

Chapitre 2 : mesurer les émissions

La transition en chiffres — L3

Malka Guillot

Université Grenoble Alpes

Séance 2 — Mesurer les émissions.

Le corpus d'aujourd'hui

- Insee, *Émissions de gaz à effet de serre et empreinte carbone de la France en 2023* (Insee Première)
- Our World in Data, *Who has contributed most to global CO2 emissions?*
- Our World in Data, *How do CO2 emissions compare when we adjust for trade?*

Séance 2 — Mesurer les émissions.

Plan du cours

1. Mesurer les émissions
2. Émissions de quoi ? Différents GES
3. Évolution des émissions dans le monde
4. Émissions et commerce international
5. Émissions et empreinte carbone en France
6. Conclusion

Annexes

1. Empreinte carbone individuelle
2. Bilan carbone d'une entreprise

Mesurer les émissions

Deux façons de mesurer les GES

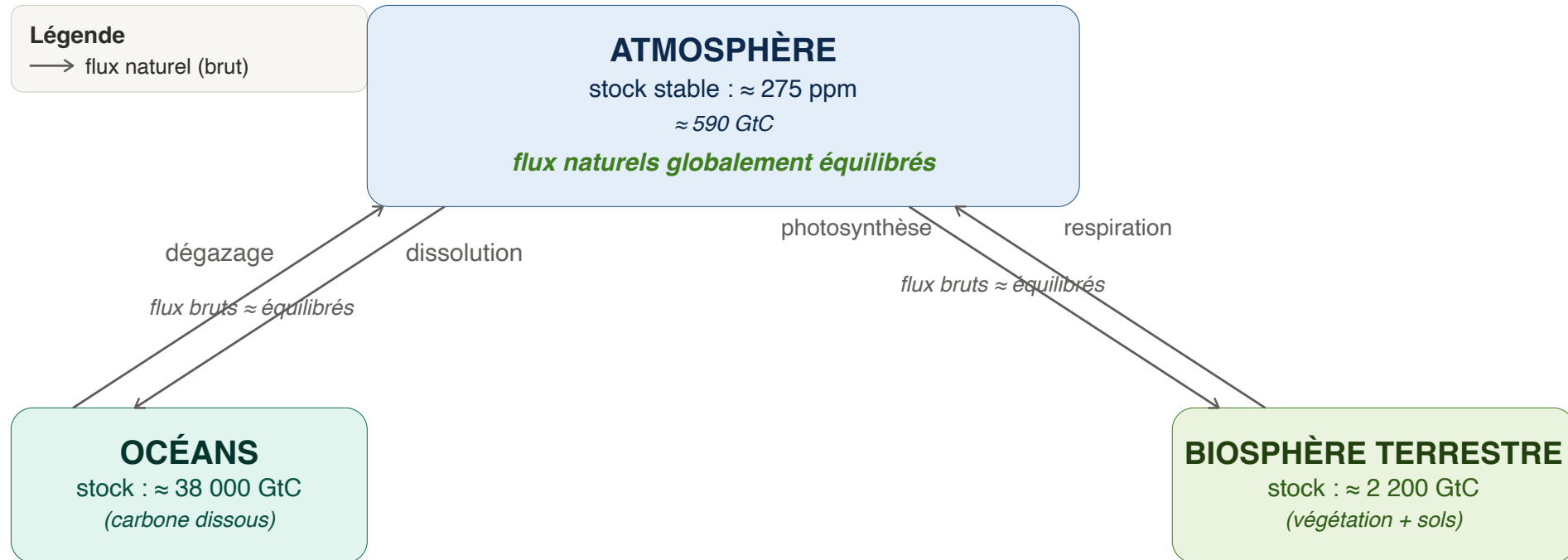
1. **Concentration atmosphérique** : CO₂ en **ppm** (parties par million), CH₄ et N₂O en **ppb** (parties par milliard).

- Stock

2. **Émissions** (un flux annuel) : en **tonnes-équivalent CO₂**.

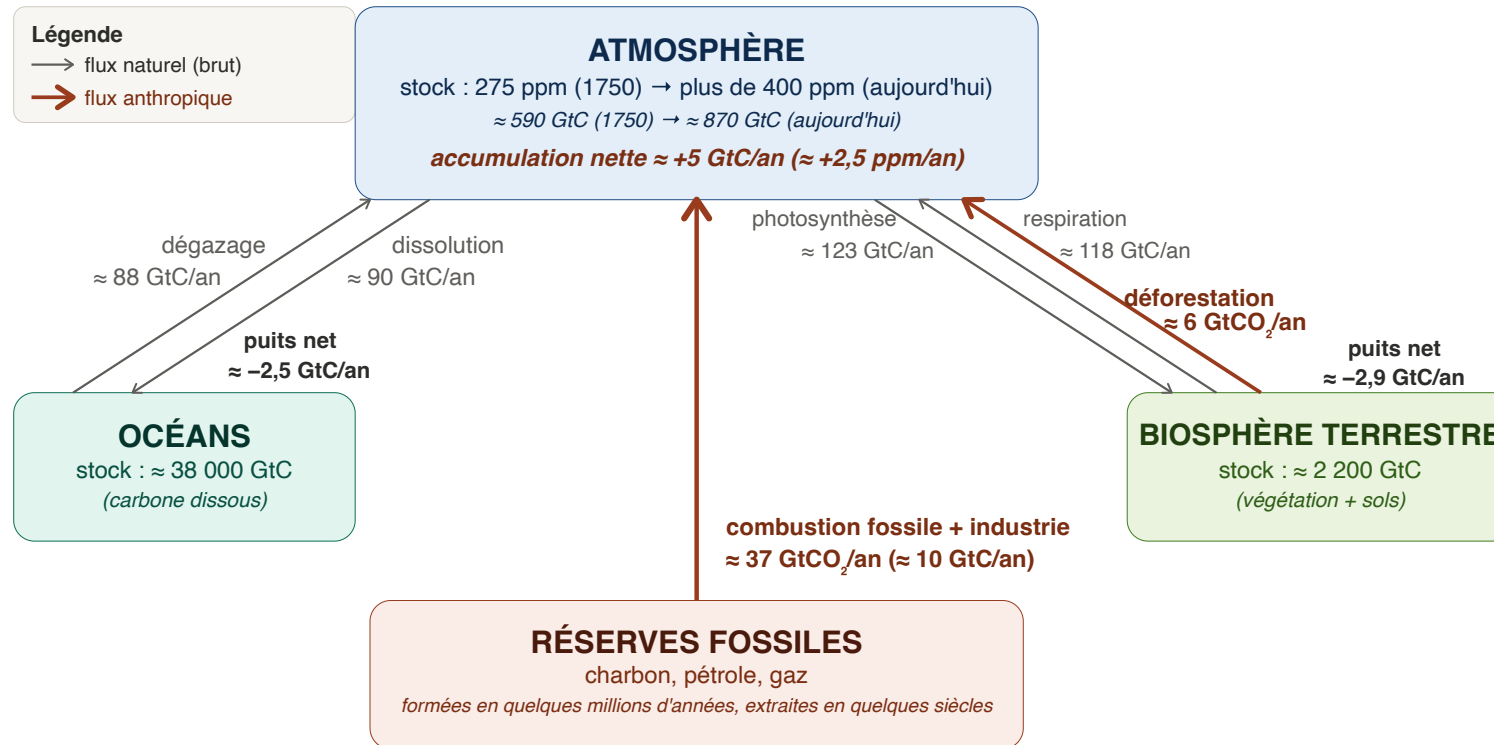
- flux
- Les émissions anthropiques mondiales sont passées de **38 GtCO₂-eq en 1990 à 59 GtCO₂-eq en 2019**.

Cycle du carbone (1/2) — à l'équilibre préindustriel



Ordres de grandeur : Global Carbon Project, GIEC AR6 GT1 ch. 5 (Schéma simplifié)

Cycle du carbone (2/2) — le déséquilibre anthropique



Ordres de grandeur : Global Carbon Project, GIEC AR6 GT1 ch. 5 (Schéma simplifié)

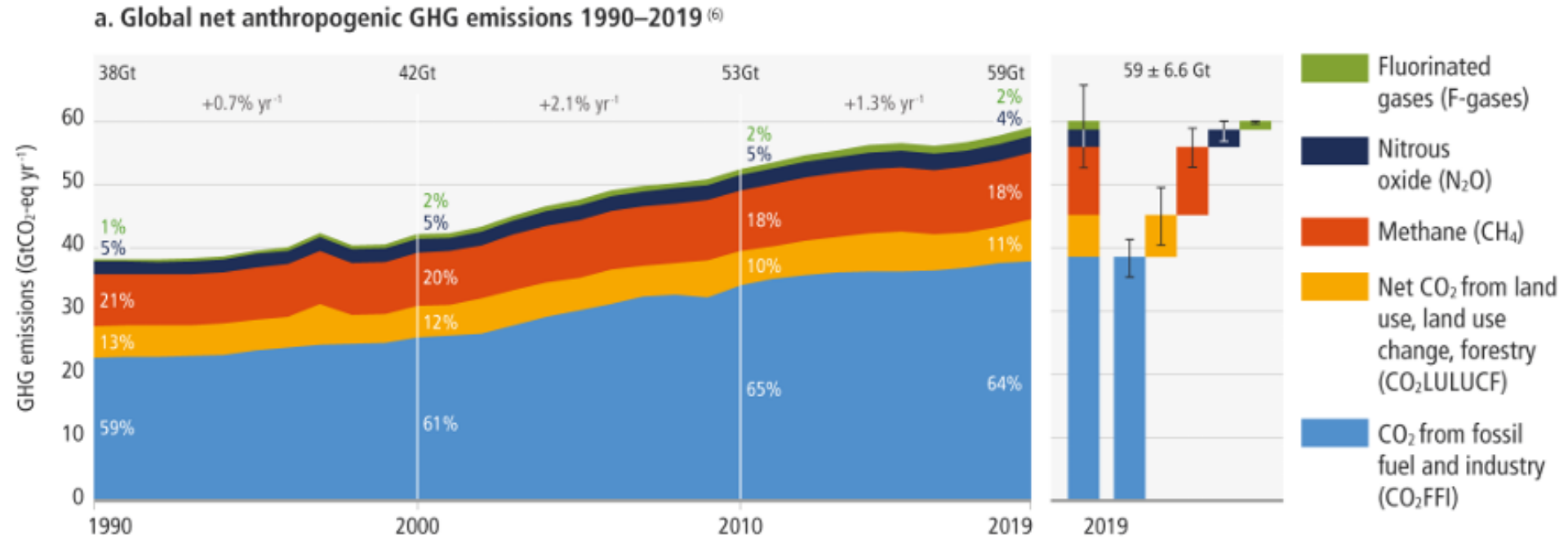
Objectif de zéro émission nette

Le déséquilibre créé par les activités humaines $\Rightarrow$ **jusqu'où faut-il réduire les émissions ?**

- Chaque année, seule **la moitié** du CO₂ émis est réabsorbée par les puits naturels (océan, végétation).
- **L'autre moitié s'accumule** dans l'atmosphère :
 - tant que le **flux** d'émissions reste positif, le **stock** continue d'augmenter'.

