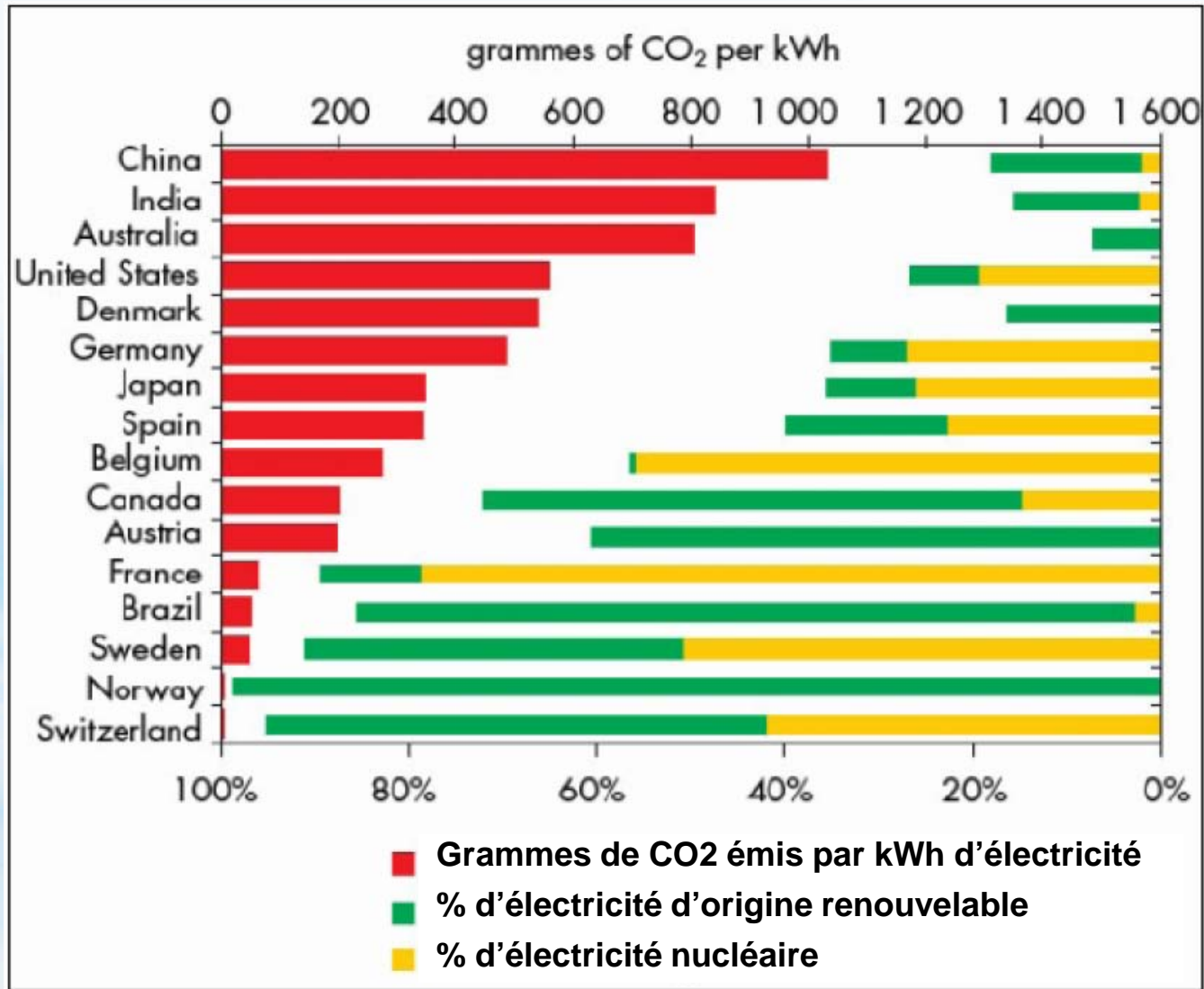
Kg équivalent carbone par tonne équivalent pétrole, en analyse de cycle de vie.  
Compilation de l'auteur

# Facteurs d'émissions pour l'électricité

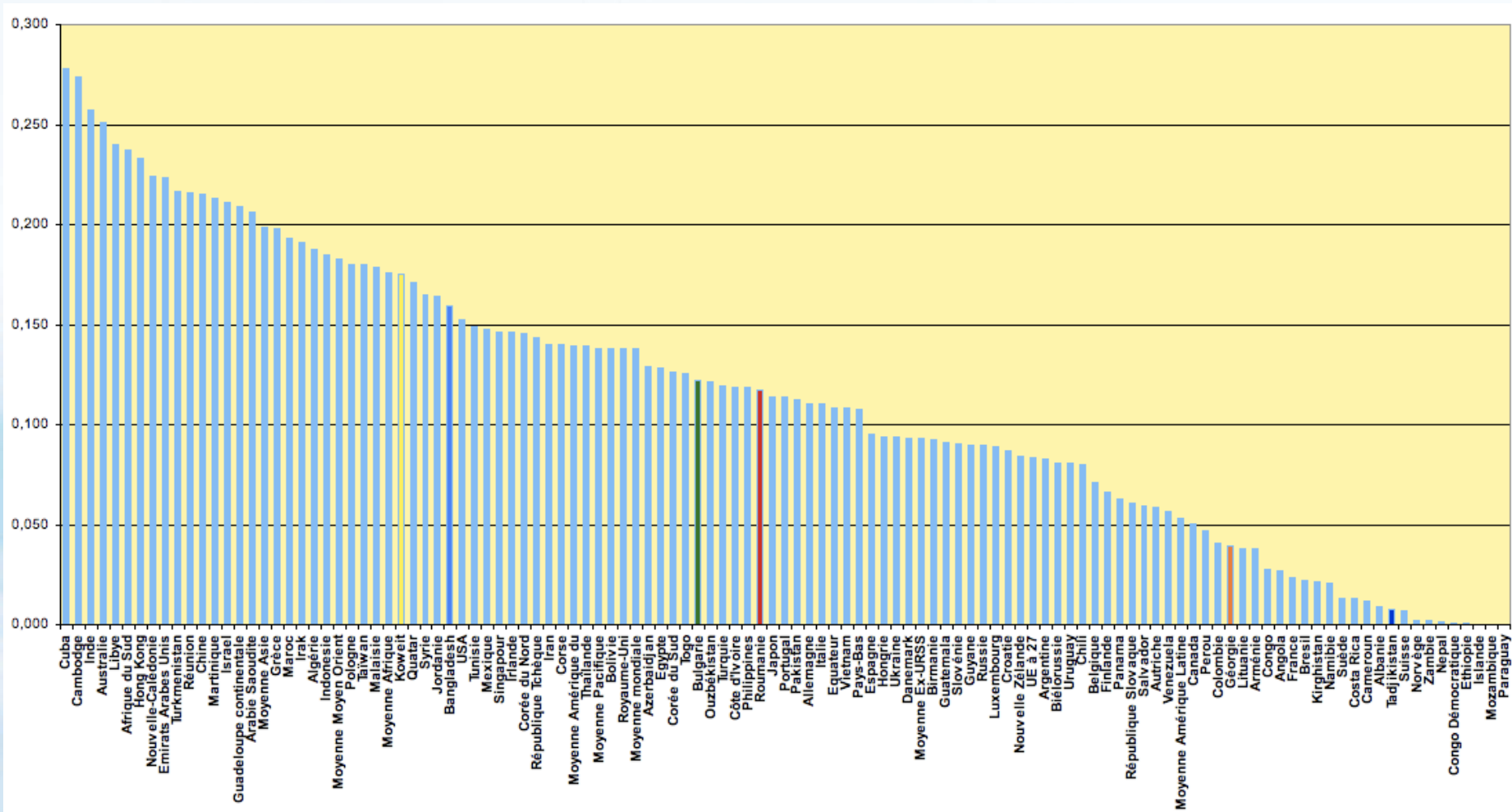


Kg équivalent carbone par kWh (sortie de centrale) pour divers producteurs européens, pour les seules émissions liées à l'utilisation de l'énergie primaire (European Carbon Factor, 2004)

# Où l'on retombe sur ses pieds (carbonnés)



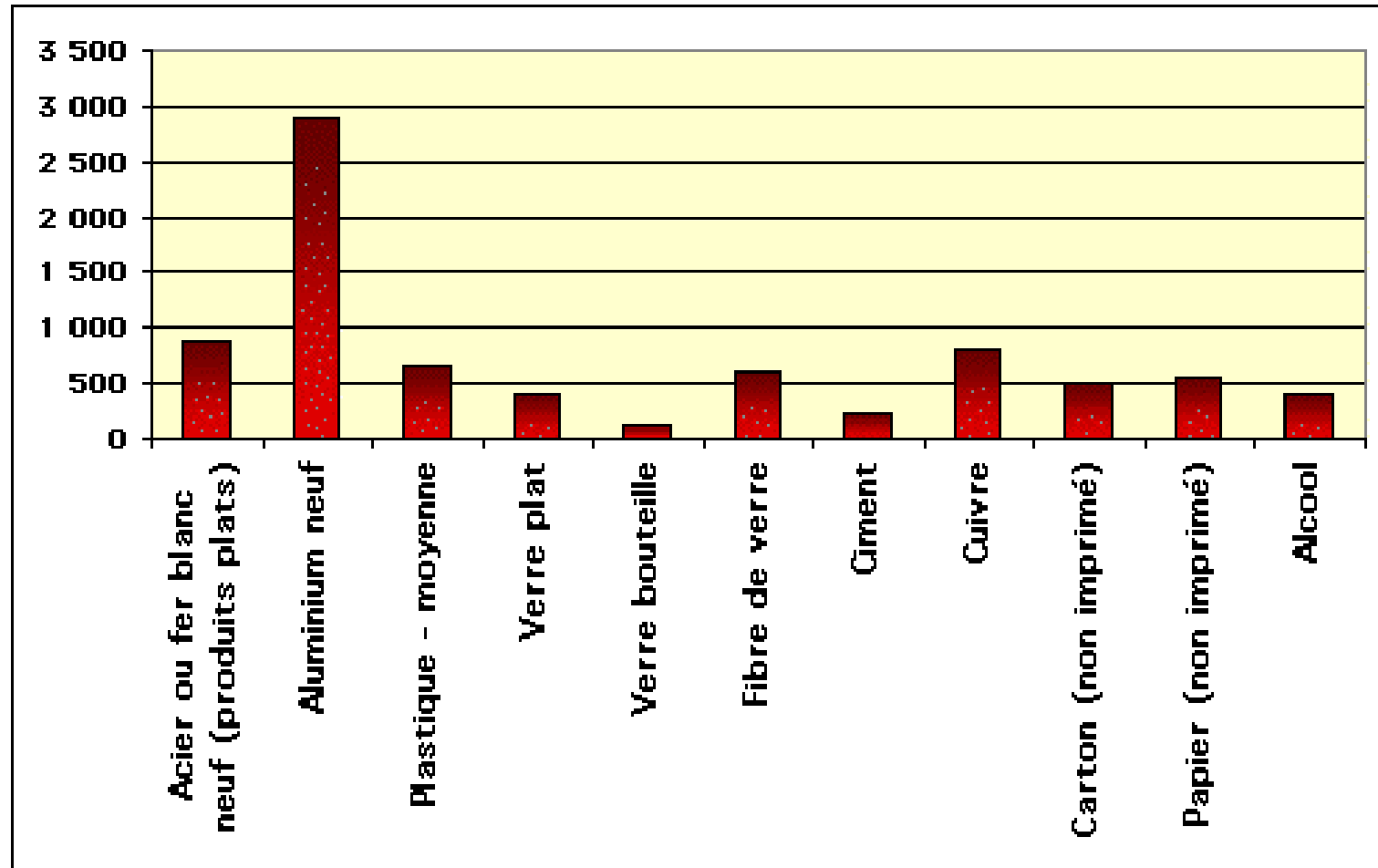
# L'électricité, de presque zéro à 1 kg de CO<sub>2</sub> par kWh



Kg equ C par kWh en 2006. Source AIE, 2008



# Facteurs d'émissions pour certains matériaux



**Kg équivalent carbone par tonne pour divers matériaux (moyenne européenne), en analyse de cycle de vie.**

**(Valeurs tirées du guide des facteurs d'émission du Bilan Carbone)**

# Une moyenne peut avoir un écart type majeur

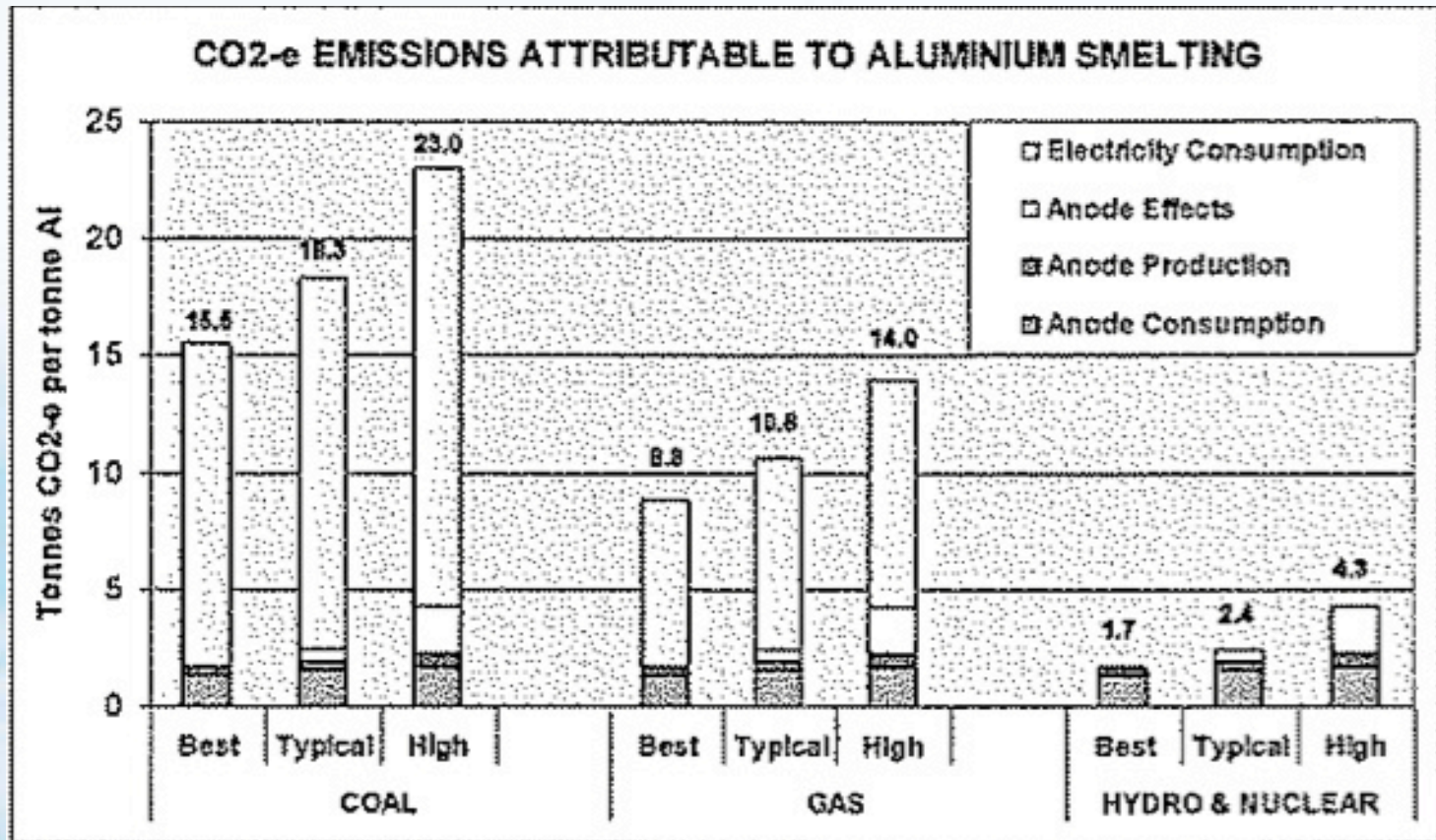
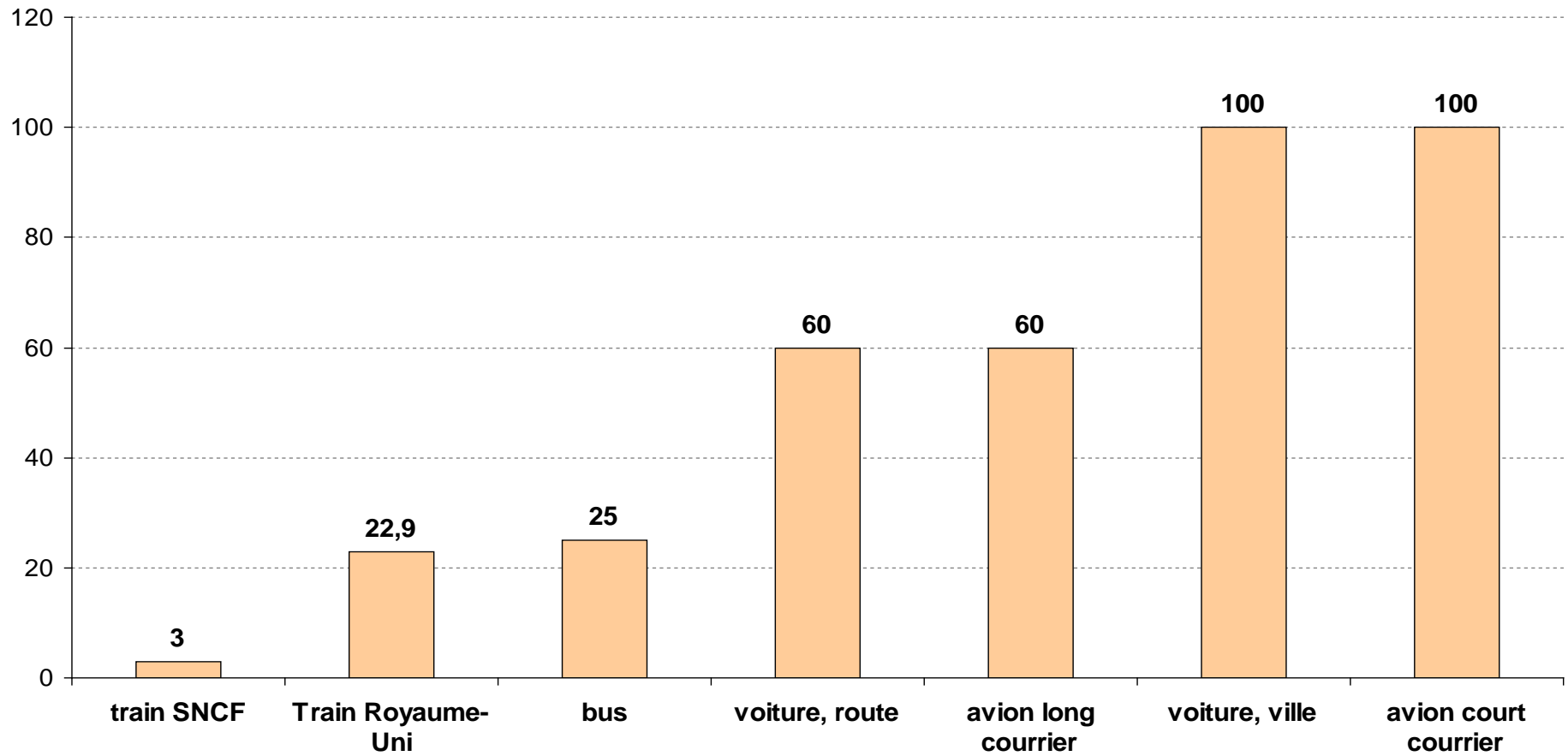


