

ÉNERGIE & ENVIRONNEMENT

3

Qualité de l'air.....	62
Énergie.....	66
Effet de serre.....	70

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** ».

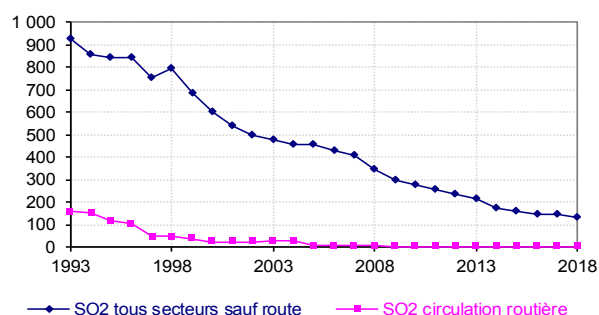
Les séries publiées par le Citepa correspondent à des **calculs** (conduits selon des protocoles rigoureux et réglementaires). Il ne s'agit donc pas de mesures in situ. Cette précision apparaît utile car la confusion est parfois faite entre les deux types d'évaluation, l'une concernant les émissions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

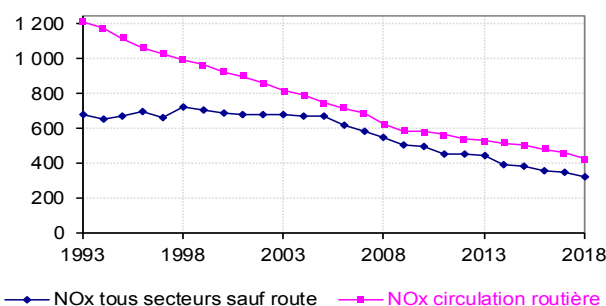
Les graphiques ci-après permettent de comparer les masses émises et leurs évolutions, respectivement par la circulation routière et par tous les autres secteurs économiques (production d'énergie, industrie, résidentiel et tertiaire, agriculture, etc.).

► Emissions de SO₂ (milliers de tonnes)



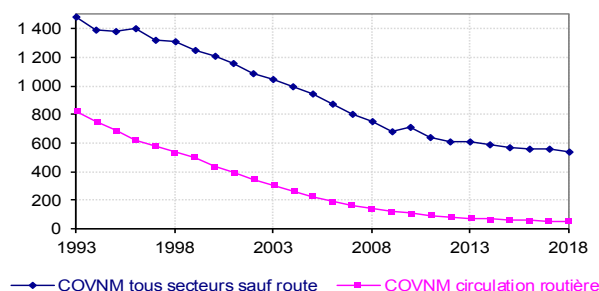
Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2019

► Emissions de NOx (milliers de tonnes)



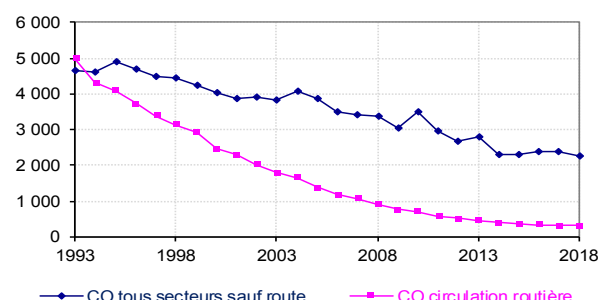
Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2019

► Emissions de COV non méthaniques (milliers de tonnes)



Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2019

► Emissions de CO (milliers de tonnes)



Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2019

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 à la France. Ces objectifs, sont déjà atteints en termes de SO₂, COVNM et particules. Par contre, le plafond en NOx demeure le plus dur à respecter.

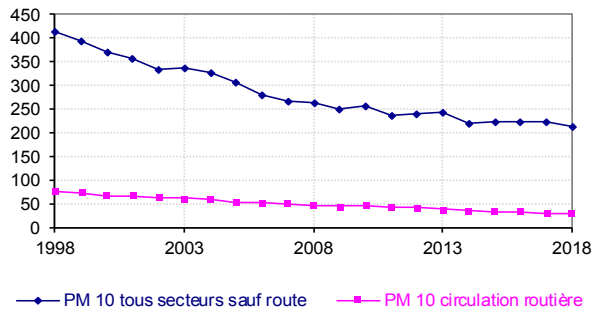
► Emissions totales et plafonds d'émissions pour 2020 (milliers de tonnes)

	2005	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2020
SO ₂	460	297	278	254	236	213	173	163	144	144	134	207
NOx	1 420	1 095	1 077	1 020	991	980	909	884	843	807	751	710
COVNM	1 175	801	817	736	700	685	661	632	619	612	600	670
PM 2,5	260	206	215	189	192	194	168	170	170	164	156	190

Sources : CITEPA ; Commission européenne

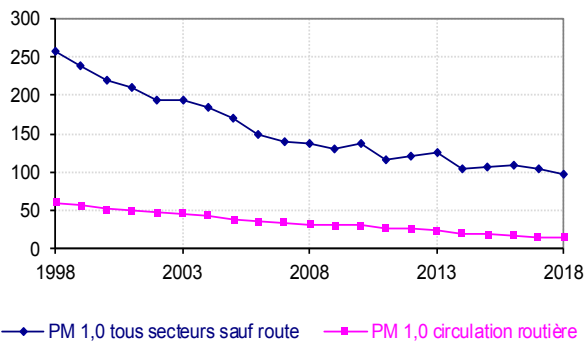
Emissions globales en France

► Emissions de PM 10 (milliers de tonnes)



Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2019

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



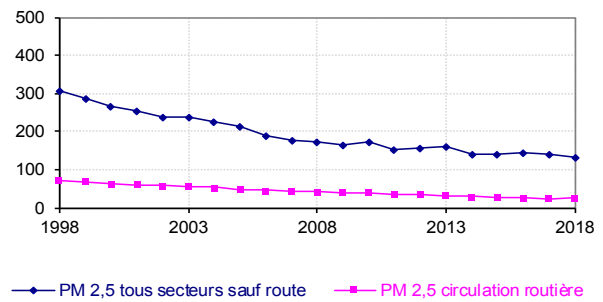
Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2019

Les graphiques précédents sont relatifs :

- aux quatre principaux **polluants chimiques** : dioxyde de soufre (SO_2), oxydes d'azote (NO_x , somme pondérée du monoxyde NO et du dioxyde NO_2), composés organiques volatils hors méthane (COVMN), 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.**

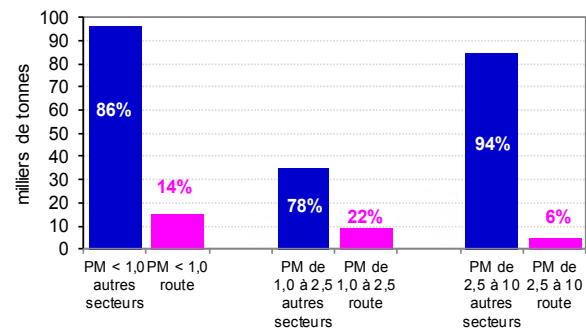
Quels que soient les polluants considérés (chimiques ou particulaires), les émissions totales et celles de la circulation routière

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



Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2019

► Masse de particules émises en 2017 par fractions granulaires et répartition entre route et autres secteurs pour chaque fraction



Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2019

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 55 à 58), 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	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
SO_2	12%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	1%	1%	1%
NO_x	62%	53%	54%	54%	55%	54%	54%	57%	57%	57%	57%	57%
COVMN	35%	16%	15%	13%	13%	12%	11%	10%	10%	10%	9%	9%
CO	47%	21%	20%	17%	16%	16%	14%	15%	14%	12%	12%	13%
PM 1,0	19%	19%	19%	18%	19%	18%	16%	16%	15%	14%	13%	14%
PM 2,5	19%	19%	19%	19%	19%	18%	17%	17%	17%	16%	15%	16%
PM 10	16%	15%	16%	15%	15%	15%	14%	14%	13%	13%	12%	12%

Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2019

A l'exception des NO_x , la route est très minoritaire dans les émissions comme l'indique le tableau ci-dessus. Le SO_2 routier 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)

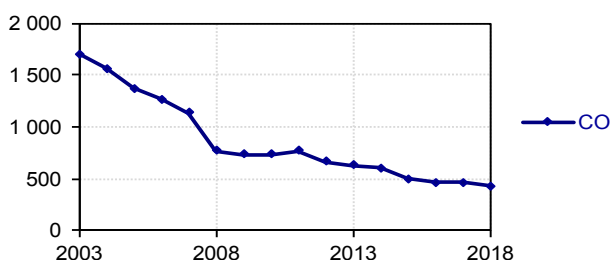
Les stations « trafic » ou « de proximité automobile » sont disposées en bordure immédiate d'axes de circulation très fréquentés et mesurent donc les concentrations de polluants avant leur dispersion dans l'air. Les concentrations en monoxydes de carbone

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 55 à 58).

