

ÉNERGIE & ENVIRONNEMENT

3

Qualité de l'air.....	68
Énergie.....	72
Effet de serre.....	76



Emissions globales en France

Le Citepa, qui constitue l'organisme de référence en la matière, calcule chaque année les émissions de polluants qu'émettent sur l'ensemble du territoire national les différents secteurs de l'économie (industrie, résidentiel, tertiaire, agriculture, transports, etc.). Ces calculs sont conduits conformément au protocole dit «Coralie/ Secten» (pour SECTeurs économiques et ENergie). Comme l'indique le Citepa, les séries sont « **régulièrement révisées et complétées afin de tenir compte de l'amélioration permanente des connaissances, des méthodes d'estimation et des règles de restitution** ».

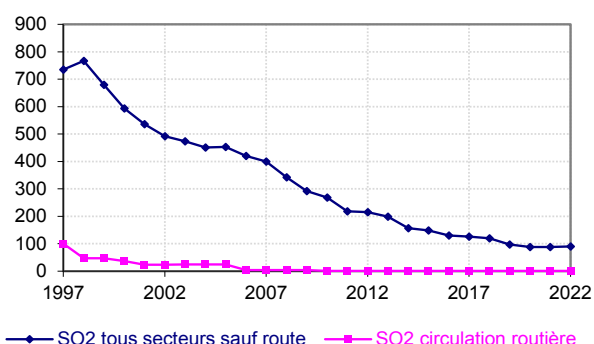
Les séries publiées par le Citepa correspondent à des **calculs** (conduits selon des protocoles rigoureux et réglementaires). Il ne s'agit donc pas de mesures in situ. Cette précision apparaît utile car la confusion est parfois faite entre les deux types d'évaluation, l'une concernant les émissions calculées, l'autre les concentrations

mesurées dans l'air. Il va de soi que les émissions et les concentrations évoluent dans le même sens, en considérant des territoires étendus et des périodes suffisamment longues.

Le secteur économique désigné ici par « circulation routière » concerne les émissions de tous les véhicules (voitures, poids lourds, deux-roues, immatriculations françaises et étrangères) sur le territoire français métropolitain (dans le système Secten, ce secteur est désigné par « transport routier », terme ambigu car il est généralement réservé au transport routier de marchandises).

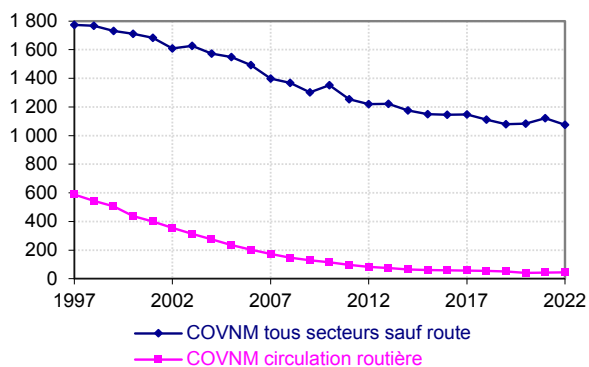
Les graphiques ci-après permettent de comparer les masses émises et leurs évolutions, respectivement par la circulation routière et par tous les autres secteurs économiques (production d'énergie, industrie, résidentiel et tertiaire, agriculture, etc.).

► Emissions de SO₂ (milliers de tonnes)



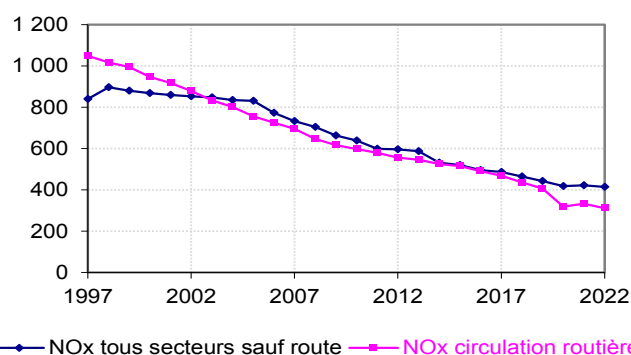
Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2023

► Emissions de COV non méthaniques (milliers de tonnes)



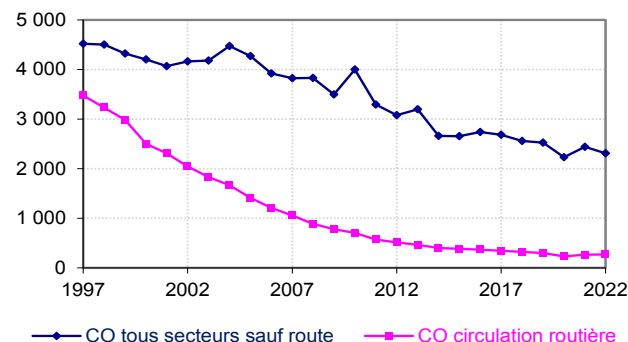
Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2023

► Emissions de NOx (milliers de tonnes)



Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2023

► Emissions de CO (milliers de tonnes)



Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2023

Les plafonds d'émissions nationaux imposés aux États au titre de la pollution transfrontière à longue distance (protocole dit « de Göteborg ») ont été revus en mai 2012, sous forme d'une réduction en 2020 par rapport à l'année de référence 2005. Le tableau ci-dessous indique l'évolution des émissions pendant les dix dernières

années ainsi que les nouveaux objectifs fixés en France par le code de l'environnement. Ces objectifs, sont atteints en termes de SO₂, NOx et particules ; par contre, l'objectif en termes de COVNM n'est pas encore atteint, mais pas du fait de la circulation routière.

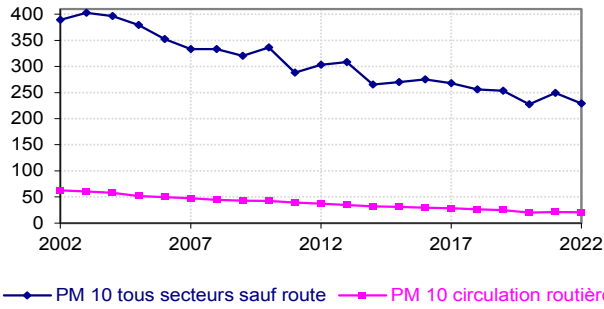
► Emissions totales et plafonds nationaux d'émissions de 2020 à 2024 (milliers de tonnes)

	2005	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Objectifs de 2020 à 2024
SO ₂	458	199	157	150	131	127	121	98	89	89	91	206
NOx	1 587	1 134	1 058	1 035	986	956	902	849	737	756	726	793
COVNM	1 783	1 296	1 240	1 211	1 204	1 203	1 165	1 129	1 125	1 164	1 119	1 016
PM 2,5	335	260	217	220	223	212	200	195	172	189	169	245

Sources : CITEPA ; Commission européenne

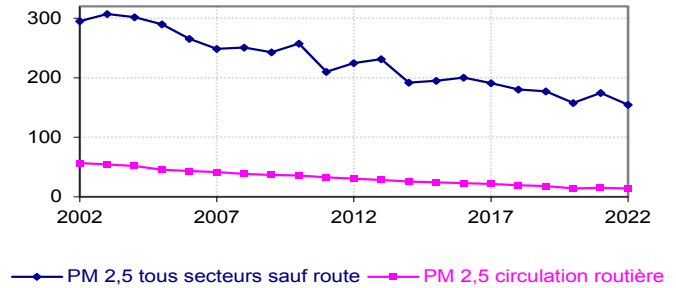
Emissions globales en France

► Emissions de PM 10 (milliers de tonnes)



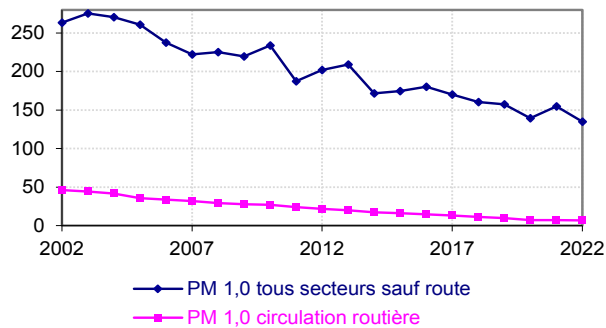
Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2023

► Emissions de PM 2,5 (milliers de tonnes)



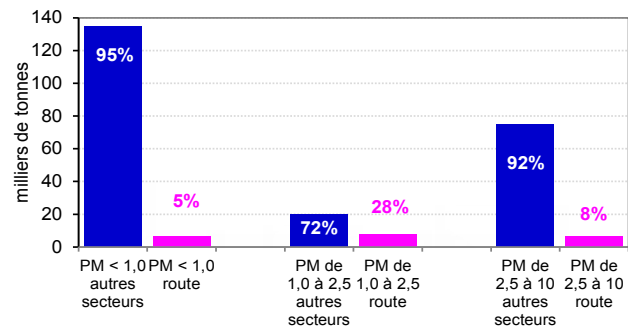
Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2023

► Emissions de PM 1,0 (milliers de tonnes)



Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2023

► Masse de particules émises en 2022 par fractions granulaires et répartition entre route et autres secteurs pour chaque fraction



Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2023

Les graphiques précédents sont relatifs :

- aux quatre principaux **polluants chimiques** : dioxyde de soufre (SO₂), oxydes d'azote (NOx, somme pondérée du monoxyde NO et du dioxyde NO₂), composés organiques volatils hors méthane (COVNM), monoxyde de carbone (CO) ;
- aux **particules** (PM, en anglais particulate matter), parmi lesquelles on distingue les PM₁₀ de « diamètre » inférieur à 10 micromètres, les PM_{2,5} de diamètre inférieur à 2,5 micromètres et les PM_{1,0} de diamètre inférieur à 1 micromètre. *Les masses de ces trois catégories ne doivent pas être additionnées, puisque la masse des PM₁₀ englobe celles des catégories de dimensions inférieures, et ainsi de suite.*

Quels que soient les polluants considérés (chimiques ou particulaires), les émissions totales et celles de la circulation routière

sont en décroissance depuis près de vingt ans. Pour la circulation routière, cette décroissance est due à la sévrisation progressive des normes « euro » (voir pages 63 à 65), et notamment à la généralisation des dispositifs de capture ou de retraitement des particules des moteurs diesel (dont les filtres à particules).