Figure 3 Total GHG Emissions Depending on Smelter Efficiency and Power Source

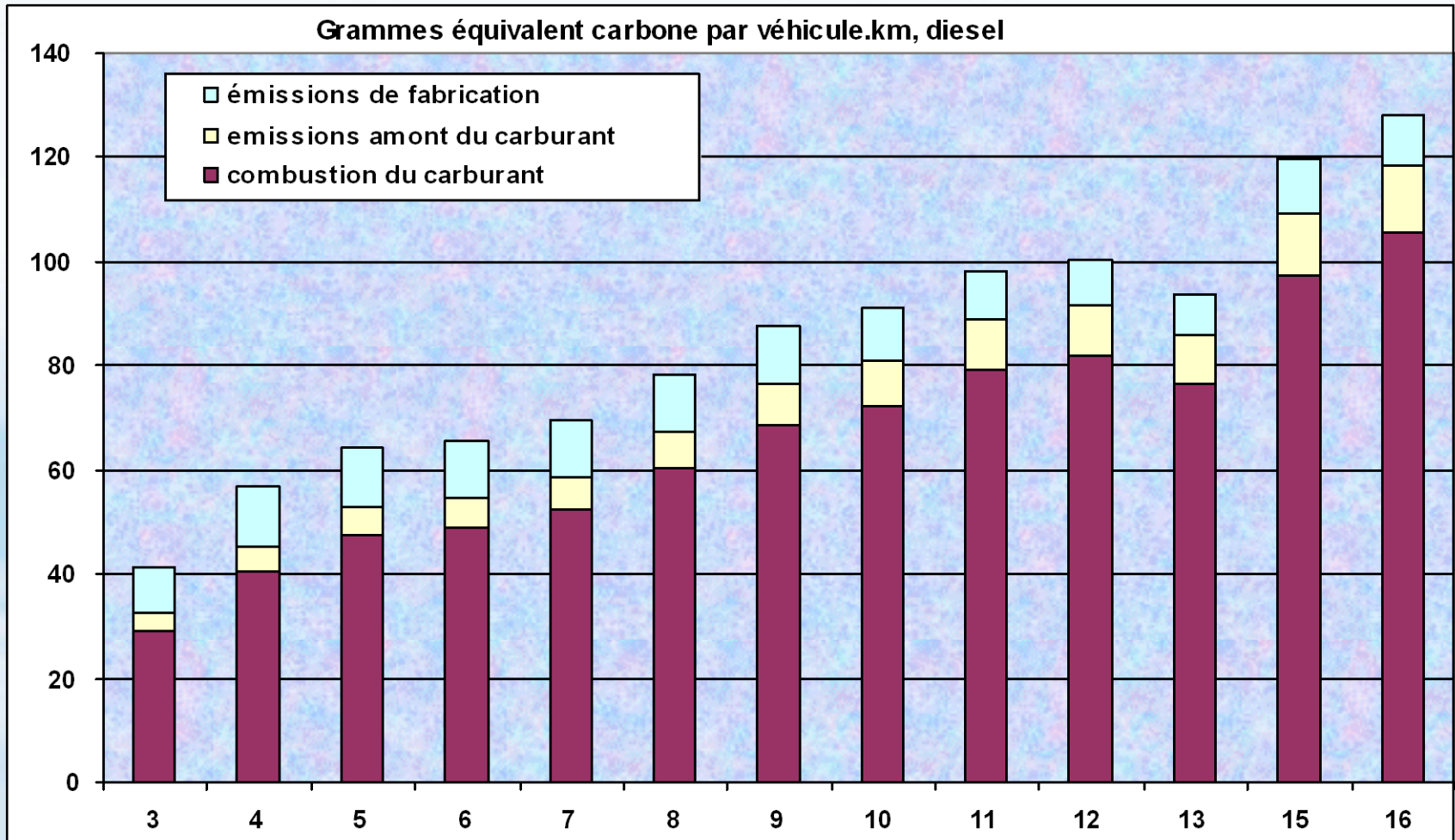
Source : « Aluminium smelting greenhouse footprint and sustainability », Jeffrey Keniry, 2008

# Facteurs d'émissions pour les transports



**Grammes équivalent carbone par passager.km pour divers modes de transport, en ordre de grandeur (Jancovici, 2002)**

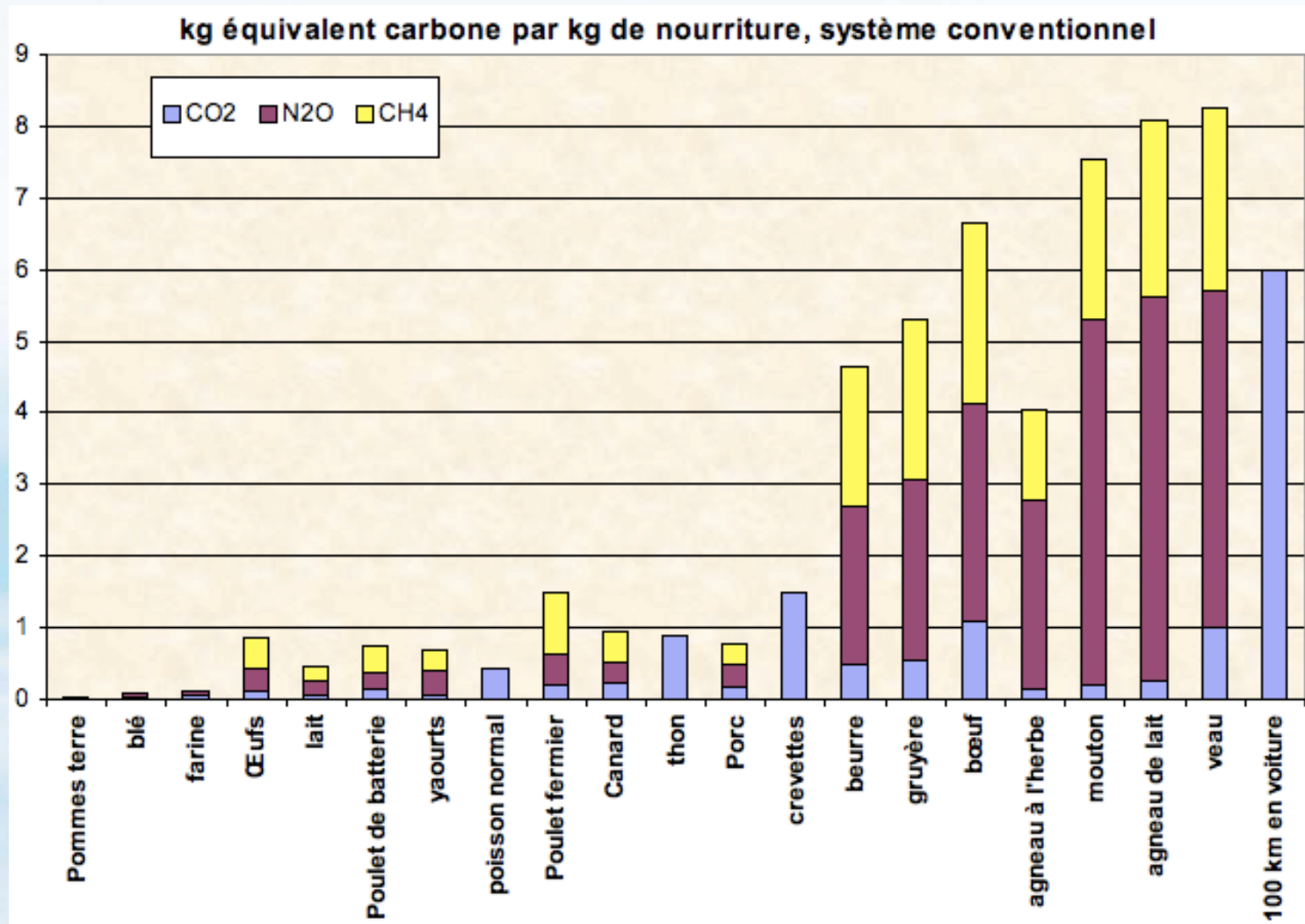
# Facteurs d'émissions pour les voitures



Grammes équivalent carbone par km en cycle mixte, en fonction de la puissance fiscale du véhicule, pour les automobiles diesel.

Source Jancovici/ADEME (Bilan Carbone), 2005

# Et même la nourriture !



**Kg équivalent carbone pour la production d'un kg de nourriture.**

**Source : Jancovici/Ademe, 2009**



## « Privé »



- 1 tableur général
- 2 utilitaires techniques
- 1 utilitaire économique



- manuel tableur général
- manuels utilitaires techniques



- manuel utilitaire économique

## Public



- guide méthodo.
- guide des FE



# Le bilan carbone, une métrologie linéaire...

Exemple : émissions liées aux déplacements en avion

**Intitulé du poste d'émission**

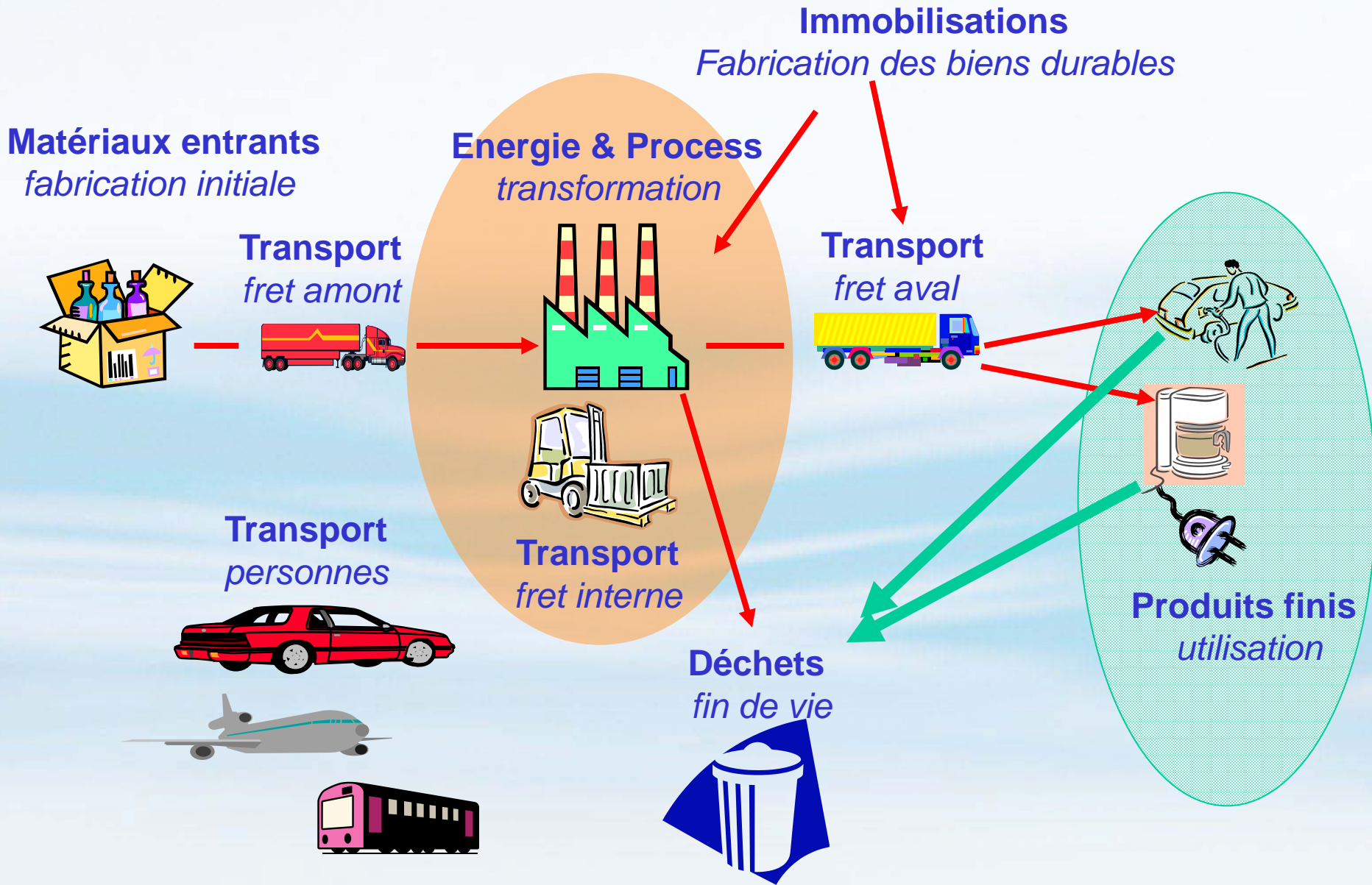
**Donnée d'activité**

**Résultat en kg équ. carbone**

4 - visiteurs en avion : calcul à partir du nombre de personnes.km	avion détenu, contrôlé, etc ?	distances cumulées (km)	kg équ. C par pers.km	kg équ. C CO2 seul combustion	kg équ. C émissions aéroport	kg équ. C hors Kyoto	Dont part Scope 1 kg equ. C
Court courrier en 2nde		194 860	0,080	6 922	873	7 794	0
Court courrier en Affaires			0,180	0	0	0	0
Court courrier classe inconnue			0,100	0	0	0	0
Long courrier en 2nde			0,060	0	0	0	0
Long courrier en Affaires			0,140	0	0	0	0
Long courrier en Première			0,210	0	0	0	0
Long courrier classe inconnue			0,070	0	0	0	0
Autre aéronef				0	0	0	0
<b>Total</b>				<b>6 922</b>	<b>873</b>	<b>7 794</b>	<b>0</b>

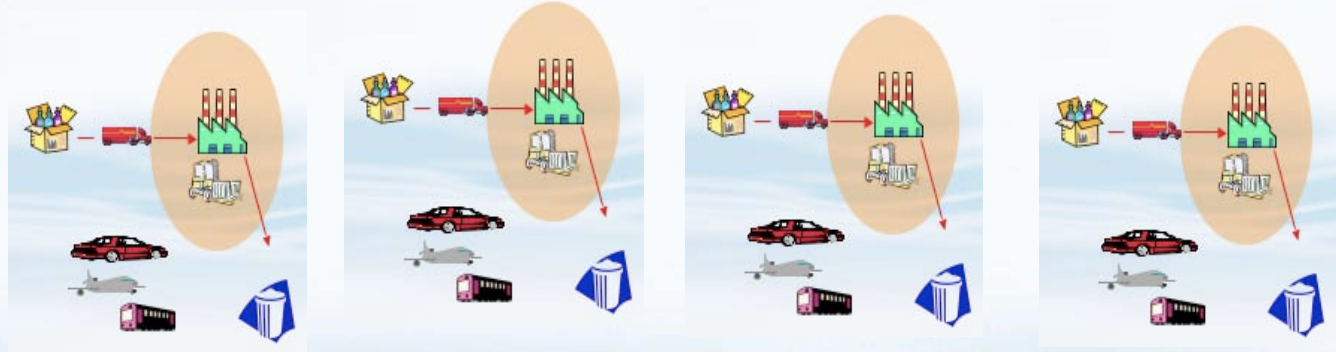
**Facteur d'émission**

# Comme dans un vrai bilan, on agrège par poste



# On peut aussi faire des matrices

Approche par service



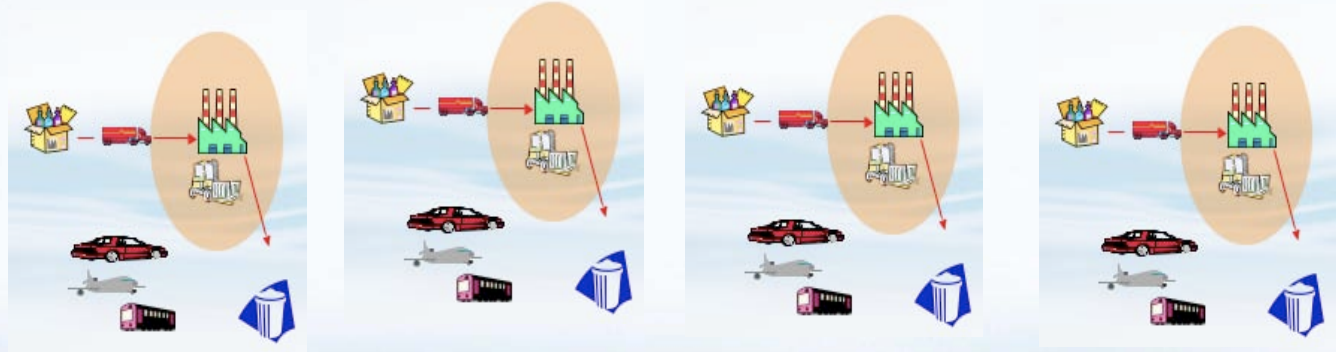
Approche par flux

	Adminis- tration	Enseigne- ment	Logement	Voirie
Énergie				
Transport				
Intrants				
Etc...				

# On peut aussi faire des matrices (bis)

Approche  
par site,  
produit,  
processus,  
etc

Approche  
par flux



	Site 1	Site 2	Site 3	Site 4
Énergie				
Transport				
Intrants				
Etc...				



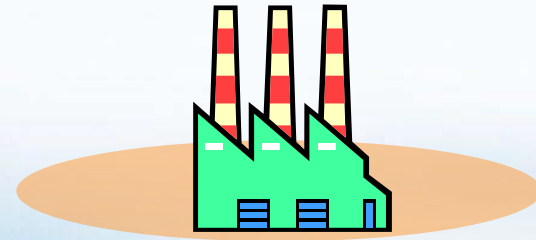
# Et même un bout du pays !

