

Citepa. Rapport Secten édition 2020

Émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques en France

Gaz à effet de serre

Rédaction

Anaïs DURAND

Gwenaëlle LEBORGNE

Colas ROBERT

Stéphanie BARRAULT

Romain BORT

- ▶ [Télécharger les données associées au chapitre](#)
- ▶ [Parcourir l'ensemble des chapitres du Rapport Secten](#)

Sommaire du chapitre

Contexte	76
Emissions totales de gaz à effet de serre en CO ₂ e.....	79
CO ₂ (dioxyde de carbone)	91
CH ₄ (méthane)	99
N ₂ O (protoxyde d'azote).....	105
Sous-total Gaz fluorés	111
HFC	115
PFC	119
NF ₃	123
SF ₆	127

Contexte

L'effet de serre est un phénomène naturel. Si l'effet de serre naturel n'existait pas, la température moyenne sur terre serait nettement inférieure aux 15 °C constatés. L'accroissement du phénomène d'effet de serre est, quant à lui, d'origine anthropique. Le 5^e rapport du GIEC (GIEC, 2014) précise dans sa synthèse : « *Les émissions anthropiques de gaz à effet de serre, qui ont augmenté depuis l'époque préindustrielle en raison essentiellement de la croissance économique et démographique, sont actuellement plus élevées que jamais, ce qui a entraîné des concentrations atmosphériques de dioxyde de carbone, de méthane et d'oxyde nitreux sans précédent depuis au moins 800 000 ans. Leurs effets, associés à ceux d'autres facteurs anthropiques, ont été détectés dans tout le système climatique et il est extrêmement probable qu'ils aient été la cause principale du réchauffement observé depuis le milieu du XX^e siècle* ».

Selon le résumé à l'attention des décideurs du dernier rapport spécial du GIEC sur le réchauffement de 1,5°C (IPCC, 2018), la hausse de la température moyenne mondiale observée à la surface de la Terre au cours de la décennie 2006-2015 était de +0,87°C (fourchette comprise entre 0,75°C et 0,99°C) supérieure à la température moyenne mondiale sur la période 1850-1900. Aujourd'hui, les experts estiment que le réchauffement d'origine anthropique augmente de 0,2°C par décennie (fourchette comprise entre 0,1°C et 0,3°C) du fait des émissions passées et actuelles.

Les conséquences sont multiples : vagues de chaleur plus fréquentes et intenses, sécheresse accrue, événements climatiques extrêmes plus fréquents (ouragans, vagues de froid intense, etc.), fonte des glaciers, montée des océans, etc. Le changement climatique présente un risque pour l'équilibre des systèmes naturels et humains.

Ce résumé à l'attention des décideurs (IPCC, 2018) est la source par excellence à laquelle se référer pour avoir les principaux résultats du rapport spécial, basés sur une évaluation de la littérature scientifique, technique et socio-économique disponible sur le réchauffement climatique de 1,5°C afin de le comparer au réchauffement de +2°C par rapport aux niveaux pré-industriels. La fiche de synthèse du Citepa (FDS Citepa, 2018) explicite et présente les principales conclusions du rapport :

- Au rythme actuel du réchauffement, l'augmentation de température moyenne mondiale par rapport à la période préindustrielle (1750) atteindra 1,5°C entre 2030 et 2052.
- Atteindre et maintenir un niveau de zéro émission nette anthropique mondiale des GES empêcherait une hausse supplémentaire des températures moyennes mondiales sur plusieurs décennies.
- Pour limiter le réchauffement à +1,5°C, il faut :

- que la baisse des émissions mondiales de CO₂ soit amorcée bien avant 2030,
- réaliser de fortes réductions des émissions de GES d'ici 2030 pour les ramener à un niveau en dessous de 35 Gt CO₂e/an en 2030 (contre 52 Gt CO₂e/an en 2016), soit une réduction de 32,7%,
- réduire les émissions de CO₂ de 45% en 2030 (par rapport à 2010) pour atteindre zéro émission nette vers 2050,
- réduire de 35% les émissions de CH₄ d'ici 2050 (par rapport à 2010),
- ne pas dépasser un budget carbone mondial compris entre 580 et 770 Gt CO₂ (probabilité de 50%) ou entre 420 et 570 Gt CO₂ (probabilité de 66%).

Mécanismes mis en jeu et forçage radiatif des composés

Le bilan radiatif de la terre peut se résumer de la façon suivante : la terre reçoit une certaine partie du rayonnement solaire sous forme de rayonnement visible. Le flux solaire incident est de l'ordre de 340 W.m⁻². Le sol absorbe environ 50% de cette énergie incidente dont l'autre portion a été absorbée par l'atmosphère (20%) ou réfléchi par les nuages et par les surfaces claires du sol, telles que les déserts et les glaciers (30%). La surface terrestre réémet cette énergie reçue sous forme de rayonnements infrarouge (IR).

L'effet de serre est principalement lié à l'absorption des rayonnements IR de grande longueur d'onde renvoyés par la surface terrestre, par les nuages et des composés présents dans l'atmosphère de façon naturelle tels que : vapeur d'eau (H₂O), CO₂, CH₄, O₃, N₂O, gaz fluorés. Ces composés engendrent donc un effet de serre naturel. Sans ce dernier, la température moyenne sur terre serait de - 18°C.

Bien que présents à l'état de trace, l'accroissement des concentrations des composés à longue durée de vie (forceurs climatiques à longue durée de vie ou *Long-Lived Climate Forcers*) tels que le CO₂, le N₂O et certains gaz fluorés, conduit donc à un renforcement de l'effet de serre. L'étude des situations passées, par l'analyse des bulles d'air piégées dans les glaces profondes, est notamment riche d'enseignements. Les scientifiques ont mis en évidence que dans le passé, les épisodes froids ont généralement coïncidé avec de faibles teneurs de l'air en CO₂ et CH₄. Pour le CO₂, les fluctuations des concentrations sont liées à des modifications de la circulation et de la productivité océanique, l'océan étant le grand régulateur à long terme du CO₂. Pour le CH₄, les modifications font intervenir les écosystèmes terrestres et les sols gelés des hautes latitudes.

La complexité des phénomènes mis en jeu est de mieux en mieux comprise par les scientifiques.

L'accroissement de l'effet de serre ne se résume pas en fait aux seuls GES à longue durée de vie. Beaucoup d'autres composés à courte durée de vie (*Short-Lived Climate Forcers* ou SLCF) contribuent au réchauffement, de façon directe (ozone, composante carbone suie de particules, CH₄, certains HFC) ou indirecte (cas du CO et des COV qui se transforment en CO₂). Par ailleurs, certains polluants tels que le SO₂ peuvent aussi avoir des effets refroidissants.

L'ozone (O₃) présent dans l'atmosphère est un gaz à effet de serre. En fonction de l'altitude à laquelle il est présent, son forçage radiatif est différent. Selon le 5^e rapport d'évaluation du GIEC (GIEC, 2014), l'ozone de la troposphère est considéré comme le troisième GES par ordre d'importance du forçage radiatif induit. L'ozone de la stratosphère contribue, au contraire, au refroidissement.

Le CO₂ est lié principalement aux combustions industrielles et domestiques ainsi qu'aux transports. Le CH₄ est en majorité lié aux pratiques agricoles : par exemple la riziculture, l'élevage. Le N₂O a une origine principalement agricole avec l'usage des fertilisants minéraux et d'origine organique (engrais, fumier, lisier).

Des substances telles que les CFC, les HCFC, les HFC, principalement utilisés dans les secteurs de la réfrigération et de la climatisation, les PFC, le NF₃, et le SF₆ sont des GES puissants dont l'origine est totalement anthropique.

L'action de ces gaz se traduit par une perturbation du bilan énergétique global caractérisée par un piégeage additionnel. Sept de ces gaz (ou familles de gaz dans le cas des HFC et PFC) sont inscrits sur la liste du Protocole de Kyoto : CO₂, CH₄, HFC, PFC, SF₆ (depuis la première période d'engagement 2018-2012) et le NF₃ (pour la seconde période d'engagement 2013-2020). Les CFC et HCFC étant couverts, par ailleurs, par le Protocole de Montréal.

Le SO₂, les NO_x, le CO et les COVNM sont comptabilisés dans le rapportage des émissions de GES pour la Convention cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC 2019). Ces quatre gaz ont une action sur l'effet de serre en tant que polluants primaires intervenant dans la formation de polluants secondaires comme l'ozone ou les aérosols. Ils n'entrent pas dans le "panier" de Kyoto.

- Le CO et les COV, s'oxydent en CO₂ et contribuent à la formation d'ozone. Ils ont tous deux un forçage radiatif positif contribuant donc au réchauffement.
- Les NO_x conduisent à la formation d'ozone (forçage positif), mais aussi à la formation de particules de nitrate et oxydent le CH₄ (forçage négatif). Au global ils ont un forçage négatif.
- Le SO₂ a un effet refroidissant, en produisant des sulfates (forçage négatif).
- Le NH₃ présente lui aussi un forçage négatif en produisant des nitrates et des ions ammonium.

Ce sont les émissions de ces sept gaz à effet de serre qui sont estimées dans l'inventaire national d'émission et présentés ci-après. Pour le rapportage, le SO₂, les NO_x, le CO et les COVNM sont comptabilisés comme des gaz à effet de serre indirect (CCNUCC 2019).

La figure 1 suivante présente les coefficients de forçage des diverses espèces chimiques (IPCC-AR5-ch8-2014). Il est à noter que l'on ne trouve pas directement l'ozone puisqu'il est émis indirectement, mais sa contribution apparaît indirectement par l'intermédiaire de ses précurseurs.

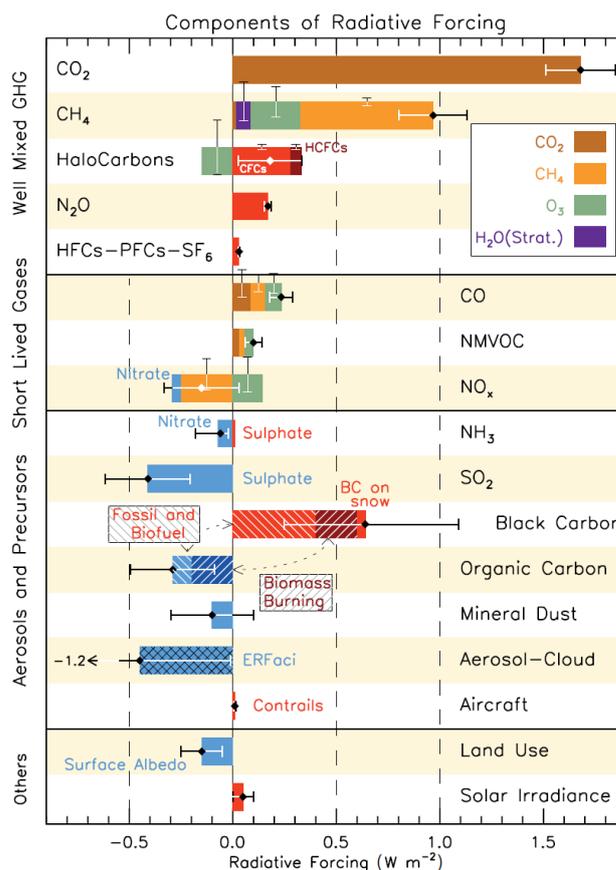


Figure 1 : Forçage radiatif des composés (IPCC- AR5- ch8- 2014) exprimé en W.m⁻²

Pouvoir de réchauffement global (PRG)

Le PRG (ou GWP, *Global Warming Potential*, en anglais) a été défini par les experts du GIEC pour fournir une mesure simple des effets relatifs des émissions des divers gaz à effet de serre. L'indicateur est défini comme le forçage radiatif cumulé entre la situation actuelle et un horizon donné causé par une unité de masse de gaz émise aujourd'hui. Le CO₂ sert de référence (PRG = 1).

Le tableau suivant présente les PRG de certains composés, d'après la dernière mise à jour du GIEC dans son 5^e rapport (GIEC 2014). Ces PRG seront utilisés à partir de l'inventaire portant sur l'année 2021. Actuellement, ce sont les PRG du 4^e rapport qui

sont utilisés dans les inventaires jusqu'à cette date (CCNUCC 2019).

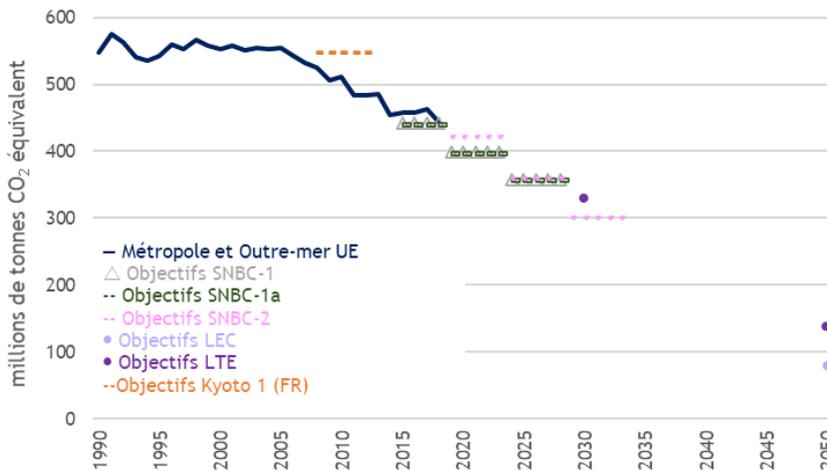
Pour le besoin du rapportage CCNUCC, ce sont toujours les PRG à 100 ans qui sont pris en compte.

Tableau 1 : Exemples de PRG de composés selon le 4^e rapport (GIEC 2007) et le 5^e rapport d'évaluation du GIEC (GIEC 2014)

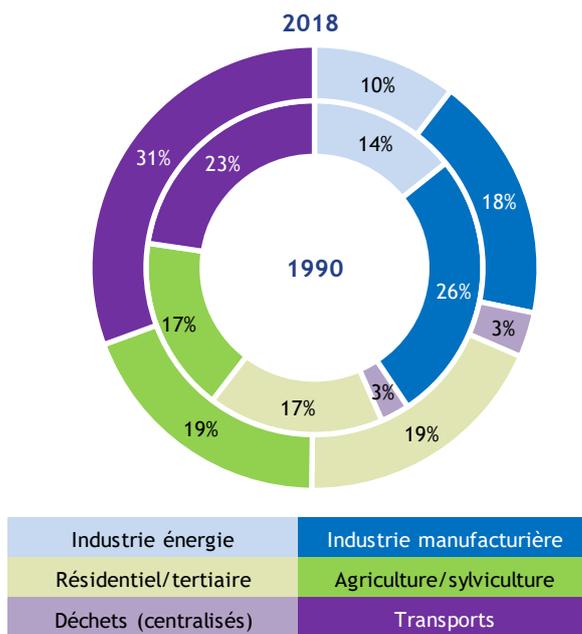
Substance	PRG selon 5 ^e rapport		PRG selon 4 ^e rapport
	<i>horizon</i> 20 ans	100 ans	100 ans
CO ₂	1	1	1
CH ₄	84	28	25
N ₂ O	264	265	298
NF ₃	12 800	16 100	17 200
SF ₆	17 500	23 500	22 800

Emissions de gaz à effet de serre en bref

Evolution des émissions de CO₂e en France



Répartition des émissions de CO₂e hors UTCATF en France



CO₂e

CO₂ équivalent

Type
Indicateur

Définition

Les émissions en CO₂e (équivalent CO₂) correspondent à l'agrégation de toutes les émissions de gaz à effet de serre (CO₂, CH₄, N₂O, PFC, HFC, SF₆, NF₃) présentées en tonnes de CO₂ équivalent, soit en prenant en compte leur pouvoir de réchauffement global (PRG) propre à 100 ans.

Valeurs des PRG

Le PRG traduit l'impact sur le climat d'un gaz à effet de serre en comparaison au CO₂, de PRG = 1. Les valeurs ci-après, utilisées dans l'inventaire national, sont celles issues du rapport du Giec de 2007 (AR4) et qui devront être utilisées jusque dans l'inventaire portant sur l'année 2020.

CO₂ = 1

CH₄ = 25

N₂O = 298

HFC = 124 à 14 800

PFC = 7 390 à 12 200

SF₆ = 22 800

NF₃ = 17 200

Origine

Voir les fiches par gaz à effet de serre

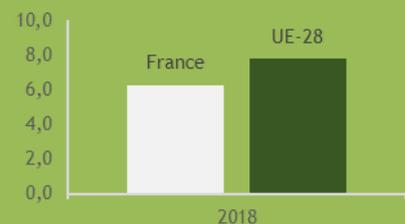
Phénomènes associés

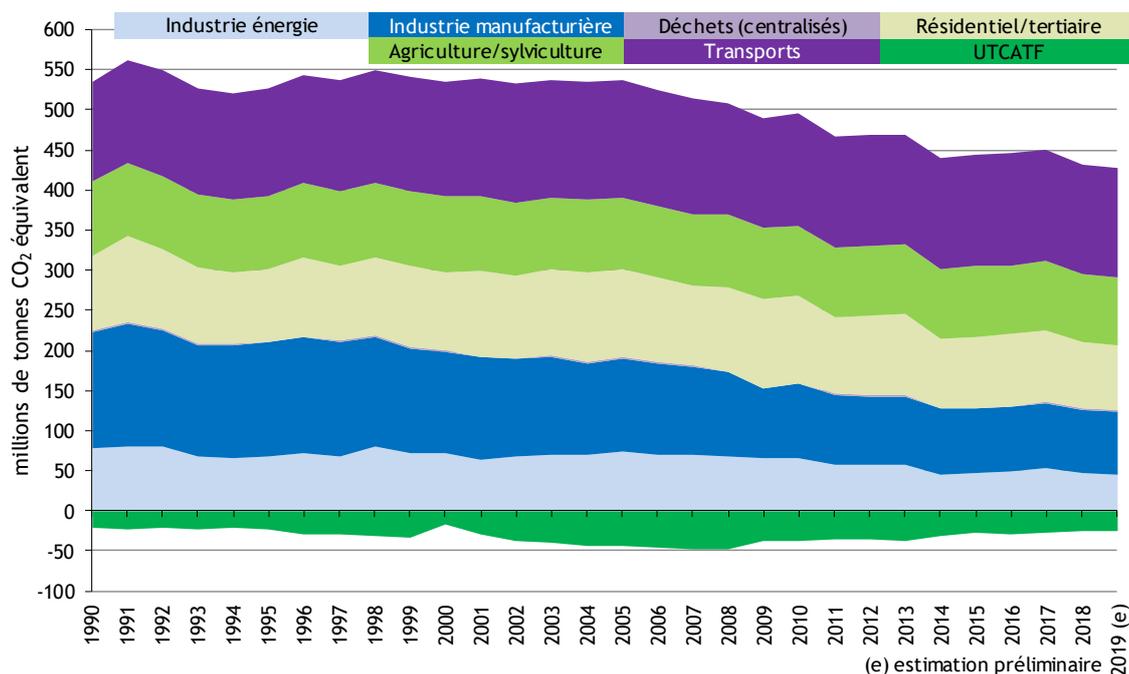
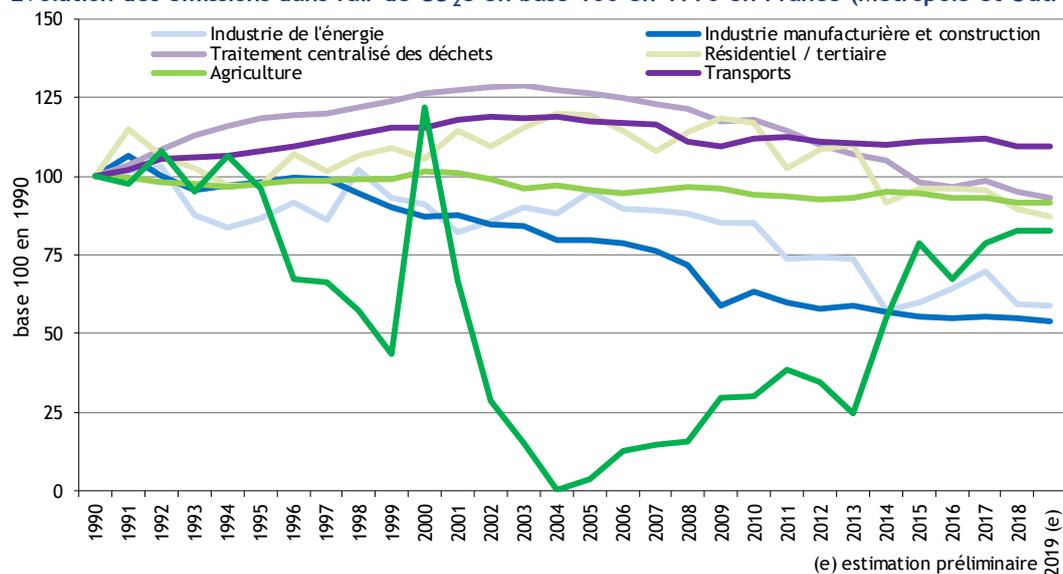
Voir les fiches par gaz à effet de serre

Effets

Voir les fiches par gaz à effet de serre

Emissions hors UTCATF par habitant kg/hab/an en 2018



Evolution des émissions dans l'air de CO₂e depuis 1990 en France (Métropole et Outre-mer UE)Evolution des émissions dans l'air de CO₂e en base 100 en 1990 en France (Métropole et Outre-mer UE)Emissions de CO₂e (MtCO₂e/an)

Périmètre : Métropole et Outre-mer inclus dans l'UE

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019 (e)
Industrie de l'énergie	78,0	67,6	71,2	74,0	66,4	46,7	50,0	54,3	46,2	45,8
Industrie manufacturière et construction	145,0	141,9	126,7	115,9	91,7	80,5	79,5	80,0	79,5	78,3
Traitement centralisé des déchets	15,3	18,1	19,3	19,3	18,0	15,0	14,7	15,0	14,5	14,2
Résidentiel / tertiaire	92,8	90	98	111	109	89	89	89	83	81
Agriculture	93,1	90,8	94,4	88,9	87,7	88,2	86,6	86,8	85,3	85,5
Agriculture hors total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Transports	124,2	134,3	143,3	145,8	139,2	138,0	138,7	138,9	136,2	135,9
Transport hors total	16,7	17,9	24,2	24,9	24,2	23,1	22,6	23,1	24,4	24,4
TOTAL national hors UTCATF	548	543	553	555	512	458	459	464	445	441
UTCATF	-21,9	-22,8	-17,2	-44,7	-37,2	-26,6	-29,1	-26,6	-25,7	-25,7
UTCATF Hors total	2,9	3,0	3,1	3,1	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
Emissions naturelles hors total	0,0	0,0	0,3	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
TOTAL national avec UTCATF	526	520	536	510	475	431	430	437	419	415
Hors total	19,6	20,9	27,5	28,1	27,8	26,6	26,0	26,6	27,9	27,9

Analyse

Enjeux

Effets environnementaux

La hausse des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère entraîne une perturbation du bilan radiatif terrestre, en bloquant une partie des rayonnements solaires qui retournent vers la surface et réchauffent les basses couches de l'atmosphère et les océans. *Lire la partie générale sur l'effet de serre en début de chapitre.*

Définition

Les émissions en CO₂e (équivalent CO₂) agrègent toutes les émissions de gaz à effet de serre (CO₂, CH₄, N₂O, PFC, HFC, SF₆, NF₃) au sens du Protocole de Kyoto, en prenant en compte leur pouvoir de réchauffement global (PRG) propre (voir le tableau dans la section *Contexte précédente* ainsi que dans le chapitre *Comprendre nos données d'émissions*). Il est donc plus difficile d'analyser l'évolution de ces émissions ainsi agrégées, néanmoins, ces émissions totales de GES restent un indicateur central pour la politique climat nationale, européenne et internationale.

Objectifs de réduction internationaux

La France, en tant que Partie à la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques, doit participer à son objectif ultime, à savoir « stabiliser [...] les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique » [art. 2 de la CCNUCC]. Les avancées des travaux scientifiques et des négociations climatiques ont, depuis, permis de définir un objectif quantifié dans le cadre de l'Accord de Paris : limiter à 2°C voire à 1,5°C le réchauffement global, et atteindre la neutralité carbone au cours de la seconde moitié du 21^e s. Dans le cadre du Protocole de Kyoto, la France devait stabiliser, sur la période 2008-2012 (première période d'engagement), ses émissions de GES au niveau de 1990, soit un budget cumulé sur la période de 2819,6 Mt CO₂e. Les émissions réelles cumulées sur la période s'élevant à 2509 Mt CO₂e, cet objectif a été atteint. Dans le cadre de la 2^e période du Protocole de Kyoto (2013-2020), seul un objectif collectif de l'UE a été défini : -20% par rapport à 1990. Cet objectif est détaillé, au niveau des Etats-membres, dans le cadre de la politique climat de l'UE.

Objectifs de réduction liés à l'UE

Les objectifs climatiques européens se déclinent en trois volets :

- les **objectifs visant le SEQUE** (Système d'échange de quotas d'émissions ou EU-ETS, couvrant des installations industrielles et énergétiques, et l'aviation). L'objectif total pour l'UE est une baisse des émissions de -21% pour 2020 et de -43% pour 2030 (base 2005). **Cet objectif n'est pas décliné par Etat-membre**, seuls les quotas gratuits sont fixés par Etat-membre. La France peut donc acheter autant de quotas payants que souhaité, tant qu'au niveau total de l'UE le plafond n'est pas dépassé.
- les **objectifs visant les secteurs hors-SEQUE** (dans le cadre de l'ESD : *Effort-Sharing Decision*). L'ESD fixe, par Etat-Membre, des plafonds d'émissions annuels sur la période 2013-2020. Le plafond assigné à la France pour 2018, de 366,3 Mt CO₂e, n'a pas été dépassé [émissions hors SEQUE : 341,9 Mt en 2018]. Les prochains plafonds s'élèvent 360,8 Mt pour 2019 et à 355,3 Mt pour 2020.
- et enfin le **secteur UTCATF**, dans le cadre du règlement 2018/841 qui définit un objectif de puits net pour l'UTCATF, avec des flexibilités. Pour le puits forestier spécifiquement, la comptabilisation se fait au regard d'un objectif projeté (le Niveau Forestier de Référence, ou FRL) sur les périodes 2021-2025 et 2026-2030.

Objectifs nationaux : la SNBC

L'objectif fixé au niveau national par la Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC) se traduit par une série de budgets carbone définis en 2015 dans la Loi sur la Transition Energétique (LTE), et révisés en 2020 (SNBC-2). Le 1^{er} budget carbone, sur la période 2015-2018, de 442 MtCO₂e/an (hors UTCATF), a été dépassé (456 MtCO₂e/an en moyenne). Le 2^e budget carbone, sur la période 2019-2023, a été fixé par la SNBC-2 à 422 Mt CO₂e/an (hors UTCATF). La pré-estimation de 2019 (441 Mt CO₂e) **respecte le budget indicatif fixé pour 2019 (443 Mt)** mais montre que les émissions devront encore baisser les années suivantes de près de -10Mt CO₂e en moyenne par an (soit -2,3%/an) pour que ce 2^e budget carbone soit respecté sur la période. La SNBC-2 prévoit par ailleurs une accélération de l'effort après 2023.

A noter

Les valeurs de Pouvoir de Réchauffement Global (PRG) utilisés dans l'inventaire sont ceux du 4^e rapport du Giec, conformément aux exigences de la CCNUCC. A partir du 1^{er} janvier 2023, la France devra prendre en compte les PRG de l'AR5 conformément aux décisions 18/CM1.1 et 1/CP.24 (adoptées à la COP 24) sur la mise en œuvre de l'Accord de Paris. 1 t de CH₄ ne vaudra plus 25 t de CO₂e mais 28 t ; 1 t de N₂O ne vaudra plus 298 t de CO₂e mais 265 t.

Contrairement aux éditions du rapport Secten antérieures à 2020, le périmètre utilisé (sauf mention contraire) pour les émissions de GES couvre la Métropole et l'Outre-Mer inclus dans l'UE, en cohérence avec les périmètres des objectifs. Sauf mention contraire, chaque GES individuel est exprimé en CO₂e.