L'histogramme ci-dessus illustre la masse des émissions de particules pour les trois classes granulaires, ainsi que leur répartition en pourcentages entre la circulation routière et les autres secteurs. Les émissions de la circulation routière résultent de la combustion du gazole ainsi que des phénomènes d'attrition et d'usure (chaussées, pneus, freins, etc.). Les particules inférieures à 1 micromètre sont pratiquement toutes issues de la combustion du gazole.

► Pourcentage des émissions de la circulation routière dans le total des émissions

	1995	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
SO ₂	12%	0%	0%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
NOx	58%	48%	48%	50%	50%	50%	49%	48%	48%	43%	44%	43%
COVNM	28%	6%	6%	5%	5%	5%	5%	5%	4%	4%	4%	4%
CO	47%	14%	13%	13%	13%	12%	11%	11%	10%	9%	10%	10%
PM 1,0	12%	10%	9%	9%	8%	8%	7%	7%	6%	5%	5%	5%
PM 2,5	14%	12%	11%	12%	11%	10%	10%	10%	9%	8%	8%	8%
PM 10	12%	11%	10%	11%	10%	10%	9%	9%	9%	8%	8%	8%

Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2023

Comme l'indique le tableau ci-dessus, **la route est très minoritaire dans les émissions**, même pour le NOx pour lequel elle ne représente plus que 43% des émissions. Quant au SO₂ routier, il a

pratiquement disparu depuis 2005, du fait des nouvelles teneurs en soufre des carburants.

Concentration en polluants - Exemple de l'Ile de France

L'association Airparif mesure depuis 1979 les concentrations en polluants sur l'ensemble de la région Ile-de-France. Le réseau comporte une soixantaine de stations, réparties en stations : «trafic», «urbaines et périurbaines», «rurales», plus quelques stations «industrielles» et «d'observation». Airparif dispose en France des plus longues séries de mesures de qualité de l'air, c'est pourquoi l'Ile-de-France est ici choisie comme exemple.

Malheureusement, ces données ne sont plus publiques depuis 2020, c'est la raison pour laquelle les séries s'arrêtent à cette date.

► Stations trafic (pollution de proximité)

Les stations « trafic » ou « de proximité automobile » sont disposées en bordure immédiate d'axes de circulation très fréquentés et mesurent donc les concentrations de polluants avant leur dispersion dans l'air. Les concentrations en monoxydes de carbone

Les tableaux et graphiques ci-dessous retracent l'évolution des concentrations des principaux polluants (moyennes arithmétiques des concentrations annuelles des différentes stations).

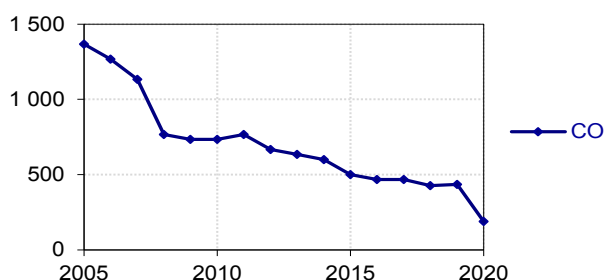
Les oxydes d'azote comportent le monoxyde NO, polluant « primaire » (90% des oxydes d'azote à la sortie des pots d'échappement), et le dioxyde NO₂, produit de l'oxydation de NO par l'ozone de l'air. On les consolide sous l'expression NOx qui équivaut à : NO₂ + 46/30 x NO (46/30 étant le rapport des masses moléculaires).

CO et d'azote NO, polluants primaires, sont donc révélatrices des progrès des moteurs. Le NOx est l'un des critères pris en compte dans les normes « euro » (voir les pages 62 à 65).

	1995	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Concentration en monoxyde de carbone (moyennes horaires annuelles) (microg / m³)											
CO	4 033	767	667	633	600	500	467	467	426	434	188
Nombre de stations	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2
Concentration en monoxyde d'azote et en oxydes d'azote (moyennes horaires annuelles) (microg / m³)											
NO	242	98	92	92	87	84	86	82	70	65	51
NOx	450	228	220	212	200	194	196	188	165	154	120
Nombre de stations	5	8	9	11	12	13	11	13	12	12	12

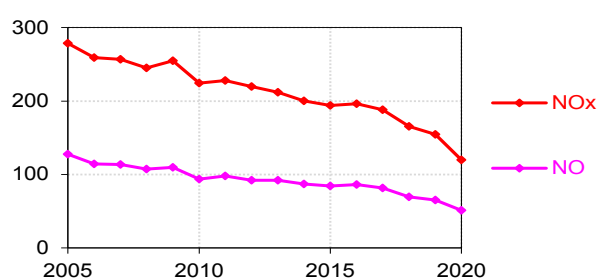
Source : Airparif

► Ile de France : stations de proximité : concentration en monoxyde de carbone (microg/m³)



Source : Airparif

► Ile de France : stations de proximité : concentration en oxydes d'azote (microg/m³)



Source : Airparif

► Agglomération parisienne : stations urbaines et périurbaines (pollution de fond)

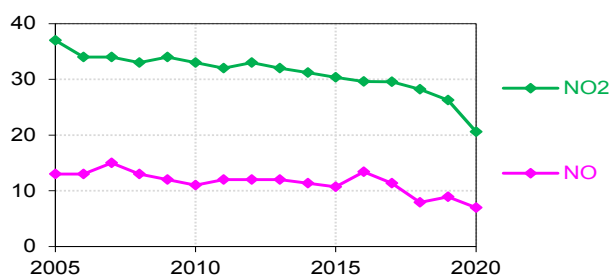
Les stations « urbaines et périurbaines » ou « de fond » mesurent la qualité de l'air ambiant, tel que nous le respirons habituellement.

Le NO est en grande partie oxydé par l'ozone de l'air et transformé en dioxyde d'azote NO₂.

	1995	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Concentration en oxydes d'azote (moyennes horaires annuelles) (microg / m³)											
NO ₂	54	32	33	32	31	30	30	30	28	26	21
NO	31	12	12	12	11	11	13	11	8	9	7
NOx (soit NO ₂ + 46/30 NO)	102	51	52	51	49	47	50	50	40	41	31
Nombre de stations	18	24	26	25	26	25	24	25	23	24	24

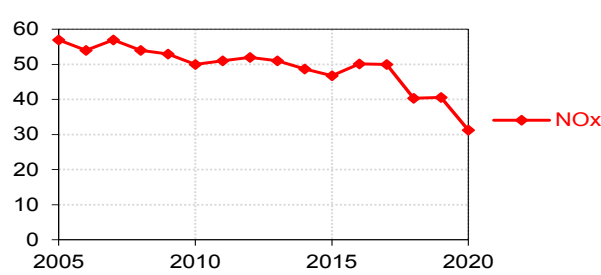
Source : Airparif

► Agglomération parisienne : concentrations en oxydes d'azote (microg/m³)



Source : Airparif

► Agglomération parisienne : concentrations en oxydes d'azote NOx (microg/m³)



Source : Airparif

Concentration en polluants - Exemple de l'Île de France

► Agglomération parisienne : stations urbaines et périurbaines (pollution de fond)

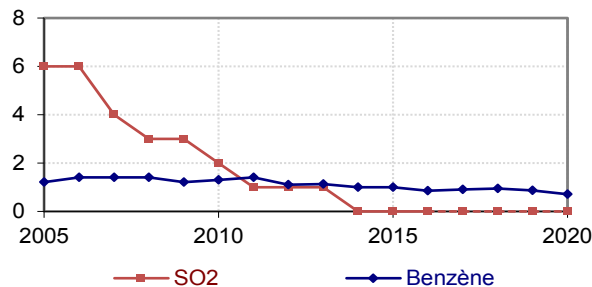
	1995	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Concentration en benzène (moyennes horaires annuelles) (microg / m³)												
Benzène	5,4	1,3	1,4	1,1	1,1	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,7
Nombre de stations	5	10	10	10	9	10	10	9	8	8	8	8
Concentration en particules (moyennes horaires annuelles) (microg / m³)												
Particules (fumées noires)	19	12	12	11	11	10	10	10	9	8	7	7
Nombre de stations	29	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4
Particules (PM 10)		26	27	25	24	21	21	20	20	19	19	17
Nombre de stations		13	12	12	11	11	11	11	11	11	10	12
Particules (PM 2,5)		18	17	16	17	14	13	13	12	12	11	9
Nombre de stations		4	4	4	4	5	6	6	5	6	5	6
Concentration en dioxyde de soufre (moyennes horaires annuelles) (microg / m³)												
SO₂	14	2	1	1	1	nd *	nd *	nd *	nd *	nd *	nd *	nd *
Nombre de stations	30	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

PM 10 et PM 2,5 : changement de méthode de mesure en 2007

(*) inférieur à la limite de détection de l'analyseur

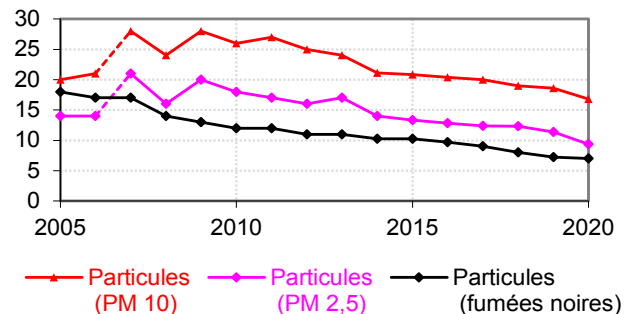
Source : Airparif

► Agglomération parisienne : concentrations en benzène et en dioxyde de soufre (microg/m³)



Source : Airparif

► Agglomération parisienne : concentrations en particules (microg/m³)



Source : Airparif

Ces quelques aperçus mettent en évidence la tendance à une décroissance généralisée des concentrations en polluants en Île-de-France.

