

# ÉNERGIE & ENVIRONNEMENT

# 3

Qualité de l'air.....	66
Énergie.....	70
Effet de serre.....	74

## 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** ».

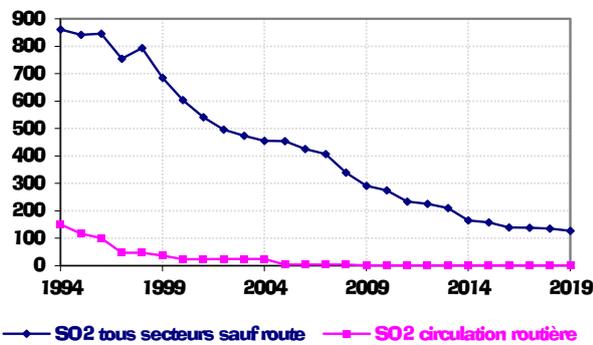
Les séries publiées par le Citepa correspondent à des **calculs** (conduits selon des protocoles rigoureux et réglementaires). Il ne s'agit donc pas de mesures in situ. Cette précision apparaît utile car la confusion est parfois faite entre les deux types d'évaluation, l'une concernant les émissions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

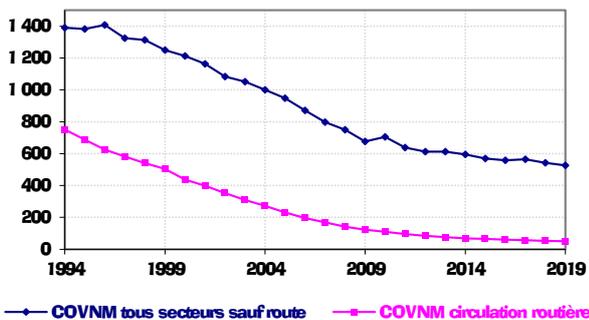
Les graphiques ci-après permettent de comparer les masses émises et leurs évolutions, respectivement par la circulation routière et par tous les autres secteurs économiques (production d'énergie, industrie, résidentiel et tertiaire, agriculture, etc.).

### ► Emissions de SO<sub>2</sub> (milliers de tonnes)



Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2020

### ► Emissions de COV non méthaniques (milliers de tonnes)



Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2020

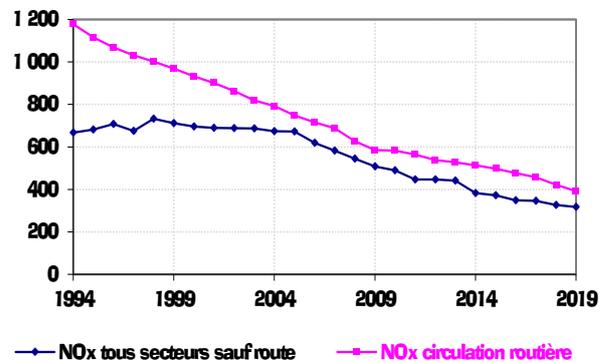
Les plafonds d'émissions nationaux imposés aux États au titre de la pollution transfrontière à longue distance (protocole dit « de Göteborg ») ont été revus en mai 2012, sous forme d'une réduction en 2020 par rapport à l'année de référence 2005. Le tableau

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

	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
SO <sub>2</sub>	458	275	235	227	211	166	159	140	140	136	127	206
NOx	1 420	1 072	1 011	985	970	896	870	827	804	749	710	710
COVNM	1 178	814	734	697	688	663	634	618	620	595	576	672
PM 2,5	247	197	170	173	173	148	149	149	143	134	125	180

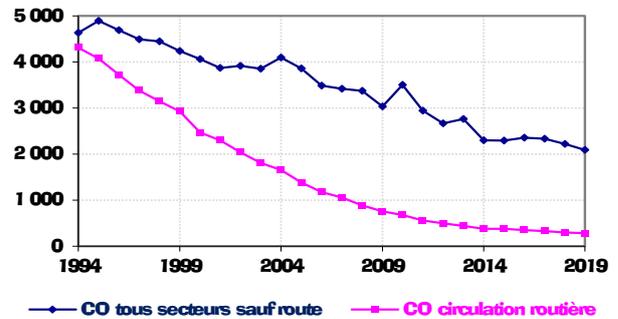
Sources : CITEPA ; Commission européenne

### ► Emissions de NOx (milliers de tonnes)



Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2020

### ► Emissions de CO (milliers de tonnes)

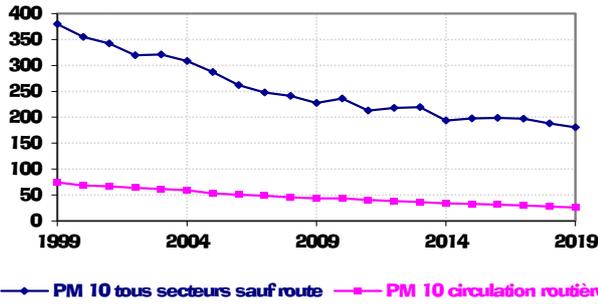


Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2020

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 SO<sub>2</sub>, COVNM et particules, et pour la première année en termes de NOx.

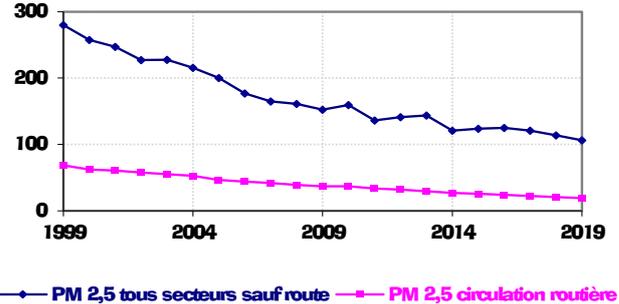
## Emissions globales en France

### ► Emissions de PM 10 (milliers de tonnes)



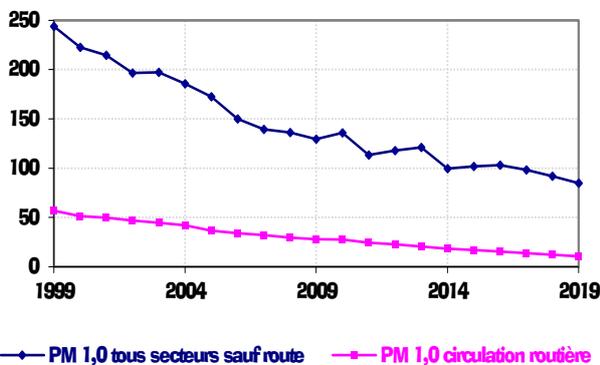
Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2020

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



Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2020

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



Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2020

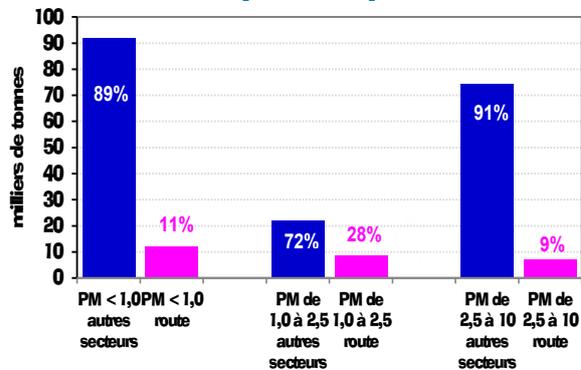
Les graphiques précédents sont relatifs :

- aux quatre principaux **polluants chimiques** : dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), oxydes d'azote (NOx, somme pondérée du monoxyde NO et du dioxyde NO<sub>2</sub>), 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

### ► Masse de particules émises en 2019 par fractions granulaires et répartition entre route et autres secteurs pour chaque fraction



Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2020

sont en décroissance depuis près de vingt ans. Pour la circulation routière, cette décroissance est due à la sévèrisation 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	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
SO <sub>2</sub>	12%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
NOx	62%	54%	54%	56%	55%	54%	57%	57%	58%	57%	56%	55%
COVNM	33%	15%	13%	13%	12%	11%	10%	10%	10%	9%	9%	9%
CO	45%	20%	16%	16%	16%	14%	14%	14%	13%	12%	12%	12%
PM 1,0	19%	18%	17%	18%	16%	14%	15%	14%	13%	12%	12%	11%
PM 2,5	20%	20%	19%	20%	18%	17%	18%	17%	16%	16%	15%	15%
PM 10	16%	16%	16%	16%	15%	14%	15%	14%	14%	13%	13%	13%

Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2019

A l'exception des NOx, la route est très minoritaire dans les émissions comme l'indique le tableau ci-dessus. Le SO<sub>2</sub> 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 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.