Tendance générale

Analyse globale

Les émissions totales de GES en France sont analysées dans leur ensemble depuis 1990. Le maximum observé correspond à l'année 1991. Néanmoins, le véritable **pic des émissions de GES en France** est vraisemblablement **1973**, année du choc pétrolier, où l'on observe les émissions maximales de CO₂, composante principale des émissions de tous GES. On observe d'abord un plateau dans les années 1990 jusqu'en 2005, puis une diminution irrégulière jusqu'à atteindre un niveau minimum en 2014, puis une période de lente ré-augmentation des émissions depuis 2015, de moins de 1% par an (0,9% en 2015, 0,2% en 2016, 1,1% en 2017). A partir de 2018, les émissions repartent à la baisse (voir *tendance récente*). Les variations interannuelles sont hétérogènes au cours de la période estimée. Cette variation s'explique notamment par les fluctuations des conditions climatiques, la douceur ou la rigueur des hivers jouant sur les émissions de CO₂ dans les secteurs Energie (production d'électricité par des centrales au gaz voire au charbon) et Résidentiel-Tertiaire (chauffage).

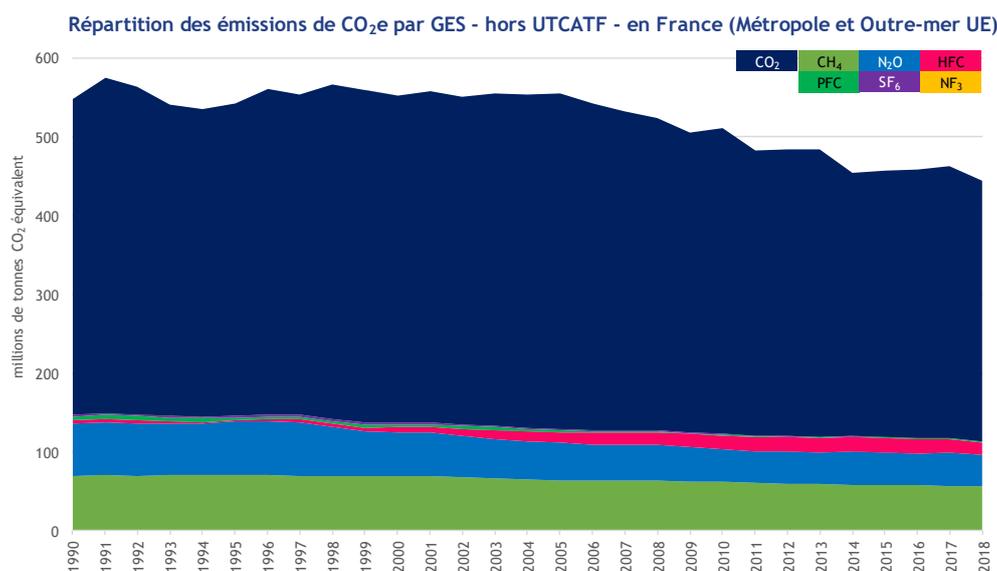
Variation interannuelle des émissions de CO₂e en France (Métropole et Outre-mer UE)



Au cours de la période 1990-2018, les variations interannuelles font apparaître des **hausse de moins en moins fortes** : autour de +5 MtCO₂e pour les années 2000, 2015 et 2017, voire des quasi-stagnations (2005, 2012, 2013, 2016) contre des hausses autour de +10 MtCO₂e à +20 MtCO₂e pour les années 1990. Les **réductions d'émissions sont, en revanche, de plus en plus fortes**, avec des niveaux autour de -8 MtCO₂e dans les années de 1990 à 2000 et désormais des baisses de -20 à -30 Mt CO₂e pour la fin des années 2000 aux années 2010.

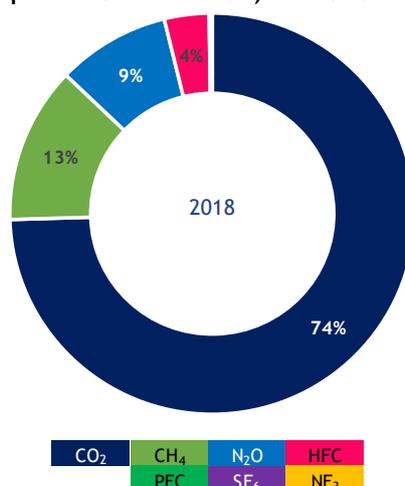
Poids des différents gaz à effet de serre

Ce sont les émissions de CO₂ qui expliquent les grandes tendances d'évolution des émissions de GES. Le graphique ci-dessous présente le poids de chaque gaz à effet de serre dans les émissions totales exprimées en CO₂e.



La part en % des GES contribuant aux émissions de CO₂e en 2018 est présentée dans le graphique ci-dessous.

Répartition des émissions de CO₂e par GES en France (Métropole et Outre-mer UE) hors UTCATF - en %



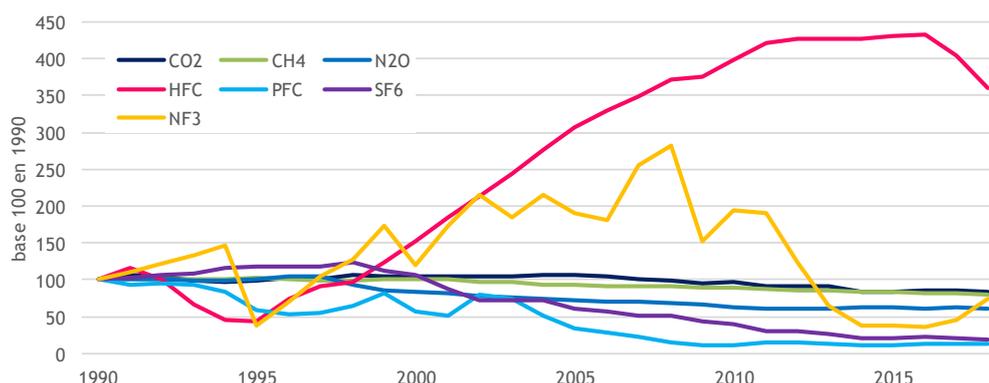
Tant en niveau qu'en évolution, le CO₂ est le principal contributeur aux émissions de GES en France métropolitaine. Les sources d'émission de CO₂ ainsi que l'analyse de leur évolution temporelle sont présentées dans la section CO₂. En résumé, l'évolution des émissions de CO₂ s'explique par :

- La hausse du trafic routier sur la période, même si, depuis 2008, la part des véhicules moins consommateurs et des biocarburants augmente ;
- La hausse de la consommation énergétique dans le secteur Résidentiel-Tertiaire, avec une forte variabilité liée à la rigueur ou non des hivers ;
- La baisse de la consommation de pétrole et du charbon depuis les années 1970 au profit de l'électricité et du gaz naturel ;
- Les économies d'énergie après le choc pétrolier de 1973 ;
- Les réglementations et le contexte économique impactant la baisse des émissions industrielles ;
- La baisse de la production d'énergie fossile après les pics pétroliers de 1973 et 1979 et la mise en place du programme nucléaire qui expliquent la baisse générale des émissions du secteur Energie, les variations récentes étant dues aux variations du climat (hivers doux ou rudes).

Au-delà du CO₂, le CH₄ et le N₂O représentent à eux deux 22% des émissions de GES en 2018. Ces deux gaz sont très majoritairement émis par le secteur Agriculture (élevage et culture) : fermentation entérique des bovins, gestion des déjections... En 2018, les PFC ne représentent que 0,15% des émissions de CO₂e, le SF₆ 0,1% et le NF₃ seulement 0,003%. Entre 1990 et les années 2000, la part des gaz autres que le CO₂ a baissé, passant de 27% en 1990 à 23% en 2006. Ensuite, avec la baisse des émissions de CO₂, les émissions hors CO₂ ont représenté une part de plus en plus importante des émissions de CO₂e, passant de 23% en 2006 à 25% en 2018.

Les évolutions des différents GES unitaires présentent des profils différents, globalement en baisse depuis 1990 sauf pour les HFC qui ont connu une période de forte hausse jusqu'en 2016.

Evolution relative des différents GES hors UTCATF en France (Métropole et Outre-mer UE) (base 100 en 1990)

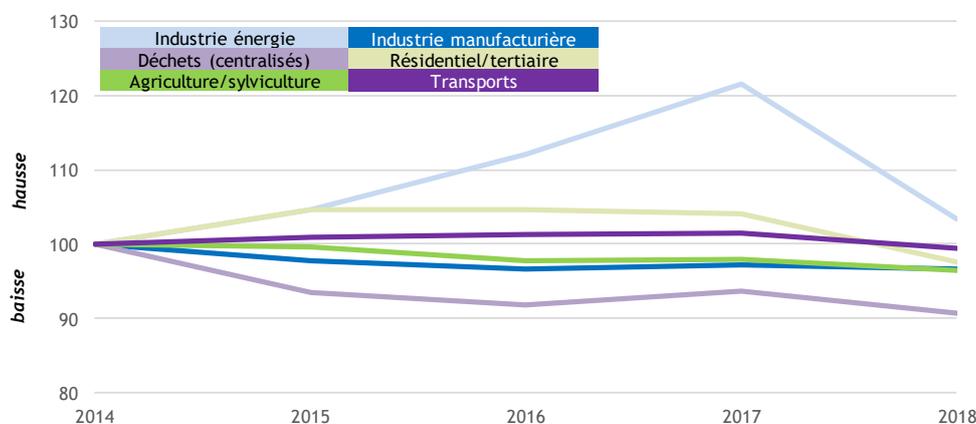


Puits de carbone et bilan net

Le secteur UTCATF est pour l'instant le seul moyen pour la France de générer des absorptions importantes de CO₂, un puits net de carbone. En 2018, ce puits net est estimé à -25,7 Mt CO₂e. Dans le même temps, les autres secteurs ont émis 445 Mt CO₂, l'UTCATF permet donc de compenser 6% des émissions des autres secteurs. Fortement à la hausse durant la période 1990-2000, le puits a tendance à diminuer ces dernières années, passant d'environ -45 Mt CO₂e au milieu des années 2000 à -25 Mt CO₂e ces dernières années. Il semble que la dynamique de la forêt française, historiquement responsable de cette croissance du puits, s'amenuise légèrement, même si elle présente toujours un puits de carbone important (*lire le chapitre UTCATF pour plus de détail*).

Évolution récente

Évolution des émissions des gaz à effet de serre en France (Métropole et Outre-mer UE) depuis 2014



La hausse de la période 2014-2017

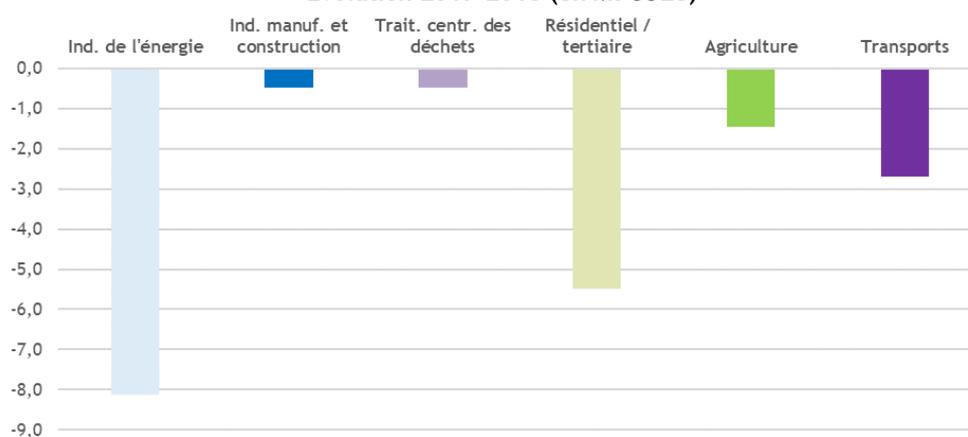
Bien que l'objectif soit de poursuivre la baisse des émissions à un rythme de plus en plus soutenu, une légère augmentation des émissions totales de GES est observée sur la période 2014-2017 (entre 0,2 et 0,9% par an). Cette hausse des émissions de GES était principalement liée :

- à la **Production d'électricité** le niveau 2014 était historiquement bas du fait d'une consommation de charbon divisée par deux par rapport à 2013 et d'un hiver particulièrement doux. Entre 2014 et 2017, les émissions ont réaugmenté du fait d'un arrêt de certaines tranches de centrales nucléaires et d'hivers moins doux pour revenir au niveau des années 2011-2013 (*voir le chapitre Energie*).
- au **secteur Résidentiel** (+4,8 Mt CO₂e en 2017 par rapport à 2014) (*voir graphique ci-après*). L'année 2014 était une année particulièrement douce où les besoins de chauffage du résidentiel ont été moins importants en comparaison avec les autres années (*voir le chapitre Résidentiel-Tertiaire*).
- au **transport routier**, dans une moindre mesure, avec une hausse des émissions de CO₂e des **véhicules essence** (+1,4 Mt CO₂e en 2017 par rapport à 2014) (*voir le chapitre Transports*).

En 2018

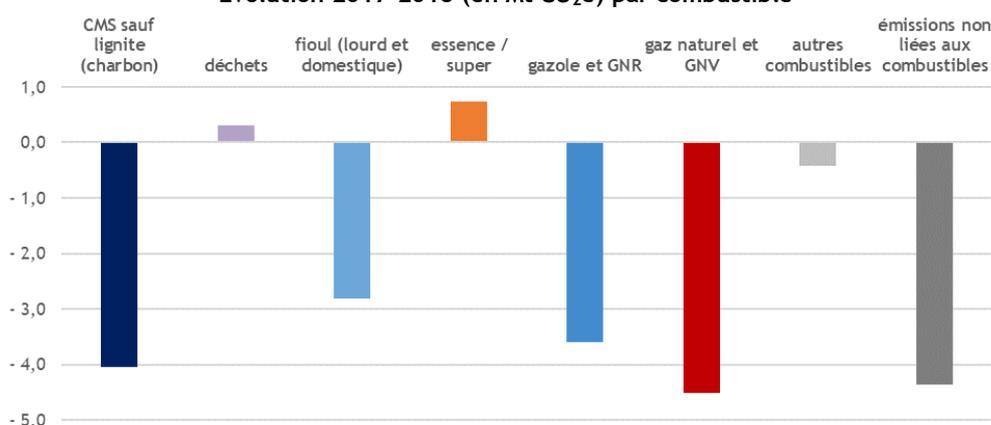
Les émissions nationales hors UTCATF ont atteint, en 2018, 445 Mt CO₂e et, en 2019, d'après notre pré-estimation provisoire, 441 Mt CO₂e. Il s'agit des niveaux les plus bas atteints depuis 1990. Les émissions ont baissé de 18,7 Mt CO₂e entre 2017 et 2018 (-4%). La réduction d'émission est surtout liée au secteur de l'industrie de l'énergie (-8,1 Mt CO₂e, soit 43% de la baisse), et au secteur résidentiel-tertiaire (-5,5 Mt CO₂e, soit 29% de la baisse) ; et, dans une moindre mesure, aux transports (-2,7 Mt CO₂e, 14% de la baisse) et à l'agriculture (-1,4 Mt CO₂e, 8% de la baisse).

Évolution 2017-2018 (en Mt CO₂e)



La baisse pour le secteur Energie correspond en fait à une baisse des émissions liées à la **production d'électricité**. En effet, en 2017, en raison à la fois d'une indisponibilité de certaines tranches nucléaires et d'un hiver particulièrement froid, les émissions liées aux centrales électriques ont été plus importantes. Pour le résidentiel-tertiaire, on observe surtout l'effet du **chauffage dans les bâtiments résidentiels**, lié aussi à un hiver 2017 moins doux que les hivers précédents. Ainsi, la variation de la consommation, de charbon, de fioul domestique et de gaz naturel, dans les centrales de production électriques et dans les chaudières domestiques, explique en grande partie la variation d'émission entre 2017 et 2018.

Évolution 2017-2018 (en Mt CO₂e) par combustible



Sur les 18,7 Mt CO₂e de réduction d'émissions entre 2017 et 2018, 14,4 Mt (77%) sont dues à des réductions d'émissions liées aux combustibles, et principalement : le gaz naturel et GNV (-4,5 Mt), le charbon (-4Mt), le gazole et GNR (-3,6 Mt CO₂e), le fioul domestique (-1,8 Mt) et le fioul lourd (-1 Mt).

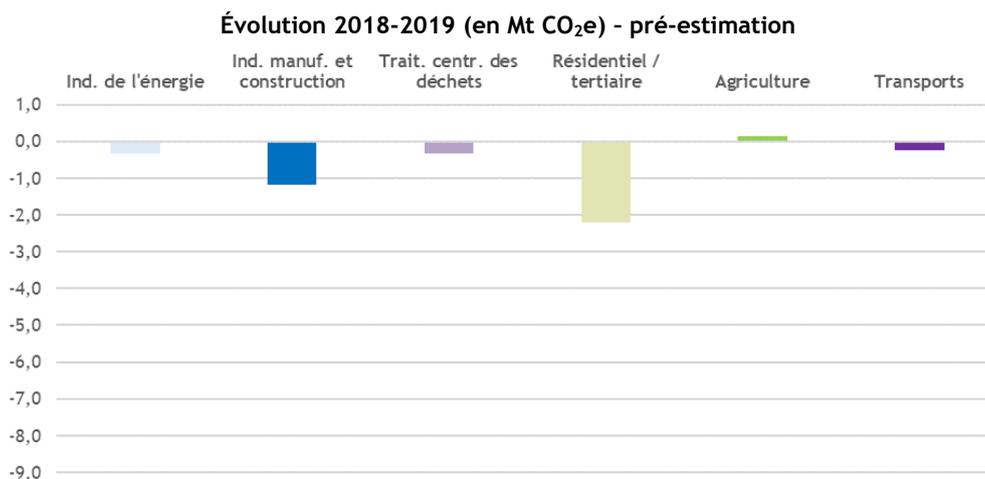
Pour les **transports**, la baisse de -2,7 Mt en 2018 est liée aux **diminutions des consommations des véhicules diesel** : véhicules particuliers diesel surtout (-2,2 Mt), véhicules utilitaires légers diesel (-0,7 Mt) et poids lourds diesel (-0,6

Mt). Cette baisse est en partie compensée par une hausse des consommations des véhicules particuliers essence (+0,7 Mt).

Pour l'**agriculture**, la baisse de 1,4 Mt CO₂e (-1,7%) en 2018 est davantage liée aux Cultures (-1 Mt CO₂e) qu'à l'élevage (-0,4 Mt CO₂e). Les tendances d'évolution des émissions de l'agriculture sont relativement lentes, la baisse d'émissions étant liée à des évolutions structurelles (diminution du cheptel et des quantités d'intrants azotés ; mise en place de techniques de réduction).

En 2019

L'année 2019 a été pré-estimé provisoirement à l'aide d'indicateurs. Certaines hypothèses conservatrices ont été appliquées en attendant de disposer de données complètes. Cette évolution sera donc recalculée pour la prochaine édition d'inventaire.



Il apparaît d'après cette première estimation de l'année 2019 que :

- la réduction observée en 2018 (-4%) ne se reproduit pas dans les mêmes proportions en 2019 (-0,9%), mais permet d'atteindre un nouveau niveau historiquement bas.
- le **secteur des bâtiments résidentiels et tertiaires** devient le premier contributeur à la baisse globale des émissions (-1,8 Mt, soit 55% de la baisse globale), en raison de consommations énergétiques pour le chauffage en baisse, en partie due à un hiver doux.
- avec -0,3 Mt CO₂e en 2019, la forte baisse observée précédemment entre 2017 et 2018 pour le **secteur de l'Énergie** (et en particulier de la Production d'Électricité) ne se poursuit pas en 2019. En effet, la variation 2017-2018 était surtout liée à des effets contextuels, à la fois avec l'hiver plus froid en 2017 et l'indisponibilité de certaines tranches nucléaires pour produire de l'électricité. Si les émissions liées aux centrales à charbon sont en baisse (ces centrales étant amenées à être fermées dans les prochaines années), les émissions liées aux centrales au gaz naturel, ont quant à elles augmenté.
- le secteur de **l'industrie manufacturière et de la construction** représente la 2^e plus forte baisse estimée, avec -1,2 Mt CO₂e en 2019, réduction encore plus forte qu'en 2018 (-0,5 Mt CO₂e). Cette diminution est en grande partie liée (-1 Mt sur les -1,2 Mt) à la métallurgie des métaux ferreux, liée à une baisse de la production d'acier, de ciment, de verre creux, et à une baisse des consommations d'énergie associées à cette production (gaz naturel, charbon). Les émissions de ce secteur sont à deux tiers liées à trois sous-secteurs seulement : la chimie (25% des émissions en 2019, en baisse quasi constante depuis 1990), les minéraux non métalliques et matériaux de construction (23%, émissions en baisse mais avec des fluctuations) et la métallurgie des métaux ferreux (20%, émissions très fluctuantes).
- pour les transports, la légère baisse pré-estimée pour 2019 (-0,2 Mt CO₂e) est bien inférieure à celle de 2018 (-2,7 Mt). Ce chiffre cache en réalité des évolutions différenciées, qui se compensent en partie : une diminution des émissions des véhicules particuliers et utilitaires légers diesel (-3,6 Mt) mais une hausse des émissions des poids lourds diesel (+1,7 Mt) et des véhicules particuliers essence (+0,7) ; et une hausse des émissions de l'aviation nationale (+0,2 Mt).
- pour les **déchets**, la baisse estimée en 2018 (-0,5 Mt) semble se poursuivre en 2019 (-0,3 Mt), par la poursuite de la diminution des quantités de déchets mis en décharge. A noter qu'une partie des déchets étant incinérée avec récupération d'énergie, les émissions liées à cette activité sont pris en compte au sein du secteur Énergie.

-pour l'agriculture, l'évolution 2018-2019 n'a pas été estimée spécifiquement, dans l'attente de données spécifiques au moment du calcul des émissions. L'hypothèse conservatrice d'émissions égales à 2018 a été appliquée pour la plupart des sous-secteurs - or il est possible que les émissions de l'élevage continuent de baisser (diminution du cheptel bovin en 2019) ainsi que les émissions des cultures (diminution des livraisons d'engrais azotés). Ces dynamiques seront précisées lors de la prochaine édition de l'inventaire (rapport Secten éd. 2021).

CO2e	1990-2018	2017-2018	2018-2019 (provisoire)
Industrie de l'énergie	-41%	-15%	-1%
Industrie manufacturière et construction	-45%	-1%	-1%
Traitement centralisé des déchets	-5%	-3%	-2%
Résidentiel / tertiaire	-11%	-6%	-3%
Agriculture	-8%	-2%	0%
Agriculture hors total	0%	0%	0%
Transports	10%	-2%	0%
Transport hors total	46%	5%	0%
TOTAL national hors UTCATF	-19%	-4%	-1%
UTCATF	17%	-4%	0%
UTCATF Hors total	18%	0%	0%
Emissions naturelles hors total	300%	100%	0%
TOTAL national avec UTCATF	-20%	-4%	-1%
Hors total	42%	5%	0%

En 2020

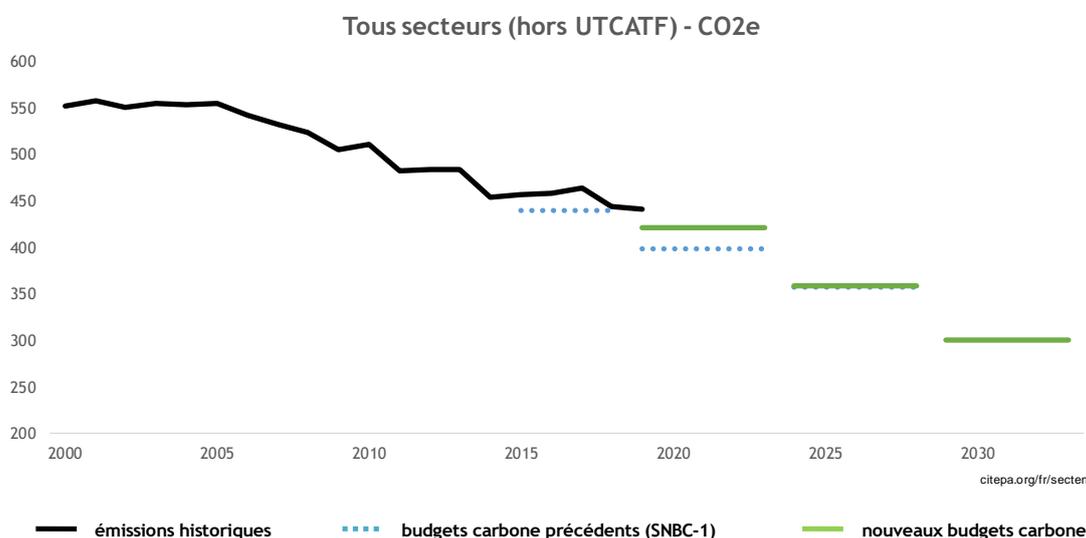
Le Citepa ne calcule pas encore de pré-estimation pour l'année en cours. Néanmoins, il est d'ores-et-déjà possible de dire que sur la première moitié de l'année 2020, les émissions de GES sont en forte baisse en France en raison des effets des mesures prises pour lutter contre la pandémie de Covid-19, en particulier le confinement de la population, ainsi qu'en raison de la crise économique associée. Pour la seconde partie de l'année, le niveau d'émission dépendra de la reprise économique, de l'évolution de la pandémie et d'éventuels effets de changements de comportements (ex : recours à la voiture individuelle). Des premières approximations ont été proposées par différents chercheurs, estimant une évolution 2019-2020 entre -5% et -15% ([lire notre article sur le sujet](#)).

Le budget carbone 2019-2023 peut-il être respecté ?

La Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC) de la France fixe les objectifs climat de la France. Pour différentes périodes, les émissions, en moyenne sur la période, ne doivent pas dépasser un budget carbone. Le 1^{er} budget carbone (2015- 2018) n'avait pas été respecté. Le budget carbone pour la période 2019-2023, fixé en 2020 par la SNBC révisée, s'élève à 422 MtCO₂e/an. Le budget indicatif annuel pour l'année 2019 s'élève quant à lui à 443 Mt CO₂e. L'estimation provisoire des émissions 2019 s'élève à 441 Mt, ce qui respecte donc l'objectif fixé pour 2019 mais reste encore en deçà de la moyenne à atteindre sur la période 2019-2023. Les émissions devront encore baisser les années suivantes de près de -10Mt CO₂e en moyenne par an (soit -2,3%/an) pour que ce 2^e budget carbone soit respecté. Si la probable baisse importante des émissions en 2020 permettrait d'aller dans ce sens, c'est surtout la question de la reprise économique et de la poursuite de cette tendance à la baisse des émissions qu'il faudra surveiller à partir de 2021.