$\Rightarrow$ Seul un flux net **nul** stabilise le stock : c'est l'objectif de **zéro émission nette**.

[flux] Evolution des émissions mondiales par type de gaz



Émissions anthropiques mondiales par type de gaz, 1990-2019

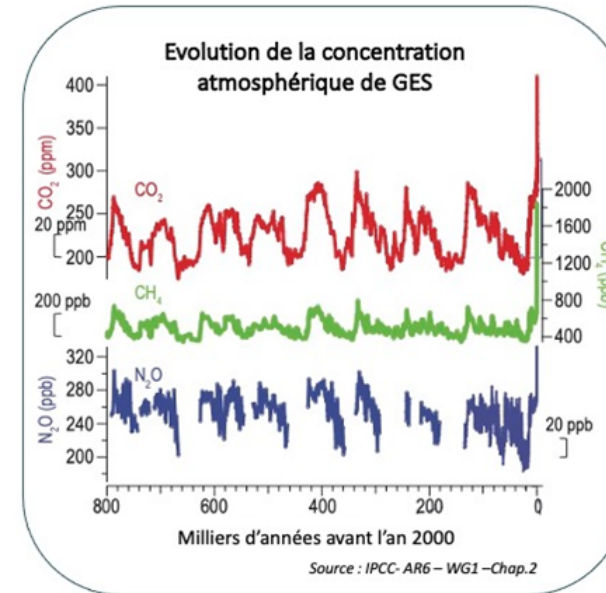
Source : GIEC, 6^e rapport (2022), GT 3, résumé pour décideurs

[Stock] Concentration atmosphérique de CO₂

Estimer les concentrations passées

Les scientifiques utilisent des **archives naturelles** :

- stalactites,
- sédiments marins
- **calottes glaciaires** (ex. carottes de Vostok).

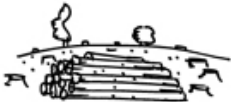
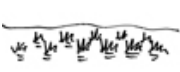
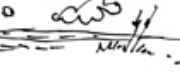


Source : GIEC, 6^e rapport (2022), GT 1, chap. 2

Émissions de quoi ? Comparer les différents gaz à effet de serre

Les différents gaz à effet de serre et leurs origines anthropiques

LES PRINCIPAUX GAZ À EFFET DE SERRE ET LES ACTIVITÉS HUMAINES QUI EN SONT RESPONSABLES

ACTIVITÉS	GAZ À EFFET DE SERRE
 Gaz d'échappement  Combustion du pétrole et du charbon  Déforestation	CO ₂ = gaz carbonique
 Rizières  Marais  Décharges  Elevage (déjections)	CH ₄ = méthane
 Bombes d'aérosols  Réfrigérateurs	CFC
 Véhicules à moteur  Solvants ménagers et industriels	O ₂ = ozone
 Engrais en agriculture   Processus de combustion	N ₂ O = protoxyde d'azote

Pourquoi comparer ?

Prendre des décisions — comme individu, entreprise ou État — suppose de pouvoir arbitrer entre des choix hétérogènes.

Manger un steak, ou rouler 10 km en voiture : qu'est-ce qui est pire ?

Répondre suppose une **unité commune**.

Et contrairement à un polluant comme le SO_2 (pluies acides *locales*), les GES sont redistribués dans le monde entier en moins d'un an :

Comparer leur effet a du sens quel que soit le lieu d'émission

Deux paramètres caractérisent un GES

- Le **temps de résidence** = durée moyenne de présence dans l'atmosphère :
 - CO₂ : moitié en 100 ans, l'autre moitié pouvant durer des milliers d'années
 - CH₄ : ~ 12 ans
 - N₂O : 121 ans
 - Halocarbures : plusieurs milliers d'années
- La **puissance** (pouvoir réchauffant) = capacité à capter le rayonnement infrarouge terrestre, indépendamment de la durée de résidence
 - à quantité égale, certains gaz réchauffent bien plus que d'autres.

Le Potentiel de Réchauffement Global (PRG)

Le PRG combine puissance instantanée **et** temps de résidence pour **mesurer le pouvoir réchauffant d'un gaz sur une durée donnée :**

$$\text{PRG}(\text{gaz}, \text{durée}) = \frac{\text{réchauffement d'1 kg de gaz sur la durée}}{\text{réchauffement d'1 kg de CO}_2 \text{ sur la même durée}}$$

Par construction, **PRG(CO₂) = 1.**

Pour les autres gaz, Le choix de l'horizon n'est pas neutre :

GES	PRG - 20 ans	PRG - 100 ans	PRG - 500 ans
CO2	1	1	1
CH4-fossile	82.5	29.8	10
N2O	273	273	130
HFC-32	2690	771	220

PRG des principaux gaz à effet de serre

Source : GIEC, 6^e rapport, Groupe de travail 1, chapitre 7, tableau 7.15

Propriétés des GES

Gaz	Temps de résidence	Pouvoir réchauffant (PRG, 100 ans)
CO₂	milliers d'années	1 (référence)
CH₄ (méthane)	quelques décennies	~ 28-30
N₂O (protoxyde d'azote)	~ 100 ans	~ 270
Halocarbures (HFC, CFC...)	plusieurs milliers d'années	de quelques centaines à > 20 000

Source PRG : GIEC, 6^e rapport (2021), GT1, chap. 7, tableau 7.15 (horizon 100 ans)

La tonne équivalent CO_2 ($\text{tCO}_2\text{-eq}$)

L'accord de Paris (COP 21, 2015) retient le **PRG à 100 ans** comme standard international de suivi des objectifs de réduction.

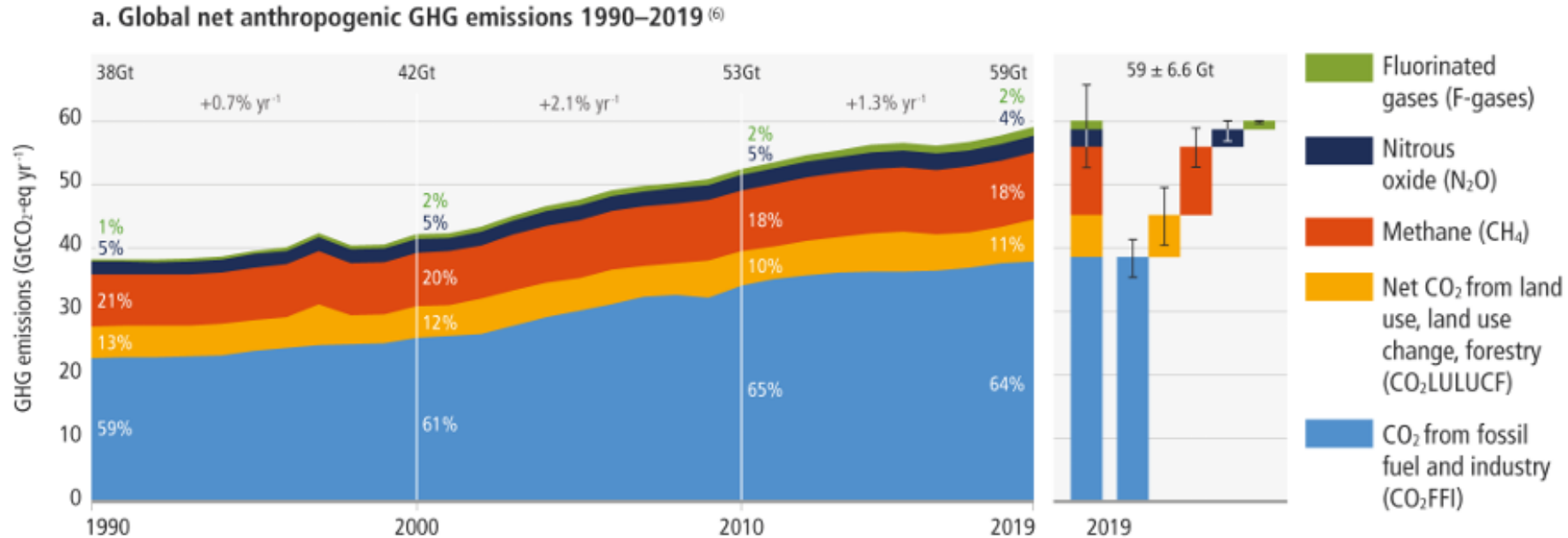
$\text{tCO}_2\text{-eq}$ = masse de CO_2 qu'il faudrait émettre pour produire le même réchauffement à 100 ans qu'une tonne du gaz considéré :

$$\text{masse de } \text{CO}_2\text{-eq} = \text{masse de gaz émis} \times \text{PRG}(\text{gaz}, 100 \text{ ans})$$

Exemples :

- 1 tonne de $\text{CH}_4 \rightarrow 29,8 \text{ tCO}_2\text{-eq}$
- 1 tonne de $\text{N}_2\text{O} \rightarrow 273 \text{ tCO}_2\text{-eq}$

Qui émet quoi, dans le monde ?



Émissions anthropiques mondiales par type de gaz, 1990-2019

Le CO₂ (combustion d'énergies fossiles + déforestation) domine largement, suivi du CH₄ puis du N₂O.