	1995	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Concentration en monoxyde de carbone (moyennes horaires annuelles) (microg / m³)												
CO	4 033	767	733	733	767	667	633	600	500	467	467	426
Nombre de stations	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2
Concentration en monoxyde d'azote et en oxydes d'azote (moyennes horaires annuelles) (microg / m³)												
NO	242	107	110	94	98	92	92	87	84	86	82	70
NOx	450	245	255	224	228	220	212	200	194	196	188	165
Nombre de stations	5	6	6	8	8	9	11	12	13	11	13	12

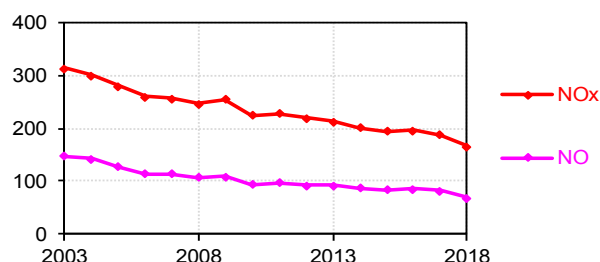
Source : Airparif

► 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)

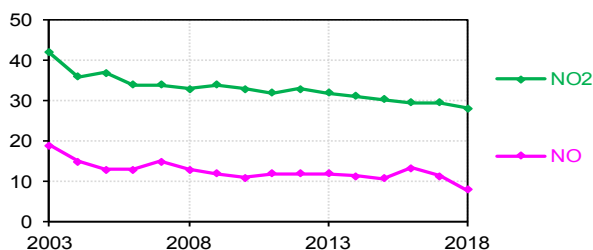
Les stations « urbaines et périurbaines » ou « de fond » mesurent la qualité de l'air ambiant, tel que nous le respirons habituellement.

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

	1995	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Concentration en oxydes d'azote (moyennes horaires annuelles) (microg / m³)												
NO ₂	54	33	34	33	32	33	32	31	30	30	30	28
NO	31	13	12	11	12	12	12	11	11	13	11	8
NOx (soit NO ₂ + 46/30 NO)	102	54	53	50	51	52	51	49	47	50	50	40
Nombre de stations	18	24	24	24	24	26	25	26	25	24	25	23

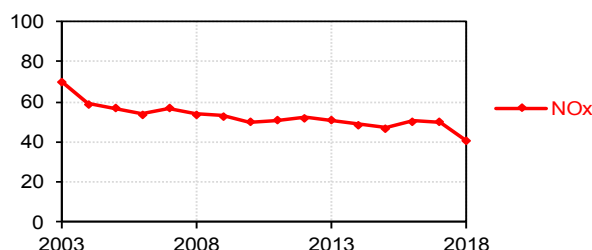
Source : Airparif

► 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)

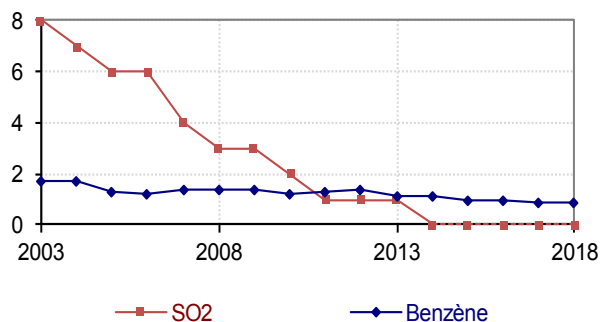
	1995	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Concentration en benzène (moyennes horaires annuelles) (microg / m³)												
Benzène	5,4	1,4	1,2	1,3	1,4	1,1	1,1	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9
Nombre de stations	5	10	10	10	10	10	9	10	10	9	8	8
Concentration en particules (moyennes horaires annuelles) (microg / m³)												
Particules (fumées noires)	19	14	13	12	12	11	11	10	10	10	9	8
Nombre de stations	29	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4
Particules (PM 10)		24	28	26	27	25	24	21	21	20	20	19
Nombre de stations		13	13	13	12	12	11	11	11	11	11	11
Particules (PM 2,5)		16	20	18	17	16	17	14	13	13	12	12
Nombre de stations		4	4	4	4	4	4	5	6	6	5	6
Concentration en dioxyde de soufre (moyennes horaires annuelles) (microg / m³)												
SO₂	14	3	3	2	1	1	1	nd *	nd *	nd *	nd *	nd *
Nombre de stations	30	8	7	5	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)



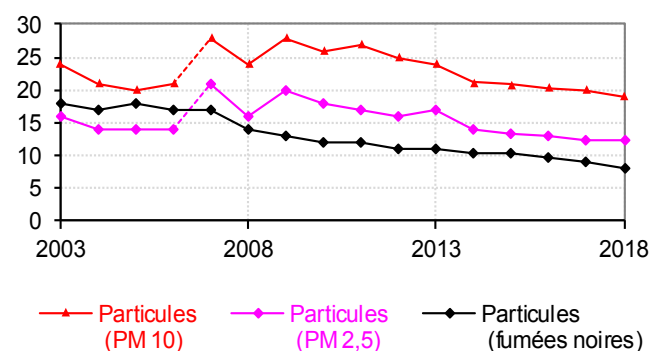
Source : Airparif

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 et n'augmente pratiquement plus dans le reste

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



Source : Airparif

de l'Île-de-France. Après l'augmentation des oxydes d'azote en 2016 et 2017, le niveau moyen des NO_x dans Paris a baissé de manière importante en 2018.

Le décret n° 2002-213 du 15 février 2002 a fixé comme objectifs de qualité, depuis le 1^{er} janvier 2010, les valeurs suivantes (moyennes annuelles en microg/m³) :

NO₂ : 40
PM10 : 30
SO₂ : 50
Benzène : 2

Ces objectifs sont tous respectés en 2018 en pollution de fond.

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.

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 = 11,6 MWh).

► 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).

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 **62%** de la **consommation d'énergie primaire**.