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

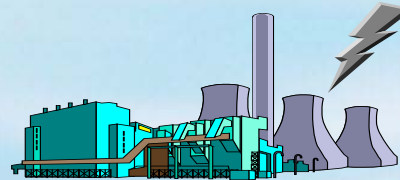
Fret  
marchandises



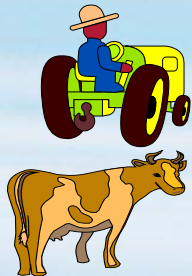
Industries



Production d'énergie



Agriculture



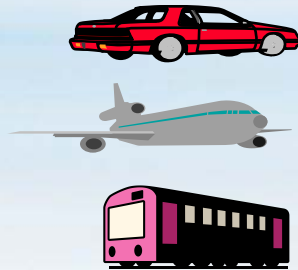
Tertiaire



Construction  
et voirie



Transport  
*personnes*



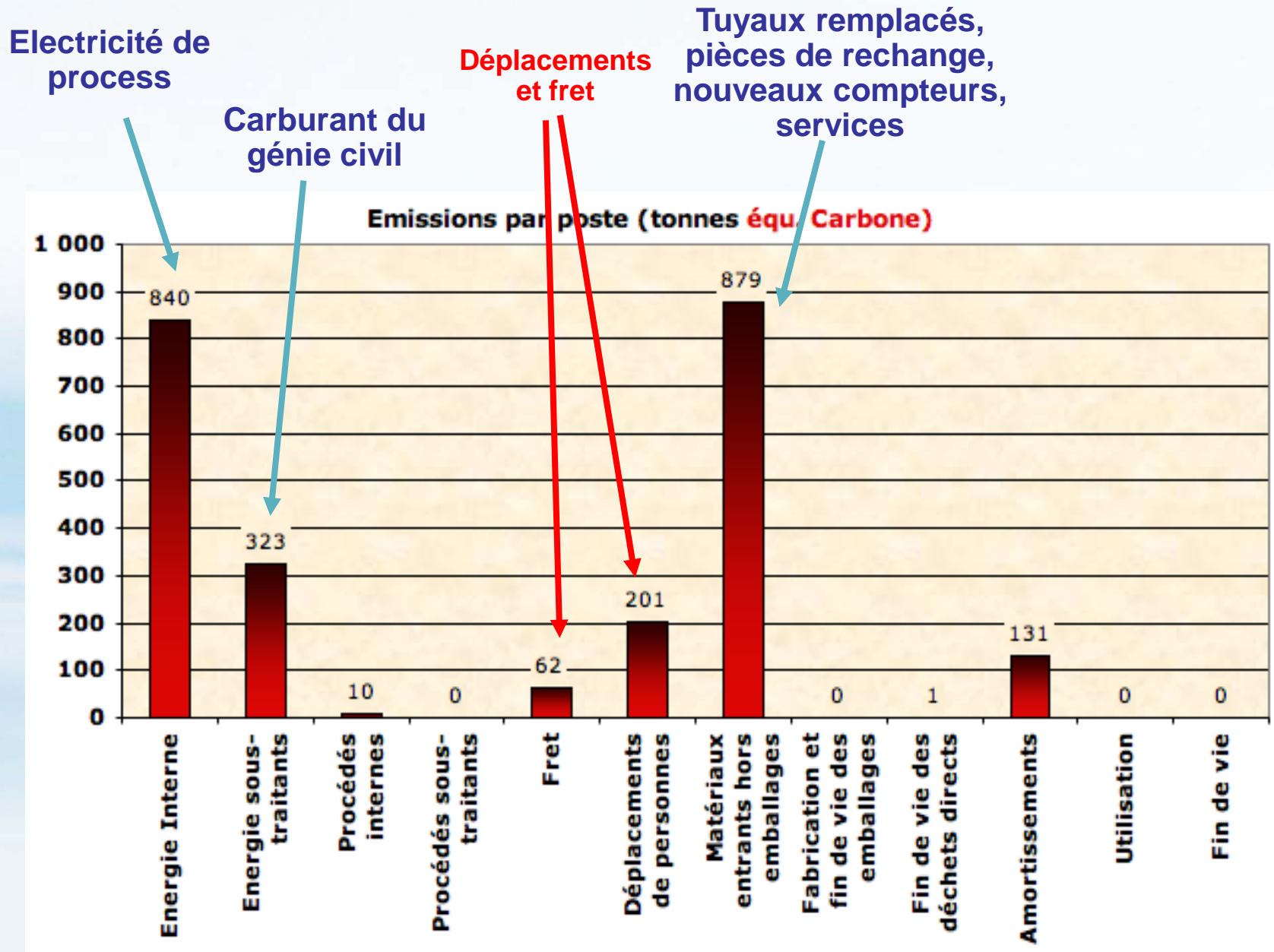
Eau, déchets,  
assainissement



Résidentiel



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



# Un opérateur de téléphone

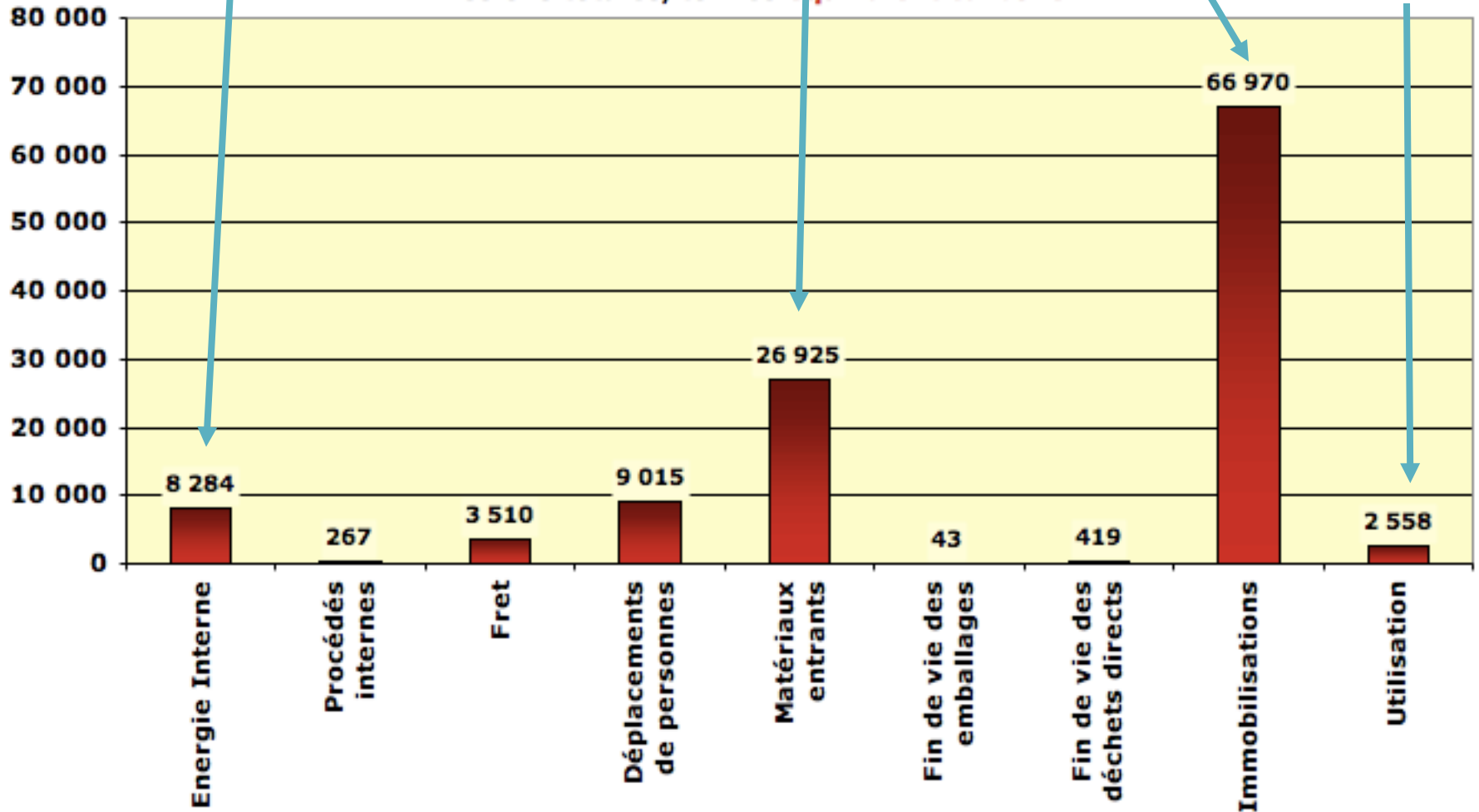
Electricité du réseau

Fabrication des téléphones, factures

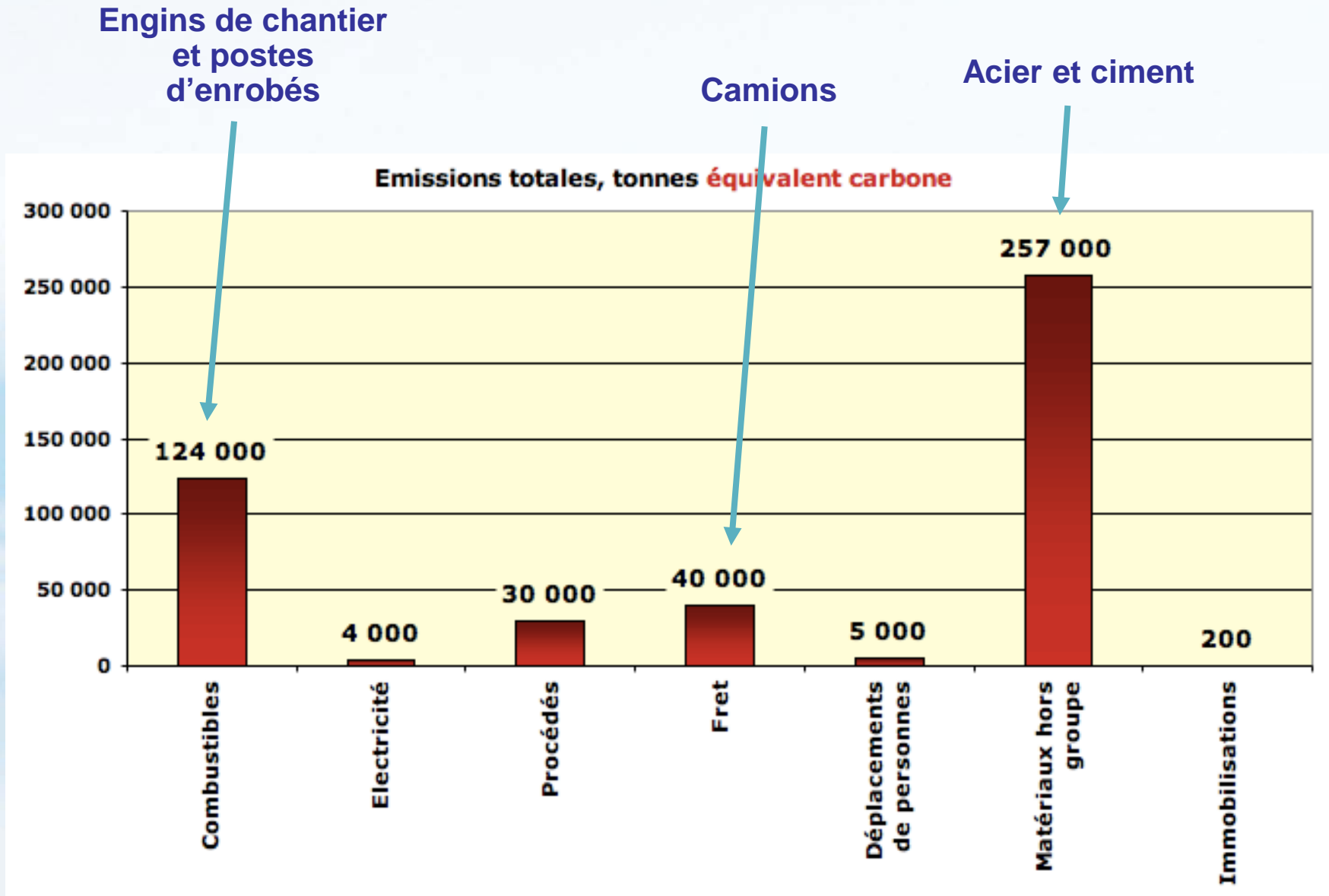
Construction du réseau

Electricité des téléphones

Emissions totales, tonnes équivalent carbone



# Une société de BTP (hors utilisation)



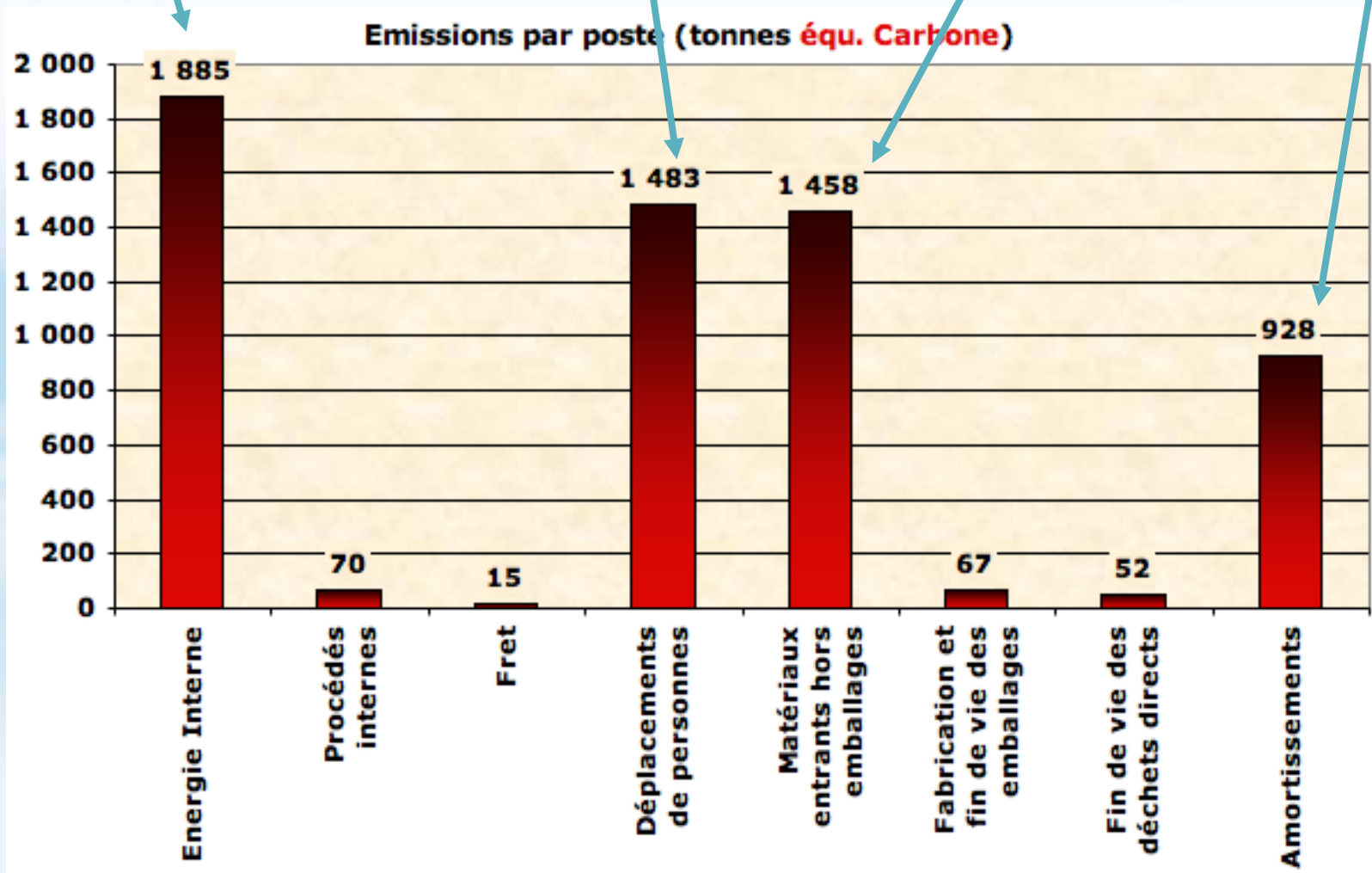
# Une banque (hors prêts)