Où en sont les émissions de gaz à effet de serre par rapport aux budgets carbone ?

en MtCO₂e - périmètre France métropolitaine + Outre-mer inclus dans l'UE



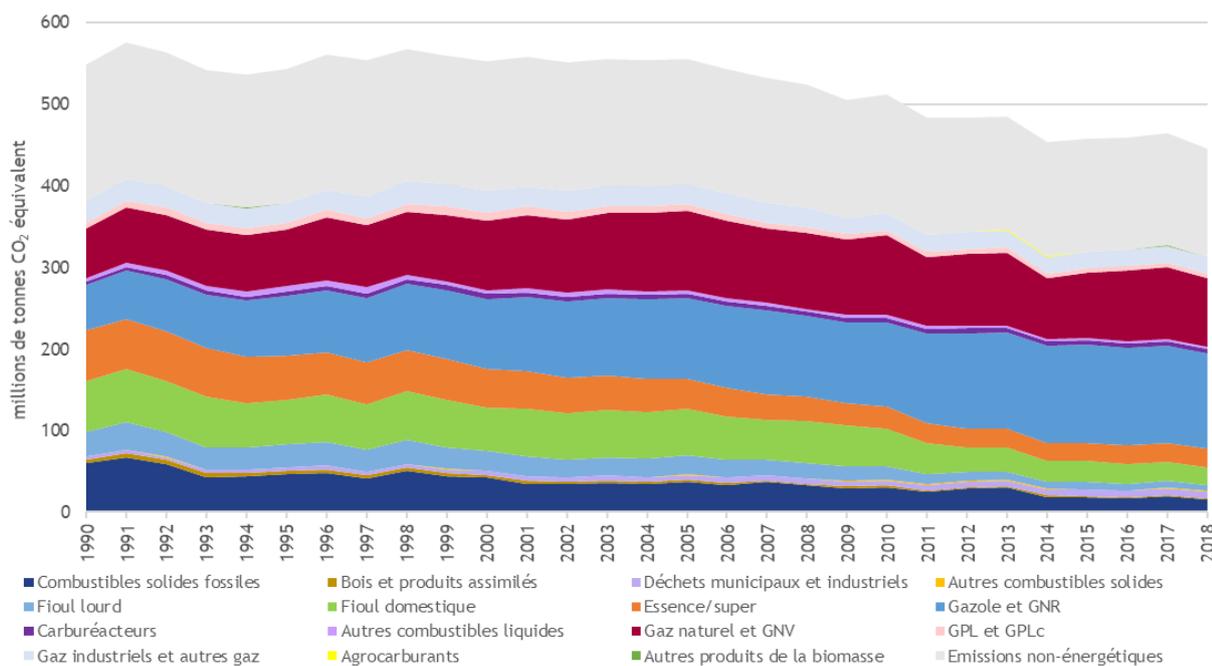
Perspectives : diviser par 7 les émissions d'ici 2050 ?

L'objectif fixé dans la Stratégie Nationale Bas-Carbone est d'atteindre la **neutralité carbone** en 2050, conformément à l'article 4 de l'Accord de Paris (voir le chapitre *Politique et Réglementation*), c'est-à-dire que les émissions soient intégralement compensées par les absorptions (puits de carbone du secteur UTCATF et technologies de captage et stockage du carbone). En 2018, les émissions hors UTCATF (émissions brutes) s'élèvent à 445 Mt CO₂e; et les absorptions de l'UTCATF s'élèvent à -26 Mt CO₂e. Autrement dit, les émissions brutes sont 17 fois plus importantes que le puits de carbone- l'UTCATF ne compense que l'équivalent de 6% des émissions - l'objectif étant d'arriver à 100% en 2050. Par ailleurs, si les émissions baissent, le puits de carbone, lui, ne montre pas une forte tendance à la hausse sur les dernières années. Etant donné les limites des puits dans le sol et la biomasse du secteur UTCATF (limites biophysiques, limites en surfaces, non-permanence) ainsi que les incertitudes concernant le déploiement à grande échelle des techniques de captage artificiel du carbone, cet objectif implique nécessairement une **réduction massive des émissions** dans tous les secteurs. Le projet de Stratégie nationale bas-carbone (SNBC) révisée, publié le 6 décembre 2018, prévoit que les émissions de GES atteignent un niveau de **80 Mt CO₂e** (hors UTCATF) en 2050. La SNBC révisée impliquerait donc une **réduction non plus par 4 d'ici 2050 (facteur 4), mais par 7 (soit -85%, base 1990).**

En 2050, les **80 Mt CO₂e** d'émissions "résiduelles" seraient alors imputables à 60% au secteur agricole et à 20% à l'industrie. Les secteurs de l'Energie, des Transports et des bâtiments résidentiels et tertiaires sont les secteurs où l'effort de réduction seraient les plus importants à fournir pour atteindre cet objectif.

Part des émissions liée aux combustibles

Les émissions liées aux combustibles représentent une part assez stable, autour de 70 ou 71%, des émissions totales de Gaz à effet de serre. C'est cette part liée aux combustibles qui connaît les fluctuations les plus fortes et qui explique notamment la période de hausse des émissions entre 2014 et 2017. La part des émissions liées au gazole (véhicules diesel) et au gaz naturel est de plus en plus importante, et représente en 2018 64% des émissions de GES liées aux combustibles (contre seulement 30% en 1990).



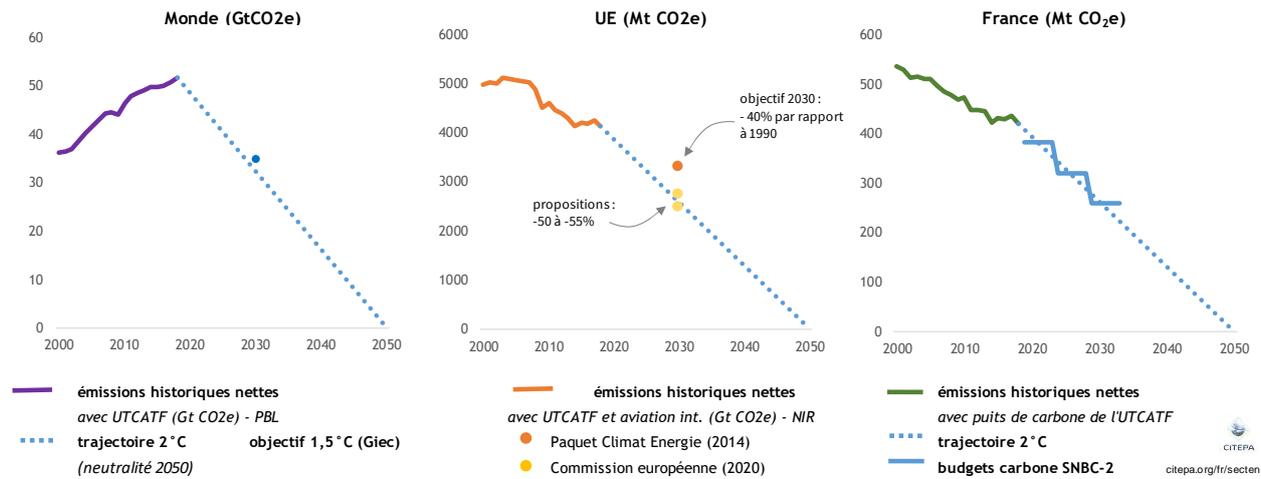
Et ailleurs ?

Selon le dernier rapport du PNUE (Gap report 2019), les émissions de GES ont augmenté de 1,5% par an au cours de la dernière décennie et n'ont connu qu'une brève stabilisation entre 2014 et 2016. En 2018, les émissions totales mondiales de GES ont atteint le niveau record de 55,3 Gt CO₂e (avec UTCATF) (contre 53,5 Gt CO₂e en 2017). Aucun signe n'indique que les émissions de GES plafonneront dans les années à venir. Chaque année de report du plafonnement signifie que les réductions devront être plus importantes et plus rapides. Si les émissions devaient plafonner en 2020, elles devraient être inférieures de 25 et 55 % à celles de 2018 en 2030 pour pouvoir limiter le réchauffement planétaire à 2°C et 1,5°C, respectivement.

Selon le rapport spécial 1.5°C du Giec, sur la base du niveau d'ambition actuel des contributions nationales (NDC), les émissions de GES atteindront entre 52 et 58 Gt CO₂e en 2030 (contre 52 Gt CO₂e en 2016). Cette trajectoire n'est pas

compatible avec un objectif +1,5°C [même avec de très fortes réductions après 2030] et conduirait à un réchauffement de +3°C d'ici 2100.

Émissions nettes de gaz à effet de serre et objectif de neutralité en 2050



En savoir plus

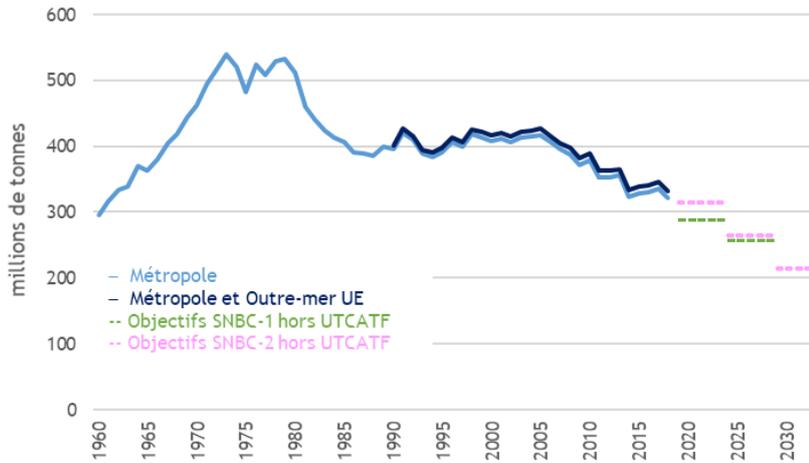
Voir les sections Climat du Chapitre *Politique et réglementation* de ce rapport

[Pages du MTES consacrées à l'action climat de la France](#)

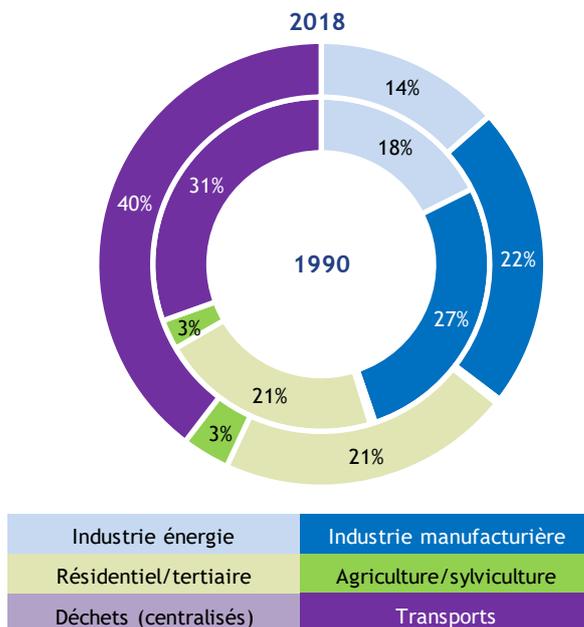
[Site du Giec \(en français\)](#)

Emissions de dioxyde de carbone en bref

Evolution des émissions de CO₂ en France



Répartition des émissions de CO₂ hors UTCATF en France



CO₂

Dioxyde de carbone

Type
Gaz à effet de serre

Définition
Le dioxyde de carbone (CO₂) est un gaz incolore et inodore, principal gaz à effet de serre (GES), présent à l'état naturel mais dont les concentrations dans l'atmosphère croissent fortement avec les activités humaines. Sa durée de vie dans l'atmosphère est d'environ 100 ans.

Composition chimique
Un atome de carbone (C) et deux atomes d'oxygène (O)

Origine
Sources anthropiques : combustion de combustibles dans la production d'électricité et de chaleur, l'industrie, les transports, le résidentiel-tertiaire et le traitement des déchets.

Sources naturelles : volcans, respiration des êtres vivants, feux de forêts, décomposition de la matière organique...

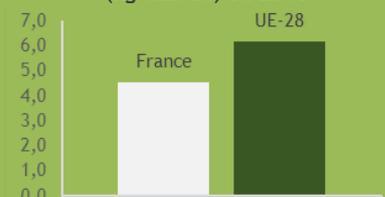
Puits : réservoirs naturels ou artificiels de carbone (océans, forêts, sols).

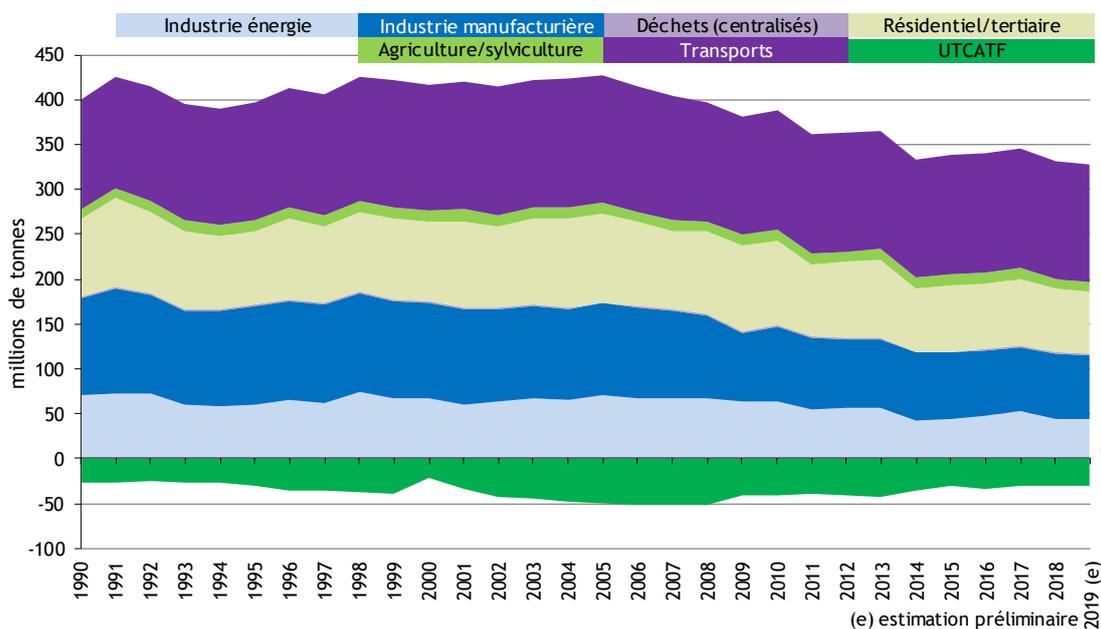
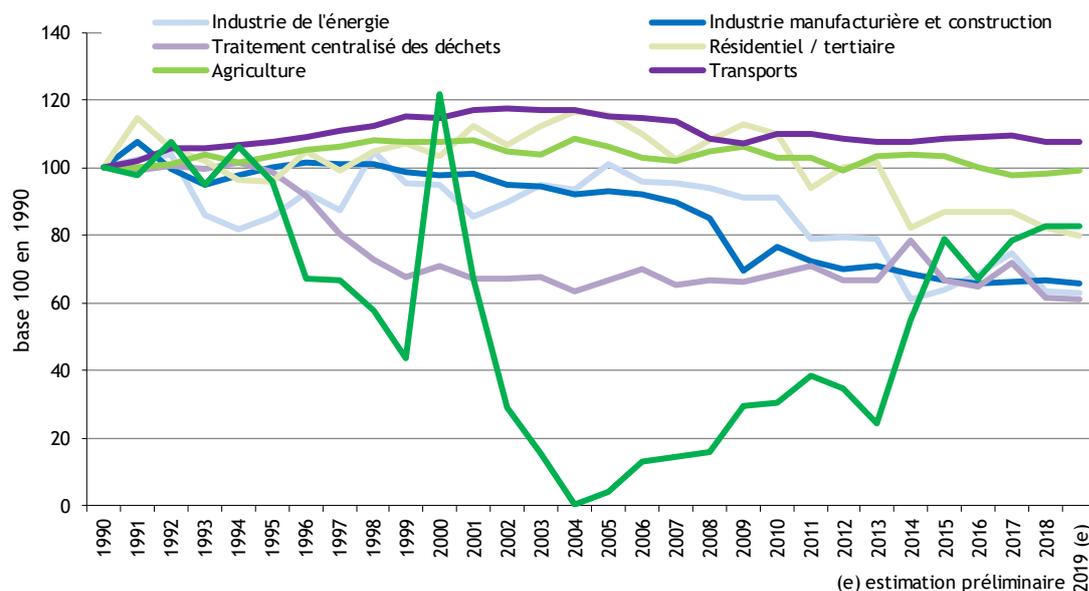
Phénomènes associés
Le CO₂ est le principal contributeur aux émissions de GES en France métropolitaine (UTCATF inclus). Outre sa contribution aux conséquences multiples de l'augmentation de l'effet de serre, le CO₂ a un impact important sur l'acidification des océans. En effet, l'océan absorbe le CO₂ augmentant ainsi son acidité (baisse du pH) et menaçant un nombre important d'espèces marines.

Effets

- Acidification
- Effet de serre
- Santé (à forte dose : malaises, maux de tête et asphyxies par remplacement de l'oxygène de l'air)

Emissions hors UTCATF par habitant (kg/hab/an) en 2018



Evolution des émissions dans l'air de CO₂ depuis 1990 en France (Métropole et Outre-mer UE)Evolution des émissions dans l'air de CO₂ en base 100 en 1990 en France (Métropole et Outre-mer UE)Emissions de CO₂ (Mt/an)

Périmètre : Métropole et Outre-mer inclus dans l'UE

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019 (e)
Industrie de l'énergie	70,4	60,2	66,8	71,3	64,1	45,0	48,2	52,6	44,6	44,2
Industrie manufacturière et construction	109,1	109,2	106,8	101,6	83,4	72,9	72,0	72,1	72,7	71,6
Traitement centralisé des déchets	1,9	1,9	1,4	1,3	1,3	1,3	1,2	1,4	1,2	1,2
Résidentiel / tertiaire	85,5	82,1	88,3	98,8	94,1	74,2	74,4	74,4	70,2	68,4
Agriculture	11,6	12,0	12,3	11,9	11,9	12,0	11,6	11,3	11,4	11,5
Agriculture hors total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Transports	122,2	131,8	140,1	141,0	134,1	132,8	133,3	133,9	131,4	131,3
Transport hors total	16,5	17,7	23,8	24,5	23,9	22,8	22,3	22,8	24,1	24,2
TOTAL national hors UTCATF	400,8	397,1	415,8	426,4	389,1	338,2	340,7	345,7	331,5	328,2
UTCATF	-26,2	-29,8	-22,2	-49,1	-41,6	-30,9	-33,4	-31,0	-30,0	-30,0
UTCATF Hors total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Emissions naturelles hors total	0,0	0,0	0,3	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
TOTAL national avec UTCATF	374,6	367,3	393,7	377,4	347,5	307,3	307,3	314,7	301,5	298,2
Hors total	16,5	17,7	24,1	24,6	24,1	22,9	22,3	22,9	24,2	24,3

Analyse

Enjeux

Effets environnementaux

Le CO₂ (dioxyde de carbone) est notamment émis lors de la combustion de combustibles fossiles, mais il est aussi au cœur du cycle du carbone entre biosphère et atmosphère. C'est le principal gaz à effet de serre (voir section générale en début de chapitre). En tant que tel, l'évolution de sa concentration dans l'atmosphère est suivie de près. Ces concentrations sont en hausse constante et atteignent aujourd'hui les niveaux les plus élevés jamais enregistrés depuis l'époque préindustrielle, avec 416 parties par million (ppm) en moyenne mensuelle atteints en mai 2020.

Objectifs de réduction

Au niveau mondial et européen, les objectifs visent tous les gaz à effet de serre, pas uniquement le CO₂ (voir section CO₂). Au niveau national, la Stratégie Nationale Bas-carbone (SNBC) décline les objectifs de réduction d'émissions par gaz à effet de serre. Ainsi, le premier budget carbone (2015-2018), fixait un objectif de 323 Mt CO₂ (hors UTCATF). Avec des émissions de 339 MtCO₂e en moyenne sur 2015-2018, cet objectif n'a pas été respecté (dépassement de 5%). Le 2^e budget carbone (2019-2023) fixé en 2020 par la révision de la SNBC s'élève à 315 MtCO₂ (hors UTCATF). En 2019, les émissions pré-estimées s'élèvent à 328 Mt CO₂. Elles doivent donc encore diminuer dans les années prochaines pour atteindre l'objectif fixé pour la période 2019-2023, de 315 Mt CO₂ en moyenne sur la période.

Enjeux actuels

D'après le rapport spécial 1,5°C du Giec (2018), il faut réduire les émissions de CO₂ de 45% en 2030 (par rapport à 2010) et atteindre zéro émission nette vers 2050 pour limiter le réchauffement à +1,5°C. Pour l'objectif de 2°C, la réduction en 2030 doit être de 20% et l'atteinte de la neutralité vers 2075. Tous les secteurs d'activité contribuent aux émissions dans des proportions variables : la réduction des émissions de CO₂ cible donc plusieurs secteurs d'activité très différents.

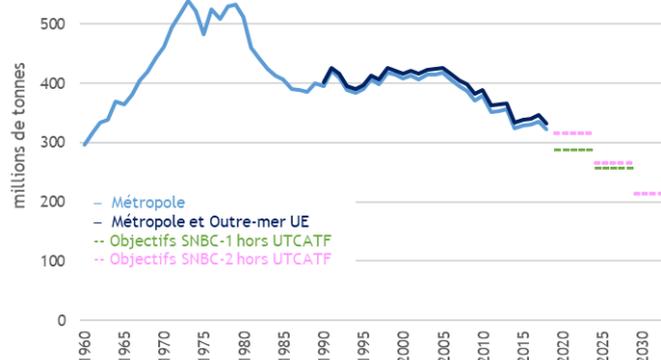
A noter

Les émissions de CO₂ sont présentées, comme les autres gaz à effet de serre, présentées au périmètre France métropolitaine et Outre-mer inclus dans l'UE. Par ailleurs, pour information, les émissions de CO₂ sont aussi présentées pour la France métropolitaine uniquement, depuis 1960.

Tendance générale

Analyse globale de la tendance

Le calcul des émissions de CO₂ en métropole remonte à 1960. L'évolution générale des émissions depuis 1960 reflète surtout des évolutions relatives à l'utilisation de l'énergie en France.



Depuis 1960 (mais en fait depuis la fin de la seconde guerre mondiale) les émissions de CO₂ ont augmenté très fortement (+5%/an en moyenne), en lien avec la hausse de consommation des combustibles fossiles, jusqu'à la crise pétrolière de 1973, suivie par une période de rebond jusqu'à la seconde crise pétrolière de 1979. Ces deux dates marquent les maximum enregistrés : 539 Mt en 1973 et 533 Mt en 1979. Dans les années 1980, les émissions ont baissé rapidement (-3%/an), principalement par des réductions d'émissions dans le secteur Energie (mise en place du parc nucléaire) et Industrie (économies d'énergie, réglementations), malgré des émissions des transports et de l'agriculture à la hausse. Dans les années 1990 et le début des années 2000, les émissions des secteurs de l'énergie, de l'industrie et du résidentiel-tertiaire étant plutôt stables, et les émissions du transport et de l'agriculture à la

hausse, les émissions totales ont connu une légère hausse (+1%/an dans les années 1990), jusqu'à atteindre, en **2005**, un niveau similaire à 1991 (426 Mt CO₂ en métropole et outre-mer UE). Depuis 2005, les émissions ont alterné entre des périodes de baisse rapide (-3%/an de 2006 à 2009, -7% en 2011, -9% en 2014, -4% en 2018) et des période de lente hausse (+2% en 2010, +1% en 2012-2013 et en 2015-2017). Les consommations énergétiques étant, dans une certaine mesure, liées aux conditions climatiques, les variations des émissions de CO₂ observées s'expliquent en partie par des effets climatiques, notamment pour les secteurs Energie et Résidentiel-Tertiaire. Malgré des réductions par à-coups, les émissions ont été réduites de 17% entre 1990 et 2018 et les derniers niveaux estimés correspondent aux émissions du début des années 1960. L'enjeu désormais est de parvenir à maintenir une dynamique de baisse rapide sur le temps long.

Analyse par secteur

Transport routier : les émissions du transport routier ont connu une hausse depuis 1990 qui s'explique en grande partie par l'augmentation du trafic routier. La baisse observée en 2008 fait suite à un recours accru aux agro-carburants, à la mise en place du bonus/malus qui a permis d'accélérer le renouvellement du parc automobile par des véhicules moins énergivores et à la flambée des prix du carburant au cours du premier trimestre 2008. Depuis 2009, les émissions oscillent autour de 120 Mt.

Résidentiel/tertiaire : le niveau des émissions de ce secteur est globalement en baisse depuis 1990. En 2018, le niveau atteint est le plus bas enregistré, en deçà de 2014 qui jusqu'ici était le minimum historique du fait de la douceur du climat français cette année-là.

En ce qui concerne le bois et les résidus de bois (inclus dans la catégorie biomasse), les consommations sont liées aux conditions climatiques. Ainsi, par exemple, un pic de consommation est observé en 1991 (année froide avec un indice de rigueur de 1,11) car le bois a été utilisé comme appoint.

Industrie manufacturière : les émissions de ce secteur ont globalement diminué depuis 1990. Cette baisse observée s'explique, d'une part, par les économies d'énergie réalisées suite au premier choc pétrolier survenu en 1973 (la consommation de pétrole a fortement chuté au profit de l'électricité et du gaz naturel) et, d'autre part, par les nouvelles réglementations élaborées en 1998 visant à imposer des rendements minimaux aux chaudières industrielles ainsi qu'un contrôle périodique des installations de combustion supérieures à 1 MW. Entre 2008 et 2009, les émissions ont été fortement réduites suite à la baisse de la production dans le secteur de la sidérurgie et des minéraux non métalliques pour des raisons économiques. Les émissions ont connu une légère hausse en 2010, du fait de la reprise économique, pour retomber depuis en dessous du niveau atteint en 2009.

Transformation d'énergie : les émissions de ce secteur ont globalement été réduites sur la période. Le pic a été atteint en 1979 au moment du second choc pétrolier. La baisse observée à partir de cette année-là provient essentiellement de la mise en œuvre du programme électronucléaire et, dans une moindre mesure, d'autres actions comme les économies d'énergie induisant une demande plus faible. L'année 2011 présente une baisse importante du fait d'une moindre production d'électricité d'origine thermique suite à un climat doux cette année-là. Bien que 2012 et 2013 soient des années plus froides, les émissions de ce secteur stagnent au même niveau que celles de 2011 du fait de la baisse d'activité dans le secteur du raffinage du pétrole. Enfin, la poursuite de cette baisse d'activité dans le secteur du raffinage, associée à la douceur du climat et à une moindre consommation de charbon dans le secteur de la production d'électricité (divisée par deux entre 2013 et 2014) ont fait de 2014 l'année présentant le niveau le plus bas observé depuis 1979. De 2015 à 2017, les émissions sont de nouveau à la hausse du fait d'un climat légèrement moins doux et de la disponibilité des moyens de production non carbonés (nucléaire et hydroélectrique, notamment). A partir de 2018, les émissions sont de nouveaux en baisse, s'approchant du minimum de 2014.

Agriculture/sylviculture : les émissions de ce secteur sont relativement stables depuis 1990, autour de 12 Mt.

Modes de transport hors routier : les émissions des transports hors routier ont baissé de moitié depuis 1960. Depuis les années 1990, les émissions des transports hors routier sont relativement stables.

UTCATF : le puits de CO₂ du secteur UTCATF a doublé entre 1990 et la fin des années 2000, passant d'environ -25 Mt à environ -50Mt. Ce puits connaît désormais une diminution progressive, atteignant -30 Mt en 2018.

Le CO₂ étant un produit fatal de la combustion et, en l'absence à ce jour de dispositifs de captage de ce gaz sur les installations de combustion, les émissions suivent d'assez près l'évolution de la consommation d'énergie fossile. Les rejets de CO₂ liés à la combustion représentent, en 2017, 94% des émissions totales hors UTCATF. Ils ne sont que partiellement compensés par la fixation du carbone induite par l'activité de photosynthèse des plantes et par les éventuels stockages de carbone dans les sols (pris en compte dans la catégorie UTCATF), à défaut d'autres rétentions, comme la séquestration géologique du CO₂, qui pourraient être envisagées dans le futur avec la mise en place du captage et du stockage du CO₂.

Évolution récente

Lors des dernières années, les émissions totales de CO₂ ont globalement augmenté. En effet, des hausses significatives sont observées dans le secteur de la transformation de l'énergie. D'autres secteurs comme l'industrie manufacturière et les transports ont également contribué à cette augmentation, mais dans une moindre mesure. Par ailleurs, les émissions du secteur de l'agriculture et du résidentiel/tertiaire ont une tendance à baisser.