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 NO<sub>2</sub>, produit de l'oxydation de NO par l'ozone de l'air. On les consolide sous l'expression NOx qui équivaut à : NO<sub>2</sub> + 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 61 à 64).

### ► 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

	1995	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
<b>Concentration en monoxyde de carbone (moyennes horaires annuelles) (microg / m<sup>3</sup>)</b>												
CO	4 033	733	733	767	667	633	600	500	467	467	426	434
Nombre de stations	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2
<b>Concentration en monoxyde d'azote et en oxydes d'azote (moyennes horaires annuelles) (microg / m<sup>3</sup>)</b>												
NO	242	110	94	98	92	92	87	84	86	82	70	65
NOx	450	255	224	228	220	212	200	194	196	188	165	154
Nombre de stations	5	6	8	8	9	11	12	13	11	13	12	12

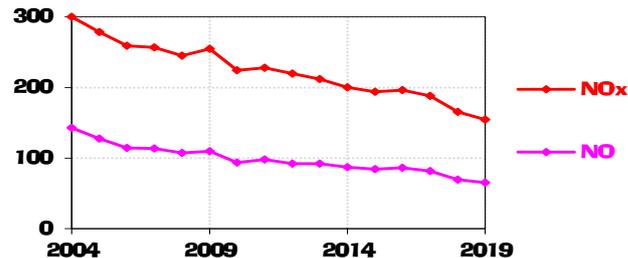
Source : Airparif

### ► Ile de France : stations de proximité : concentration en monoxyde de carbone (microg/m<sup>3</sup>)



Source : Airparif

### ► Ile de France : stations de proximité : concentration en oxydes d'azote (microg/m<sup>3</sup>)



Source : Airparif

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

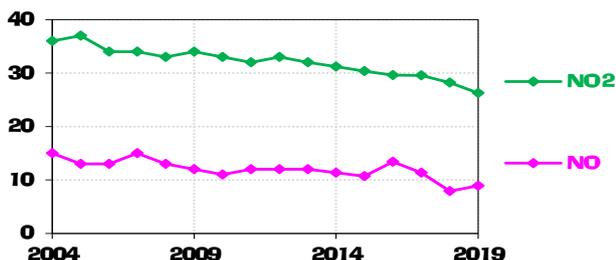
Les stations « urbaines et périurbaines » ou « de fond » mesurent la qualité de l'air ambiant, tel que nous le respirons habituellement.

Le NO est en grande partie oxydé par l'ozone de l'air et transformé en dioxyde d'azote NO<sub>2</sub>.

	1995	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
<b>Concentration en oxydes d'azote (moyennes horaires annuelles) (microg / m<sup>3</sup>)</b>												
NO <sub>2</sub>	54	34	33	32	33	32	31	30	30	30	28	26
NO	31	12	11	12	12	12	11	11	13	11	8	9
NOx (soit NO <sub>2</sub> + 46/30 NO)	102	53	50	51	52	51	49	47	50	50	40	41
Nombre de stations	18	24	24	24	26	25	26	25	24	25	23	24

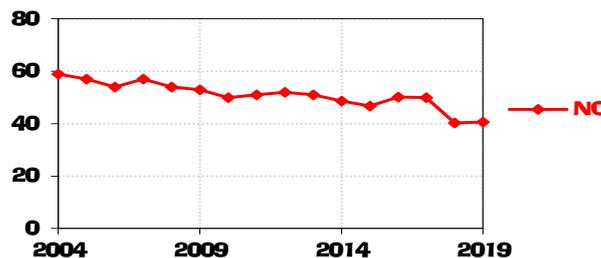
Source : Airparif

### ► Agglomération parisienne : concentrations en oxydes d'azote (microg/m<sup>3</sup>)



Source : Airparif

### ► Agglomération parisienne : concentrations en oxydes d'azote NOx (microg/m<sup>3</sup>)



Source : Airparif

## Concentration en polluants - Exemple de l'Île de France

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

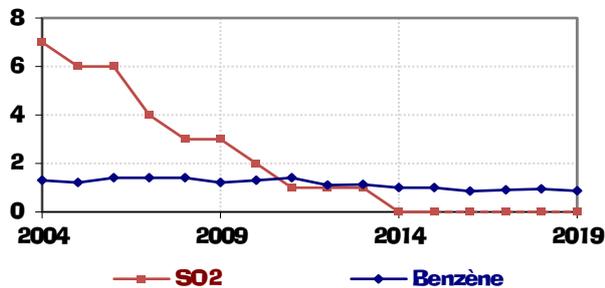
	1995	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
<b>Concentration en benzène (moyennes horaires annuelles) (microg / m<sup>3</sup>)</b>												
Benzène	5,4	1,2	1,3	1,4	1,1	1,1	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9
Nombre de stations	5	10	10	10	10	9	10	10	9	8	8	8
<b>Concentration en particules (moyennes horaires annuelles) (microg / m<sup>3</sup>)</b>												
Particules (fumées noires)	19	13	12	12	11	11	10	10	10	9	8	7
Nombre de stations	29	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4
Particules (PM 10)		28	26	27	25	24	21	21	20	20	19	19
Nombre de stations		13	13	12	12	11	11	11	11	11	11	10
Particules (PM 2,5)		20	18	17	16	17	14	13	13	12	12	11
Nombre de stations		4	4	4	4	4	5	6	6	5	6	5
<b>Concentration en dioxyde de soufre (moyennes horaires annuelles) (microg / m<sup>3</sup>)</b>												
SO <sub>2</sub>	14	3	2	1	1	1	nd *					
Nombre de stations	30	7	5	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

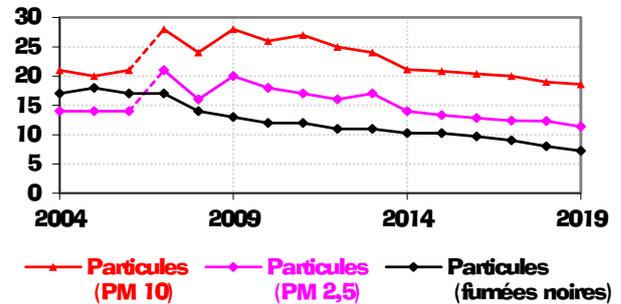
Source : Airparif

### ► Agglomération parisienne : concentrations en benzène et en dioxyde de soufre (microg/m<sup>3</sup>)



Source : Airparif

### ► Agglomération parisienne : concentrations en particules (microg/m<sup>3</sup>)



Source : Airparif

Ces quelques aperçus mettent en évidence la tendance à une décroissance généralisée des concentrations en polluants en Ile-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, SO<sub>2</sub> 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 NO<sub>x</sub> dans Paris a baissé de manière

importante en 2018 ; depuis, il est stable.

Le Code de l'environnement a fixé comme objectifs de qualité, depuis le 19 avril 2017, les valeurs suivantes (moyennes annuelles en microg/m<sup>3</sup>) :

NO <sub>2</sub> :	40
PM10 :	30
PM2,5 :	10
SO <sub>2</sub> :	50
Benzène :	2

En pollution de fond, ces objectifs sont tous respectés en 2019 à l'exception des PM<sub>2,5</sub> qui sont légèrement au-dessus de l'objectif.