Source : GIEC, 6^e rapport (2022), Groupe de travail 3, résumé pour décideurs

Question posée par le corpus

- Comment mesurer les émissions de GES en historique ? [1]
 - Données observationnelles et reconstruction.
- Comment attribuer les émissions de GES à un pays ? [2] [3]
 - Guideline GIEC : inventaire national des émissions territoriales
- Qui est responsable des émissions de GES ?
 - historiquement ? [1]
 - aujourd'hui ? [2] [3]

1 OWID, *Who has contributed most to global CO2 emissions?* — 2 OWID, *How do CO2 emissions compare when we adjust for trade?* — 3 Insee, *Émissions de GES et empreinte carbone de la France en 2023*

Evolution des émissions dans le monde

[Context] À l'échelle des pays : les émissions territoriales

Le cadre légal international impose un inventaire annuel des GES aux pays signataires :

- **Convention-cadre de l'ONU sur les changements climatiques** (CCNUCC, Rio 1992)
- **Protocole de Kyoto** (1997) : obligation de déclaration pour les pays de l'Annexe 1, selon la méthodologie du GIEC

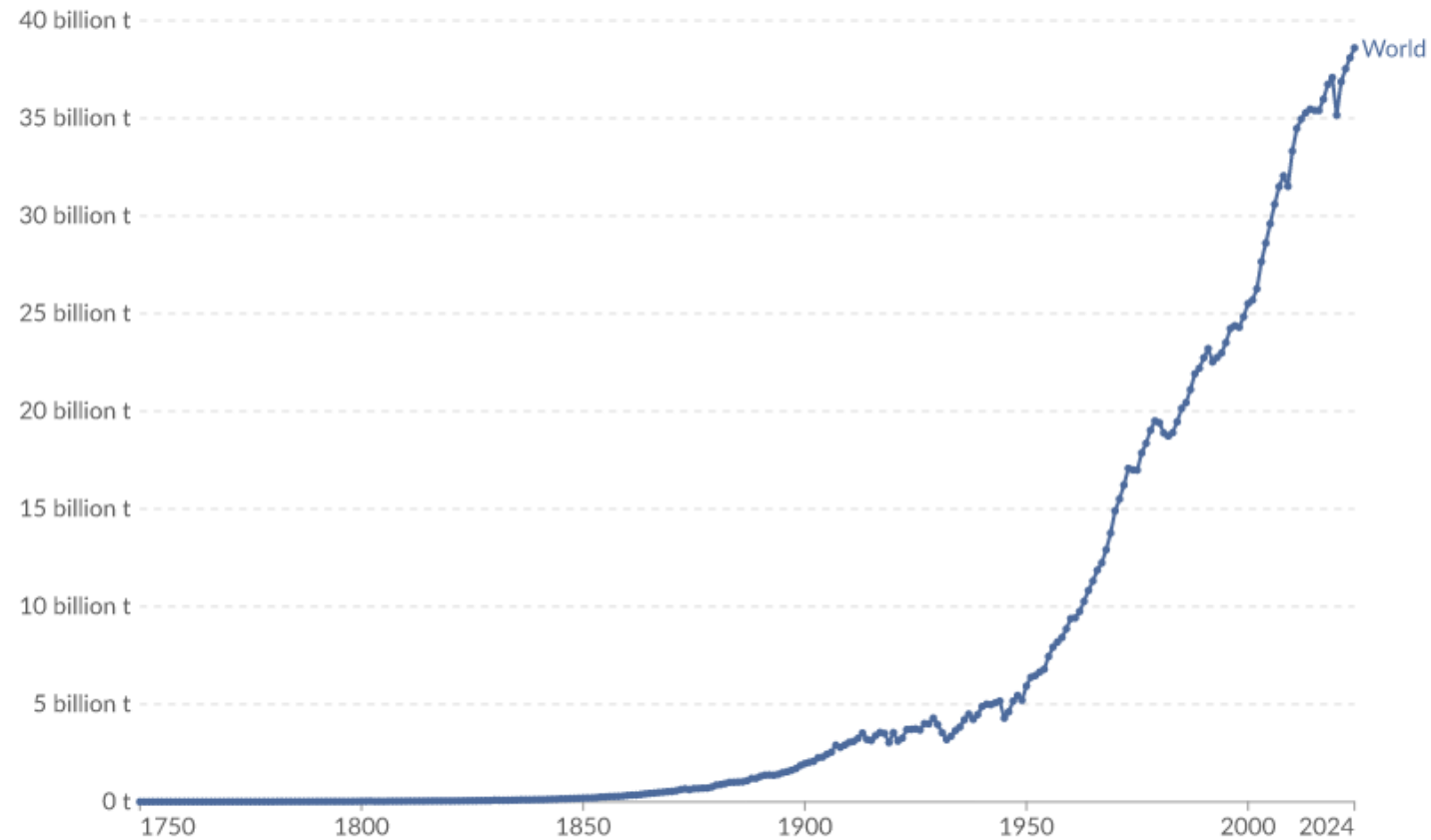
Ces inventaires portent sur les **émissions territoriales** : celles qui ont physiquement lieu à l'intérieur des frontières du pays.

Evolution annuelle des émissions mondiales

Annual CO₂ emissions

Our World
in Data

Carbon dioxide (CO₂) emissions from fossil fuels and industry. Land-use change emissions are not included.



Data source: Global Carbon Budget (2025)

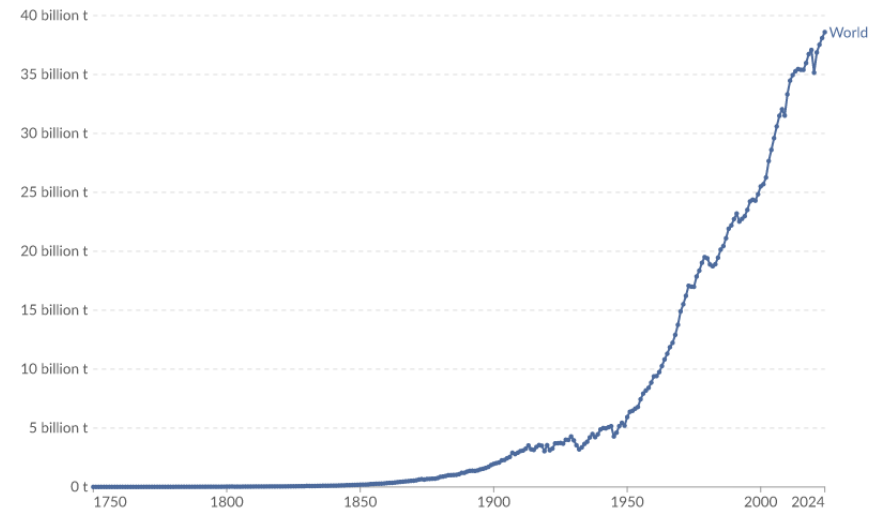
OurWorldinData.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions | CC BY

Evolution annuelle des émissions mondiales

- Comment se partagent les responsabilités entre pays aujourd'hui ?
- Comment se répartissent les émissions mondiales annuelles de CO₂ entre pays et régions ?
- Au total, qui a le plus contribué aux émissions de CO₂ depuis le début de l'ère industrielle ?

Annual CO₂ emissions

Carbon dioxide (CO₂) emissions from fossil fuels and industry. Land-use change emissions are not included.



Data source: Global Carbon Budget (2025)

OurWorldinData.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions | CC BY

D'où viennent ces données ? Le Global Carbon Project

Post 1959 : Observation

- *Données observationnelles*, collectées par les agences nationales et compilées par le **Global Carbon Project** (GCP) dans le *Global Carbon Budget*. $\Rightarrow$ statistiques officielles de combustibles

Pre 1959 : Reconstruction

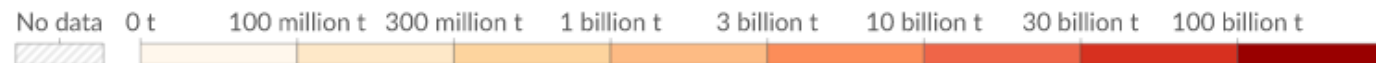
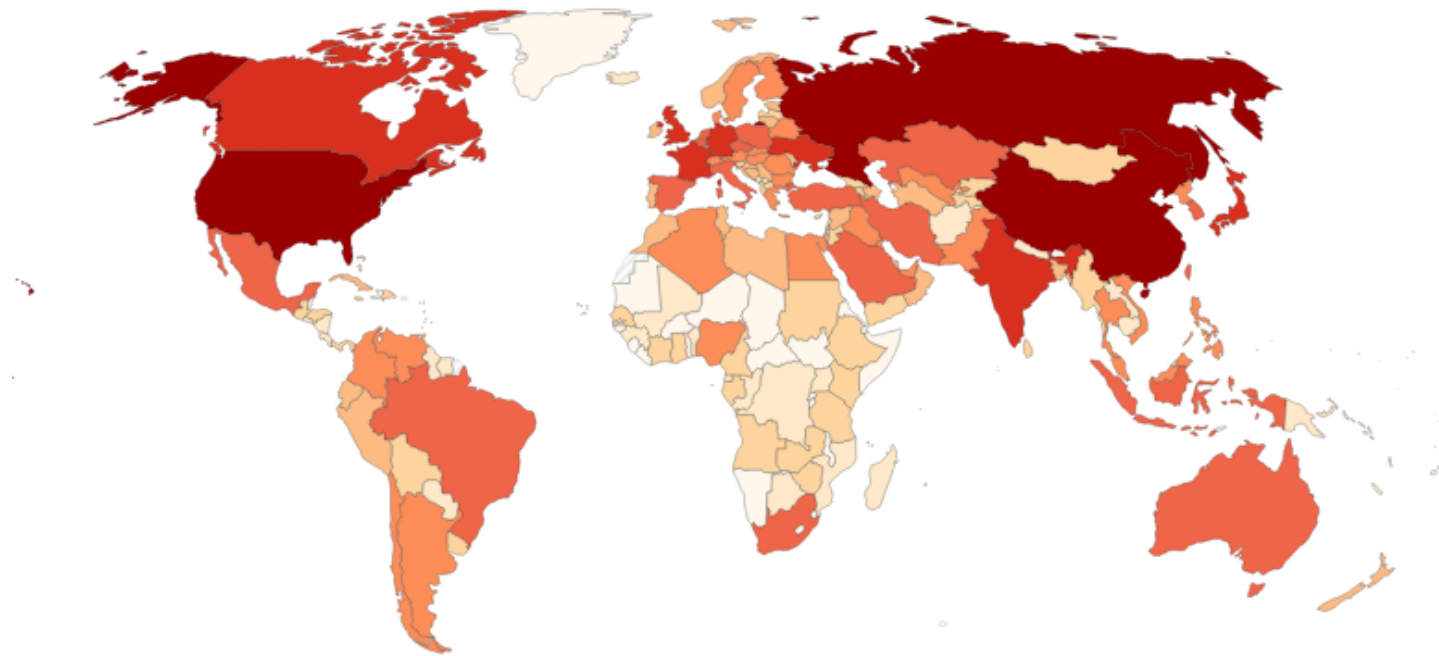
- Formule : quantité de combustible brûlé $\times$ contenu en carbone $\times$ fraction oxydée
 - Contenu en carbone & fraction oxydée : connus et stables dans le temps
 - Pour estimer la quantité de combustible brûlé, on utilise les archives historiques du commerce et de la production de combustibles fossiles (Andres et al. 1999 ; Etemad et al. 1998) $\rightarrow$ incertitude qui dépend de la qualité des archives, et qui se dégrade à mesure qu'on remonte dans le temps.