Chauffage (pour l'essentiel)  
& électricité

Déplacements domicile  
-> travail + avion

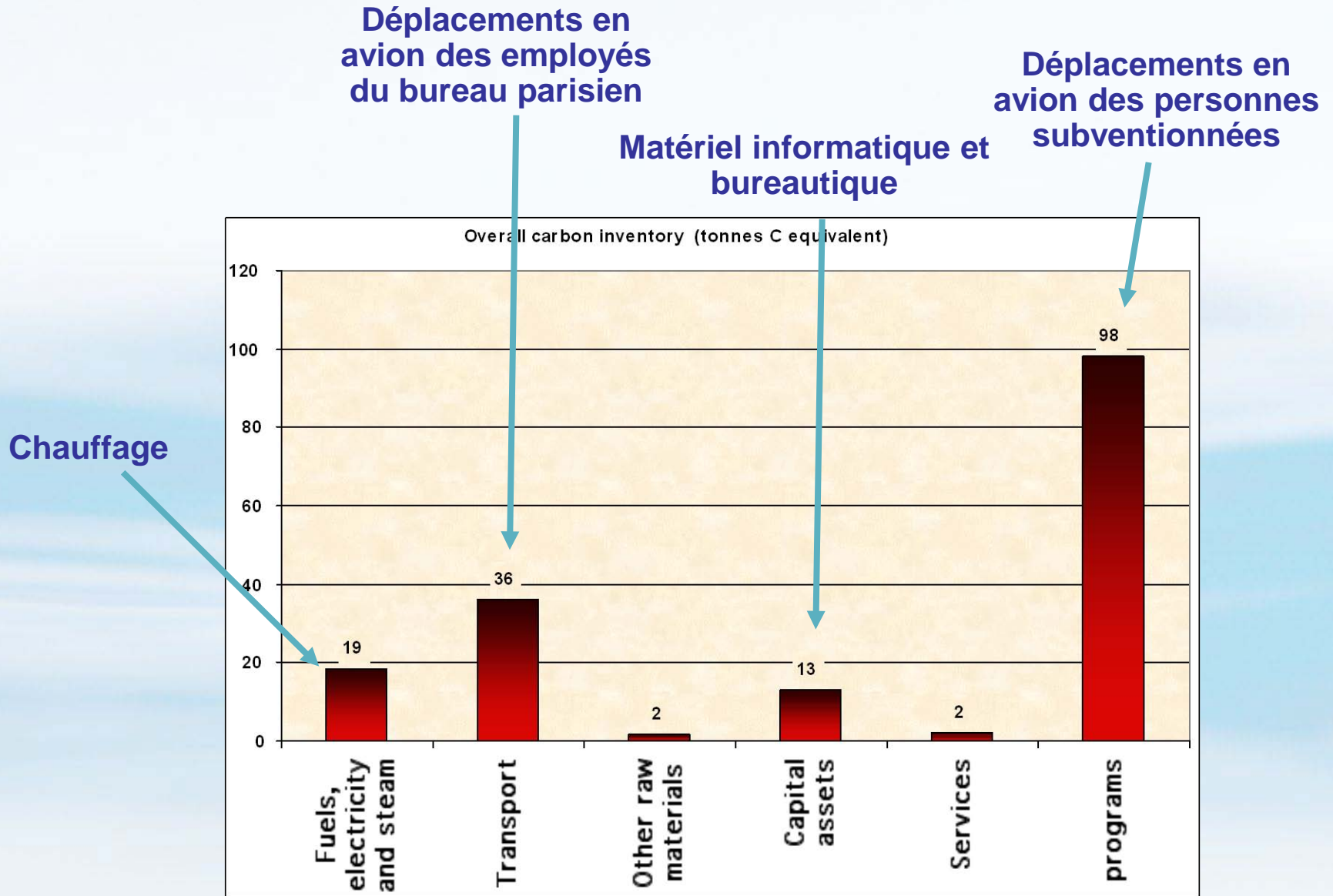
Services pour  
l'essentiel

Construction  
des bureaux et  
fabrication des  
ordinateurs

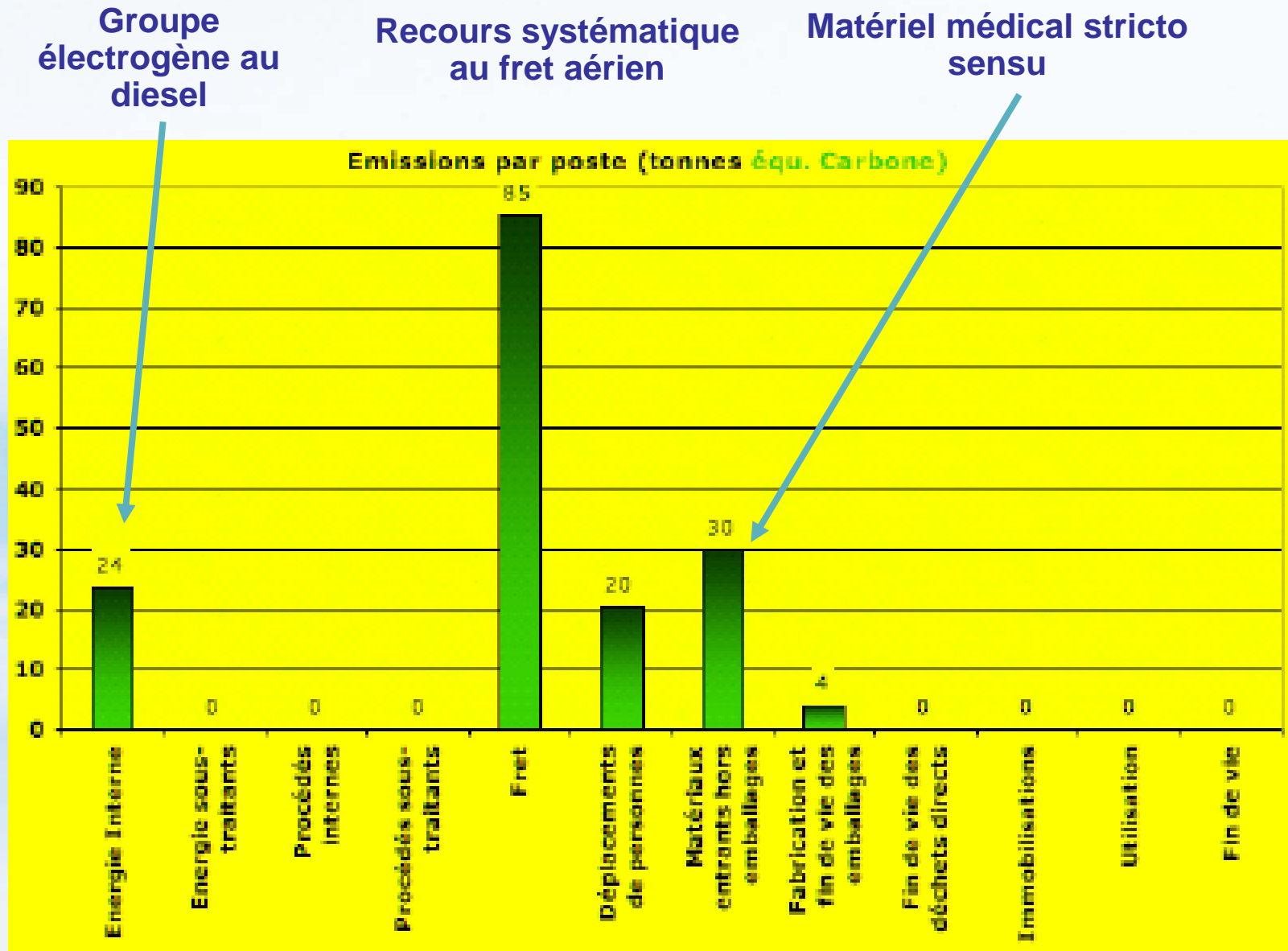




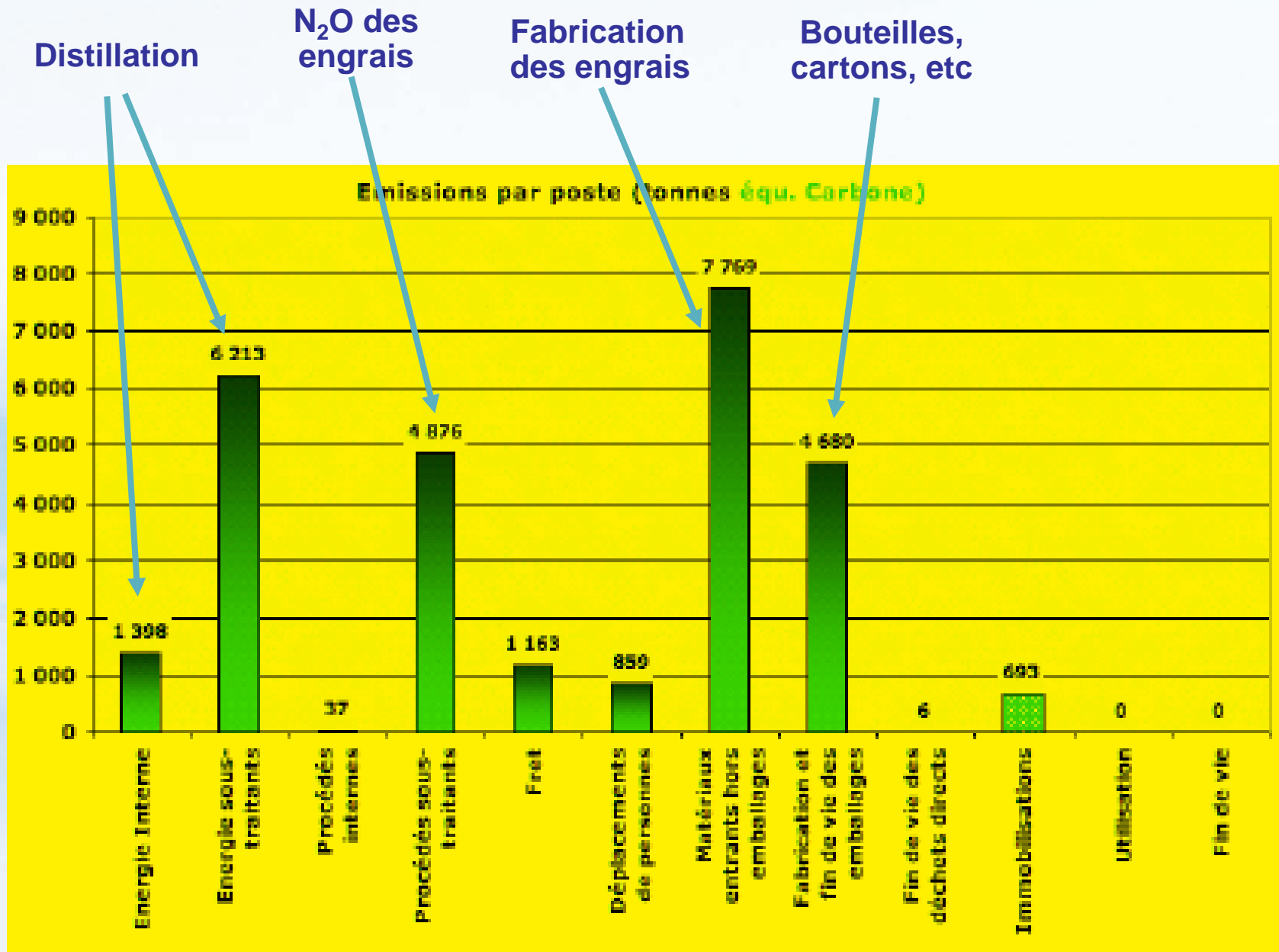
# Un organisme public de promotion des échanges culturels



# 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

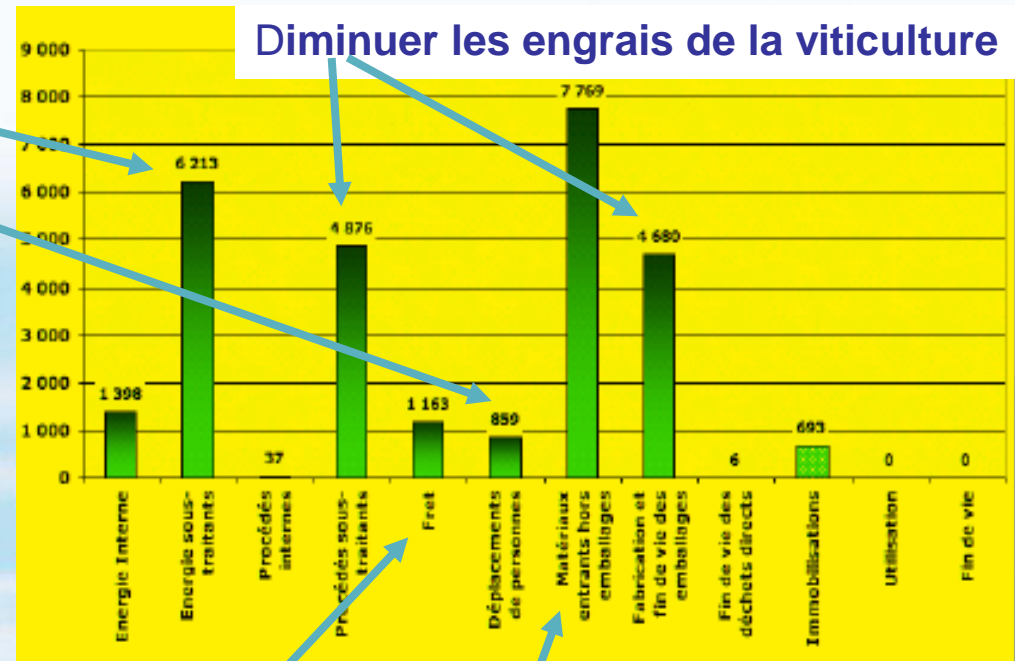
Moins prioritaire et/ou + difficile :

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

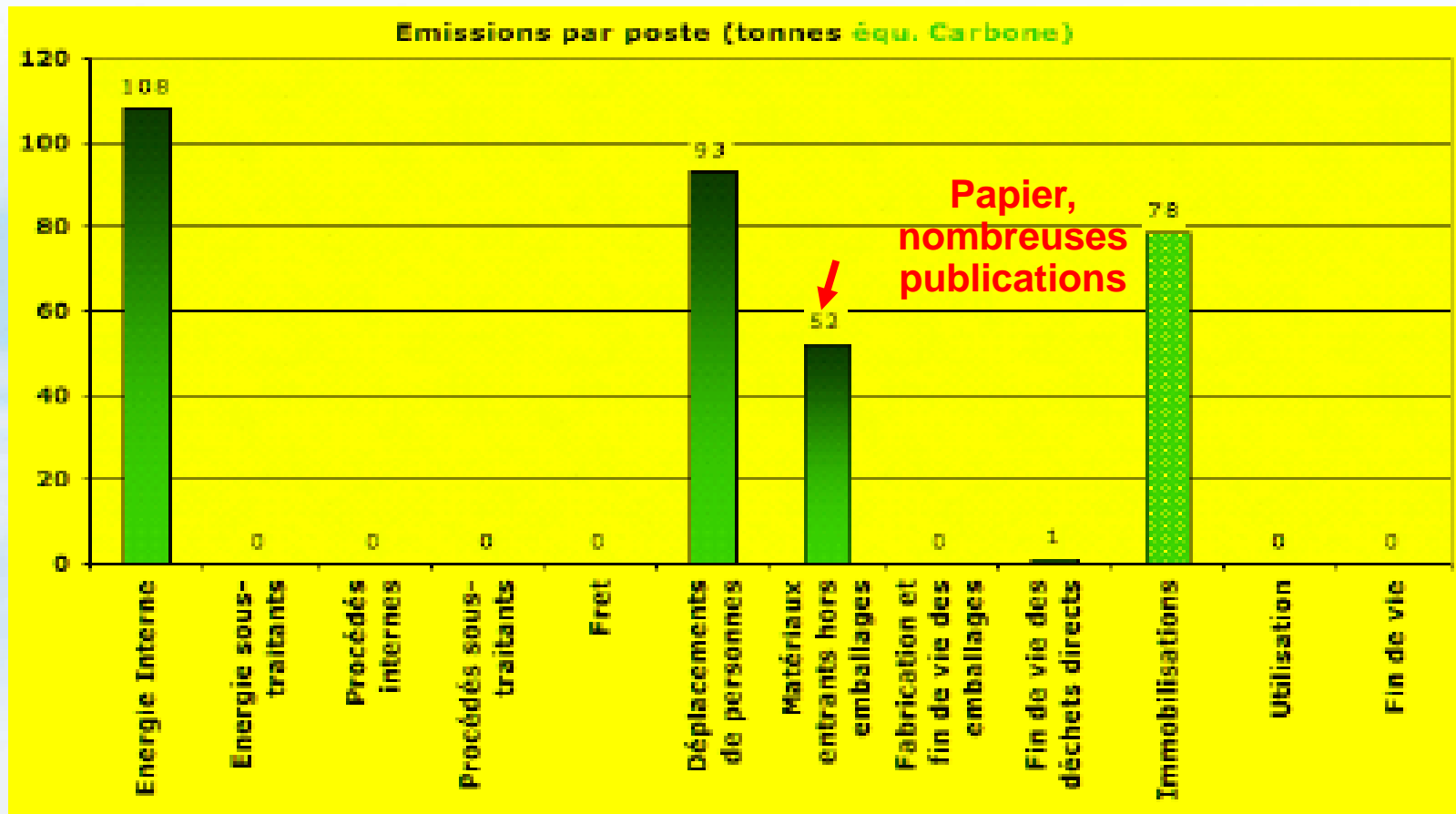


# Vos anciens (enfin presque) : la DGEMP

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

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

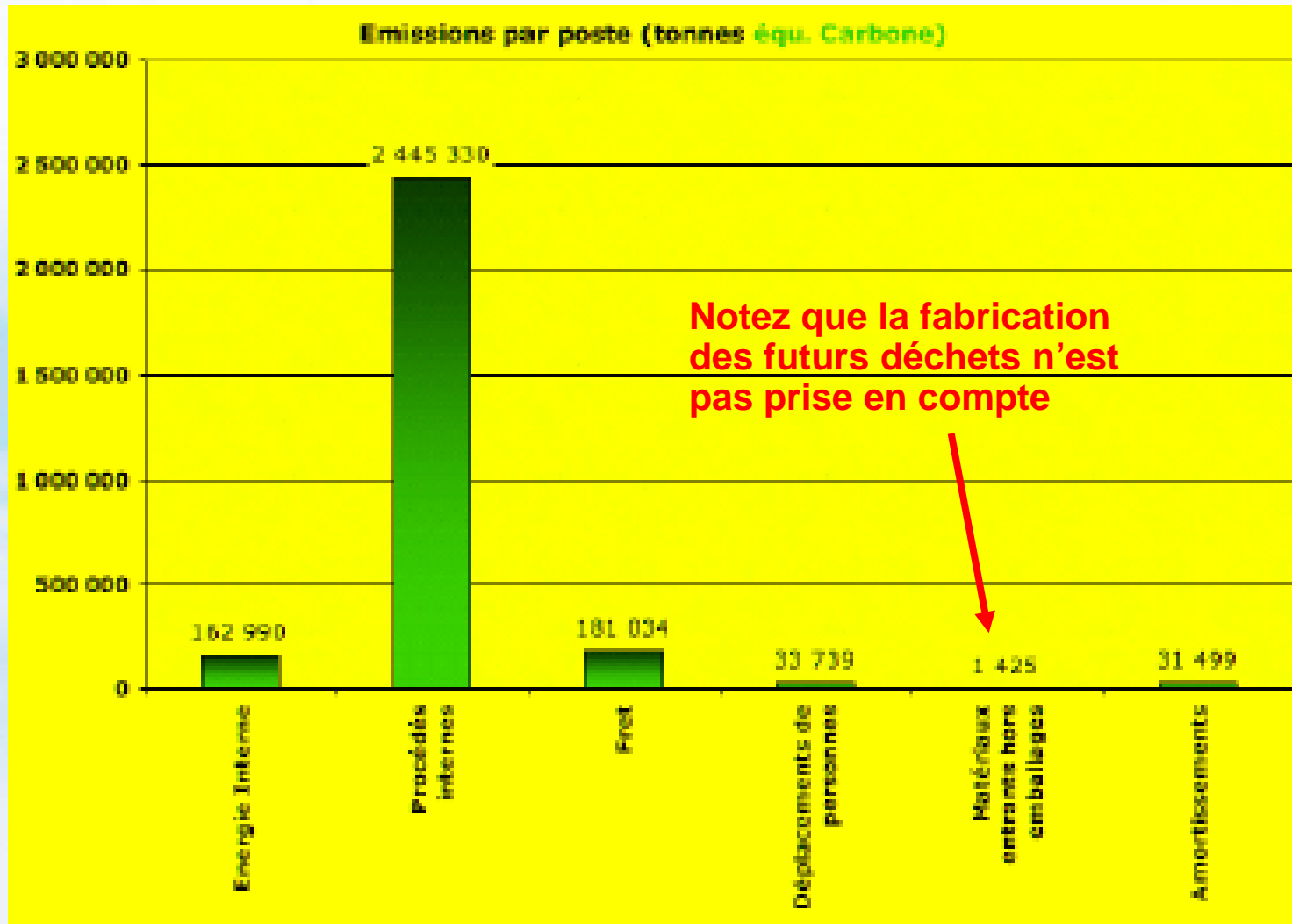
Immeuble : plus rien à faire. Rotation du parc informatique à allonger