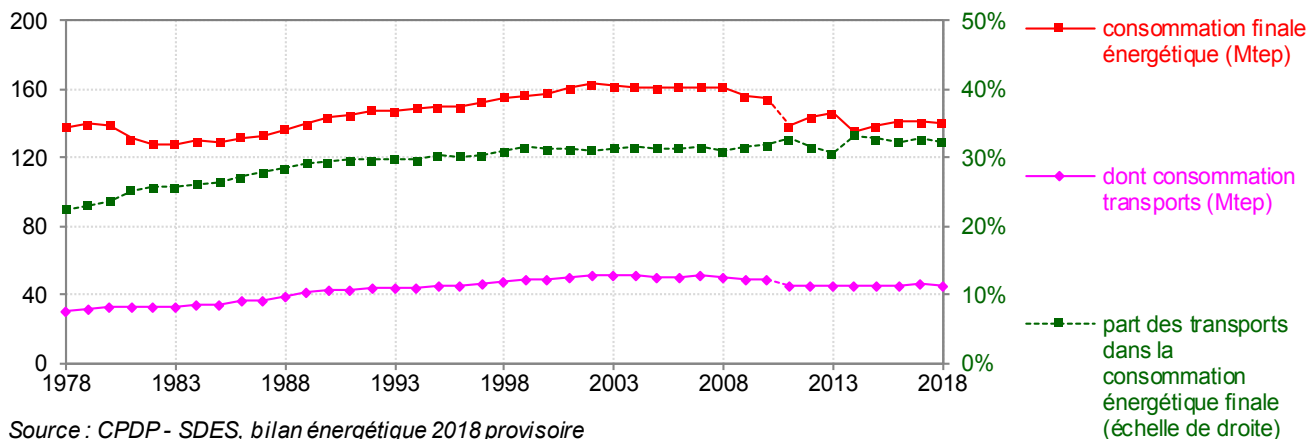
► Consommation d'énergie et ratios

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Energie primaire (millions de tep)	273	261	263	258	259	260	250	254	250	249	249
Energie finale (millions de tep)											
Energie finale "énergétique"	162	156	155	139	144	146	136	139	141	141	141
dont E finale transports (tous types d'énergies)	50	49	49	45	45	45	45	46	46	46	45
dont E finale circulation routière	42	42	42	40	39	39	39	39	39	40	39
Energie finale "non énergétique"	14	12	12	14	14	14	14	14	13	14	14
Energie finale, produits pétroliers (millions de tep)											
Produits pétroliers, E finale "énergétique"	70	68	65	58	58	57	56	56	55	55	55
dont produits pétroliers, E finale transports	49	48	48	42	42	41	41	42	42	42	41
Produits pétroliers, E finale "non énergétique"	12	11	11	13	13	12	13	13	12	13	12
Ratios (pourcentages)											
E finale énergétique / E primaire	59%	60%	59%	54%	56%	56%	54%	55%	57%	57%	56%
E finale transports / E finale énergétique	31%	32%	32%	33%	32%	31%	33%	33%	32%	33%	32%
E finale circulation routière / E finale énergétique	26%	27%	27%	29%	27%	27%	29%	28%	28%	28%	28%
E finale transports / E primaire	18%	19%	19%	18%	18%	17%	18%	18%	18%	19%	18%
prod. pétroliers transports / prod. pétroliers total	69%	71%	73%	72%	72%	72%	74%	74%	76%	76%	75%

Source : CPDP - SDES

bilans énergétiques depuis 2011 revus en 2017

► Consommation d'énergie finale (millions de tep)



La consommation d'énergie finale des transports représente environ 32% de la consommation totale.

Elle est pratiquement stabilisée depuis 2011 à environ 45 millions de tep.

Consommation d'énergie

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

49% 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 (*)	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Approvisionnements												
Pétrole	89	88	85	82	81	79	80	79	80	77	80	79
Gaz	25	40	38	42	37	38	39	33	35	38	38	37
Charbon	19	12	11	12	10	11	13	9	9	9	9	9
Total	133	140	134	136	128	128	132	121	124	124	128	125
Dont consommation non énergétique	12	14	12	12	12	14	13	14	13	13	14	14
Consommation d'énergie primaire énergétique												
Pétrole	81	77	74	70	72	67	60	60	59	58	60	59
Gaz	24	39	37	39	39	37	38	36	34	37	37	35
Charbon	19	12	11	11	10	11	12	9	8	8	9	9
Total	124	128	123	120	120	115	110	104	102	103	106	103

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

Source : SDES, bilan énergétique 2018 provisoire

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

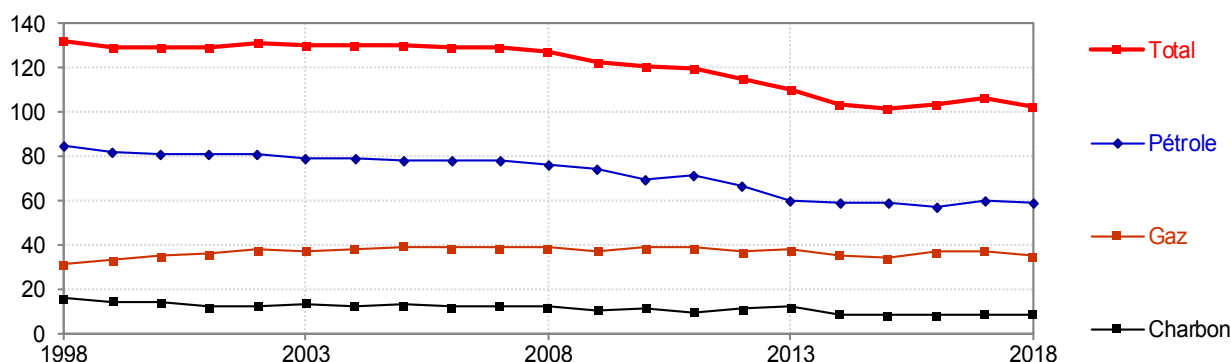
	1990 (*)	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Pétrole	65%	63%	64%	61%	63%	61%	60%	63%	60%	58%	60%	60%
Gaz	15%	24%	24%	26%	26%	26%	26%	26%	24%	29%	29%	28%
Charbon	20%	13%	12%	13%	11%	13%	14%	11%	15%	12%	11%	12%
	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

(*) 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 et CPDP

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



Source : CPDP, SDES, bilan énergétique 2018 provisoire

La consommation d'énergies fossiles est restée pratiquement constante de 1990 à 2008, le gaz se substituant progressivement au charbon et le pétrole restant stable. L'année 2009 a connu une

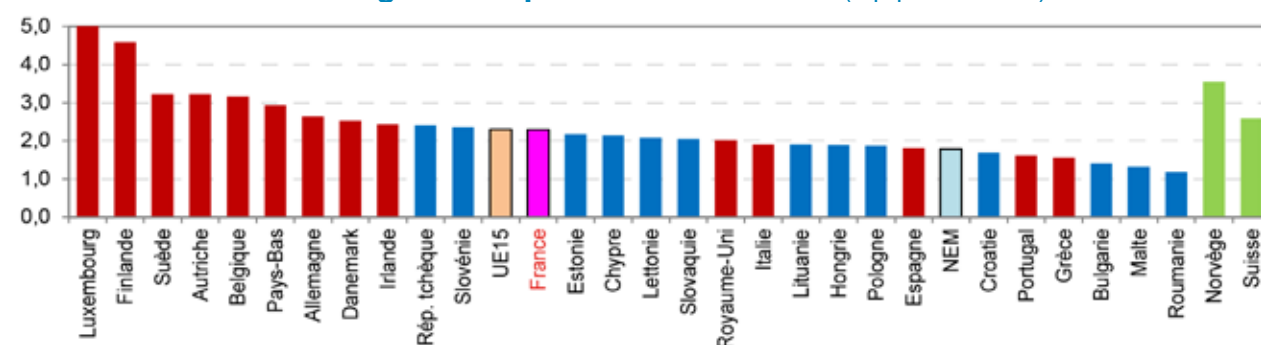
baisse significative du fait de la crise économique ; cette baisse s'est poursuivie jusqu'en 2013, la consommation se stabilisant depuis cette date.