En remontant plus loin dans le passé, et quoique les dispositifs et les protocoles de mesure aient évolué, on verrait que les concentrations en CO, SO₂ et particules diminuent régulièrement depuis plusieurs décennies.

Les concentrations en oxydes d'azote (émis principalement par la circulation routière) diminuent depuis 1997 conjointement aux émissions unitaires des véhicules, au fur et à mesure de l'entrée en vigueur des normes « euro » successives et du renouvellement du parc, alors que la circulation est stabilisée à Paris depuis vingt-cinq ans. Après l'augmentation des oxydes d'azote en 2016 et 2017, le

niveau moyen des NOx dans Paris a baissé de manière importante en 2018, puis est resté stable. En 2020, avec les restrictions de déplacements, le niveau des NOx a chuté.

Le Code de l'environnement a fixé comme objectifs de qualité, depuis le 19 avril 2017, les valeurs suivantes (moyennes annuelles en microg/m³) :

NO ₂ :	40
PM10 :	30
PM2,5 :	10
SO ₂ :	50
Benzène :	2

En pollution de fond, ces objectifs sont tous respectés en 2020.

Consommation d'énergie

► Énergie, définitions, méthodes et unités

Les définitions, méthodes d'évaluation, unités de mesure et coefficients d'équivalence entre les différentes formes d'énergie sont régis par des conventions internationales. Des « bilans énergétiques » annuels sont établis par chaque État selon une méthodologie conventionnelle de comptabilité énergétique du type « ressources-emplois » analogue à celle utilisée en comptabilité nationale. En France, ces bilans sont établis par le SDES, qui les a révisés significativement à plusieurs reprises, mais publie des séries homogénéisées.

► Consommation d'énergie en France

On distingue la consommation d'**énergie primaire** (ou ressources) et la consommation d'**énergie finale** (emplois par les utilisateurs finals). La différence entre les deux provient de la consommation propre de la « branche énergie » (usages internes, conversions de rendement, pertes).

L'unité de mesure la plus utilisée dans les bilans énergétiques nationaux et les comparaisons internationales est la **tonne équivalent pétrole (tep)**, le pétrole étant la source d'énergie la plus utilisée. La conversion en tep de l'énergie électrique issue des centrales (exprimée en MWh) résulte de conventions internationales, auxquelles la France se conforme depuis 2001. C'est ainsi que le mégawatt-heure (MWh) vaut conventionnellement 0,086 tep (ou encore 1 tep = 11,63 MWh).

La consommation finale se décompose elle-même en consommation finale énergétique et consommation finale non-énergétique (ressources incorporées dans des produits finis).

La **consommation d'énergie finale** représente environ **67%** de la **consommation d'énergie primaire**.

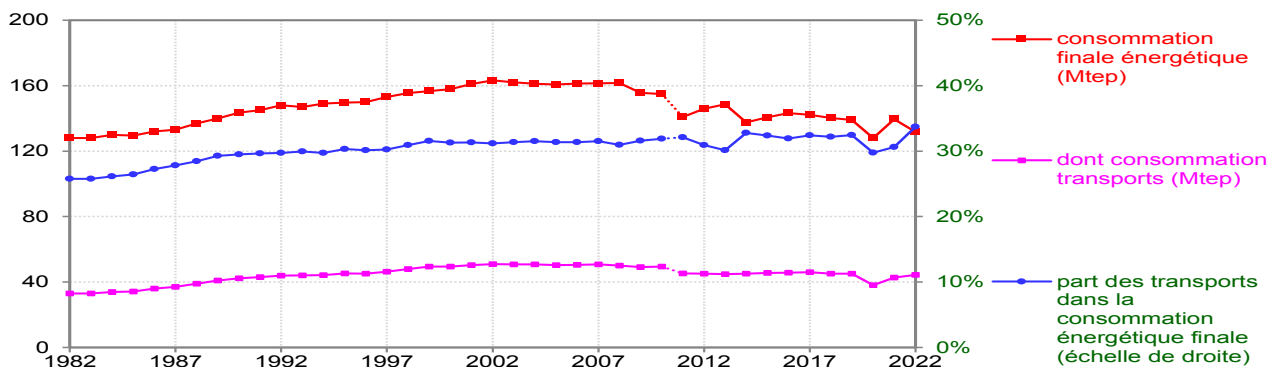
► Consommation d'énergie et ratios

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Energie primaire (millions de tep)	259	261	250	254	250	250	248	245	221	238	213
Energie finale (millions de tep)											
Energie finale "énergétique"	146	149	138	141	143	142	140	139	128	140	132
dont E finale transports (tous types d'énergies)	45	45	45	46	46	46	45	45	38	43	44
dont E finale circulation routière	39	39	39	39	40	40	39	39	33	37	38
Energie finale "non énergétique"	14	14	14	14	14	14	13	14	13	13	11
Energie finale, produits pétroliers (millions de tep)											
Produits pétroliers, E finale "énergétique"	58	58	56	57	56	56	54	54	47	51	52
dont produits pétroliers, E finale transports	41	41	41	42	42	42	41	41	35	39	40
Produits pétroliers, E finale "non énergétique"	13	12	13	13	12	13	12	12	11	12	9
Ratios (pourcentages)											
E finale énergétique / E primaire	56%	57%	55%	55%	57%	57%	56%	57%	58%	59%	62%
E finale transports / E finale énergétique	31%	30%	33%	32%	32%	32%	32%	32%	30%	31%	34%
E finale circulation routière / E finale énergétique	27%	26%	28%	28%	28%	28%	28%	28%	26%	26%	29%
E finale transports / E primaire	17%	17%	18%	18%	18%	18%	18%	18%	17%	18%	21%
prod. pétroliers transports / prod. pétroliers total	71%	71%	73%	73%	75%	75%	76%	76%	73%	75%	78%

Source : SDES

bilans énergétiques revus de 2011 à 2021 et bilan énergétique 2022 provisoire

► Consommation d'énergie finale (millions de tep)



Source : SDES, bilans énergétiques revus de 2011 à 2021 et bilan provisoire 2022

La consommation d'énergie finale des transports représente environ 34% de la consommation totale. Elle était pratiquement stabilisée depuis 2011 à environ 45 millions de tep, mais avec la crise

sanitaire, elle a fortement baissé. Elle est remontée à 44 millions de tep en 2022.

Consommation d'énergie

Le tableau et le graphique ci-dessous concernent la consommation d'énergies fossiles. Celles-ci représentent en France en 2022 49%

de l'énergie primaire, pourcentage en hausse par rapport à 2021 du fait de la baisse de la part d'énergie nucléaire.

► Consommation d'énergies fossiles (millions de tep)

	1990 (*)	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Consommations primaires												
Pétrole	89	77	75	75	75	73	73	71	71	62	66	65
Gaz	26	38	39	33	35	38	38	37	38	35	37	33
Charbon	19	12	13	10	9	9	10	9	7	5	7	6
Total	134	128	127	117	120	120	122	117	116	102	110	104
<i>Dont consommation non énergétique</i>	12	14	14	14	14	14	14	13	14	13	13	11
Consommation d'énergie finale énergétique												
Pétrole	74	58	58	56	57	56	56	54	54	47	51	52
Gaz	22	32	33	28	29	30	29	29	28	26	29	24
Charbon	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Total	100	91	92	85	86	87	86	84	83	75	82	76

(*) 1990, année de référence du "protocole de Kyoto".

Source : SDES : bilans énergétiques revus de 2011 à 2021 et bilan énergétique 2022 provisoire

► Répartition des émissions de CO₂ entre les combustibles fossiles (pourcentages approximatifs**)

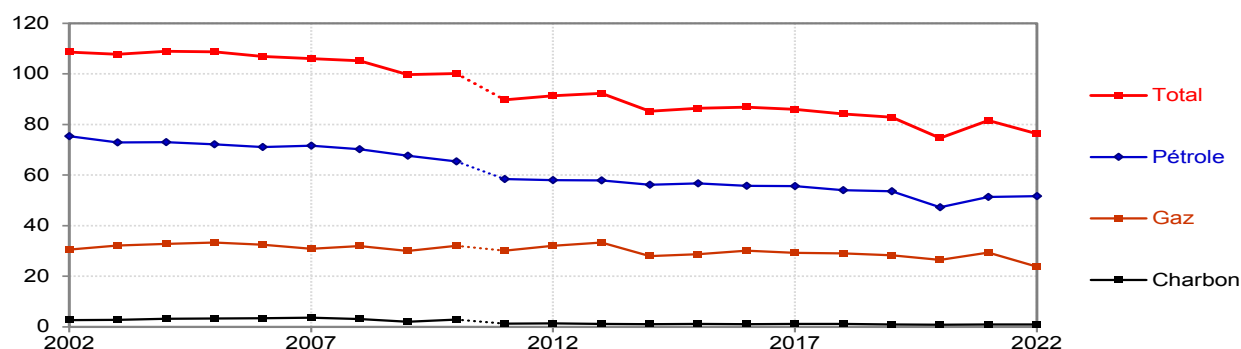
	1990 (*)	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Pétrole	76%	69%	68%	71%	71%	70%	70%	70%	70%	69%	68%	73%
Gaz	17%	29%	30%	27%	27%	29%	28%	28%	28%	29%	30%	26%
Charbon	6%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%
	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

(*) 1990, année de référence du "protocole de Kyoto".

(**) ces estimations indicatives ne sauraient se substituer à celles du Citepa, organisme officiel chargé d'estimer les émissions annuelles.

Source : calculs URF d'après SDES

► Combustibles fossiles : consommation d'énergies primaires hors usages non-énergétiques (millions de tep)



Source : SDES, bilans énergétiques revus de 2011 à 2021 et bilan énergétique provisoire 2022

La consommation finale énergétique d'énergies fossiles est restée pratiquement constante de 1990 à 2008, le gaz se substituant progressivement au charbon et le pétrole restant stable. Depuis 2009, on observait une baisse très faible de cette consommation, due principalement à la baisse de celle du pétrole, les consommations de gaz et de charbon restant, quant à elles, quasi constantes.