## 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**.

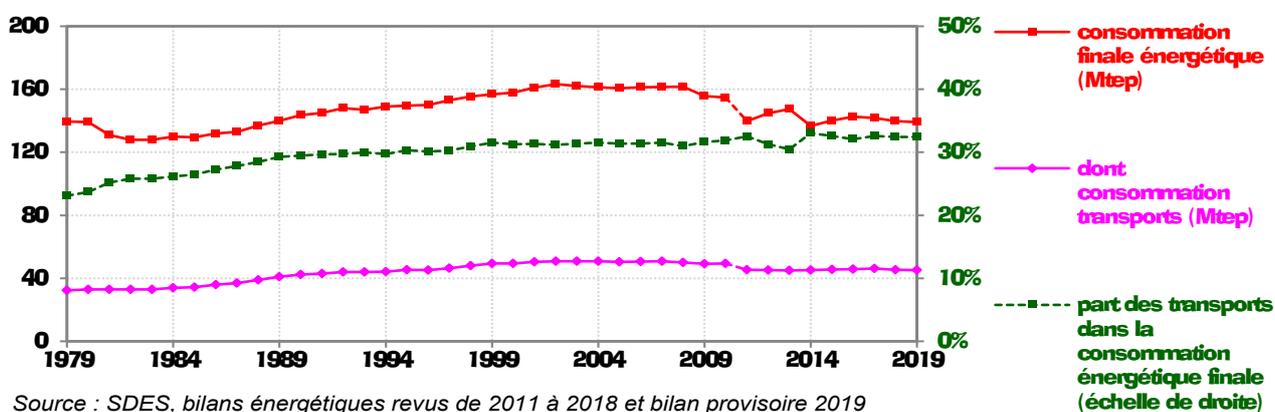
### ► Consommation d'énergie et ratios

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
<b>Energie primaire (millions de tep)</b>	261	263	259	259	261	250	255	250	250	249	246
<b>Energie finale (millions de tep)</b>											
Energie finale "énergétique"	156	155	140	145	147	137	140	143	142	140	139
<i>dont E finale transports (tous types d'énergies)</i>	49	49	45	45	45	45	46	46	46	45	45
<i>dont E finale circulation routière</i>	42	42	40	39	39	39	39	39	40	39	39
Energie finale "non énergétique"	12	12	14	14	14	14	14	13	14	13	13
<b>Energie finale, produits pétroliers (millions de tep)</b>											
Produits pétroliers, E finale "énergétique"	68	65	59	58	58	56	57	56	56	54	54
<i>dont produits pétroliers, E finale transports</i>	48	48	42	42	41	41	42	42	42	41	41
Produits pétroliers, E finale "non énergétique"	11	11	13	13	12	13	12	12	13	12	12
<b>Ratios (pourcentages)</b>											
E finale énergétique / E primaire	60%	59%	54%	56%	57%	55%	55%	57%	57%	56%	57%
E finale transports / E finale énergétique	32%	32%	33%	31%	30%	33%	33%	32%	33%	32%	32%
E finale circulation routière / E finale énergétique	27%	27%	28%	27%	26%	29%	28%	28%	28%	28%	28%
E finale transports / E primaire	19%	19%	18%	17%	17%	18%	18%	18%	18%	18%	18%
prod. pétroliers transports / prod. pétroliers total	71%	73%	72%	71%	71%	73%	73%	74%	75%	75%	76%

Source : SDES

bilans énergétiques revus de 2011 à 2018 et bilan énergétique 2019 provisoire

### ► Consommation d'énergie finale (millions de tep)



Source : SDES, bilans énergétiques revus de 2011 à 2018 et bilan provisoire 2019

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 47% 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 (*)	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
<b>Consommations primaires</b>												
Pétrole	89	85	82	80	77	76	75	76	73	74	71	71
Gaz	26	38	43	37	38	39	33	35	38	38	37	37
Charbon	19	11	12	11	12	13	10	9	9	10	9	7
<b>Total</b>	<b>134</b>	<b>134</b>	<b>136</b>	<b>128</b>	<b>128</b>	<b>128</b>	<b>117</b>	<b>120</b>	<b>121</b>	<b>122</b>	<b>117</b>	<b>116</b>
<i>Dont consommation non énergétique</i>	12	12	12	14	14	14	14	14	13	14	13	13
<b>Consommation d'énergie finale énergétique</b>												
Pétrole	74	68	65	59	58	58	56	57	56	56	54	54
Gaz	22	30	32	28	30	32	27	27	29	28	28	28
Charbon	5	2	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>88</b>	<b>90</b>	<b>91</b>	<b>84</b>	<b>85</b>	<b>86</b>	<b>85</b>	<b>83</b>	<b>82</b>

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

Source : SDES : bilans énergétiques revus de 2011 à 2018 et bilan énergétique 2019 provisoire

### ► Répartition des émissions de CO<sub>2</sub> entre les combustibles fossiles (pourcentages approximatifs\*\*)

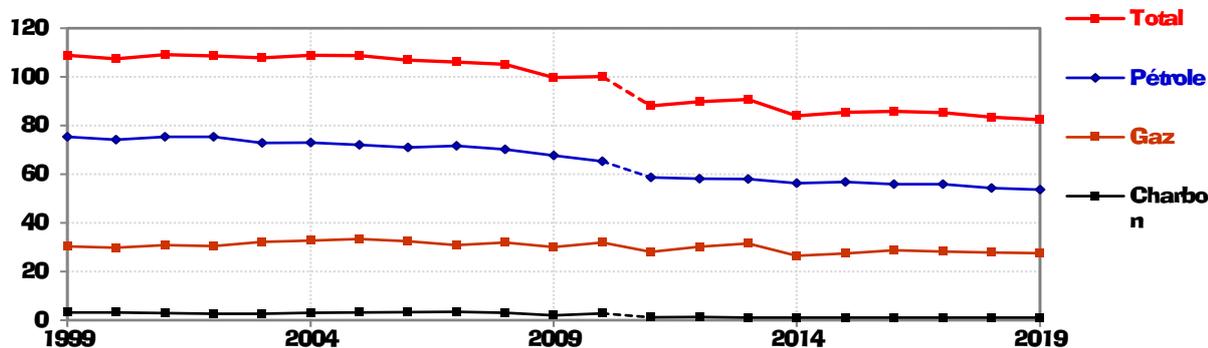
	1990 (*)	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Pétrole	76%	73%	70%	72%	70%	69%	72%	72%	70%	71%	70%	70%
Gaz	17%	25%	26%	26%	28%	29%	26%	26%	28%	27%	28%	28%
Charbon	6%	3%	4%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%
	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

(\*) 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 2018 et bilan énergétique provisoire 2019

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

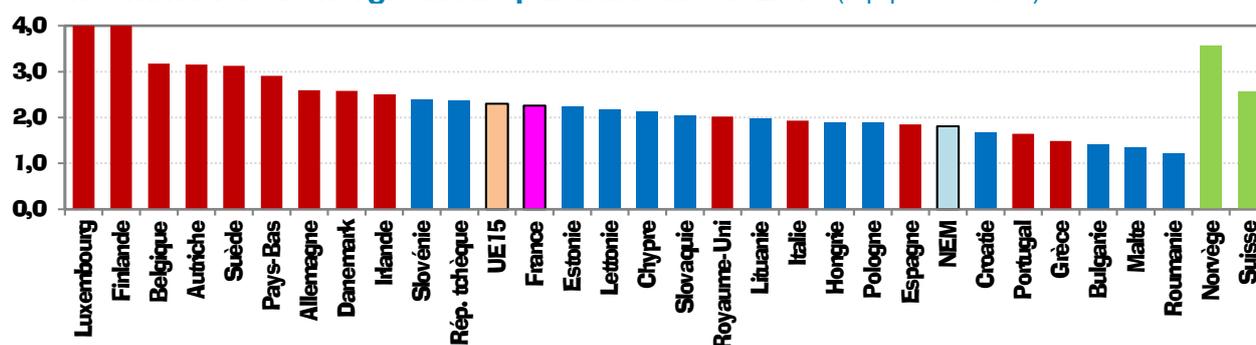
2009, on observe une baisse continue de cette consommation, due à la baisse de celle du pétrole, les consommations de gaz et de charbon restant, quant à elles, quasi constantes.