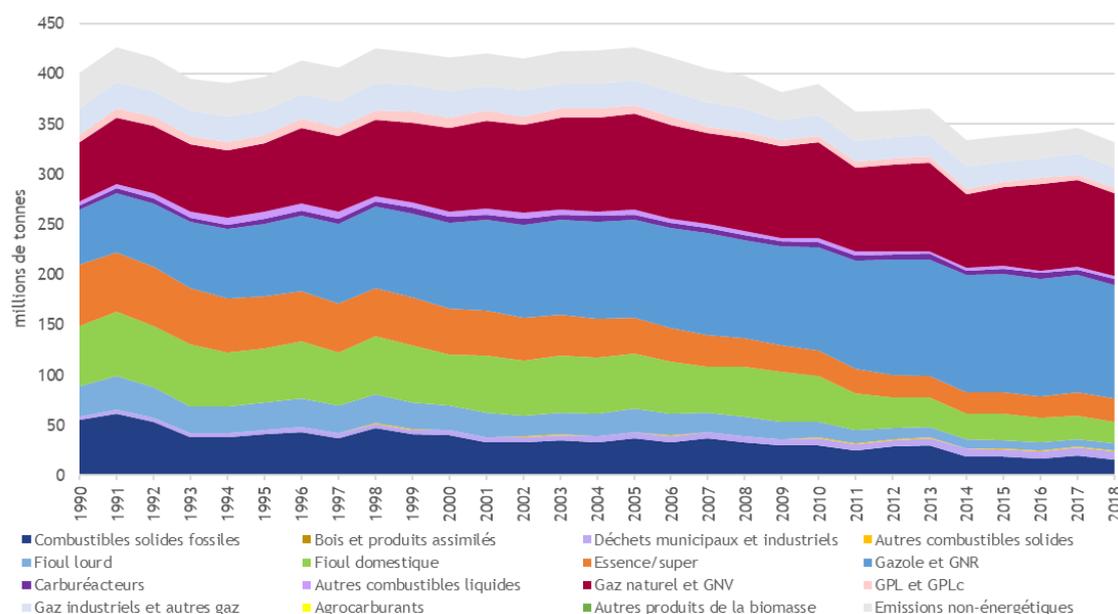
Les émissions estimées pour 2018 s'élèvent à 331,5 Mt hors UTCATF (301,5 Mt avec UTCATF), soit une **baisse de 4%** hors UTCATF par rapport à 2017 :

- Transformation d'énergie (-15%) : les éléments conjoncturels de 2017 (hiver doux, baisse de production nucléaire et hydroélectriques) ne se poursuivant pas en 2018, ce secteur retrouve un niveau plus bas
- Industrie manufacturière (+0,9%) : hausse des émissions plusieurs sous-secteurs, en particulier de la Métallurgie des métaux ferreux (+0,6 Mt) et des Minéraux non-métalliques et matériaux de construction (+0,5 Mt).
- Résidentiel / tertiaire (-6%) : baisse des consommations pour le chauffage liée à un hiver plus doux qu'en 2017
- Agriculture/sylviculture (+0,5%) : légère hausse des émissions de CO₂ liée aux cultures (chaulage, urée...).
- Déchets (-15%) forte diminution de l'incinération des déchets sans récupération d'énergie (dans le même temps, l'incinération avec récupération d'énergie (comptabilisé dans le secteur Energie) a augmenté).
- Transport (-2%) : baisse des consommations des véhicules diesel (VP, VUL et PL).

Part des émissions liée aux combustibles

Dans les années 1990, les émissions de CO₂ liées aux combustibles traduisent la diversité du mix énergétique de l'époque : combustibles solides tels que le charbon, fioul domestique, essence et gaz naturel sont à des niveaux comparables (autour de 50 Mt CO₂ chacun environ). Dans les années récentes, seuls le gazole et le gaz naturel dominant. De plus, les émissions de CO₂ dues à l'utilisation énergétique de la biomasse ont fortement augmenté entre depuis 1990 pour trois raisons principales :

- la prise en compte de la consommation d'agro-carburants depuis l'année 1992,
- l'augmentation de la quantité de déchets incinérés (dont une partie est d'origine biomasse) avec récupération d'énergie,
- l'augmentation de la consommation de bois dans le secteur résidentiel et de liqueur noire dans le secteur industriel.



CO₂ de la biomasse énergie

La combustion de la biomasse (quelle qu'elle soit) émet du CO₂. Néanmoins, il existe des différences de traitement dans les inventaires selon le type de biomasse considéré. On distingue ainsi la biomasse de cycle court, par exemple les pailles des céréales, et la biomasse de cycle long, typiquement le bois (matériau ligneux).

Pour la **biomasse de cycle court**, les émissions de CO₂ ne sont pas rapportées dans les inventaires d'émissions de gaz à effet de serre, car il est considéré que le cycle du carbone n'est pas fortement modifié par la combustion. En effet, lorsqu'un blé croît, il capte du carbone atmosphérique pour constituer sa propre biomasse. Si les pailles sont brûlées, le carbone est libéré par la combustion. Si elles ne sont pas brûlées, le carbone est également libéré après dégradation de la paille ou consommation par les animaux. Il serait possible de faire un bilan entre la croissance des plantes et la libération de ce carbone dans l'atmosphère par combustion ou dégradation mais le retour à l'atmosphère du carbone n'est pas fortement accéléré par la combustion. Sur un bilan annuel, il a été décidé de considérer que les quantités de carbone libérées sont équivalentes aux quantités captées pour la biomasse de cycle court. Une hypothèse de neutralité est appliquée pour la biomasse de cycle court.

Pour la **biomasse de cycle long, comme le bois**, la situation est différente car il peut y avoir un écart important sur un territoire donné entre les quantités de carbone capté par des surfaces boisées et les quantités de carbone émises (ou exportées). Lorsque les quantités de carbone captées par les surfaces boisées sont plus importantes que les quantités libérées, le stock de carbone dans la biomasse du territoire augmente et constitue ce qu'on appelle un « puits de carbone ». Inversement, des territoires peuvent déstocker du carbone accumulé depuis des décennies voire des siècles, ces territoires constituent alors des « sources de carbone ». C'est sous cet angle qu'est considéré, dans le cadre des inventaires, le carbone contenu dans la biomasse. Et c'est pour cette raison qu'à la fois les émissions et les absorptions de CO₂ biomasse sont rapportées sous le secteur UTCATF (utilisation des terres, changements d'affectation des terres et forêt). Du fait de cette prise en compte dans le secteur UTCATF, **les émissions de CO₂ biomasse ne sont pas incluses dans le secteur énergie même en cas d'une utilisation énergétique de la biomasse**. Ce n'est pas une hypothèse de neutralité qui est appliquée pour la biomasse de cycle long (celle-ci n'est pas valable sur l'horizon de temps considéré à savoir environ un siècle). C'est une allocation spécifique orientée selon le point de vue producteur de bois (forestier) et non selon le point de vue consommateur de bois.

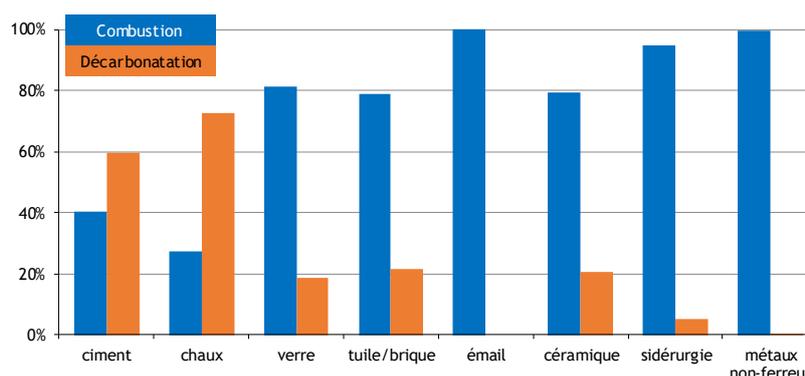
Pour information, les émissions de CO₂ liées à la combustion de biomasse à finalité énergétique sont indiquées en aparté (hors total) dans les données et le rapport Secten.

Répartition des émissions de CO₂ entre la combustion et la décarbonatation

Pour certaines activités, les émissions de CO₂ proviennent : d'une part, des émissions induites par l'utilisation de combustibles ; et d'autre part, des émissions induites par la décarbonatation. La décarbonatation correspond à la transformation du carbone contenu dans des carbonates (par exemple, le calcaire) en CO₂, sous l'effet de la chaleur. Les principaux secteurs d'activité concernés par la décarbonatation sont : la production de ciment, la production de verre, la sidérurgie (utilisation de castine), la production de chaux (aérienne et hydraulique) (sites dédiés ou en sucreries), la production de tuiles et briques. Dans les secteurs de la céramique et de la production d'émail, les émissions de CO₂ induites par la décarbonatation sont très faibles au regard de celles relatives à la combustion. En revanche, pour certains des secteurs cités précédemment, les émissions relatives à la décarbonatation peuvent représenter une part non négligeable dans les émissions totales de CO₂ du secteur concerné, comme par exemple le ciment et la chaux.

Le graphique suivant présente la répartition des émissions de CO₂ entre la combustion et la décarbonatation pour les principaux secteurs, pour l'année 2018.

Répartition des émissions de CO₂ entre combustion et décarbonatation



Et ailleurs ?

D'après l'édition 2019 du rapport du JRC (Crippa, et al. 2019), qui s'appuie sur la base de données d'émissions EDGAR et les données de l'AIE, les émissions mondiales totales de CO₂ dues aux combustibles fossiles sont élevées en 2018 à 37,9 Gt CO₂ (+ 1,9% depuis 2017). Ces émissions de CO₂ fossile représentent 68,5% des émissions mondiales totales de GES en 2018 (55,3 Gt CO₂e PNUF, Gap report 2019). Ces émissions de CO₂ fossile, après avoir connu un plateau en 2015-2016, sont reparties à la hausse depuis 2017.

Parmi les principaux émetteurs, en 2018, seuls l'UE-28 (9,1% du total mondial) et le Japon (3,2% du total) ont baissé leurs émissions (respectivement -1,9% et -1,7%). La Chine (29,7% du total mondial) a vu ses émissions augmenter de +1,5%, les Etats-Unis (13,9% du total) de +2,9%, l'Inde (6,9% du total) de +7,2% et la Russie (4,6% du total) de +3,6%. Certains pays, représentant une part plus faible du total mondial, ont connu une hausse importante de leurs émissions de CO₂ fossile en 2018 : Iran (+4,8%), Indonésie (+4,8%), Corée du Sud (+2,9%).

Selon le rapport spécial 1.5°C du Giec, il faut réduire les émissions de CO₂ entre 2010 et 2030 de 45% puis atteindre zéro émission nette vers 2050 pour limiter le réchauffement à +1,5°C. Pour le limiter à +2°C, il faut réduire les émissions de 20% entre 2010 et 2030 et atteindre zéro émission nette vers 2075.

En savoir plus

Voir les sections Climat du Chapitre *Politique et réglementation* de ce rapport

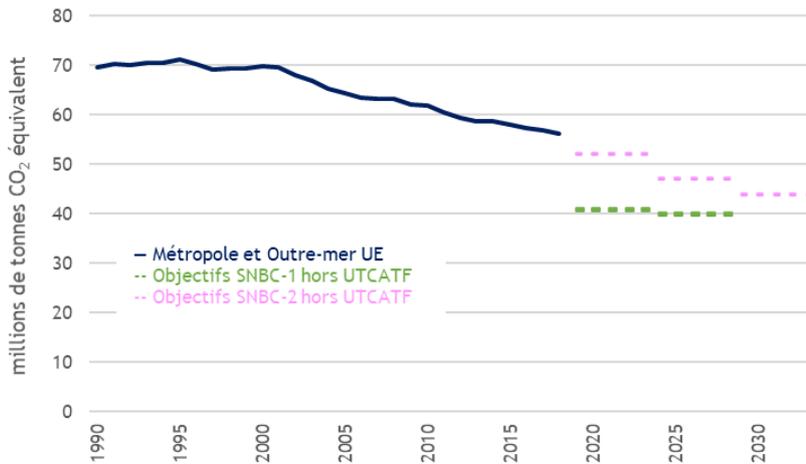
[Pages du MTES consacrées à l'action climat de la France](#)

[Site du Giec \(en français\)](#)

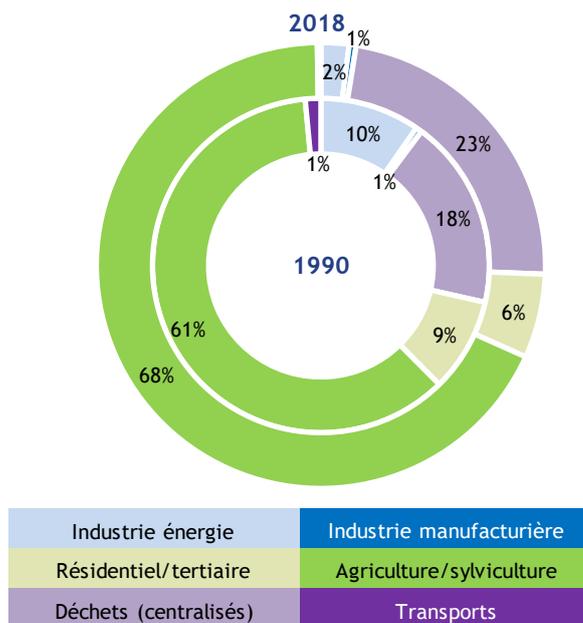
[Site de l'AIE](#) pour les émissions de CO₂ fossiles mondiales

Emissions de méthane en bref

Evolution des émissions de CH₄ hors UTCATF en France



Répartition des émissions de CH₄ hors UTCATF en France



CH₄

Méthane

Type
Gaz à effet de serre

Définition
Le méthane (CH₄) occupe une place à part parmi les composés organiques volatils (COV). Il est produit essentiellement de manière biologique. Il est incolore, inodore et non toxique.

Composition chimique
Un atome de carbone (C) et quatre atomes d'hydrogène (H).

Origine
Sources anthropiques : agriculture (fermentation entérique des ruminants et déjections animales) ; décharges, transport et distribution de gaz naturel.

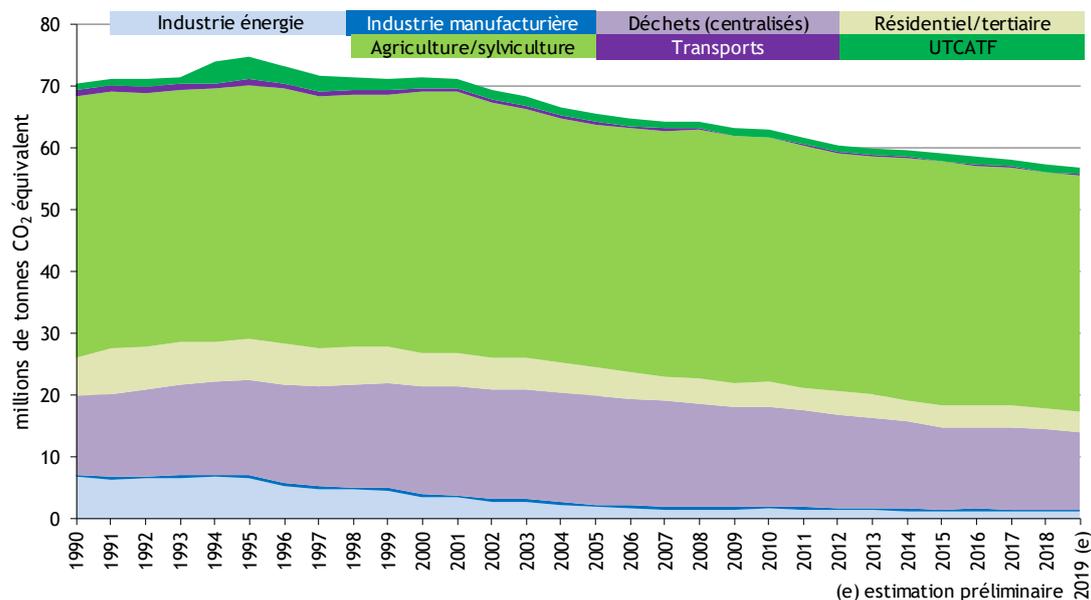
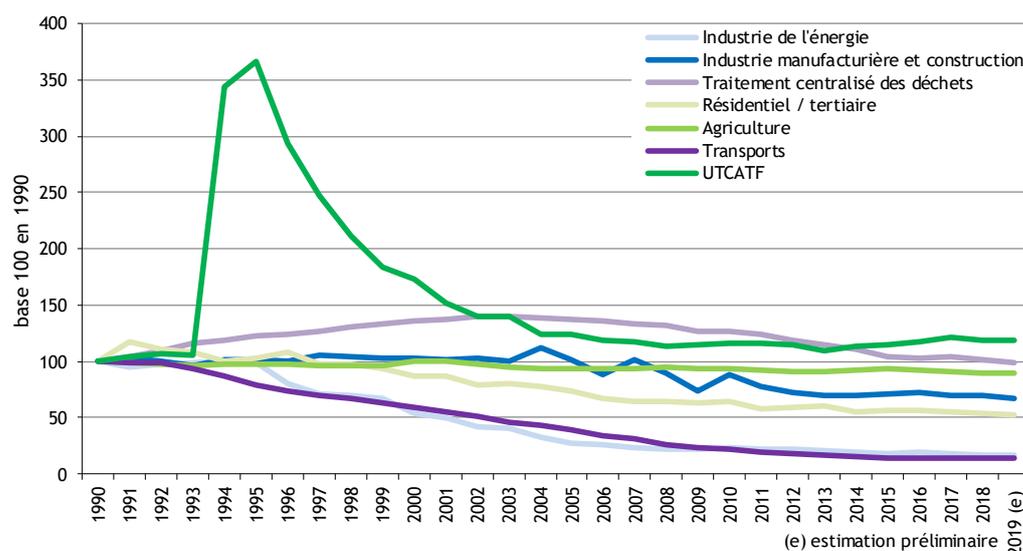
Source naturelle : bactéries dans les zones humides, telles que les rizières et les marais ; volcans ; feux de forêt.

Phénomènes associés
Le méthane a un pouvoir de réchauffement global (PRG) 25 fois plus élevé que celui du CO₂ (Giec, AR4). C'est le deuxième plus important GES réglementé par le Protocole de Kyoto à contribuer au réchauffement de la planète après le dioxyde de carbone (CO₂). Contribution aux conséquences multiples de l'augmentation de l'effet de serre.

- Effets**
- Effet de serre.
 - Précurseur d'ozone
 - Santé (à très haute concentration, peut provoquer des asphyxies)

Emissions avec UTCATF par habitant en France : 856 kg CO₂e de CH₄ / habitant / an) en 2018.

Emissions avec UTCATF par habitant dans l'UE-28 : 890 kg CO₂e de CH₄ / habitant / an) en 2018.

Evolution des émissions dans l'air de CH₄ depuis 1990 en France (Métropole et Outre-mer UE)Evolution des émissions dans l'air de CH₄ en base 100 en 1990 en France (Métropole et Outre-mer UE)Emissions de CH₄ (ktCO₂e/an)

Périmètre : Métropole et Outre-mer inclus dans l'UE

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019 (e)
Industrie de l'énergie	6 682	6 601	3 575	1 864	1 583	1 246	1 278	1 190	1 132	1 145
Industrie manufacturière et construction	403,4	407,8	416,2	411,3	357,1	284,3	289,4	280,6	279,6	270,9
Traitement centralisé des déchets	12 753	15 565	17 357	17 501	16 231	13 338	13 106	13 256	12 963	12 652
Résidentiel / tertiaire	6 295	6 455	5 511	4 639	4 020	3 528	3 572	3 509	3 423	3 314
Agriculture	42 325	41 252	42 284	39 446	39 397	39 355	38 947	38 593	38 154	38 154
Agriculture hors total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Transports	1 041	823,9	611,1	401,4	222,6	151,2	147,8	145,4	144,5	148,7
Transport hors total	24,8	20,5	25,4	23,3	21,0	15,3	14,7	15,4	17,1	15,3
TOTAL national hors UTCATF	69 498	71 105	69 754	64 263	61 811	57 902	57 340	56 974	56 096	55 684
UTCATF	1 023	3 747	1 775	1 263	1 192	1 175	1 199	1 239	1 211	1 211
UTCATF Hors total	2 865	2 956	3 030	3 108	3 329	3 389	3 389	3 389	3 389	3 389
Emissions naturelles hors total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL national avec UTCATF	70 521	74 852	71 529	65 526	63 002	59 077	58 539	58 213	57 307	56 895
Hors total	2 889	2 976	3 055	3 131	3 351	3 404	3 403	3 404	3 406	3 404

Analyse

Enjeux

Effets environnementaux

Le méthane est un puissant **gaz à effet de serre**, un forcéur climatique à courte durée de vie ainsi qu'un précurseur d'ozone troposphérique. Il est ainsi concerné à la fois par les problématiques de changement climatique et de pollution atmosphérique. Selon l'édition 2019 du Bulletin annuel sur les GES publié par l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM), le CH₄ est le deuxième contributeur au forçage radiatif total des GES, à hauteur de 17% en 2018, après le CO₂ (66%) et avant le N₂O (6%). En 2018, les concentrations moyennes mondiales de CH₄ dans l'atmosphère ont atteint les niveaux les plus élevés jamais enregistrés depuis l'époque préindustrielle (1750) : 1 869 parties par milliard (ppb), soit +159% depuis 1750 (722 ppb). Par rapport à d'autres gaz à effet de serre (CO₂, N₂O, HFC, PFC, SF₆, NF₃), le CH₄ a une durée de vie dans l'atmosphère courte. Ainsi, dans son 5^e rapport d'évaluation (2013), le Giec l'estime à 12,4 ans, soit une légère réévaluation de son estimation de 12 ans indiquée dans son 4^e rapport (2007). C'est pour cette raison que le CH₄ fait partie de la catégorie des forcéurs climatiques à courte durée de vie. Quant à la valeur PRG du CH₄, elle diffère sensiblement selon que le PRG soit considéré sur 20 ans ou sur 100 ans. Sur 100 ans, le 5^e rapport d'évaluation l'estime à 28 ans (contre 25 ans dans le 4^e rapport). Cependant, sur 20 ans, le PRG du CH₄ est beaucoup plus important : 84 dans le 5^e rapport (contre 72 dans le 4^e rapport). Autrement dit, le CH₄ a un effet sur le climat beaucoup plus fort à court terme (20 ans) qu'à long terme (100 ans).

Le CH₄ impacte aussi la **qualité de l'air**, indirectement en tant que précurseur de l'ozone qui lui a des effets négatifs importants sur la santé respiratoire, et peut également impacter à la baisse les rendements agricoles en réduisant la photosynthèse. Le CH₄ figurait d'ailleurs parmi les six polluants initialement visés dans le cadre de la révision, en 2013, de la directive NEC. Cependant, sur la base des préoccupations des Etats membres, tant au niveau politique que technique, en vue de parvenir à une position commune sur ce texte au sein du Conseil Environnement de l'UE, la Présidence lettone de l'époque a retiré le CH₄ du champ d'application de la future directive NEC 2 pour éviter d'éventuels chevauchements avec la politique climat de l'UE.

Enjeux actuels

Au niveau mondial

Dans le rapport spécial 1,5°C du Giec (2018), il est souligné que pour limiter le réchauffement à +1,5°C, il faut réduire les émissions de CH₄ de 35% d'ici 2050 (par rapport à 2010). En plus de ces réductions, il faudrait également tenir compte des éventuelles émissions de carbone (CO₂ et CH₄) du futur dégel du permafrost, ainsi que des émissions de CH₄ des zones humides. Ces émissions additionnelles réduiraient les budgets carbone de 100 Gt CO₂e au cours du 21^e siècle et d'une quantité supérieure au-delà du 21^e siècle.

En parallèle, en 2019, les résultats d'une étude menée par une équipe de chercheurs du *National Institute of Water and Atmospheric Research* (NIWA, Nouvelle-Zélande) ont mis en avant l'évolution récente à la hausse des concentrations atmosphériques mondiales de CH₄. Selon les chercheurs, après une période de stabilisation (2000-2007), une première hausse des concentrations a été observée sur la période 2007-2014, suivie par une nouvelle forte hausse entre 2014 et 2018. Ces évolutions vont à l'encontre des prescriptions indiquées par le Giec dans son rapport spécial 1,5°C. Les chercheurs concluent que si cette tendance à la hausse se poursuit sans mise en œuvre de mesures supplémentaires visant spécifiquement le CH₄, les réductions des émissions de CO₂ et d'autres GES devront être encore plus fortes.

Au niveau européen

Dans son rapport intitulé "Perspectives pour un air propre", publié le 7 juin 2018, la Commission a indiqué que sur la base des travaux du Centre commun de recherche (JRC), elle évaluerait en 2019 le potentiel de réduction des émissions de CH₄ dans l'ensemble de l'hémisphère nord, afin de fixer des objectifs de réduction en coopération avec la Convention de la CEE-NU sur la pollution atmosphérique transfrontalière à longue distance, la Coalition pour le climat et l'air pur (CCAC) et l'Initiative mondiale CH₄ (GMI). La Commission a insisté sur l'importance d'examiner régulièrement l'impact des émissions de CH₄ sur les concentrations d'ozone dans l'UE. Elle a précisé qu'elle évaluerait plus en détail les impacts des émissions de CH₄ sur la réalisation des objectifs "qualité de l'air", qu'elle tiendrait compte des mesures de réduction et, le cas échéant, soumettrait une proposition législative, sur la base des éléments de preuves obtenus au niveau de l'UE et mondial.

Par ailleurs, la Commission a été mandatée, compte tenu du PRG élevé du CH₄ et de sa durée de vie relativement réduite dans l'atmosphère, pour analyser les implications de la mise en œuvre de politiques et de mesures de réduction de l'impact à court et à moyen terme des émissions de CH₄ sur les émissions de GES de l'UE. La Commission est ainsi chargée d'étudier des **options stratégiques** pour lutter rapidement contre les émissions de CH₄ et de présenter un **plan stratégique** de l'UE pour le CH₄, dans le cadre de la stratégie de développement bas-carbone 2050 de l'UE.

Enfin, le pacte vert pour l'Europe (*European Green Deal*) vise également le CH₄. Stratégie présentée par la Commission le 11 décembre 2019, ce pacte vert souligne que la décarbonation du secteur du gaz sera encouragée, notamment par un soutien accru au développement des gaz décarbonés, par la conception d'un marché du gaz décarboné compétitif, et par la **résolution du problème des émissions de CH₄ liées à l'énergie**. Le pacte vert insiste

également sur l'importance pour l'UE de nouer un dialogue avec les pays tiers au sujet de questions transversales en matière de climat et d'environnement, en particulier pour **agir afin de réduire les émissions de CH₄**.

Objectifs de réduction nationaux

La stratégie nationale bas carbone (SNBC) de la France se traduit par une série de budgets carbone, dont l'ambition initiale a dû être revue à la baisse en 2018. En effet, si l'on considère le budget initial 2015-2018 pour le CH₄ (périmètre Kyoto (Métropole + Outre-Mer inclus dans l'UE) hors UTCATF), celui-ci était de 42 Mt CO₂e/an. Or, la moyenne des émissions de CH₄ 2015-2018 s'établit finalement autour de 57 Mt CO₂e/an.

La nouvelle ambition affichée pour la période 2019-2023 sur le CH₄ est de 52 Mt CO₂e/an (total hors UTCATF), soit une baisse de 7,3% par rapport à l'année 2018. Si l'on regarde la tendance, les émissions de CH₄, au même périmètre, ont diminué de 4,3% entre 2014 et 2018. Pour atteindre les objectifs fixés, la tendance à la baisse actuellement observée doit s'accélérer. Pour cela, parmi les principales techniques de réduction citées dans la SNBC, se retrouvent les pratiques visant le principal secteur émetteur, à savoir l'agriculture :

- Améliorer la gestion des effluents d'élevage (couverture des fosses et torchères, méthanisation) ;
- Optimiser la conduite des troupeaux pour diminuer les périodes improductives ou pour faire évoluer les produits mis sur le marché (gestion de l'état sanitaire, diminution de la mortalité à la naissance, optimisation de l'âge au premier vêlage, évolution des systèmes d'engraissement...);
- Limiter la fermentation entérique, via des ajustements de l'alimentation animale (apport de lin par exemple), ou via la sélection génétique.

Le budget final prévu pour le CH₄ pour la période 2029-2033 est de 44 Mt CO₂e/an (total hors UTCATF), soit une baisse d'environ 20% par rapport à 2018.