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 2017 (milliards d'euros)	Energie (tep par habitant)	Energie (tep par M€ de PIB)
UE15	BE	Belgique	11,4	36	451	3,2	80
NEM	BG	Bulgarie	7,1	10	55	1,4	179
NEM	CZ	République tchèque	10,6	25	207	2,4	123
UE15	DK	Danemark	5,8	15	297	2,5	49
UE15	DE	Allemagne	82,9	219	3 386	2,6	65
NEM	EE	Estonie	1,3	3	26	2,2	112
UE15	IE	Irlande	4,8	12	318	2,4	37
UE15	EL	Grèce	10,7	17	185	1,6	91
UE15	ES	Espagne	46,7	84	1 207	1,8	70
UE15	FR	France	65,0	149	2 349	2,3	63
NEM	HR	Croatie	4,1	7	51	1,7	135
UE15	IT	Italie	60,5	115	1 754	1,9	66
NEM	CY	Chypre	0,9	2	21	2,1	89
NEM	LV	Lettonie	1,9	4	30	2,1	136
NEM	LT	Lituanie	2,8	5	45	1,9	118
UE15	LU	Luxembourg	0,6	4	59	7,0	71
NEM	HU	Hongrie	9,8	19	132	1,9	140
NEM	MT	Malte	0,5	1	12	1,3	51
UE15	NL	Pays-Bas	17,2	50	773	2,9	65
UE15	AT	Autriche	8,8	28	386	3,2	74
NEM	PL	Pologne	38,0	71	497	1,9	143
UE15	PT	Portugal	10,3	17	202	1,6	82
NEM	RO	Roumanie	19,5	23	202	1,2	115
NEM	SI	Slovénie	2,1	5	46	2,4	106
NEM	SK	Slovaquie	5,4	11	90	2,0	123
UE15	FI	Finlande	5,5	25	224	4,6	113
UE15	SE	Suède	10,1	33	467	3,2	70
UE15	UK	Royaume-Uni	66,2	133	2 390	2,0	56
	UE 15	Union européenne à 15	407	937	14 447	2,3	65
	NEM	Nouveaux Etats membres (13)	104	186	1 414	1,8	131
	UE 28	Union européenne à 28	511	1123	15 861	2,2	71
	NO	Norvège	5,3	19	369	3,6	51
	CH	Suisse	8,5	22	597	2,6	37

Source : Eurostat, traitements URF

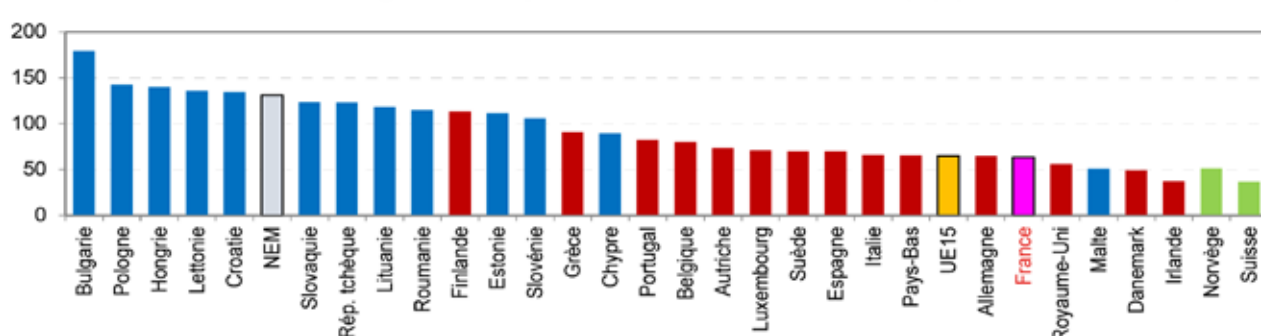
Consommation d'énergie finale par habitant en 2017 (tep par habitant)



Source : Eurostat, traitements URF

(Le Luxembourg est hors échelle)

Consommation d'énergie finale par unité de PIB en 2017 (tep par million d'euros)



Source : Eurostat, traitements URF

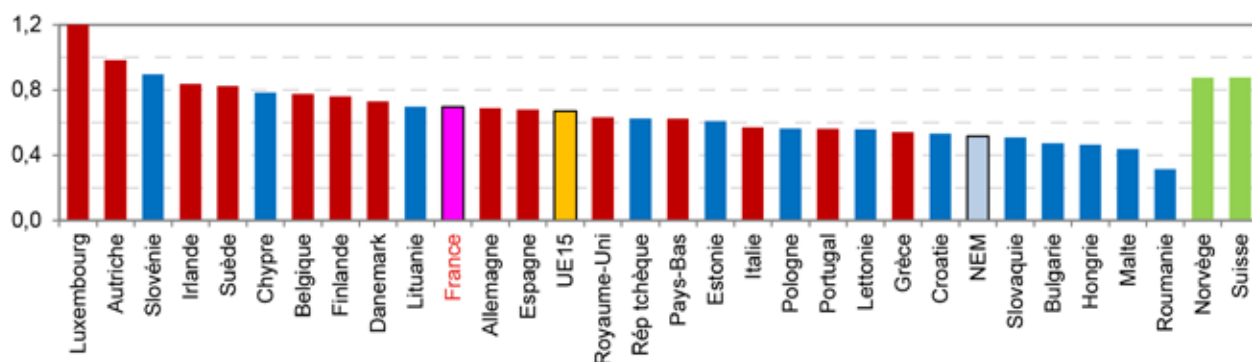


Consommation d'énergie finale dans les transports

	sigle		Population (millions d'habitants)	Consommation d'énergie finale en transports (millions de tep)	PIB en 2017 (milliards d'euros)	Energie en transports (tep par habitant)	Energie en transports (tep par M€ de PIB)	Energie transports / énergie totale
UE15	BE	Belgique	11,4	9	451	0,8	20	25%
NEM	BG	Bulgarie	7,1	3	55	0,5	60	34%
NEM	CZ	République tchèque	10,6	7	207	0,6	32	26%
UE15	DK	Danemark	5,8	4	297	0,7	14	29%
UE15	DE	Allemagne	82,9	57	3 386	0,7	17	26%
NEM	EE	Estonie	1,3	1	26	0,6	31	28%
UE15	IE	Irlande	4,8	4	318	0,8	13	34%
UE15	EL	Grèce	10,7	6	185	0,5	31	35%
UE15	ES	Espagne	46,7	32	1 207	0,7	26	38%
UE15	FR	France	65,0	45	2 349	0,7	19	30%
NEM	HR	Croatie	4,1	2	51	0,5	43	32%
UE15	IT	Italie	60,5	35	1 754	0,6	20	30%
NEM	CY	Chypre	0,9	1	21	0,8	33	37%
NEM	LV	Lettonie	1,9	1	30	0,6	37	27%
NEM	LT	Lituanie	2,8	2	45	0,7	43	37%
UE15	LU	Luxembourg	0,6	2	59	3,3	33	47%
NEM	HU	Hongrie	9,8	5	132	0,5	34	24%
NEM	MT	Malte	0,5	0	12	0,4	17	33%
UE15	NL	Pays-Bas	17,2	11	773	0,6	14	21%
UE15	AT	Autriche	8,8	9	386	1,0	22	30%
NEM	PL	Pologne	38,0	21	497	0,6	43	30%
UE15	PT	Portugal	10,3	6	202	0,6	29	35%
NEM	RO	Roumanie	19,5	6	202	0,3	30	26%
NEM	SI	Slovénie	2,1	2	46	0,9	40	38%
NEM	SK	Slovaquie	5,4	3	90	0,5	31	25%
UE15	FI	Finlande	5,5	4	224	0,8	19	17%
UE15	SE	Suède	10,1	8	467	0,8	18	26%
UE15	UK	Royaume-Uni	66,2	42	2 390	0,6	18	31%
	UE 15	Union européenne à 15	407	273	14 447	0,7	19	29%
	NEM	Nouveaux Etats membres (13)	104	54	1 414	0,5	38	29%
	UE 28	Union européenne à 28	511	327	15 861	0,6	21	29%
	NO	Norvège	5,3	5	369	0,9	13	25%
	CH	Suisse	8,5	7	597	0,9	12	34%

Source : Eurostat ; traitements URF

► Consommation d'énergie finale en transport par habitant en 2017 (tep par habitant)



Source : 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 15 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 29% dans l'UE 15 et 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 62) 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.

