

Qu'est-ce que l'empreinte carbone et comment la calculer ?

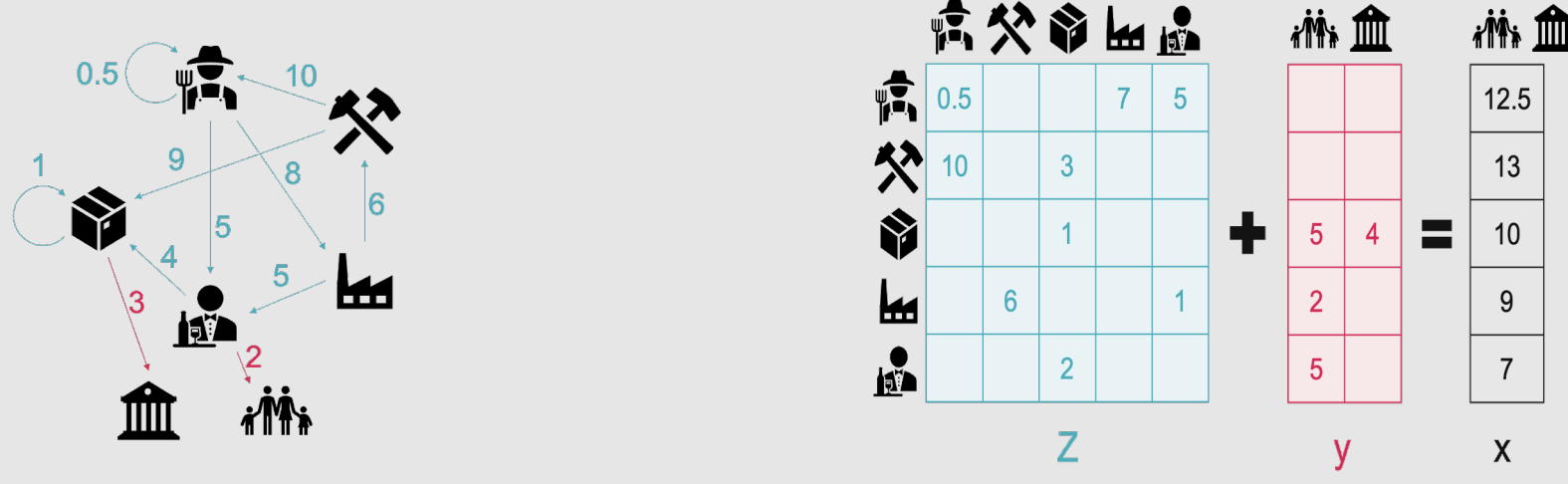
L'empreinte carbone d'un produit, d'une personne ou d'une entreprise est une grandeur quantifiant les émissions de carbone (en CO2 équivalent) lors de son « fonctionnement » normal. Pour cela, l'idée consiste à comptabiliser les émissions de **toutes les étapes nécessaires à ce fonctionnement**. Par exemple, on devrait prendre en compte dans l'empreinte carbone d'une entreprise alimentaire les émissions des trajets des acheteurs entre leur domicile et le point de vente, les émissions de la production des ressources consommées lors de la préparation du produit, les émissions qui ont servi à la production de ressources consommées etc... On comprend alors que l'on doit agréger dans une empreinte carbone un nombre **infini** d'émissions. Pour calculer cette empreinte carbone, plusieurs méthodes peuvent être utilisées, les principales étant les méthode **bottom-up (BU)** et **top-down (TD)**. La méthode BU consiste à sommer l'ensemble des productions carbonées pour la production, l'utilisation et le recyclage d'un produit. La méthode TD au contraire, part des différents postes d'émissions réels (les transports, la production électrique etc...) et répartie cette production carbone aux différents acteurs qui dépendent de cette production. Le CO2 émis par l'aviation sera donc réparti entre l'aviation civile, militaire, industriel etc... L'approche TD est celle résultant de l'utilisation de EXIOBASE alors que *climobil* et *Carbone4* utilisent quant à eux un calcul *BU*. Ces deux méthodes conduisent à des **résultats différents**, par exemple pour l'empreinte carbone annuelle d'un Français, EXIOBASE donne **8,4 tCO2eq** contre **9,9 tCO2eq** pour *Carbone4*. Présentons brièvement les outils utilisés avant d'en illustrer le fonctionnement sur l'exemple de l'utilisation de la voiture.