## 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	11,5	36	460	3,2	79
NEM	BG	Bulgarie	7,0	10	56	1,4	177
NEM	CZ	République tchèque	10,6	25	208	2,4	122
UE15	DK	Danemark	5,8	15	301	2,6	50
UE15	DE	Allemagne	83,0	215	3 344	2,6	64
NEM	EE	Estonie	1,3	3	26	2,2	114
UE15	IE	Irlande	4,9	12	324	2,5	38
UE15	EL	Grèce	10,7	16	185	1,5	86
UE15	ES	Espagne	46,9	87	1 202	1,9	72
UE15	FR	France	64,8	147	2 353	2,3	62
NEM	HR	Croatie	4,1	7	52	1,7	133
UE15	IT	Italie	60,4	116	1 766	1,9	66
NEM	CY	Chypre	0,9	2	21	2,1	88
NEM	LV	Lettonie	1,9	4	29	2,2	144
NEM	LT	Lituanie	2,8	6	45	2,0	123
UE15	LU	Luxembourg	0,6	4	60	7,1	72
NEM	HU	Hongrie	9,8	19	134	1,9	139
NEM	MT	Malte	0,5	1	12	1,3	53
UE15	NL	Pays-Bas	17,3	50	774	2,9	65
UE15	AT	Autriche	8,9	28	386	3,2	72
NEM	PL	Pologne	38,0	72	496	1,9	145
UE15	PT	Portugal	10,3	17	204	1,6	83
NEM	RO	Roumanie	19,4	24	205	1,2	115
NEM	SI	Slovénie	2,1	5	46	2,4	109
NEM	SK	Slovaquie	5,5	11	90	2,0	124
UE15	FI	Finlande	5,5	26	234	4,7	111
UE15	SE	Suède	10,2	32	471	3,1	68
UE15	UK	Royaume-Uni	66,6	135	2 424	2,0	56
	UE 15	Union européenne à 15	407	937	14 488	2,3	65
	NEM	Nouveaux Etats membres (13)	104	187	1 419	1,8	132
	UE 28	Union européenne à 28	511	1124	15 908	2,2	71
	NO	Norvège	5,3	19	368	3,6	52
	CH	Suisse	8,5	22	597	2,6	37

Source : Eurostat, traitements URF

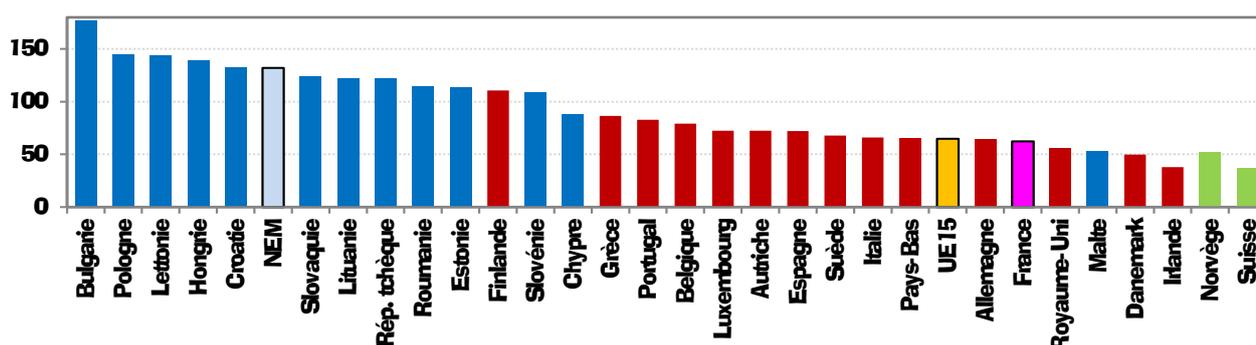
### Consommation d'énergie finale par habitant en 2018 (tep par habitant)



Source : Eurostat, traitements URF

Luxembourg et Finlande hors échelle

### Consommation d'énergie finale par unité de PIB en 2018 (tep par million d'euros)



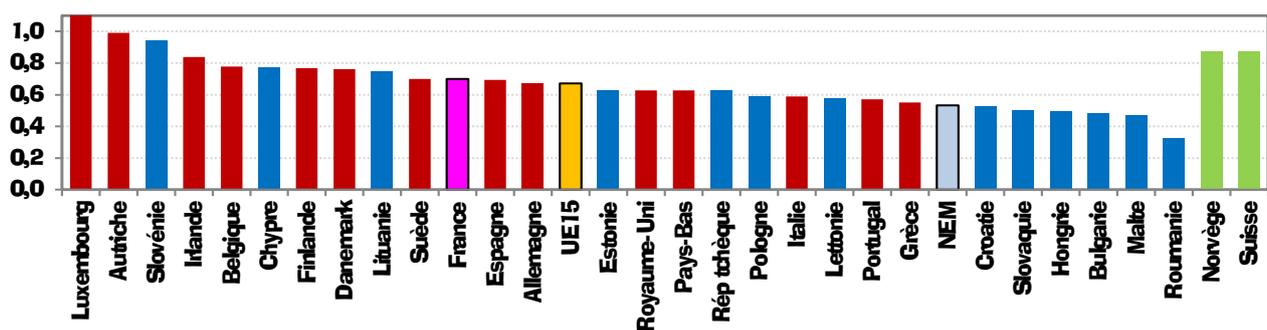
Source : Eurostat, traitements URF

## 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	11,5	9	460	0,8	19	25%
NEM	BG	Bulgarie	7,0	3	56	0,5	60	34%
NEM	CZ	République tchèque	10,6	7	208	0,6	32	26%
UE15	DK	Danemark	5,8	4	301	0,8	15	30%
UE15	DE	Allemagne	83,0	56	3 344	0,7	17	26%
NEM	EE	Estonie	1,3	1	26	0,6	32	28%
UE15	IE	Irlande	4,9	4	324	0,8	13	33%
UE15	EL	Grèce	10,7	6	185	0,6	32	37%
UE15	ES	Espagne	46,9	33	1 202	0,7	27	37%
UE15	FR	France	64,8	45	2 353	0,7	19	31%
NEM	HR	Croatie	4,1	2	52	0,5	41	31%
UE15	IT	Italie	60,4	36	1 766	0,6	20	31%
NEM	CY	Chypre	0,9	1	21	0,8	32	36%
NEM	LV	Lettonie	1,9	1	29	0,6	38	27%
NEM	LT	Lituanie	2,8	2	45	0,7	46	38%
UE15	LU	Luxembourg	0,6	2	60	3,4	35	48%
NEM	HU	Hongrie	9,8	5	134	0,5	36	26%
NEM	MT	Malte	0,5	0	12	0,5	19	35%
UE15	NL	Pays-Bas	17,3	11	774	0,6	14	22%
UE15	AT	Autriche	8,9	9	386	1,0	23	31%
NEM	PL	Pologne	38,0	22	496	0,6	45	31%
UE15	PT	Portugal	10,3	6	204	0,6	29	35%
NEM	RO	Roumanie	19,4	6	205	0,3	31	27%
NEM	SI	Slovénie	2,1	2	46	0,9	43	39%
NEM	SK	Slovaquie	5,5	3	90	0,5	31	25%
UE15	FI	Finlande	5,5	4	234	0,8	18	16%
UE15	SE	Suède	10,2	7	471	0,7	15	22%
UE15	UK	Royaume-Uni	66,6	42	2 424	0,6	17	31%
	UE 15	Union européenne à 15	407	273	14 488	0,7	19	29%
	NEM	Nouveaux Etats membres (13)	104	55	1 419	0,5	39	30%
	UE 28	Union européenne à 28	511	329	15 908	0,6	21	29%
	NO	Norvège	5,3	5	368	0,9	13	24%
	CH	Suisse	8,5	7	597	0,9	12	34%

Source : Eurostat ; traitements URF

### ► Consommation d'énergie finale en transport par habitant en 2018 (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 30% 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 : CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFC, PFC et SF<sub>6</sub>, 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 66) calcule les émissions annuelles de GES selon le « format » Coralie-Secten, exprimées en tonnes de CO<sub>2</sub> 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.

