



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Base Carbone

Documentation des facteurs d'émissions de
la Base Carbone ®

Version 23.11.0 - mardi 16 juin 2026



EXPERTISES

juin
2026

Préface de l'ADEME

L'ADEME souhaite via la mise à disposition de la Base Carbone® diffuser largement les données nécessaires aux évaluations carbonees. Cette base contient donc un ensemble de données (facteurs d'émissions ou données sources) pour réaliser des bilans d'émissions de gaz à effet de serre réglementaires (article 75 de la loi grenelle) ou volontaires. Les données nécessaires aux calculs réglementaires pour l'information CO2 des prestations de transport sont également incluses dans la base.

Afin d'assurer un maximum de transparence, l'ADEME met à jour une documentation pour expliquer les hypothèses de calcul ainsi que les sources des données validées dans la base. Le présent document rassemble l'ensemble de ces informations pour la métropole. Un autre est rédigé pour l'outre-mer.

Afin d'assurer un maximum de traçabilité, un numéro de version et une date est associé à chacun de ces documents. Un dossier archive permet dans l'application de consulter les anciennes versions de ces documents. Merci de nous faire parvenir tous commentaires relatifs à ce document via le formulaire de contact de l'application.

Bonne lecture !

Sommaire

Part I	Introduction	9
Part II	La comptabilité carbone	11
1	PRG à 100 ans.....	12
2	CO2 biogénique.....	19
Part III	Catégorie 1 : Emissions directes de GES	22
1	Combustibles.....	23
	PCI et masses volumiques	24
	.. PCI et masse volumique	24
	.. Passage du PCS au PCL.....	28
	.. Conversions énergétiques.....	29
	Fossiles	30
	.. Solides.....	30
	.. Liquides.....	37
	.. Gaz	41
	Organiques	47
	.. Solides.....	48
	.. Liquides.....	53
	.. Gaz	62
2	Emissions de process et émissions fugitives.....	69
	Agriculture - cheptels	69
	Agriculture - sols agricoles	74
	Traitement des déchets et eaux usées	80
	Réfrigération et climatisation	84
	Process industriels	90
3	UTCf.....	91
	Changement d'affectation des sols	91
	Forêt Française	94
Part IV	Catégorie 2 : Emissions indirectes - énergie	98
1	Electricité.....	99
	Mix électrique de la France continentale	102
	.. Mix de consommation - moyen.....	105
	.. Mix de consommation - par usage.....	106
	.. Mix électrique des ZNI (Zones Non-Interconnectées).....	114
	.. Mix électrique autres pays.....	114
	Moyens de production	117
	.. Conventionnel.....	118
	.. Renouvelable.....	122
2	Réseaux de chaleur/froid.....	127
	Réseaux de chaleur/froid	127
Part V	Catégorie 3 : Emissions indirectes - transport	130
1	Transport de marchandises.....	131
	Routier	133

Ferroviaire	141
Aérien	145
Maritime	154
Fluvial	163
2 Transport de personnes.....	166
Routier	168
Ferroviaire	181
Aérien	186
Maritime	195
Fluvial	196
Par câble	196

Part VI Catégorie 4/5 : Emissions indirectes - produits achetés/vendus 198

1 Achat de biens.....	199
Produits de l'agriculture et de la pêche	200
Produits agro-alimentaires et boissons	202
Bois	204
Papier, carton et articles en papier ou en carton	206
Minerais, granulats et autres produits des industries extractives	210
.. Granulats.....	210
.. Tourbes.....	212
Plastiques et autres produits chimiques	212
.. Produits en caoutchouc et en plastique.....	212
.. Produits chimiques (hors plastiques).....	221
Produits chimiques de base.....	221
Engrais et composés azotés	221
Pesticides et autres produits agrochimiques	224
Peintures et résines.....	227
Autres produits chimiques.....	228
Produits minéraux non métallique	228
.. Verre et articles en verre.....	229
.. Ciments, chaux, plâtres, bétons.....	230
.. Matériaux de construction en terre cuite.....	232
.. Enrobés pour route.....	232
Métaux et produits métalliques	235
.. Acier.....	236
.. Aluminium.....	237
.. Cuivre.....	240
.. Autres métaux	241
Machines et équipements	244
.. Machines industrielles	245
.. Équipements électriques (hors électroménager).....	245
.. Informatique et équipement de bureau	248
Composants et cartes électroniques.....	249
Ordinateurs et équipements périphériques.....	250
.. Electroménager.....	255
Véhicules automobiles et autres matériel de transport	260
.. Véhicules routiers.....	260
Mobilier	267
Textile	270
.. Cuir.....	270
.. Coton, synthétique, autre.....	271
Autres produits manufacturés	275
.. Consommables de bureaux.....	275
.. Usage viticulture.....	275
.. Articles de sport.....	276

Eau, traitement et distribution d'eau	278
.. Eau de réseau	278
Bâtiments et ouvrages d'art	282
.. Bâtiments	282
.. Voirie	288
Ratios monétaires	290
Hydrogène	292
.. Production d'hydrogène	292
.. Distribution en station	294
2 Achat de services	297
Ratios monétaires	298
Restauration	300
Autres services informatiques	308
3 Traitement des déchets	308
Déchets ménagers et assimilés	316
.. Déchets d'emballages	316
.. Déchets d'éléments d'ameublement	323
.. Déchets d'équipements électriques et électroniques	327
.. Déchets de piles et d'accumulateurs portables	332
.. Déchets textiles et linges	334
.. Déchets organiques	336
Compostage industriel	336
Compostage domestique	339
Méthanisation	342
Incinération	346
Stockage	348
.. Ordures ménagères	350
Déchets des activités économiques	355
.. Déchets bâtiment	356
.. Déchets plastiques	361
.. Déchets Dangereux	364
Stabilisation et stockage des DIS minéral solides	364
Incinération des déchets dangereux	366
Eaux usées	368
Contributions transverses	369
Emissions évitées	370
Répartition par filière et moyennes	375

Part VII Statistiques territoriales 378

1 Résidentiel	379
Chauffage	379
Eau Chaude Sanitaire	382
2 Tertiaire	384
3 Transport de marchandises	387
4 Transport de personnes	388
5 Industrie	390
6 Agriculture	390
Grandes cultures	390
Utilisation d'engrais azotés	391
Consommation de carburant par ha	392
Fabrication d'engins agricoles	393
Serres	394
7 Indicateurs transverses	395
Corrections climatiques	395

Part VIII	Annexes	397
1	Lien Base Carbone et Bilan Carbone.....	398
2	Base IMPACT.....	398
3	Références.....	399

Part



1 Introduction

La présente documentation a pour objectif de fournir toutes les informations méthodologiques qui ont permis le calcul des éléments présents dans la Base Carbone ®, ainsi que de présenter les sources des données utilisées.

L'organisation des chapitres est basée sur l'arborescence du module de consultation des données de la Base Carbone ®. La logique suivie est très proche de celle de l'article 75 (loi Grenelle II), des référentiels ISO 14064-1 et ISO 14069 ainsi que du GHG Protocol.

Pour découvrir le fonctionnement et les fonctionnalités de la Base Carbone ®, nous vous invitons à consulter le guide de l'utilisateur présent sur le site.

En annexe, vous trouverez les informations sur l'articulations entre Base Carbone ® et Bilan Carbone ®

Part



2 La comptabilité carbone

La comptabilité carbone est une quantification des impacts environnementaux se focalisant sur la problématique des émissions de gaz à effets de serre.

Elle s'appuie sur des méthodologies permettant de quantifier les flux d'émissions de gaz à effet de serre générés par une entité et à les caractériser à l'aide d'un indicateur d'impact : en général le PRG.

Les entités pouvant être étudiées à travers la comptabilité carbone sont diverses : un territoire, une organisation, un produit...

Ce chapitre traite des points méthodologiques généraux de la comptabilité carbone :

- De l'indicateur d'impact : PRG à 100 ans
- De la prise en compte du carbone biogénique

2.1 PRG à 100 ans

Les différents gaz à effet de serres

Les gaz à effet de serre (GES) sont des composants gazeux qui absorbent le rayonnement infrarouge émis par la surface terrestre et contribuant à l'effet de serre. Un gaz ne peut absorber les rayonnements infrarouges qu'à partir de trois atomes par molécule, ou à partir de deux si ce sont deux atomes différents (de ce fait, l'oxygène O_2 et le diazote N_2 , qui constituent la majeure partie de l'atmosphère terrestre, ne sont pas des GES).

