

ÉNERGIE & ENVIRONNEMENT

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** ».

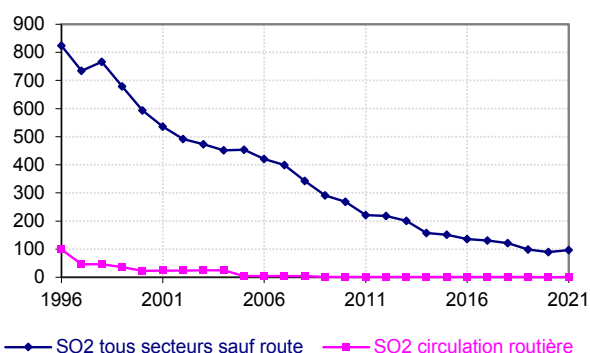
Les séries publiées par le Citepa correspondent à des **calculs** (conduits selon des protocoles rigoureux et réglementaires). Il ne s'agit donc pas de mesures in situ. Cette précision apparaît utile car la confusion est parfois faite entre les deux types d'évaluation, l'une concernant les émissions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

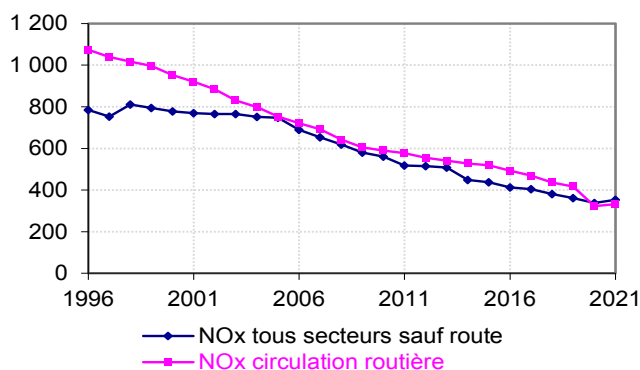
Les graphiques ci-après permettent de comparer les masses émises et leurs évolutions, respectivement par la circulation routière et par tous les autres secteurs économiques (production d'énergie, industrie, résidentiel et tertiaire, agriculture, etc.).

► Emissions de SO₂ (milliers de tonnes)



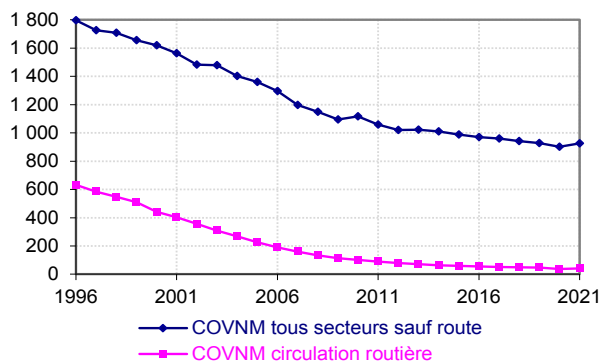
Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2022

► Emissions de NOx (milliers de tonnes)



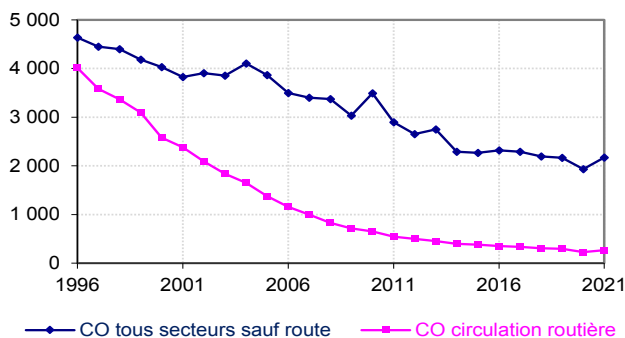
Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2022

► Emissions de COV non méthaniques (milliers de tonnes)



Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2022

► Emissions de CO (milliers de tonnes)



Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2022

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.

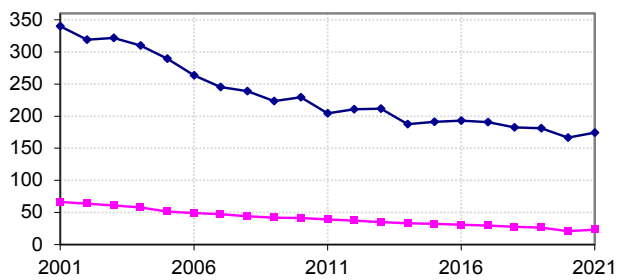
► Emissions totales et plafonds nationaux d'émissions de 2020 à 2024 (milliers de tonnes)

	2005	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Objectifs de 2020 à 2024
SO ₂	458	219	202	159	152	136	131	123	100	91	98	206
NOx	1 500	1 071	1 050	976	956	906	874	816	779	660	686	750
COVNM	1 587	1 100	1 092	1 074	1 047	1 024	1 012	990	973	939	967	905
PM 2,5	247	165	165	142	144	144	137	129	126	113	121	180

Sources : CITEPA ; Commission européenne

Emissions globales en France

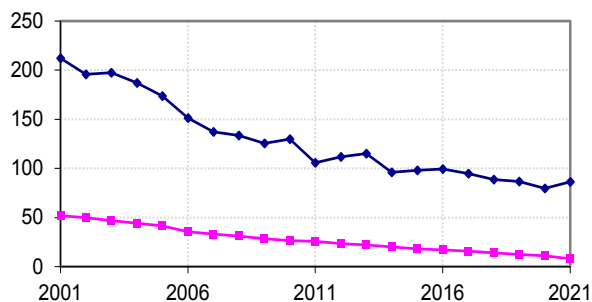
► Emissions de PM 10 (milliers de tonnes)



— PM 10 tous secteurs sauf route — PM 10 circulation routière

Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2022

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



— PM 1,0 tous secteurs sauf route
— PM 1,0 circulation routière

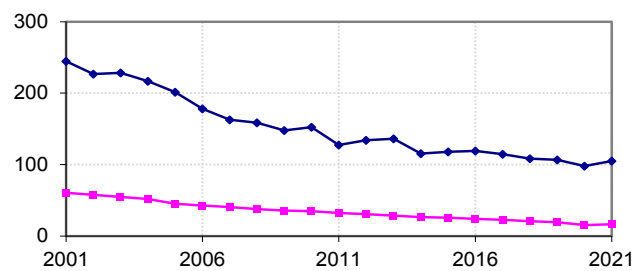
Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2022

Les graphiques précédents sont relatifs :

- aux quatre principaux **polluants chimiques** : dioxyde de soufre (SO_2), oxydes d'azote (NOx , somme pondérée du monoxyde NO et du dioxyde NO_2), 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 PM2,5 de diamètre inférieur à 2,5 micromètres et les PM1,0 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

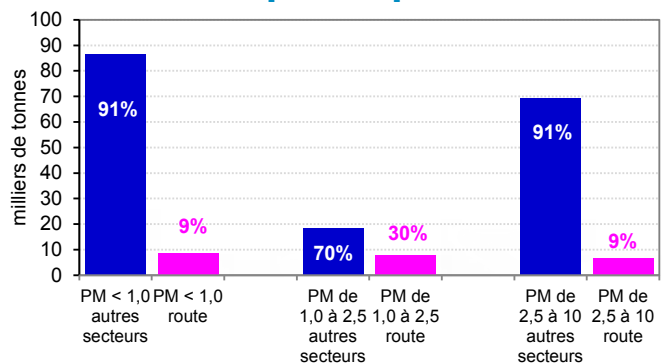
► Emissions de PM 2,5 (milliers de tonnes)