Géographie des émissions cumulées

Cumulative CO₂ emissions 2024

Running sum of CO₂ emissions produced from fossil fuels and industry since the first year of recording, measured in tonnes. Land-use change emissions are not included.

Our World
in Data



Data source: Global Carbon Budget (2025)

OurWorldinData.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions | CC BY

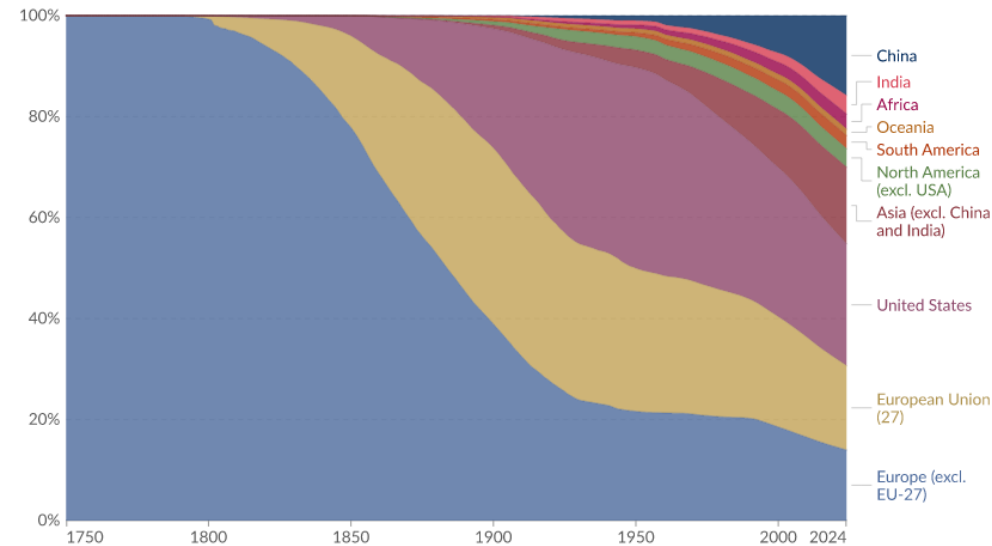
Evolution des émissions cumulées

Comment se répartissent les 1500 Gt de CO₂ émis depuis 1750 ?

Cumulative CO₂ emissions by world region

Cumulative carbon dioxide (CO₂) emissions by region from the year 1750 onwards. This measures CO₂ emissions from fossil fuels and industry only. Land-use change emissions are not included.

Our World
in Data



Data source: Global Carbon Budget (2025)

OurWorldinData.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions | CC BY

Part des émissions cumulées mondiales de CO₂, par pays/région

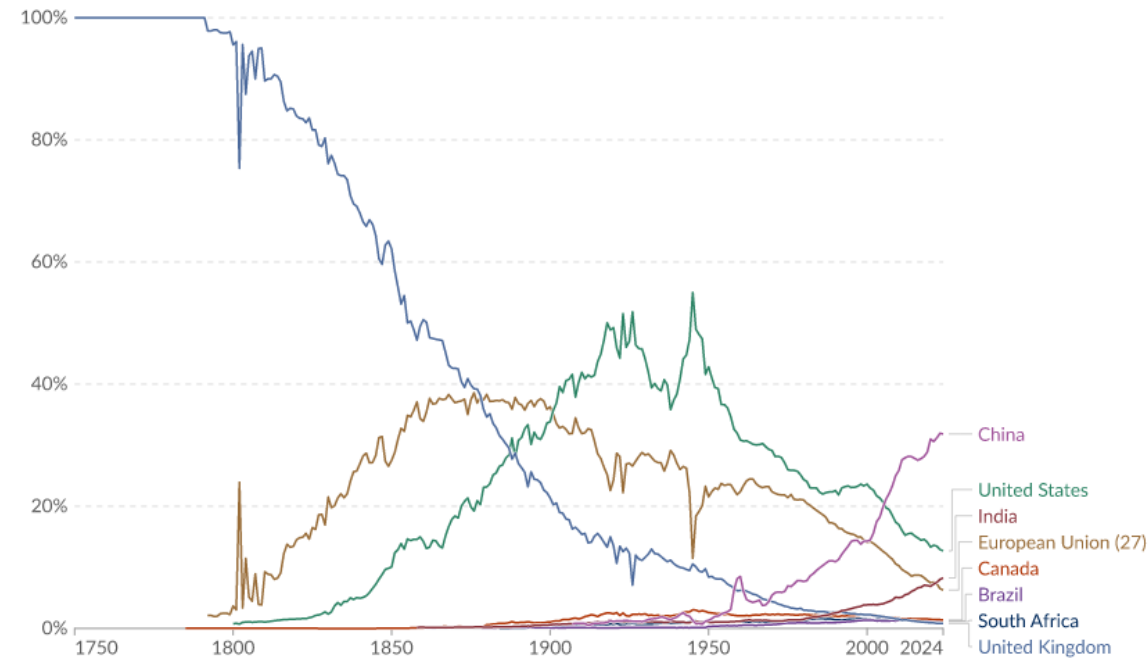
Source : Our World in Data, *Who has contributed most to global CO₂ emissions?* (Global Carbon Budget)

Responsabilité historique vs émissions annuelles actuelles

Share of global CO₂ emissions

Carbon dioxide (CO₂) emissions from fossil fuels and industry. Land-use change emissions are not included.

Our World
in Data



Data source: Global Carbon Budget (2025)

OurWorldinData.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions | CC BY

Part des émissions annuelles mondiales de CO₂, par pays/région

Source : Our World in Data, *Annual share of global CO₂ emissions* (Global Carbon Budget)

Limite 1 : Empreinte carbone vs émissions territoriales

- L'**empreinte carbone** compte la totalité des émissions **induites** par la consommation d'un bien ou service
 - importations comprises, exportations exclues. Elle mesure la **dépendance carbone** d'une entité.
- L'**inventaire territorial** mesure ce qui se passe *physiquement* chez elle.

Enjeu de mesure : Délocaliser une production **baisse les émissions** du pays qui délocalise, sans rien changer à son empreinte : une partie de cette baisse n'est pas réelle.

Point de vue national

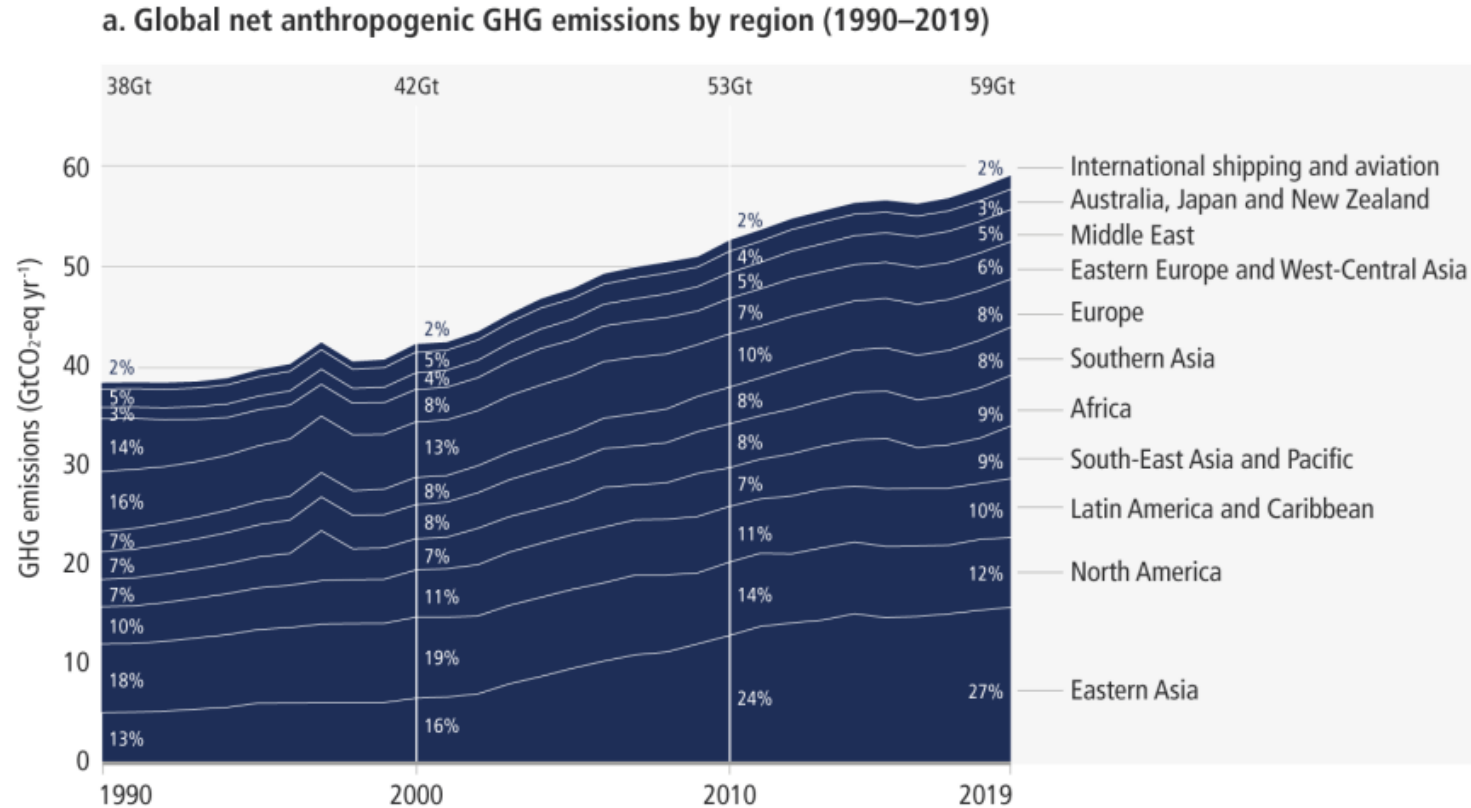
Insee Première n° 2023 (Baude & Larrieu, novembre 2024)

Point de vue international

Our World in Data, *How do CO2 emissions compare when we adjust for trade?*



Limite 2 : émissions de CO₂ vs. tous les GES



Émissions de GES dans le monde, par région

Source : GIEC, 6^e rapport (2022), Groupe de travail 3, résumé pour décideurs, p. 12