L'analyse entrée-sortie

Présentation générale

L'analyse-entrée sortie est une méthode comptable utilisée pour modéliser l'économie mondiale. Elle s'appuie sur des **tableaux entrées-sorties (TES)** (représentant les flux monétaires mondiaux) et une liste de facteurs de production (une interface entre l'économie mondiale et le monde réel).

Plusieurs informations, subdivisées par zones géographiques et secteurs, figurent dans les TES : les consommations intermédiaires entre chaque secteur, la production totale, la demande finale... Ainsi, les TES sont aussi un bon moyen de représenter la dépendance d'un secteur vis-à-vis des autres.



La théorie derrière les TES

Mathématiquement les tableaux sont des matrices. Ainsi, notons Z la matrice des consommations intermédiaires, y la matrice la matrice de la demande finale et x la matrice de production totale. Nous avons $Z + y = x$ dans l'hypothèse d'une économie fermée.

La consommation intermédiaire Z est elle-même fonction de la production totale (x) puisque les entrées sont proportionnelles à ce qui est produit. Ainsi, on peut « diviser » Z par x i.e. trouver la matrice A telle que $Z = Ax$. A contient les coefficients de production.

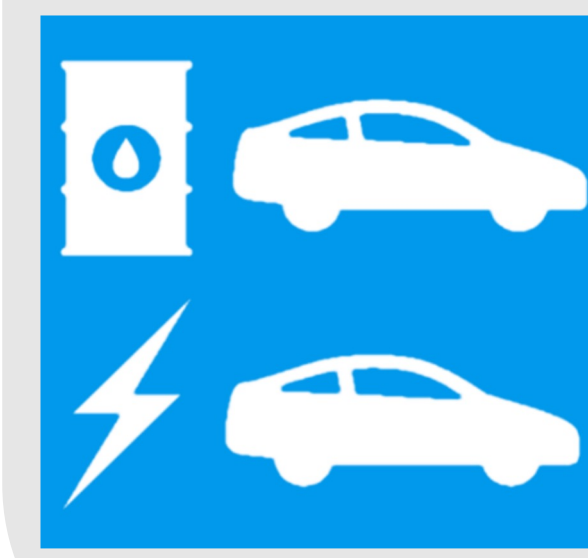
On a alors l'égalité : $Ax + y = x$, soit $x = (I - A)^{-1}y$. La matrice $L = (I - A)^{-1}$ est appelée inverse de Leontief. Ainsi, un lien est établi entre la demande finale adressée à la production intérieure d'une branche et la production des différentes branches de l'économie.

Mais alors, quel rapport avec l'empreinte carbone ?

D'autres matrices contiennent des informations environnementales sur chaque secteur, par exemple les émissions de gaz à effet de serre. Plus précisément, grâce à la matrice S qui donne l'impact environnemental par euro consommé par secteur. On a la relation $D = SLy = Sx$ où D nous donne l'empreinte carbone de chaque secteur.



Exiobase est une base de données contenant de nombreux tableaux entrée-sortie. Elle a l'avantage d'être multirégionale et propose des TES pour les années 1995 à 2019.



Climobil

Climobil est un site-web permettant de calculer l'empreinte carbone d'un véhicule au cours de sa vie et de le comparer avec un véhicule électrique. Le site connaît les caractéristiques de nombreux modèles de voiture et adapte ses calculs à la provenance de l'électricité.