— PM 2,5 tous secteurs sauf route — PM 2,5 circulation routière

Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2022

► Masse de particules émises en 2021 par fractions granulaires et répartition entre route et autres secteurs pour chaque fraction



Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2022

sont en décroissance depuis près de vingt ans. Pour la circulation routière, cette décroissance est due à la sévérisation 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	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
SO_2	12%	0%	0%	0%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
NOx	60%	53%	52%	52%	54%	54%	54%	54%	53%	54%	49%	48%
COVNM	28%	8%	7%	6%	6%	6%	5%	5%	5%	5%	4%	4%
CO	48%	16%	16%	14%	15%	14%	13%	13%	12%	12%	11%	11%
PM 1,0	19%	18%	16%	15%	16%	15%	14%	13%	12%	11%	9%	9%
PM 2,5	20%	20%	19%	17%	19%	18%	17%	16%	16%	15%	13%	14%
PM 10	17%	16%	15%	14%	15%	14%	14%	13%	13%	13%	11%	12%

Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2021

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 48% des émissions. Quant au SO_2 routier, il a

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

Concentration en polluants - Exemple de l'Île de France

L'association Airparif mesure depuis 1979 les concentrations en polluants sur l'ensemble de la région Île-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'Île-de-France est ici choisie comme exemple.

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).

► Stations trafic (pollution de proximité)

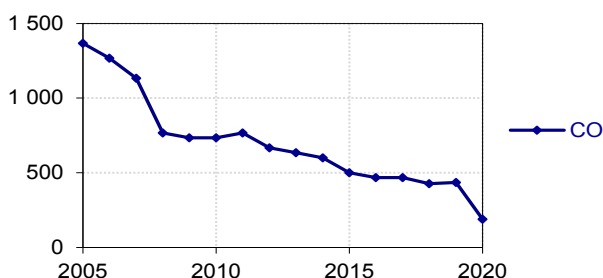
Les stations « trafic » ou « de proximité automobile » sont disposées en bordure immédiate d'axes de circulation très fréquentés et mesurent donc les concentrations de polluants avant leur dispersion dans l'air. Les concentrations en monoxydes de carbone

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 61 à 64).

	1995	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Concentration en monoxyde de carbone (moyennes horaires annuelles) (microg / m³)												
CO	4 033	733	767	667	633	600	500	467	467	426	434	188
Nombre de stations	3	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	94	98	92	92	87	84	86	82	70	65	51
NOx	450	224	228	220	212	200	194	196	188	165	154	120
Nombre de stations	5	8	8	9	11	12	13	11	13	12	12	12

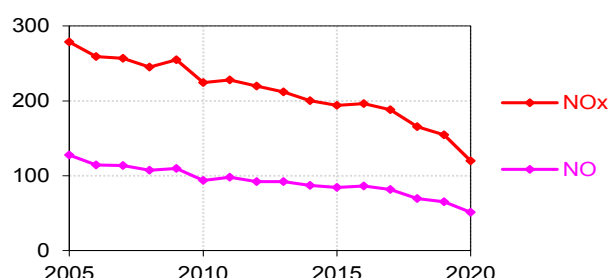
Source : Airparif

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



Source : Airparif

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



Source : Airparif

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

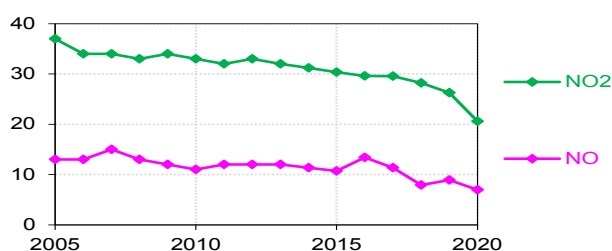
Les stations « urbaines et périurbaines » ou « de fond » mesurent la qualité de l'air ambiant, tel que nous le respirons habituellement.

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

	1995	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Concentration en oxydes d'azote (moyennes horaires annuelles) (microg / m³)												
NO ₂	54	33	32	33	32	31	30	30	30	28	26	21
NO	31	11	12	12	12	11	11	13	11	8	9	7
NOx (soit NO ₂ + 46/30 NO)	102	50	51	52	51	49	47	50	50	40	40	31
Nombre de stations	18	24	24	26	25	26	25	24	25	23	24	24

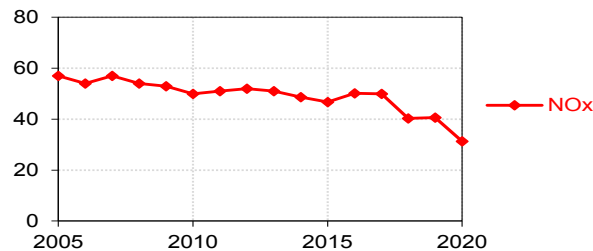
Source : Airparif

► 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)

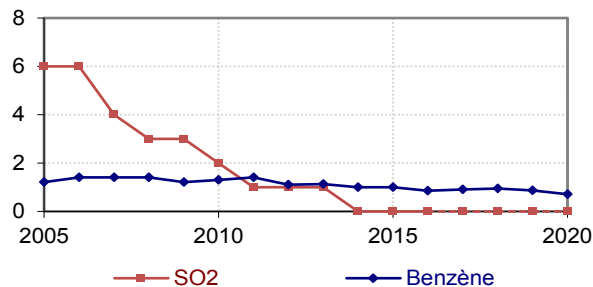
	1995	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Concentration en benzène (moyennes horaires annuelles) (microg / m³)												
Benzène	5,4	1,3	1,4	1,1	1,1	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,7
Nombre de stations	5	10	10	10	9	10	10	9	8	8	8	8
Concentration en particules (moyennes horaires annuelles) (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

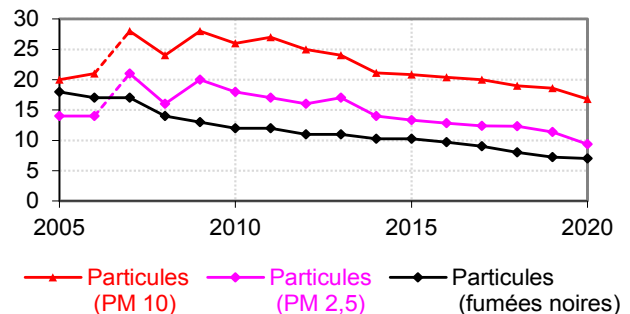
Source : Airparif

► 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

► Energie, 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 **64%** de la **consommation d'énergie primaire**.