Émissions et commerce international

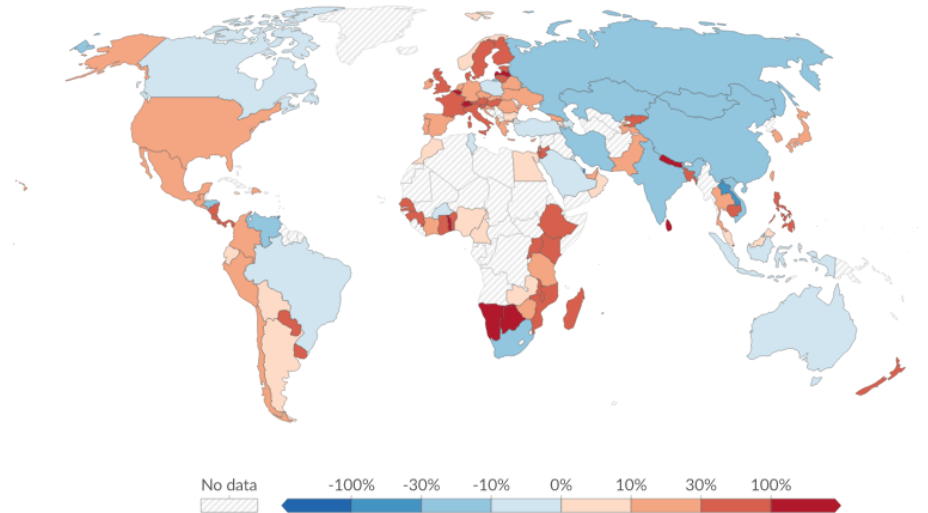
Une fracture géographique nette

Pays net importateurs vs. net exportateurs

Share of CO₂ emissions embedded in trade 2023

Exported or imported emissions as a percentage of domestic production emissions. Positive values (red) represent net importers of CO₂. Negative values (blue) represent net exporters of CO₂.

Our World
in Data



Data source: Global Carbon Budget (2025)

OurWorldinData.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions | CC BY

Émissions de CO₂ importées ou exportées, en % des émissions territoriales, 2023

Source : Our World in Data, *How do CO₂ emissions compare when we adjust for trade?* (Global Carbon Budget)

Mesurer l'empreinte carbone d'un pays

Pour un pays

$$\text{Empreinte carbone} = \text{émissions territoriales} + \text{émissions importées} \\ - \text{émissions exportées}$$

Au niveau mondial

$$\sum \text{Empreinte carbone} = \sum \text{émissions territoriales}$$

Limite

- L'empreinte carbone n'est modélisée avec précision que pour un sous-ensemble de pays.
- données de commerce bilatéral et sectorielles insuffisantes ailleurs $\Rightarrow$ ⚠ les zones grisées sur la carte.

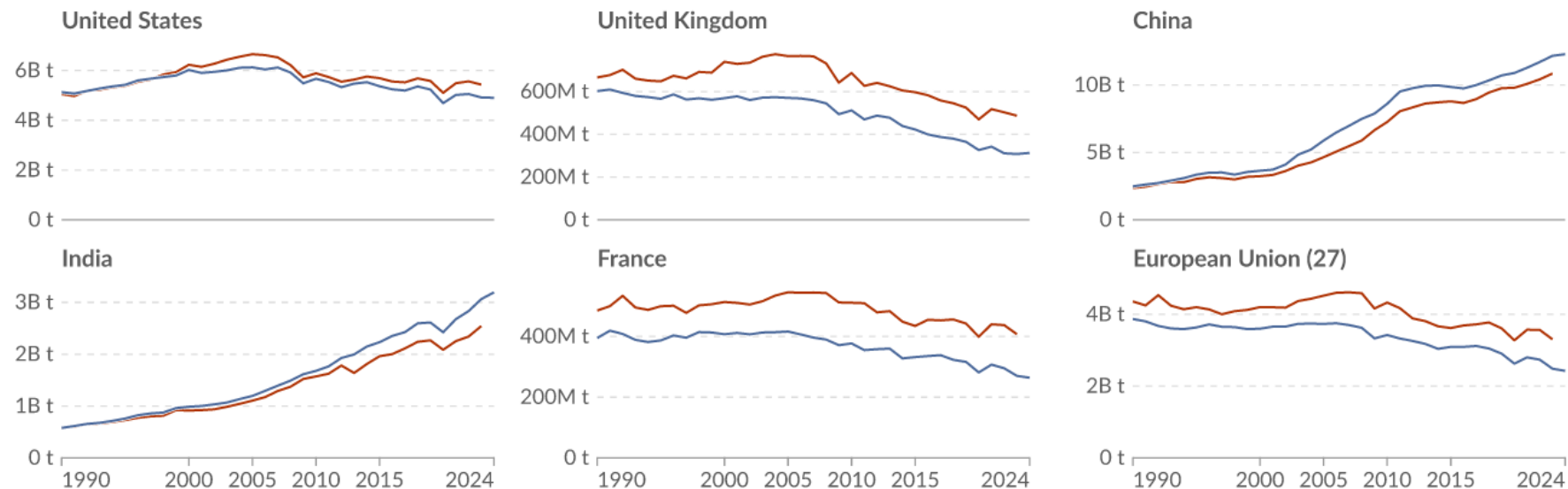
↓ émissions territoriales sont elles compensées par ↑ émissions importées ?

Territorial and consumption-based CO₂ emissions

Our World
in Data

Consumption-based emissions include those from fossil fuels and industry. Land-use change emissions are not included.

■ Territorial emissions ■ Consumption-based emissions



Data source: Global Carbon Budget (2025)

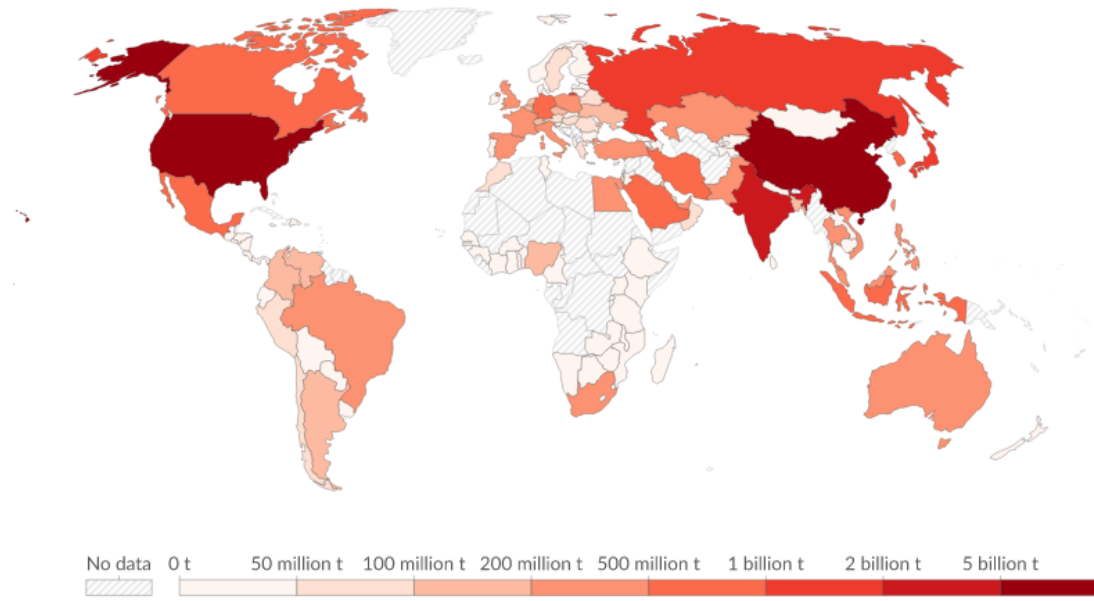
OurWorldinData.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions | CC BY

Empreinte carbone par pays

Consumption-based CO₂ emissions 2023

Consumption-based emissions include those from fossil fuels and industry. Land-use change emissions are not included.

Our World
in Data



Data source: Global Carbon Budget (2025)

OurWorldinData.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions | CC BY

Empreinte carbone (émissions basées sur la consommation), par pays, 2023

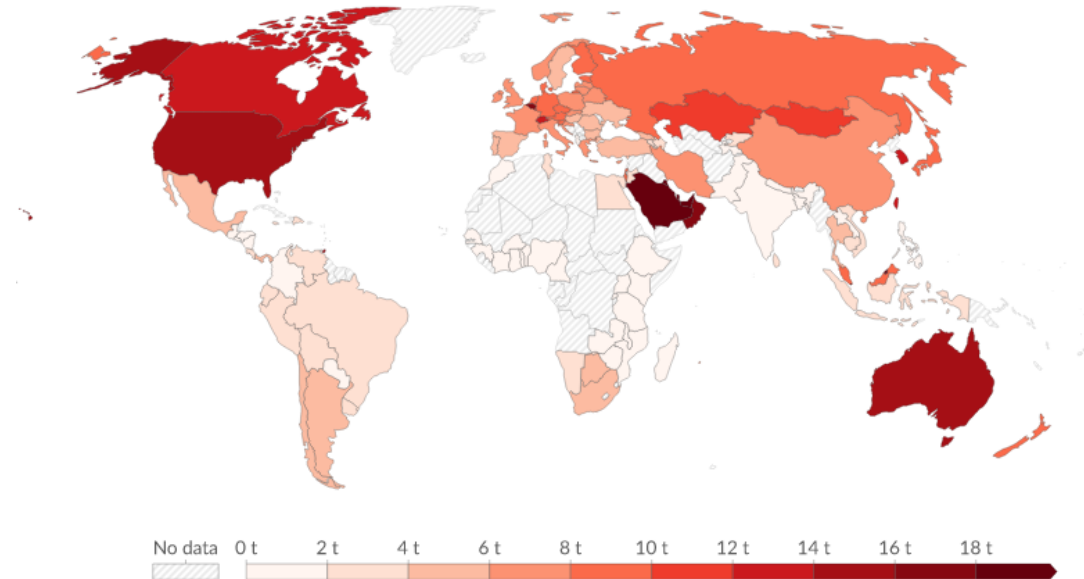
Source : Our World in Data, *Consumption-based CO₂ emissions* (Global Carbon Budget)

Empreinte carbone par habitant et par pays

Per capita consumption-based CO₂ emissions 2023

Our World
in Data

Consumption-based emissions are national emissions that have been adjusted for trade. It's production-based emissions minus emissions embedded in exports, plus emissions embedded in imports.