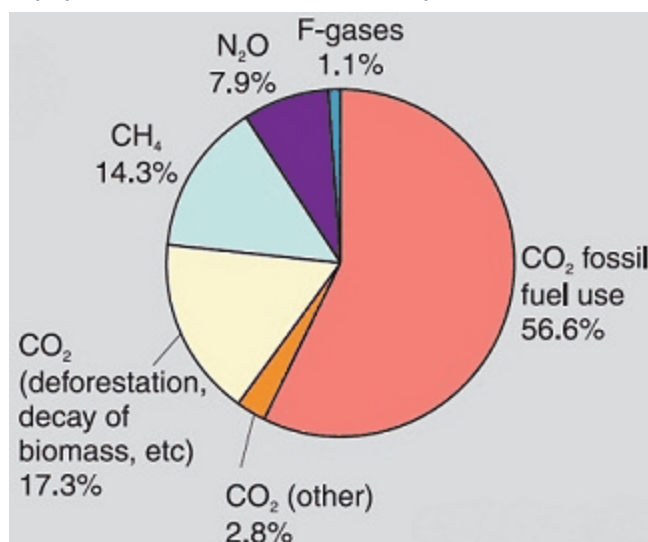
Les principaux GES sont :

- La vapeur d'eau (H_2O)
- Le dioxyde de carbone (CO_2)
- Le méthane (CH_4)
- Le protoxyde d'azote (N_2O)
- L'ozone (O_3)
- Des gaz fluorés (CFC, HCFC, PFC, HFC, SF_6 , NF_3)

On parlera de **GES anthropiques** pour les GES dont l'émission est influencée par les activités humaines. La vapeur d'eau (dont la durée de vie dans l'atmosphère est très courte) n'est pas directement influencée par les émissions humaines. De plus, l'ozone troposphérique n'est pas

émise directement par l'homme, mais est le résultat de la décomposition d'autres gaz dans l'atmosphère. Ces deux GES (H_2O et O_3) sont exclus du champ de la comptabilité carbone.

Le CO_2 est le GES anthropique ayant l'impact le plus important sur le climat. La participation des principaux GES anthropiques au réchauffement climatique est la suivante :



Répartition des émissions annuelles mondiales de GES anthropiques en 2004

source : rapport du GIEC 2007 [001](#)

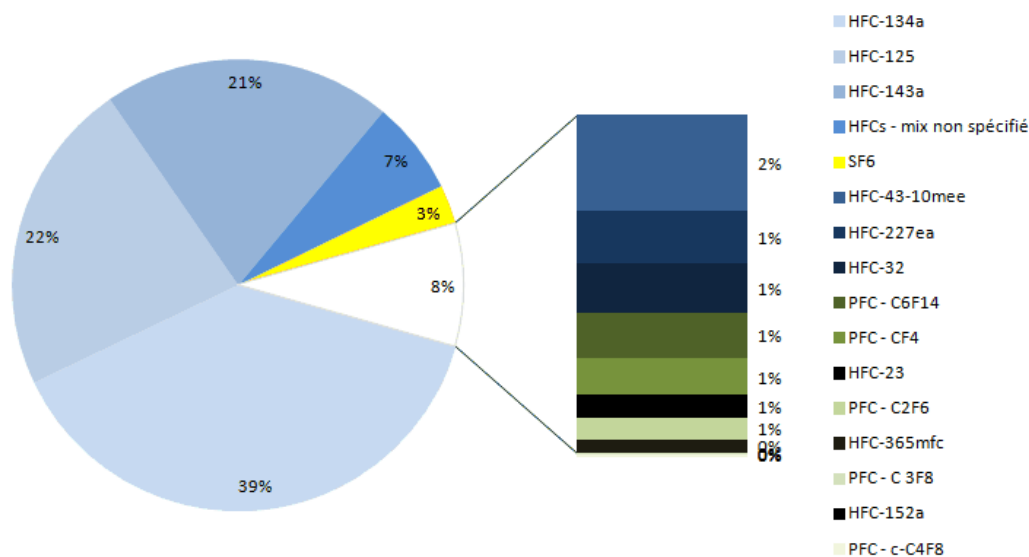
Dans le graphique ci-dessus, les émissions de CO_2 sont réparties selon 3 origines :

- La combustion des énergies fossiles : pétroles, gaz et charbons (56,6%)
- Les process générant du CO_2 minéral : décarbonatation dans les cimenteries notamment (2,8%)
- La déforestation et le déstockage de carbone des sols du à des changement d'affectation des sols (17,3%)

Les émissions anthropiques de CH_4 et N_2O proviennent à environ 90% de l'agriculture. Les autres sources d'émissions de ces deux gaz sont : le traitement des déchets, certains process industriels...

En 2014, les **divers gaz fluorés** représentent **2% des émissions** mondiales (contre 1,1% en 2004). Ce même ordre de grandeur est valable pour la France. L'impact de ces différents gaz fluorés sur le climat se répartit comme suit :

Répartition des émissions de gaz fluorés en 2012 en France



Répartition des émissions annuelles françaises de gaz fluorés en 2012

source : rapport CRF CCNUCC 2012 [003](#)

Dans le graphique ci-dessus, sont exclus les gaz fluorés suivant :

- Le NF3 car il n'était pas encore à reporter dans les rapports CCNUCC
- Les GES dont l'éradication est prévue par le protocole de Montréal (CFC, HCFC et certains halons)

Dans la Base Carbone ®, on retient les catégories suivantes pour classer les GES :

- Les principaux GES (CO₂, CH₄ et N₂O)
- Les principaux gaz fluorés purs (présenté dans le graphique précédent)
- Les principaux mélanges commerciaux de gaz fluorés (voir ci après)
- Les autres gaz fluorés purs (autres HFC et PFC dont les valeurs sont proposées dans les rapports du GIEC)
- Les substances contrôlées par le protocole de Montréal (CFC, HCFC et certains halons)

Pour pouvoir établir des graphiques comme ceux présentés ci-dessus, il faut pouvoir comparer les GES entre eux. Pour cela, on utilise un indicateur d'impact le PRG (voir ci-après).

PRG et CO_{2e}

Les différents GES anthropiques ont un impact plus ou moins important sur le climat.

Afin d'être comparé les uns avec les autres, les émissions des différents GES peuvent être exprimés en **CO_{2e}** (équivalent CO₂). « L'outil » retenu dans la Base Carbone ® permettant de convertir les émissions d'un GES en CO_{2e} est son **PRG (relatif) à 100 ans**. Il s'agit de l'indicateur classique retenu dans la plupart des rapports/traités internationaux.

Il convient de noter que les PRG à 100 ans ont varié au fil des rapports du GIEC (par exemple celui du méthane est passé de 21 dans le rapport de 1995 à 23 dans le rapport de 2001, à 25 dans le rapport de 2007 pour passer à 30 en 2013). Cela est normal, car les PRG, qui reflètent des effets comparés à celui du CO₂, sont en effet dépendants :

- des concentrations des divers gaz à effet de serre déjà présents dans l'atmosphère,
- des cycles naturels des gaz considérés, qui conditionnent leur rythme d'épuration de l'atmosphère, et donc leur "durée de vie" dans l'air.

Tableau des principaux PRG à 100 ans

Le tableau ci-dessous donne les PRG de divers GES publiés dans les rapports de 2007 (AR4) à 2023 (AR6):

Classement	Désignation		Formule chimique	PRG à 100 ans AR4	PRG à 100 ans AR5	PRG à 100 ans AR6
	Nom 1	Nom 2				
Principaux GES	Dioxyde de carbone d'origine fossile		CO2f	1	1	1
	Méthane - non différencié		CH4	25	30	27,9
	Méthane d'origine fossile		CH4f	25	30	29,8
	Méthane d'origine biogénique		CH4b	25	28	27
	Protoxyde d'azote		N2O	298	265	273
	Dioxyde de carbone d'origine biogénique		CO2b	1***	1***	1
Principaux gaz fluorés purs (hors substances contrôlées par le protocole de Montréal)	Hexafluorure de soufre		SF6	22800	23500	24300
	Trifluorure d'azote		NF3	17200	16100	17400
	HFC-23	R23	CHF3	14800	12400	14600
	HFC-32	R32	CH2F2	675	677	771
	HFC-125	R125	CHF2CF3	3500	3170	3740
	HFC-134a	R134a	CH2FCF3	1430	1300	1530