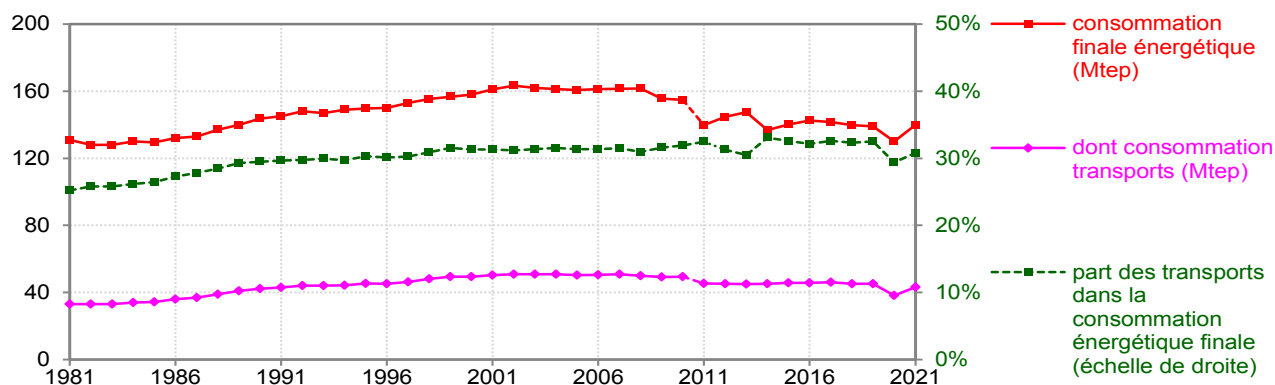
► Consommation d'énergie et ratios

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Energie primaire (millions de tep)	259	259	261	250	255	250	250	249	246	221	238
Energie finale (millions de tep)											
Energie finale "énergétique"	140	145	147	137	140	143	142	140	139	130	140
dont E finale transports (tous types d'énergies)	45	45	45	45	46	46	46	45	45	38	43
dont E finale circulation routière	42	42	42	42	43	43	43	42	42	35	37
Energie finale "non énergétique"	14	14	14	14	14	13	14	13	13	13	13
Energie finale, produits pétroliers (millions de tep)											
Produits pétroliers, E finale "énergétique"	59	58	58	56	57	56	56	54	54	47	52
dont produits pétroliers, E finale transports	42	42	41	41	42	42	42	41	41	35	39
Produits pétroliers, E finale "non énergétique"	13	13	12	13	12	12	13	12	12	11	12
Ratios (pourcentages)											
E finale énergétique / E primaire	54%	56%	57%	55%	55%	57%	57%	56%	57%	59%	59%
E finale transports / E finale énergétique	32%	31%	30%	33%	33%	32%	33%	32%	33%	29%	31%
E finale circulation routière / E finale énergétique	30%	29%	28%	31%	30%	30%	30%	30%	30%	27%	27%
E finale transports / E primaire	17%	17%	17%	18%	18%	18%	18%	18%	18%	17%	18%
prod. pétroliers transports / prod. pétroliers total	72%	71%	71%	73%	73%	75%	75%	76%	76%	73%	75%

Source : SDES

bilans énergétiques revus de 2011 à 2020 et bilan énergétique 2021 provisoire

► Consommation d'énergie finale (millions de tep)



Source : SDES, bilans énergétiques revus de 2011 à 2020 et bilan provisoire 2021

La consommation d'énergie finale des transports représente environ 31% 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 43 millions de tep en 2021.

Consommation d'énergie

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

2021 que 46% de l'énergie primaire, le reste étant constitué pour l'essentiel d'énergie hydraulique et d'énergie nucléaire.

► Consommation d'énergies fossiles (millions de tep)

	1990 (*)	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Consommations primaires												
Pétrole	89	80	77	76	75	76	73	74	71	71	61	66
Gaz	26	37	38	39	33	35	38	38	37	37	35	37
Charbon	19	11	12	13	10	9	9	10	9	7	5	7
Total	134	128	128	128	117	120	121	122	117	116	102	110
<i>Dont consommation non énergétique</i>	12	14	14	14	14	14	13	14	13	13	13	13
Consommation d'énergie finale énergétique												
Pétrole	74	59	58	58	56	57	56	56	54	54	47	52
Gaz	22	28	30	32	27	27	29	28	28	28	27	29
Charbon	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Total	100	88	90	91	84	85	86	85	83	82	75	82

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

Source : SDES : bilans énergétiques revus de 2011 à 2020 et bilan énergétique 2021 provisoire

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

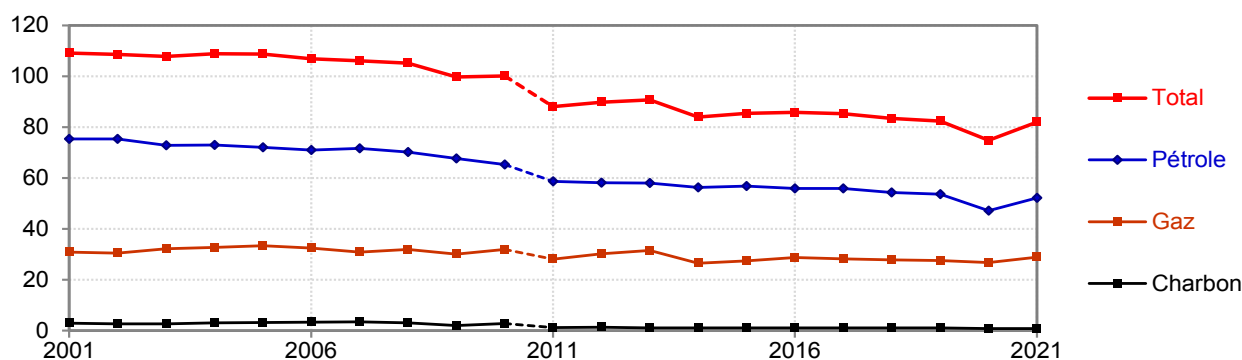
	1990 (*)	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Pétrole	76%	72%	70%	69%	72%	72%	70%	71%	70%	70%	69%	69%
Gaz	17%	26%	28%	29%	26%	26%	28%	27%	28%	28%	30%	29%
Charbon	6%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%
	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

(*) 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 2020 et bilan énergétique provisoire 2021

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

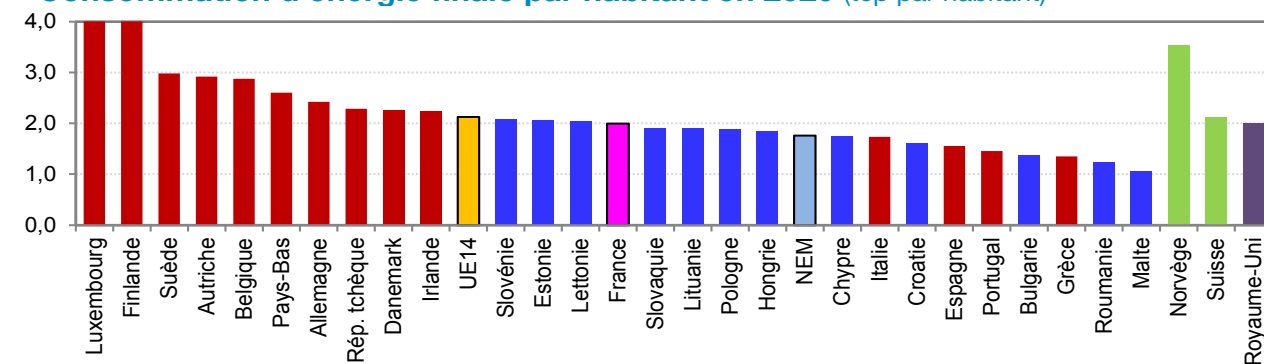
de gaz et de charbon restant, quant à elles, quasi constantes. En 2020, avec les restrictions de circulation liées à la crise sanitaire, la consommation de pétrole avait fortement baissé. En 2021, les consommations remontent au niveau de 2019, sauf celles de pétrole qui restent légèrement en baisse par rapport à 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 2020 (milliards d'euros)	Energie (tep par habitant)	Energie (tep par M€ de PIB)
UE14	BE	Belgique	11,6	33	457	2,9	73
NEM	BG	Bulgarie	6,9	10	61	1,4	156
NEM	CZ	Rép. tchèque	10,7	24	215	2,3	114
UE14	DK	Danemark	5,8	13	313	2,3	42
UE14	DE	Allemagne	83,2	202	3 368	2,4	60
NEM	EE	Estonie	1,3	3	27	2,1	103
UE14	IE	Irlande	5,0	11	373	2,2	30
UE14	EL	Grèce	10,7	14	165	1,4	87
UE14	ES	Espagne	47,4	74	1 122	1,6	66
UE14	FR	France	65,2	130	2 303	2,0	56
NEM	HR	Croatie	4,0	6	50	1,6	129
UE14	IT	Italie	59,2	103	1 657	1,7	62
NEM	CY	Chypre	0,9	2	22	1,8	73
NEM	LV	Lettonie	1,9	4	29	2,0	131
NEM	LT	Lituanie	2,8	5	50	1,9	107
UE14	LU	Luxembourg	0,6	4	64	6,0	59
NEM	HU	Hongrie	9,7	18	137	1,9	131
NEM	MT	Malte	0,5	1	13	1,1	42
UE14	NL	Pays-Bas	17,5	46	800	2,6	57
UE14	AT	Autriche	8,9	26	379	2,9	69
NEM	PL	Pologne	37,8	71	524	1,9	136
UE14	PT	Portugal	10,3	15	200	1,5	75
NEM	RO	Roumanie	19,2	24	219	1,2	108
NEM	SI	Slovénie	2,1	4	47	2,1	94
NEM	SK	Slovaquie	5,5	10	92	1,9	113
UE14	FI	Finlande	5,5	23	238	4,2	98
UE14	SE	Suède	10,4	31	476	3,0	65
	UE 14	Union européenne à 14	341,4	725	11 914	2,1	61
	NEM	Nouveaux Etats membres (13)	103	182	1 486	1,8	122
	UE 27	Union européenne à 27	445	907	13 401	2,0	68
	NO	Norvège	5	19	362	3,5	52
	CH	Suisse	8,7	18	653	2,1	28
	UK	Royaume-Uni	67,1	134	2 527	2,0	53