Data source: Global Carbon Budget (2025); Population based on various sources (2024)
OurWorldinData.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions | CC BY

Empreinte carbone par habitant, par pays, 2023

Source : Our World in Data, *Per capita consumption-based CO₂ emissions* (Global Carbon Budget)

À l'échelle de la France

Un point de vue institutionnel

Sources

Insee, Eurostat, Citepa, Douanes, OCDE

Calculs

Insee-SDES

Objectif de la note

Analyser les évolutions des émissions de GES en France à travers les deux perspectives : territoriale et empreinte selon l'angle de la comptabilité nationale.

Cuisine de comptabilité nationale [1/3]

1. Le principe de résidence

- Les émissions Insee (403 Mt) portent sur les **unités résidentes françaises**
 - ie. les entreprises et ménages français, où qu'ils se trouvent dans le monde.
- Un point de vue économique, plus large que la géographie
 - le transport aérien/maritime international d'une compagnie française compte pour la France même hors du territoire.

⇒ diffère légèrement de l'inventaire Citepa/SECTEN (373 Mt), qui comptabilise les émissions ayant physiquement lieu **sur le territoire**.

Cuisine de comptabilité nationale [2/3]

2. L'équilibre ressources-emplois

Demande finale intérieure = consommation finale (ménages, administrations) + investissement (FBCF) + variations de stocks

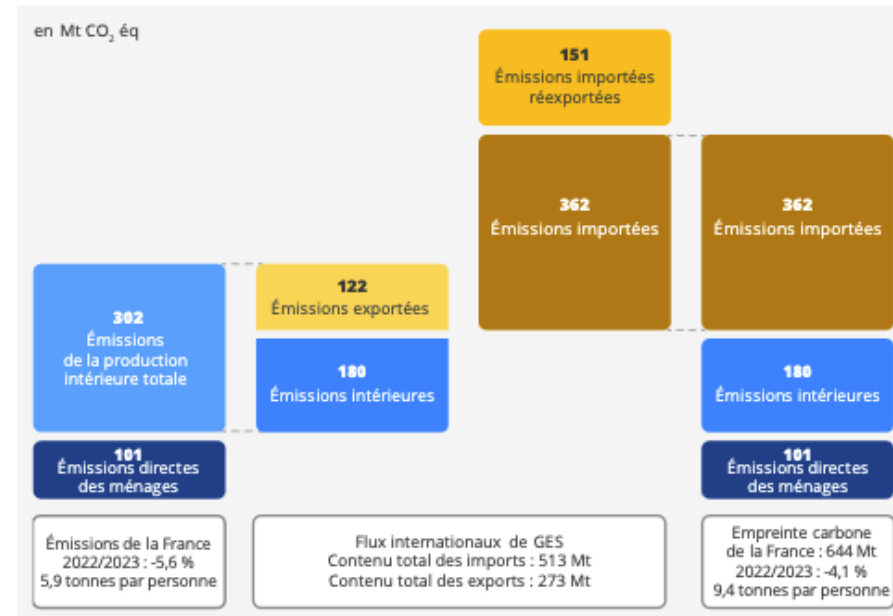
$$\begin{aligned} &\textbf{Production intérieure} + \textbf{Importations} \\ &= \textbf{Demande intérieure} + \textbf{Exportations} \end{aligned}$$

ressources vs **emplois**

ie. équilibre ressources-emplois similaire à :

$$\begin{aligned} &\textbf{émissions territoriales} + \textbf{émissions importées} \\ &= \textbf{empreinte carbone} + \textbf{émissions exportées} \end{aligned}$$

Émissions et empreinte carbone de la France en 2023



Source : Insee Première n° 2023 (Baude & Larrieu, novembre 2024)

Cuisine de comptabilité nationale [3/3]

3. Valeur ajoutée et intensité en GES

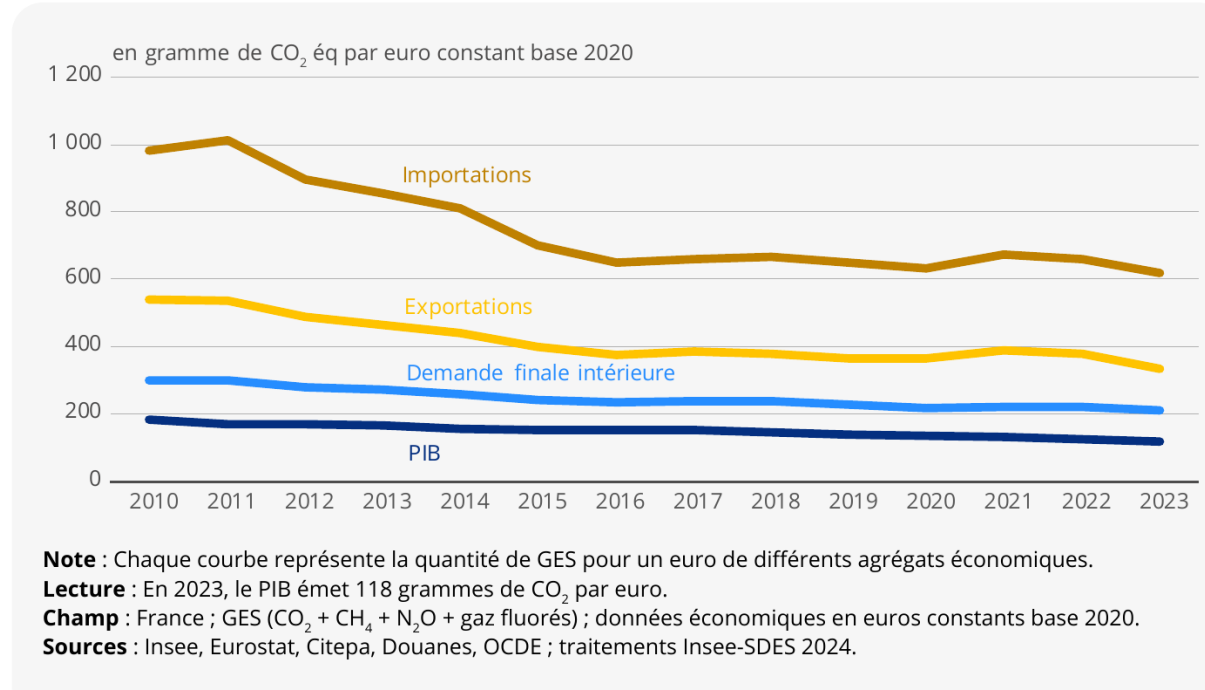
Valeur ajoutée (VA) = valeur de la production – consommations intermédiaires

$\Rightarrow \Sigma VA (+ \text{taxes} - \text{subventions}) = \mathbf{PIB}$

Intensité en GES = quantité de GES émise par euro (constant) d'un agrégat économique (PIB, importations, demande intérieure, exportations)

Intensité en GES du PIB, des importations et des exportations

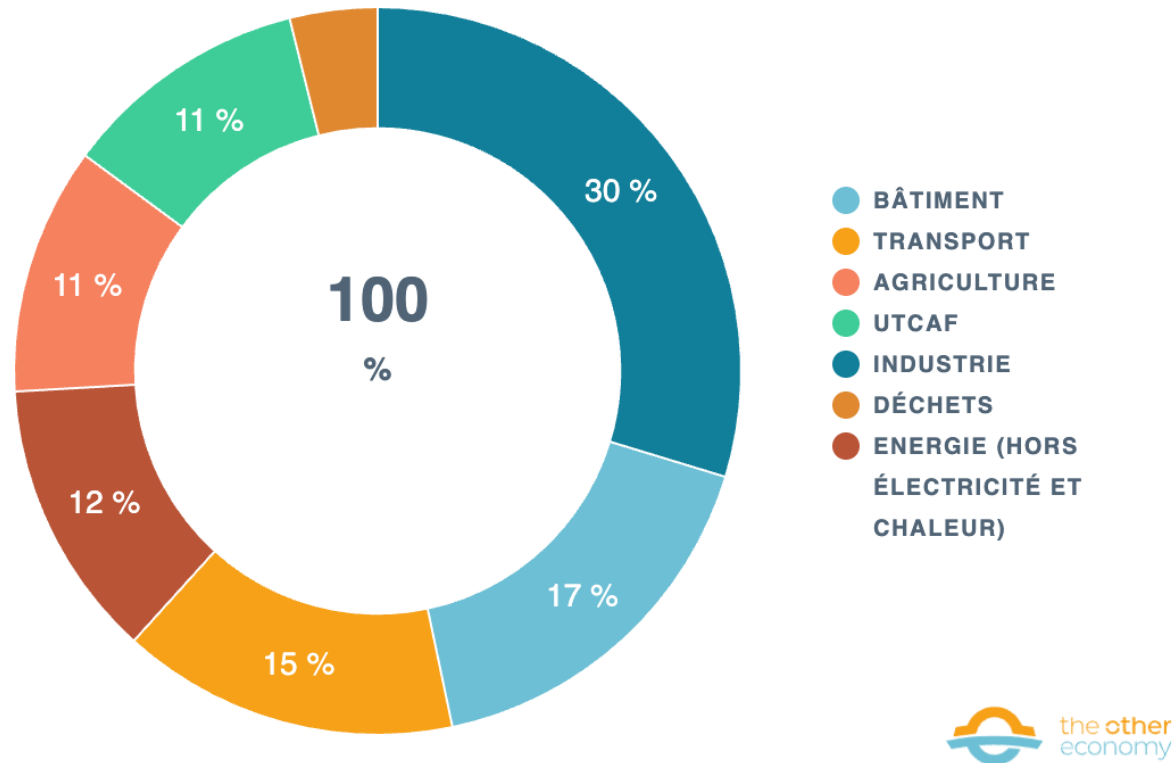
► 4. Contenu en GES par euro du PIB, des importations, de la demande finale intérieure et des exportations



Contenu en GES par euro du PIB, des importations, de la demande finale intérieure et des exportations, France 2010-2023

Source : Insee Première n° 2023 (Baude & Larrieu, novembre 2024)