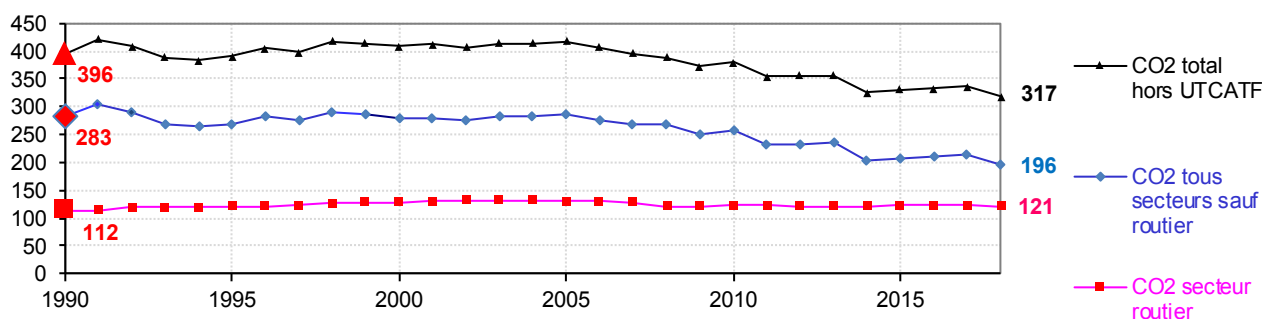
Le nouveau format de calcul « Secten » utilisé depuis 2007 correspond sensiblement au périmètre technique des engagements internationaux de la France (dont le protocole de Kyoto). C'est ainsi que les émissions et les absorptions (puits de carbone) résultant, selon la formule officielle, de l'« Utilisation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

► Emissions de CO₂ hors UTCATF

	1990	1995	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Emissions totales (millions de tonnes de CO ₂)	396	391	389	372	379	355	356	357	325	331	332	336	317
Emissions de la circulation routière (millions de tonnes de CO ₂)	112	121	122	121	123	123	122	121	121	122	123	123	121
Pourcentage des émissions de la circulation routière	28%	31%	31%	32%	33%	35%	34%	34%	37%	37%	37%	37%	38%

Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2019

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



Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2019

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 sont quasi stables. Leur proportion dans les émissions globales est, en 2018, d'environ 38% (29% par rapport à l'ensemble des GES).

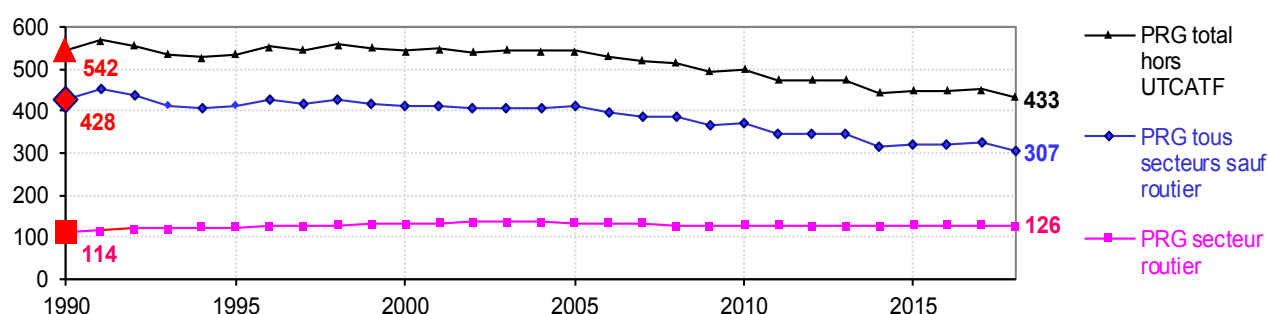
Emissions globales en France

► Emissions de GES hors UTCATF

	1990	1995	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Emissions totales (millions de tonnes de CO ₂ équivalent)	542	535	514	493	499	473	473	473	443	447	448	452	433
Emissions de la circulation routière (millions de tonnes de CO ₂ équivalent)	114	123	127	125	128	128	127	126	126	127	128	128	126
Pourcentage des émissions de la circulation routière	21%	23%	25%	25%	26%	27%	27%	27%	29%	28%	29%	28%	29%

Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2019

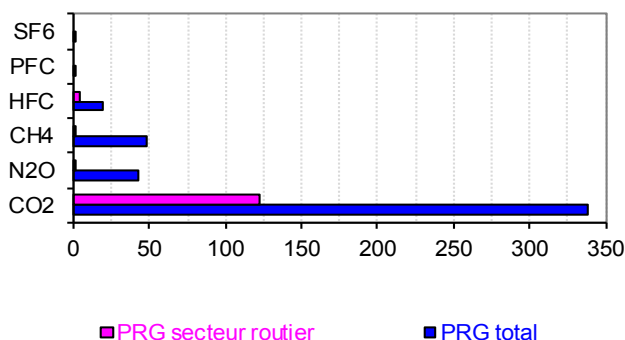
► Emissions de GES hors UTCATF (millions de tonnes de CO₂ équivalent)



Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2019

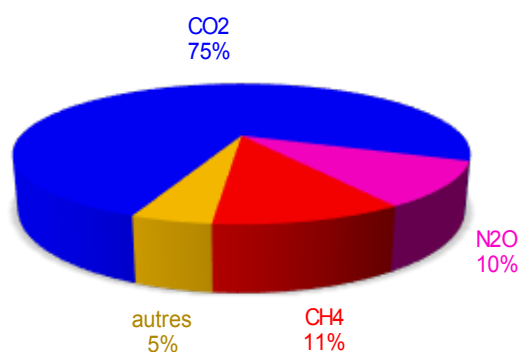
en rouge, valeurs en 1990, année de référence du protocole dit "de Kyoto".

► Emissions de gaz à effet de serre : potentiels de réchauffement global [PRG] en 2018 hors UTCATF (millions de tonnes de CO₂ équivalent)



Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2019

► Contribution des gaz à effet de serre au PRG en 2018 hors UTCATF (pourcentages)



Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2019

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 **CO₂** et les émissions de tous **GES** ont **diminué de 20%**. Les émissions de la circulation routière restent quant à elles quasi constantes depuis 10 ans.

Emission 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

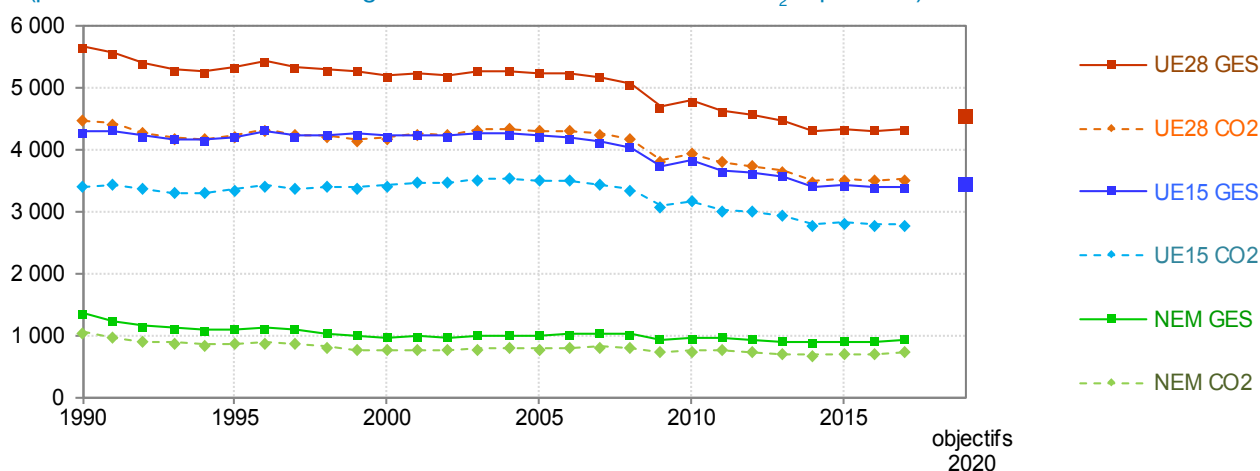
niveau de 1990 pour l'Union européenne dans son ensemble ; une répartition interne a ensuite été opérée entre tous les États de l'UE, chacun d'eux s'étant vu assigner un objectif particulier. Les tableaux et graphiques ci-dessous montrent que l'UE dans son ensemble respectera bien l'objectif de Kyoto, même si certains pays n'y sont toujours pas parvenus.