Source : Eurostat, traitements URF

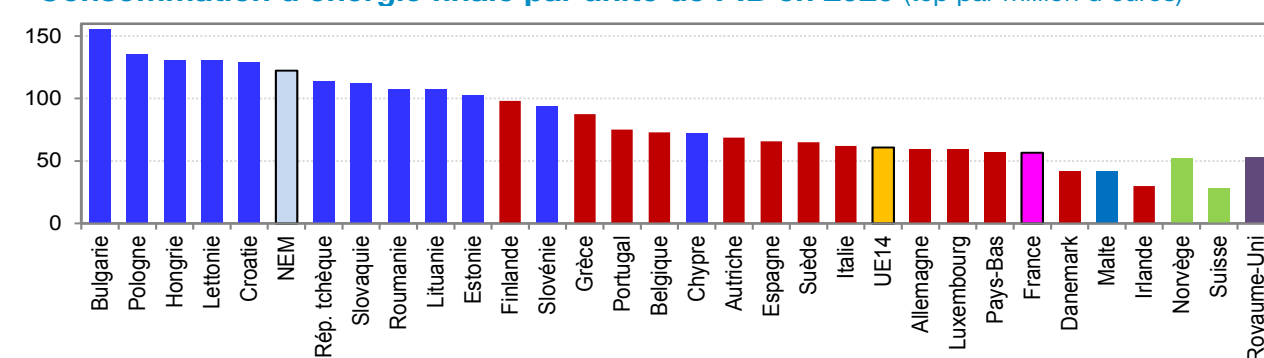
► Consommation d'énergie finale par habitant en 2020 (tep par habitant)



Source : Eurostat, traitements URF

Luxembourg et Finlande hors échelle)

► Consommation d'énergie finale par unité de PIB en 2020 (tep par million d'euros)



Source : Eurostat, traitements URF

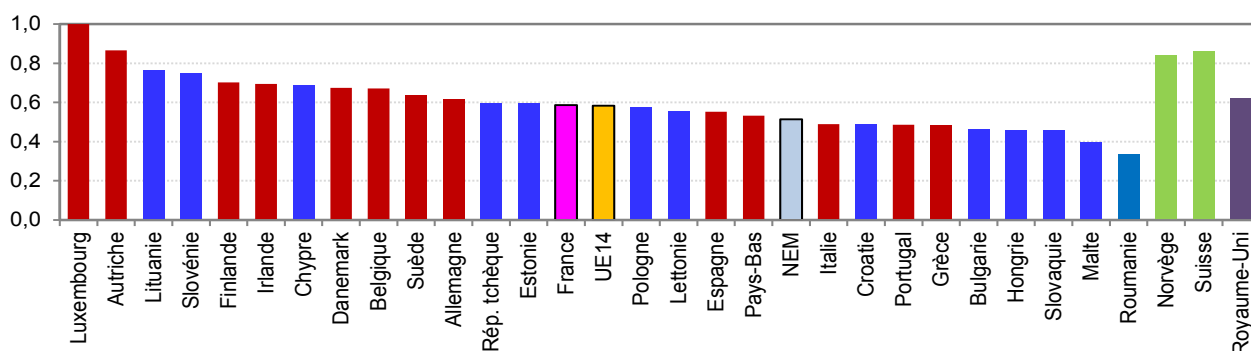


Consommation d'énergie finale dans les transports

	sigle		Population (millions d'habitants)	Consommation d'énergie finale en transports (millions de tep)	PIB en 2020 (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	8	457	0,7	17	23%
NEM	BG	Bulgarie	6,9	3	61	0,5	52	34%
NEM	CZ	Rép. tchèque	10,7	6	215	0,6	30	26%
UE14	DK	Danemark	5,8	4	313	0,7	13	30%
UE14	DE	Allemagne	83,2	51	3 368	0,6	15	25%
NEM	EE	Estonie	1,3	1	27	0,6	30	29%
UE14	IE	Irlande	5,0	3	373	0,7	9	31%
UE14	EL	Grèce	10,7	5	165	0,5	31	36%
UE14	ES	Espagne	47,4	26	1 122	0,6	23	35%
UE14	FR	France	65,2	38	2 303	0,6	17	29%
NEM	HR	Croatie	4,0	2	50	0,5	39	30%
UE14	IT	Italie	59,2	29	1 657	0,5	17	28%
NEM	CY	Chypre	0,9	1	22	0,7	29	39%
NEM	LV	Lettonie	1,9	1	29	0,6	35	27%
NEM	LT	Lituanie	2,8	2	50	0,8	43	40%
UE14	LU	Luxembourg	0,6	2	64	2,6	26	44%
NEM	HU	Hongrie	9,7	4	137	0,5	32	25%
NEM	MT	Malte	0,5	0	13	0,4	16	37%
UE14	NL	Pays-Bas	17,5	9	800	0,5	12	20%
UE14	AT	Autriche	8,9	8	379	0,9	20	30%
NEM	PL	Pologne	37,8	22	524	0,6	42	31%
UE14	PT	Portugal	10,3	5	200	0,5	25	33%
NEM	RO	Roumanie	19,2	6	219	0,3	30	27%
NEM	SI	Slovénie	2,1	2	47	0,8	34	36%
NEM	SK	Slovaquie	5,5	2	92	0,5	27	24%
UE14	FI	Finlande	5,5	4	238	0,7	16	17%
UE14	SE	Suède	10,4	7	476	0,6	14	21%
	UE 14	Union européenne à 14	341,4	199	11 914	0,6	17	27%
	NEM	Nouveaux Etats membres(13)	103	53	1 486	0,5	36	29%
	UE 27	Union européenne à 27	445	252	13 401	0,6	19	28%
	NO	Norvège	5	5	362	0,8	12	24%
	CH	Suisse	8,7	7	653	0,9	11	40%
	UK	Royaume-Uni	67,1	41	2 527	0,6	16	31%

Source : Eurostat ; traitements URF

► Consommation d'énergie finale en transport par habitant en 2020 (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 27% 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.