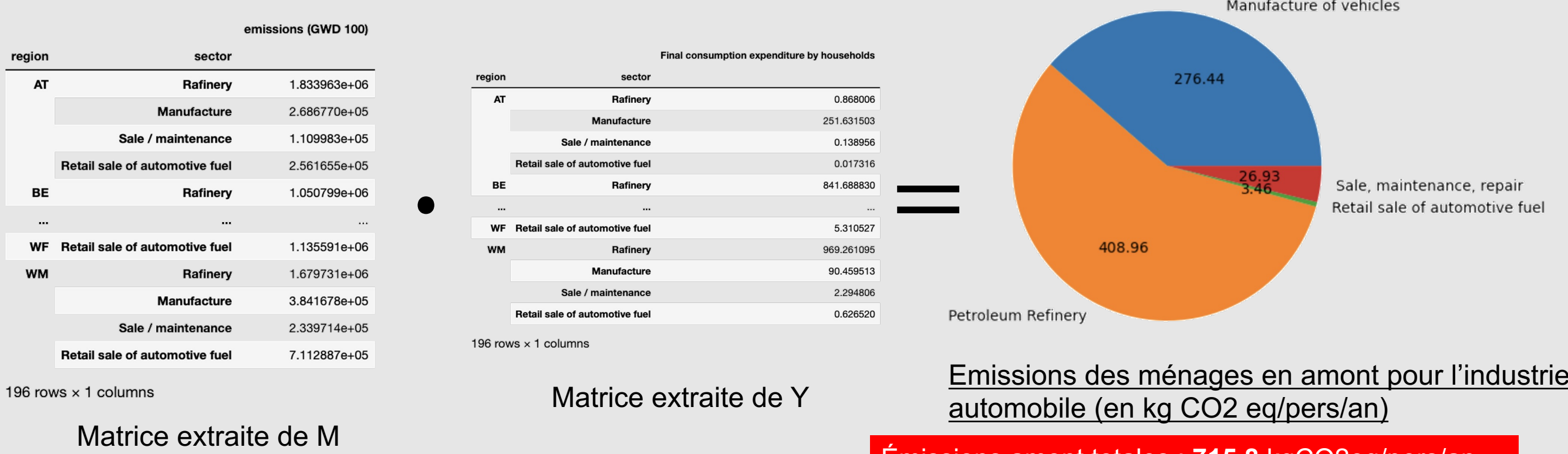
Le Top-Down (TD) en pratique sur l'industrie automobile

Idées générales

- Découpage de l'étude en deux parties : **amont** (production voiture / fioul) et **aval** (émissions directes).
- Utiliser les TES d'EXIOBASE.
- Approche agrégée : départ des émissions par secteur pour affiner vers les émissions de l'automobile.
- On suppose que tout le pétrole raffiné consommé par les ménages devient du carburant.