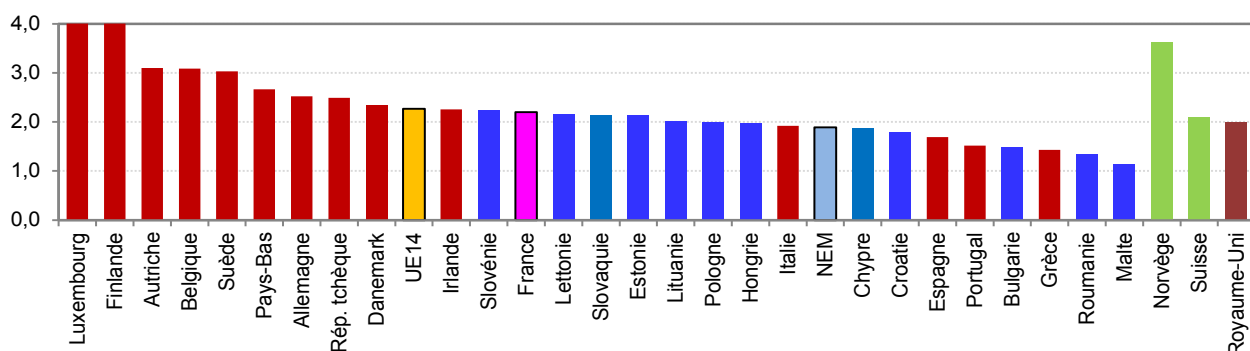
En 2020, avec les restrictions de circulation liées à la crise sanitaire, la consommation de pétrole avait fortement baissé. En 2022, la consommation de pétrole remonte quasiment au niveau de 2019 ; par contre, celle de gaz est en baisse de 10% par rapport à celle de 2019.

Consommation d'énergie finale en fonction de la population et du PIB

	sigle		Population (millions d'habitants)	Consommation d'énergie finale (millions de tep)	PIB en 2021 (milliards d'euros)	Energie (tep par habitant)	Energie (tep par M€ de PIB)
UE14	BE	Belgique	11,6	36	502	3,1	71
NEM	BG	Bulgarie	6,8	10	71	1,5	143
NEM	CZ	Rép. tchèque	10,5	26	238	2,5	110
UE14	DK	Danemark	5,9	14	337	2,3	41
UE14	DE	Allemagne	83,2	210	3 602	2,5	58
NEM	EE	Estonie	1,3	3	31	2,1	90
UE14	IE	Irlande	5,1	11	426	2,3	27
UE14	EL	Grèce	10,6	15	182	1,4	83
UE14	ES	Espagne	47,4	80	1 207	1,7	67
UE14	FR	France	65,2	144	2 501	2,2	57
NEM	HR	Croatie	3,9	7	58	1,8	120
UE14	IT	Italie	59,0	113	1 788	1,9	63
NEM	CY	Chypre	0,9	2	24	1,9	70
NEM	LV	Lettonie	1,9	4	34	2,2	121
NEM	LT	Lituanie	2,8	6	56	2,0	101
UE14	LU	Luxembourg	0,6	4	72	6,3	56
NEM	HU	Hongrie	9,7	19	154	2,0	125
NEM	MT	Malte	0,5	1	15	1,1	40
UE14	NL	Pays-Bas	17,6	47	856	2,7	55
UE14	AT	Autriche	9,0	28	406	3,1	68
NEM	PL	Pologne	37,7	75	575	2,0	131
UE14	PT	Portugal	10,4	16	214	1,5	73
NEM	RO	Roumanie	19,0	25	241	1,3	105
NEM	SI	Slovénie	2,1	5	52	2,2	90
NEM	SK	Slovaquie	5,4	12	99	2,1	118
UE14	FI	Finlande	5,5	25	252	4,5	99
UE14	SE	Suède	10,5	32	538	3,0	59
	UE 14	Union européenne à 14	341,6	774	12 883	2,3	60
	NEM	Nouveaux Etats membres (13)	103	194	1 648	1,9	118
	UE 27	Union européenne à 27	444	968	14 532	2,2	67
	NO	Norvège	5	20	414	3,6	47
	CH	Suisse	8,7	18	677	2,1	27
	UK	Royaume-Uni	67,4	134	2 527	2,0	53

Source : Eurostat, traitements URF

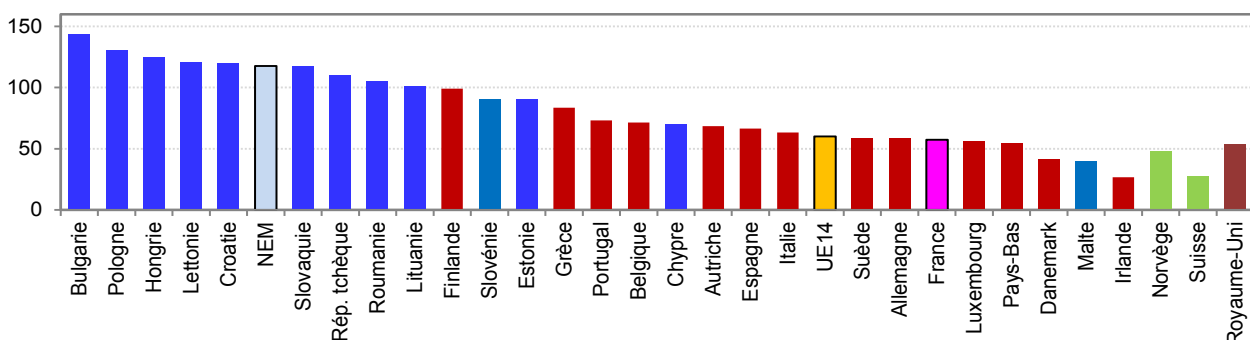
► Consommation d'énergie finale par habitant en 2021 (tep par habitant)



Source : Eurostat, traitements URF

Luxembourg et Finlande hors échelle)

► Consommation d'énergie finale par unité de PIB en 2021 (tep par million d'euros)



Source : Eurostat, traitements URF

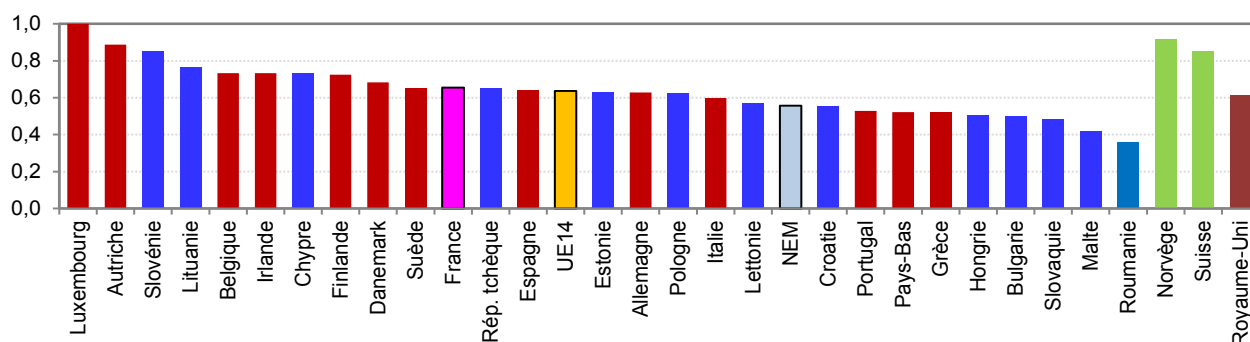


Consommation d'énergie finale dans les transports

	sigle		Population (millions d'habitants)	Consommation d'énergie finale en transports (millions de tep)	PIB en 2021 (milliards d'euros)	Energie en transports (tep par habitant)	Energie en transports (tep par M€ de PIB)	Energie transports / énergie totale
UE14	BE	Belgique	11,6	9	502	0,7	17	24%
NEM	BG	Bulgarie	6,8	3	71	0,5	48	34%
NEM	CZ	Rép. tchèque	10,5	7	238	0,7	29	26%
UE14	DK	Danemark	5,9	4	337	0,7	12	29%
UE14	DE	Allemagne	83,2	52	3 602	0,6	15	25%
NEM	EE	Estonie	1,3	1	31	0,6	27	30%
UE14	IE	Irlande	5,1	4	426	0,7	9	33%
UE14	EL	Grèce	10,6	6	182	0,5	30	36%
UE14	ES	Espagne	47,4	30	1 207	0,6	25	38%
UE14	FR	France	65,2	43	2 501	0,7	17	30%
NEM	HR	Croatie	3,9	2	58	0,6	37	31%
UE14	IT	Italie	59,0	35	1 788	0,6	20	31%
NEM	CY	Chypre	0,9	1	24	0,7	28	39%
NEM	LV	Lettonie	1,9	1	34	0,6	32	27%
NEM	LT	Lituanie	2,8	2	56	0,8	38	38%
UE14	LU	Luxembourg	0,6	2	72	2,7	24	44%
NEM	HU	Hongrie	9,7	5	154	0,5	32	26%
NEM	MT	Malte	0,5	0	15	0,4	15	37%
UE14	NL	Pays-Bas	17,6	9	856	0,5	11	20%
UE14	AT	Autriche	9,0	8	406	0,9	20	29%
NEM	PL	Pologne	37,7	24	575	0,6	41	31%
UE14	PT	Portugal	10,4	5	214	0,5	26	35%
NEM	RO	Roumanie	19,0	7	241	0,4	29	27%
NEM	SI	Slovénie	2,1	2	52	0,9	34	38%
NEM	SK	Slovaquie	5,4	3	99	0,5	27	23%
UE14	FI	Finlande	5,5	4	252	0,7	16	16%
UE14	SE	Suède	10,5	7	538	0,7	13	22%
	UE 14	Union européenne à 14	341,6	218	12 883	0,6	17	28%
	NEM	Nouveaux Etats membres(13)	103	57	1 648	0,6	35	29%
	UE 27	Union européenne à 27	444	275	14 532	0,6	19	28%
	NO	Norvège	5	5	414	0,9	12	25%
	CH	Suisse	8,7	7	677	0,9	11	40%
	UK	Royaume-Uni	67,4	41	2 527	0,6	16	31%

Source : Eurostat ; traitements URF

► Consommation d'énergie finale en transport par habitant en 2021 (tep par habitant)



Sources : Eurostat, traitements URF

(Le Luxembourg est hors échelle)

L'énergie finale est l'énergie effectivement livrée aux consommateurs (carburant, électricité, gaz, etc.). Elle se distingue de l'énergie primaire, ensemble des produits énergétiques avant transformation, issus de ressources nationales ou importées (pétrole, charbon, énergies renouvelables, énergie nucléaire). L'unité de mesure la plus courante est la tonne-équivalent-pétrole (tep).