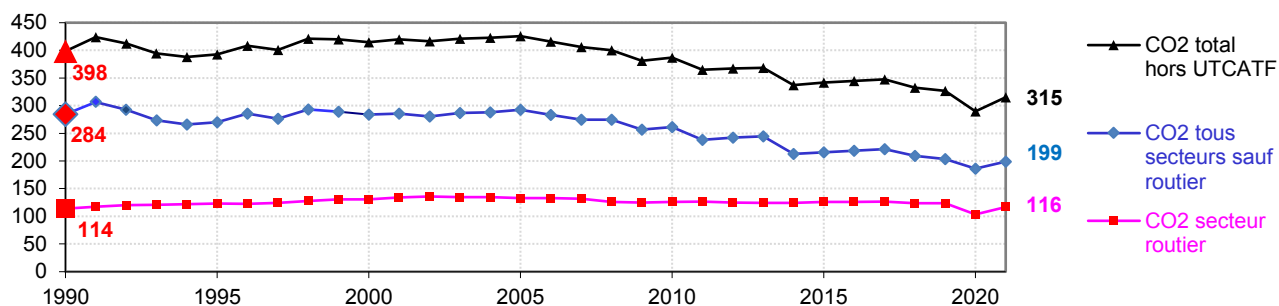
Le nouveau format de calcul « Secten » utilisé depuis 2007 correspond sensiblement au périmètre technique des engagements internationaux de la France (dont le protocole de Kyoto). C'est ainsi que les émissions et les absorptions (puits de carbone) résultant, selon la formule officielle, de l'« Utilisation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

► Emissions de CO₂ hors UTCATF

	1990	2005	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Emissions totales (millions de tonnes de CO ₂)	398	425	365	367	369	337	342	345	348	333	327	289	315
Emissions de la circulation routière (millions de tonnes de CO ₂)	114	133	127	125	124	124	126	126	126	123	123	104	116
Pourcentage des émissions de la circulation routière	29%	31%	35%	34%	34%	37%	37%	37%	36%	37%	38%	36%	37%

Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2022

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



Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2022

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, elles sont remontées mais restent cependant 6% au-dessous de celles de 2019. Leur proportion dans les émissions globales est, en 2021, d'environ 37% (29% par rapport à l'ensemble des GES).

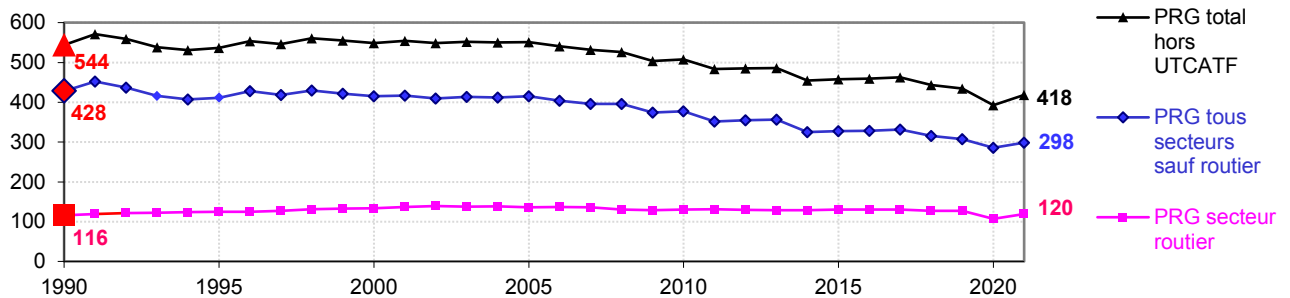
Emissions globales en France

► Emissions de GES hors UTCATF

	1990	2005	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Emissions totales (millions de tonnes de CO ₂ équivalent)	544	551	483	485	486	455	458	459	463	443	435	393	418
Emissions de la circulation routière (millions de tonnes de CO ₂ équivalent)	116	136	131	129	129	129	131	131	131	128	127	107	120
Pourcentage des émissions de la circulation routière	21%	25%	27%	27%	27%	28%	29%	28%	28%	29%	29%	27%	29%

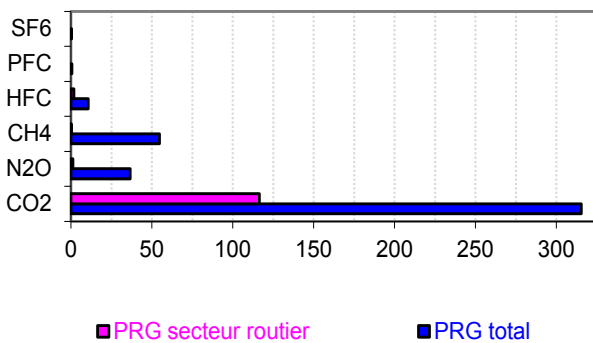
Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2022

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



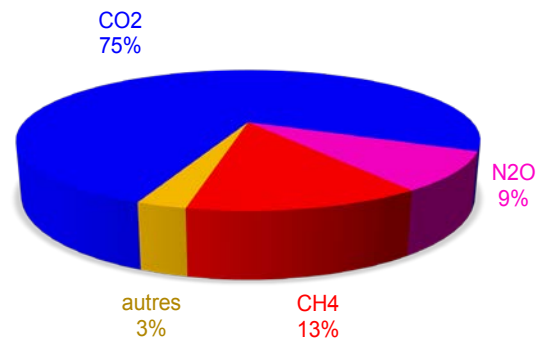
Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2022
en rouge, valeurs en 1990, année de référence du protocole dit "de Kyoto".

► Emissions de gaz à effet de serre : potentiels de réchauffement global [PRG] en 2021 hors UTCATF (millions de tonnes de CO₂ équivalent)



Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2022

► Contribution des gaz à effet de serre au PRG en 2021 hors UTCATF (pourcentages)



Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2022

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 23%**. 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. Les tableaux et graphiques ci-dessous montrent que l'UE dans son ensemble respectera bien l'objectif de Kyoto, même si certains pays n'y sont toujours pas parvenus.

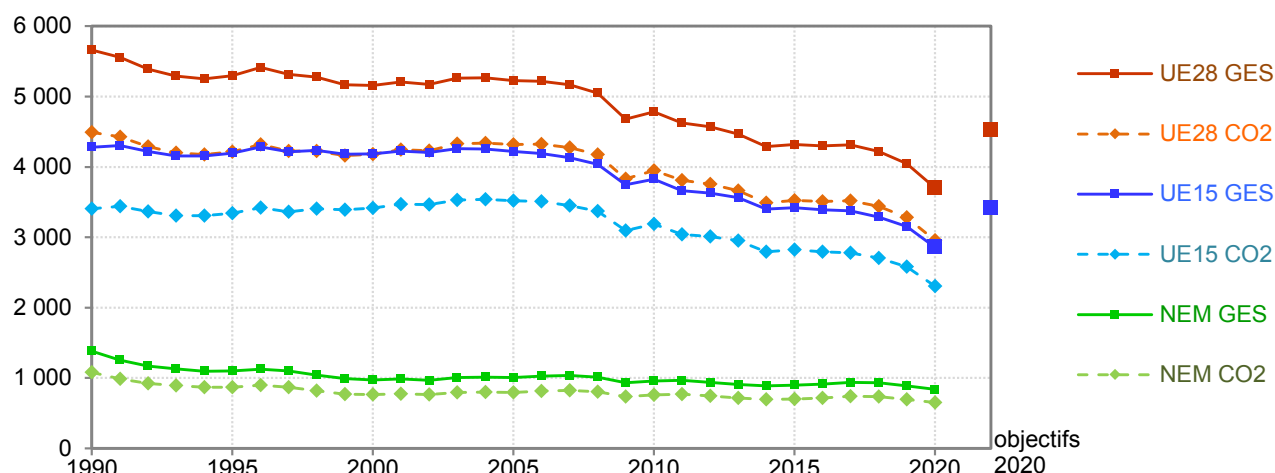
► Union européenne : émissions globales de GES et de CO₂ (hors UTCATF)