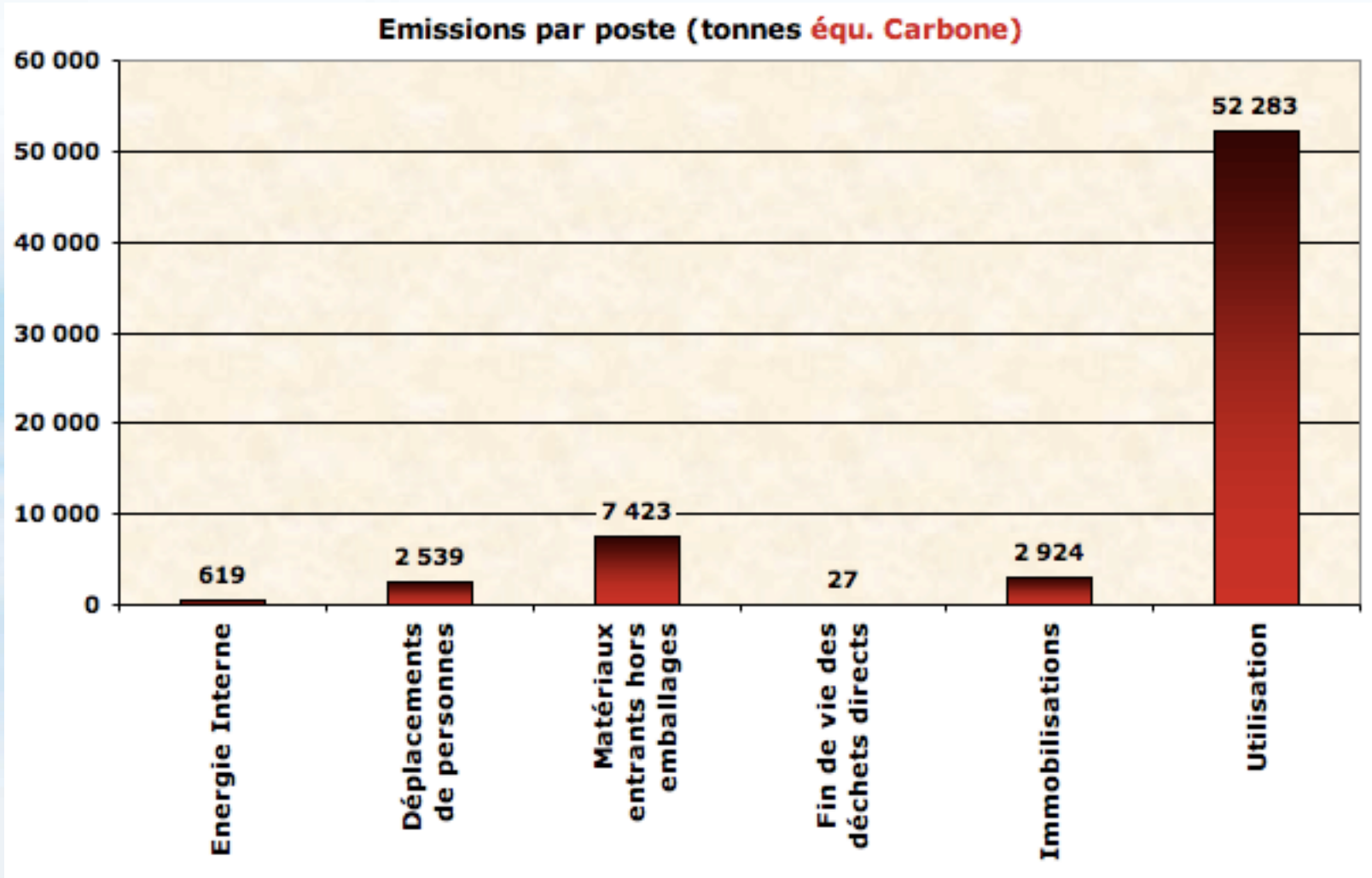
# Un questionnaire de déchets ménagers

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



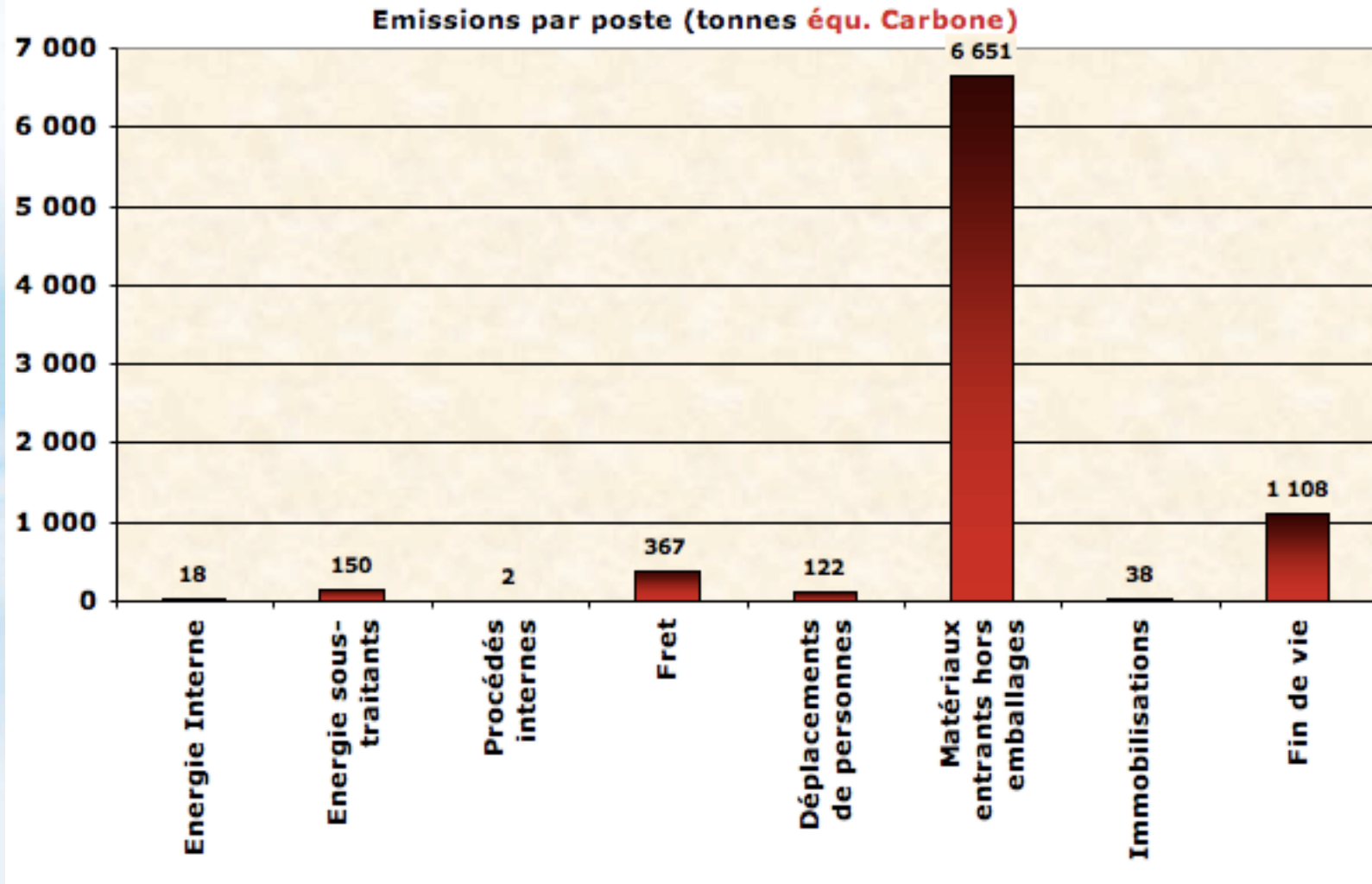
# Une chaîne de télévision

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



# Une agence imprimant des prospectus publicitaires

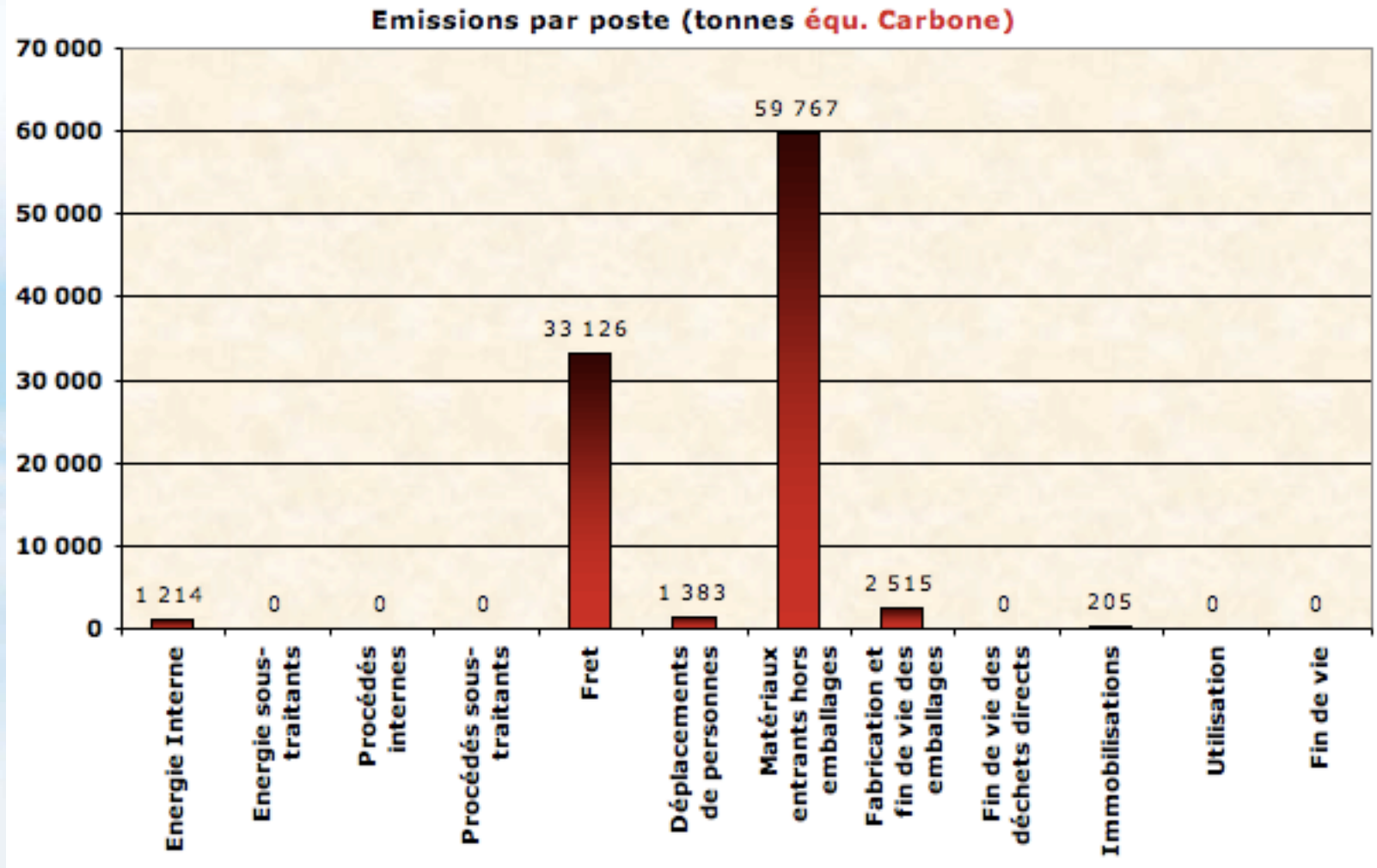
Faire des prospectus sans papier ?



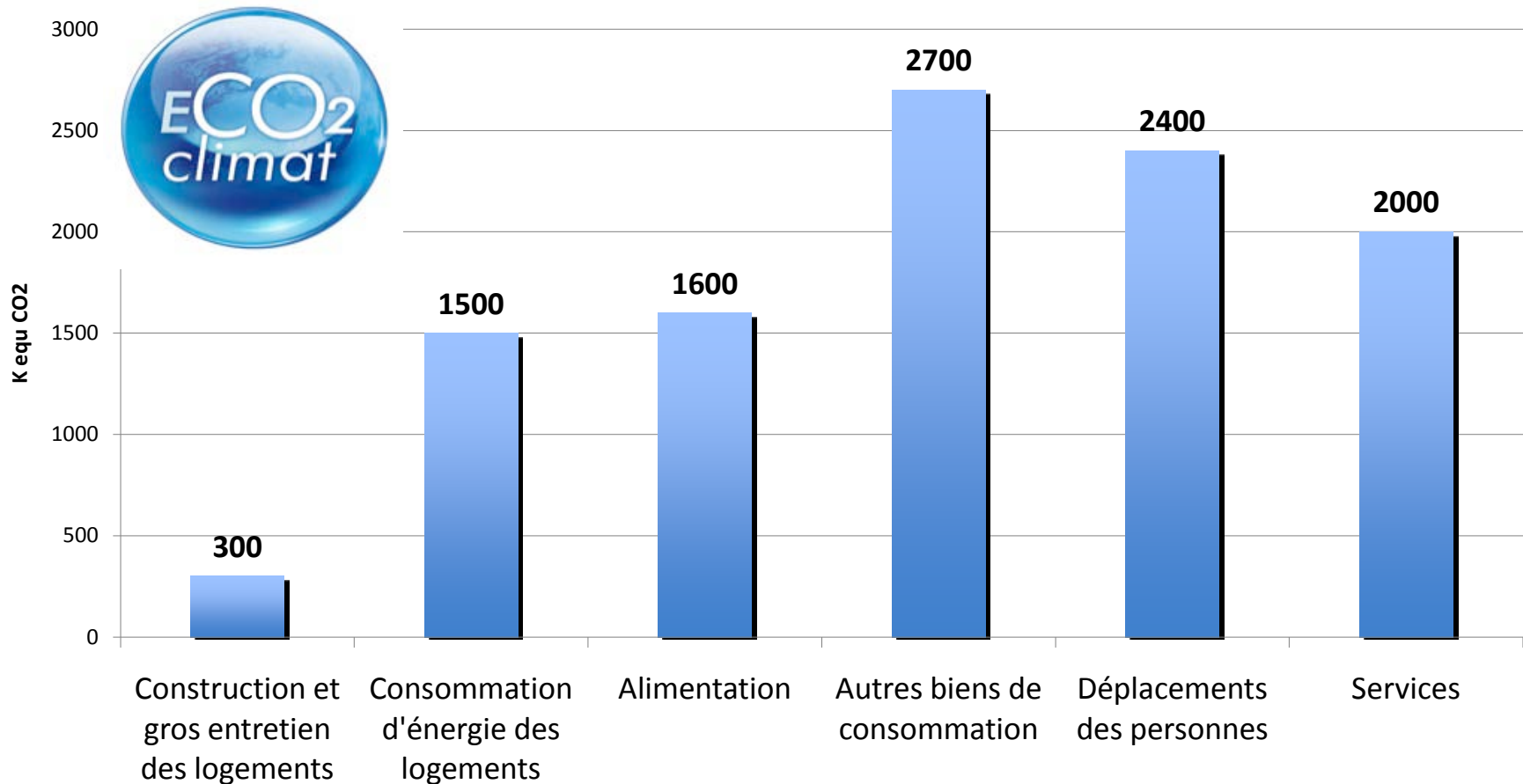
# Un industriel des biens d'équipement (hors consommation)

Réorganiser la  
logistique

Concevoir  
différemment  
les produits ?



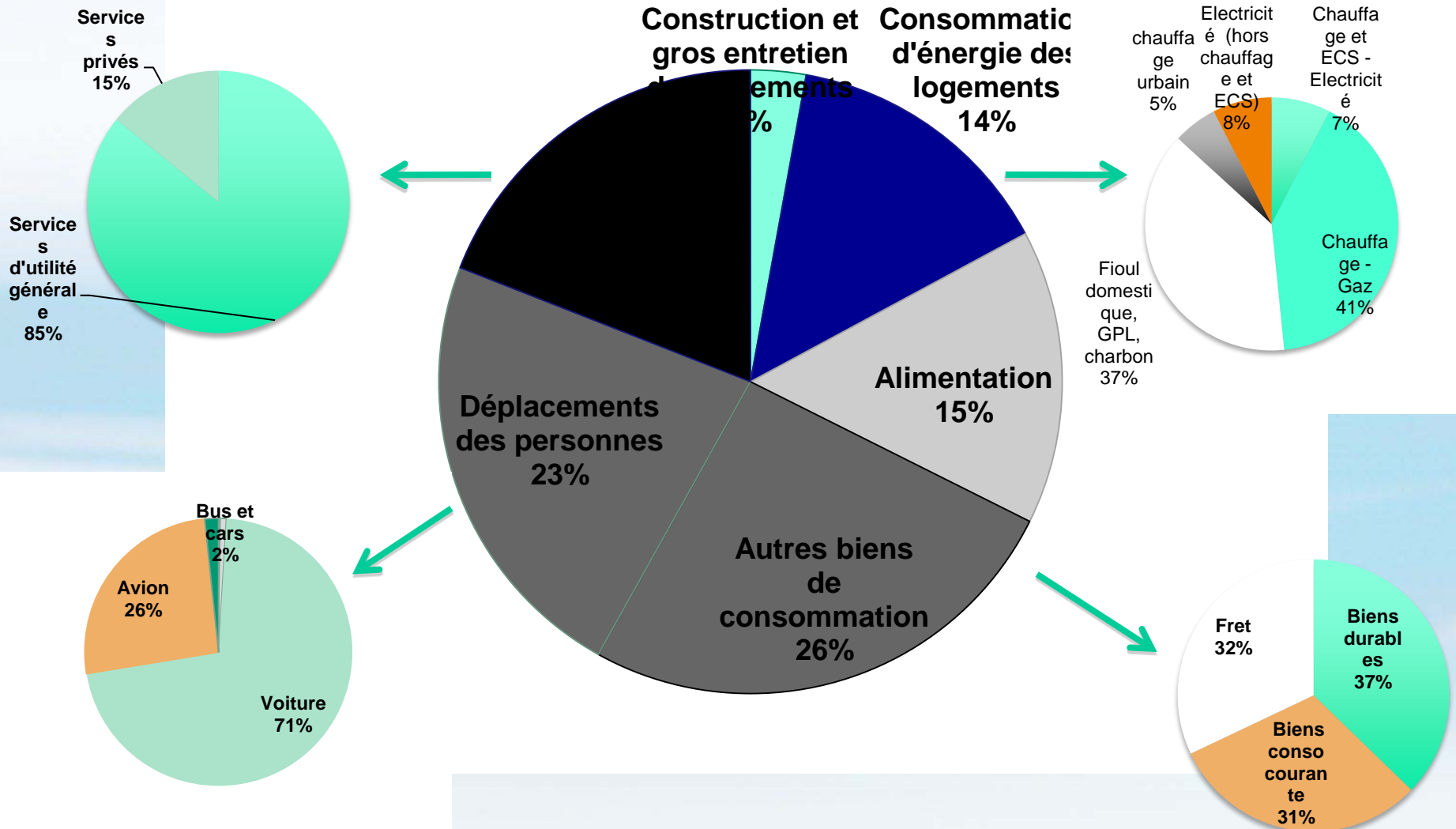
# Dis moi ce que tu émetts, je te dirai si tu consommes



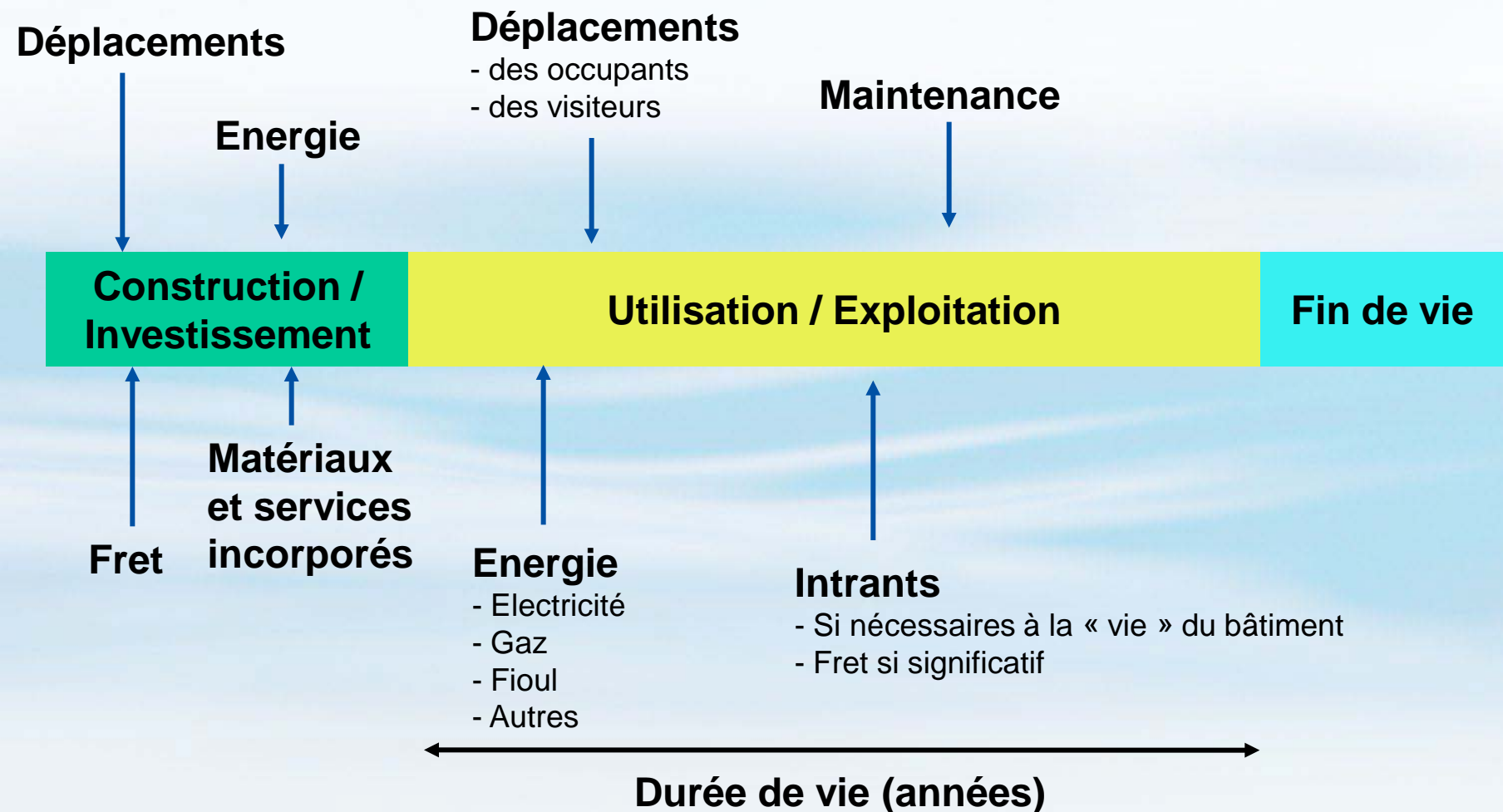
**Emissions de gaz à effet de serre par Français en 2009 pour sa consommation finale. Source Carbone 4-TF1-Mines ParisTech**



