

L'empreinte carbone

Mesure des émissions totales de gaz à effet de serre d'une activité :

- **Émission directe** : ressources et combustibles consommés par l'activité elle-même.
- **Émission indirecte** : production et transport des biens et services consommés.
- **Infrastructures** : construction, entretien et fin de vie des équipements nécessaires à ces activités.
- **Traitement des déchets** : émissions issues de la gestion et de la décomposition des déchets.



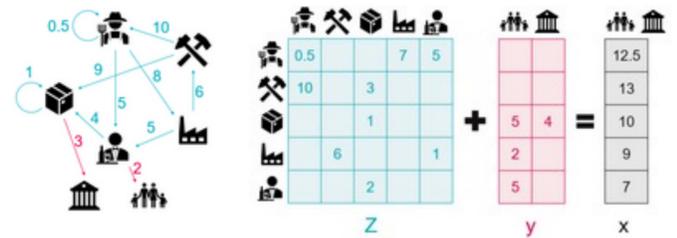
L'analyse entrée-sortie

Les Tableaux Entrée-Sortie (TES) décrivent les flux de marchandises et monétaires d'un secteur à l'autre. L'analyse est basée sur :

- l'économie est considérée comme un système fermé
- la division sur les différents secteurs de production et les différents acteurs
- la production des différents secteurs et les flux entre ces secteurs
- On peut avec cette méthode, on peut calculer la production et donc l'empreinte carbone

On peut donc calculer l'empreinte carbone de l'économie grâce à plusieurs matrices :

- On introduit la matrice A telle que $Z = Ax$ représentant les coefficients de production entre secteurs
- L'inverse de Léontief L
- La matrice S qui nous donne l'empreinte carbone pour la production d'une unité

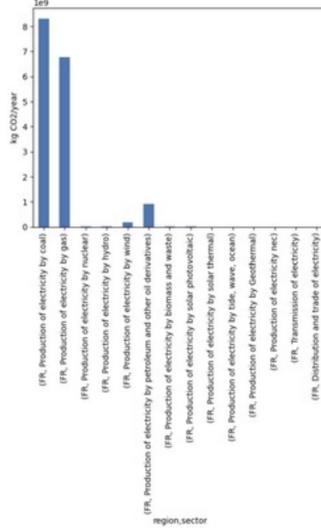


$$L(A) = \sum_{i=1}^{+\infty} A^i = (I_n - A)^{-1}$$

On en déduit l'empreinte carbone par secteur de consommation: SLy

Empreinte directe

L'empreinte directe correspond aux émissions de GES générés directement par le cycle de vie du solaire photovoltaïque en France, sans inclure les impacts indirects liés à la supply chain ou au transport. Dans ce domaine là, le photovoltaïque ne produit que très peu de CO2 par rapport aux autres types de production d'énergie.



CHIFFRES CLÉS EN FRANCE:

- Sur une année, le photo-voltaïque produit **100 fois moins** de kg eq CO2 que le **charbon** (800g eq CO2/kWh) ou le **gaz** (400g eq CO2/kWh).
- Le photovoltaïque occupe une part de **5%** dans la production d'électricité française en 2024.
- Le **photovoltaïque** en France c'est **moins de 1g** de CO2 par kWh produit (entretien).



Au niveau mondial, les plus grands pays producteurs d'électricité sont les **États-Unis** et l'**Inde**. Un pays très important dans l'industrie du photo-voltaïque est la **Chine**. Il est donc intéressant de regarder le mix énergétique de ce pays.



REGAUM	DESCRIP	
CN	Production of electricity by coal	3.543839e+08
	Mining of coal and lignite; extraction of peat (10)	1.167143e+08
	Financial intermediation, except insurance and pension funding (65)	5.577523e+07
	Other business activities (74)	3.763206e+07
	Manufacture of electrical machinery and apparatus n.e.c. (31)	3.542286e+07
Name: (CN, Production of electricity by coal), dtype: float64		

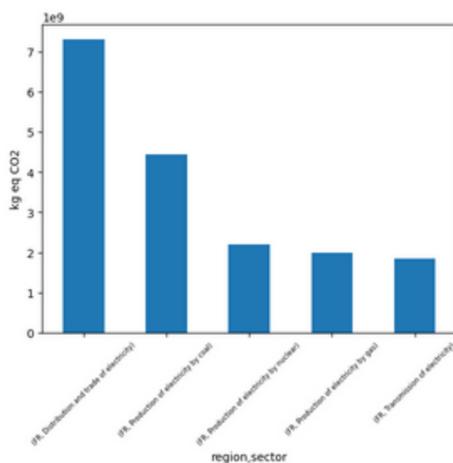


La **Chine** exporte l'écrasante **majorité** des panneaux solaires du **monde entier**, donc il est intéressant de comprendre comment sont comptabilisées ces émissions

Empreinte totale

Les émissions directes annuelles d'un secteur de l'économie ne prennent pas en compte les potentielles **délocalisations de GES** (dans d'autres pays, peut cacher l'existence de **sources d'émission annexes** en France, et **ne reflète pas l'impact environnemental sur le cycle de vie total** des achats (notamment concernant les matériaux). L'étude doit être davantage poussée.