	1990	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	objectifs 2020
Millions de tonnes de GES : potentiel de réchauffement global en CO₂ équivalent												
Union européenne (15 Etats)	4 280	3 664	3 635	3 566	3 405	3 427	3 395	3 382	3 298	3 173	2 863	3 424
Nouveaux Etats membres (13)	1 382	965	936	907	891	900	910	937	927	886	841	
Union européenne (28 Etats)	5 662	4 629	4 571	4 473	4 296	4 327	4 305	4 319	4 225	4 059	3 704	4 530
Millions de tonnes de CO₂												
Union européenne (15 Etats)	3 407	3 660	3 630	3 561	3 400	3 423	3 389	3 375	3 288	3 155	2 859	
Nouveaux Etats membres (13)	1 082	967	938	908	891	898	911	939	932	891	841	
Union européenne (28 Etats)	4 490	4 627	4 569	4 469	4 291	4 321	4 300	4 314	4 220	4 046	3 700	

Source : Eurostat, AEE, traitements URF

UK est toujours inclus dans UE15 et UE28

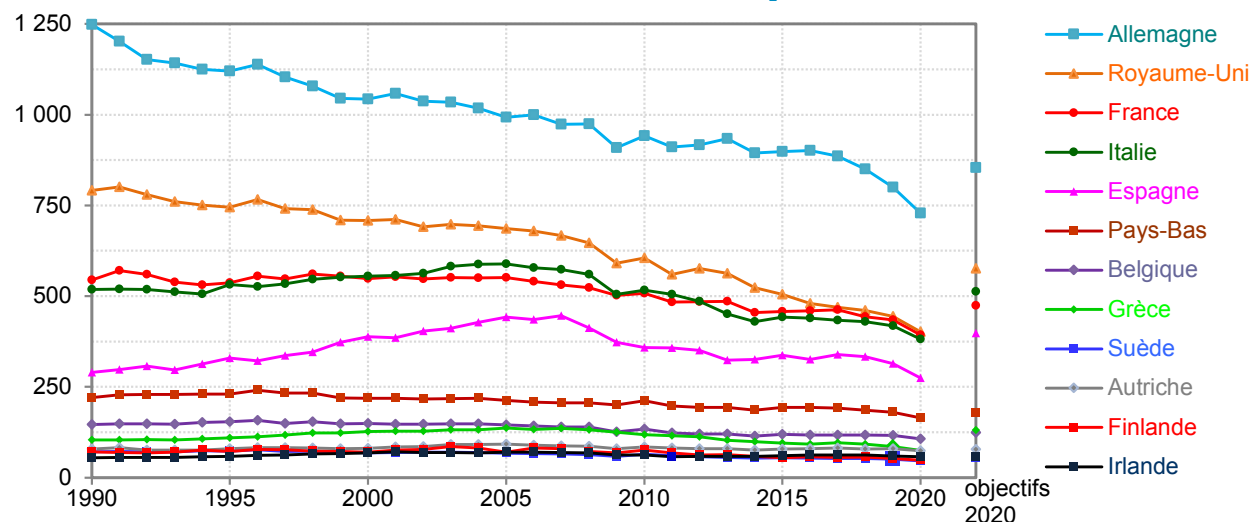
► Union européenne : émissions de GES et de CO₂ et objectifs 2020 (potentiel de réchauffement global en millions de tonnes de CO₂ équivalent) hors UTCATF



Sources : Eurostat, AEE, traitements URF

UK est toujours inclus dans UE15 et UE28

► Union européenne à 15 : émissions de GES et objectifs 2020 (potentiel de réchauffement global en millions de tonnes de CO₂ équivalent)



Sources : Eurostat, AEE, traitements URF

UK est toujours inclus dans UE15

Emissions de CO₂ de la circulation routière en Europe

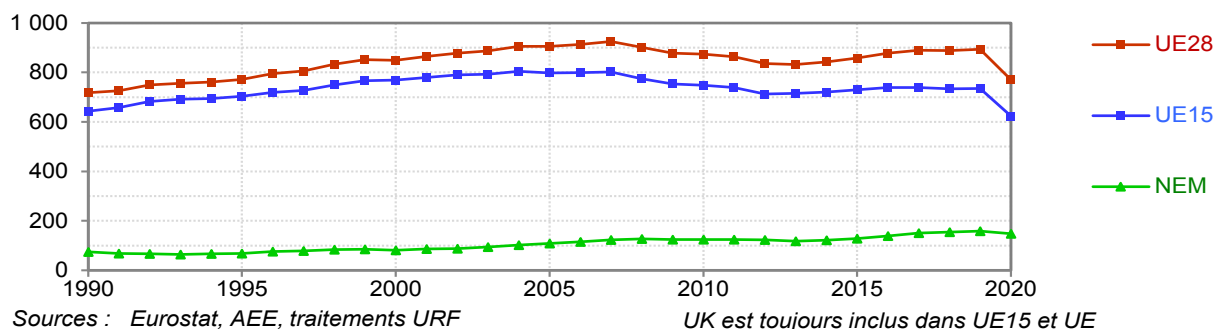
Les graphiques ci-dessous indiquent l'évolution des émissions de CO₂ par la circulation routière dans l'ensemble de l'Union européenne, et dans un certain nombre d'États de l'UE15.

De 2008 à 2019, les émissions étaient quasi stables dans l'UE15, 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.

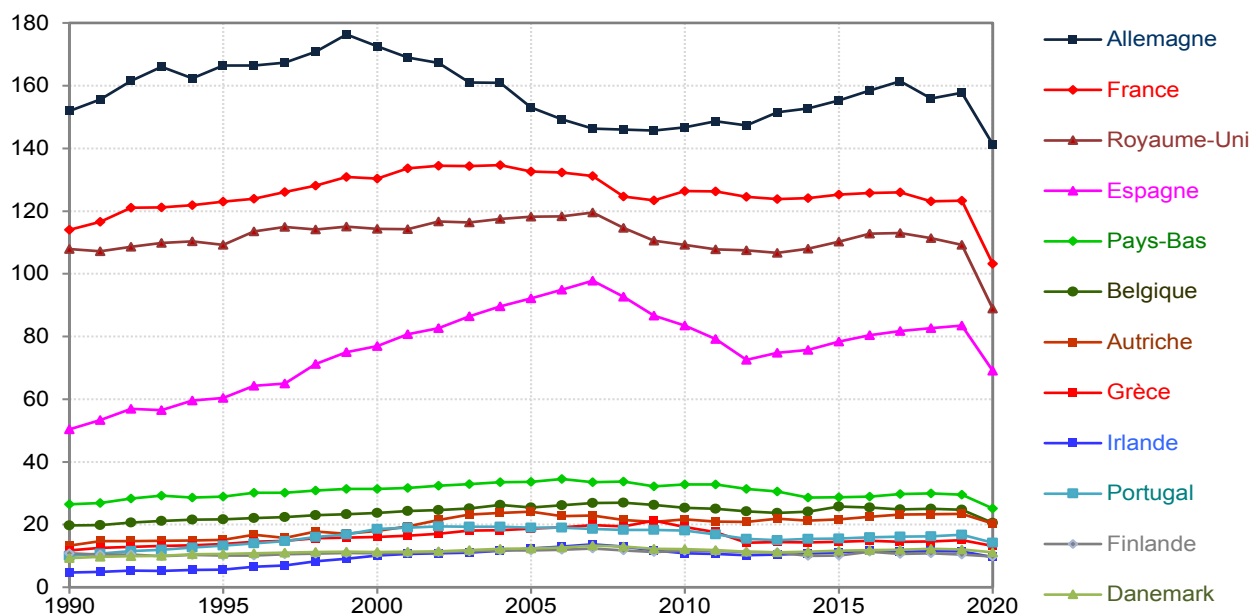
Avec la crise sanitaire, en 2020, les émissions ont baissé dans tous les pays, mais de manière plus faible dans les nouveaux États membres.

