

## VIII. Annexe : L'obtention des contenus carbone

L'économie est un entrelacs d'échanges entre les entreprises. L'intrant que livre un fournisseur à son client aura peut-être exigé, au terme d'une longue chaîne, le produit de ce même client pour sa fabrication. C'est le problème de la circularité évoqué plus haut. Elle n'empêche pas pour autant le calcul des contenus carbone de l'ensemble des biens et services.

Pour montrer cela, on simplifie à l'extrême l'appareil productif du pays. Il se compose de trois secteurs d'activité (ou entreprises) et de trois biens : un secteur  $e$  qui fournit le carbone primaire exclusivement aux entreprises à partir de l'importation ; un secteur  $i$  qui fabrique un bien industriel et le vend à elle-même, au secteur des services et aux ménages pour leur consommation ; et un secteur  $s$  qui fournit un service à l'entreprise industrielle, à elle-même et aux ménages.

Si on s'intéresse à la consommation carbone de l'entreprise de service, il faut connaître, en plus de la consommation directe en énergie d'une unité du produit service (le scope 1), la consommation intermédiaire en biens industriels et en services de cette entreprise puisque ces intrants ont eux-mêmes un contenu carbone direct. C'est l'ensemble des ramifications productives qu'il faut suivre de pas en pas vers l'amont, ici limitées à deux entreprises.

Le tableau qui suit représente la structure productive de l'économie.

	Produit industriel	Produit de service	Achat d'énergie
Entreprise industrie (i)	0,6	0,5	10
Entreprise service (s)	0,2	0,2	6

La première ligne du tableau représente la consommation de l'entreprise industrielle dans les deux produits, industriel et service. Il s'agit de quantités physiques : par exemple, 0,6 sera la quantité du bien industriel (par exemple nombre de machines) qu'il faut pour faire une unité du bien industriel ; 0,5 la quantité de service (par exemple en unité de temps) pour une unité du bien industriel. Un tel tableau est proche en simplifié du tableau entrées-sorties (TES) ou tableau de Léontief qu'établissent les comptes nationaux dans tous les pays. C'est en s'aidant de cet outil que procède l'INSEE (2022) dans la note citée pour calculer l'empreinte carbone du pays.

On lit dans la dernière colonne la demande directe en énergie (assimilable au scope 1) des deux entreprises pour leur production unitaire. Ici,  $d_i = 10$  et  $d_s = 6$ , avec l'indice  $i$  ou  $s$  selon l'entreprise, l'unité étant cette fois la tonne d'équivalent CO<sub>2</sub>.

Il y a désormais assez d'informations pour connaître immédiatement les contenus carbone directement et indirectement contenus dans chaque unité des deux biens, et, en multipliant par les quantités produites, le contenu total en carbone de chacun des biens vendus par les deux entreprises.

Le contenu total en carbone ou *facteur d'émission* du produit vendu par l'entreprise industrielle est désigné par  $q_i$ . Comptablement, c'est la somme de  $d_i = 10$ , sa consommation directe, plus 0,6 fois le contenu en carbone du produit industriel, inconnu à ce stade, plus 0,5 fois le contenu en carbone du produit de service, également inconnu. Il en va de même pour  $q_s$ , le contenu carbone du service produit par l'entreprise de service.

$q_i$  et  $q_s$  obéissent aux relations comptables suivantes :

$$\begin{cases} q_i = d_i (= 10) + 0,6q_i + 0,5q_s \\ q_s = d_s (= 6) + 0,2q_i + 0,2q_s \end{cases}$$

Ces deux équations permettent de déterminer les contenus directs et indirects en carbone d'une unité des biens produits par les deux entreprises :  $q_i = 50$  et  $q_s = 20$ , contenus carbone ou *facteurs d'émission* mesurés en tonnes de carbone par unité de bien.

D'une manière générale, dans une économie à  $n$  biens, la comptabilité carbone de l'entreprise ou secteur  $i$  s'écrit :

$$q_i = d_i + a_{1,i}q_1 + a_{2,i}q_2 + \dots + a_{j,i}q_j + \dots + a_{n,i}q_n.$$

En appelant  $A$  la matrice  $n \times n$  des coefficients  $[a_{j,i}]$ , tous positifs ou nuls, on note plus efficacement :

$q = d + Aq$ , qui donne la solution pour les contenus carbone de chaque bien de l'économie, les vecteurs  $q$  et  $d$  figurant les  $n$  contenus totaux ( $q$ ) et directs ( $d$ ) en carbone. On a :

$$q = (I - A)^{-1}d, \text{ où } I \text{ est la matrice unité.}$$

On montre, sous des conditions assez larges<sup>1</sup>, qu'il existe une solution avec  $q > d$ .

On a donc le résultat n°1 annoncé :

**1. Les contenus carbone de tous les biens et services sont en théorie calculables dans l'immédiat.**

Il faut montrer à présent qu'il suffit de disposer de l'information partielle des contenus directs en carbone (ceux qui sont une production primaire ou qui sont immédiatement disponibles par l'entreprise), c'est-à-dire des quantités  $d$  de la formalisation précédente, pour faire le calcul. Il y a convergence du processus itératif.

---

<sup>1</sup> L'économie doit être « productive », c'est-à-dire les consommations intermédiaires sont inférieures à la production brute de chaque branche. Techniquement, la matrice  $A$ , à coefficients positifs ou nuls, doit avoir des valeurs propres inférieures à 1. On note la similitude du problème avec celui du calcul du contenu en temps de travail des biens dans la théorie de la valeur-travail de Ricardo ou de Marx, ce qui montre au passage, selon un résultat dû à Okishio et Morishima, et pressenti par Sraffa, qu'on peut avoir des valeurs travail comme des valeurs carbone ou de tout autre bien, sous la condition d'une économie productive.

Ces contenus directs sont répercutés en aval à leurs clients. Au terme de ce cycle de production, chaque entreprise dispose alors non seulement de sa consommation directe, mais de celle des fournisseurs qui la précèdent immédiatement. Formellement, à l'aide du tableau entrées-sorties  $A$ , les entreprises déclarent donc  $d$ , le contenu direct, plus  $Ad$ , les contenus carbone des biens des fournisseurs de rang 1.

Par le même raisonnement, les entreprises connaîtraient au cycle suivant les consommations directes des fournisseurs de rang 1 et de rang 2, soit :  $d + Ad + A^2d$ . On s'approcherait ainsi, au bout d'un certain nombre de cycles, des vrais contenus carbone, sachant que :

$d + Ad + A^2d + \dots + A^t d$  tend vers  $(I - A)^{-1}d = q$  lorsque le nombre de périodes  $t$  s'accroît.

On a donc montré le résultat n°2 annoncé plus haut :

2. Le processus itératif est convergent, même si les entreprises ne transmettent initialement que le contenu carbone direct de leurs intrants.

Comme on l'a vu précédemment, on converge beaucoup plus vite si chaque entreprise qui en a les moyens inscrit dans ses factures, en sus du contenu direct, une estimation d'expert du coût indirect. Progressivement, les entreprises retiendront, plutôt que leurs estimations, les coûts déclarés par leurs fournisseurs.