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

	1990	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	objectifs 2020
Millions de tonnes de GES : potentiel de réchauffement global en CO₂ équivalent												
Union européenne (15 Etats)	4 288	4 031	3 745	3 822	3 660	3 627	3 562	3 407	3 427	3 394	3 392	3 430
Nouveaux Etats membres (13)	1 362	1 016	937	961	966	936	907	890	900	909	931	
Union européenne (28 Etats)	5 650	5 047	4 682	4 784	4 626	4 563	4 469	4 298	4 327	4 303	4 323	4 520
Millions de tonnes de CO₂												
Union européenne (15 Etats)	3 410	3 358	3 088	3 179	3 029	2 999	2 941	2 788	2 814	2 785	2 784	
Nouveaux Etats membres (13)	1 060	804	737	763	768	739	709	693	701	712	732	
Union européenne (28 Etats)	4 469	4 162	3 825	3 941	3 796	3 738	3 650	3 481	3 515	3 498	3 515	

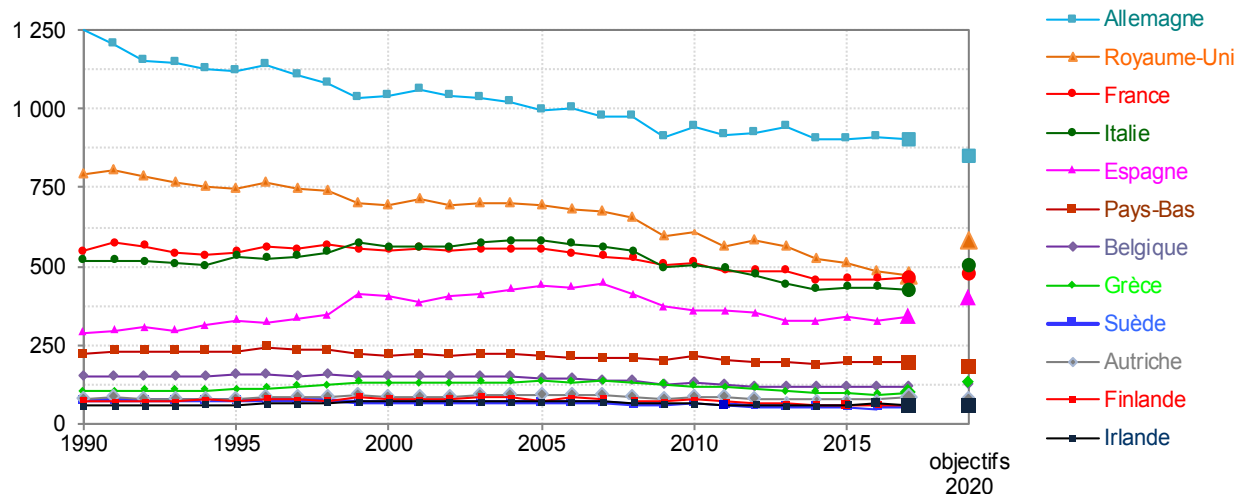
Source : AEE, traitements URF

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



Source : AEE, traitements URF

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



Source : AEE, traitements URF

Emission de CO₂ de la circulation routière en Europe

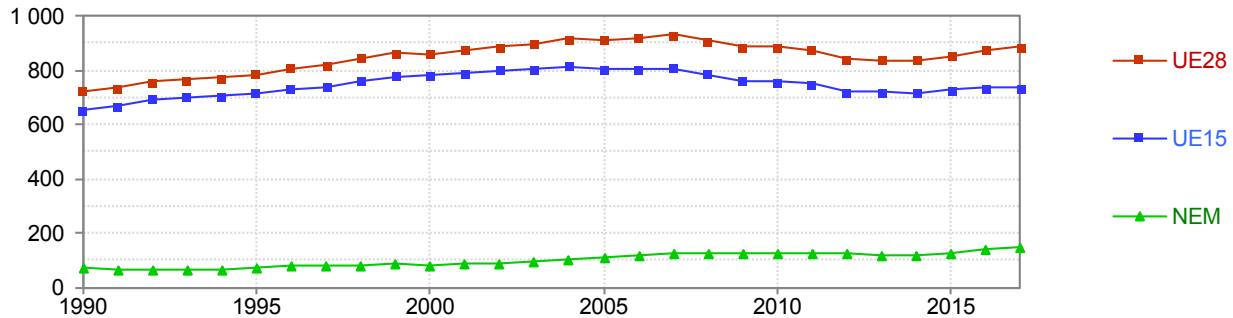
Les graphiques ci-dessous indiquent l'évolution des émissions de CO₂ par la circulation routière dans l'ensemble de l'Union européenne, et dans un certain nombre d'États de l'UE15.

Les émissions sont quasi stables dans l'UE15, hormis en Allemagne, et en Espagne où elles continuent à croître, et en Italie où elles décroissent de manière notable. Par contre, elles ont tendance

à croître dans les nouveaux États membres, malgré une stabilité dans la quasi-totalité des pays hormis en Pologne.

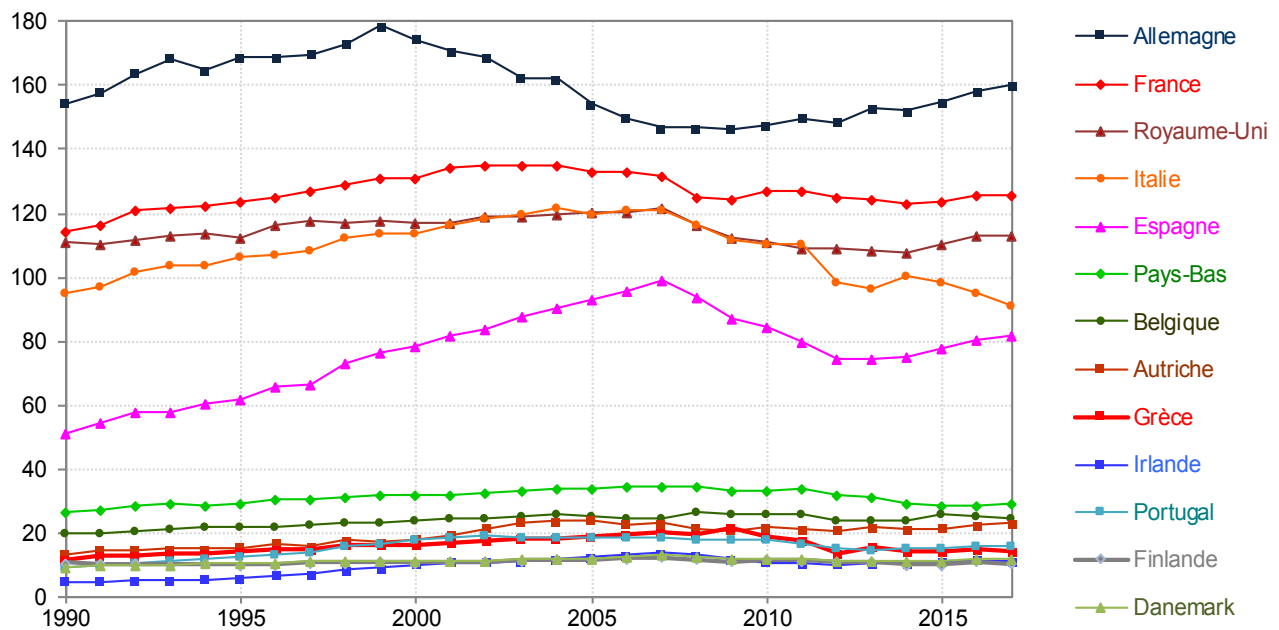
Le tableau de la page 74 fournit le détail, État par État, des émissions globales de CO₂ et de celles dues à la circulation routière en 2017. Il indique aussi quelques ratios (émissions par rapport à la population, au PIB, aux véhicules).