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 2020. 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)



► Union européenne à 15 : émissions de CO₂ de la circulation routière (millions de tonnes de CO₂)

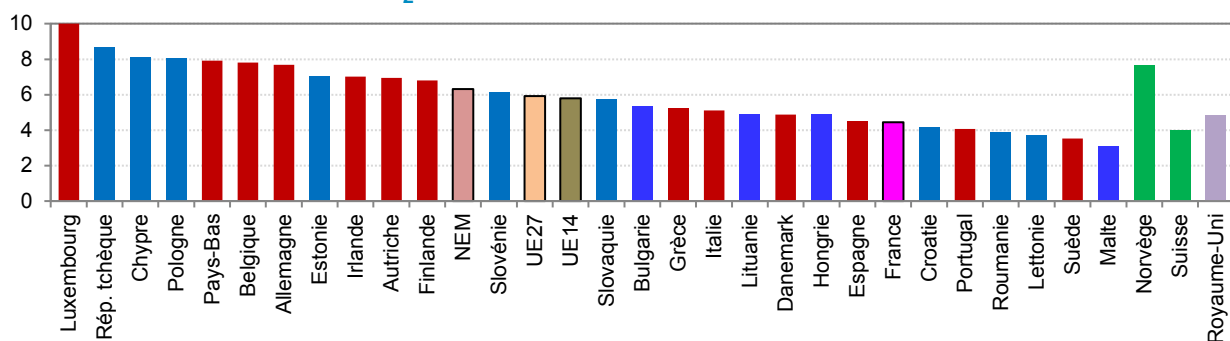


Emission de CO₂

	sigle		Population (millions d'habitants)	Emissions totales				Emissions de la circulation routière seule			
				Emissions de CO ₂ (millions de tonnes)	PIB en 2019 (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	90	457	7,8	198	21	6,9	1,8	3,0
NEM	BG	Bulgarie	6,9	37	61	5,3	603	9	3,4	1,3	2,7
NEM	CZ	Rép. tchèque	10,7	92	215	8,6	429	17	6,8	1,6	2,6
UE14	DK	Danemark	5,8	29	313	4,9	91	11	3,1	1,9	3,6
UE14	DE	Allemagne	83,2	639	3 368	7,7	190	143	53,6	1,7	2,7
NEM	EE	Estonie	1,3	9	27	7,0	348	2	0,9	1,6	2,3
UE14	IE	Irlande	5,0	35	373	7,0	94	10	2,7	1,9	3,5
UE14	EL	Grèce	10,7	56	165	5,2	336	13	6,9	1,3	1,9
UE14	ES	Espagne	47,4	213	1 122	4,5	190	70	30,5	1,5	2,3
UE14	FR	France	65,2	289	2 303	4,4	126	104	44,8	1,6	2,3
NEM	HR	Croatie	4,0	17	50	4,2	336	6	2,0	1,4	2,9
UE14	IT	Italie	59,2	302	1 657	5,1	182	79	44,9	1,3	1,8
NEM	CY	Chypre	0,9	7	22	8,1	337	2	0,7	2,1	2,8
NEM	LV	Lettonie	1,9	7	29	3,7	238	3	0,8	1,6	3,6
NEM	LT	Lituanie	2,8	14	50	4,9	276	6	1,7	2,1	3,4
UE14	LU	Luxembourg	0,6	8	64	12,8	126	5	0,5	7,4	9,6
NEM	HU	Hongrie	9,7	47	137	4,9	344	12	4,5	1,3	2,7
NEM	MT	Malte	0,5	2	13	3,1	122	1	0,4	1,0	1,5
UE14	NL	Pays-Bas	17,5	138	800	7,9	173	25	10,0	1,5	2,6
UE14	AT	Autriche	8,9	62	379	6,9	164	21	6,2	2,3	3,3
NEM	PL	Pologne	37,8	304	524	8,0	580	62	29,3	1,6	2,1
UE14	PT	Portugal	10,3	42	200	4,1	210	14	5,7	1,4	2,5
NEM	RO	Roumanie	19,2	74	219	3,9	339	18	8,5	0,9	2,1
NEM	SI	Slovénie	2,1	13	47	6,1	274	5	1,3	2,2	3,5
NEM	SK	Slovaquie	5,5	31	92	5,7	338	7	2,8	1,2	2,4
UE14	FI	Finlande	5,5	38	238	6,8	158	10	4,4	1,8	2,3
UE14	SE	Suède	10,4	37	476	3,5	77	14	5,6	1,4	2,5
		UE14	341	1 979	11 914	5,8	166	541	226	1,6	2,4
		NEM	103	654	1 486	6,3	440	149	63	1,4	2,4
		UE 27	445	2 633	13 401	5,9	196	690	289	1,6	2,4
	NO	Norvège	5,4	41	362	7,6	114	8	3,4	1,5	2,5
	CH	Suisse	8,7	34	653	4,0	53	13	5,1	1,5	2,6
	UK	Royaume-Uni	67,1	324	2 527	4,8	128	89	42,4	1,3	2,1

Sources : Eurostat, AEE, traitements URF

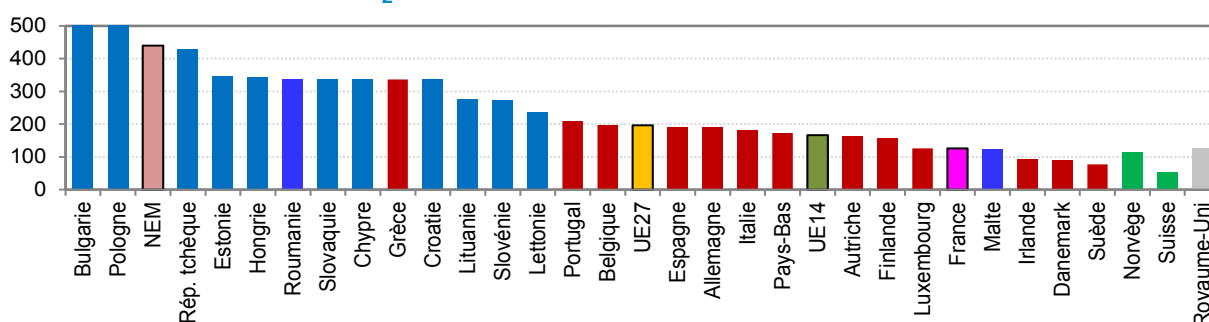
► Emissions globales de CO₂ par habitant en 2020 (tonnes par habitant)



Sources : Eurostat, AEE, traitements URF

(Le Luxembourg est hors échelle)

► Emissions globales de CO₂ par unité de PIB en 2020 (tonnes par million d'euros)