La consommation d'énergie d'un État dépend de la population et du niveau de vie, c'est pourquoi il est habituel de l'exprimer en

tep par habitant et en tep par unité de PIB (ici le million d'euros). Les disparités entre États sont évidentes, notamment entre l'Union à 14 et les nouveaux États membres. Si les PIB étaient exprimés en SPA (standard de pouvoir d'achat), les différences seraient atténuées.

Par rapport à l'énergie finale, l'énergie consommée **dans les transports** représente 28% dans l'UE 14 et 29% dans les NEM.

Emissions globales en France

La communauté internationale cherche à limiter l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère, considérée comme responsable d'un « changement climatique ». Elle organise périodiquement des rencontres au cours desquelles sont examinés l'état des connaissances et les dispositions à prendre. Après le protocole de Kyoto, en 1997, qui prévoyait - entre autres dispositions - l'engagement des pays industrialisés de diminuer leur production globale de GES, soient six gaz : CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC et SF₆, les objectifs de réduction ont été revus à la baisse en 2009 puis en octobre 2014.

L'année de référence est l'année 1990, et l'objectif de réduction pour l'Union Européenne, dans son ensemble, a été porté à 20% pour 2020 et 40% pour 2030. Chaque pays s'est vu fixer un objectif de réduction.

Le Citepa (voir page 68) calcule les émissions annuelles de GES selon le « format » Coralie-Secten, exprimées en tonnes de CO₂ équivalent. Les tableaux ci-dessous et les graphiques ci-contre fournissent un aperçu des valeurs ainsi calculées. On a distingué ici les émissions dues à la circulation routière et celles dues à tous les autres secteurs d'activité.

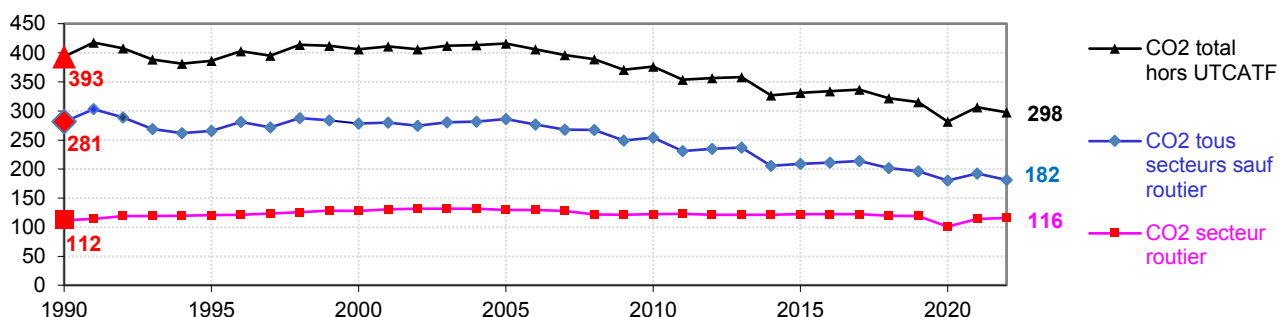
Le nouveau format de calcul « Secten » utilisé depuis 2007 correspond sensiblement au périmètre technique des engagements internationaux de la France (dont le protocole de Kyoto). C'est ainsi que les émissions et les absorptions (puits de carbone) résultant, selon la formule officielle, de l'« Utilisation des Terres, Changement d'Affectation des Terres et Foresterie » (UTCATF) ont été exclues des bilans.

► Emissions de CO₂ hors UTCATF

	1990	2005	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Emissions totales (millions de tonnes de CO ₂)	393	416	356	358	327	331	334	337	322	315	281	307	298
Emissions de la circulation routière (millions de tonnes de CO ₂)	112	130	122	121	121	123	123	123	120	119	101	114	116
Pourcentage des émissions de la circulation routière	29%	31%	34%	34%	37%	37%	37%	36%	37%	38%	36%	37%	39%

Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2023

► Emissions de CO₂ hors UTCATF (millions de tonnes de CO₂)



Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2023

en rouge, valeurs en 1990, année de référence du protocole dit "de Kyoto".

La circulation routière émet presque exclusivement du CO₂ (et accessoirement du HFC, gaz réfrigérant utilisé pour la climatisation). Les émissions de CO₂ sont directement proportionnelles à la consommation de carburants pétroliers, constitués en quasi-totalité par des hydrocarbures saturés (alcanes) qui comportent dans leur masse 75% à 84% de carbone. A l'issue de la combustion, le carbone des carburants se retrouve presque intégralement dans les gaz d'échappement, combiné à l'oxygène de l'air sous forme de dioxyde de carbone CO₂, ou de monoxyde de carbone CO qui se transforme en CO₂.

On peut donc considérer qu'un moteur émet autant de carbone qu'il en consomme sous forme de carburant (et 3,67 fois plus de CO₂, rapport des masses moléculaires).

Les consommations de carburants étant généralement exprimées en litres/100 km, et compte tenu des masses volumiques (densités) respectives :

- 1 litre d'essence consommé produit environ 2,35 kg de CO₂
- 1 litre de gazole consommé produit environ 2,60 kg de CO₂

Les émissions de CO₂ de la circulation routière avaient augmenté entre 1990 et 2001 ; depuis lors, elles étaient quasi stables. En 2020, avec la crise sanitaire, elles ont baissé de plus de 16% ; en 2021 et 2022, elles sont remontées mais restent cependant 2,5% au-dessous de celles de 2019. Leur proportion dans les émissions globales est, en 2022, d'environ 39% (30% par rapport à l'ensemble des GES).

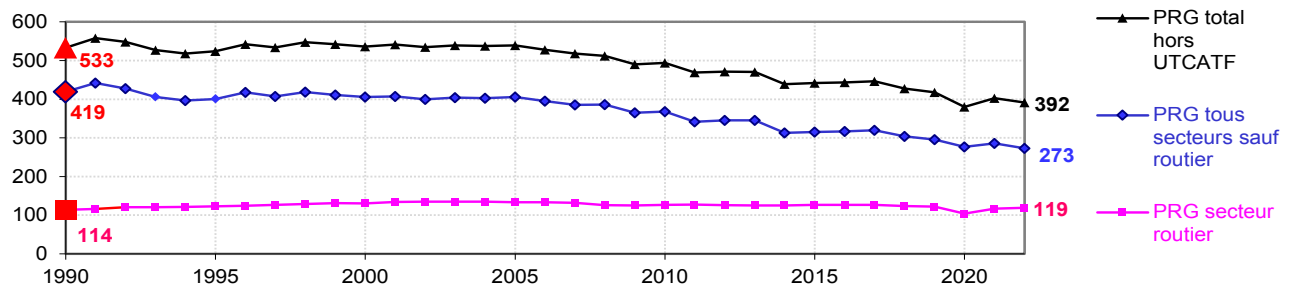
Emissions globales en France

► Emissions de GES hors UTCATF

	1990	2005	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Emissions totales (millions de tonnes de CO ₂ équivalent)	533	539	471	471	439	442	444	446	428	418	380	403	392
Emissions de la circulation routière (millions de tonnes de CO ₂ équivalent)	114	133	126	126	125	127	127	127	124	122	104	117	119
Pourcentage des émissions de la circulation routière	21%	25%	27%	27%	29%	29%	29%	28%	29%	29%	27%	29%	30%

Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2023

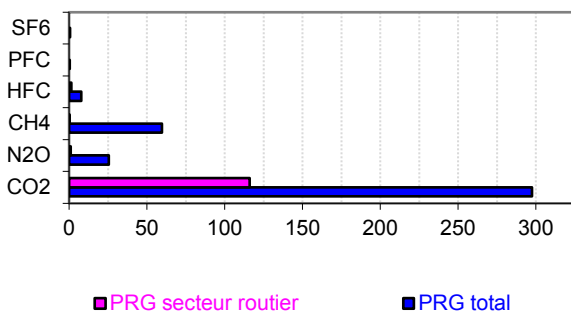
► Emissions de GES hors UTCATF (millions de tonnes de CO₂ équivalent)



Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2023

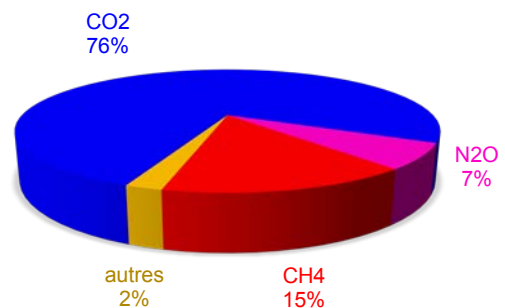
en rouge, valeurs en 1990, année de référence du protocole dit "de Kyoto".

► Emissions de gaz à effet de serre : potentiels de réchauffement global [PRG] en 2022 hors UTCATF (millions de tonnes de CO₂ équivalent)



Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2023

► Contribution des gaz à effet de serre au PRG en 2022 hors UTCATF (pourcentages)



Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2023

Les graphiques ci-dessus indiquent dans quelles proportions interviennent les différents GES au sein du « potentiel de réchauffement global » (PRG). Les émissions en volume de chacun des GES sont exprimées en « CO₂ équivalent ». Elles sont pondérées par leurs PRG calculés sur une période conventionnelle de cent ans : en effet, le potentiel de réchauffement dépend à la fois de l'activité du gaz et de sa durée de présence dans l'atmosphère.