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



Source : AEE, traitements URF

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



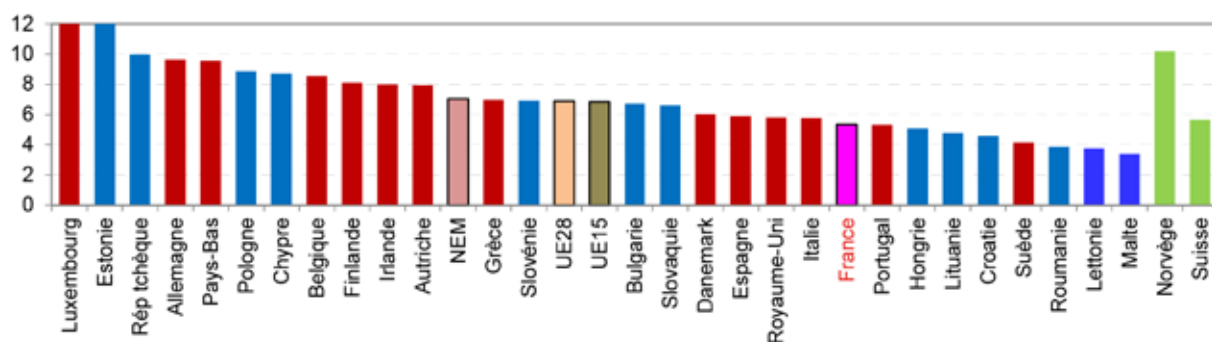
Source : AEE, traitements URF

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 2017 (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)
UE15	BE	Belgique	11,4	98	439	8,5	222	25	6,7	2,2	3,7
NEM	BG	Bulgarie	7,1	47	52	6,7	918	9	3,3	1,3	2,7
NEM	CZ	Rép. tchèque	10,6	106	192	10,0	551	18	6,2	1,7	2,9
UE15	DK	Danemark	5,8	35	293	6,0	119	12	3,0	2,1	4,0
UE15	DE	Allemagne	82,9	798	3 277	9,6	243	160	49,7	1,9	3,2
NEM	EE	Estonie	1,3	19	24	14,1	790	2	0,8	1,8	2,8
UE15	IE	Irlande	4,8	39	294	8,0	132	11	2,5	2,4	4,6
UE15	EL	Grèce	10,7	75	180	7,0	415	15	6,6	1,4	2,2
UE15	ES	Espagne	46,7	274	1 166	5,9	235	82	28,6	1,7	2,8
UE15	FR	France	65,0	346	2 292	5,3	151	126	39,5	1,9	3,2
NEM	HR	Croatie	4,1	19	49	4,6	382	6	1,8	1,5	3,6
UE15	IT	Italie	60,5	349	1 724	5,8	202	91	42,2	1,5	2,2
NEM	CY	Chypre	0,9	8	20	8,7	384	2	0,6	2,4	3,3
NEM	LV	Lettonie	1,9	7	27	3,7	268	3	0,8	1,6	4,0
NEM	LT	Lituanie	2,8	13	42	4,8	318	5	1,5	1,9	3,7
UE15	LU	Luxembourg	0,6	9	55	15,4	167	6	0,4	9,3	12,5
NEM	HU	Hongrie	9,8	50	124	5,1	400	13	4,0	1,3	3,2
NEM	MT	Malte	0,5	2	11	3,4	142	1	0,3	1,2	1,6
UE15	NL	Pays-Bas	17,2	164	737	9,6	223	30	9,4	1,7	3,2
UE15	AT	Autriche	8,8	70	370	7,9	189	23	5,4	2,6	4,3
NEM	PL	Pologne	38,0	337	467	8,9	720	61	26,2	1,6	2,3
UE15	PT	Portugal	10,3	55	195	5,3	281	16	6,4	1,6	2,5
NEM	RO	Roumanie	19,5	75	188	3,8	400	17	6,1	0,9	2,8
NEM	SI	Slovénie	2,1	14	43	6,9	332	5	1,2	2,6	4,5
NEM	SK	Slovaquie	5,4	36	85	6,6	425	7	2,5	1,3	2,8
UE15	FI	Finlande	5,5	45	224	8,1	200	11	4,0	1,9	2,7
UE15	SE	Suède	10,1	42	475	4,2	88	15	5,5	1,5	2,8
UE15	UK	Royaume-Uni	66,2	385	2 338	5,8	165	113	35,7	1,7	3,2
		UE15	407	2 784	14 060	6,8	198	735	246	1,8	3,0
		NEM	104	732	1 323	7,0	553	150	55	1,4	2,7
		UE28	511	3 515	15 382	6,9	229	886	301	1,7	2,9
	NO	Norvège	5,3	54	354	10,2	152	3	3,3	0,5	0,8
	CH	Suisse	8,5	48	601	5,7	80	5	5,0	0,5	0,9

Source : AEE, traitements URF

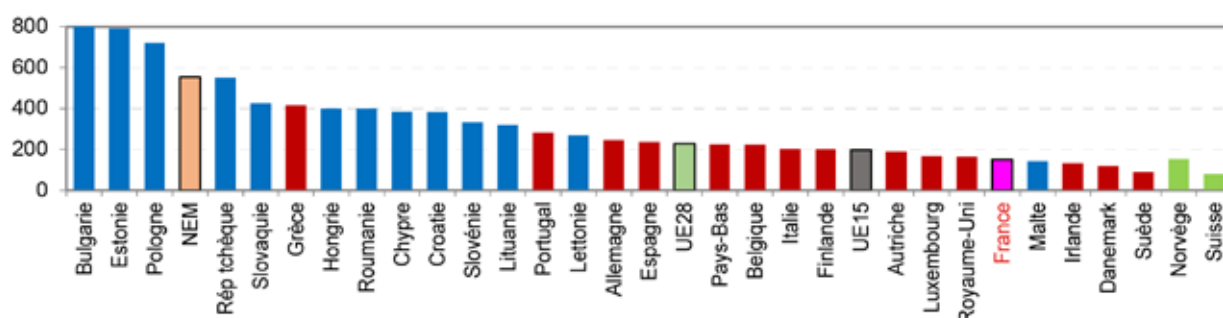
► Emissions globales de CO₂ par habitant en 2017 (tonnes par habitant)



Source : AEE, traitements URF

(Le Luxembourg et l'Estonie sont hors échelle)

► Emissions globales de CO₂ par unité de PIB en 2017 (tonnes par million d'euros)