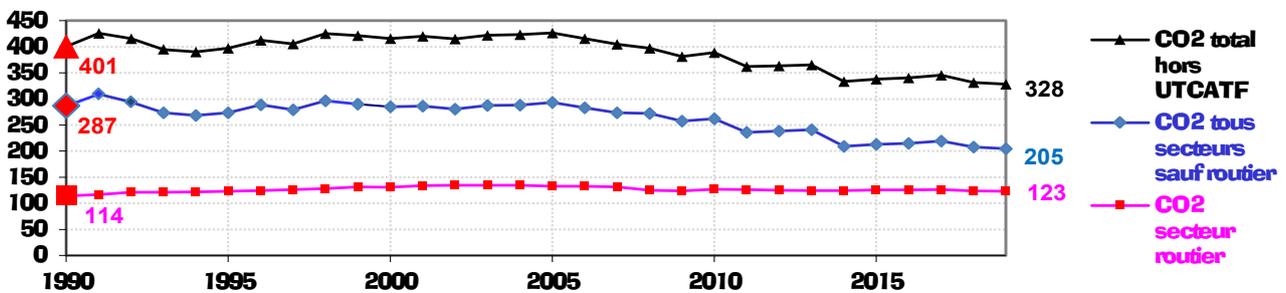
Le nouveau format de calcul « Secten » utilisé depuis 2007 correspond sensiblement au périmètre technique des engagements internationaux de la France (dont le protocole de Kyoto). C'est ainsi que les émissions et les absorptions (puits de carbone) résultant, selon la formule officielle, de l'« Utilisation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

### ► Emissions de CO<sub>2</sub> hors UTCATF

	1990	2005	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
<b>Emissions totales</b> (millions de tonnes de CO <sub>2</sub> )	401	426	381	389	362	363	365	334	338	341	346	332	<b>328</b>
<b>Emissions de la circulation routière</b> (millions de tonnes de CO <sub>2</sub> )	114	133	124	127	127	125	124	124	125	126	126	124	<b>123</b>
<b>Pourcentage des émissions de la circulation routière</b>	29%	31%	32%	33%	35%	34%	34%	37%	37%	37%	37%	37%	<b>38%</b>

Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2020

### ► Emissions de CO<sub>2</sub> hors UTCATF (millions de tonnes de CO<sub>2</sub>)



Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2020

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

La circulation routière émet presque exclusivement du CO<sub>2</sub> (et accessoirement du HFC, gaz réfrigérant utilisé pour la climatisation). Les émissions de CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>, ou de monoxyde de carbone CO qui se transforme en CO<sub>2</sub>.

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

CO<sub>2</sub>, 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 CO<sub>2</sub>
- 1 litre de gazole consommé produit environ 2,60 kg de CO<sub>2</sub>

Les émissions de CO<sub>2</sub> de la circulation routière avaient augmenté entre 1990 et 2001 ; depuis lors, elles sont quasi stables. Leur proportion dans les émissions globales est, en 2019, d'environ 38% (29% par rapport à l'ensemble des GES).

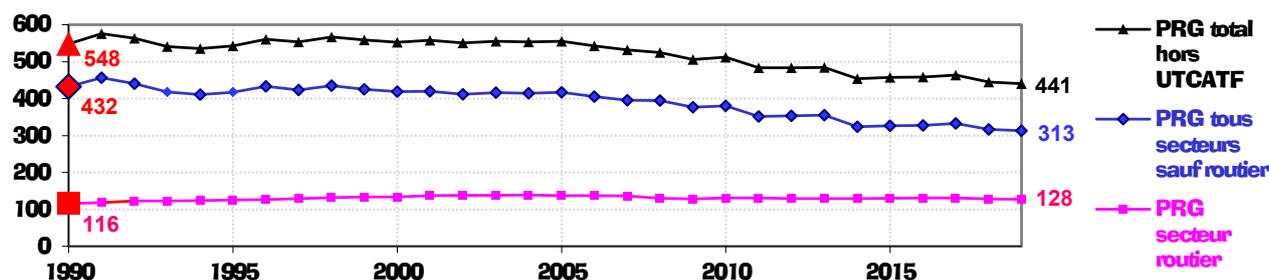
## Emissions globales en France

### ► Emissions de GES hors UTCATF

	1990	2005	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
<b>Emissions totales</b> (millions de tonnes de CO <sub>2</sub> équivalent)	548	555	505	512	483	484	485	454	458	459	464	445	441
<b>Emissions de la circulation routière</b> (millions de tonnes de CO <sub>2</sub> équivalent)	116	138	129	132	131	130	129	129	131	131	131	128	128
<b>Pourcentage des émissions de la circulation routière</b>	21%	25%	25%	26%	27%	27%	27%	29%	29%	29%	28%	29%	29%

Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2020

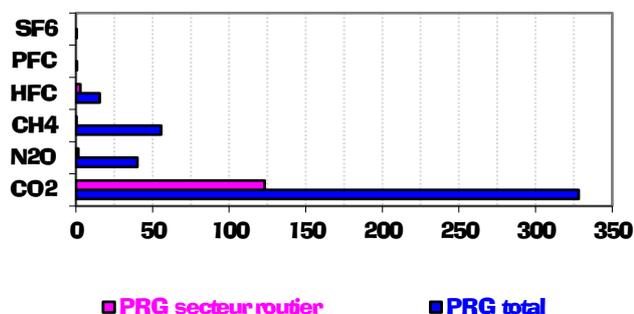
### ► Emissions de GES hors UTCATF (millions de tonnes de CO<sub>2</sub> équivalent)



Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2020

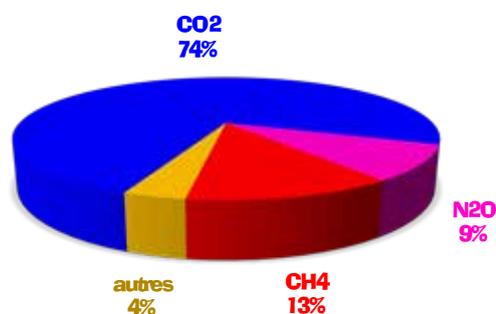
en rouge, valeurs en 1990, année de référence du protocole dit "de Kyoto".

### ► Emissions de gaz à effet de serre: potentiels de réchauffement global [PRG] en 2019 hors UTCATF (millions de tonnes de CO<sub>2</sub> équivalent)



Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2020

### ► Contribution des gaz à effet de serre au PRG en 2019 hors UTCATF (pourcentages)



Source : CITEPA / format SECTEN - avril 2020

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 « CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>. En effet, ces

gaz, en particulier le méthane CH<sub>4</sub>, sont beaucoup plus actifs que le CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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.