Le choix d'une période conventionnelle plus courte renforcerait l'importance des autres GES par rapport au CO₂. En effet, ces

gaz, en particulier le méthane CH₄, sont beaucoup plus actifs que le CO₂ mais leur durée de présence est réputée plus courte.

Toutes ces données démontrent que les émissions totales décroissent régulièrement depuis plus de 10 ans en France : hors UTCATF, depuis 1990, **les émissions de tous GES ont diminué de 26%**. Les émissions de la circulation routière sont quasi constantes depuis 10 ans (hormis en 2020 du fait de la crise sanitaire).

Emissions globales en Europe

Au terme du protocole dit « de Kyoto », l'Union européenne à 15 s'était engagée collectivement à réduire de 8% ses émissions de GES entre la date de référence de 1990 et la moyenne de la période 2008-2012. L'amendement de Doha, en décembre 2012, a établi une seconde période d'engagement pour les années 2013-2020, avec un objectif de réduction de 20% par rapport au niveau de 1990 pour l'Union européenne dans son ensemble ;

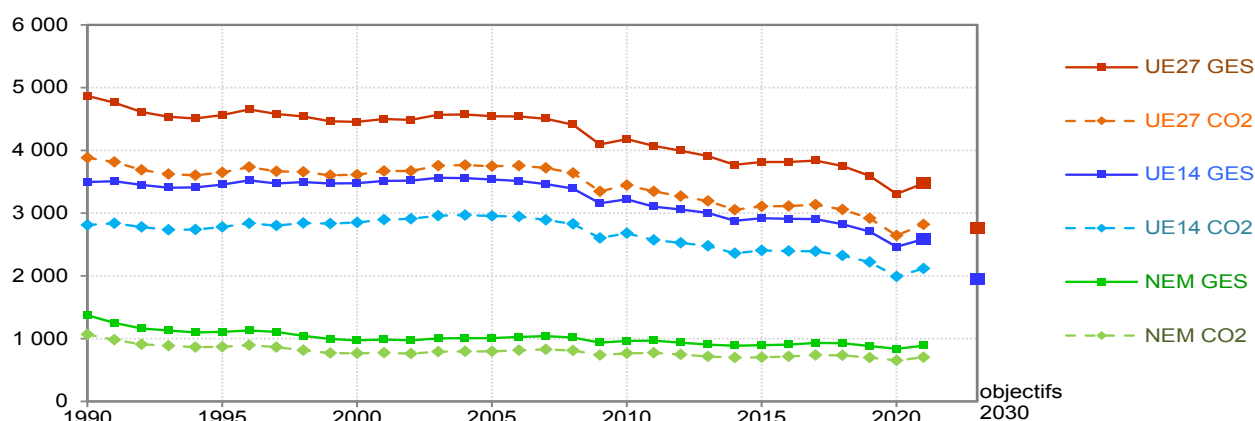
une répartition interne a ensuite été opérée entre tous les États de l'UE, chacun d'eux s'étant vu assigner un objectif particulier. Le 14 mars 2023, la commission européenne a fixé pour 2030 des objectifs de réduction des gaz à effet de serre beaucoup plus contraignants. Les tableaux et graphiques ci-dessous montrent que l'UE dans son ensemble aura de sérieux efforts à accomplir pour respecter ces nouveaux objectifs.

► Union européenne : émissions globales de GES et de CO₂ (hors UTCATF)

	1990	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	objectifs 2030
Millions de tonnes de GES : potentiel de réchauffement global en CO₂ équivalent												
Union européenne (14 Etats)	3 493	3 058	3 003	2 880	2 917	2 908	2 902	2 825	2 707	2 465	2 583	1 944
Nouveaux Etats membres (13)	1 374	937	905	888	895	907	934	926	885	839	889	
Union européenne (27 Etats)	4 867	3 995	3 909	3 768	3 812	3 815	3 836	3 751	3 591	3 304	3 472	2 766
Millions de tonnes de CO₂												
Union européenne (14 Etats)	2 811	2 526	2 477	2 358	2 403	2 396	2 392	2 325	2 220	1 989	2 115	
Nouveaux Etats membres (13)	1 069	745	714	697	703	715	740	734	697	653	703	
Union européenne (27 Etats)	3 880	3 271	3 191	3 054	3 105	3 111	3 132	3 059	2 917	2 642	2 818	

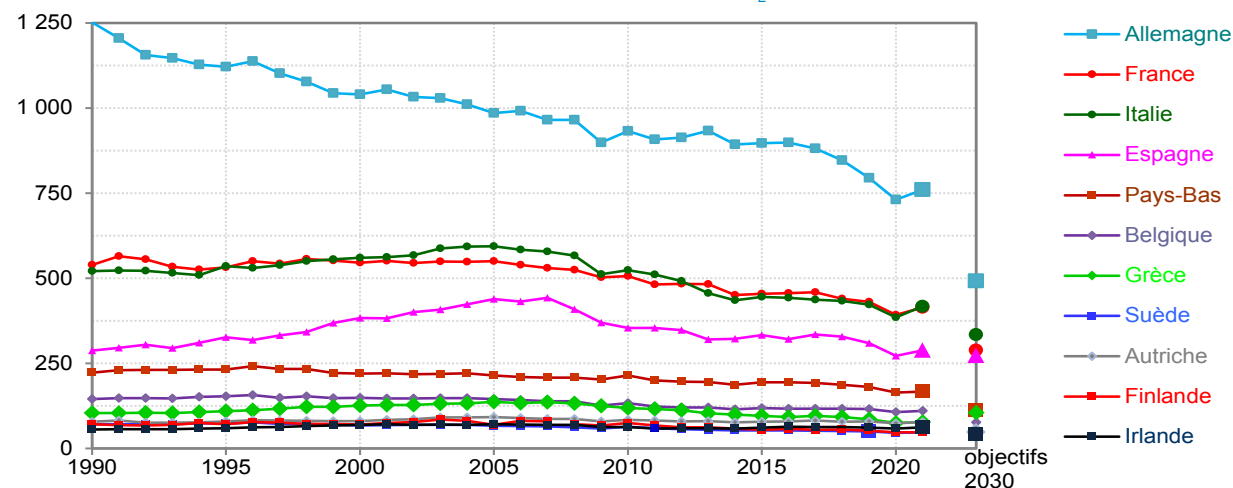
Source : Eurostat, AEE, traitements URF

► Union européenne : émissions de GES et de CO₂ et objectifs 2030 (potentiel de réchauffement global en millions de tonnes de CO₂ équivalent) hors UTCATF



Sources : Eurostat, AEE, traitements URF

► Union européenne à 14 : émissions de GES et objectifs 2030 (potentiel de réchauffement global en millions de tonnes de CO₂ équivalent)



Sources : Eurostat, AEE, traitements URF

Emissions de CO₂ de la circulation routière en Europe

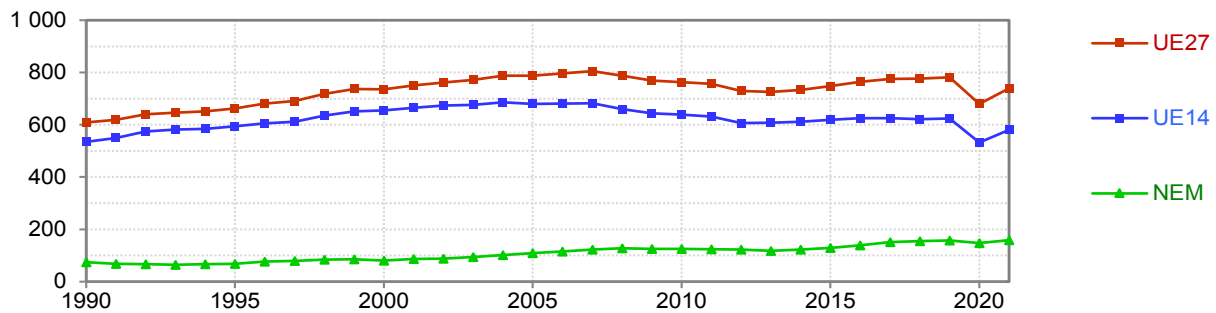
Les graphiques ci-dessous indiquent l'évolution des émissions de CO₂ par la circulation routière dans l'ensemble de l'Union européenne, et dans un certain nombre d'États de l'UE14.

De 2008 à 2019, les émissions étaient quasi stables dans l'UE14, hormis en Allemagne et en Espagne où elles continuaient à croître. Par contre, elles avaient tendance à croître légèrement dans les nouveaux États membres, malgré une stabilité dans la quasi-totalité des pays hormis en Bulgarie, Hongrie, Pologne et Roumanie. Avec la crise sanitaire, en 2020, les émissions ont baissé dans

tous les pays, mais de manière plus faible dans les nouveaux États membres. En 2021, les émissions des pays de l'UE sont remontées, de manière irrégulière selon les pays, sans toutefois atteindre les niveaux de 2019.