Classement	Désignation		Formule chimique	PRG à 100 ans AR4	PRG à 100 ans AR5*	PRG à 100 ans AR6**
	Nom 1	Nom 2				
	HFC-143a	R143a	CH ₃ CF ₃	4470	4800	5810
	HFC-152a	R152a	CH ₃ CHF ₂	437	138	164
	HFC-227ea	R227ea	CF ₃ CHF ₂ CF ₃	5310	2640	3600
	HFC-43-10mee	R4310mee	CF ₃ CHFCH ₂ CF ₂ CF ₃	1640	1650	1600
	PFC-14	R14	CF ₄	7390	6630	7380
	PFC-116	R116	C ₂ F ₆	12200	11100	12400
	PFC-218	R218	C ₃ F ₈	8830	8900	9290
	PFC-318	R318	c-C ₄ F ₈	10300	9540	10200
	PFC-5-1-14	R5114	C ₆ F ₁₄	9300	7910	8620
Mélanges commerciaux (hors substances contrôlées par le protocole de Montréal)		R404a		3 922	3 943	4728
		R407a		2 107	1 923	2262
		R407c		1 774	1 624	1908
		R407f		1 825	1 674	1965
		R410a		2 088	1 924	2256
		R417a		2 346	2 127	2508
		R422a		3 140	2 844	3355
		R422d		2 729	2 473	2917
		R427a		2 138	2 024	2397
		R507		3 985	3 985	4775
		R507a		2 465	2 235	2635
Substances contrôlées par le protocole de Montréal	CFC-11	R11	CCl ₃ F	4750	4660	6230
	CFC-12	R12	CCl ₂ F ₂	10900	10200	12500
	CFC-13	R13	CClF ₃	14400	13900	16200
	CFC-113	R113	CCl ₂ FCClF ₂	6130	5820	6520
	CFC-114	R114	CClF ₂ CClF ₂	10000	8590	9430
	CFC-115	R115	CClF ₂ CF ₃	7370	7670	9600
	Halon-1301		CBrF ₃	7140	6290	7200
	Halon-1211		CBrClF ₂	1890	1750	1930
	Halon-2402		CBrF ₂ CBrF ₂	1640	1470	2170
	Carbon tetrachloride		CCl ₄	1400	1730	2200
	Methyl bromide		CH ₃ Br	5	2	2,43

Classement	Désignation		Formule chimique	PRG à 100 ans	PRG à 100 ans	PRG à 100 ans
	Nom 1	Nom 2		AR4	AR5 ^(*)	AR6 ^(***)
	Methyl chloroform		CH ₃ CCl ₃	146	160	161
	HCFC-22	R22	CHClF ₂	1810	1760	1960
	HCFC-123	R123	CHCl ₂ CF ₃	77	79	90,4
	HCFC-124	R124	CHClFCF ₃	609	527	597
	HCFC-141b	R141b	CH ₃ CCl ₂ F	725	782	860
	HCFC-142b	R142b	CH ₃ CClF ₂	2310	1980	2300
	HCFC-225ca	R225ca	CHCl ₂ CF ₂ CF ₃	122	127	137
	HCFC-225cb	R225cb	CHClFCF ₂ CClF ₂	595	525	568
		R502		4657	4 786	5872
		R401a		1182	1 130	1263
		R408a		3152	3 257	3856
Autres gaz fluorés purs	==> non détaillés dans ce tableau, mais disponibles dans le module de recherche					

PRG à 100 ans des divers GES.

() AR4 : 4ème rapport du GIEC (2007) [001](#)*

*(**) AR5 : 5ème rapport du GIEC (2013) [002](#)*

*(***) AR6 : 6ème rapport du GIEC (2023) [006](#)*

*(***) Voir le chapitre [CO2 biogénique](#)*

Il faut noter que certains gaz à effet de serre mentionnés dans le tableau ci-dessus, malgré leur fort PRG, ne sont pas pris en compte par le Protocole de Kyoto. C'est notamment le cas des CFC ou de certains HCFC (R11, R12, R502, R22, R401a et R408a), dont l'éradication était déjà prévue dans le cadre du Protocole de Montréal, raison pour laquelle il était inutile de revenir dessus dans le cadre du protocole de Kyoto. Du reste, l'Union Européenne a interdit (par règlement communautaire), dès 2000, l'emploi des CFC dans les appareils frigorifiques neufs, et interdit l'emploi de ces mêmes gaz pour la maintenance et l'entretien des installations existantes depuis 2001.

De leur côté, les HCFC sont interdits dans les équipements neufs depuis 2004, mais la recharge des équipements existants restera autorisée jusqu'en 2015 sous certaines conditions.

Pour éviter tout risque d'incompatibilité avec les normes existantes ou en vigueur (ISO 14064, en cours de révision), les émissions liées aux gaz non pris en compte dans le protocole de Kyoto sont disponibles de manière discriminée dans la Base Carbone (se reporter au document méthodologique pour plus de détails).

Les PRG utilisés dans la Base Carbone sont ceux de l'AR6 contrairement à ceux présentés dans certaines parties de la présente documentation qui reste à actualiser. Ainsi, en cas de différence, ce sont bien les valeurs de l'application informatique qu'il convient d'utiliser.

Les mélanges commerciaux

Dans le commerce, des mélanges de gaz fluorés sont vendus. Ces mélanges sont principalement utilisés comme fluide frigorigène. Le tableau ci-dessus montre la composition de plusieurs d'entre eux :

Mélanges	HFC-125	HFC-134a	HFC-143a	HFC-600	HFC-600a	HFC-32	PRG AR4	PRG AR5	PRG AR6
R404a	44%	4%	52%				3 922	3 943	4728
R407a	40%	40%				20%	2 107	1 923	2262
R407c	25%	52%				23%	1 774	1 624	1908
R407f	30%	40%				30%	1 825	1 674	1965
R410a	50%					50%	2 088	1 924	2256
R417a	46,6%	50%		3,4%			2 346	2 127	2508
R422a	85,0%	11,5%			3,4%		3 140	2 844	3355
R422d	65,1%	31,5%			3,4%		2 729	2 473	2917
R427a	25%	50%	10%			15%	2 138	2 024	2397
R507	50%		50%				3 985	3 985	4775
R507a	50%	50%					2 465	2 235	2635

Composition et PRG des fluides frigorigènes commerciaux

Source : Wikipédia - liste des réfrigérants [004](#)

Il existe aussi des mélanges qui comprennent des substances contrôlées par le protocole de Montréal. Ils sont traités comme ces dernières.

Mélanges	R22	R115	R152a	R124	R125	R143a	PRG AR4	PRG AR5	PRG AR6
R502	48,8%	51,2%					4 657	4 786	5872
R401a	53%		13%	34%			1 182	1 130	1263
R408a	47%				7%	46%	3 152	3 257	3856

Composition et PRG des fluides frigorigènes commerciaux

Substances contrôlées par le protocole de Montréal

Source : Wikipédia - liste des réfrigérants [004](#)

Sources :

- [\[001\] AR4 : 4ème rapport du GIEC \(2007\)](#)
- [\[002\] AR5 : 5ème rapport du GIEC \(2013\)](#)
- [\[003\] Rapport CRF CCNUCC 2012](#)
- [\[004\] Wikipédia - liste des réfrigérants](#)
- [\[006\] AR6 : 6ème rapport du GIEC \(2023\)](#)

2.2 CO₂ biogénique

Le carbone biogénique est le carbone contenu dans la biomasse d'origine agricole ou forestière, émis lors de sa combustion ou dégradation, ainsi que celui contenu dans la matière organique du sol. Quelle que soit son origine, biogénique ou fossile, une molécule de CO₂ agit de la même façon sur l'effet de serre. Cependant, au contraire des énergies fossiles, la biomasse peut se renouveler à l'échelle humaine, avec des cycles plus ou moins longs (cultures annuelles, forêts).

Les écosystèmes où cette biomasse est produite (terres agricoles ou forêts) sont des réservoirs de carbone (incluant les stocks de carbone dans la biomasse vivante et morte, la litière et la matière organique des sols). Ces réservoirs de carbone échangent du carbone avec l'atmosphère. Trois cas de figure peuvent se présenter :

- ces réservoirs sont une source de carbone (émission vers l'atmosphère) si les stocks dans ces réservoirs se réduisent, c'est-à-dire, lorsque les flux de carbone sortants (les émissions par combustion/dégradation de biomasse et respiration des sols) sont supérieurs aux flux entrants (absorptions liées à la croissance des plantes).
- il y a un flux net nul de carbone entre l'atmosphère et le réservoir si les stocks de carbone dans le réservoir restent stables, c'est-à-dire un équilibre entre les sorties et entrées de carbone du réservoir.
- il y a un puits de carbone permettant de retirer du carbone atmosphérique¹ si les stocks dans ces réservoirs augmentent, c'est-à-dire les absorptions de carbone sont supérieures aux émissions biogéniques.