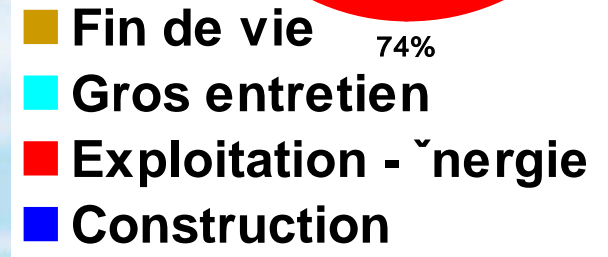
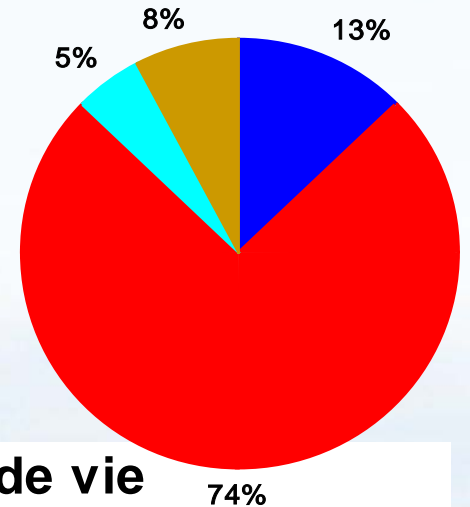
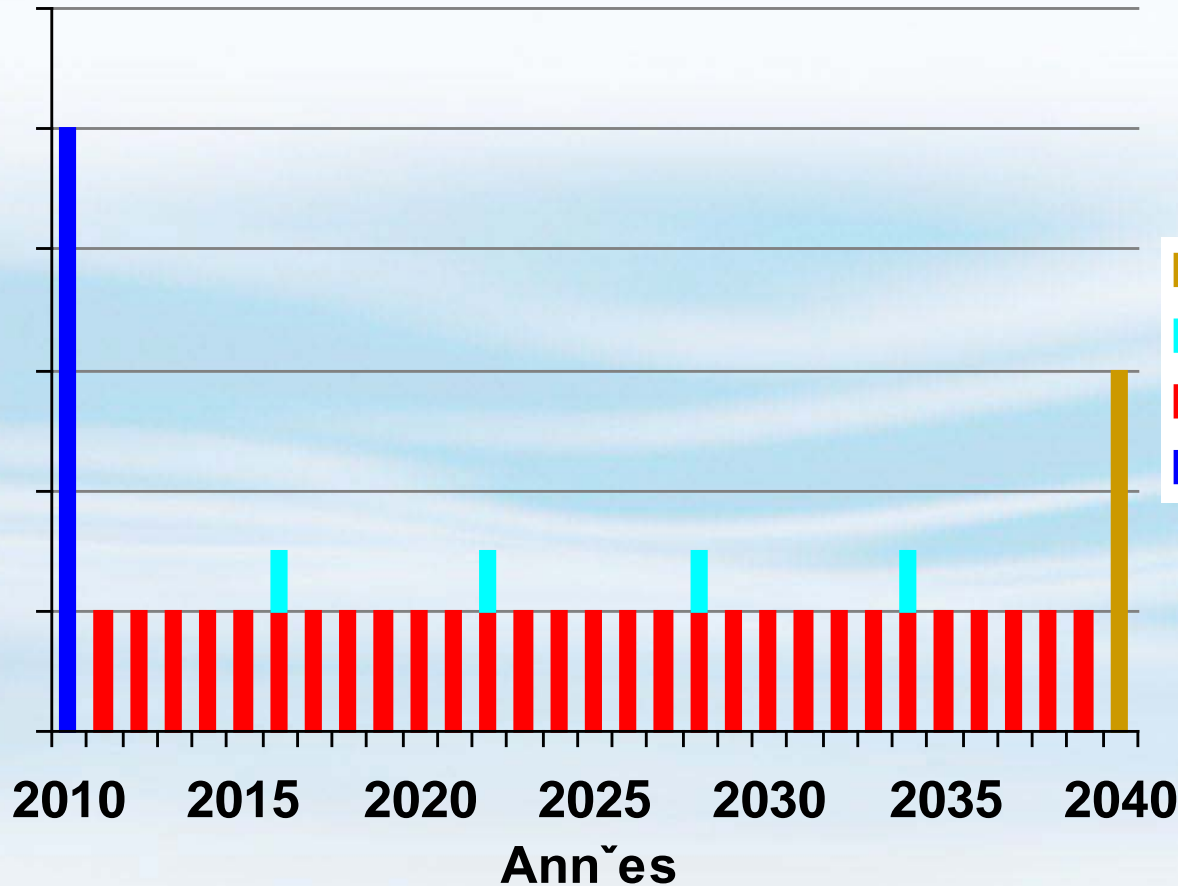
# La même, en couleurs



## En 2009, « invention » du film carbone : CarbonEco

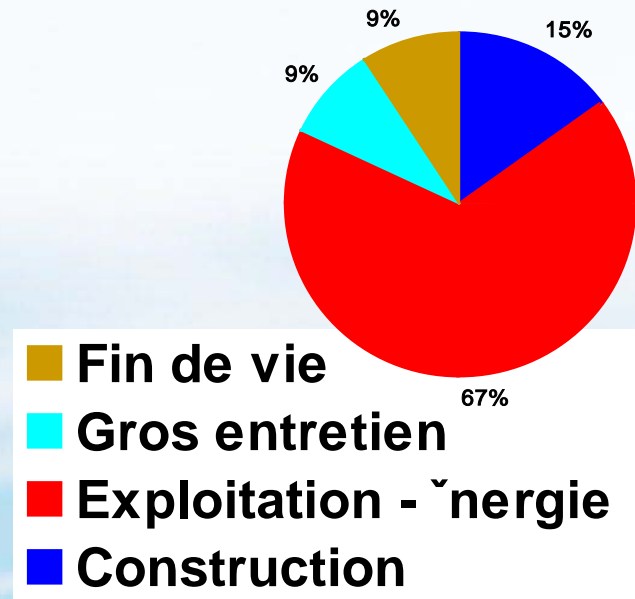
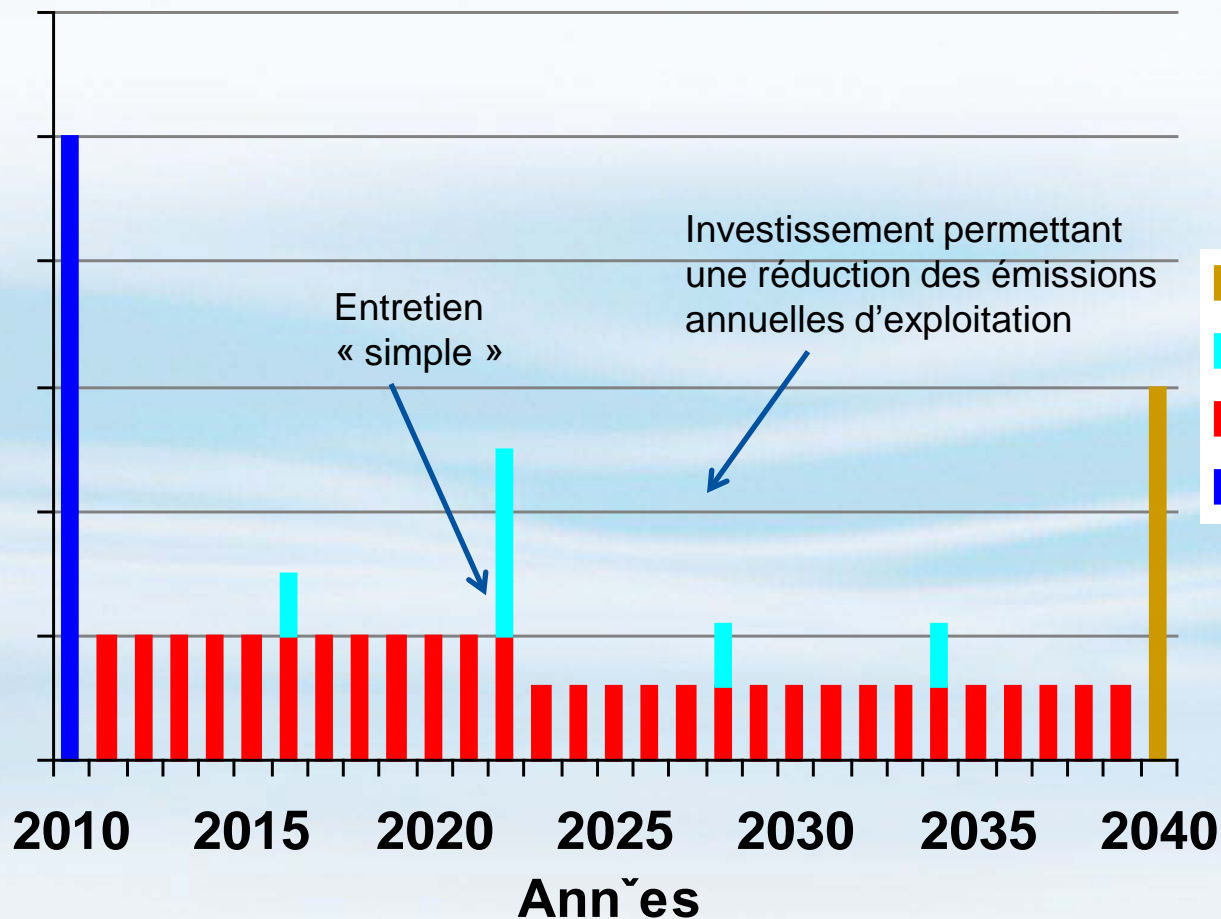


## Emissions de l'infrastructure au cours du temps *Construction et utilisation sur la durée de vie*



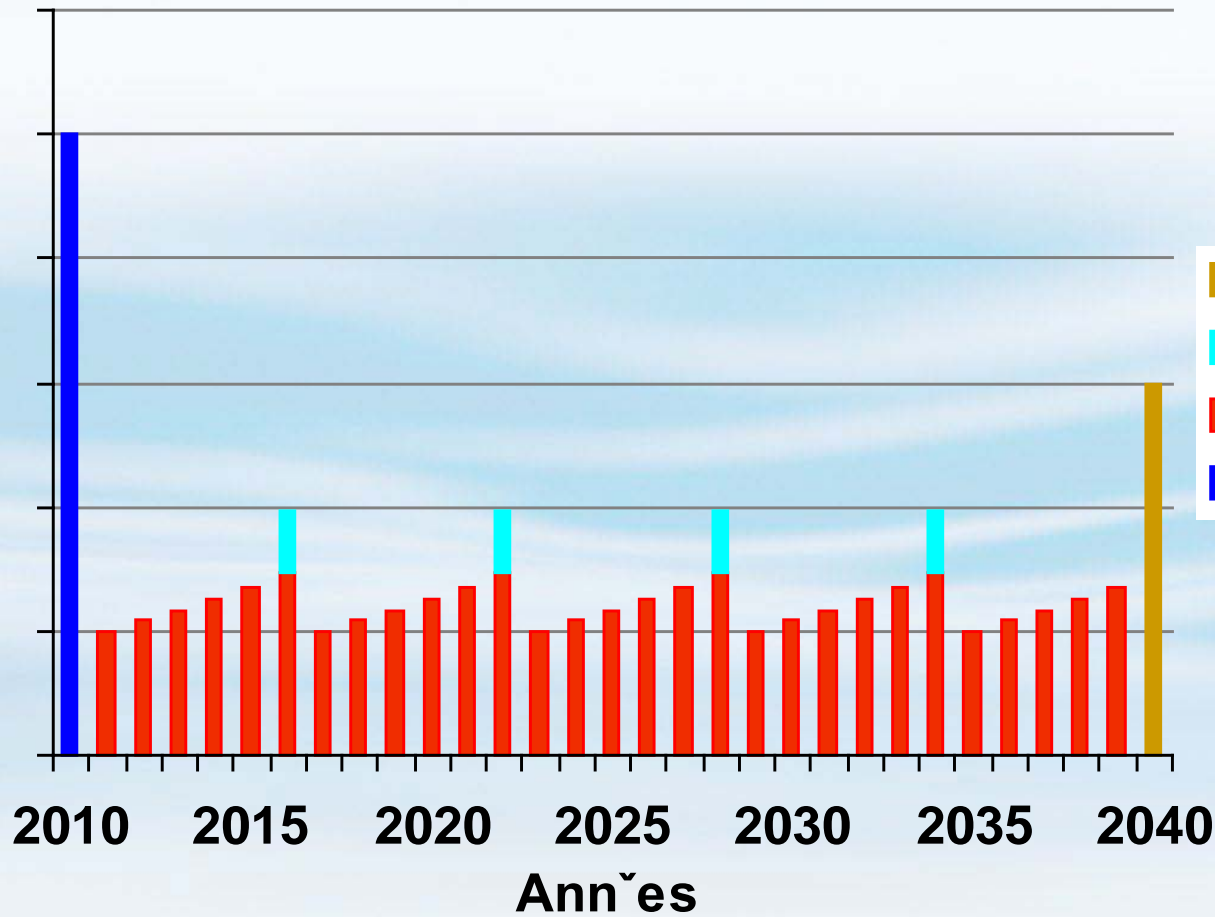
# Le film permet d'envisager plusieurs scénarios d'évolution