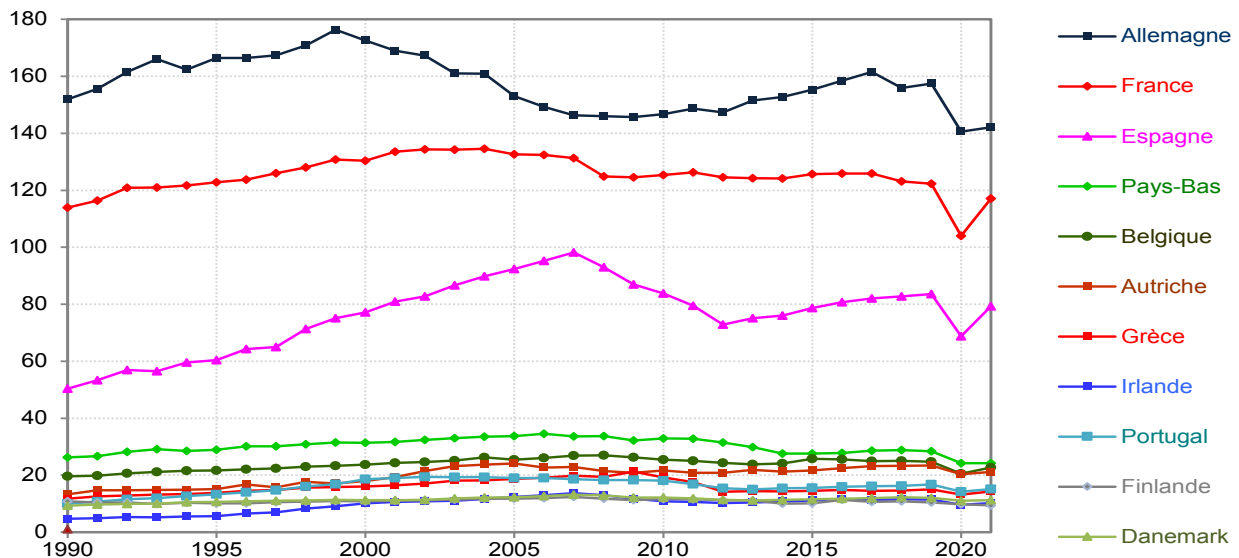
Le tableau de la page 80 fournit le détail, État par État, des émissions globales de CO₂ et de celles dues à la circulation routière en 2021. Il indique aussi quelques ratios (émissions par rapport à la population, au PIB, aux véhicules).

► Union européenne : émissions de CO₂ de la circulation routière (millions de tonnes de CO₂)



Sources : Eurostat, AEE, traitements URF

► Union européenne à 14 : émissions de CO₂ de la circulation routière (millions de tonnes de CO₂)



Sources : Eurostat, AEE, traitements URF

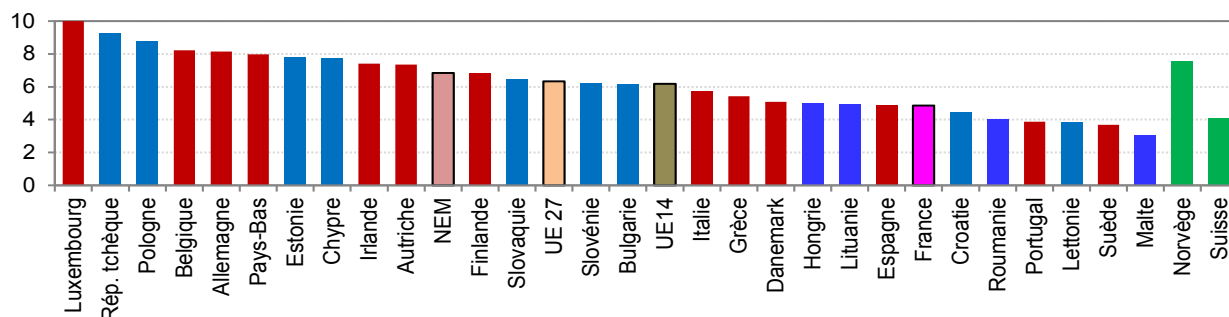
Effet de serre

Emission de CO₂

	sigle		Population (millions d'habitants)	Emissions totales				Emissions de la circulation routière seule			
				Emissions de CO ₂ (millions de tonnes)	PIB en 2021 (milliards d'euros)	Emissions de CO ₂ (tonnes par habitant)	Emissions de CO ₂ (tonnes par M€ de PIB)	Emissions de CO ₂ (millions de tonnes)	Véhicules (millions)	Emissions de CO ₂ (tonnes par habitant)	Emissions de CO ₂ (tonnes par véhicule)
UE14	BE	Belgique	11,6	96	502	8,2	190	23	6,9	2,0	3,3
NEM	BG	Bulgarie	6,8	42	71	6,2	596	10	3,3	1,4	3,0
NEM	CZ	Rép. tchèque	10,5	97	238	9,3	408	18	6,8	1,8	2,7
UE14	DK	Danemark	5,9	30	337	5,1	89	11	3,2	1,9	3,5
UE14	DE	Allemagne	83,2	679	3 602	8,2	188	142	52,2	1,7	2,7
NEM	EE	Estonie	1,3	10	31	7,8	331	2	1,0	1,7	2,4
UE14	IE	Irlande	5,1	38	426	7,4	88	10	2,7	2,0	3,8
UE14	EL	Grèce	10,6	58	182	5,4	317	14	6,8	1,4	2,1
UE14	ES	Espagne	47,4	230	1 207	4,9	191	79	30,0	1,7	2,6
UE14	FR	France	65,2	316	2 501	4,9	127	117	44,0	1,8	2,7
NEM	HR	Croatie	3,9	17	58	4,5	299	6	2,0	1,5	3,0
UE14	IT	Italie	59,0	337	1 788	5,7	189	95	44,2	1,6	2,1
NEM	CY	Chypre	0,9	7	24	7,8	293	2	0,7	2,2	2,9
NEM	LV	Lettonie	1,9	7	34	3,9	216	3	0,8	1,7	3,7
NEM	LT	Lituanie	2,8	14	56	4,9	247	6	1,7	2,1	3,4
UE14	LU	Luxembourg	0,6	8	72	13,1	117	5	0,5	7,5	10,0
NEM	HU	Hongrie	9,7	49	154	5,0	316	14	4,6	1,4	3,0
NEM	MT	Malte	0,5	2	15	3,1	107	1	0,4	1,1	1,5
UE14	NL	Pays-Bas	17,6	140	856	8,0	164	24	9,9	1,4	2,5
UE14	AT	Autriche	9,0	66	406	7,4	163	21	5,7	2,4	3,7
NEM	PL	Pologne	37,7	332	575	8,8	577	66	29,6	1,8	2,2
UE14	PT	Portugal	10,4	40	214	3,9	187	15	7,0	1,5	2,2
NEM	RO	Roumanie	19,0	77	241	4,1	320	19	8,7	1,0	2,1
NEM	SI	Slovénie	2,1	13	52	6,2	250	5	1,3	2,4	3,9
NEM	SK	Slovaquie	5,4	35	99	6,5	357	7	3,1	1,3	2,3
UE14	FI	Finlande	5,5	38	252	6,8	151	9	4,3	1,7	2,2
UE14	SE	Suède	10,5	39	538	3,7	72	14	5,7	1,3	2,5
		UE14	342	2 115	12 883	6,2	164	581	223	1,7	2,6
		NEM	103	703	1 648	6,9	426	159	64	1,5	2,5
		UE 27	444	2 818	14 532	6,3	194	740	287	1,7	2,6
	NO	Norvège	5,4	41	414	7,5	99	9	3,6	1,6	2,4
	CH	Suisse	8,7	36	677	4,1	53	13	5,2	1,5	2,6

Sources : Eurostat, AEE, traitements URF

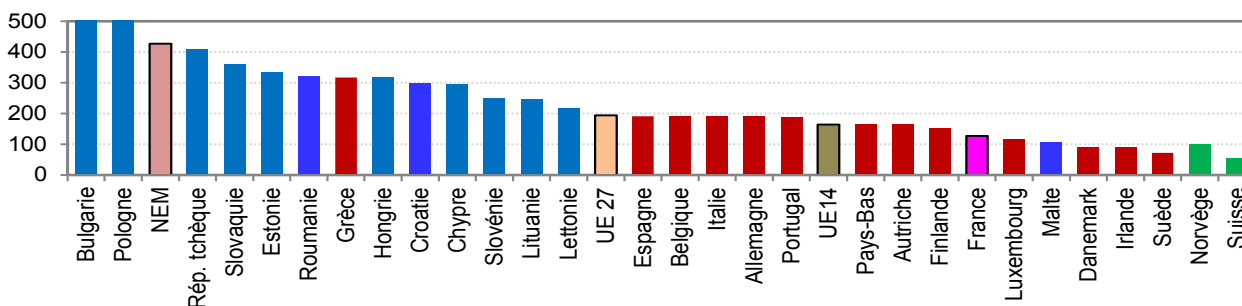
► Emissions globales de CO₂ par habitant en 2021 (tonnes par habitant)



Sources : Eurostat, AEE, traitements URF

(Le Luxembourg est hors échelle)

► Emissions globales de CO₂ par unité de PIB en 2021 (tonnes par million d'euros)



urces : Eurostat, AEE, traitements URF

(La Bulgarie et la Pologne sont hors échelle)

Marché des quotas d'émissions de CO₂

La directive européenne 2003/87 du 13 octobre 2003 transposée par l'ordonnance 2004-330 du 15 avril 2004 a institué à compter du 1^{er} janvier 2005 un système communautaire d'échanges de quotas d'émission de CO₂ (seul GES actuellement coté). Un « quota » correspond à 1 tonne de CO₂. Ce marché s'adresse pour le moment à des industriels et à des producteurs d'énergie (environ 1 100 installations concernées en France) qui peuvent s'échanger des quotas en fonction de leurs besoins ou de leurs

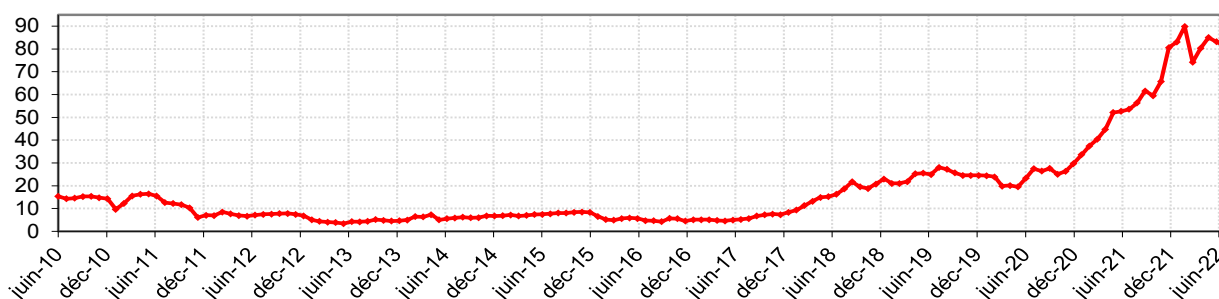
excédents par rapport à leur allocation annuelle. Il a été initialisé par le premier plan national d'allocation de quotas (PNAQ) pour la 1^{ère} phase 2005-2007. La 2^e phase était de 2008-2012, référence des engagements de Kyoto, et la 3^e phase de 2013 à 2020. La quatrième période, 2021-2030 a débuté en janvier 2021. Les cours de clôture moyens mensuels du marché au comptant sont retracés sur le tableau et le graphique ci-dessous.