(1) Notons la différence de définition entre absorption de CO₂ et puits de carbone. Un puits de carbone est tout système qui absorbe plus de carbone qu'il n'en émet. Au-delà d'absorber du CO₂, il faut que celui-ci reste séquestré en dehors de l'atmosphère pour créer un « puits de carbone ».

Comprendre l'impact climatique des émissions biogéniques d'origine anthropique nécessite d'évaluer l'influence de l'activité humaine sur les stocks et les puits de carbone des écosystèmes. Les activités agricoles ou forestières peuvent avoir une influence (négative, positive, neutre) sur le niveau de stockage de carbone dans ces réservoirs terrestres. Les impacts (négatifs ou positifs) des activités humaines sont généralement associés à un changement de conditions

(changement d'affectation des sols, mode de gestion des forêts, changement des pratiques agricoles).

Les exercices de quantification des GES considèrent de façon différente les émissions de CO₂ d'origine biogénique et celles d'origine fossile. Ainsi, la Base Carbone® quantifie et affiche de façon séparée les émissions d'origine fossile (CO_{2f}) et celles d'origine biogénique (CO_{2b}).

Bien que les émissions biogéniques soient la plupart du temps visibles dans les données de la Base Carbone® de l'ADEME, il a été admis que, sous certaines conditions, les émissions de CO₂ issues de la combustion du bois pouvaient être considérées comme équivalentes aux flux captés lors de la croissance de la biomasse, donc matérialisées par une valeur nulle. Ce bilan carbone global neutre a été considéré valable en France métropolitaine comme dans tous les pays où il y a peu de déforestation, pour l'ensemble de la biomasse agricole, et pour le bois lorsque les prélèvements restent en deçà de l'accroissement biologique forestier² en attribuant ainsi l'accroissement forestier annuel au contrebalancement des émissions de CO₂ biogéniques.

(2) En France, le taux moyen de prélèvements de bois entre 2009-2017 pour l'ensemble des usages représente 60 % de l'accroissement biologique de la forêt. Les objectifs du développement du bois énergie établis dans les politiques publiques ont été fixés en s'assurant que le taux de prélèvement pour l'ensemble des usages reste en deca de l'accroissement des forêts.

La quantification séparée des émissions biogéniques a pour conséquence que celles-ci ne sont pas prises en compte dans le "Total CO_{2e}" qui s'affiche sur l'écran de l'application informatique. Ces données sont affichées pour la plupart des FE dans la colonne CO_{2b} qui est consultable en cliquant sur le bouton "voir détail".

Suite à la dernière publication du GIEC (IPCC AR6), une distinction est également faite entre le CH₄ fossile (CH_{4f}) et le CH₄ biogénique (CH_{4b}) - leurs PRG étant différents. Attention, contrairement, aux émissions de CO₂ biogénique, les émissions de CH₄ biogénique sont bien incluses dans le résultat final.

Dans le cas d'une utilisation des données de la Base Carbone® dans des pays/régions³ où se pose la question de la déforestation, les impacts associés à ces changements d'occupations des sols devraient être intégrés en référence aux éléments d'évaluation proposés par le GIEC.

(3) On notera que cette problématique peut se poser pour la biomasse d'origine DROM-COM. En effet, il y a par exemple de la déforestation en Guyane.

Cependant, il est important de garder à l'esprit que ces conditions (non déforestation et prélèvements en deçà de l'accroissement au niveau national) sont nécessaires mais non

suffisantes pour évaluer l'impact climatique des émissions de CO₂ d'origine biogénique. En effet, elles ne permettent pas de tenir pleinement compte des impacts de changements de pratiques de gestion forestières ou agricoles sur les stocks et les puits de carbone.

Par exemple, une augmentation de la récolte de bois dans les forêts modifie les dynamiques de stockage de carbone dans la biomasse et les sols de ces écosystèmes. Différentes études scientifiques [020](#) & [021](#) montrent qu'une augmentation de la récolte dans les forêts existantes réduirait le rôle que les écosystèmes forestiers (intégrant la biomasse et les sols) peuvent jouer comme puits de carbone à l'horizon 2050.

Cet effet sur le puits peut s'expliquer par le fait qu'augmenter la récolte augmente les émissions de CO₂ biogéniques alors que l'accroissement biologique des forêts n'augmente ni au même rythme ni dans les mêmes proportions. Ainsi, le puits forestier se réduit. Les échelles de temps sont importantes : d'un côté la régénération met du temps à reconstituer les stocks et de l'autre côté, sans la hausse de la récolte, le carbone serait resté séquestré dans les forêts et les arbres auraient également pu continuer leur croissance plus longtemps. Cette croissance plafonne à un certain âge, ce qui implique que l'impact est toutefois borné. Le carbone du sol rentre également en compte ; intensifier les coupes peut conduire à réduire les dynamiques de stockage du carbone dans les sols.

L'ampleur de l'effet sur les stocks et les puits de carbone dépend des pratiques sylvicoles mises en œuvre, ainsi que de la manière dont ces pratiques affectent la résilience des forêts face au changement climatique et aux diverses crises qu'elles pourraient être amenées à subir (tempêtes, incendies, sécheresse, invasions biologiques, etc.).

Sources :

- [20] *Etude BiCaFF : Valade, A., Bellassen, V., Luyssaert, S., Vallet, P., & Njakou Djomo, S. (2017). Bilan carbone de la ressource forestière française - Projections du puits de carbone de la filière forêt-bois française et incertitude sur ses déterminants (p. 66). auto-saisine. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01629845>*
- [21] *Dhôte, J.-F., Roux, A., Schmitt, B., Bastick, C., Colin, A., Rigolot, É., Bastien, J.-C., Leban, J.-M., & Gardiner, B. (2017). Quel rôle pour les forêts et la filière forêt-bois françaises dans l'atténuation du changement climatique ?*

Part



3 Catégorie 1 : Emissions directes de GES

Les émissions directes correspondent aux émissions de GES physiquement produit par une activité : la combustion d'un combustible, les émissions de process, les fuites de gaz fluorés... Ce sont notamment ces émissions directes qui permettent d'établir les inventaires nationaux tels que ceux demandés dans le cadre de la CCNUCC.

Dans le chapitre combustibles, nous avons systématiquement **rajouté une partie amont** aux facteurs d'émissions des combustibles. Cela correspond aux **émissions liées à la mise à disposition du combustible**. Les étapes d'extraction, de process de transformation, de transport et de distribution du combustible sont ainsi prises en compte. Ces impacts sont restitués de manière différenciés dans l'application informatique. On y accède via le bouton "voir détail".

3.1 Combustibles

Ce chapitre fournit les facteurs d'émissions par type de combustibles :

- **Fossiles** : hydrocarbures bruts ou dérivés issus du charbon, du pétrole et du gaz.
- **Organiques** : combustibles issus de la biomasse - biocombustibles, biocarburants et biogaz.

Ces facteurs d'émissions sont décomposés en deux parties :

- Une partie **combustion** qui permet de calculer les émissions in situ
- Une partie **amont** qui ne concernent que les émissions de **production et transport du combustible** (extraction, transport, raffinage, distribution...)

Pour réaliser le bilan d'émissions de GES, on procède comme suit :

- La part combustion de ces facteurs d'émissions permet de renseigner les postes n°1.1 ou n°1.2 (1. Emissions directes de GES)
- La part amont permet de renseigner le poste n°4.1 (4. Emissions indirectes associées aux produits achetés)

3.1.1 PCI et masses volumiques

3.1.1.1 PCI et masse volumique

Description

Pour assurer la conversion des facteurs d'émissions énergétiques en facteurs d'émissions massiques ou volumiques, on doit utiliser deux caractéristiques des combustibles : leur PCI et leur masse volumique.