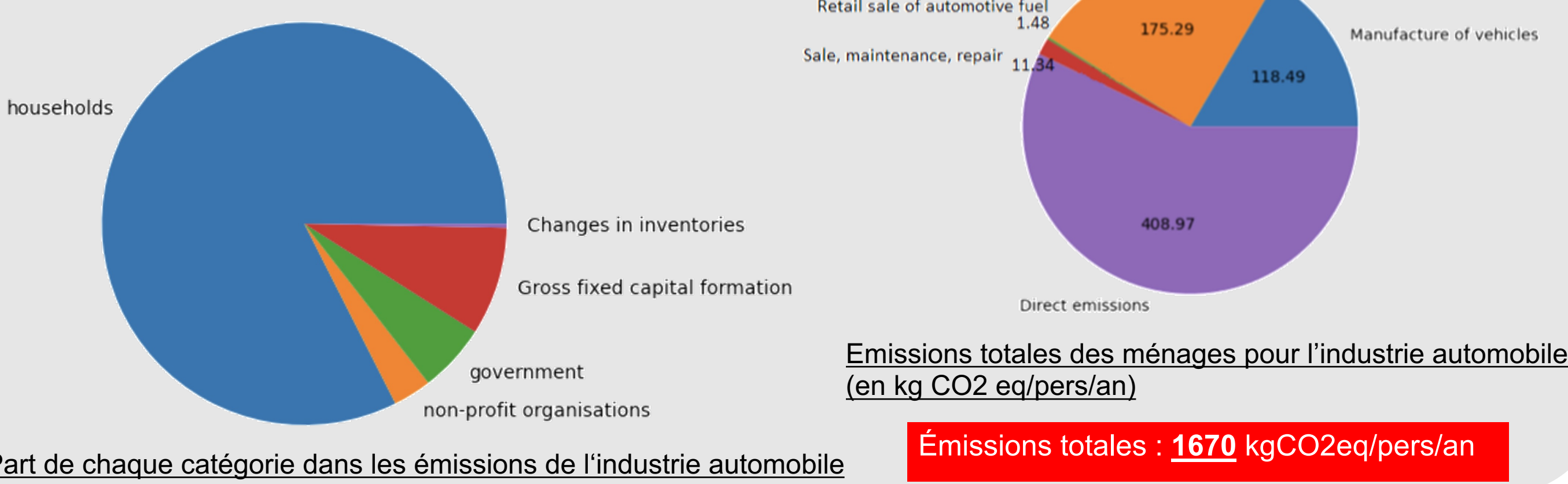
Nous commençons par calculer les émissions en **amont** : celles qui correspondent à tout ce qui se passe **avant** l'achat de la voiture ou du carburant.

Nous partons de la matrice de demande finale Y et nous conservons seulement les demandes françaises dans le secteur de l'automobile. Cette nouvelle matrice est obtenue en million d'euros. Ensuite, pour passer de cette vision économique à une empreinte il faut utiliser la matrice des émissions $M = SL$.



La partie **avale** est ce qui se passe après achat de la voiture : les émissions lorsqu'on roule par exemple. Le calcul est similaire mais il faut remplacer y par F_y , qui est un autre TES de EXIOBASE. En effet, celui-ci donne les émissions directes des ménages et du gouvernement.