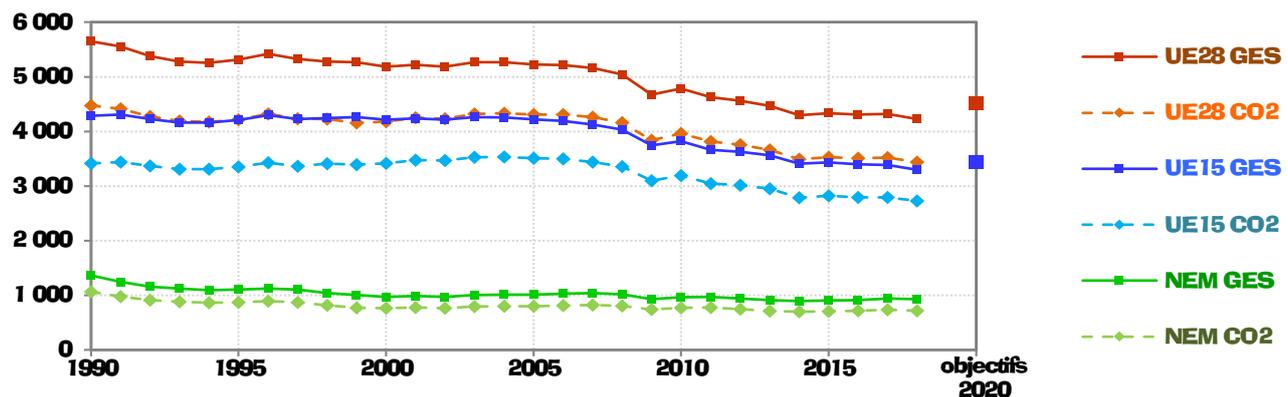
### ► Union européenne : émissions globales de GES et de CO<sub>2</sub> (hors UTCATF)

	1990	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	objectifs 2020
<b>Millions de tonnes de GES : potentiel de réchauffement global en CO<sub>2</sub> équivalent</b>												
Union européenne (15 Etats)	4 288	3 745	3 822	3 660	3 627	3 562	3 407	3 431	3 396	3 386	<b>3 300</b>	3 430
Nouveaux Etats membres (13)	1 362	937	961	966	936	907	890	902	910	937	<b>926</b>	
Union européenne (28 Etats)	5 650	4 682	4 784	4 626	4 563	4 469	4 298	4 333	4 307	4 322	<b>4 226</b>	4 520
<b>Millions de tonnes de CO<sub>2</sub></b>												
Union européenne (15 Etats)	3 415	3 100	3 194	3 042	3 012	2 951	2 784	2 823	2 793	2 789	<b>2 725</b>	
Nouveaux Etats membres (13)	1 061	740	767	771	742	712	695	703	714	733	<b>715</b>	
Union européenne (28 Etats)	4 475	3 840	3 960	3 812	3 754	3 663	3 489	3 526	3 508	3 521	<b>3 440</b>	

Source : AEE, traitements URF

### ► Union européenne : émissions de GES et de CO<sub>2</sub> et objectifs 2020

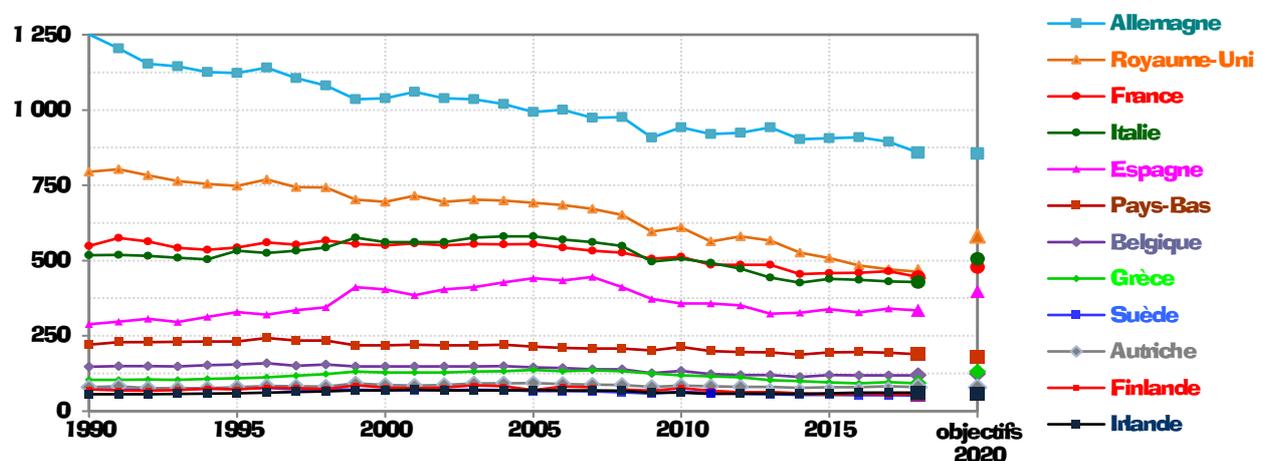
(potentiel de réchauffement global en millions de tonnes de CO<sub>2</sub> équivalent) hors UTCATF



Source : AEE, traitements URF

### ► Union européenne à 15 : émissions de GES et objectifs 2020

(potentiel de réchauffement global en millions de tonnes de CO<sub>2</sub> équivalent)



Source : AEE, traitements URF

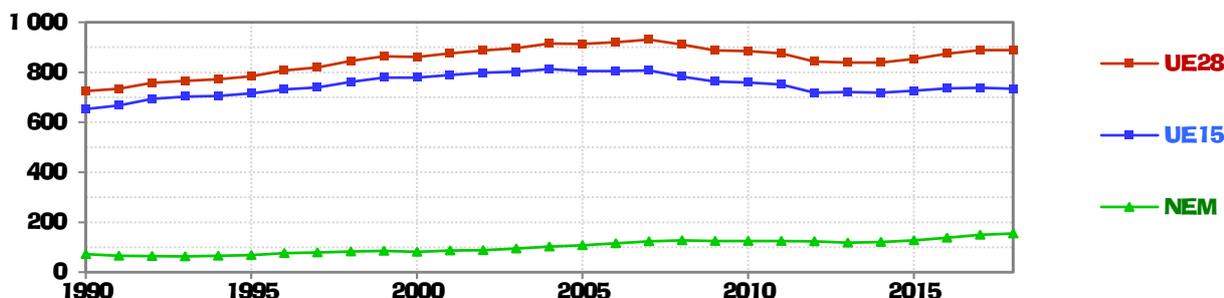
## **Emission de CO<sub>2</sub> de la circulation routière en Europe**

Les graphiques ci-dessous indiquent l'évolution des émissions de CO<sub>2</sub> 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 Italie et en Espagne où elles continuent à croître, et en Allemagne où elles décroissent de manière notable en 2018. Par contre, elles

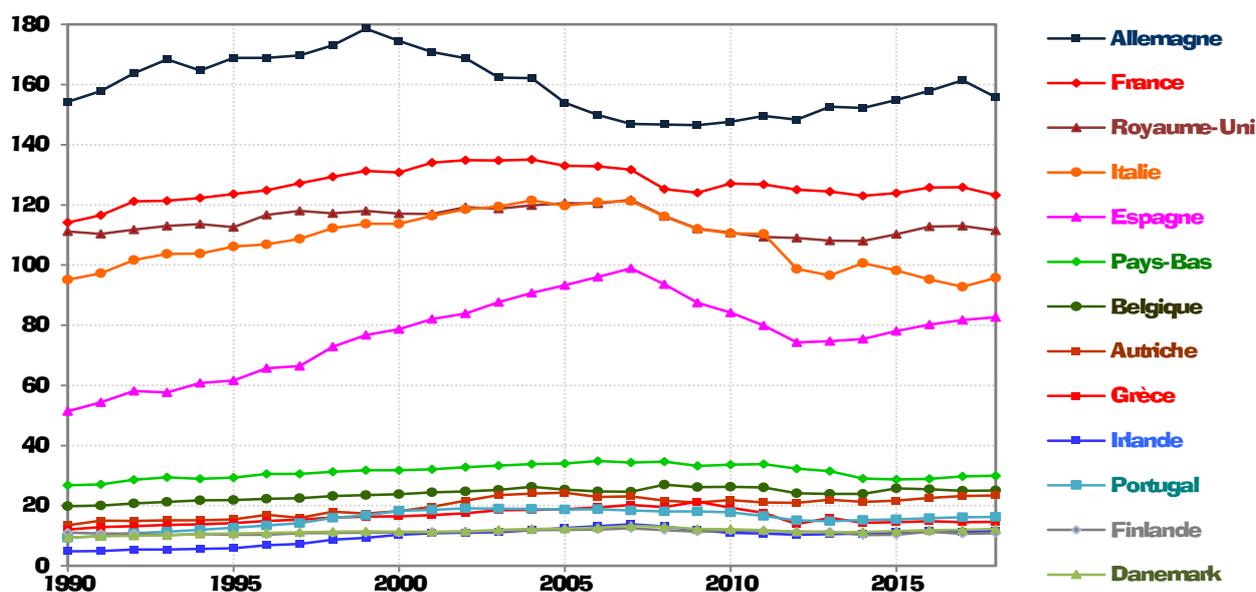
ont tendance à croître dans les nouveaux États membres, malgré une stabilité dans la quasi-totalité des pays hormis en Pologne. Le tableau de la page 78 fournit le détail, État par État, des émissions globales de CO<sub>2</sub> et de celles dues à la circulation routière en 2017. Il indique aussi quelques ratios (émissions par rapport à la population, au PIB, aux véhicules).