Pour calculer le facteur d'émissions **massique** du combustible, on applique la formule suivante :

$$FE_{\text{massique}} (i) = FE_{\text{énergétique}} (i) * PCI (i)$$

où i est le combustible

$FE_{\text{massique}} (i)$ est le facteur d'émissions massique du combustible exprimé en $\text{kgCO}_2/\text{tonne}$

$FE_{\text{énergétique}} (i)$ est le facteur d'émissions énergétique du combustible exprimé en kgCO_2/GJ

$PCI (i)$ est le pouvoir calorifique inférieur du combustible exprimé en GJ/tonne

Pour calculer le facteur d'émissions **volumique** du combustible (liquide ou gazeux), on applique la formule suivante :

$$FE_{\text{volumique}} (i) = FE_{\text{énergétique}} (i) * PCI (i) * MV (i)$$

où i est le combustible

$FE_{\text{volumique}} (i)$ est le facteur d'émissions volumique du combustible exprimé en kgCO_2/m^3

$FE_{\text{énergétique}} (i)$ est le facteur d'émissions énergétique du combustible exprimé en kgCO_2/GJ

$PCI (i)$ est le pouvoir calorifique inférieur du combustible exprimé en GJ/t

$MV (i)$ est la masse volumique du combustible exprimée en t/m^3

PCI - Pouvoir Calorifique Inférieur

Les PCI des principaux combustibles sont indiqués dans les tableaux ci-dessous :

Combustibles solides	Recommandation France		Recommandation Europe	
	GJ/T	Source	GJ/T	Source
Charbon à coke	26	ETS 101 + OMINEA 102	28,5	Décision 2007/589/CE
Charbon à vapeur	26	ETS + OMINEA		
Charbon sous-bitumineux	20	ETS + OMINEA		
Agglomérés de houille	32	ETS + OMINEA		
Lignite	17	ETS + OMINEA	11,9	Décision 2007/589/CE
Briquettes de lignite	17	ETS + OMINEA		
Tourbe	11,6	ETS + OMINEA	9,8	Décision 2007/589/CE
Houille	32	OMINEA		
Anthracite	26,7	Décision 2007/589/CE 103	26,7	Décision 2007/589/CE
Schistes bitumineux	9,4	OMINEA	8,9	Décision 2007/589/CE
Coke de houille	28	ETS + OMINEA	28	Décision 2007/589/CE
Coke de lignite	17	ETS + OMINEA	28,2	Décision 2007/589/CE
Coke de pétrole	32	ETS + OMINEA		
Ordures ménagères	9,3	ETS + OMINEA		
Pneumatiques	26	ETS + OMINEA		
Plastiques	23	ETS + OMINEA		

PCI des combustibles fossiles solides

Combustibles liquides	Recommandation France		Recommandation Europe	
	GJ/T	Source	GJ/T	Source
Pétrole Brut	42	OMINEA	42,3	Décision 2007/589/CE
Fioul domestique	42	ETS + OMINEA	43	Directive 2009/28 CE
Fioul lourd	40	ETS + OMINEA	40	OMINEA
Combustible haute viscosité (CHV)	39,2	ETS + OMINEA		
Essence	44	OMINEA	43	OMINEA / CITEPA 2021
Gasoil	42,6	OMINEA	43	OMINEA / CITEPA 2021
Butane	45,6	CFBP 114	47,3	Décision 2007/589/CE
Propane	46	CFBP	47,3	Décision 2007/589/CE
GPL	46	ETS + OMINEA		
Carbureacteur jet B et essence aviation (AvGas)	44	OMINEA	44,3	Decision 2009/339/CE
Essence aviation	44	OMINEA	44,3	Decision 2009/339/CE
Kérosène (jet A et A1)	44	OMINEA	44,1	Decision 2009/339/CE
Naphta	45	ETS + OMINEA	44,5	Décision 2007/589/CE
Huiles de schistes	36	ETS + OMINEA	38,1	Décision 2007/589/CE
Bitumes	40,2	OMINEA	40,2	Décision 2007/589/CE
Lubrifiants	40,2	ETS + OMINEA		
White-spirit	41,9	ETS + OMINEA		
Autres produits pétroliers	40,2	ETS + OMINEA		

PCI des combustibles fossiles liquides

Combustibles gazeux	Recommandation France		Recommandation Europe	
	GJ/T	Source	GJ/T	Source
gaz naturel			48	Décision 2007/589/CE
gaz naturel - type H	49,6	ETS + OMINEA		
gaz naturel - type B	38,2	ETS + OMINEA		
gaz naturel liquéfié	49,6	ETS + OMINEA	44,2	Directive ETS
gaz de haut fourneau	2,3	ETS + OMINEA	2,5	Décision 2007/589/CE
gaz de cokerie	31,5	ETS + OMINEA	38,7	Décision 2007/589/CE
gaz d'aciérie	6,9	ETS + OMINEA		

*PCI des combustibles fossiles gazeux***Masses volumiques**

Les masses volumiques des principaux combustibles sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

Combustibles solides	kg/m ³	Source
Pétrole Brut	900	Hypothèse Ademe
Fioul domestique	845	circulaire n°9501 du 28 déc 2004 150
Fioul lourd	900	Hypothèse Ademe
Essence	747	CPDP fiche de spé. N°1-2-10 de la CSR
Gasoil	832	CPDP fiche de spé. N°4-0-08 de la CSR
Butane	538	Directive 1999/100/CE du 15 décembre 1999 121
Propane	538	Directive 1999/100/CE du 15 décembre 1999
GPL	538	Directive 1999/100/CE du 15 décembre 1999
Carbureacteur jet B et essence aviation (AvGas)	800	circulaire n°9501 du 28 déc 2004
Essence aviation	800	circulaire n°9501 du 28 déc 2004
Kérosène (jet A et A1)	800	circulaire n°9501 du 28 déc 2004

Masse volumique des combustibles fossiles liquides

Combustibles gazeux	kg/m ³	Source
gaz naturel	0,654	Directive 1999/100/CE du 15 décembre 1999

*Masse volumique du gaz naturel (à 15°C)***Sources :**

[\[101\] MEDDE - Arrêté du 31 octobre 2012 relatif à la vérification et à la quantification des émissions déclarées dans le cadre du système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre pour sa troisième période \(2013-2020\) - 30/09/2012](#)

[\[102\] CITEPA - Rapport OMINEA 2012](#)

[\[103\] Décision 2007/589/CE définissant des lignes directrices pour la surveillance et la déclaration des émissions de gaz à effet de serre, conformément à la directive 2003/87/CE du Parlement européen et du Conseil](#)

[\[114\] IFP-CFBP, EETP - European Emission Test Programme, 2004](#)

[\[121\] Directive 1999/100/CE de la Commission, du 15 décembre 1999](#)

[\[150\] circulaire n°9501 du 28 déc 2004](#)

3.1.1.2 Passage du PCS au PCI

Description

Tous les combustibles fossiles comprennent, en quantités variables, du carbone et de l'hydrogène. Leur combustion produit donc toujours du CO₂ et de l'eau, sous forme de vapeur, avec un dégagement de chaleur. La quantité de chaleur, exprimée en kWh ou MJ, qui est dégagée par la combustion (dans l'air) d'une unité donnée du combustible suppose :

- que la combustion est complète,
- que la pression est constante à 1,01325 bar,
- que le carburant et l'air sont à une température initiale de 0°C, et que tous les produits de combustion sont ramenés à la température de 0°C ensuite.

Du fait de la présence de vapeur d'eau dans les produits de combustion, il existe deux manières de mesurer l'énergie disponible par unité de combustible, selon que l'eau reste sous forme gazeuse ou aura condensé pour l'essentiel une fois ramenée à 0°C.

- Lorsque l'eau formée pendant la combustion **est conservée à l'état gazeux** (vapeur), la quantité de chaleur mesurée correspond au Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI).
- Lorsque l'eau formée pendant la combustion **est pour l'essentiel ramenée à l'état liquide** (les autres produits restant à l'état gazeux)*, la quantité de chaleur mesurée correspond au Pouvoir Calorifique Supérieur (PCS).

* Même à 0°C, il subsiste une pression de vapeur saturante non nulle pour l'eau

La distinction PCS/PCI réside donc dans le fait que le PCS intègre l'énergie libérée par la condensation* de l'eau (appelée chaleur latente de condensation) après la combustion tandis que le PCI ne l'intègre pas.

* La condensation correspond au passage de l'état gazeux à l'état liquide

L'exploitation de la chaleur latente de la condensation (dans des chaudières éponymes) est relativement récente. De la sorte, lorsqu'il n'est pas précisé dans la bibliographie si les valeurs disponibles sont exprimés en PCS ou PCI, **elles sont réputées être des valeurs PCI par défaut**. Bien évidemment ce point a été vérifié chaque fois que possible.