A noter

Sont exclus du total national l'ensemble du trafic international fluvial, maritime et aérien, les émissions naturelles des eaux terrestres et marais ainsi que les feux de forêt.

Tendance générale

Les émissions de méthane (CH₄) ont baissé de manière significative sur la période 1990-2018 (-13,2 Mt CO₂e au niveau du total national avec UTCATF, soit environ -20%).

Cette baisse est due en particulier aux évolutions du secteur de la transformation d'énergie (-5,5 Mt CO₂e soit -83%) avec la cessation progressive de l'exploitation des gisements de charbon en France et le développement des programmes de remplacement des tronçons les plus vétustes du réseau de transport et de distribution gazier. Aujourd'hui, les émissions de ce secteur sont faibles et majoritairement dues à la distribution de gaz.

Le secteur agricole, principale source d'émission de méthane du fait majoritairement de la fermentation entérique et des déjections animales, présente également une baisse de ses émissions, dans des proportions modestes. On peut considérer que les émissions de CH₄ du secteur agricole ont faiblement évolué sur la période (-4,2 Mt CO₂e soit -10%).

En 2018, la fermentation entérique représente presque 90% des émissions de CH₄ du secteur agricole. Il est possible de réduire ces émissions des ruminants en modifiant l'alimentation des animaux (ajout de lipides dans les rations), mais ces techniques demeurent limitées dans la mesure où les émissions de CH₄ restent intrinsèquement liées au métabolisme de ces animaux. Pour les vaches laitières, par exemple, les émissions estimées actuellement par le Citepa sont positivement corrélées au rendement laitier. D'une manière générale, les émissions de CH₄ de la fermentation entérique des ruminants peuvent assez difficilement être réduites sans diminuer le cheptel des animaux. Cette réduction peut se faire tout en maintenant la production (intensification de la production par animal) ou bien par une réduction pure et simple de la production.

En France, sur la période 1990-2018, le cheptel laitier a fortement décliné (-1,76 millions de vaches laitières soit -33%) compensé par une hausse des rendements laitiers ce qui a conduit à une réduction effective des émissions de CH₄ de la fermentation entérique des vaches laitières d'environ 2,2 Mt CO₂e soit -17%. Cette évolution est à mettre en lien avec la politique agricole commune (PAC) qui a fortement impacté la structure des exploitations dans les années 90 en poussant vers une intensification supplémentaire de la production. En effet, lors de la mise en place des quotas laitiers en 1984 (supprimés depuis 2015), les exploitations laitières se sont concentrées dans le « croissant laitier français » qui va du Grand Ouest (Pays de Loire, Bretagne, Normandie) à l'Auvergne, en passant par le Nord Pas-de-Calais, la Lorraine avec ses sabots, la Franche-Comté, et la région Rhône-Alpes. La production laitière par exploitation ayant été limitée, de nombreux éleveurs se sont alors tournés vers la création d'ateliers d'engraissement ou allaitants. Sur le reste du cheptel bovin, les variations ont été plus discrètes avec des émissions légèrement à la baisse pour la fermentation entérique (-0,97 Mt CO₂e soit -5%).

En plus du cheptel bovin, le cheptel ovin a également (malgré lui) contribué à la baisse des émissions de CH₄ liées à la fermentation entérique (-1,25 Mt CO₂e soit -35%) du fait d'un très net recul des cheptels (-4,3 millions d'ovins soit -38%). Cette baisse peut s'expliquer par les crises sanitaires subies par la filière (fièvre aphteuse en Grande Bretagne en 2001, fièvre catarrhale ovine en 2008-2009), mais aussi par des facteurs économiques et climatiques (sécheresse en 2003 et en 2011 affectant les pâturages, hausse des coûts de l'alimentation, cours de l'agneau plus ou moins élevé). Cette tendance correspond à la tendance globale du recul de l'élevage en France, en particulier dans les zones de

montagne et d'élevage extensif. Les autres cheptels ont une contribution marginale à ces émissions et donc à la tendance globale observée.

Pour les émissions de CH₄ liées à la gestion des déjections, la problématique est différente car elle est moins liée au fonctionnement de l'animal qu'aux pratiques d'élevage. Les émissions de CH₄ sont liées aux conditions anaérobies (sans oxygène) auxquelles sont exposées les déjections animales. Les situations sont multiples : ainsi les émissions de CH₄ liées aux déjections lors du pâturage sont faibles tandis que des stockages prolongés dans des fosses à lisier ou en litières accumulées sont très émetteurs. Ces pratiques obéissent à des schémas organisationnels différents dans les exploitations agricoles et sont peu orientées par les questions d'émissions de CH₄. D'une manière générale, plus les exploitations seront grandes plus elles évolueront vers des systèmes lisiers potentiellement émetteurs de CH₄.

Les exploitations agricoles peuvent néanmoins mettre en œuvre des techniques de réduction dont la plus répandue est la méthanisation, qui permet non pas de limiter la production de CH₄, mais au contraire de la favoriser en vue d'un captage et d'une valorisation énergétique. En France, un plan de développement de ces installations de méthanisation est en cours (Plan Energie Méthanisation Autonomie Azote - EMAA) qui a favorisé l'émergence de nombreuses installations. Cependant, l'impact réel de ces installations doit être considéré avec attention, tous les systèmes de méthanisation ne se valent pas en termes de captage du CH₄ et les quantités de déjections effectivement méthanisées demeurent relativement faibles en comparaison des quantités totales de déjections. La méthanisation reste le principal levier évoqué pour baisser les émissions de CH₄ de l'agriculture dans les politiques actuelles.

Le CH₄ est aussi une problématique importante pour le secteur déchet du fait des émissions des décharges. Le CH₄ de ces décharges présente un profil en cloche sur la période 1990-2018. Elles ont fortement augmenté entre 1990 et 2003 (+5,1 Mt CO₂e soit +40%) pour baisser ensuite et retrouver en 2018 le niveau qu'elles avaient en 1990. Cette évolution recouvre évidemment plusieurs dynamiques : la mise en décharge a à peu près suivi cette même courbe en cloche mais les émissions de CH₄ des décharges sont estimées à partir d'un historique de plusieurs décennies, il y a donc une inertie forte à ces émissions. La réduction des émissions observées depuis 2003 tient également beaucoup au fait que le torchage et la valorisation des émissions de CH₄ se sont fortement développés sur la période permettant de limiter les émissions de CH₄ des décharges dans l'atmosphère.

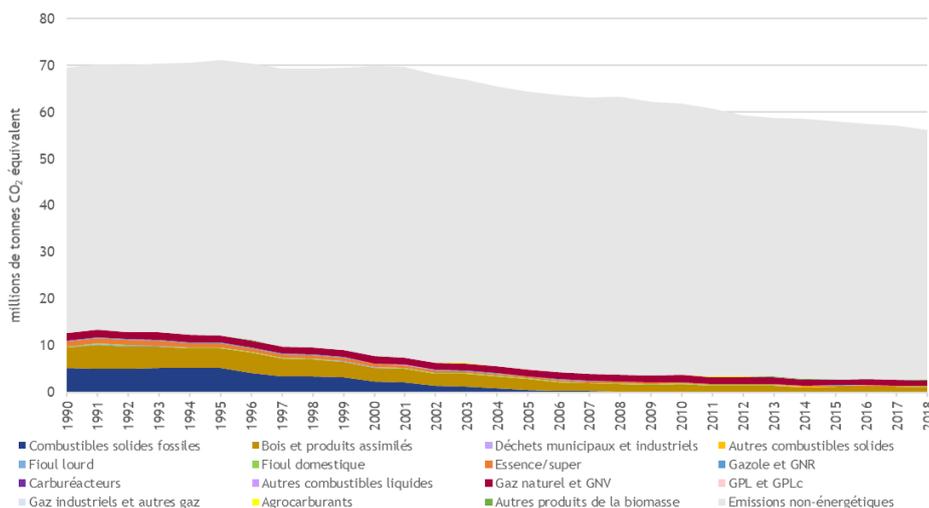
Enfin le dernier secteur réellement concerné est le secteur résidentiel/tertiaire en lien avec la consommation de bois essentiellement. La baisse des émissions de CH₄ de ce secteur (-2,9 Mt CO₂e soit -46%) est corrélée à la baisse de consommation de bois des ménages sur la période 1990-2000 (la consommation des ménages est depuis 2000 relativement stabilisée) et à l'amélioration du parc des chaudières (renouvellement avec des chaudières plus performantes). La baisse significative observée entre 1990 et 2010 semble plafonner sur les dernières années mais cette source ne représente en 2018 qu'une part assez modeste (6%) des émissions globales de CH₄ de la France.

Évolution récente

Lors des dernières années, la baisse des émissions de CH₄ de la France est principalement due à la baisse des émissions agricoles car les émissions des décharges se stabilisent depuis 2016 et les autres secteurs demeurent de faibles contributeurs aux émissions totales nationales. Néanmoins, cette tendance observée des émissions agricoles sur quelques années ne permet pas de prédire le maintien d'une baisse pour le secteur agricole. Certes, il y a une tendance globale de diminution de l'élevage en France mais il y a aussi une tendance à l'expansion de certains élevages et donc des systèmes lisiers potentiellement émetteurs de CH₄. Quoi qu'il en soit, le constat demeure : pour baisser de manière supplémentaire et significative les émissions de CH₄ de la France, il faudra baisser les émissions de l'agriculture.

Part des émissions liée aux combustibles

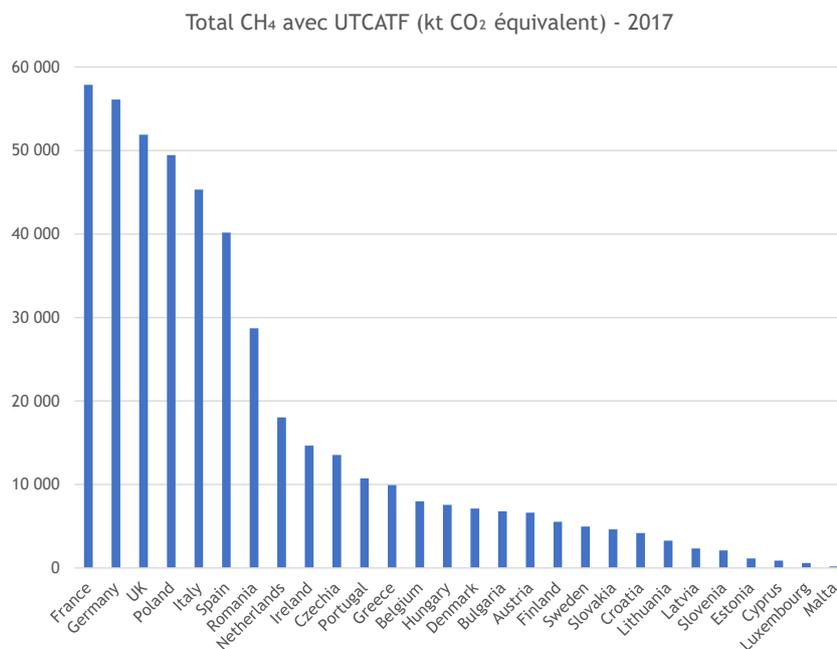
En France, les émissions de CH₄ ne sont que très peu liées aux combustibles. Cette part est dominée par l'usage du bois et de gaz naturel.



Et ailleurs ?

En 2018, les émissions de CH₄ (456 Mt CO₂e) représentaient 10,5% des émissions totales de GES dans l'UE hors UTCATF (4 235 Mt CO₂e), en baisse de 38% depuis 1990 (où leur niveau était de 740 Mt CO₂e). Les deux principales sources d'émission sont l'agriculture (72% des émissions de CH₄ dans l'UE en 2018, en particulier la fermentation entérique des ruminants [bovins principalement]) ; et les déchets (notamment le traitement anaérobie) (source : *Rapport d'inventaire de l'UE (UE27 avec R-U, + Islande) à la CCNUCC (NIR), éd. 2020*).

D'après l'interface de visualisation des données d'émissions de GES de la CCNUCC, la France en 2017 est au 1^{er} rang des pays émetteurs au sein de l'UE 27, en y ajoutant également le Royaume Uni et l'Islande.



A noter : ces émissions correspondent aux inventaires édition 2019. Ces estimations ont été mises à jour en 2020, mais les données ne sont pas encore disponibles sur l'interface.

Une étude réalisée par l'économiste Geoffrey Lorre à partir des données de la FAO ([lien](#)) sur la place de l'agriculture française et européenne dans le monde indique qu'en 2012, la France a produit près de 17% de la valeur agricole européenne contre seulement 14,4% pour l'Allemagne, 11,9% pour l'Italie et 11,7% l'Espagne. Quatre autres pays produisent une part non négligeable de la valeur agricole : la Pologne 7,8%, le Royaume-Uni 6,8%, les Pays-Bas 5,8% et la Roumanie 3,3%. Sur le graphique précédent, ce sont bien ces pays agricoles qui ressortent en tête de liste pour les émissions de CH₄.

En savoir plus

Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire (2018). Stratégie Nationale Bas-Carbone. [Lien](#).

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat - Giec (2018). Réchauffement planétaire de 1,5°C - Résumé à l'intention des décideurs. [Lien](#).

Agence Internationale de l'Energie (2020). Outil de suivi des émissions de CH₄ (*Methane tracker*). [Lien](#).

HMIEL B. et al (2020). Article publié le 19 février 2020 dans la revue scientifique *Nature* : "Preindustrial CH₄ indicates greater anthropogenic fossil CH₄ emissions". [Lien](#).

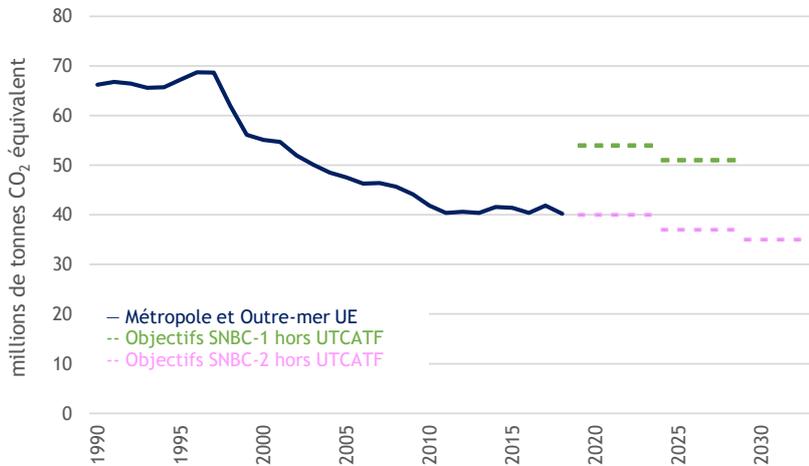
Centre commun de recherche (Joint Research Centre, JRC) (2020). *Arctic permafrost thawing - impacts on high-latitude emissions of carbon dioxide and methane*. [Lien](#).

Centre commun de recherche (Joint Research Centre, JRC) (2018). *Global trends of methane emissions and their impacts on ozone concentrations*. [Lien](#).

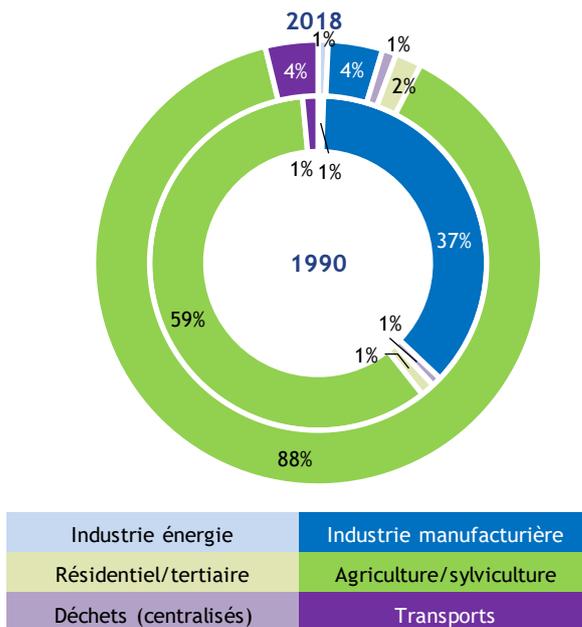
CCNUCC. Interface de visualisation des émissions de GES. Lien. https://di.unfccc.int/time_series.

Emissions de protoxyde d'azote en bref

Evolution des émissions de N₂O hors UTCATF en France



Répartition des émissions de N₂O hors UTCATF en France



N₂O

Protoxyde d'azote

Type
Gaz à effet de serre

Définition
Le protoxyde d'azote (N₂O), également appelé oxyde nitreux ou gaz hilarant, est un composé oxygéné de l'azote. Il est produit naturellement par les écosystèmes, mais aussi par les activités humaines agricoles et industrielles. Il n'est pas inclus dans les inventaires d'émissions des oxydes d'azote (NO_x).

Composition chimique
Deux atomes d'azote (N) et un atome d'oxygène (O).

Origine
Sources anthropiques : principalement apports d'engrais azotés minéraux et organiques sur les sols cultivés liés aux phénomènes de nitrification /dénitrification ; gestion des déjections animales. Trafic routier avec les véhicules équipés de pots catalytiques ; quelques procédés industriels (fabrication d'acide adipique, d'acide glyoxylique et d'acide nitrique).

Source naturelle : transformation de l'azote réactif par les microorganismes du sol.

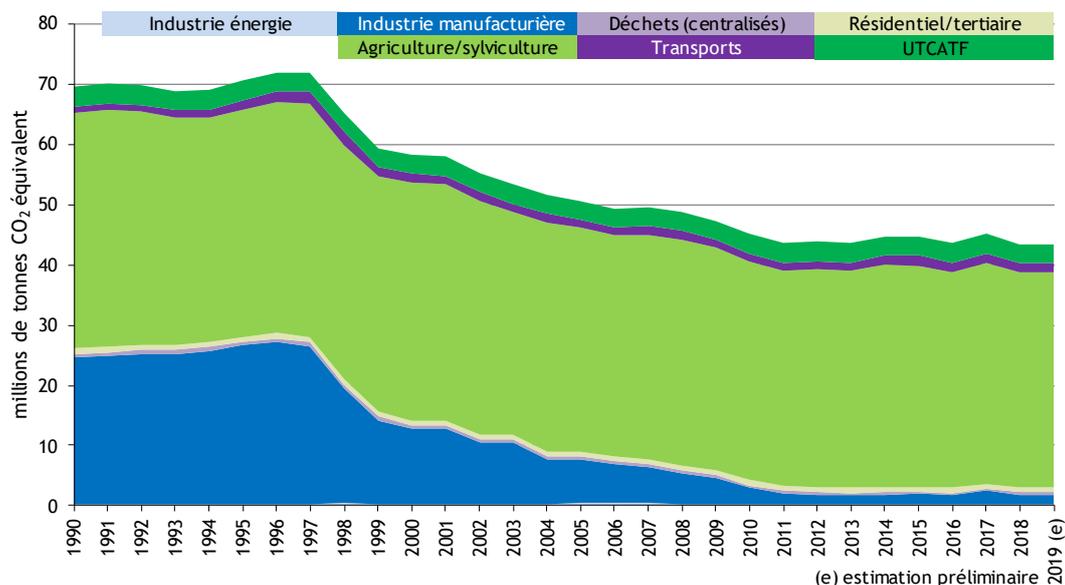
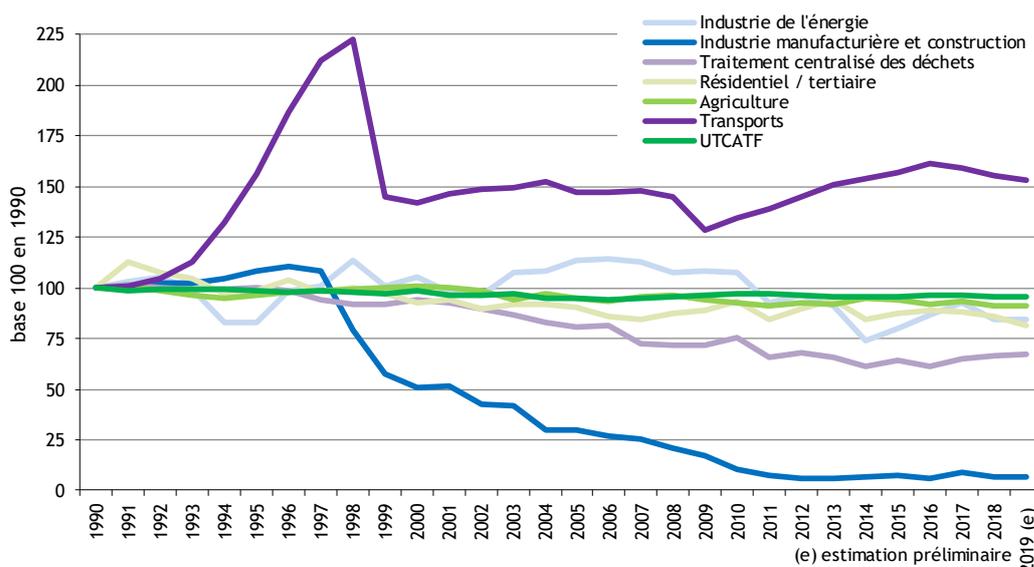
Phénomènes associés
Le N₂O est un puissant gaz à effet de serre. Contributeur aux conséquences multiples de l'augmentation de l'effet de serre, son pouvoir de réchauffement global (PRG) est de 298. Non réglementé dans le Protocole de Montréal il est cependant une substance appauvrissant la couche d'ozone, d'ODP (Ozone Depletion Potential) estimé à 0,017.

- Effets**
- Effet de serre
 - Appauvrissement couche d'ozone

Emissions avec UTCATF par habitant

Kg CO₂e/hab/an



Evolution des émissions dans l'air de N₂O depuis 1990 en France (Métropole et Outre-mer UE)Evolution des émissions dans l'air de N₂O en base 100 en 1990 en France (Métropole et Outre-mer UE)Emissions de N₂O (ktCO₂e/an)

Périmètre : Métropole et Outre-mer inclus dans l'UE

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019 (e)
Industrie de l'énergie	345,5	285,3	365,2	391,4	372,3	275,6	300,3	320,3	291,3	291,6
Industrie manufacturière et construction	24 238	26 305	12 328	7 312	2 609	1 727	1 476	2 127	1 577	1 572
Traitement centralisé des déchets	612,4	612,1	578,2	494,9	463,8	393,0	375,6	400,0	407,0	413,1
Résidentiel / tertiaire	890,4	878,2	822,5	806,0	832,0	775,4	794,2	783,1	765,5	726,4
Agriculture	39 153	37 600	39 567	37 089	36 251	36 709	35 830	36 673	35 614	35 629
Agriculture hors total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Transports	983	1 534	1 397	1 447	1 322	1 545	1 590	1 567	1 528	1 508
Transport hors total	131,8	142,6	191,7	198,0	193,5	186,2	181,8	186,2	196,4	197,3
TOTAL national hors UTCATF	66 223	67 214	55 058	47 540	41 850	41 425	40 366	41 871	40 183	40 141
UTCATF	3 260	3 221	3 222	3 093	3 167	3 127	3 135	3 152	3 127	3 127
UTCATF Hors total	32,2	32,8	33,0	33,6	36,0	36,6	36,6	36,6	36,6	36,6
Emissions naturelles hors total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL national avec UTCATF	69 482	70 436	58 280	50 633	45 016	44 552	43 501	45 023	43 310	43 268
Hors total	163,9	175,4	224,8	231,6	229,5	222,8	218,4	222,8	233,0	233,9

Analyse

Enjeux

Effets environnementaux et mécanismes de formation

Le protoxyde d'azote (N₂O) est un puissant gaz à effet de serre qui subsiste longtemps dans l'atmosphère (121 ans selon le 5^{ème} rapport du Giec). Son PRG sur 100 ans a été révisé à la baisse dans le 5^e rapport du Giec : il est estimé à 265 (contre 298 dans le 4^{ème} rapport). Selon l'édition 2019 du Bulletin annuel sur les GES publié par l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM), le N₂O est le troisième contributeur au forçage radiatif total des GES, à hauteur de 6% en 2018, après le CO₂ (66%) et le CH₄ (17%).

Dans un rapport du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) publié en 2013, intitulé « *N₂O: Its Role in Climate Change and Ozone Layer Depletion* », il est indiqué que le N₂O, non réglementé dans le Protocole de Montréal, est désormais le principal contributeur à l'appauvrissement de la couche d'ozone, principalement du fait de la réduction des émissions des autres substances, étant elles soumises à réglementation. Le PNUE souligne qu'à l'époque de l'adoption du protocole de Montréal, le N₂O était déjà en quatrième position parmi les substances contribuant à l'amincissement de la couche d'ozone.

Une des sources majeures des émissions de N₂O est liée aux phénomènes microbiens dans les sols cultivés en lien avec l'utilisation d'engrais azotés minéraux et la gestion des déjections animales.

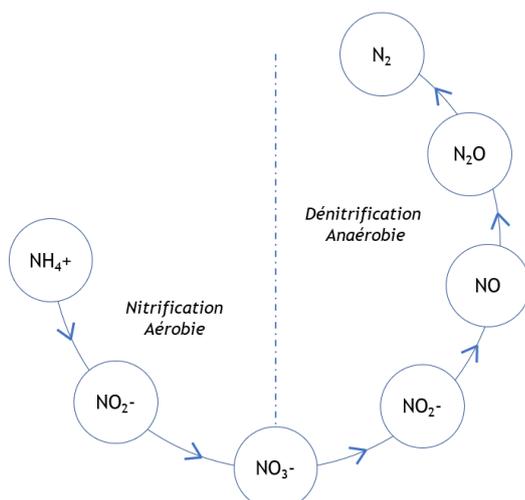


Figure 1 : Processus de nitrification-dénitrification

Les deux principaux processus microbiens à l'origine de la production et de la consommation de N₂O sont la nitrification et la dénitrification :

- la nitrification est l'oxydation biologique de l'ammonium (NH₄⁺) en nitrite (NO₂⁻) puis en nitrate (NO₃⁻). Cette réaction est favorisée en milieu aérobie et son rendement en N₂O est faible ;

- la dénitrification est un processus respiratoire au cours duquel les formes solubles de l'azote (nitrate NO₃⁻, nitrite NO₂⁻) sont réduites en composés gazeux (oxyde nitrique NO, protoxyde d'azote N₂O et azote gazeux N₂). La dénitrification se produit surtout en milieu anaérobie. Son rendement en N₂O est élevé car ce gaz est un produit intermédiaire de la transformation. Si le processus de dénitrification est incomplet, du N₂O peut être libéré dans l'atmosphère.

D'autres sources sont également identifiées, telles que certains procédés industriels (fabrication de glyoxal, d'acides adipique, glyoxylique et nitrique) ou encore certains équipements de combustion (stationnaires et mobiles). Au niveau du transport, l'introduction progressive des pots catalytiques sur les voitures peut aussi conduire à la formation de N₂O.

Enjeux actuels

Dans le rapport spécial 1,5°C du Giec (2018), il est souligné que pour limiter le réchauffement à +1,5°C, il faut réduire les émissions de N₂O agricoles de 6% d'ici 2050 (par rapport à 2010). Le Giec indique par ailleurs que la forte demande en bioénergie peut augmenter les émissions de N₂O dans certaines trajectoires axées sur l'objectif de 1,5 °C. Il est donc essentiel d'adopter des méthodes de gestion appropriées.

Les enjeux liés aux émissions de N₂O doivent être pensés dans le contexte plus large du cycle de l'azote. L'azote est un nutriment majeur, tant au niveau de la production d'aliments, de fibres ou encore de biocombustibles. Il se présente sous des formes variées, certaines non réactives (N₂), et d'autres, comme le N₂O, réactives, souvent perdues sous forme de pollution de l'air ou de l'eau. Depuis plusieurs années, différentes initiatives voient le jour pour favoriser une gestion intégrée de l'azote, en optimisant son efficacité d'utilisation, jugée faible à l'heure actuelle si l'on considère la chaîne complète de la fertilisation à la consommation humaine et aux déchets.