Sources : 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

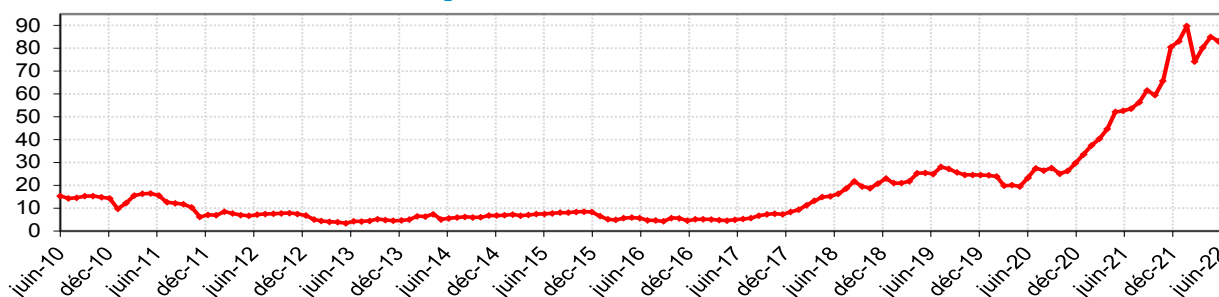
excédents par rapport à leur allocation annuelle. Il a été initialisé par le premier plan national d'allocation de quotas (PNAQ) pour la 1^{ère} phase 2005-2007. La 2^e phase était de 2008-2012, référence des engagements de Kyoto, et la 3^e phase de 2013 à 2020. La quatrième période, 2021-2030 a débuté 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	
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	
Source : European Energy Exchange (EEX)																

Source : European Energy Exchange (EEX)

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



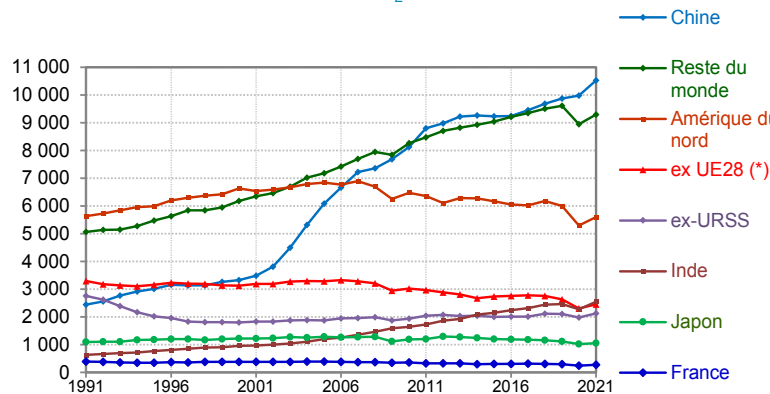
Source : European Energy Exchange (EEX)

Emissions mondiales de CO₂

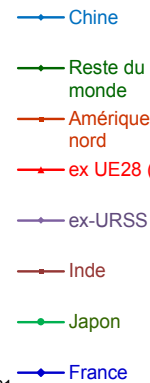
La répartition entre États et régions du monde des émissions de CO₂ dues à la combustion des combustibles fossiles est retracée sur les graphiques ci-dessous : évolution depuis 1991 et répartition en 2021 (« puits » non compris). Ces chiffres peuvent différer légèrement des données officielles rassemblées 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 18% des émissions

en 1990, n'en représente plus que 8% en 2021. 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 31,1% 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.

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

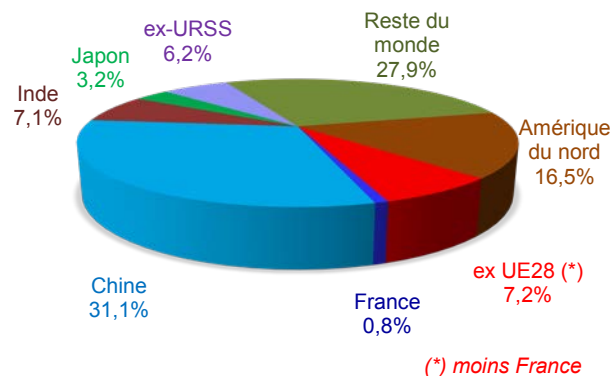


Source : BP statistical review world energy 2022



(*) moins France

► Répartition des émissions de CO₂ en 2021



(*) moins France

Source : BP statistical review world energy 2022

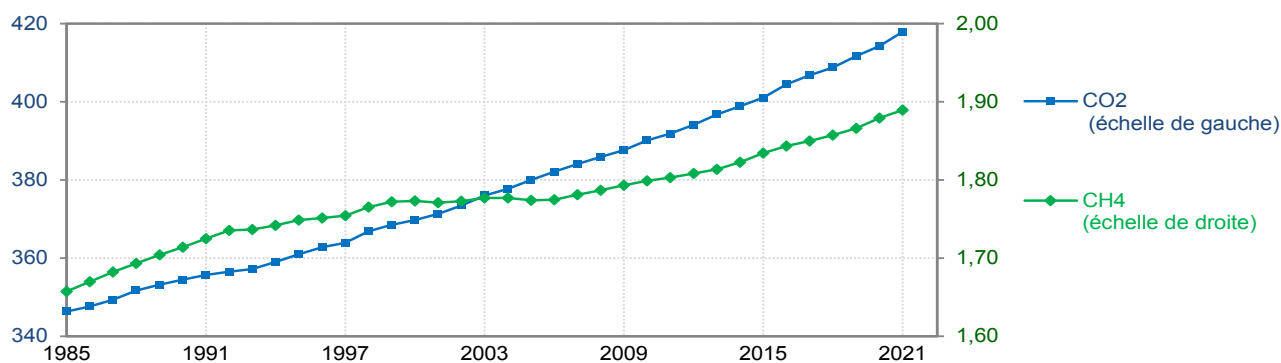
Concentration de GES dans l'air

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

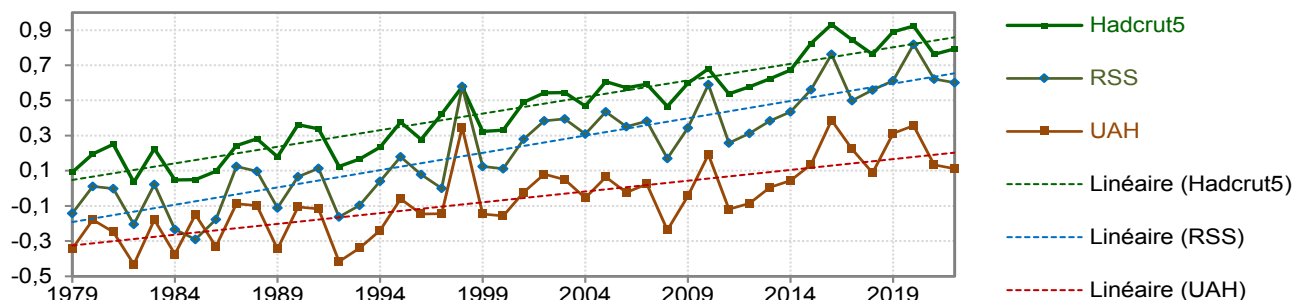
Il est intéressant de mettre en regard des évolutions précédentes l'évolution de la température moyenne de la basse troposphère (c'est-à-dire au voisinage du sol ou de la surface des océans). On dispose maintenant d'une série homogène de plus de trente-cinq années grâce à la NASA et à ses satellites 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 1980, 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 et 2016 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 2022 : les 6 premiers mois de l'année)