### ▶ **Union européenne : émissions de CO<sub>2</sub> de la circulation routière** (millions de tonnes de CO<sub>2</sub>)



Source : AEE, traitements URF

### ▶ **Union européenne à 15 : émissions de CO<sub>2</sub> de la circulation routière** (millions de tonnes de CO<sub>2</sub>)



Source : AEE, traitements URF

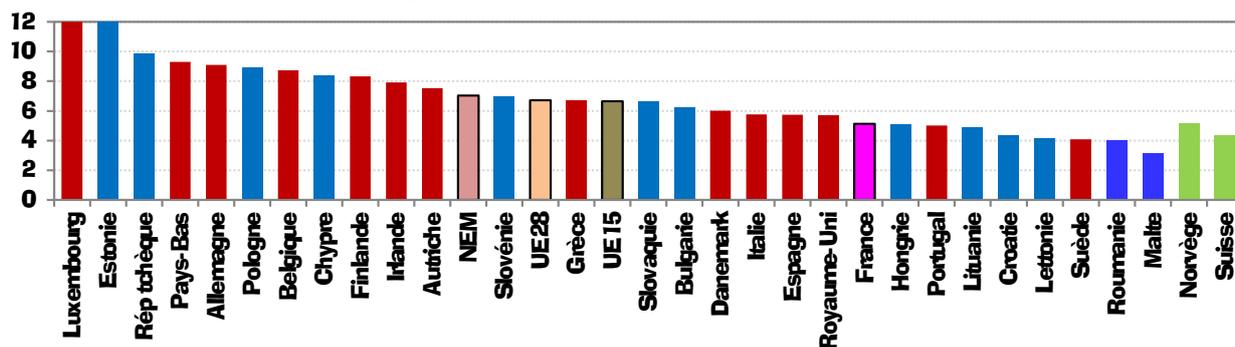
# Effet de serre

## Emission de CO<sub>2</sub>

	sigle		Population (millions d'habitants)	Emissions totales			Emissions de la circulation routière seule				
				Emissions de CO <sub>2</sub> (millions de tonnes)	PIB en 2017 (milliards d'euros)	Emissions de CO <sub>2</sub> (tonnes par habitant)	Emissions de CO <sub>2</sub> (tonnes par M€ de PIB)	Emissions de CO <sub>2</sub> (millions de tonnes)	Véhicules (millions)	Emissions de CO <sub>2</sub> (tonnes par habitant)	Emissions de CO <sub>2</sub> (tonnes par véhicule)
UE15	BE	Belgique	11,5	100	460	8,7	218	25	6,8	2,2	3,7
NEM	BG	Bulgarie	7,0	44	56	6,2	777	9	2,8	1,3	3,2
NEM	CZ	Rép. tchèque	10,6	105	208	9,9	506	18	6,5	1,7	2,8
UE15	DK	Danemark	5,8	35	301	6,0	116	12	3,1	2,1	4,0
UE15	DE	Allemagne	83,0	755	3 344	9,1	226	156	50,6	1,9	3,1
NEM	EE	Estonie	1,3	18	26	13,4	680	2	0,8	1,8	2,8
UE15	IE	Irlande	4,9	39	324	7,9	120	12	2,6	2,4	4,5
UE15	EL	Grèce	10,7	72	185	6,7	389	15	6,7	1,4	2,2
UE15	ES	Espagne	46,9	270	1 202	5,7	224	83	29,5	1,8	2,8
UE15	FR	France	64,8	332	2 353	5,1	141	123	39,8	1,9	3,1
NEM	HR	Croatie	4,1	18	52	4,3	343	6	1,8	1,5	3,4
UE15	IT	Italie	60,4	348	1 766	5,8	197	96	43,3	1,6	2,2
NEM	CY	Chypre	0,9	7	21	8,4	347	2	0,6	2,3	3,3
NEM	LV	Lettonie	1,9	8	29	4,1	271	3	0,8	1,6	3,9
NEM	LT	Lituanie	2,8	14	45	4,9	302	6	1,5	2,1	3,8
UE15	LU	Luxembourg	0,6	10	60	15,6	159	6	0,4	9,7	13,3
NEM	HU	Hongrie	9,8	50	134	5,1	371	13	4,3	1,4	3,1
NEM	MT	Malte	0,5	2	12	3,1	124	1	0,4	1,1	1,6
UE15	NL	Pays-Bas	17,3	161	774	9,3	207	30	9,6	1,7	3,1
UE15	AT	Autriche	8,9	67	386	7,5	173	23	5,5	2,6	4,3
NEM	PL	Pologne	38,0	338	496	8,9	680	63	27,3	1,7	2,3
UE15	PT	Portugal	10,3	52	204	5,0	253	16	6,7	1,6	2,4
NEM	RO	Roumanie	19,4	77	205	4,0	376	18	6,7	0,9	2,6
NEM	SI	Slovénie	2,1	14	46	7,0	317	6	1,2	2,7	4,7
NEM	SK	Slovaquie	5,5	36	90	6,6	402	7	2,6	1,3	2,7
UE15	FI	Finlande	5,5	46	234	8,3	196	11	4,1	2,0	2,6
UE15	SE	Suède	10,2	42	471	4,1	89	15	5,6	1,4	2,7
UE15	UK	Royaume-Uni	66,6	378	2 424	5,7	156	111	36,3	1,7	3,1
		UE15	407	2 704	14 488	6,6	187	734	251	1,8	2,9
		NEM	104	729	1 419	7,0	514	155	57	1,5	2,7
		UE28	511	3 434	15 908	6,7	216	888	308	1,7	2,9
	NO	Norvège	5,3	44	368	8,2	119	9	3,4	1,7	2,6
	CH	Suisse	8,5	37	597	4,3	62	14	5,1	1,7	2,8

Source : AEE, traitements URF

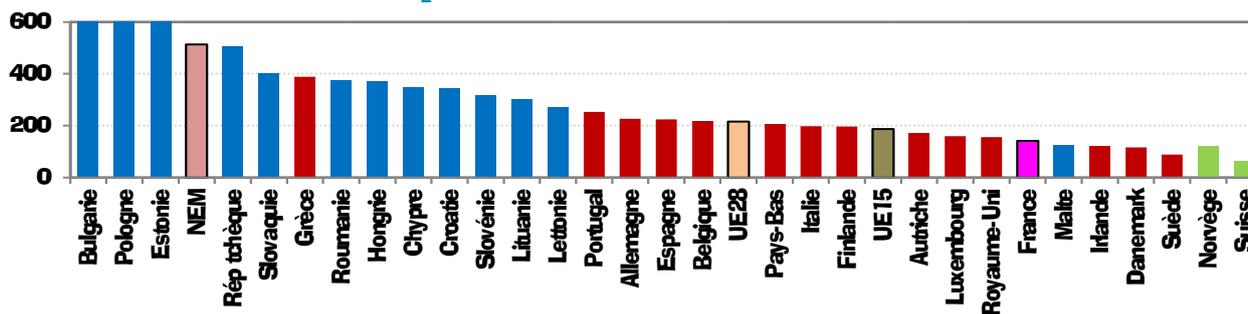
### ► Emissions globales de CO<sub>2</sub> par habitant en 2018 (tonnes par habitant)