En particulier, dans le cadre de la Convention CEE-NU sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance, un groupe dédié à l'azote (*Task Force on Reactive Nitrogen - TFRN*) a été mandaté pour produire un document d'orientation sur la gestion intégrée durable de l'azote. Par ailleurs, un système international de gestion de l'azote (INMS) a été créé, réunissant la communauté scientifique, le secteur privé et la société civile. L'objectif de ce projet est de rassembler et synthétiser des données probantes pouvant soutenir l'élaboration de politiques internationales pour améliorer la gestion mondiale de l'azote. Ce groupe a d'ailleurs participé, en collaboration entre autres avec le PNUE, au lancement fin 2019 d'une campagne mondiale sur la gestion durable de l'azote. Lors de cet événement, le chanteur et auteur-compositeur Ricky Kej et son groupe ont interprété *The Nitrogen Song*, une nouvelle manière de sensibiliser le grand public aux enjeux liés à l'azote.

Ce principe de gestion intégrée des nutriments est également inclus dans le pacte vert pour l'Europe (*European Green Deal*), au sein de la stratégie nommée « Farm to Fork ». On peut y lire que la Commission agira pour réduire les pertes d'éléments nutritifs (dont l'azote) d'au moins 50%, tout en veillant à ce qu'il n'y ait pas de détérioration de la fertilité des sols. L'utilisation de fertilisants devra également être réduite d'au moins 20% d'ici 2030. Pour cela, il sera nécessaire d'élaborer avec les États membres des plans d'action, visant entre autres à promouvoir les techniques de fertilisation de précision et des pratiques agricoles plus durables, en particulier dans les zones sensibles d'élevage.

Objectifs de réduction nationaux

La stratégie nationale bas carbone (SNBC) de la France se traduit par une série de budgets carbone, dont l'ambition initiale pour le N₂O a été renforcée en 2018. En effet, si l'on considère le budget initial 2015-2018 pour le N₂O (périmètre Kyoto (Métropole + Outre-Mer inclus dans l'UE) hors UTCATF), celui-ci était de 57 Mt CO₂e/an. Or, la moyenne des émissions de N₂O entre 2015 et 2018 s'est établie autour de 41 Mt CO₂e/an.

La nouvelle ambition affichée pour la période 2019-2023 sur le N₂O est de 40 Mt CO₂e/an (total hors UTCATF), soit une baisse de 0,5% par rapport à l'année 2018. Bien que les émissions de N₂O semblent se stabiliser depuis 2010, si l'on s'intéresse à la tendance calculée entre 2014 et 2018, on constate que les émissions de N₂O, au même périmètre, ont diminué de 3,4%. Ainsi, le respect de cette nouvelle ambition 2019-2023 semble atteignable, d'autant plus si les bonnes pratiques proposées dans la SNBC se développent. Ces dernières visent en priorité le secteur agricole. Il s'agit :

- D'optimiser le cycle de l'azote pour réduire au maximum les excédents azotés, en développant l'implantation de légumineuses, en valorisant au mieux l'azote présent dans les déjections animales, en adaptant les apports aux besoins des cultures, en sélectionnant des variétés adaptées à un bas niveau d'intrants ou encore en améliorant les conditions du sol pour diminuer les émissions de N₂O (pH, par exemple) ;
- De réduire les excédents d'apports protéiques dans les rations animales ;
- D'améliorer l'autonomie en protéines végétales.

Le budget final prévu pour le N₂O pour la période 2029-2033 est de 35 Mt CO₂e/an (total hors UTCATF), soit une baisse d'environ 13% par rapport à 2018.

A noter

Sont exclus du total national l'ensemble du trafic international fluvial, maritime et aérien ainsi que les feux de forêt.

Tendance générale

Le principal secteur contributeur aux émissions de N₂O est l'agriculture. Ces émissions proviennent surtout des sols agricoles suite aux apports azotés de fertilisants minéraux et organiques.

Néanmoins, la tendance des émissions est avant tout marquée par la chute drastique des émissions industrielles de N₂O entre 1997 et 2011. En effet, certaines industries très émettrices de N₂O dans les années 90 (fabrication d'acide adipique, d'acide nitrique et d'acide glyoxylique) ont modifié leurs procédés et mis en place des systèmes de traitement très efficaces. En 2018, l'industrie ne représente plus qu'une part très modeste des émissions de N₂O (1,6 MtCO₂e soit 3,9%), l'essentiel des émissions provenant désormais de l'agriculture (35,6 MtCO₂e soit 89%).

Ces émissions agricoles présentent une tendance à la baisse sur toute la période 1990-2018 (-3,5 MtCO₂e soit -9%). Entre 2011 et 2014, elles ont légèrement augmenté avant de repartir à la baisse et d'atteindre, en 2018, le niveau le plus bas rencontré sur la période. Cette dynamique globale de baisse observée en agriculture est à mettre au crédit d'une fertilisation minérale également à la baisse en lien avec la prise de conscience des enjeux environnementaux associés à l'azote (en particulier pour lutter contre la pollution de l'eau par les nitrates d'origine agricole, en lien avec la mise en place de la Directive Nitrates). Cette baisse correspond à une meilleure utilisation de l'azote, les rendements agricoles n'ayant pas été affectés par cette réduction de la fertilisation.

Depuis 2011, la fertilisation azotée minérale est stable voire augmente légèrement ce qui s'explique par différents éléments : la remise en cultures des terres laissées en jachère obligatoire avant 2008, l'atteinte de niveaux de fertilisation minérale proches des préconisations et sans doute, sur les dernières années, une attention redoublée sur

la teneur en protéines des céréales. En effet, la teneur en protéines des céréales est (en partie) liée à la quantité d'azote disponible et la filière aval d'utilisation des céréales impose désormais des critères exigeants. Les agriculteurs préfèrent donc assurer la fertilisation azotée sur les céréales. Malheureusement, il est difficile de prévoir une fertilisation azotée fortement à la baisse dans les années futures.

Pour limiter les émissions de N₂O liées à cette fertilisation, peu de solutions techniques sont actuellement disponibles. Les émissions de N₂O des sols sont très dépendantes des conditions pédoclimatiques (les plus fortes émissions ayant lieu, après les épandages d'azote, après des épisodes pluvieux) et la variabilité interannuelle des émissions est par conséquent très forte (même si non reflétée dans les inventaires actuels). Il existe des techniques qui ne requièrent pas de baisser la fertilisation, mais elles sont encore du domaine de la recherche (modification du pH du sol, ensemencement bactérien, etc.) du fait de l'incertitude associée à l'estimation de ces émissions. La principale piste étudiée en France actuellement concerne l'effet du chaulage qui tend à faire baisser ces émissions de N₂O.

Dans le même temps, sur l'ensemble de la période, les évolutions observées en élevage (baisse du cheptel bovin notamment) impactent les émissions de N₂O. Il est difficile d'en faire un bilan complet car cet impact est réparti sur plusieurs sources dans l'inventaire : cela inclut les émissions liées aux fertilisants organiques, à la pâture, aux bâtiments d'élevage et au stockage des déjections. L'ensemble de ces émissions de N₂O étant plutôt à la baisse sur la période 1990-2018.

D'autres secteurs influent à la marge les émissions de N₂O :

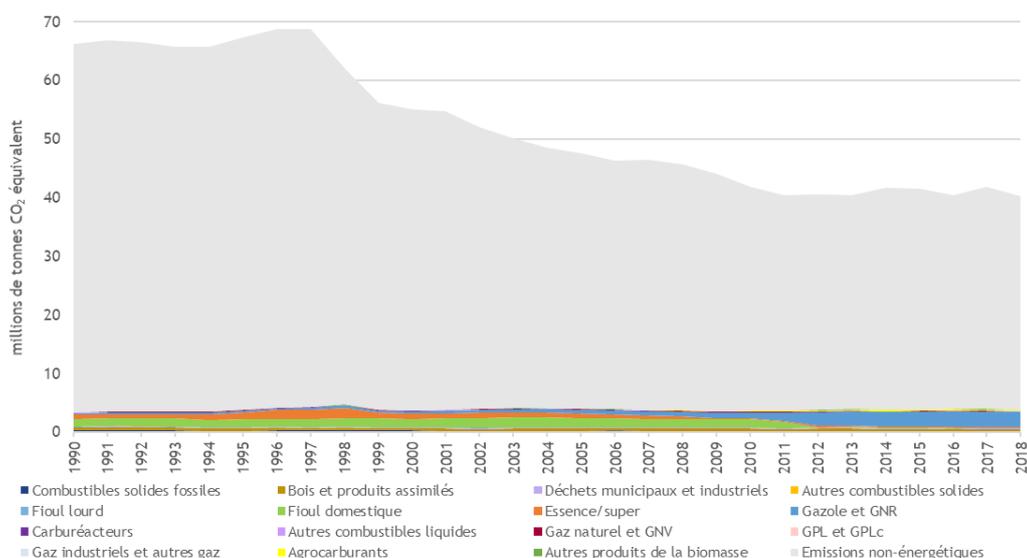
- le traitement des déchets, du fait du rejet des eaux usées domestiques et industrielles traitées ;
- le transport routier, dont les émissions sont en augmentation suite à l'introduction progressive des pots catalytiques. La baisse observée en 2009 s'explique par la diminution du taux de soufre dans tous les carburants (passage de 50 ppm à 10 ppm, impact principalement visible pour les véhicules particuliers essence) qui influence les émissions de N₂O. Depuis 2010, la reprise du trafic explique l'augmentation des émissions.

Évolution récente

Lors des dernières années, et depuis 2010, on peut considérer que les émissions de N₂O sont stables pour tous les secteurs sans réelle perspective d'amélioration de la situation. C'est clairement le secteur agricole qui apparaît le plus concerné par cet enjeu : il importe donc de trouver des solutions pour baisser ces émissions mais force est de constater que les moyens de réduction sont loin d'être évidents à mettre en place. Ces progrès pourront aller de pair avec la compréhension des mécanismes d'émissions qui pourront mettre en avant des différences marquées entre les pratiques et les situations, ce qui n'est actuellement pas suffisamment le cas pour promouvoir des actions efficaces.

Part des émissions liée aux combustibles

En France, les émissions de N₂O ne sont que très peu liées aux combustibles. Sur les dernières années, il s'agit surtout d'émissions liées à l'usage de gazole (véhicules diesel).

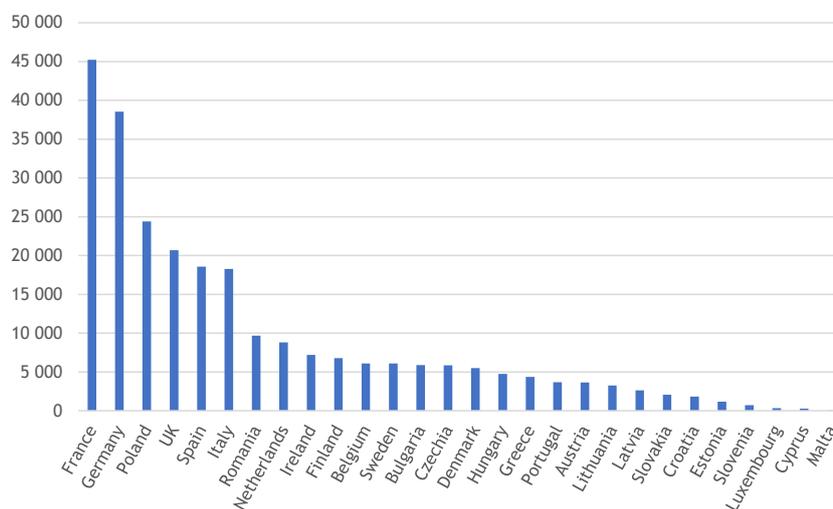


Et ailleurs ?

D'après le 5^e rapport d'évaluation du Giec, les émissions anthropiques mondiales de N₂O sont passées de 2,1 GtCO₂e en 1970 ; 2,8 GtCO₂e en 1990 à 3,0 GtCO₂e en 2010. Elles représentent une part de moins en moins importante des émissions totales (passant de 7,9% en 1970 à 6,2% en 2010), et ce en raison de la hausse de la part due au CO₂ fossile.

D'après l'interface de visualisation des données d'émissions de GES de la CCNUCC, la France en 2017 est au 1^{er} rang des pays émetteurs de N₂O au sein de l'UE 27, en y ajoutant également le Royaume Uni et l'Islande.

Total N₂O avec UTCATF (kt CO₂ équivalent) - 2017



A noter : ces émissions correspondent aux inventaires édition 2019. Ces estimations ont été mises à jour en 2020, mais les données ne sont pas encore disponibles sur l'interface.

Une étude réalisée par l'économiste Geoffrey Lorré à partir des données de la FAO ([lien](#)) sur la place de l'agriculture française et européenne dans le monde indique qu'en 2012, la France a produit près de 17% de la valeur agricole européenne contre seulement 14,4% pour l'Allemagne, 11,9% pour l'Italie et 11,7% l'Espagne. Quatre autres pays produisent une part non négligeable de la valeur agricole : la Pologne 7,8%, le Royaume-Uni 6,8%, les Pays-Bas 5,8% et la Roumanie 3,3%. Sur le graphique précédent, ce sont bien ces pays agricoles qui ressortent en tête de liste pour les émissions de N₂O.

En savoir plus

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat - Giec (2018). Réchauffement planétaire de 1,5°C - Résumé à l'intention des décideurs. [Lien](#).

Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) (2013). N₂O: Its Role in Climate Change and Ozone Layer Depletion. [Lien](#).

Nitrogen song, Ricky Kej - INMS. [Lien](#).

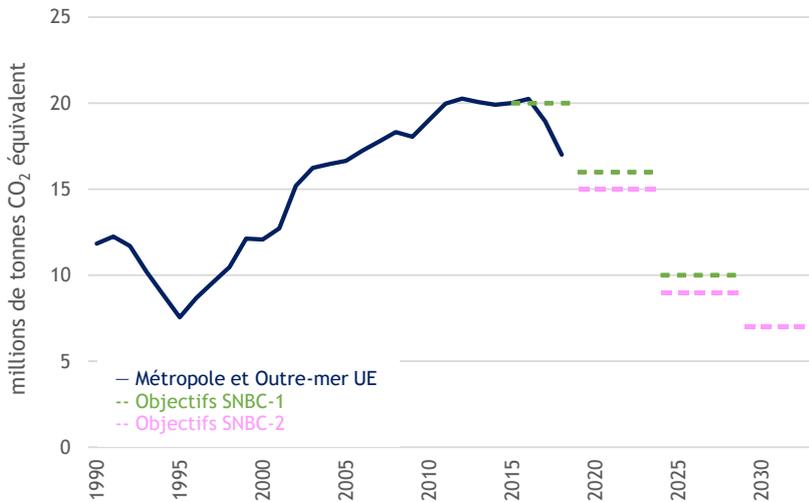
Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire (2018). Stratégie Nationale Bas-Carbone. [Lien](#).

Commission Européenne. European Green Deal - Farm to Fork Strategy. [Lien](#).

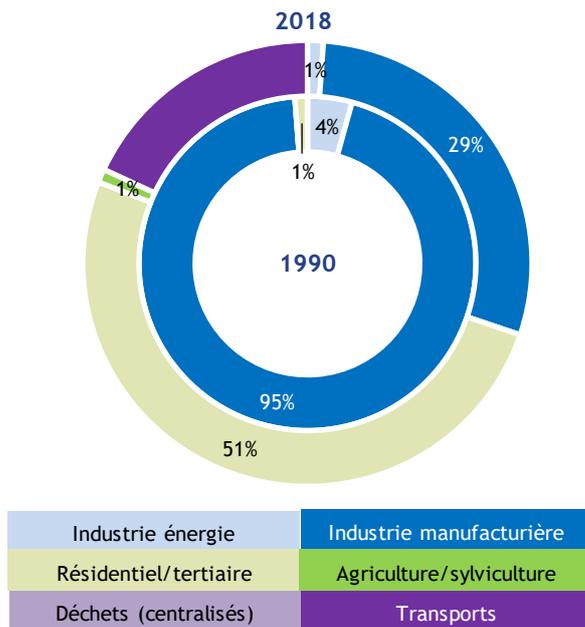
CCNUCC. Interface de visualisation des émissions de GES. Lien. https://di.unfccc.int/time_series.

Emissions de gaz fluorés en bref

Evolution des émissions de gaz fluorés en France



Répartition des émissions de gaz fluorés en France



Gaz fluorés

Type

Gaz à effet de serre

Définition

Les gaz fluorés englobent plusieurs familles de gaz à effet de serre. Dans le cadre de l'inventaire national, seuls sont pris en compte les gaz fluorés du « panier Kyoto » : les HFC (HydroFluoroCarbures), les PFC (PerFluoroCarbures), le SF₆ (l'hexafluorure de Soufre) et le NF₃(Trifluorure d'azote).

Les CFC (ChloroFluoroCarbures) et les HCFC (Hydro-ChloroFluoroCarbures), du fait de la présence d'atomes de Chlore, sont des gaz appauvrissant la couche d'ozone dont l'utilisation est régie par le Protocole de Montréal. Les HFC constituent la famille des gaz fluorés la plus utilisée actuellement, ils sont principalement utilisés dans les équipements du froid et de la climatisation.

Composition chimique

Composés organiques avec au moins un atome de fluor.

Origine

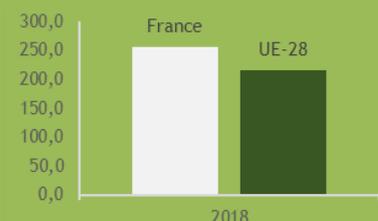
Sources anthropiques : réfrigération et climatisation ; fabrication des mousses d'isolation ; aérosols ; protection incendie, semi-conducteurs, équipements électriques, agroalimentaire, résidentiel, chimie, climatisation automobile, micro-électronique. etc.

Source naturelle : aucune.

Phénomènes associés

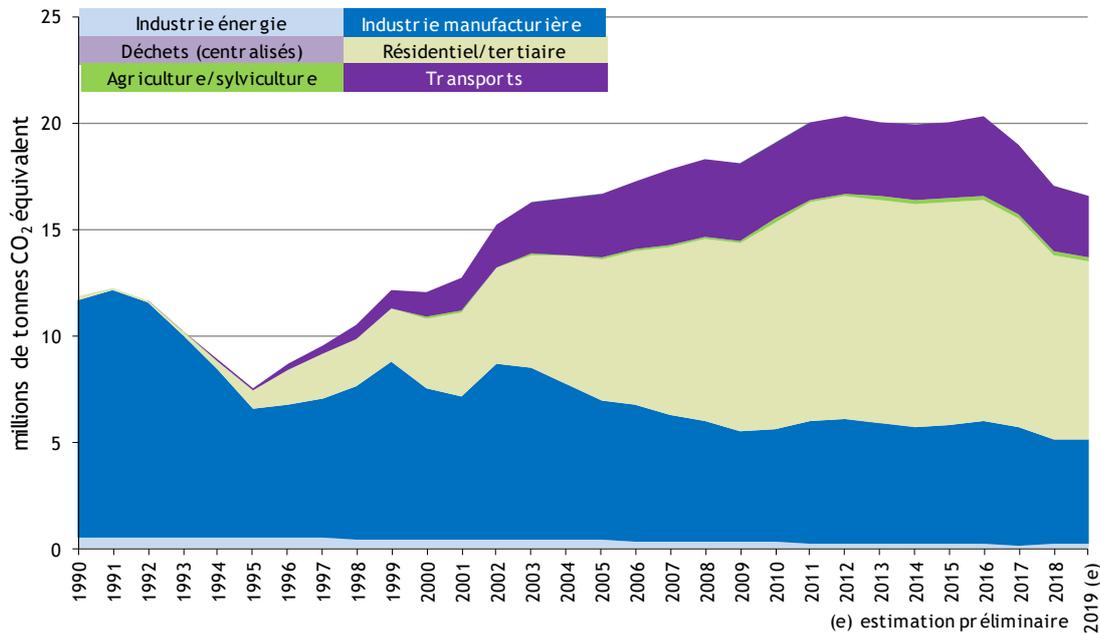
Les gaz fluorés sont de puissants gaz à l'effet de serre et contribuent aux conséquences multiples de l'augmentation de l'effet de serre. Leur pouvoir de réchauffement global (PRG) varie selon les molécules composant les gaz, entre 1 et 22 800 (GIEC AR4).

Emissions par habitant kgCO₂e/hab/an

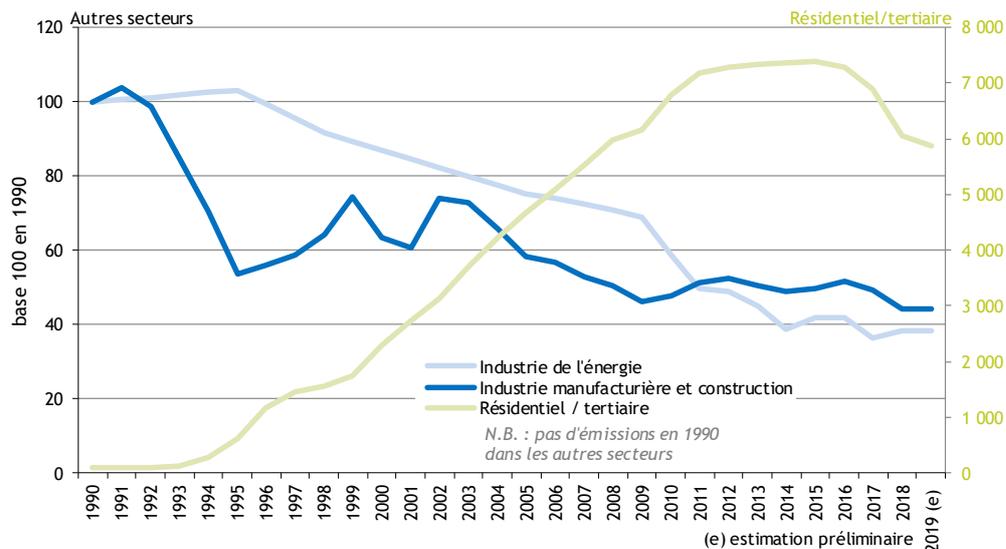


Gaz fluorés

Evolution des émissions dans l'air des gaz fluorés depuis 1990 en France (Métropole et Outre-mer UE)



Evolution des émissions dans l'air des gaz fluorés en base 100 en 1990 en France (Métropole et Outre-mer UE)



Emissions de GF-total (ktCO ₂ e/an)		1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Périmètre : Métropole et Outre-mer inclus dans l'UE		1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	(e)
Industrie de l'énergie		505,9	521,9	439,2	380,7	297,7	210,7	212,3	184,0	194,5	194,5
Industrie manufacturière et construction		11 188	6 009	7 115	6 538	5 342	5 545	5 771	5 507	4 940	4 936
Traitement centralisé des déchets		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Résidentiel / tertiaire		142,5	870	3 275	6 654	9 689	10 531	10 406	9 821	8 630	8 369
Agriculture		0	0	22,3	82,8	154,8	177,9	176,3	178,5	165,6	165,6
Agriculture hors total		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Transports		0	155,4	1 223	2 991	3 546	3 550	3 688	3 262	3 072	2 928
Transport hors total		0	41,1	123,7	127,2	119,2	100,1	98,6	98,1	53,5	53,5
TOTAL national hors UTCATF		11 836	7 556	12 074	16 646	19 030	20 014	20 254	18 953	17 002	16 592
UTCATF		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UTCATF Hors total		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Emissions naturelles hors total		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL national avec UTCATF		11 836	7 556	12 074	16 646	19 030	20 014	20 254	18 953	17 002	16 592
Hors total		0	41,1	123,7	127,2	119,2	100,1	98,6	98,1	53,5	53,5

Gaz fluorés

Analyse

Enjeux

Effets environnementaux

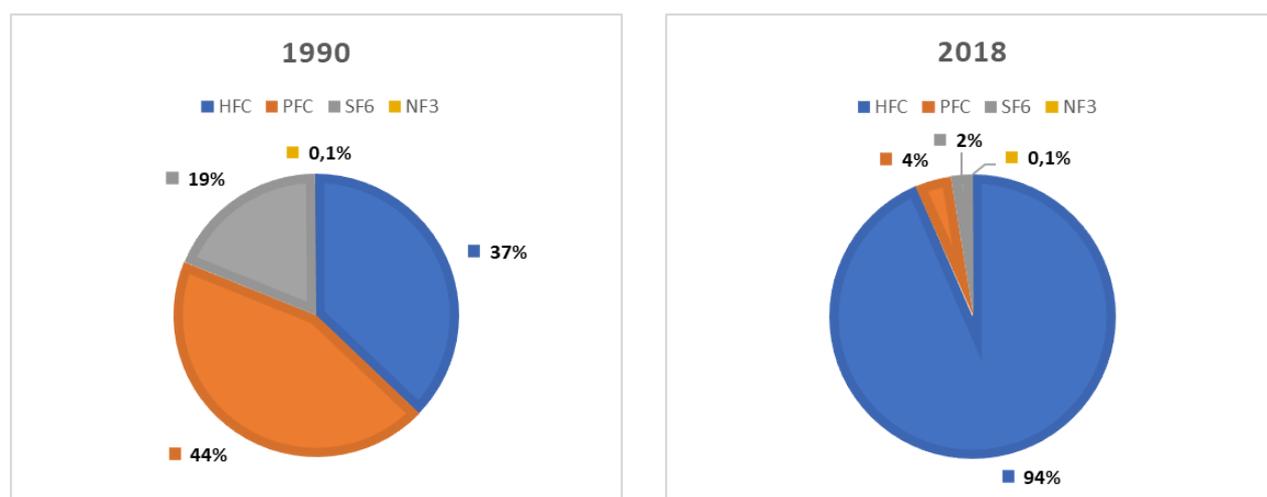
Les gaz fluorés sont caractérisés par un fort impact sur l'effet de serre. Leur PRG (Potentiel de Réchauffement Global) varie entre 1 et 22 800 (pour le SF₆) selon les valeurs du 4^{ème} rapport du GIEC. Même s'ils ne représentent que 4,1% des émissions de GES en 2018, les émissions de gaz fluorés sont en forte croissance depuis les années 90 et sont de ce fait, des substances fortement réglementées.

Objectifs de réduction

Les gaz fluorés constituent un secteur visé par la SNBC. Le premier pallier de 20 millions de tonnes CO₂ eq. de la SNBC1 a été atteint sur 2015-2018. L'objectif SNBC2 est ambitieux pour 2019-2023 avec un niveau de 25% inférieur au premier pallier. Il pourrait être atteint assez rapidement si les progrès observés dans ce secteur se maintiennent.

Enjeux actuels

Les gaz fluorés font partie des substances très réglementées du fait de leur usage croissant et de la forte augmentation de leurs émissions depuis 1990. Les émissions de HFC constituent aujourd'hui plus de 90 % des émissions de gaz fluorés et sont particulièrement visées, notamment par le règlement (EU) 517/2014.



A noter

Les HFC ont remplacé progressivement les CFC et HCFC mais ces derniers ne font pas partie des gaz fluorés considérés par le protocole de Kyoto et les déclarations d'inventaires. Si l'on analysait les émissions totales de gaz fluorés incluant les CFC et HCFC depuis 1990, c'est bien une décroissance qu'on observerait, les HFC ayant un PRG en moyenne inférieur à celui des CFC, les taux d'émissions et les filières de récupération en fin de vie des équipements ayant été considérablement améliorés par ailleurs.

Tendance générale

Les émissions de gaz fluorés sont en forte croissance depuis les années 1995. La réduction observée entre 1990 et 1995 dans le secteur « industrie manufacturière » provient de l'industrie chimique qui a mis en place des traitements permettant de réduire les émissions de HFC-23 au cours de la production du HCFC-22 (sous-produit). La forte augmentation des émissions de gaz fluorés est principalement liée à celles des HFC due au fait du remplacement des CFC et HCFC par les HFC notamment dans les secteurs du froid, de la climatisation et des aérosols, ainsi qu'à la croissance du parc d'installations (climatisation automobile, climatisation à air).