- Par exemple, les émissions directes du photovoltaïque ne mesurent pas l'impact de la **distribution d'électricité, qui est pourtant la 1ère source de GES en France** (voir ci-contre).
- Jusqu'à présent, nous nous sommes penchés sur le CO2 émis. En réalité, l'impact peut être calculé selon une 2ème méthode plus réaliste. C'est l'approche **par consumption-based account (CBA)**, qui reflète le CO2 délocalisé à l'étranger et élimine le CO2 produit pour d'autres pays.



Ceci se résume par le calcul ci-dessus.

$$m_{CO_2} = m_{produit} + m_{import} - m_{export}$$

Conclusions et limites

L'étude des impacts directs peut être utile pour mettre en exergue le caractère "propre" de l'énergie photovoltaïque lors de la production d'électricité à proprement parler. Toutefois, cette approche est trop limitée et n'illustre pas l'impact global du secteur sur l'ensemble de la planète, d'où la nécessité de mettre en avant une approche par CBA.

Celle-ci n'est pas non plus parfaite et possède des limites importantes.

- On travaille en M€, et non pas en unités physiques. Ceci peut poser un problème, car l'électricité n'est pas achetée au même prix par les industriels et les particuliers.
- On est dépendant du prix du panneau, alors que les émissions sont liées aux flux physiques.
- De plus, de nombreux secteurs génèrent plusieurs produits : les émissions liées à ces produits sont souvent calculées en fonction de leur prix de vente, ce qui ne reflète pas nécessairement la masse vendue (car les produits ont des prix distincts).

Impact global du M€ de photovoltaïque produit en France

Étant donné une demande finale (Y) dans le pays, la matrice de Leontief permet de calculer l'impact total du photovoltaïque (D). Il suffit de **générer une demande fictive de 1M€** pour du photovoltaïque et de **multiplier par les coefficients d'impact (C,S)** obtenus par CBA.

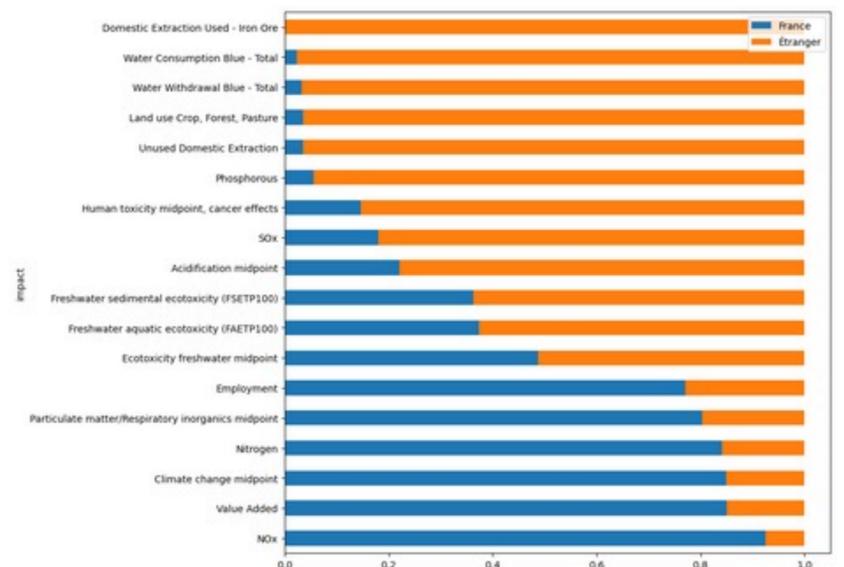
$$D = CSLY$$

Ceci donne des émissions de cycle de vie (pour 1M€) de :

- **1,12e6 kg eq CO2 en France:**
- **contre 1,26e6 kg eq CO2 en Chine.**

D'où l'intérêt de produire au niveau national.

Diagramme de la répartition des impacts par catégorie



On observe que la **valeur ajoutée du photovoltaïque français a surtout lieu en France, alors que les impacts sont surtout réalisés à l'étranger**. Une grande partie de l'écotoxicité est réalisée à l'étranger.