Le passage du PCI au PCS (ou inversement) dépend de la part de la vapeur d'eau dans les produits de combustion, donc de la proportion d'hydrogène dans le combustible initial. Le tableau ci-dessous donne la valeur à utiliser selon le combustible concerné.

Combustible liquide ou gazeux	Rapport PCS/PCI	Source
Gaz naturel	1,111	www.thermexcel.com ¹⁶⁰
GPL	1,087	www.thermexcel.com
Essence	1,08	Extrapolation
Diesel, fioul domestique	1,075	www.thermexcel.com
Fioul lourd	1,065	www.thermexcel.com
Charbon	1,052	www.thermexcel.com

Rapport PCS/PCI pour les combustibles liquides ou gazeux

Pour le gaz naturel, par exemple, 1 kWh PCS équivaut à 0,9 kWh PCI. Cela signifie que le facteur d'émission par unité d'énergie augmente de 11% lorsque l'on passe du PCS au PCI (ou inversement diminue de 11% lorsque l'on passe du PCI au PCS, puisque dans ce dernier cas on exploite 11% d'énergie en plus - la chaleur latente - sans combustion supplémentaire).

Sources :

[160] Site internet : www.thermexcel.com

3.1.1.3 Conversions énergétiques

Description

Une table de conversion, permettant de passer d'une unité énergétique à une autre, est présentée ci-dessous:

unité	tep	tec	Joule	kWh PCI	BTU	m ³ de gaz naturel	tonne bois 20% hum
tep	1	1,43	4,19E+10	11 628	39 675 657	1 200	2,98
tec	0,700	1	2,93E+10	8 136	27 759 690	840	2,09
Joule	2,39,E-11	3,41E-11	1	2,78E-07	0,000948	2,87E-08	7,12E-11
kWh PCI	8,60,E-05	1,23E-04	3,60E+06	1	3 412	0,10	2,56E-04
BTU	2,52,E-08	3,60,E-08	1 055	0,00029	1	3,02E-05	7,51E-08
m ³ de gaz nat.	0,00083	0,00119	3,49E+07	9,690	33 063	1	0,00248
t bois 20% humidité	0,335	0,479	1,40E+10	3 900	13 307 363	402	1

Sources :

[\[005\] Association Bilan Carbone - Tableur Bilan Carbone](#)

3.1.2 Fossiles

Le terme "combustibles fossiles" désigne tous les **produits bruts ou dérivés issus du pétrole, du gaz naturel et du charbon**.

Les facteurs d'émission calculés ci-dessous ont pour objet de convertir des données facilement disponibles au sein de l'organisation réalisant son bilan d'émissions de GES (tonnes de charbon, kWh de gaz, litres d'essence...) en émissions de gaz à effet de serre.

Ils concernent tous les usages de l'énergie fossile : chauffage, alimentation de fours industriels, alimentation de machines fixes ou mobiles... Ils sont également utilisés, dans le cadre du présent document, pour obtenir des facteurs d'émissions applicables à d'autres postes (utilisation de moyens de transports, production de matériaux de base...).

3.1.2.1 Solides

Description globale

Les combustibles fossiles solides retenus dans la Base Carbone® sont les suivants :

- Des charbons (tourbe, lignite, houille, anthracite...)

Il existe une grande variété de type de **charbons** liée à des **niveaux de houillification différents**. Ils se distinguent notamment par leur humidité, leur teneur en carbone ou leur pouvoir calorifique différents. Il n'existe pas de définition unique internationalement retenue permettant de classer précisément les charbons. Toutefois, on peut garder à l'esprit les ordres de grandeur suivant :

Type de charbon	Teneur en carbone	PCI (valeur France)	PCI (valeur Europe)
Tourbe	50 à 55%	11,6 GJ /tonne	9,8 GJ /tonne
Lignite	55 à 75%	17 GJ /tonne	11,9 GJ /tonne
Houille	75 à 90%	32 GJ /tonne	-
Anthracite	90 à 95%	26,7 GJ /tonne	26,7 GJ /tonne

Dans les centrales électriques au charbon, on utilise du **charbon à vapeur**.

■ Les schistes bitumineux

Les **schistes bitumineux** ne sont pas à proprement parler des combustibles fossiles . Il s'agit de roches sédimentaires à grain fin contenant des **kérogènes** (substance intermédiaire entre la matière organique et les combustibles fossiles). L'exploitation des schistes bitumineux a été délaissée pour des raisons économiques.

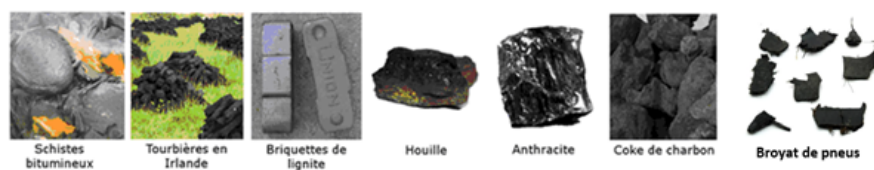
■ Des cokes de charbon (coke de houille, coke de lignite) et le coke de pétrole

Ensuite, les **cokes de charbons** sont les combustibles obtenus par pyrolyse du **charbon à coke** dans des cokeries. Ils sont principalement utilisés en sidérurgie pour réduire le minerai de fer dans un haut-fourneau afin d'obtenir la fonte qui est ensuite transformée en acier.

Enfin, le **coke de pétrole** est un coproduit issu du raffinage du pétrole. Il est utilisé comme combustible ou comme matériau pour la fabrication d'électrode.

■ Des déchets dont une partie est issue de l'industrie pétrochimique (plastiques, pneumatiques, ordures ménagères)

Les combustibles de substitution issus des pneus usagés sont plébiscités depuis de nombreuses années dans les industries énergivores, et plus particulièrement en cimenterie. Grâce à son pouvoir calorifique élevé, entre celui du charbon et du pet coke, il se révèle être très intéressant en substitution des énergies fossile. En plus d'être un combustible alternatif, le pneu usagé possède l'intérêt de contenir une partie de carbone biogénique. En effet, la gomme de celui-ci est en partie issu de l'hévéa, qui est cultivé pour la production de caoutchouc naturel.



Émissions amont

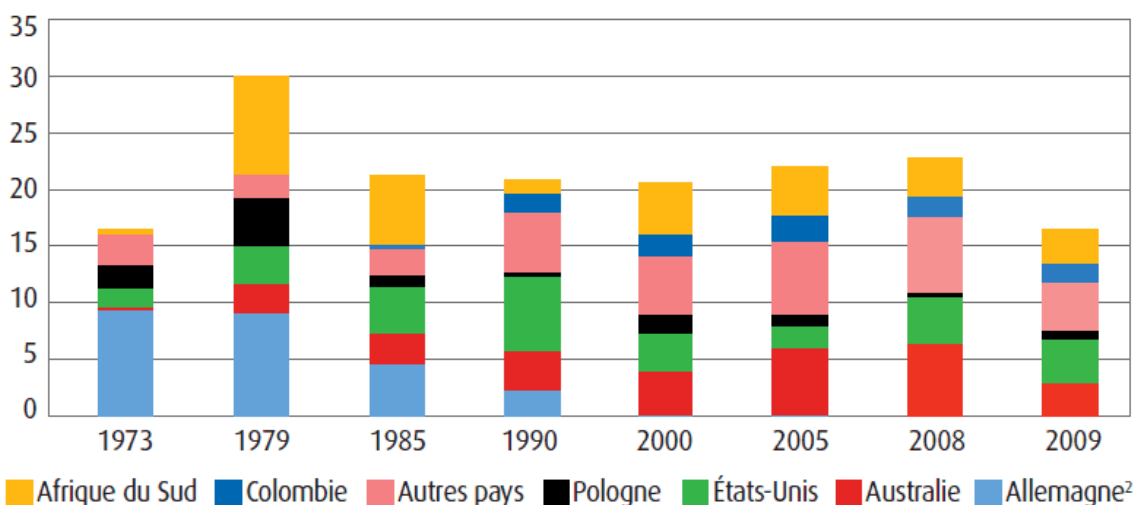
Cas des charbons & autres combustibles fossiles solides hors déchets

Les valeurs des émissions amont des combustibles fossiles solides sont tirées d'une étude de l'IFP sur les émissions liées à l'extraction et au transport du charbon pour la France, sachant que l'essentiel de notre consommation est importée par voie maritime de pays exportateurs (Australie, États-Unis et Afrique du Sud pour les trois premiers avec une certaine stabilité depuis le début des années 2000). Elle fait état de 7,6 grammes équivalent CO₂ par MJ d'énergie finale dont 2,2 pour le transport.