Évolution récente

La baisse observée depuis 2016 vient principalement de la réduction des émissions de HFC liées d'une part au secteur de la climatisation automobile dans lequel la réglementation européenne a imposé l'utilisation progressive d'un fluide frigorigène de PRG<150 en remplacement du R-134a (PRG = 1430) ; D'autre part, au règlement européen (UE) N° 517/2014 dit « F-Gas 2 » ayant introduit une réduction progressive des quantités de HFC disponibles sur le marché européen ainsi que des interdictions sectorielles d'usage de HFC au-delà d'un certain seuil. La réduction des émissions au cours de la vie des équipements par l'amélioration des pratiques de maintenance et de démantèlement des équipements ont également permis de réduire les taux d'émission. Le secteur du résidentiel a subi la plus forte augmentation : ce secteur inclut la climatisation des bâtiments mais également les systèmes de réfrigération du froid commercial et de l'agroalimentaire.

Et ailleurs ?

D'après le 5^e rapport d'évaluation du Giec (2014, fig. SPM.2), les émissions anthropiques mondiales de gaz fluorés sont passées de 0,1 GtCO₂e en 1970 ; 0,3 GtCO₂e en 1990 à 0,98 GtCO₂e en 2010. Elles représentent une part certes faible mais de plus en plus importante aux émissions totales (passant de 0,4% en 1970 à 2% en 2010).

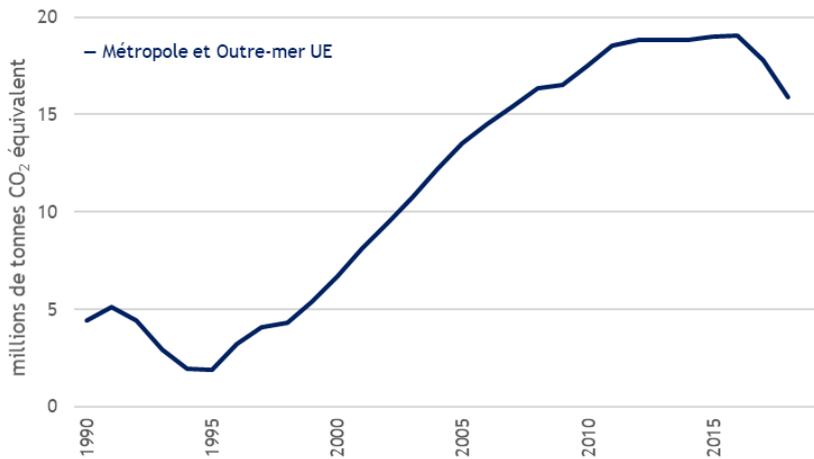
En savoir plus

The large contribution of projected HFC emissions to future climate forcing. Guus J. M. Veldersa, David W. Faheyb, John S. Danielb, Mack McFarlandc, and Stephen O. Andersend. <https://www.pnas.org/content/106/27/10949>

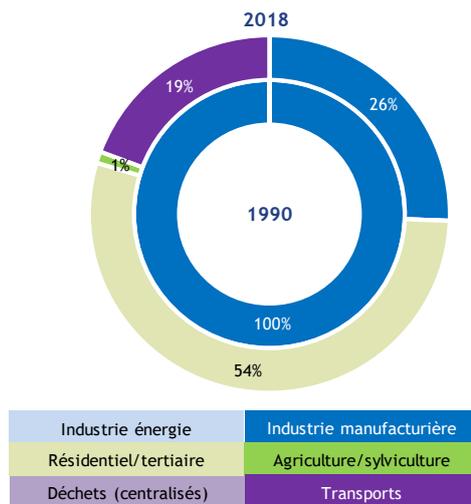
Journée Défi Climat, MTES 6 Juin, 2017, Stéphanie Barrault, Citepa : Vers une réduction facteur 4 des émissions CO₂ à l'horizon 2050 pour le secteur des Gaz fluorés.

Emissions de substance en bref

Evolution des émissions de HFC en France



Répartition des émissions de HFC en France



HFC

Hydrofluorocarbures

Type

Gaz à effet de serre

Définition

Les hydrofluorocarbures (HFC) sont des composés organiques halogénés gazeux utilisés en remplacement des CFC et HCFC, substances appauvrissant la couche d'ozone. Ils sont largement utilisés en tant que réfrigérants dans les systèmes de production de froid et de climatisation. Ils sont aussi utilisés dans les extincteurs d'incendie, dans les aérosols et en tant qu'agents d'expansion des mousses d'isolation.

Composition chimique

Composés d'atomes de carbone (six au plus), de fluor et d'hydrogène.

Origine

Sources anthropiques : réfrigération et climatisation ; fabrication des mousses ; aérosols ; protection incendie, agroalimentaire, résidentiel, chimie, climatisation automobile.

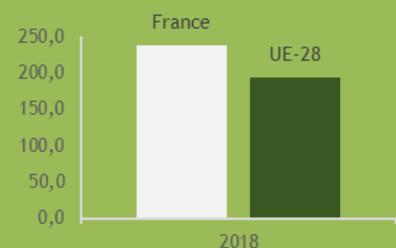
Source naturelle : aucune.

Phénomènes associés

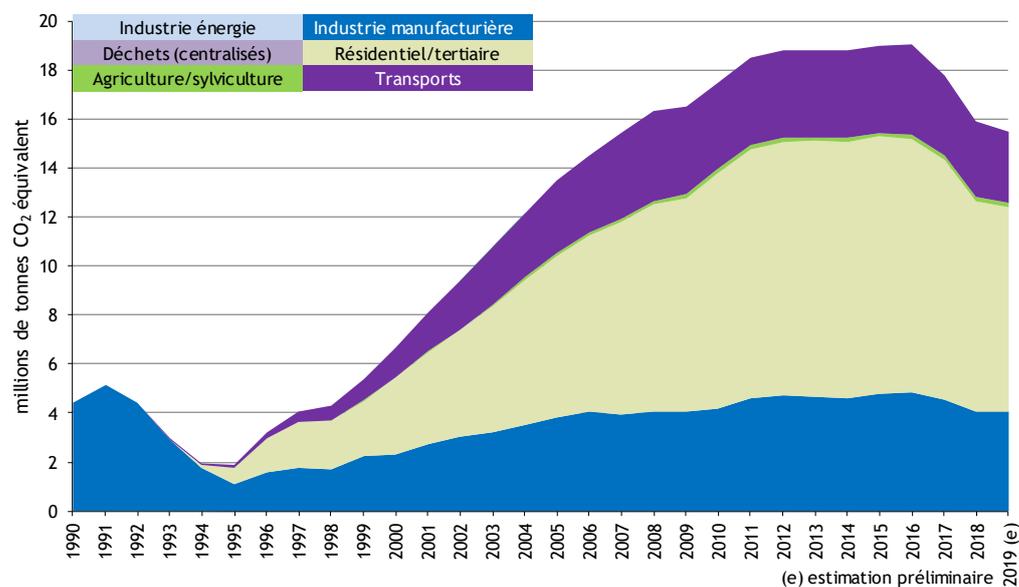
Les HFC sont de puissants gaz à l'effet de serre et contribuent aux conséquences multiples de l'augmentation de l'effet de serre. Leur pouvoir de réchauffement global (PRG) varie selon les molécules composant les gaz, ci-dessous les valeurs des PRG des principaux HFC (GIEC AR4).

HFC	HFC-134a	HFC-143a	HFC-125	HFC-32
PRG	1 430	4 470	3 500	675

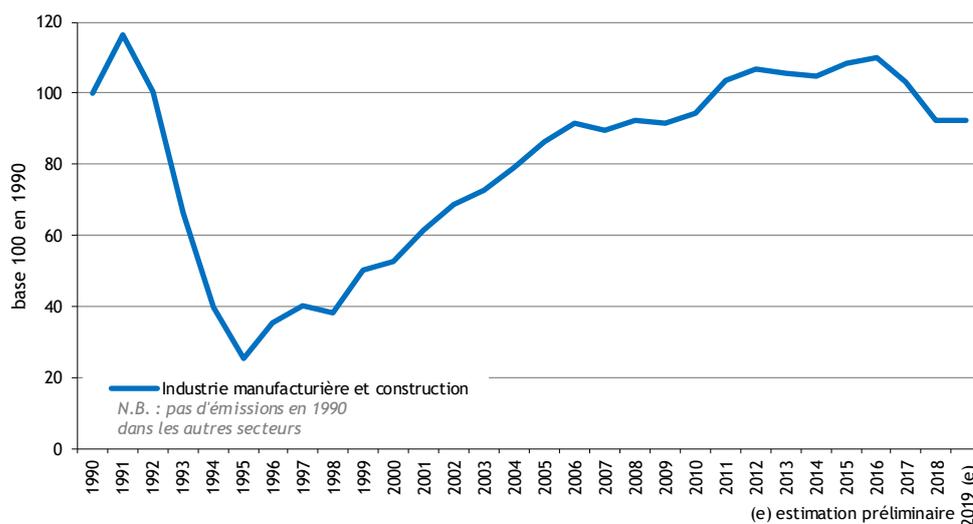
Emissions par habitant Kg CO₂e/hab/an



Evolution des émissions dans l'air de HFC depuis 1990 en France (Métropole et Outre-mer UE)



Evolution des émissions dans l'air de HFC en base 100 en 1990 en France (Métropole et Outre-mer UE)

Emissions de HFC (ktCO₂e/an)

Périmètre : Métropole et Outre-mer inclus dans l'UE

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019 (e)
Industrie de l'énergie	0	0,2	4,3	9,1	9,6	7,3	6,7	6,1	4,7	4,7
Industrie manufacturière et construction	4 402	1 108	2 307	3 801	4 149	4 770	4 840	4 540	4 067	4 063
Traitement centralisé des déchets	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Résidentiel / tertiaire	0	629	3 126	6 616	9 645	10 498	10 367	9 787	8 590	8 330
Agriculture	0	0	22,3	82,8	154,8	177,9	176,3	178,5	165,6	165,6
Agriculture hors total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Transports	0	155,4	1 222,8	2 991,3	3 546,3	3 550,1	3 688,3	3 262,1	3 072,4	2 927,9
Transport hors total	0	41,1	123,7	127,2	119,2	100,1	98,6	98,1	53,5	53,5
TOTAL national hors UTCATF	4 402	1 893	6 682	13 500	17 505	19 003	19 078	17 774	15 900	15 491
UTCATF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UTCATF Hors total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Emissions naturelles hors total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL national avec UTCATF	4 402	1 893	6 682	13 500	17 505	19 003	19 078	17 774	15 900	15 491
Hors total	0	41,1	123,7	127,2	119,2	100,1	98,6	98,1	53,5	53,5

Analyse

Enjeux

Impact sur l'effet de serre

Les HFC sont des gaz à effet de serre majoritairement utilisés dans les secteurs du froid et de la climatisation mais aussi dans les mousses d'isolation, les aérosols et les équipements d'extinction d'incendie. Leur impact sur le réchauffement climatique est caractérisé par un indice, le PRG (Potentiel de Réchauffement Global), comparant leur effet par rapport à celui du CO₂ (PRG=1).

Si les PRG des HFC sont compris dans une gamme de 1 à 14 800 (HFC-23), la majorité des réfrigérants ont des PRG inférieurs à 4 000. Dans les graphes de cette partie, les émissions sont présentées en tonnes de CO₂ équivalentes.

Objectifs de réduction

Les secteurs utilisateurs de HFC ont été fortement marqués par la réglementation européenne (EU) N° 517/2014, entrée en vigueur au 1^{er} Janvier 2015. Ce règlement prévoit une réduction progressive des quantités CO₂ équivalentes de HFC autorisées à être mises sur le marché, des interdictions sectorielles d'usage et une restriction d'utilisation des HFC pour la maintenance des installations de réfrigération aux fluides frigorigènes de PRG < 2 500 à compter de 2020. L'objectif de cette réglementation, en termes d'émissions, est de réduire en 2030 les émissions de gaz fluorés de 60 % par rapport au niveau 2005.

En France, la Stratégie Nationale Bas-Carbone vise la réduction des émissions de gaz fluorés en général (*voir section Gaz fluorés*)

Enjeux actuels

Le règlement (EU) n° 517/2014 réduit les quantités de HFC disponibles sur le marché européen. Des alternatives à l'usage des HFC à fort PRG ont progressivement été développées afin de répondre aux besoins en réfrigération et climatisation tout en respectant le « phasedown » imposé par la réglementation européenne. L'enjeu est alors de réduire le GWP tout en garantissant une bonne efficacité énergétique. Certaines de ces alternatives sont inflammables, voire fortement inflammables comme le sont les hydrocarbures. L'enjeu est alors d'adapter les normes et règlements nationaux de façon à en permettre l'usage tout en garantissant la sécurité des détenteurs, installateurs et opérateurs de ces équipements.

Tendance générale

Au début des années 90, les émissions de HFC n'étaient liées qu'à l'industrie chimique, dans le cadre de la production de gaz fluorés (incluse ici dans le secteur « industrie manufacturière »). Le HFC-23 était alors émis au cours de la production du HCFC-22 (sous-produit). Les réductions opérées dès 1992 par la mise en place de traitements ont permis une première baisse des émissions totales de HFC en France jusqu'en 1995.

Dans ce même secteur, à partir du début des années 2000, une nouvelle source d'émission est apparue liée à l'utilisation des HFC comme agent propulseur des mousses (polyuréthane, polystyrène expansé, etc.) en substitution des HCFC interdits du fait de leur impact sur la couche d'ozone. Ces HFC sont également émis dans le résidentiel/tertiaire mais en quantités très faibles.

Les HFC ont progressivement remplacé les CFC et HCFC dans les équipements de réfrigération et de climatisation à partir de 1992-1993.

En climatisation automobile le CFC-12 a rapidement été remplacé par le HFC-134a sur le marché neuf des véhicules particuliers. Depuis les années 2000, avec le renouvellement progressif du parc de véhicules et la pénétration croissante de la climatisation sur le marché, les émissions de HFC de ce secteur (sous-secteur Transports) représentent une part très significative des émissions de HFC des secteurs utilisateurs. Cependant, la directive MAC (842/2006) a imposé l'utilisation d'un fluide frigorigène de PRG < 150 dans tous les véhicules particuliers mis sur le marché européen depuis le 1^{er} janvier 2017. Le R-1234yf (PRG = 4) remplace désormais le R-134a (PRG 1 430). Les émissions du secteur des autres modes de transport (hors routier) proviennent essentiellement du transport aérien (utilisation d'aérosols techniques).

Les émissions du secteur appelé « résidentiel/tertiaire » incluent à la fois les émissions liées à la climatisation fixe mais également celles dues à l'utilisation d'installations frigorifiques en froid commercial (supermarchés, hypermarchés, petits commerces) et en froid industriel (agro-alimentaire et procédés industriels). Les principales applications émettrices sont la réfrigération commerciale, fortement utilisatrice du HFC-404A (PRG 3900) et la climatisation dont le parc d'équipements est en croissance continue.

L'interdiction d'usage des HCFC dans les équipements neufs date des années 2000 (2003 pour les derniers équipements de climatisation autorisés à être mis sur le marché). La réglementation ozone (CE 2037/2000) interdit l'utilisation de HCFC neufs pour la maintenance des équipements depuis 2010 (et de HCFC régénéré depuis 2015). Les dernières installations aux HCFC ont donc été converties ou renouvelées pour des équipements utilisant des HFC dans les années 2010-2015, ce qui explique la forte croissance des émissions du résidentiel dans ces années-là.

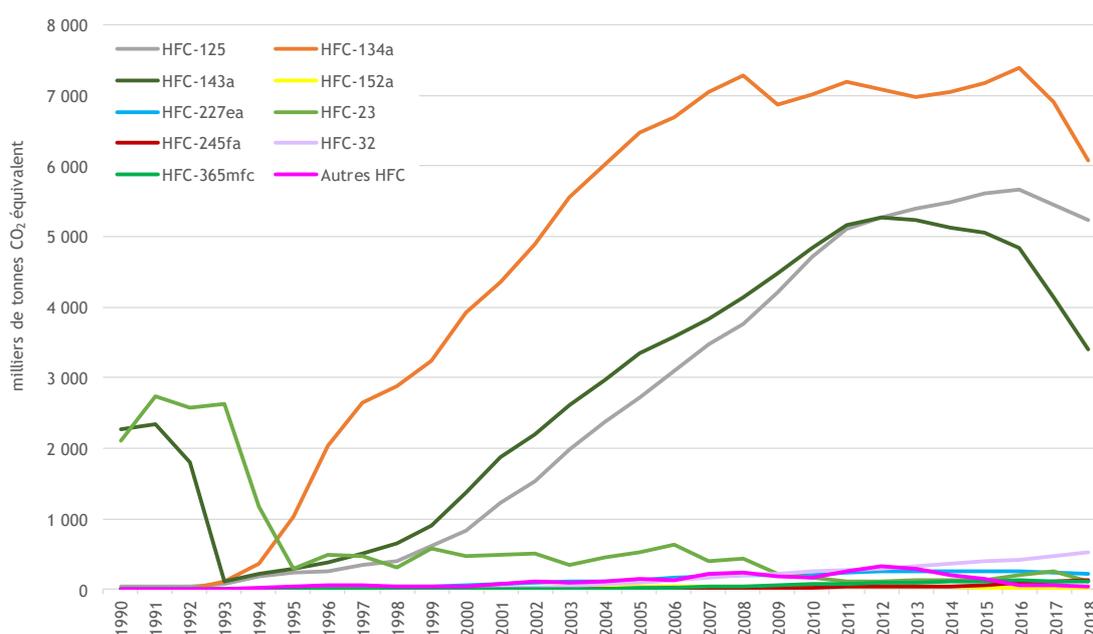
Évolution récente

La réglementation européenne a conduit au développement de nouveaux fluides frigorigènes de PRG moindres pour remplacer les HFC à fort PRG, a accéléré l'utilisation de HFC à plus bas PRG tels que le R-32 ou les HFO. Elle a également provoqué une plus large utilisation de fluides non fluorés tels que le CO₂ en froid commercial, l'ammoniac en froid industriel ou les hydrocarbures en petit froid commercial et en climatisation résidentielle. Parallèlement, cette réglementation a conduit à une forte hausse des prix des HFC et à une pénurie de certains fluides, favorisant ainsi la nécessité de récupération et de surveillance des fuites. L'ensemble de ces éléments a conduit à une stabilisation des émissions malgré une croissance du parc d'équipements dans certains secteurs, et devrait permettre de réduire plus significativement les émissions de HFC du secteur résidentiel-tertiaire dans les années à venir.

Enfin, en climatisation automobile, si la transition du R-134a vers le R-1234yf a été plus lente que prévue, tous les circuits de climatisation des voitures particulières mises sur le marché européen utilisent désormais un fluide frigorigène de PRG = 4. Les émissions CO₂ équivalentes de ce secteur devraient donc progressivement décroître, le temps de renouvellement du parc automobile. A noter que l'obligation ne concerne pas les véhicules destinés à l'exportation ni les véhicules utilitaires légers.

Spéciation

Evolution des émissions de HFC selon les différentes molécules en France (Métropole et Outre-mer UE)

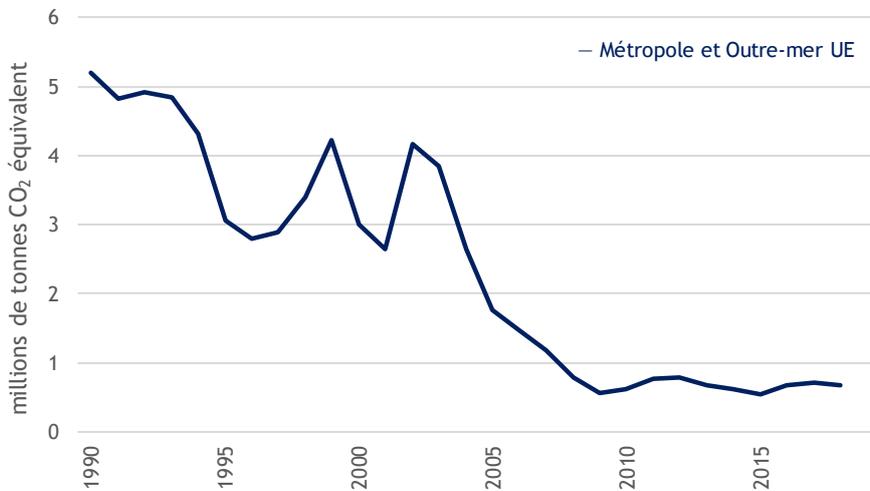


Et ailleurs ?

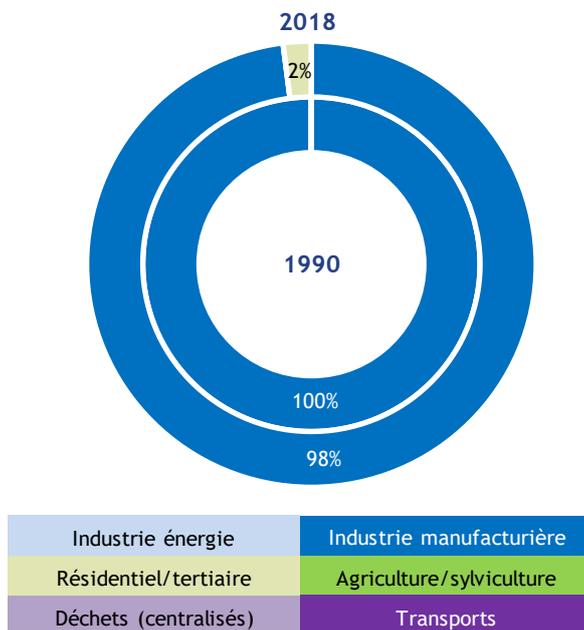
Dans un [article scientifique](#) publié le 21 janvier 2020 dans la revue *Nature*, un groupe de chercheurs internationaux sous la direction de l'université de Bristol (Royaume-Uni) met en avant une contradiction : alors que les actions de réduction ambitieuses mises en place depuis 2015 par les deux premiers pays producteurs de HCFC-22 (CHClF₂) (Chine et Inde) devaient entraîner une baisse des émissions de HFC-23 (CHF₃), sous-produit issu de la production du HCFC-22, selon les estimations des chercheurs, les émissions mondiales de HFC-23 ont augmenté en 2018 pour atteindre le niveau maximal jamais atteint (15,9 kt contre des valeurs comprises autour de 10 à 13 kt/an dans les années 2000). [Lire notre résumé détaillé de cet article](#)

Emissions de substance en bref

Evolution des émissions de PFC en France



Répartition des émissions de PFC en France (Métropole et Outre-mer inclus dans l'UE)



PFC

Perfluorocarbures

Type

Gaz à effet de serre

Définition

Les PFC sont des composés halogénés gazeux synthétisés exclusivement par voie chimique.

Composition chimique

Composés d'atomes de carbone et de fluor.

Origine

Source anthropique : utilisation des PFC en industrie manufacturière lors des étapes de production des semi-conducteurs. Ils sont produits lors de l'électrolyse de l'aluminium et de la production de l'acide trifluoroacétique.

Source naturelle : aucune.

Phénomènes associés

Les PFC participent à l'effet de serre et contribuent aux conséquences multiples de son augmentation. Le pouvoir de réchauffement global (PRG) varie selon les différents types de gaz ; les valeurs utilisées dans l'inventaire national (Giec AR4) sont données ci-dessous pour les principaux PFC.

PFC-14 = 7 390

PFC-116 = 12 200

C₆F₁₄ = 9 300

Effets

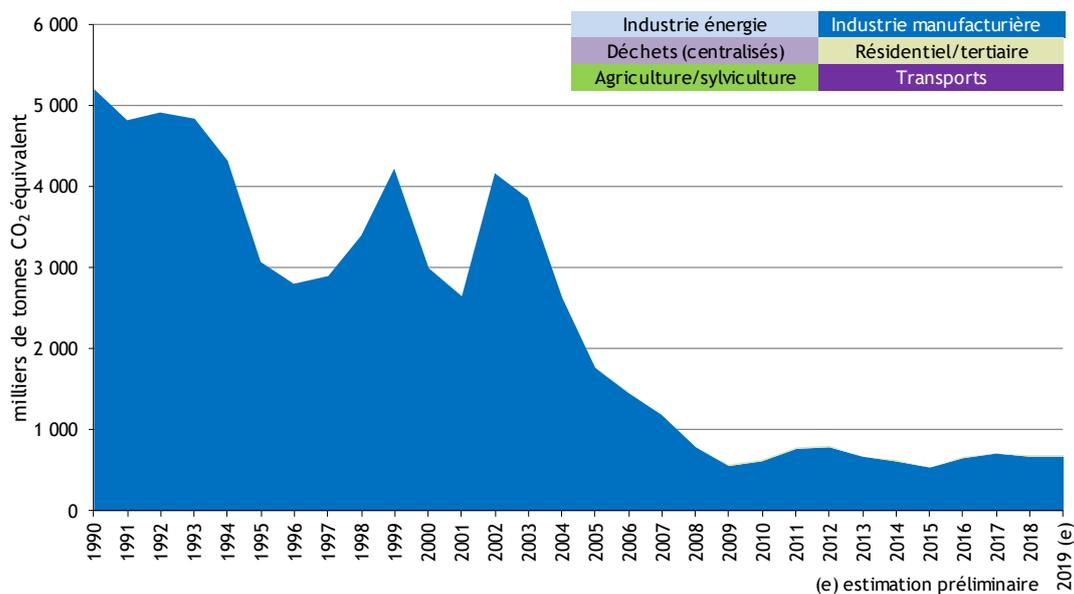
 Santé

 Effet de serre

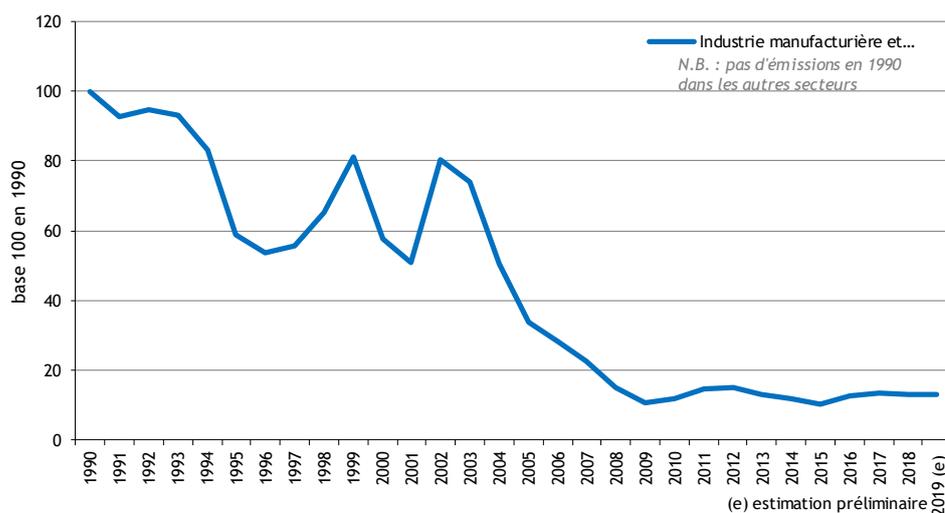
Emissions par habitant kgCO₂e/hab/an



Evolution des émissions dans l'air de PFC depuis 1990 en France (Métropole et Outre-mer UE)



Evolution des émissions dans l'air de PFC en base 100 en 1990 en France (Métropole et Outre-mer UE)

Emissions de PFC (ktCO₂e/an)

Périmètre : Métropole et Outre-mer inclus dans l'UE

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019 (e)
Industrie de l'énergie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Industrie manufacturière et construction	5 202	3 065	2 994	1 758	610	530	652	698	666	666
Traitement centralisé des déchets	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Résidentiel / tertiaire	0	0	3,7	2,5	7,1	6,2	13,7	9,3	13,8	13,8
Agriculture	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Agriculture hors total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Transports	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Transport hors total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL national hors UTCATF	5 202	3 065	2 997	1 760	617	537	666	708	680	680
UTCATF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UTCATF Hors total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Emissions naturelles hors total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL national avec UTCATF	5 202	3 065	2 997	1 760	617	537	666	708	680	680
Hors total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Analyse

Tendance générale

Dans les graphes de cette partie, les émissions sont présentées en tonnes de CO₂ équivalentes.