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



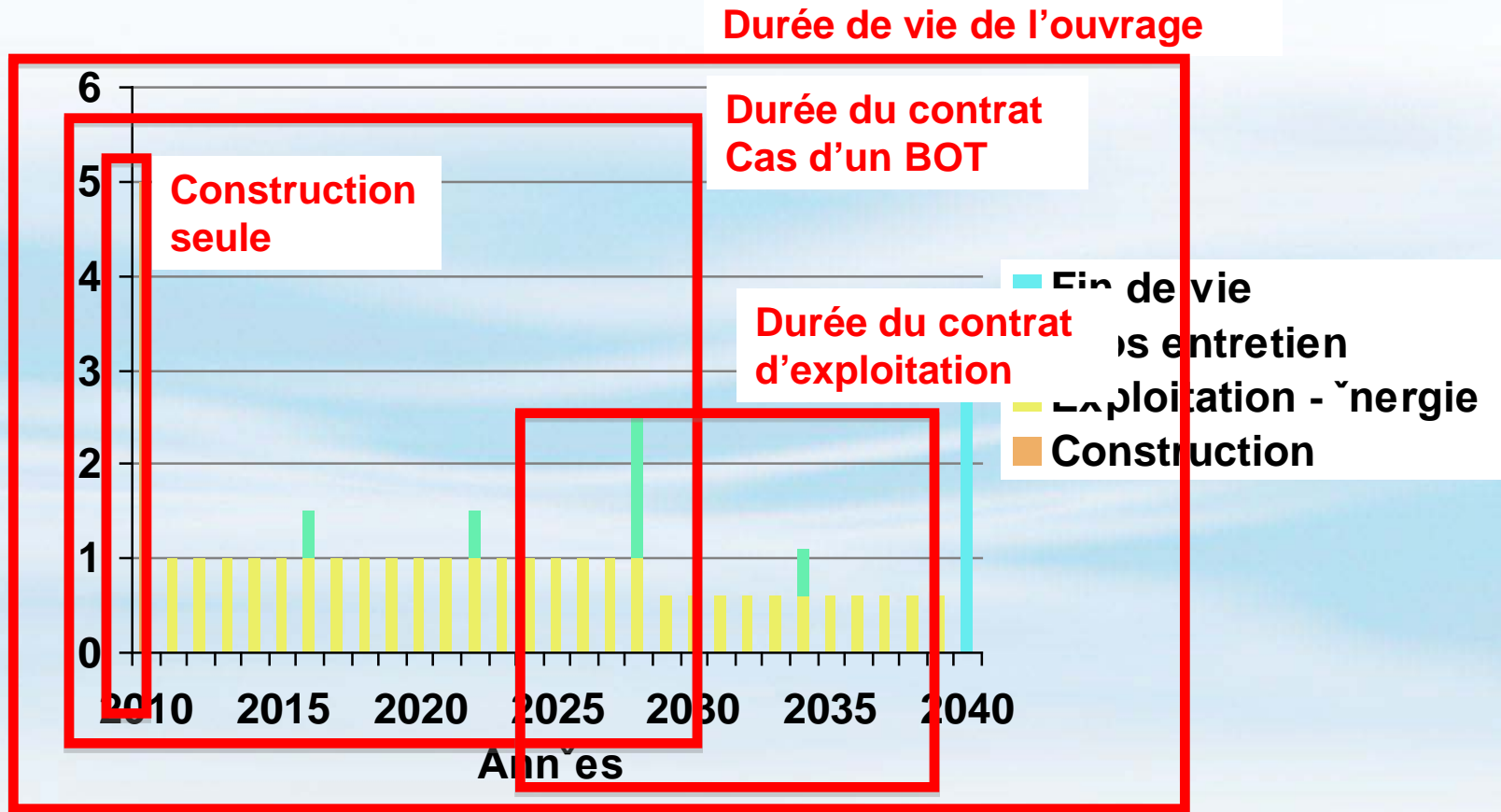
# Simulation d'une perte de rendement

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

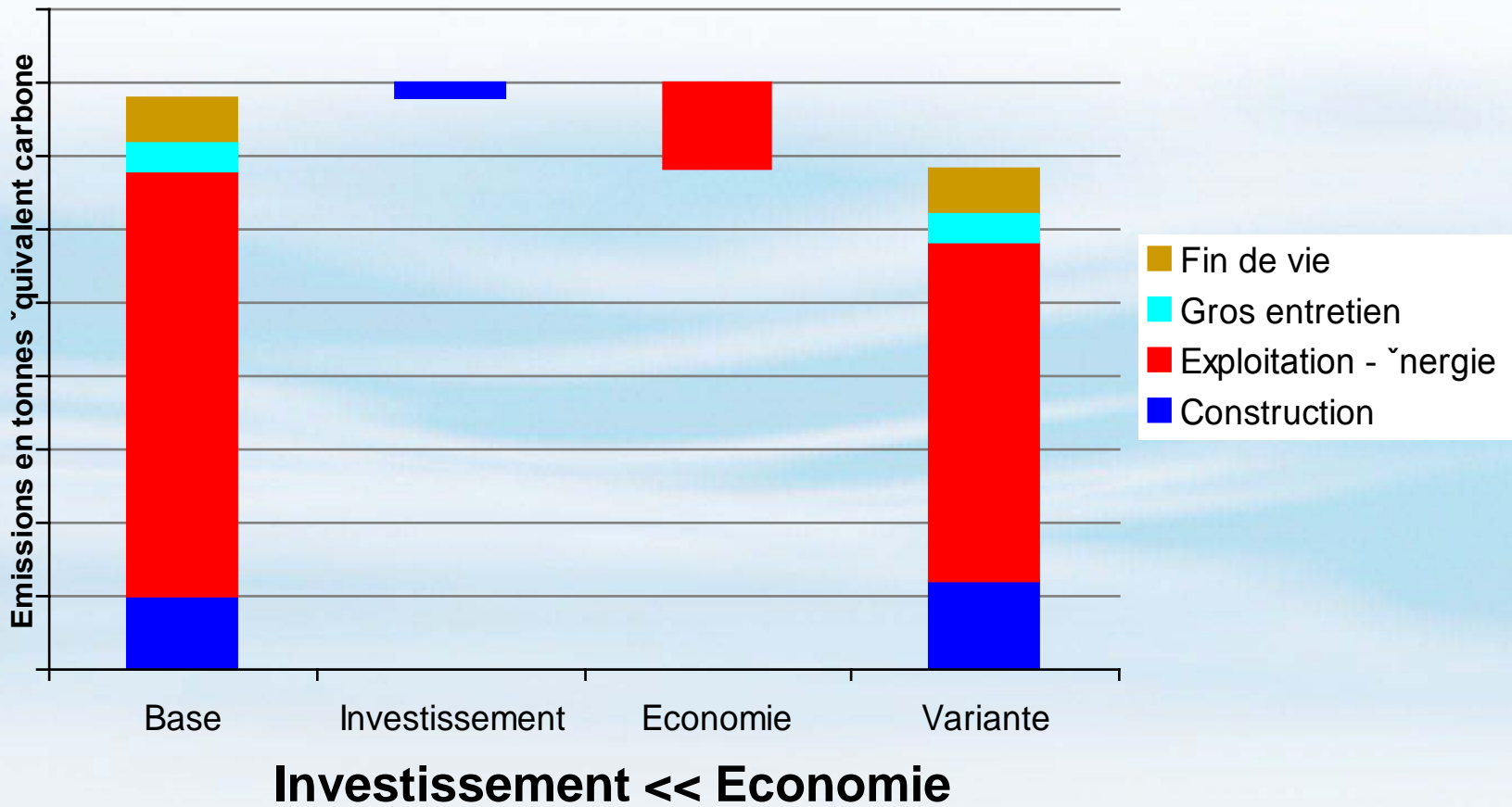




# Là comme ailleurs, bien poser les limites est essentiel

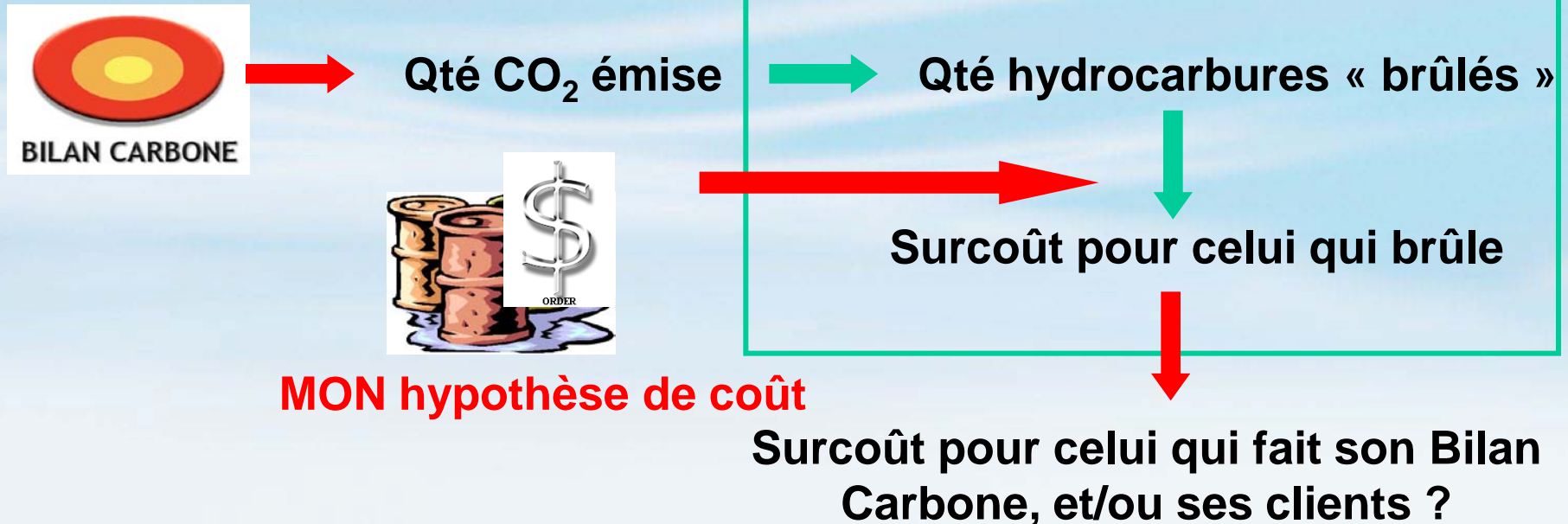


## Coût carbone global lié à l'offre

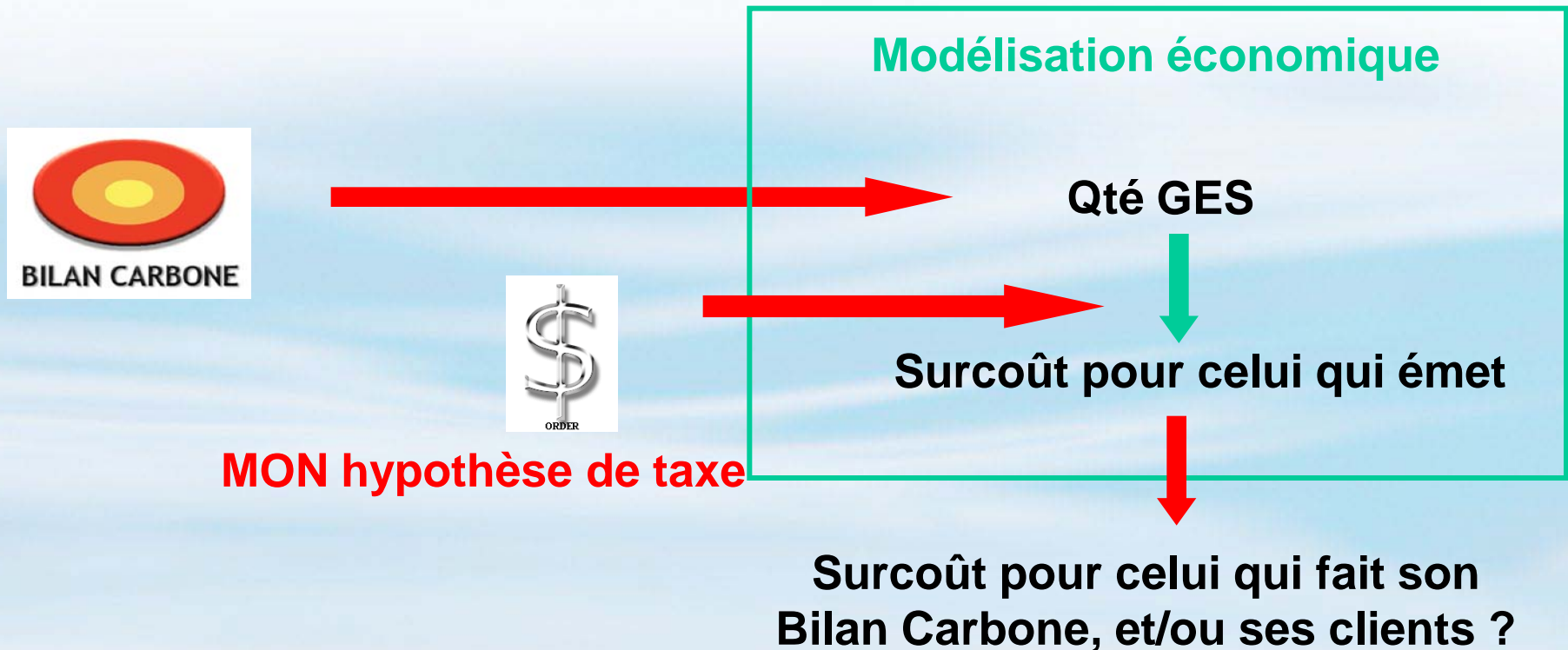


## Objectif : disposer d'un **ordre de grandeur** du surcoût lié à une hausse des hydrocarbures

En effet, dès qu'il y a du CO<sub>2</sub> 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 » :

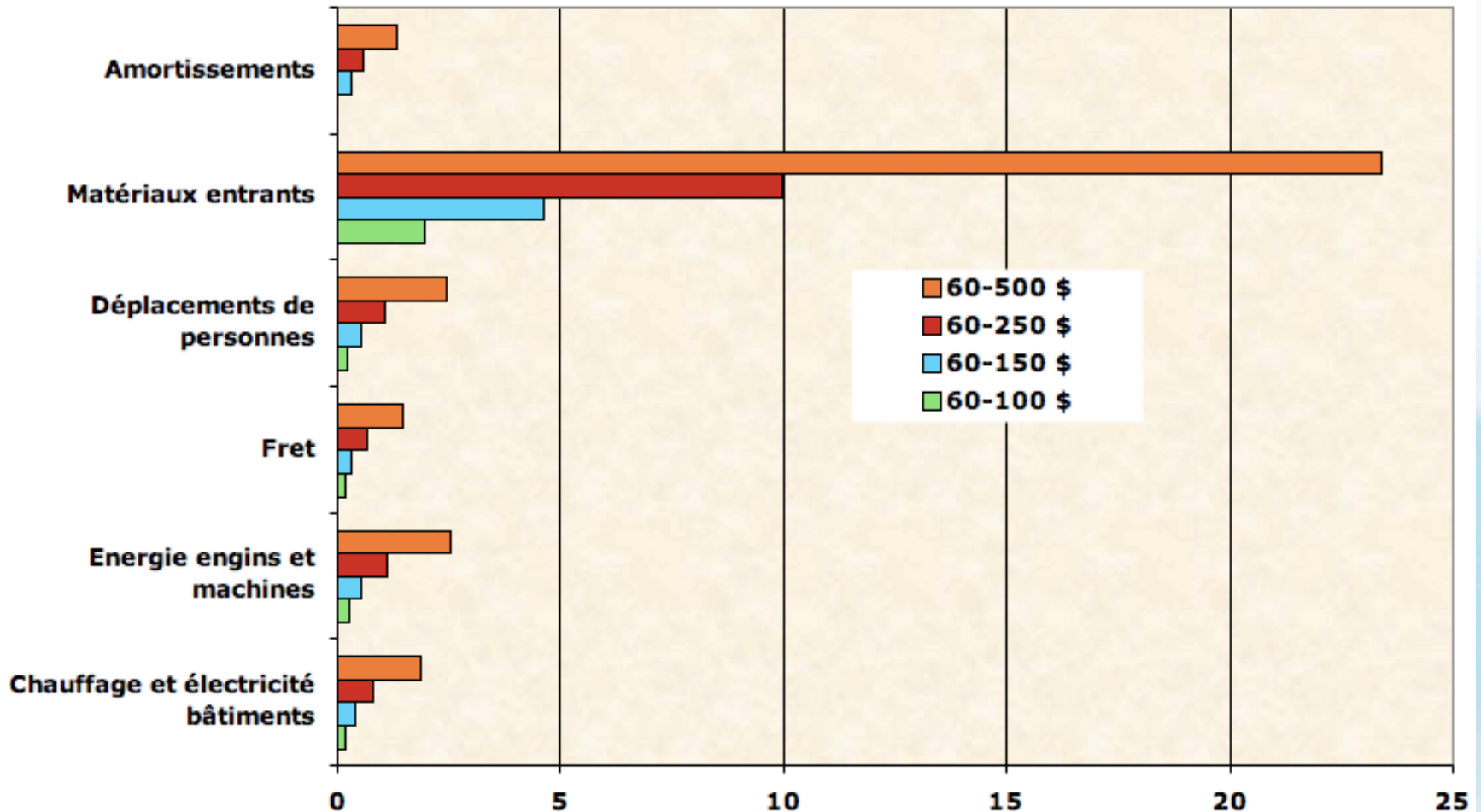


On peut jouer presque au même jeu avec la taxe carbone



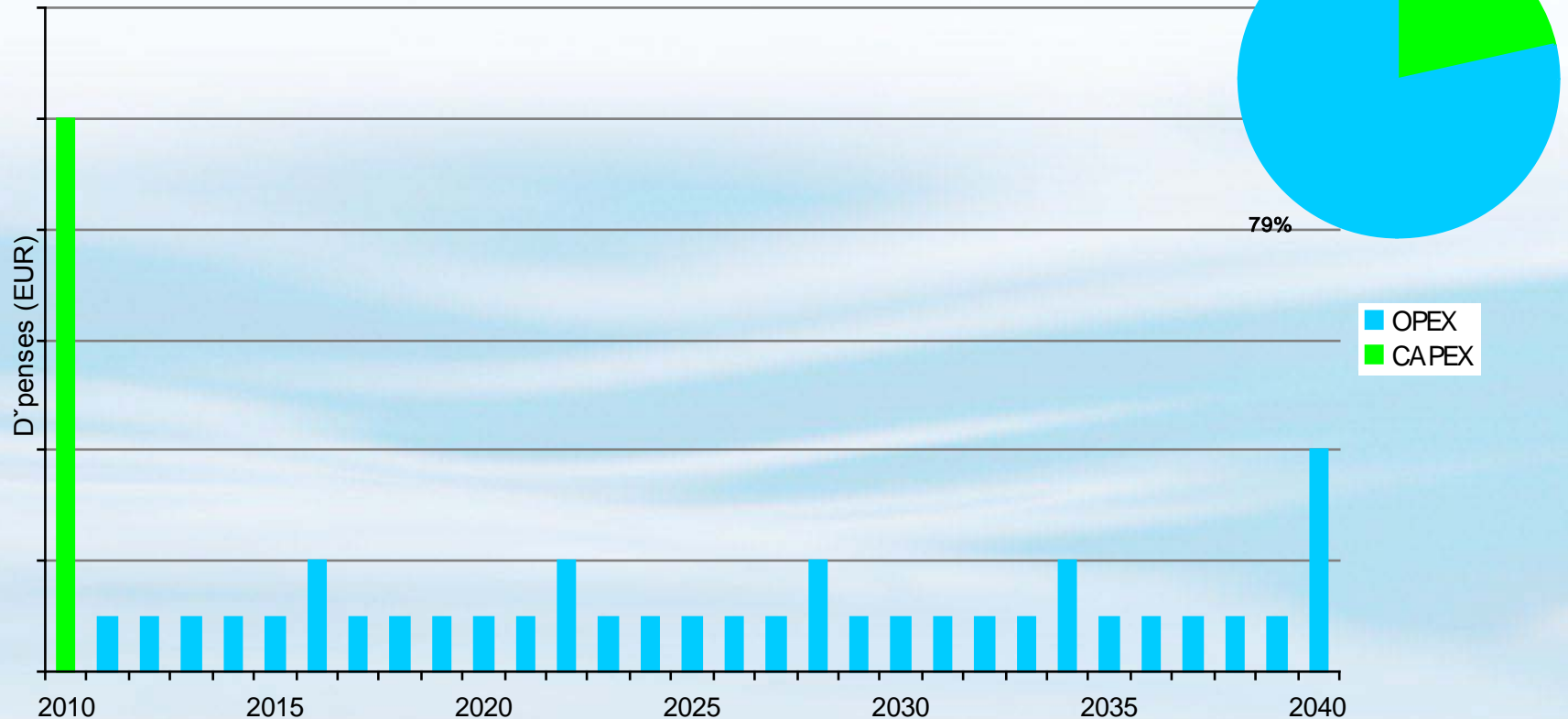
# Si les hydrocarbures augmentent, d'où vient la facture ?

Surcoûts, millions d'euros



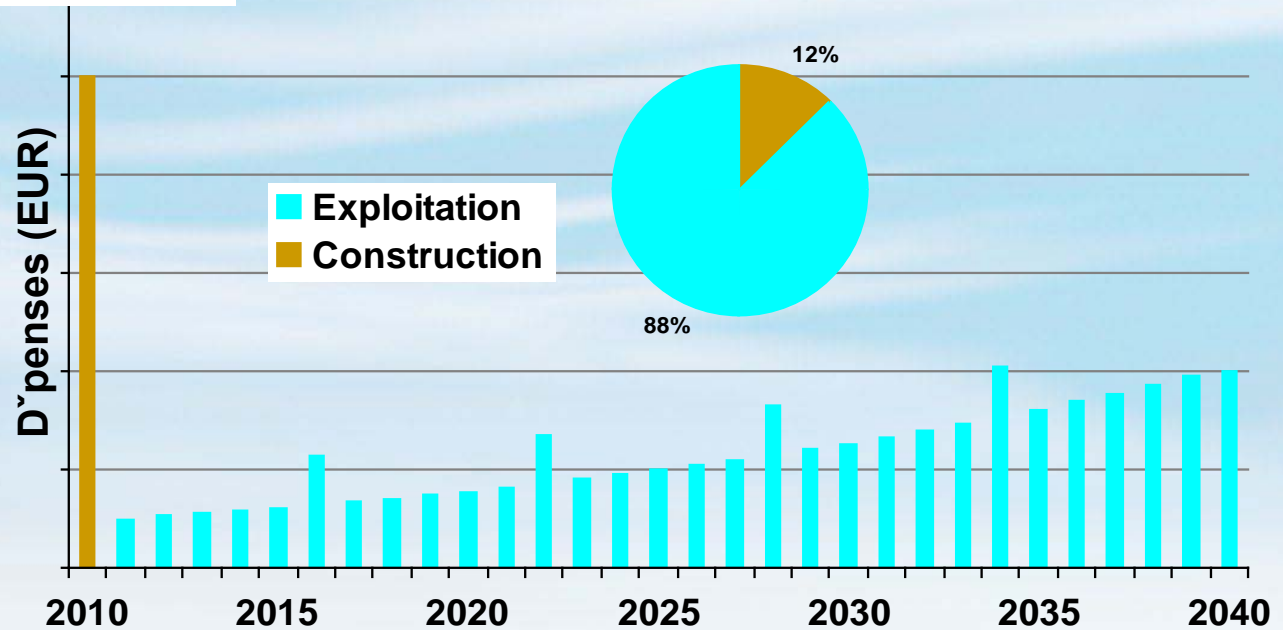
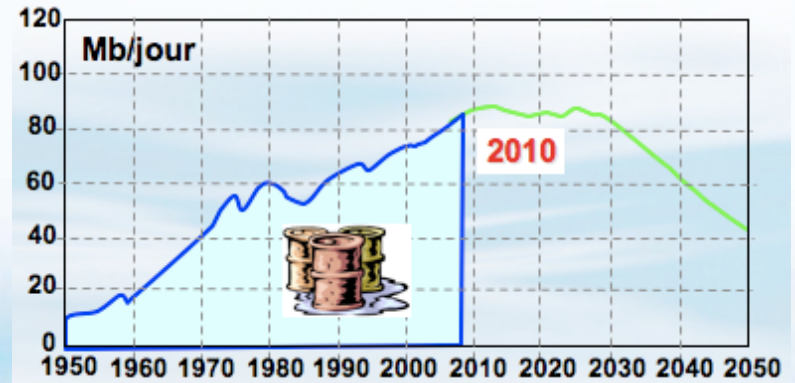
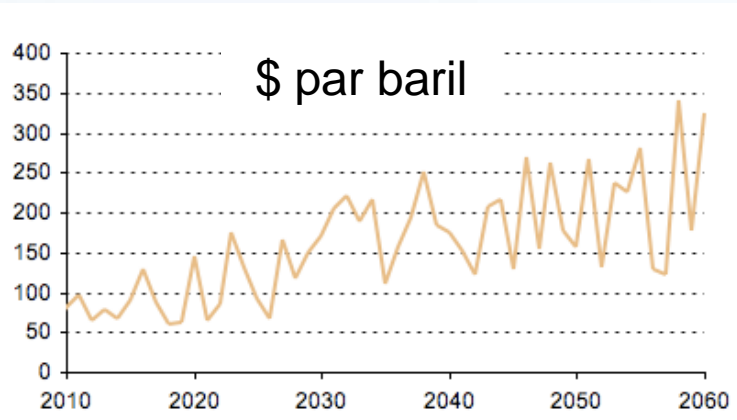
Exemple d'utilisation de la simulation économique dans le Bilan Carbone

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

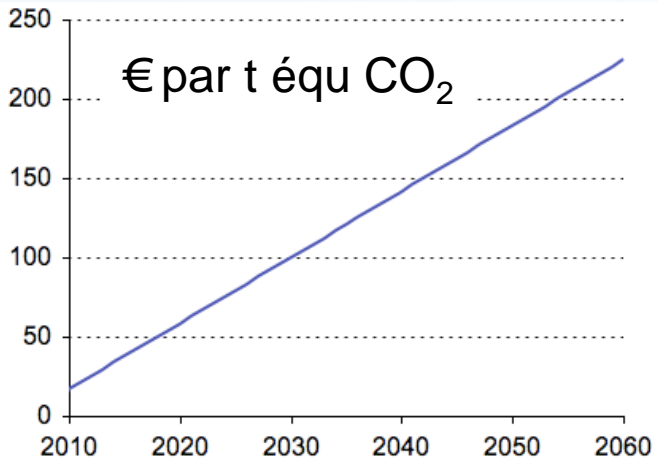




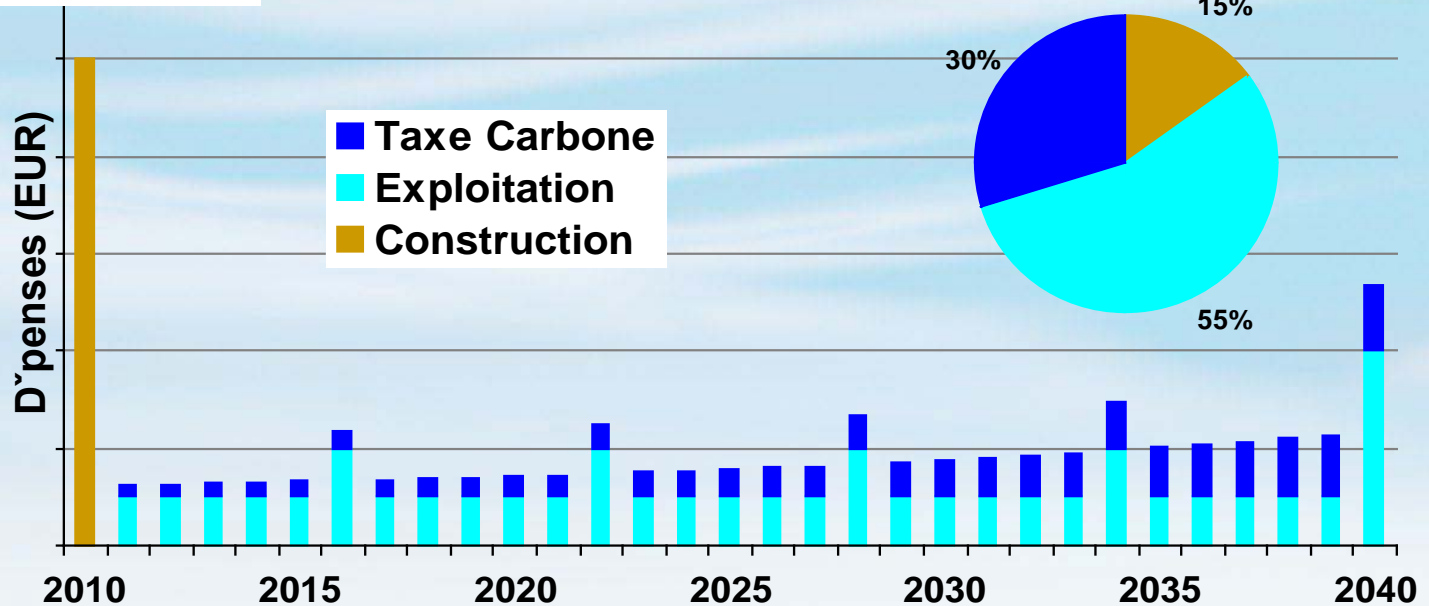
# Le prix de l'énergie pilote le coût complet