La faiblesse de la part liée au transport est due au fait que ce dernier est pour l'essentiel maritime. Cette contribution change peu si l'exportation se fait depuis un pays plus proche ou plus lointain. Il en irait tout autrement si l'importation se faisait par voie terrestre, le train ayant une efficacité à la tonne.km 10 à 20 fois plus faible que celle d'un gros minéralier. La distance de provenance serait alors un déterminant important des émissions amont. Ainsi, puisque le transport du charbon se fait principalement par voie maritime, c'est **sa qualité qui influe surtout sur les émissions** par tep.

Importations de charbon¹ par pays d'origine

Millions de tonnes



Source : Chiffres clés de l'énergie, Octobre 2010

Faute de disposer de données particulières pour les autres combustibles solides, nous appliquerons les mêmes émissions à l'ensemble des types de charbon.

Combustible	t de gaz par TJ PCI			
	Extraction et process		Transport	
	CO ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄
Charbon	1,1	0,185	2,2	0

Facteurs d'émissions amont des combustibles fossile solides par unité énergétique

Ces émissions sont transformées en tCO_{2e} après multiplication par le PRG du gaz correspondant.

Pour le coke de pétrole, nous utilisons les émissions amont du fioul lourd, soit 12,4 tCO_{2e}/TJ..

Cas des déchets : pneumatiques usagés

Les émissions « amont » des pneumatiques usagés sont issues de l'« Analyse de cycle de vie pour les différentes voies de valorisation des pneus usagés », réalisée par [Aliapur 2009](#).

Pour cela, le cheminement des PUNR depuis le gisement jusqu'à la valorisation a été reconstitué, soit :

- **Collecte des pneus usagés des détenteurs vers les centres de tri.** Les véhicules utilisés assurent un transport en « vrac » ou en « benne » ;
- **Transfert des PUNR des centres de tri vers les plateformes de transformation.** C'est au niveau de ces plateformes que les PUNR sont convertis en broyats et en granulats. Dans un nombre important de cas, ce transfert n'a pas lieu car le centre de tri et la plateforme de transformation sont intégrés et se trouvent en un même lieu ;
- **Transport des PUNR vers les valorisateurs.** Deux cas peuvent se présenter dans cette dernière étape : 1) Si la valorisation a lieu en France, les PUNR sont directement acheminés vers les valorisateurs. 2) Si la valorisation a lieu au Maroc, en Finlande ou en Suède (cimenterie, chaufferie urbaine), les pneus transitent au préalable par des plateformes de transit (préacheminement) avant envoi par bateau vers les valorisateurs (acheminement principal), puis éventuellement sont transportés sur une courte distance (post-acheminement).

Hormis le transport, les émissions dues au broyage des pneus usagés ont également été modélisées. En effet, les pneus entiers doivent être broyés avant d'être valorisés dans certaines filières : cimenterie, chaufferie urbaine, bassins infiltrants, aciéries et fonderies. Le broyage consiste en une découpe des pneus sous forme de fragments de taille d'une dizaine de centimètres environ.

Les éléments suivants ont été pris en compte dans la modélisation de l'étape de broyage :

- Consommations énergétiques et consommables : électricité, gaz naturel, diesel, GPL, huiles

– Eau : refroidissement

Sachant que pour 1 t de PUNR entrant, la quantité de broyats produite est indépendante de la technologie utilisée (rendement de 100%).

Il ressort que l'étape de broyage a une contribution limitée au bilan global des voies de valorisation, elle est considérée comme négligeable devant les impacts dus aux transports.

In fine, pour un mix combustible moyen France, nous retenons un ordre de grandeur d'émission amont de 1,55 kg eq. CO₂/GJ PCI.

Emissions combustion

Cas des charbons & autres combustibles fossiles solides hors déchets

Les facteurs d'émission par unité d'énergie (CO₂/GJ) liés à la combustion et les contenus énergétiques par unité de poids (GJ/t) des principaux combustibles solides sont issus :

- Des valeurs par défauts pour les installations soumises à l'EU-ETS¹⁰¹
- Du rapport OMINEA 2011 du CITEPA pour la France¹⁰²
- De la décision 2007/589/CE de 2007 pour l'antracite¹⁰³

La part CH₄ et N₂O de ces facteurs d'émissions sont des valeurs moyennes pour sources fixes.

Combustibles fossiles solides	Amont (tCO ₂ e/TJ)	Combustion (t de gaz /TJ)			Combustion (tCO ₂ e/TJ)
		CO ₂ f	CH ₄	N ₂ O	
Charbon à coke	7,9	95	0,001	0,0030	95,9
Charbon à vapeur	7,9	95	0,001	0,0030	95,9
Charbon sous-bitumineux	7,9	96	0,001	0,0030	96,9
Houille	7,9	95	0,010	0,0030	96,1
Agglomérés de houille	7,9	95	0,001	0,0030	95,9
Lignite	7,9	100	0,015	0,0030	101
Briquettes de lignite	7,9	98	0,015	0,0030	99,3
Tourbe	7,9	110	0,001	0,0015	111
Anthracite	7,9	98,3	0,001	0,0015	98,8
schistes bitumineux	7,9	107	0,001	0,0015	107
Coke de houille	7,9	107	0,010	0,0030	108
Coke de lignite	7,9	108	0,010	0,0030	109
Coke de pétrole	12,4	96	0,003	0,0025	96,8

Facteurs d'émissions liés à la combustion en tCO₂e/TJ PCI

Cas combustibles fossiles solides type déchets : pneumatiques usagés

Deux typologies de pneumatiques sont proposées : véhicule léger & poids lourd, qui représentent plus de 93% des volumes collectés chaque année. A noter que la proportion entre les pneus VL et PL est stable depuis plusieurs années, avec des moyennes respectives de 83% / 17% sur la période 2015-2018, permettant in fine la proposition d'un contenu moyen.

Aliapur a réalisé en 2019 une campagne de caractérisation similaire à deux campagnes précédentes de 2008 et 2015, permettant de confirmer les évaluations des contenus GES par échantillonnage. On observe une bonne stabilité des différents facteurs d'émission sur cette période de dix ans, notamment sur la part des émissions liées au carbone non biogénique.

En $kgCO_2 / GJ$		CO ₂ fossile	CO ₂ biogénique
Pneus France	VL	62	27
Pneus France	PL	43	45
Mix France	moyen	59	30

Facteurs d'émissions

Cas des charbons & autres combustibles fossiles solides hors déchets

On peut convertir les facteurs d'émissions massiques ci-dessus en facteurs d'émissions énergétiques grâce aux [PCI](#). On calcule les totaux amont + combustion suivants :

Combustibles fossiles solides	Amont + Combustion (en kgCO ₂ e / ...)			
	GJ	kWh	tep	tonne
Charbon à coke	104	0,374	4360	2700
Charbon à vapeur	104	0,374	4360	2700
Charbon sous-bitumineux	105	0,377	4400	2100
Houille	104	0,375	4370	3330
Agglomérés de houille	104	0,374	4360	3320
Lignite	109	0,393	4590	1860
Briquettes de lignite	107	0,386	4500	1820
Tourbe	118	0,426	4970	1370
Anthracite	106	0,384	4480	2850
schistes bitumineux	115	0,414	4830	1080
coke de houille	116	0,418	4880	3250
coke de lignite	117	0,421	4920	1990
coke de pétrole	109	0,393	4590	3500
Ordures ménagères	96	0,346	4030	-
Pneumatiques	85	0,306	3570	-
Plastiques	75	0,270	3150	-

Facteurs d'émissions amont et combustion des combustibles solides

Cas combustibles fossiles solides type déchets : pneumatiques usagés

In fine, les facteurs d'émissions proposés se décomposent de la manière suivante :

En kgCO ₂ /GJ	Amont	Combustion – CO ₂ fossile	Combustion – CO ₂ b
Véhicules légers	1,55	62	27
Poids lourds	1,55	43	45
Mix moyen France	1,55	59	30

L'incertitude sur ces valeurs est proposée à 20%, correspondant à l'écart-type maximal observé sur la partie biogénique des pneus PL. Les autres facteurs d'émission ont des incertitudes plus faibles, inférieures à 10%.

Données « Label E+ /C- »



Dans le cadre des réflexions sur la Performance Environnementale des Bâtiments Neufs (PEBN), des travaux ont été menés pour établir un référentiel « Energie-Carbone » à mettre en œuvre dans le cadre de l'expérimentation nationale du Label E+/C-. Les facteurs d'émissions associés ne sont à utiliser que dans ce cadre très précis.