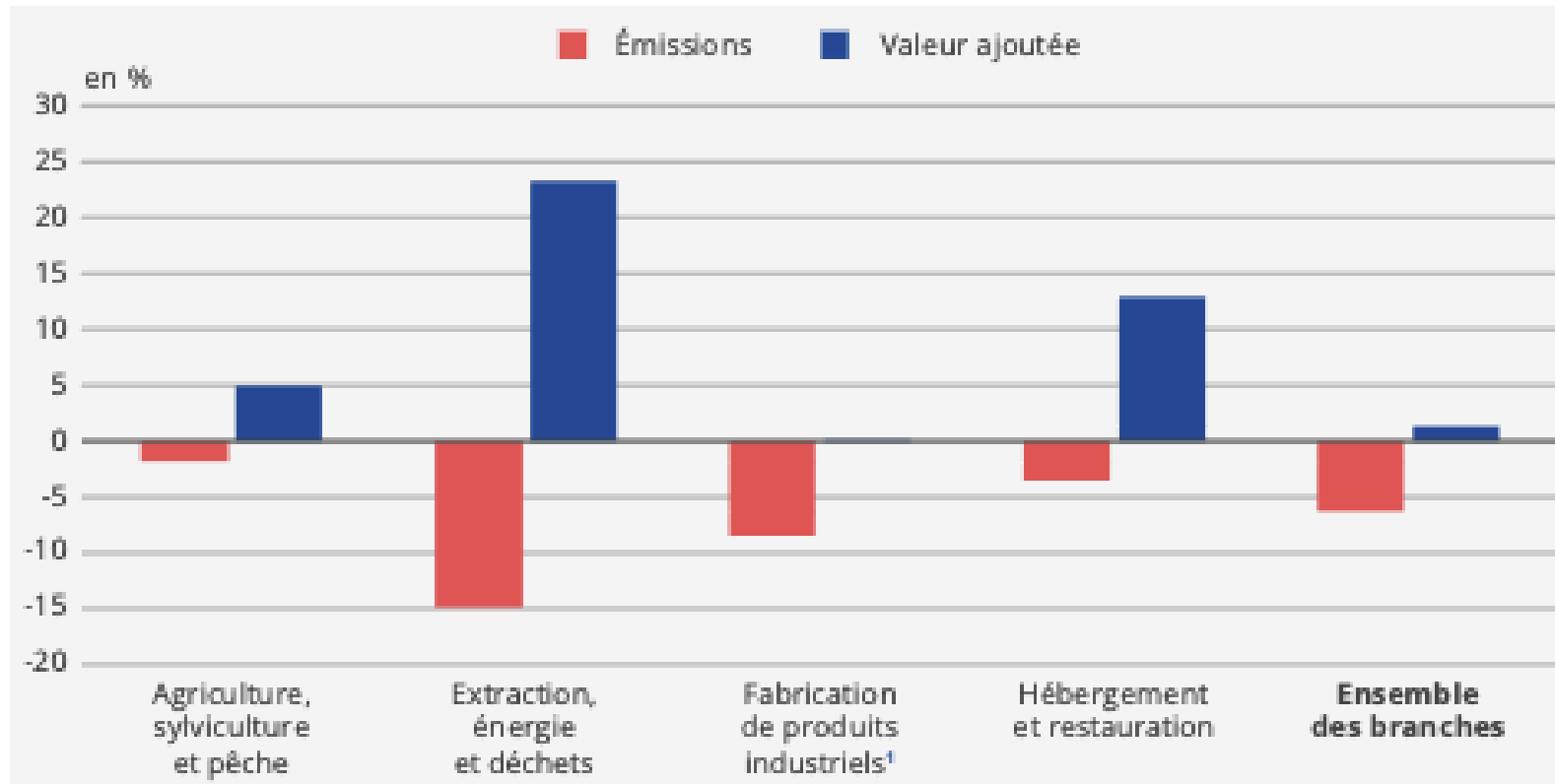
[flux] Les émissions concernent tous les secteurs



Émissions par secteur, 2019

Source : GIEC, 6^e rapport (2022), GT 3, chap. 2, fig. 2.12

Baisse des émissions en 2023 : facteurs conjoncturels et structurels

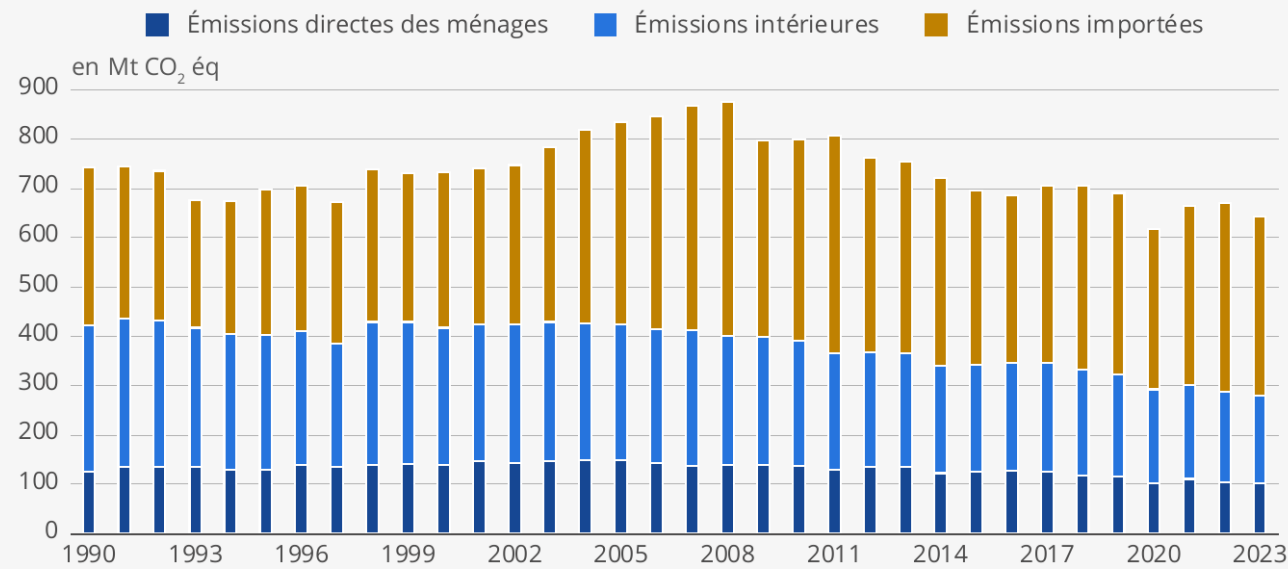


Évolution des émissions françaises de GES et de la valeur ajoutée par branche, 2022-2023

Source : Insee Première n° 2023 (Baude & Larrieu, novembre 2024)

Décomposition de l'empreinte carbone depuis 1990

► 3. L'empreinte carbone et ses composantes de 1990 à 2023



Notes : Chaque barre représente l'empreinte carbone d'une année. Les données de 1990 à 2009 sont rétropolées à partir du calcul de l'année 2010, et les données 2022 et 2023 sont provisoires.

Lecture : En 2023, l'empreinte carbone de la demande finale est de 644 Mt CO₂ éq.

Champ : France ; GES (CO₂ + CH₄ + N₂O + gaz fluorés).

Sources : Insee, Eurostat, Citepa, Douanes, OCDE ; traitements Insee-SDES 2024.

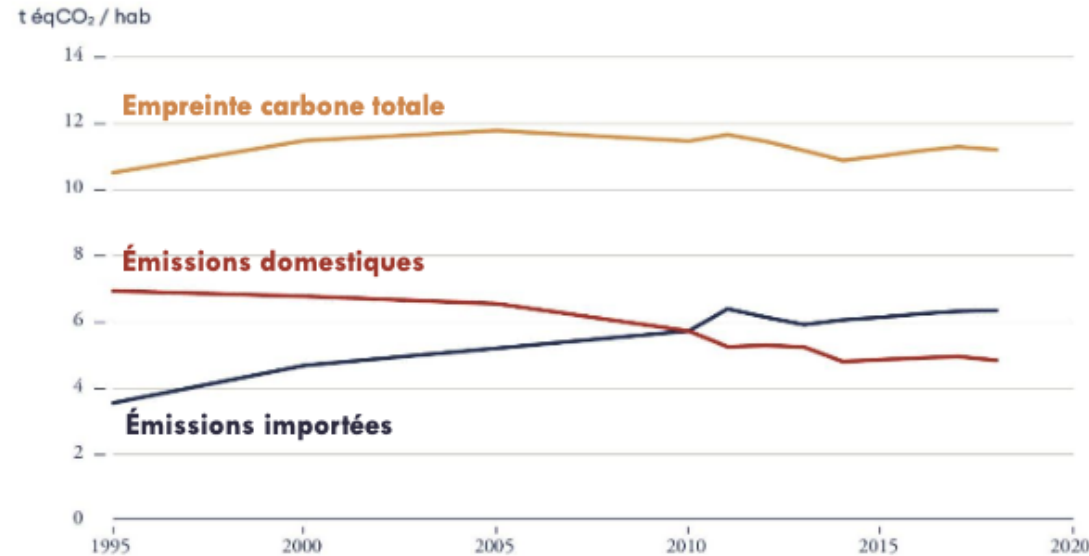
L'empreinte carbone et ses composantes de 1990 à 2023

Source : Insee Première n° 2023 (Baude & Larrieu, novembre 2024)

Limite (note INSEE 2023)

- On a vu qu'il est important de contraster les émissions d'un pays par les émissions par habitant
- La même logique s'applique à l'empreinte carbone :
 - Le classement des pays par empreinte carbone **par habitant** est très différent du classement par empreinte carbone **totale**
- *Wanted* : évolution de l'empreinte carbone par habitant depuis 1990, pour voir si la France a progressé ou non sur ce plan.

Rapport du haut conseil pour le climat (HCC, 2020) : « Maîtriser l'empreinte carbone de la France »



Source : Haut Conseil pour le Climat, « Maîtriser l'empreinte carbone de la France » (2020)

Conclusion

Conclusion sur le corpus

Les évolutions des émissions territoriales

- illustrent de grandes tendances historiques,
- mais elles ne reflètent pas la dépendance d'un pays aux énergies fossiles et aux GES.

L'empreinte carbone

- indicateur plus pertinent que les émissions territoriales pour mesurer la dépendance d'un pays aux énergies fossiles et aux GES.

Ordre de grandeur pour la France (2018) :

- Émissions **territoriales** : ≈ 5 t/habitant/an
- **Empreinte carbone** : ≈ 10 t/habitant/an
- Objectif de neutralité carbone 2050 : ≈ 2 t/habitant/an (HCC, 2020)

Lien avec

Séance 3 : Des émissions aux degrés : lire un scénario de transition

- Les scénarios de transition fixent leurs trajectoires et leur objectif de neutralité carbone 2050 sur les émissions **territoriales** — pas sur l’empreinte carbone
- **Questions de périmètre** (gaz couverts, résidence vs territoire, usage des terres/puits de carbone) s’appliquent : lire un scénario suppose d’abord de savoir ce qu’il mesure.

Séance 8 : Inégalités d’émission : qui émet ?

On étudiera les inégalités d’empreintes carbone individuelles, et comment elles sont liées aux inégalités de revenus.