► Marché à terme : cours de clôture moyens (euros par «quota» ou tonne de CO₂)

	Phase II			Phase III									Phase IV				
	juin 2010	juin 2011	juin 2012	juin 2013	juin 2014	juin 2015	juin 2016	juin 2017	juin 2018	juin 2019	juin 2020	déc. 2020	juin 2021	déc. 2021	juin 2022	Déc. 2022	juin 2023
Spot EUA	15,3	15,5	7,2	4,2	5,5	7,4	5,6	5,0	15,2	24,9	23,3	29,8	52,6	80,6	83,2	86.7	85.2

Source : European Energy Exchange (EEX)

► Marché du dioxyde de carbone : cours de clôture moyens mensuels (euros par «quota» ou tonne de CO₂)



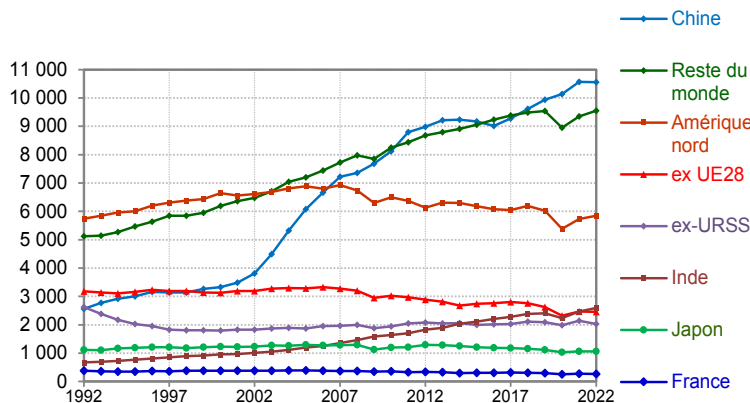
Source : European Energy Exchange (EEX)

Emissions mondiales de CO₂

La répartition entre États et régions du monde des émissions de CO₂ dues à la combustion des combustibles fossiles est retracée sur les graphiques ci-dessous : évolution depuis 1992 et répartition en 2022 (« puits » non compris). Ces chiffres peuvent différer légèrement des données officielles rassemblées et publiées par l'ONU, mais les ordres de grandeur et les tendances sont claires. On voit notamment que la part de l'ex Union européenne des vingt-huit (France comprise), qui représentait 17% des émissions en 1992,

n'en représente plus que 8% en 2022. Cette proportion est appelée à diminuer progressivement. **La France seule n'émet que 0,78% des émissions mondiales de CO₂.** La Chine, qui est le seul pays dont les émissions croissent de manière importante depuis 2001, émet 30,7% des émissions mondiales de CO₂, plus que l'ensemble de l'Amérique du nord (USA, Canada, Mexique), de l'ex-URSS et du Japon. À signaler également l'Inde dont les émissions dépassent depuis 2014 celles de l'ex-URSS et continuent à croître en 2022.

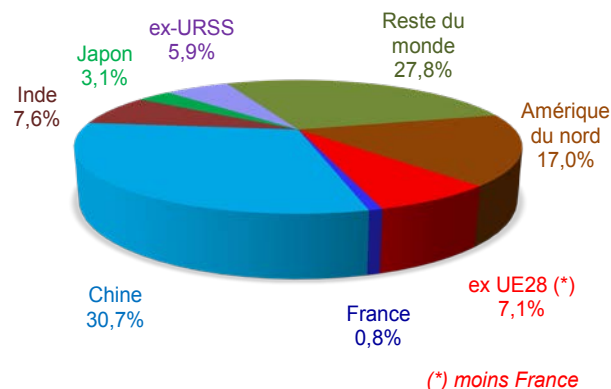
► Monde : émissions de CO₂ dues aux combustibles fossiles [pétrole, gaz et charbon] (millions de tonnes de CO₂)



Source : BP statistical review world energy 2023

(*) moins France

► Répartition des émissions de CO₂ en 2022



Source : BP statistical review world energy 2023

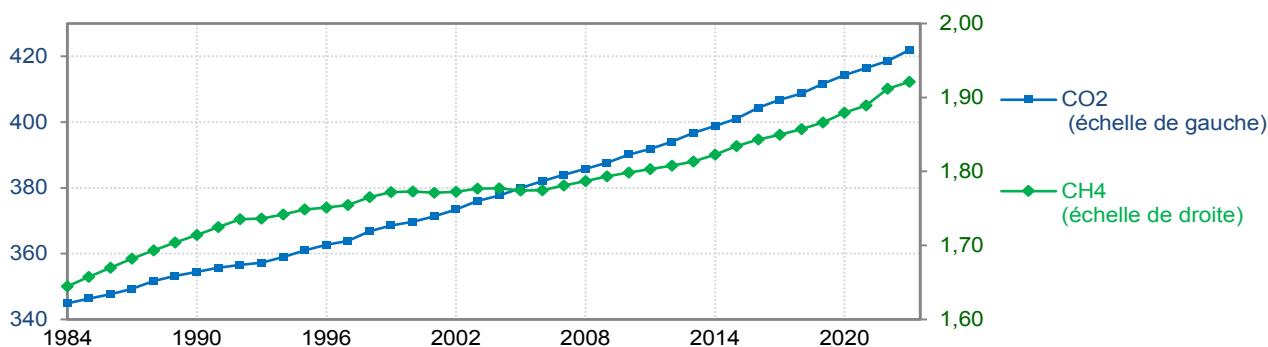
Concentration de GES dans l'air

Les concentrations de gaz à effet de serre dans l'air ambiant sont mesurées par différentes stations dispersées dans le monde entier. Parmi celles-ci, la plus connue est l'observatoire du Earth System Research Laboratory (ESRL) du National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) situé au sommet du volcan Mauna Loa (altitude 3 400 m) sur une île de l'archipel d'Hawaï. Cet emplacement est éloigné de l'influence de la végétation et

des activités humaines ; il fonctionne depuis plus de cinquante ans et procède notamment à des mesures de concentrations de GES dans l'air ambiant.

Les concentrations des deux principaux GES sont mesurées depuis 1959 pour le CO₂ et 1984 pour le CH₄. L'évolution des concentrations en moyennes annuelles, exprimées en parties par million en volume (ppmv), sont retracées dans le graphique ci-dessous.

► Concentrations en GES mesurées à Mauna Loa (parties par million en volume ppmv)



Source : NOAA, MLO (Mauna Loa Observatory)

Températures globales

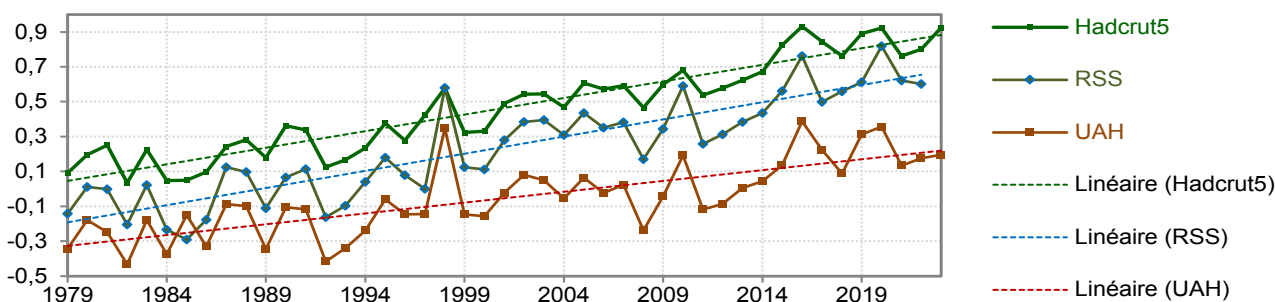
Il est intéressant de mettre en regard des évolutions précédentes l'évolution de la température moyenne de la basse troposphère (c'est-à-dire au voisinage du sol ou de la surface des océans). On dispose maintenant d'une série homogène de plus de trente-cinq années grâce à la NASA et à ses satellites dédiés, complétés par des ballons sondes. Les données sont traitées presque en temps réel notamment par trois organismes officiels qui font référence :

- L'Université d'Alabama à Huntsville (UAH) ; National Space Science and Technology Center (NSSTC) ;
- Le Remote Sensing System (RSS) à Santa Rosa (Californie), dont les recherches sont essentiellement soutenues par la NASA ;
- Le Hadley Center à Londres qui complète avec des stations au sol (Hadcrut5).

Le graphique ci-dessous indique l'évolution de la température globale depuis 1979, selon ces trois organismes. Les zéros de référence sont les moyennes de températures sur des périodes différentes pour UAH (1981-2010), RSS (1979-1998) et Hadley (1961-1990), ce qui explique le décalage entre les courbes. Mais les tendances observées sur les lignes en pointillés sur le graphe sont analogues.

Les écarts annuels à ces moyennes sont exprimés en degrés Celsius. Les pics de 1998, 2010, 2016 et 2019 sont généralement attribués au phénomène périodique dit « El Nino Southern Oscillation, ENSO » particulièrement intense ces années-là.

► Températures globales (écarts par rapport à la moyenne d'une période de référence ; degrés celsius)



Sources : University of Alabama, Remote Sensing System (California), Hadley Center (UK)
(pour 2023 : les 6 premiers mois de l'année)