Source : AEE, traitements URF

(La Bulgarie et l'Estonie 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

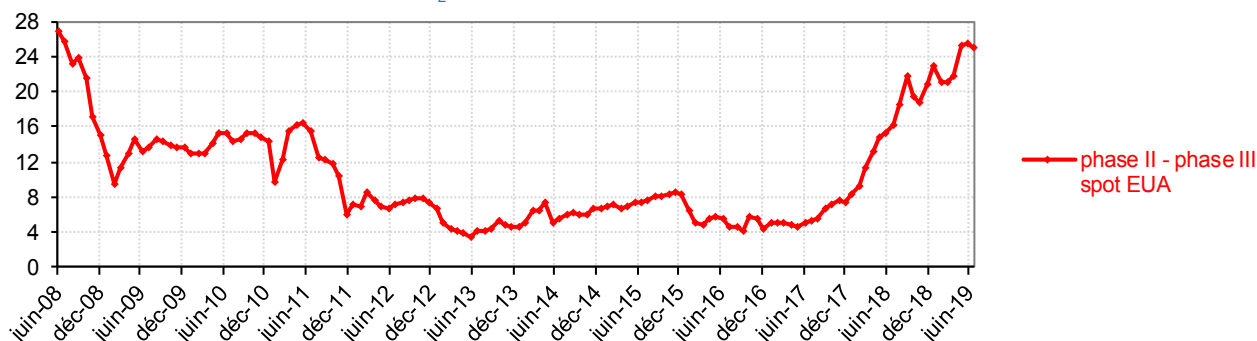
s'échanger des quotas en fonction de leurs besoins ou de leurs excédents par rapport à leur allocation annuelle. Il a été initialisé par le premier plan national d'allocation de quotas (PNAQ) pour la 1^{ère} phase 2005-2007. La 2^e phase était 2008-2012, référence des engagements de Kyoto, et la 3^e phase est prévue de 2013 à 2020. 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)

	juin 2008	juin 2009	juin 2010	juin 2011	juin 2012	juin 2013	déc. 2013	juin 2014	déc. 2014	juin 2015	déc. 2015	juin 2016	déc. 2016	juin 2017	déc. 2017	juin 2018	déc. 2018	juin 2019
phases II et III Spot EUA	26,9	13,2	15,3	15,5	7,2	4,2	4,6	5,5	6,7	7,4	8,3	5,6	4,5	5,0	7,3	15,2	20,8	24,9

Source : European Energy Exchange (EEX)

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



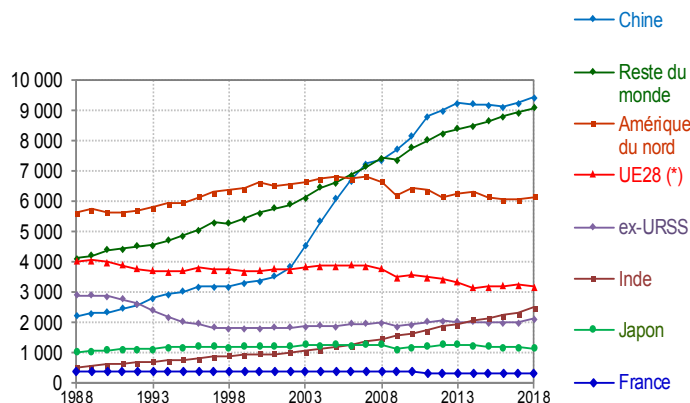
Source : European Energy Exchange (EEX)

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 1988 et répartition en 2018 (« 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'Union européenne des vingt-huit (France comprise), qui représentait 21% des émissions en 1988,

n'en représente plus que 10,7% en 2018. Cette proportion est appelée à diminuer progressivement. **La France seule n'émet que 1% des émissions mondiales de CO₂.** La Chine émet 27,8% 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 2015 celles de l'ex-URSS.

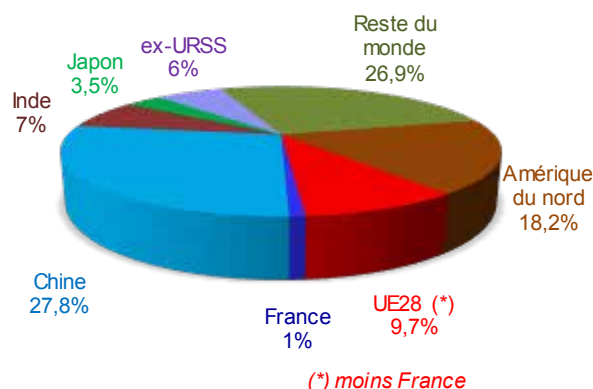
► Monde : émissions de CO₂ dues aux combustibles fossiles [pétrole, gaz et charbon] (millions de tonnes de CO₂)



Source : BP statistical review world energy 2019

(*) moins France

► Répartition des émissions de CO₂ en 2018



Source : BP statistical review world energy 2019

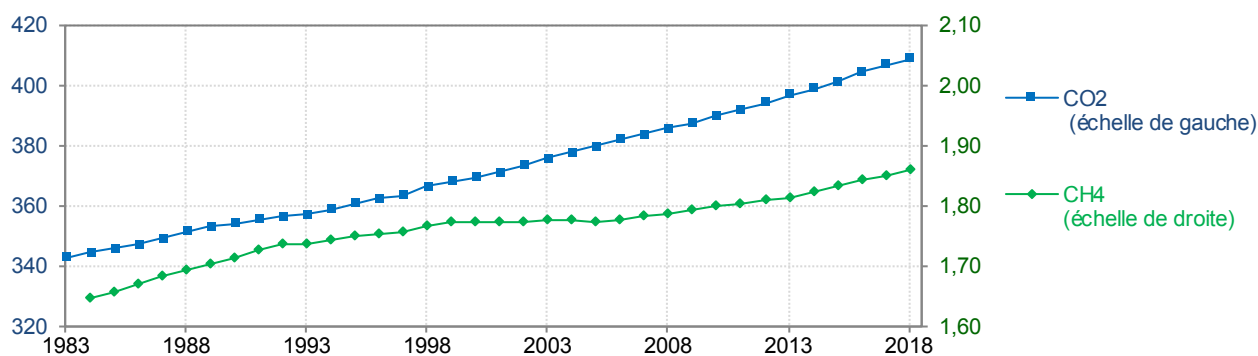
Concentration de GES dans l'air

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

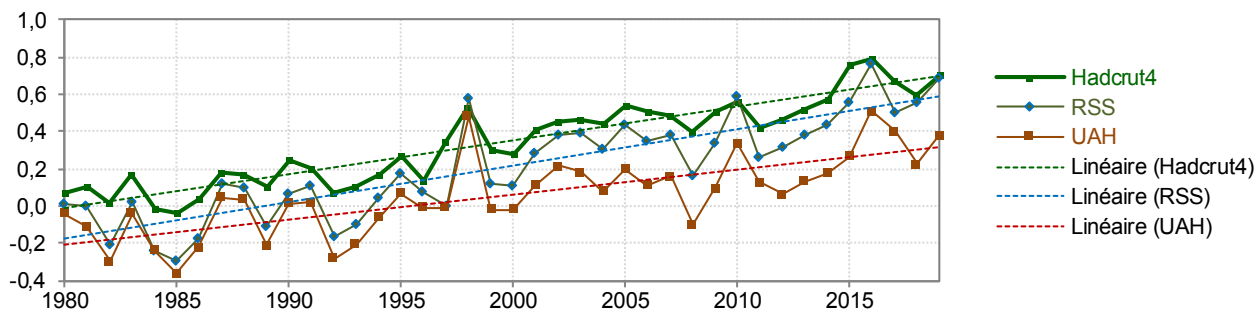
Il est intéressant de mettre en regard des évolutions précédentes l'évolution de la température moyenne de la basse troposphère (c'est-à-dire au voisinage du sol ou de la surface des océans). On dispose maintenant d'une série homogène de plus de trente-cinq années grâce à la NASA et à ses satellites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

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 2019 : les 3 premiers mois de l'année)