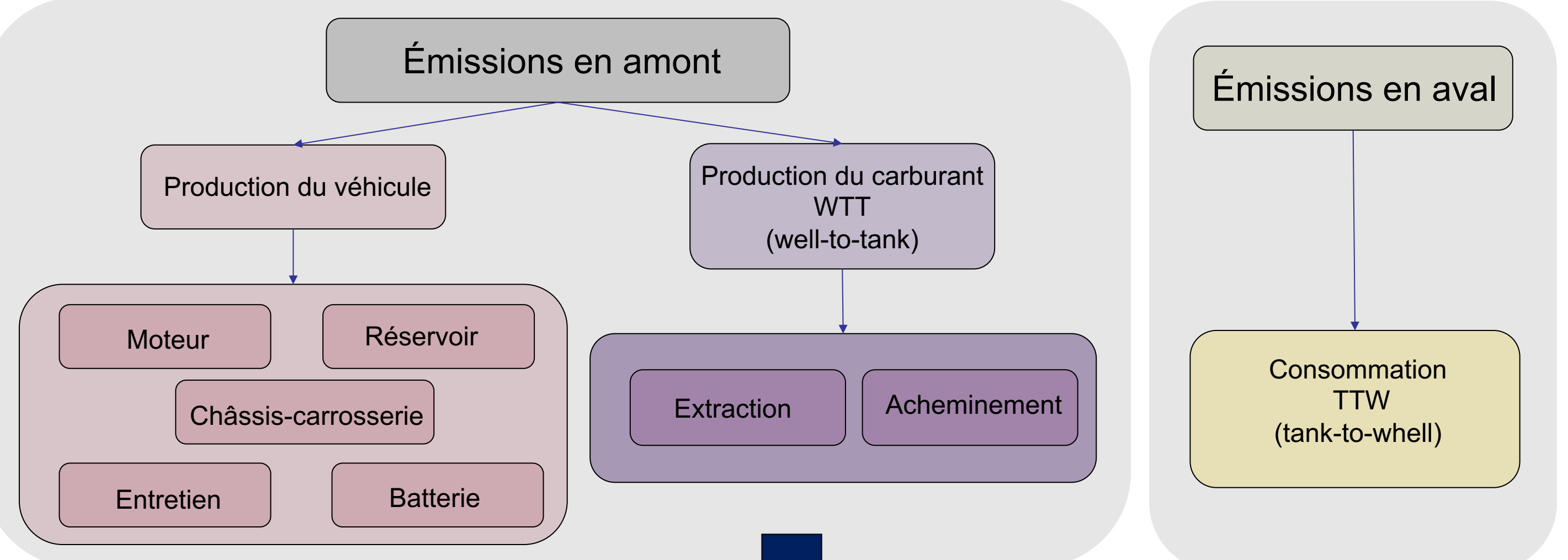
Résultats



Le Bottom-Up (BU) en pratique sur l'industrie automobile

Idées générales

- La première étape consiste à faire l'inventaire de toutes les **dépendances** de l'utilisation du véhicule.
- Les émissions en amont sont celles qui permettent à la voiture d'être en position de démarrer.
- Les émissions en aval sont celles qui sont produites lors de l'utilisation du véhicule.



Une fois l'inventaire des dépendances fait, il faut évaluer la production en CO2 de chacune des composantes. Les données peuvent être empiriques (comme la consommation d'essence au 100km) ou données par le fabricant (comme pour les pièces du véhicule). *Climobil* est ici utilisé.

Les émissions NEDC (New European Driving Cycle) sont les émissions fournies par le constructeur, obtenues avec des tests en laboratoire loin de la réalité d'une conduite. Il faut donc le corriger grâce à des données empiriques.

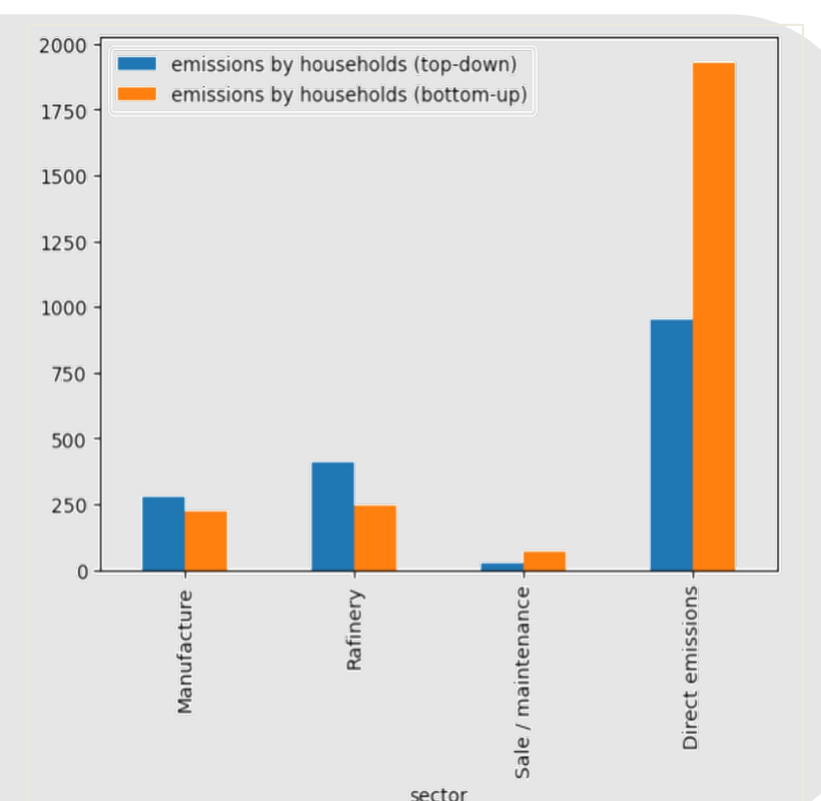
Pour finir, on cherche la production en kg de CO2 par personne sur un an.