# Une taxe carbone aussi !



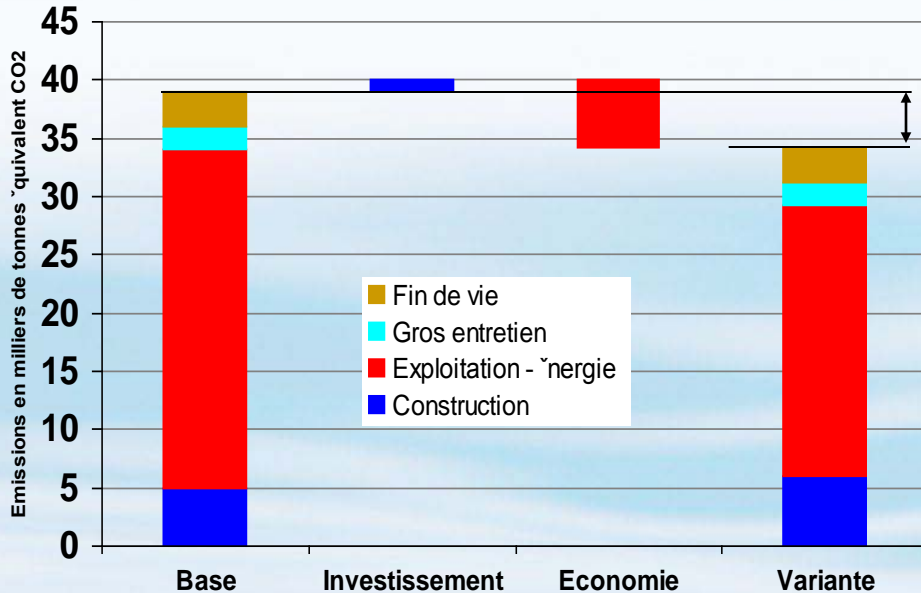
Loi de finances



# Le coût à la tonne de CO<sub>2</sub> évitée, sage critère de gestion

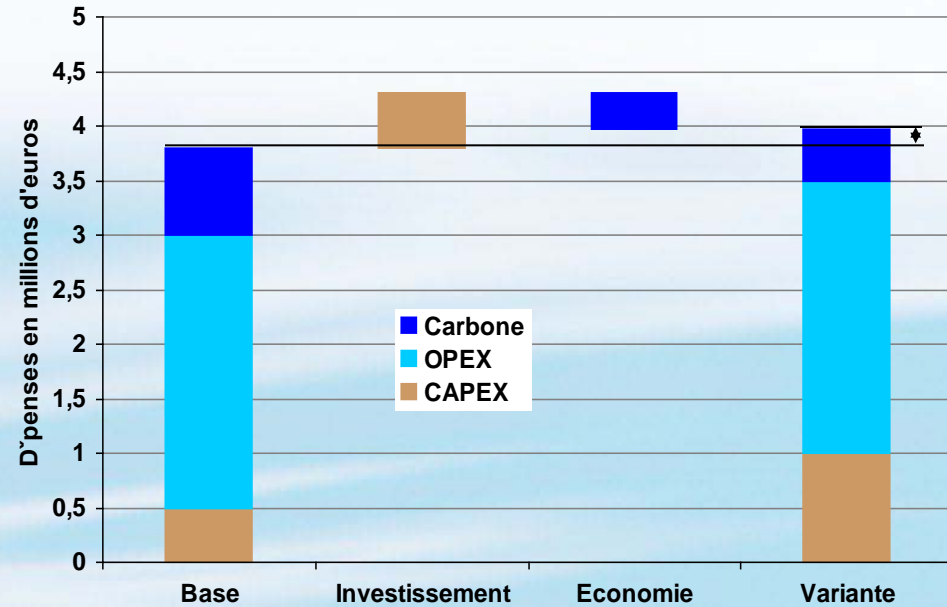
Investissement << Economie

Gain = - 4 800 tonnes équivalent CO<sub>2</sub>



Investissement > Economie

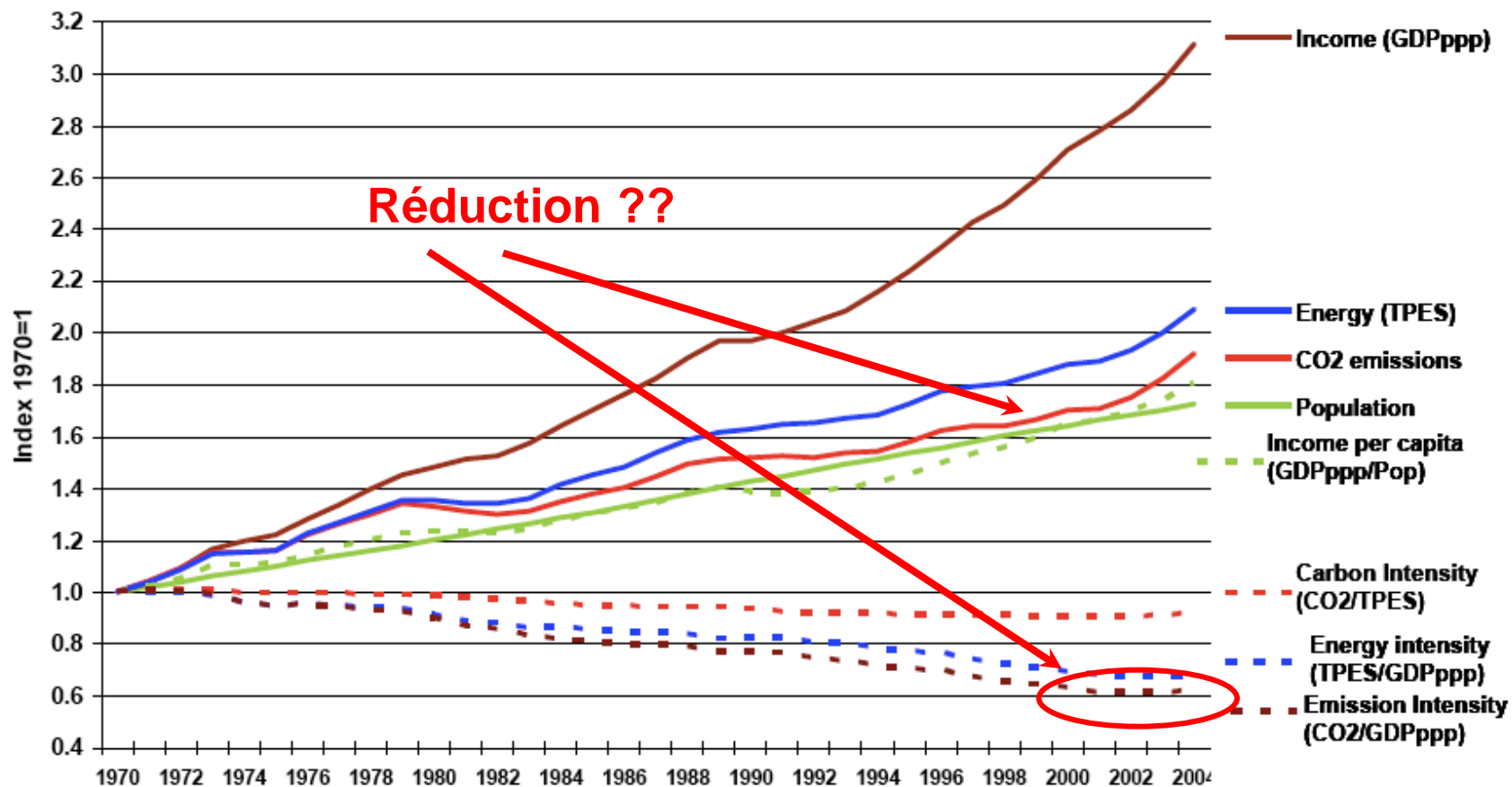
Coût = + 170 kEUR



La réduction globale des émissions est de 4 800 de tonnes éq. CO<sub>2</sub> pour un coût global de 170 000 €, le coût à la tonne de CO<sub>2</sub> 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<sup>e</sup> 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 !

# 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

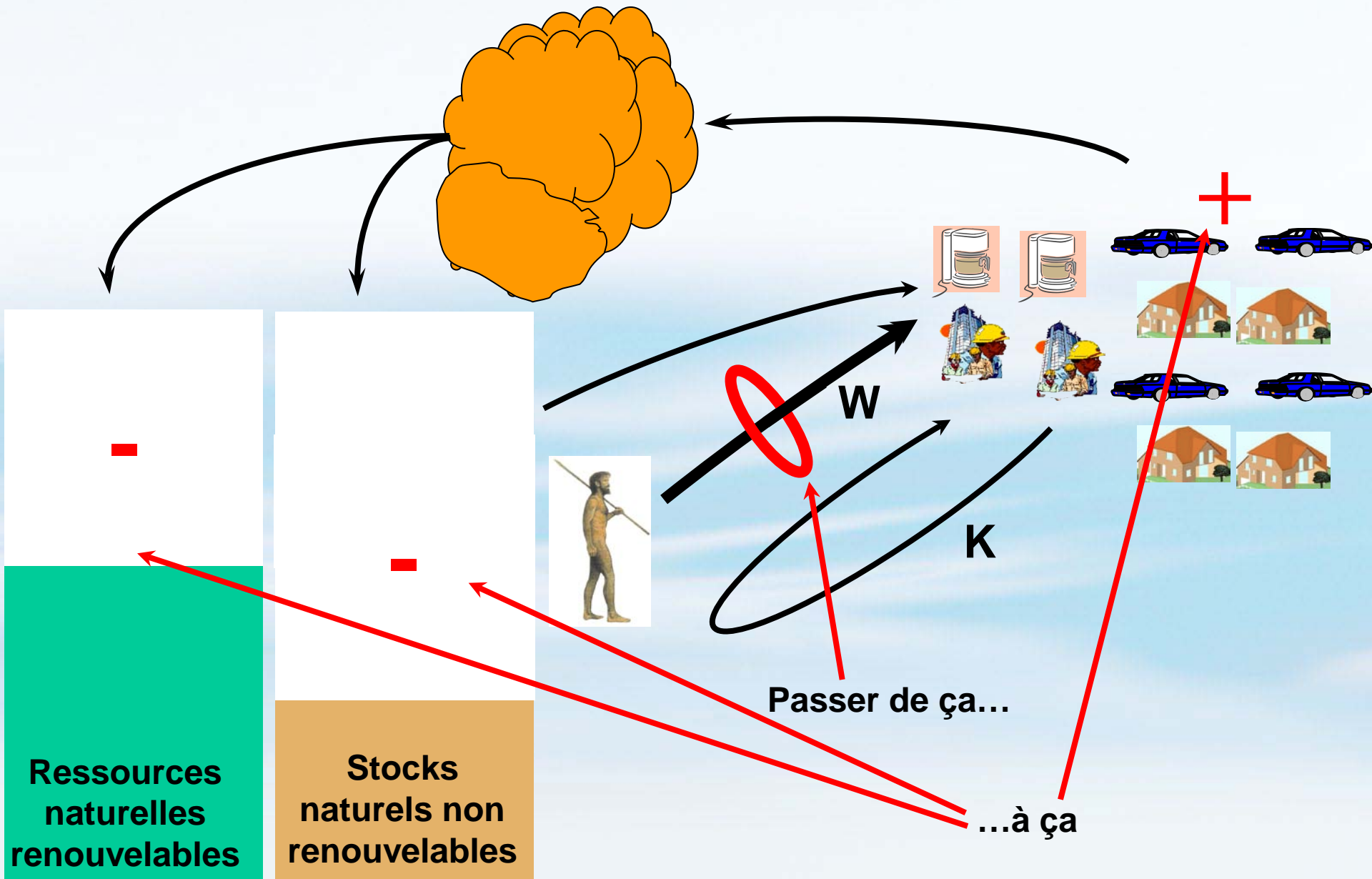
Le plus « naturel » pour un ingénieur  
Améliorer les procédés  
Isoler les bâtiments  
Modifier les déplacements (un peu de technique, beaucoup de social)  
Repenser une organisation, un produit, un service, une structure des métiers...

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

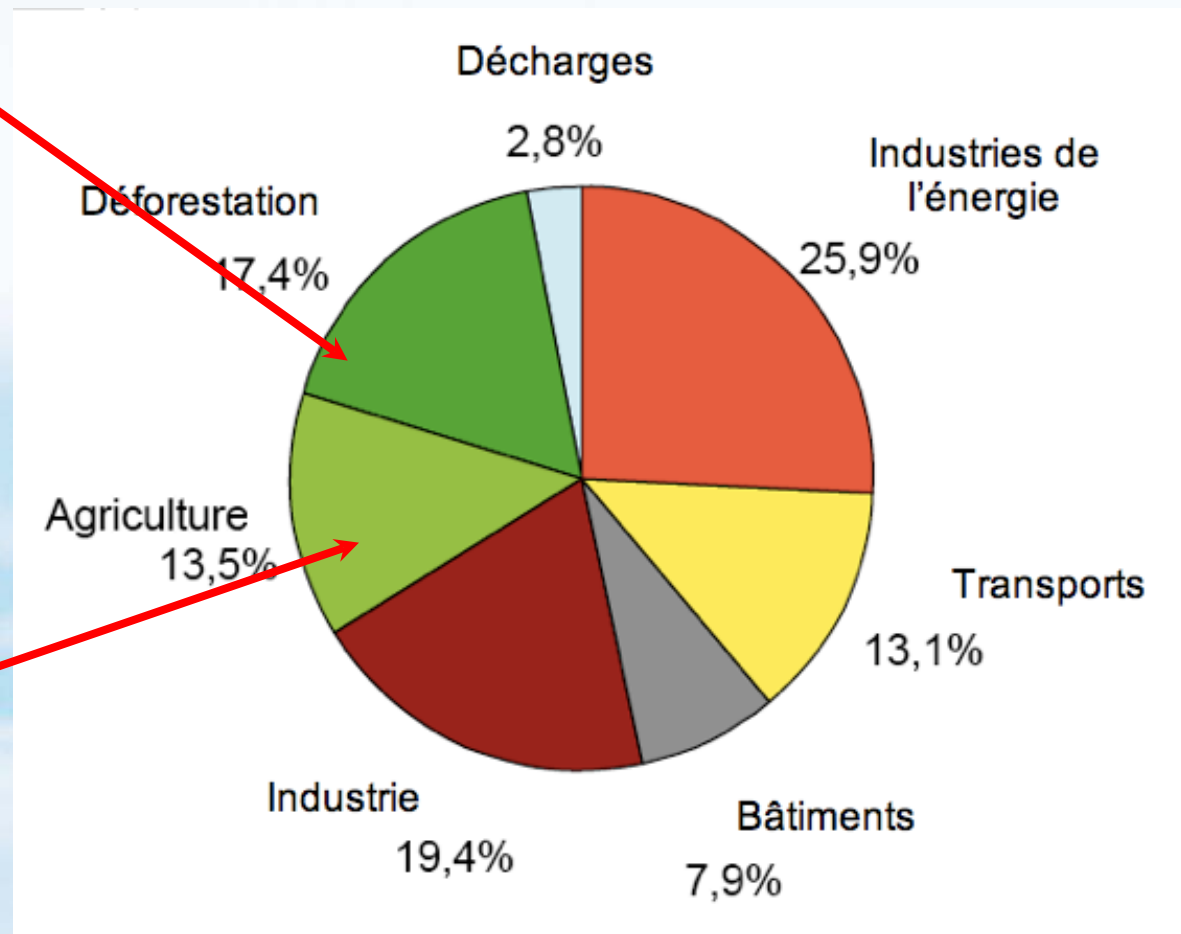
**Régimes alimentaires**

Nature des amendements

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

Méthanisation des bovins

Nature de riz cultivé

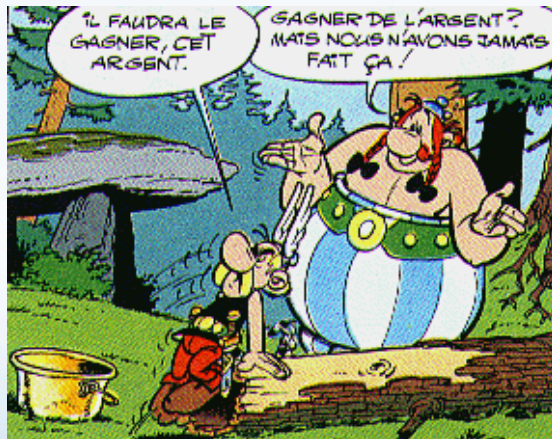


Répartition des émissions de gaz à effet de serre dans le monde par activité, 2004, hors ozone.  
(Source IPCC)



# 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



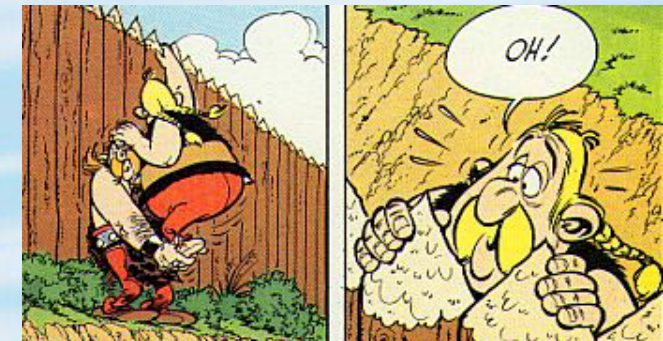
Etre capable de proposer l'organisation qui va avec



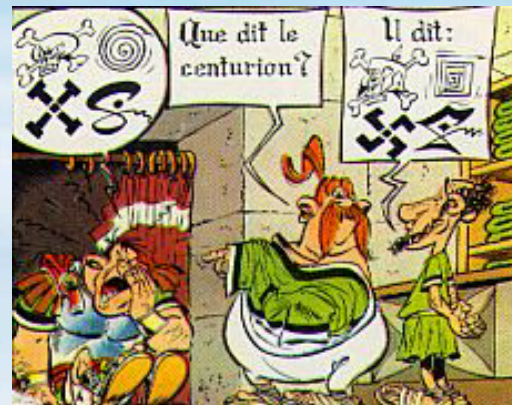
savoir vendre



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



savoir observer



pouvoir expliquer simplement ce que l'on a en tête



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

**BON VENT !**