Sources : Eurostat, AEE, traitements URF

(Le Luxembourg et l'Estonie sont hors échelle)

### ► Emissions globales de CO<sub>2</sub> par unité de PIB en 2018 (tonnes par million d'euros)



Sources : Eurostat, AEE, traitements URF

(La Bulgarie, la Pologne et l'Estonie sont hors échelle)

## Marché des quotas d'émissions de CO<sub>2</sub>

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<sup>er</sup> janvier 2005 un système communautaire d'échanges de quotas d'émission de CO<sub>2</sub> (seul GES actuellement coté). Un « quota » correspond à 1 tonne de CO<sub>2</sub>. 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<sup>ère</sup> phase 2005-2007. La 2<sup>e</sup> phase était 2008-2012, référence des engagements de Kyoto, et la 3<sup>e</sup> 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 CO<sub>2</sub>)

	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	déc. 2019	juin 2020
phases II et III Spot EUA	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	24,5	23,3

Source : European Energy Exchange (EEX)

### Marché du dioxyde de carbone : cours de clôture moyens mensuels (euros par «quota» ou tonne de CO<sub>2</sub>)



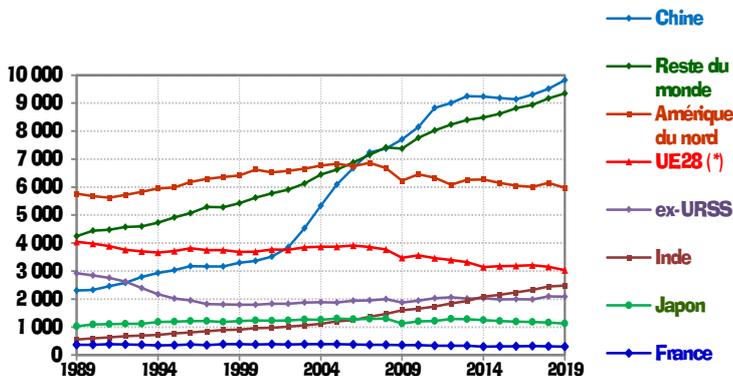
Source : European Energy Exchange (EEX)

## Emissions mondiales de CO<sub>2</sub>

La répartition entre États et régions du monde des émissions de CO<sub>2</sub> dues à la combustion des combustibles fossiles est retracée sur les graphiques ci-dessous : évolution depuis 1989 et répartition en 2019 (« 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

1989, n'en représente plus que 9,7% en 2019. Cette proportion est appelée à diminuer progressivement. **La France seule n'émet que 0,9% des émissions mondiales de CO<sub>2</sub>.** La Chine émet 28,8% des émissions mondiales de CO<sub>2</sub>, 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.

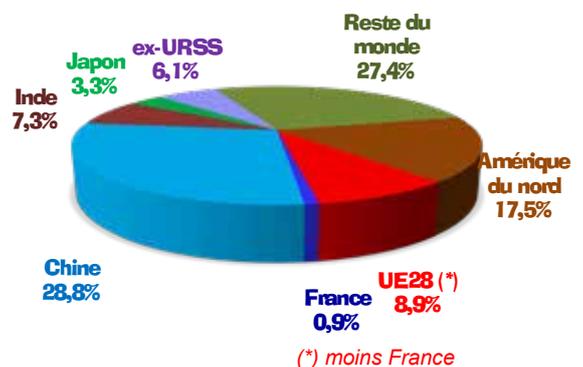
### Monde : émissions de CO<sub>2</sub> dues aux combustibles fossiles [pétrole, gaz et charbon] (millions de tonnes de CO<sub>2</sub>)



Source : BP statistical review world energy 2020

(\*) moins France

### Répartition des émissions de CO<sub>2</sub> en 2019



Source : BP statistical review world energy 2020

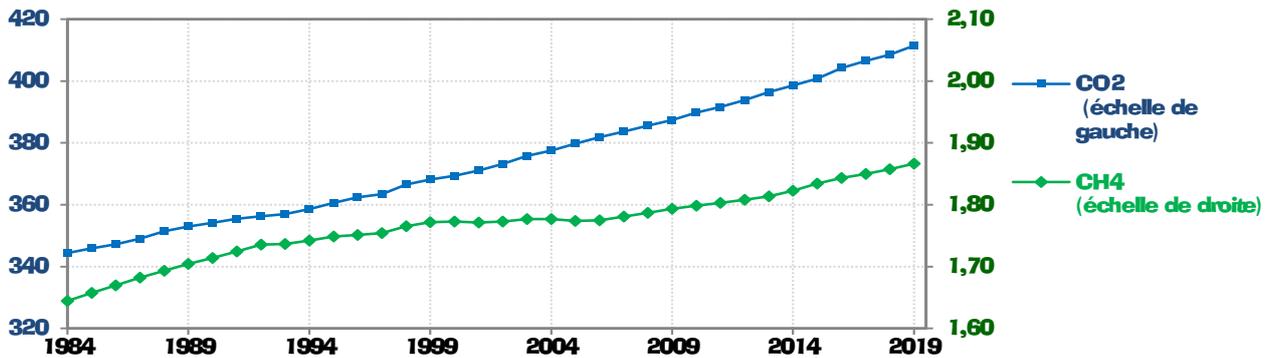
## Concentration de GES dans l'air

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 CO<sub>2</sub> et 1984 pour le CH<sub>4</sub>. 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

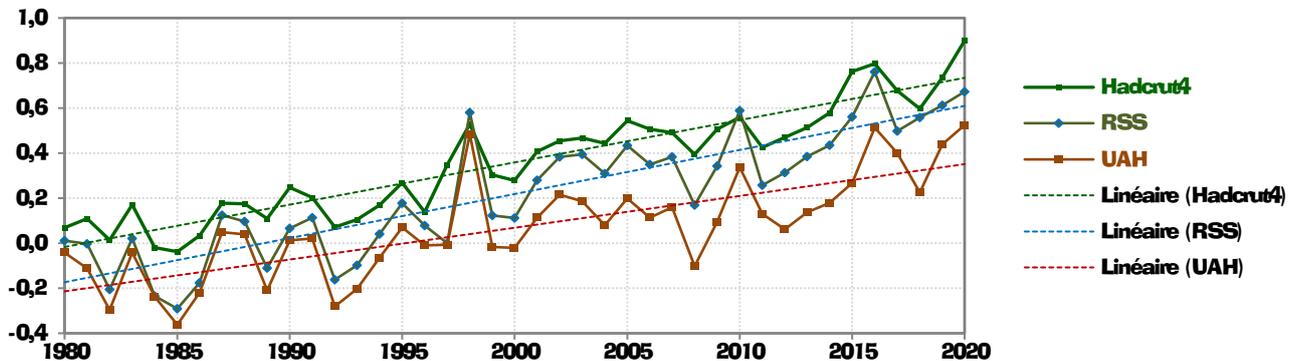
Il est intéressant de mettre en regard des évolutions précédentes l'évolution de la température moyenne de la basse troposphère (c'est-à-dire au voisinage du sol ou de la surface des océans). On dispose maintenant d'une série homogène de plus de trente-cinq années grâce à la NASA et à ses satellites 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 2020 : les 6 premiers mois de l'année)