Discussion : Comment attribuer les émissions de gaz à effet de serre ?

- Une molécule de CO₂ a une réalité **physique** :
 - elle est émise à un instant et en un lieu donnés.
- La responsabilité de son émission a une réalité **sociale** :
 - un pays, une entreprise, un individu.

Choisir une convention d'attribution, c'est faire un choix politique et moral car la responsabilité de réduire les émissions revient à celui à qui on les impute.

Cas 1 — Une centrale à charbon : à qui la faute ?

On peut attribuer le CO₂ émis, au choix, à :

- l'État qui a autorisé la construction de la centrale ;
- l'entreprise qui l'exploite ;
- ses actionnaires ;
- les consommateurs de l'électricité produite ;
- l'entreprise ou le pays qui a extrait et vendu le charbon ;
- ou **tous ces acteurs à la fois.**

Cas 2 et 3 — Entreprises et milliardaires (Greenpeace, 2022)

« 90 entreprises sont responsables de 63 % des émissions cumulées depuis 1751. »

Cette attribution impute la responsabilité aux seuls extracteurs et vendeurs d'énergies fossiles — sans impliquer les consommateurs.

« 63 milliardaires français émettent autant de GES que la moitié de la population française. »

Ici, ce sont les émissions des entreprises qui sont imputées à leurs **actionnaires**, rendant le patrimoine financier responsable des émissions des entités dans lesquelles il est investi.

Cas 4 et 5 — Le consommateur, et le cas de la vache

- **L'empreinte carbone** attribue les émissions aux **consommateurs**, et non aux producteurs $\Rightarrow$ fait porter sur eux la responsabilité individuelle.

Une vache émet du méthane par digestion, et produit à la fois du lait puis de la viande. Quelle part du CH_4 attribuer au lait, quelle part à la viande ? Au prorata de la masse ? du prix ? **Il n'y a pas de réponse « évidente ».**

Multiplier les attributions, multiplier les leviers

Un même individu peut agir sur les émissions à travers plusieurs rôles à la fois :

1. **Consommateur** (empreinte carbone)
2. **Citoyen** (engagement politique, vote)
3. **Salarié** (choix de l'entreprise, actions internes)
4. **Épargnant** (choix des produits financiers)

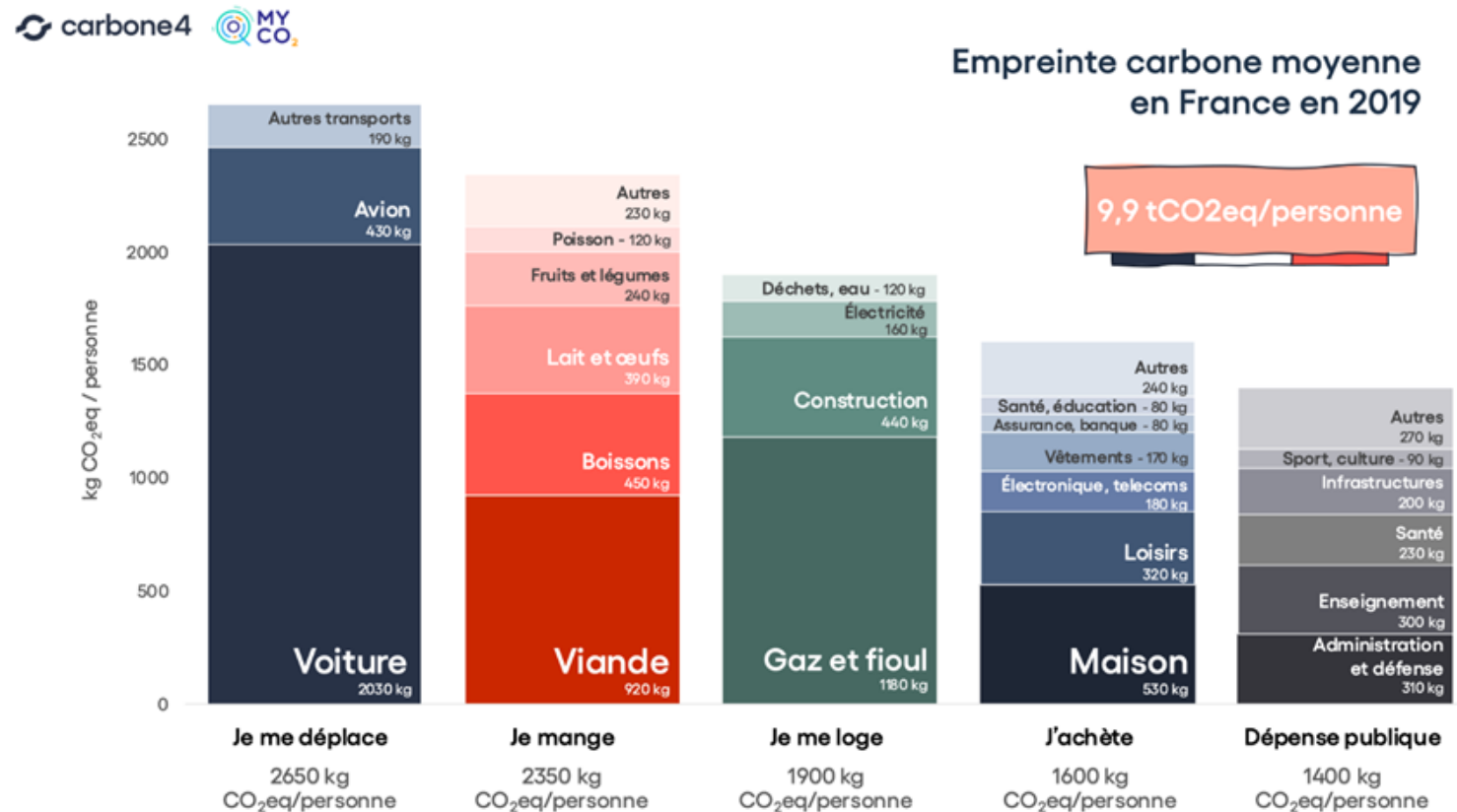
Retenir une seule convention d'attribution masque les autres leviers d'action disponibles.

Sources principales

- GIEC, **6^e rapport d'évaluation** (2022) — Groupes de travail 1 et 3
- **Haut Conseil pour le Climat**, *Maîtriser l'empreinte carbone de la France* (2020)
- **ADEME** — Base carbone, documentation des facteurs d'émission et des PRG
- **Carbone 4** — note sur le scope 3
- CORE Econ, *Doing Economics*, §1.6 (mesurer la température moyenne mondiale)

Annexe 1 : Empreinte carbone individuelle moyenne

Empreinte carbone individuelle moyenne



Gaz inclus : CO₂ (hors UTCATF France), CH₄, N₂O, HFC, SF₆, PFC, H₂O (trainées de condensation).
 Source : MyCO₂ par Carbone 4 d'après le ministère de la Transition écologique, le Haut Conseil pour le Climat, le CITEPA, Agribalyse V3 et INCA 3.

Empreinte carbone individuelle, répartition MyCO₂

Source : MyCO₂, *Empreinte carbone individuelle*

Les émissions individuelles : comparer les pays

	Africa	Australia, Japan, New Zealand	Eastern Asia	Eastern Europe, West- Central Asia	Europe	Latin America and Caribbean	Middle East	North America	South-East Asia and Pacific	Southern Asia
Population (million persons, 2019)	1292	157	1471	291	620	646	252	366	674	1836
GDP per capita (USD1000 _{ppp} 2017 per person) ¹	5.0	43	17	20	43	15	20	61	12	6.2
Net GHG 2019² (production basis)										
% GHG contributions	9%	3%	27%	6%	8%	10%	5%	12%	9%	8%
GHG emissions intensity (tCO ₂ -eq / USD1000 _{ppp} 2017)	0.78	0.30	0.62	0.64	0.18	0.61	0.64	0.31	0.65	0.42
GHG per capita (tCO ₂ -eq per person)	3.9	13	11	13	7.8	9.2	13	19	7.9	2.6
CO₂FFI, 2018, per person										
Production-based emissions (tCO ₂ FFI per person, based on 2018 data)	1.2	10	8.4	9.2	6.5	2.8	8.7	16	2.6	1.6
Consumption-based emissions (tCO ₂ FFI per person, based on 2018 data)	0.84	11	6.7	6.2	7.8	2.8	7.6	17	2.5	1.5

Indicateurs régionaux d'émissions, production vs consommation

Source : GIEC, 6^e rapport, Groupe de travail 3, résumé pour décideurs, figure 2

Annexe 2 : bilan carbone d'une entreprise

Le bilan carbone d'une entreprise ou collectivité

Définition : inventaire chiffré des GES émis sur une année par une entité (entreprise, collectivité...), pour mesurer sa **dépendance** aux énergies fossiles.

Méthodologie développée par **Jean-Marc Jancovici** (2004), diffusée par l'ADEME, reprise depuis 2011 par l'Association Bilan Carbone.

GES couverts : CO₂, CH₄, N₂O, halocarbures (HFC, PFC, SF₆) — la vapeur d'eau est exclue.

Les trois « scopes »

Scope	Définition	Exemple
1	Émissions directes, sur les sites de l'entité	émissions chimiques du CO ₂ dans une cimenterie
2	Émissions de la production d'énergie consommée sur site	CO ₂ d'une centrale thermique alimentant l'usine
3	Toutes les autres émissions indirectes, amont et aval	achats de matériaux, usage des produits vendus, recyclage

Comment réaliser un bilan carbone



Méthodologie du bilan carbone

1. Définir le périmètre d'analyse
2. Identifier les activités émettrices (chauffage, électricité, achats, transports...)
3. Déterminer la quantité consommée par activité
4. Multiplier par un **facteur d'émission** (fourni par l'ADEME)

Exemple : kWh d'électricité consommée en France (2021) × facteur d'émission ADEME = émissions en CO₂-eq.

Données d'illustration : [ressources/bilan_ges_clean.csv](#) (bilans BEGES ADEME nettoyés, cf. [ressources/README-ademe-bilan-ges.md](#)).

Les obligations réglementaires en France

Entreprises de plus de 500 salariés et administrations publiques : bilan carbone obligatoire tous les 3-4 ans, couvrant les scopes 1 et 2 (scope 3 significatif inclus depuis 2022). Absence de publication : amende de **10 000 €** (20 000 € en cas de récidive).

Les plus grandes entreprises doivent en outre publier une **Déclaration de Performance Extra-Financière (DPEF)** annuelle.

Textes : articles L.229-25 et R229-47 du code de l'environnement, L.225-102-1 du code de commerce.