- Somme l'ensemble de la production kilométrique de CO2 sur les différents secteurs : **263.5 g.CO2eq/km**
- Distance parcourue sur un an : **12 000 km/an**
- Nombre moyen de passager par voiture : **1,5**

$$\frac{\text{émissions kilométriques} \times \text{kilomètres par an}}{\text{nombre moyen de passager par trajet}} = \text{émissions totales par personne et par an} = \mathbf{2108 \text{ kg.CO2/an}}$$

Analyse et Critique

- Les résultats en 2019 : (en kg CO2eq / personne / an) : **1670 (TP) ≤ 2030 (Carbone 4) ≤ 2108 (BU)**
- L'écart entre les 2 résultats correspond à (2108 - 1670) / 2030 = **21,6%** du chiffre de **Carbone 4**
- Les 2 approches allouent la majorité des émissions aux **émissions directes** (BU : 200/263.5 = **76%**, TD : **57%**), puis ensuite vient le **raffinage** du pétrole en carburant (BU : 25/263 = **9.5%**, TD : **24,7%**).
- Les émissions calculées en BU et TD correspondent respectivement à 2108/9900 = **21.3 %** de l'**empreinte carbone totale** (calculée par Carbone 4 : **9.9 tCO2eq / personne / an**) et 1670/9900 = **16,9%**.
- D'un côté, le BU comptabilise une partie des trajets en voiture alloués aux ménages correspondant à des **déplacements professionnels** et qui devrait plutôt être allouée aux entreprises.
- De l'autre, le TD comptabilise les émissions en amont liées au **raffinage général** du pétrole, ainsi qu'en aval l'**ensemble des émissions directes**, comprenant par exemple la combustion du fioul destiné au **chauffage**. Cela englobe donc plus que les émissions exclusivement liées au carburant pour les véhicules.
- Toutes les valeurs utilisées en BU sont des moyennes sur la durée de vie complète d'une voiture et ne correspondent pas à une réalité instantanée.
- Le calcul TD se base sur les émissions de l'année précédente et permet donc d'avoir des informations sur l'instantanéité.
- Le fait que les résultats TD soient inférieurs aux résultats BT signifie que des secteurs d'émissions n'ont pas été pris en compte comme les émissions intra-entreprises.



Conclusion

Les avantages de procéder au calcul de la production carbone de deux façons diamétralement opposées permet de repérer des fuites dans certaines catégories. Par exemple, les émissions produites par les campagnes publicitaires sont difficilement calculables avec la méthode BU alors qu'elles sont bien plus facilement prises en compte avec une approche TD. De plus, les deux approches vont permettre de repérer des éléments différents. La méthode BU offre une bonne vision des postes importants de production carbone à petite échelle et donc là où des efforts sont à faire pour une entreprise particulière. La méthode TD permet de repérer les activités émettrices à une échelle supérieure et donc là où les modifications profondes des modes de production doivent être réalisées. Mais les effets des décisions politiques ne pourront être mesurés efficacement qu'avec une méthode BU. La méthode top-down a aussi comme avantage de ne pas pouvoir faire de double-comptage mais la difficulté est de répartir la production dans les différents secteurs. La méthode BU permet de mieux cerner les dépendances en production carbone et d'anticiper les impacts de la modification de production de certains secteurs sur la production d'un bien ou d'un service.

Ainsi, afin de tirer partie des avantages de chaque méthode, on peut imaginer une **approche hybride** où certaines émissions sont comptées en Bottom-Up et d'autres en Top-Down :

- parce qu'elle utilise des TES (matrice Y) et des facteurs de conversion (matrice M), l'approche **TD** semble plus adaptée pour comptabiliser les flux **monétaires**, par exemple pour les secteurs de **manufacture**, de **vente** ou d'**entretien**.
- Le **BU**, quant à lui, quantifie mieux les émissions des flux **physiques**, comme les **émissions directes** (trop peu détaillées en TD).
- Il reste à choisir pour le **raffinage** du pétrole en carburant, peu détaillé en TD, mais complexe à quantifier en BU.