Parmi les différents secteurs considérés dans SECTEN, en 1990, le seul contributeur aux émissions de PFC en France métropolitaine était l'industrie manufacturière. Dans ce secteur, les principales activités contribuant aux émissions de PFC sont les suivantes :

- la production d'aluminium de première fusion (PFC générés au cours du procédé),
- la production de trifluoroacétique (TFA) et de gaz fluorés,
- la fabrication de semi-conducteurs et de panneaux photovoltaïques (utilisation de PFC),
- l'utilisation de PFC en tant que solvant.

En 1990, la production d'aluminium (sous-secteur métallurgie des métaux non-ferreux) représentait plus des deux tiers des émissions totales nationales de PFC.

Après avoir fortement régressé entre 1990 et 1996 à la suite des progrès réalisés dans l'industrie de la production d'aluminium de première fusion au niveau du contrôle de l'effet d'anode et de la mise en place d'un incinérateur sur un site de production de gaz fluorés, les émissions ont connu de fortes fluctuations au cours des années suivantes, traduisant, d'une part, une progression sensible de la production d'aluminium associée à une maîtrise non optimale des rejets et, d'autre part, un développement de l'industrie des semi-conducteurs (inclus dans le sous-secteur « biens d'équipements »).

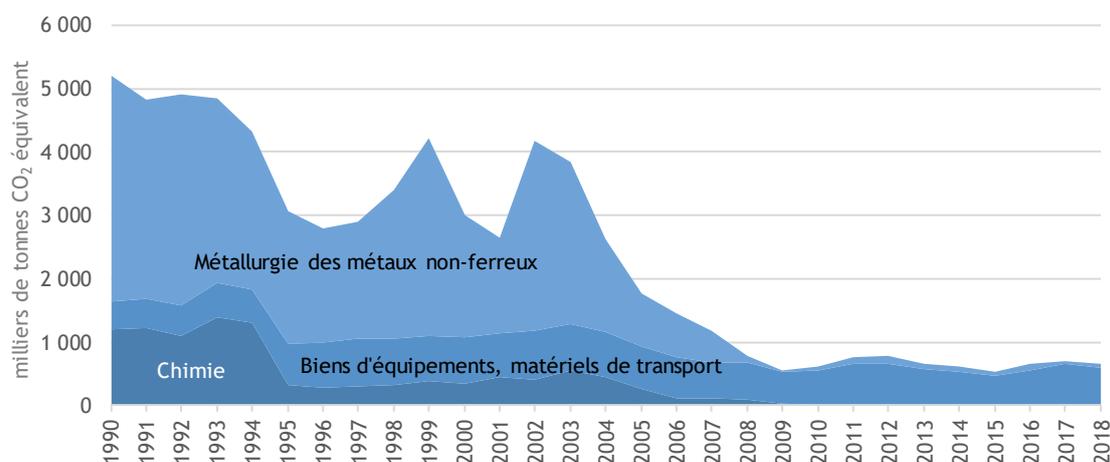
Un retour à une situation maîtrisée pour l'aluminium en 2000 et 2001 a conduit à des niveaux d'émission plus faibles, malgré des difficultés résiduelles expliquant les résultats de 2002 et 2003.

La baisse observée depuis 2004 s'explique principalement par l'effet cumulé de la fermeture de deux sites de production d'aluminium, l'un en 2003 et l'autre en 2008, avec cependant une production nationale stable à laquelle s'ajoute l'amélioration des performances sur un autre site producteur d'aluminium, à partir de 2005.

Depuis 2000, les PFC ont fait leur apparition dans le secteur du résidentiel/tertiaire. Les émissions proviennent des applications médicales et cosmétiques. La part des émissions de PFC dans le résidentiel/tertiaire est toutefois très faible en comparaison des émissions du secteur de l'industrie manufacturière.

Le profil des émissions de PFC de ces dernières années a beaucoup évolué par rapport à 1990. En effet, alors que la production d'aluminium était le principal contributeur aux émissions de PFC avec plus de deux tiers des émissions totales nationales en 1990, il ne représente aujourd'hui qu'environ 10% des émissions totales de PFC en France. Les émissions de PFC proviennent désormais en majorité de l'utilisation de solvants (sous-secteur biens d'équipements) pour près d'un tiers alors que ce secteur était inexistant en 1990.

Répartition des émissions de PFC par sous-secteur de l'industrie manufacturière
en kt CO₂e



Évolution récente

Sur la période 1990 - 2018, les émissions sont en nette diminution, de plus d'un facteur 7 en équivalent CO₂. A la différence des HFC, les PRG des différents PFC émis se situent dans une fourchette étroite, de 7 390 à 12 200.

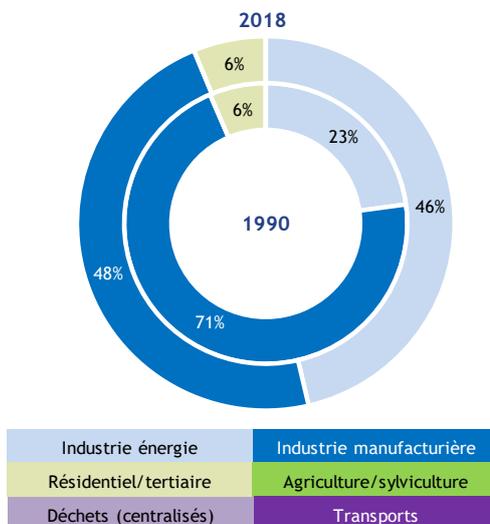
Ces dernières années, les émissions de PFC se sont stabilisées et se situent en-dessous de 1000 kt CO₂e depuis 2008. Il convient de souligner que les PFC sont peu impactés par les réglementations gaz fluorés. Ils ne sont pas concernés par la réduction des quantités autorisées à être mises sur le marché (*phasedown*) prévue par le règlement (EU) n° 517/2014 et les interdictions sectorielles concernant le secteur protection incendie ne les impactent pas puisqu'en France, seuls le HFC-23 et le HFC-227ea sont utilisés pour cette applications. Par conséquent, une forte évolution à la baisse des émissions n'est pas attendue ces prochaines années, comme en témoigne la stagnation des émissions ces trois dernières années.

Emissions de SF₆ en bref

Evolution des émissions de SF₆ en France (Métropole et Outre-mer UE)



Répartition des émissions de SF₆ en France (Métropole et Outre-mer UE)



SF₆

Hexafluorure de soufre

Type
Gaz à effet de serre

Définition
Synthétisé exclusivement par voie chimique, l'hexafluorure de soufre (SF₆) est un gaz dont les propriétés thermiques et chimiques conduisent à un usage dans un certain nombre d'applications techniques : agent diélectrique et de coupure dans les équipements électriques, gaz protecteur pour les fonderies de magnésium.

Composition chimique
Six atomes de fluor (F) et un atome de soufre (S).

Origine
Sources anthropiques : production d'électricité, biens d'équipement et matériels de transport (composés électriques et électroniques).

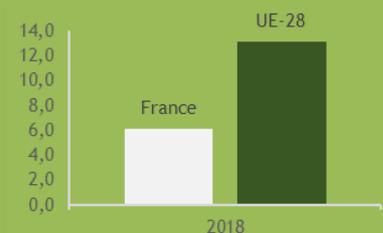
Source naturelle : aucune.

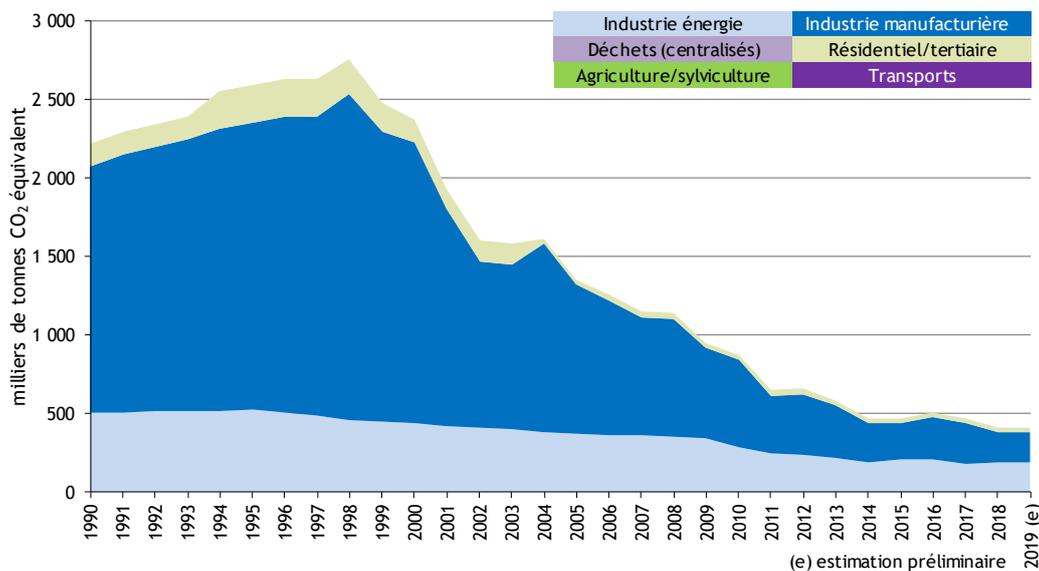
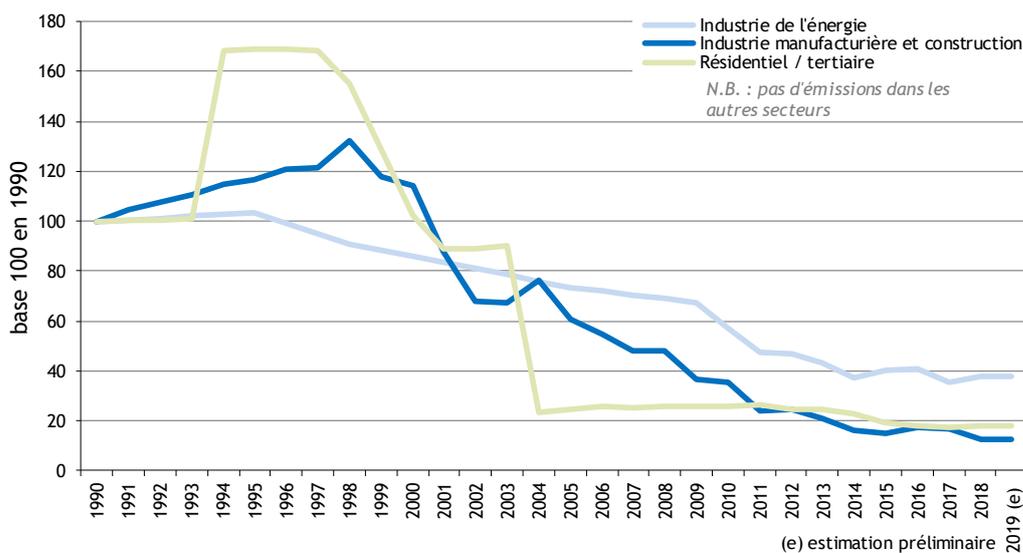
Phénomènes associés
Le SF₆ a un pouvoir de réchauffement global (PRG) de 22 800, c'est à-dire 22 800 fois plus élevé que celui du CO₂ (Giec, AR4, valeur utilisée dans l'inventaire national). Il contribue aux conséquences multiples de l'augmentation de l'effet de serre.

Effets
 Effet de serre
 Santé (asphyxiant à forte concentration)

Emissions par habitant

kgCO₂e/hab/an



Evolution des émissions dans l'air de SF₆ depuis 1990 en France (Métropole et Outre-mer UE)Evolution des émissions dans l'air de SF₆ en base 100 en 1990 en France (Métropole et Outre-mer UE)Emissions de SF₆ (ktCO₂e/an)

Périmètre : Métropole et Outre-mer inclus dans l'UE

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019 (e)
Industrie de l'énergie	505,9	521,7	435,0	371,6	288,1	203,5	205,6	178,0	189,8	189,8
Industrie manufacturière et construction	1 567	1 829	1 793	948	550	238	273	261	194	194
Traitement centralisé des déchets	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Résidentiel / tertiaire	142,5	240,7	145,7	35,2	37,0	26,9	25,4	24,8	25,4	25,4
Agriculture	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Agriculture hors total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Transports	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Transport hors total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL national hors UTCATF	2 215	2 592	2 374	1 355	875	468	504	464	409	409
UTCATF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UTCATF Hors total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Emissions naturelles hors total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL national avec UTCATF	2 215	2 592	2 374	1 355	875	468	504	464	409	409
Hors total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Analyse

Tendance générale

Les émissions de SF₆ sont principalement engendrées par la production de magnésium, la fabrication et l'utilisation des équipements électriques haute tension, la fabrication de câbles et les accélérateurs de particules.

Ainsi, parmi les différents secteurs considérés dans SECTEN, seuls trois contribuent aux émissions de SF₆ en France métropolitaine qui sont, par ordre d'importance :

- l'industrie manufacturière (production de magnésium),
- la transformation d'énergie (utilisation des équipements électriques),
- le résidentiel/tertiaire (faible contribution liée principalement à la distribution d'énergie).

Entre 1990 et 2018, les émissions ont diminué d'un facteur 5. Cette baisse est observée sur l'ensemble des principaux secteurs émetteurs mais elle est la plus marquée dans le secteur de l'industrie manufacturière. En revanche, la baisse des émissions est moins significative pour le secteur de l'industrie de l'énergie qui représente, par conséquent, une part plus importante des émissions de SF₆ depuis 2018 qu'elle ne l'était en 1990.

Sur la période 1990-2018, les émissions de l'industrie manufacturière ont donc fortement baissé. Cette évolution est notamment liée :

- aux réductions de consommation de SF₆ dans l'industrie du magnésium. Le seul site de 1ère fusion a fermé ses portes en 2002 mais a été reconverti pour recycler le magnésium et a consommé à nouveau du SF₆ à partir de 2003 jusqu'en 2006,
- aux fluctuations de l'activité de fabrication de disjoncteurs/transformatrice haute et moyenne tension électrique ainsi qu'aux contrôles des émissions de SF₆ suite notamment à un engagement des industriels à réduire leurs émissions dès 2000,
- enfin, aux réductions de consommation de SF₆ des fabricants de câbles électriques après la mise en place de systèmes de récupération sur certains sites.

Pour le secteur de l'industrie de l'énergie, la légère baisse à partir de 1995 s'explique par l'amélioration de l'étanchéité des appareils (disjoncteurs et interrupteurs haute tension contenant du SF₆) et des procédures de maintenance, malgré l'augmentation du parc. Depuis 1998, l'amélioration des équipements chargés en SF₆ a permis de réduire les émissions, notamment grâce à un accord volontaire signé en 2004 pour limiter les émissions lors de la construction, la durée et la fin de vie des équipements.

La forte baisse constatée dans le secteur résidentiel/tertiaire à partir de 2004 résulte de l'arrêt de l'utilisation d'un accélérateur de particules qui consommait du SF₆ en grande quantité

Évolution récente

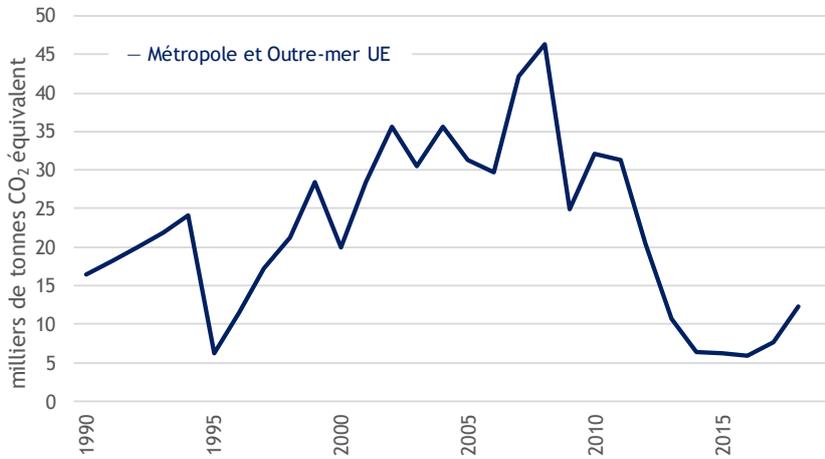
La baisse des émissions nationales se poursuit de 2010 à 2014 et s'explique, d'une part, par une moindre production d'équipements électriques et une diminution des fuites de SF₆ du parc d'appareils électriques français et, d'autre part, par la réduction des émissions de SF₆ issues des fonderies de magnésium et des industries de fabrication de câbles. Depuis, les émissions sont relativement stables. On peut noter, en 2015 et 2016, une légère hausse des émissions, engendrée notamment par des fuites plus importantes au niveau des équipements électriques (vieillesse du parc et conditions climatiques défavorables).

Ces dernières années, les fonderies tendent à remplacer le SF₆ par des gaz de substitution (HFC-134a, NaCl, SO₂ ...) pour répondre aux exigences européennes d'une interdiction d'utilisation de ce gaz dès le 1^{er} janvier 2018 (règlement (EU) n° 517/2014 relatif aux gaz à effet de serre fluorés).

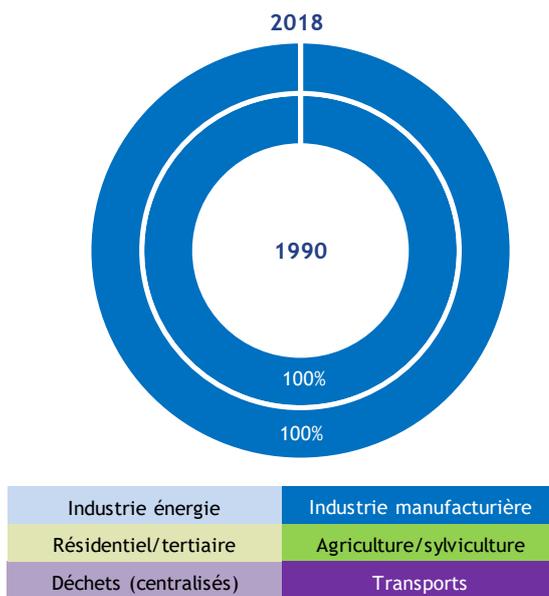
Même si le SF₆ utilisé dans les équipements électriques n'est pas concerné par la restriction de mise sur le marché de gaz fluorés prévue dans le règlement (EU) n° 517/2014, des recherches d'alternatives à l'utilisation du SF₆ dans les équipements électriques sont en cours et des projets pilotes devraient aboutir dans les prochaines années.

Emissions de NF₃ en bref

Evolution des émissions de NF₃ en France



Répartition des émissions de NF₃ en France



NF₃

Trifluorure d'azote

Type
Gaz à effet de serre

Définition
Le trifluorure d'azote (NF₃) est un composé inorganique. C'est un gaz inodore, incolore et non inflammable.

Le NF₃ est un polluant comptabilisé parmi les GES dans le cadre du Protocole de Kyoto depuis la conférence de Doha : il constitue le 7ème gaz du « panier Kyoto » sur la seconde période 2013-2020.

Composition chimique
Trois atomes de fluor (F) et un atome d'azote (N).

Origine
Source anthropique : fabrication de composants électroniques (semi-conducteurs, panneaux solaires de nouvelle génération, téléviseurs à écran plat, écrans tactiles, processeurs électroniques).

Source naturelle : aucune.

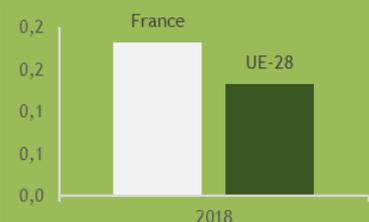
Phénomènes associés
Le NF₃ a un pouvoir de réchauffement global (PRG) de 17 200, c'est-à-dire 17 200 fois supérieur à celui du CO₂ (Giec, AR4, valeur utilisée dans l'inventaire national).

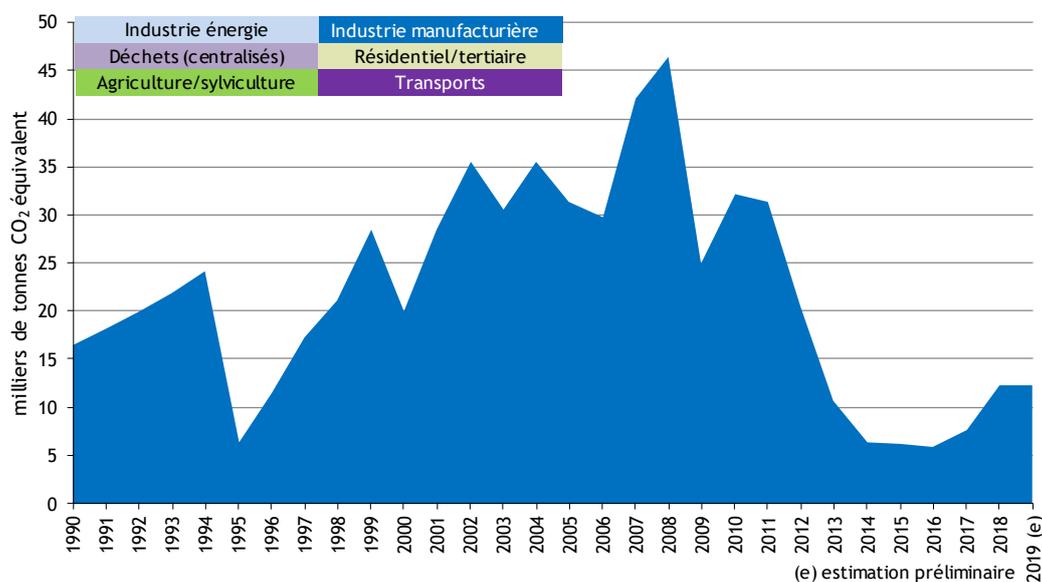
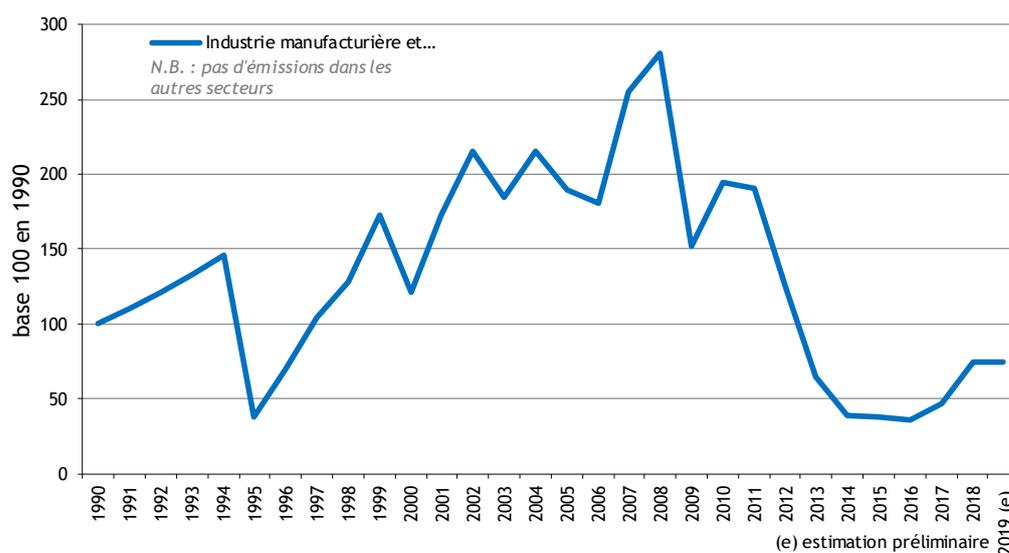
Contribution aux conséquences multiples de l'augmentation de l'effet de serre.

Effets
☀️ Effet de serre

⚠️ Santé (toxique)

Emissions par habitant (kgCO₂e/hab/an)



Evolution des émissions dans l'air de NF₃ depuis 1990 en France (Métropole et Outre-mer UE)Evolution des émissions dans l'air de NF₃ en base 100 en 1990 en France (Métropole et Outre-mer UE)Emissions de NF₃ (ktCO₂e/an)

Périmètre : Métropole et Outre-mer inclus dans l'UE

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019 (e)
Industrie de l'énergie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Industrie manufacturière et construction	16,5	6,3	19,9	31,3	32,1	6,2	5,8	7,6	12,3	12,3
Traitement centralisé des déchets	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Résidentiel / tertiaire	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Agriculture	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Agriculture hors total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Transports	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Transport hors total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL national hors UTCATF	16,5	6,3	19,9	31,3	32,1	6,2	5,8	7,6	12,3	12,3
UTCATF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UTCATF Hors total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Emissions naturelles hors total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL national avec UTCATF	16,5	6,3	19,9	31,3	32,1	6,2	5,8	7,6	12,3	12,3
Hors total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Analyse

Tendance générale

En France, le NF₃ est intégralement utilisé dans la fabrication de semi-conducteurs. La totalité des émissions de NF₃ est donc attribuée à l'industrie manufacturière.

Sur la période 1990-2018, les émissions de NF₃ présentent des variations interannuelles relativement importantes avec des pics comme en 2008 où le maximum est atteint. Cette variation constatée est liée :

- d'une part, aux fluctuations annuelles des quantités de NF₃ achetées et utilisées par les différentes usines pour la gravure des microprocesseurs et le nettoyage des chambres CVD (Chemical Vapour Deposition) ;
- d'autre part, à la mise en place de techniques de réduction des émissions et à l'amélioration de leur rendement.

Jusqu'en 1994, aucune technologie de contrôle des émissions (par destruction ou captage/récupération) n'était présente dans les différentes usines, expliquant une augmentation progressive des émissions proportionnelle au niveau des consommations.

A partir de 1995, des technologies de réduction ont été mises en place progressivement sur certains sites, expliquant la diminution des émissions cette même année. Parallèlement, les consommations de NF₃ n'ont cessé d'augmenter jusqu'en 2008, année du pic d'émissions de NF₃ en France. Les variations observées d'une année à l'autre sur les émissions proviennent des quantités de NF₃ consommées et de l'efficacité des techniques de réduction mises en place au sein des sites de production. Ainsi, un site industriel présentant une efficacité de traitement élevée aura pour effet de diminuer les émissions de NF₃. Les variations des émissions sur cette période proviennent donc des variations de consommations de NF₃ au sein des différents sites de production en France et pouvant eux-mêmes présenter des procédés de traitement différent.

Les émissions de NF₃ ont fortement diminué depuis 2012 avec la mise en place d'un procédé de traitement en sortie des équipements sur un site de fabrication et la fermeture d'un autre site.

Évolution récente

Ces dernières années, du fait de la généralisation de l'usage des techniques de réduction, les émissions de NF₃ ont un niveau à peu près similaire à celui de 1995, historiquement le plus bas, alors que l'industrie des semi-conducteurs a des consommations beaucoup plus importantes que dans les années 90. Toutefois, il est constaté une augmentation des émissions de NF₃ en 2017 et 2018, engendrées par la hausse importante des consommations de NF₃ dans ce secteur ces mêmes années. A noter que les gaz fluorés utilisés dans l'industrie de la fabrication de semi-conducteurs ne sont pas concernés par la restriction de mise sur le marché de gaz fluorés exigée par le règlement (EU) n° 517/2014 et qu'il n'y a, par conséquent, pas de raison apparente que les émissions diminuent dans les prochaines années

Références utilisées dans le chapitre

CITEPA 2019 - rapport CCNUCC - Rapport National d'Inventaire pour la France au titre de la Convention cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques et du Protocole de Kyoto. Mars 2019

Crippa, M. et al. (2019). Fossil CO2 emissions of all world countries. 2019 Report, JRC, 251 p.

GIEC, 2014 : Changements climatiques 2014 : Rapport de synthèse. Contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Sous la direction de l'équipe de rédaction principale, R.K. Pachauri et L.A. Meyer]. GIEC, Genève, Suisse, 161 p.

IPCC, 2018: Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)].

IPCC-AR5-ch8-2014 - Myhre, G., D. Shindell, F.-M. Bréon, W. Collins, J. Fuglestedt, J. Huang, D. Koch, J.-F. Lamarque, D. Lee, B. Mendoza, T. Nakajima, A. Robock, G. Stephens, T. Takemura and H. Zhang, 2013: Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.