Plus d'informations sur le [site de l'expérimentation](#).

Sources :

[101] [Arrêté du 31 octobre 2012 relatif à la vérification et à la quantification des émissions déclarées dans le cadre du système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre pour sa troisième période \(2013-2020\)](#)

[102] [Rapport OMINEA 2011, CITEPA](#)

[103] [Décision 2007/589/CE définissant des lignes directrices pour la surveillance et la déclaration des émissions de gaz à effet de serre, conformément à la directive 2003/87/CE du Parlement européen et du Conseil](#)

[943] [MEEM - MLHD - Référentiel Bâtiment « Energie-Carbone » - Label E+/C-](#)

3.1.2.2 Liquides

Description globale

Les combustibles fossiles liquides sont principalement issus de l'industrie pétrolière.

Les **raffineries** de pétrole ont pour fonction de traiter et transformer le pétrole brut en divers produits commercialisables. Les divers co-produits sont séparés par **distillation** comme l'illustre le schéma suivant :

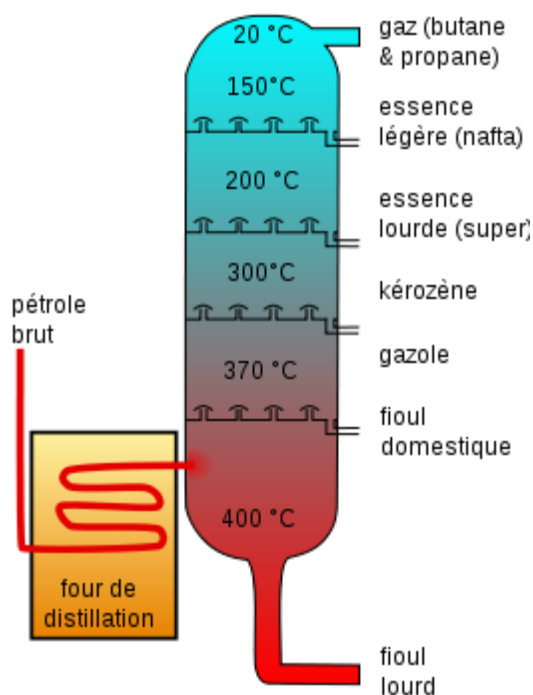


Illustration simplifiée d'une colonne de distillation de raffinerie

Source: Wikipédia - raffinage du pétrole [110](#)

Les gaz "liquéfiés" peuvent aussi constituer une source de combustibles liquides fossiles (GPL, GNV, GNL, GNC).

Classification

Les combustibles fossiles liquides de la Base Carbone® sont triés dans les catégories suivantes :

- Pétrole brut
- Usage source fixe : combustibles utilisés principalement dans les chaudières et les centrales thermiques
- Usage source mobile : carburants (d'origine initialement liquide ou de gaz liquéfiés) pour les transports
- Usage spéciaux

Usage source mobile

Carburant utilisé pour le transport aérien

La donnée proposée dans la Base Carbone® est issue du calculateur TARMAAC (Traitements et Analyses des Rejets éMis dans l'Atmosphère par l'Aviation Civile) de la DGAC (Direction Générale de l'Aviation Civile).

TARMAAC est un outil développé par la DGAC en coopération avec le CITEPA (Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique), notamment utilisé pour établir l'inventaire des émissions du trafic aérien de la France dans le cadre des engagements pris lors du protocole de Kyoto (niveau national). Il s'appuie sur des méthodes internationales utilisées pour les inventaires d'émissions et sur des données de trafic réelles allant jusqu'au vol à vol (type avion, origine destination, motorisation, chargement en passagers, fret et poste, temps de roulage, etc...).

Le FE proposé intègre les émissions liées à l'amont et la combustion du carburant, durant les phases de vol, roulage et stationnement. Elles intègrent donc de fait les consommations des APU (groupe auxiliaire de puissance).

Le FE du kérosène considéré est identique à celui utilisé par le calculateur TARMAAC :

Energie	Unité	Combustion
Kérosène	kg CO2e/kg fuel	3.16

Sur base de documentation du calculateur TARMAAC, cette quantité de CO2 (3,16) est multipliée par un facteur 1,01 pour obtenir la quantité de GES exprimée en CO2 équivalent afin de prendre en compte la contribution des autres GES aux émissions du transport aérien (essentiellement N2O, celle du CH4 étant inférieure à 0,1%).

Ce facteur d'émission résultant est semblable à celui mentionné dans le rapport du GLEC, publié en février 2025.

Pour la phase de production et de distribution du carburant, les émissions de gaz à effet de serre (en CO2e) sont obtenues en multipliant la quantité de CO2 émise en vol par un facteur 0,22.

Carburants utilisés pour le transport fluvial et ferroviaire

Les facteurs d'émissions pour les carburants utilisés pour le transport :

- fluvial
- ferroviaire

ont été mis à jour sur base du rapport du GLEC v3.1, publié en février 2025.

Cette mise à jour vise à refléter une évolution méthodologique liée à :

- Prise en compte des émissions ventilées et fugitives de méthane lors des processus d'extraction du pétrole et du gaz
- Prise en compte des émissions de méthane lors du transport par pipeline.

Les valeurs utilisées sont issues du rapport du GLEC v3.1, publié en février 2025 (partie 3 - module 1 "Emission factors" - colonnes "GHG emission operational/TTW" et "GHG emission total/WTW" en kg CO2e/MJ).

Le facteur d'émission lié à l'amont est considéré égal à 26% de celui lié à la combustion.

Carburants utilisés pour le transport routier

Les facteurs d'émissions pour les carburants utilisés pour le transport routier ont été mis à jour sur base du rapport du GLEC v3.1, publié en février 2025.

Cette mise à jour vise à refléter une évolution méthodologique liée à :

- Prise en compte des émissions ventilées et fugitives de méthane lors des processus d'extraction du pétrole et du gaz
- Prise en compte des émissions de méthane lors du transport par pipeline.

Les nouveaux FE se rapportent à :

- Filière diesel (diesel B7, biodiesel)
- Filière essence (essence pompe, bioéthanol B85 et B15)
- Gaz liquéfiés (GPL, GNC, GNL, GNL incorporation bio 20%).

Les valeurs utilisées sont issues du rapport du GLEC v3.1, publié en février 2025 (partie 3 - module 1 "Emission factors" - colonnes "GHG emission operational/TTW" et "GHG emission total/WTW" en kg CO₂e/MJ). Elles ont été converties en litre ou en kilogramme en utilisant les densités et PCI suivants :

Carburants	PCI (MJ/kg)	Densité (kg/l)
Essence	42.5	0.743
Diesel	42.8	0.832
Biodiesel	37.0	0.892
Bioéthanol	27.0	0.760

Carburants	Densité (MJ/kg)
GNC	49.2
GNL	48
GPL	45.5
BioGNC	50

A noter que le GLEC a publié entre-temps une version 3.2 qui présente des valeurs légèrement différentes. Les valeurs de la version 3.1 ont été conservées de manière à rester cohérent avec les FE "transport" publiés dans la version 23.8

Pour les filières "essence" et "diesel", la part des émissions issues des différents gaz proviennent des valeurs d'émissions de CH₄ et N₂O issues de l'étude ACV Biocarburants 2010 (BIOIS).

Carburants utilisés pour le transport maritime

Les facteurs d'émissions pour les carburants utilisés pour le transport maritime ont été mis à jour sur base du rapport du GLEC v3.1, publié en février 2025.

Les nouveaux FE se rapportent à :

- Filière fioul
 - HFO (Heavy Fuel Oil) avec une teneur inférieure à 0,5% de soufre (VLSFO)
 - MGO (Marine Gas Oil) avec une teneur inférieure à 0,1% de soufre (ULSFO)
- Gaz liquéfiés (GNL)

Les valeurs utilisées sont issues du rapport du GLEC v3.1, publié en février 2025 (partie 3 - module 1 "Emission factors" - colonnes "GHG emission operational/TTW" et "GHG emission total/WTW" en kg CO₂e/kg)

A noter que le GLEC a publié entre-temps une version 3.2 qui présente des valeurs légèrement différentes. Les valeurs de la version 3.1 ont été conservées de manière à rester cohérent avec les FE "transport" publiés dans la version 23.8

3.1.2.3 Gaz

Description

Les combustibles fossiles gazeux retenus dans la Base Carbone ® sont les suivants :

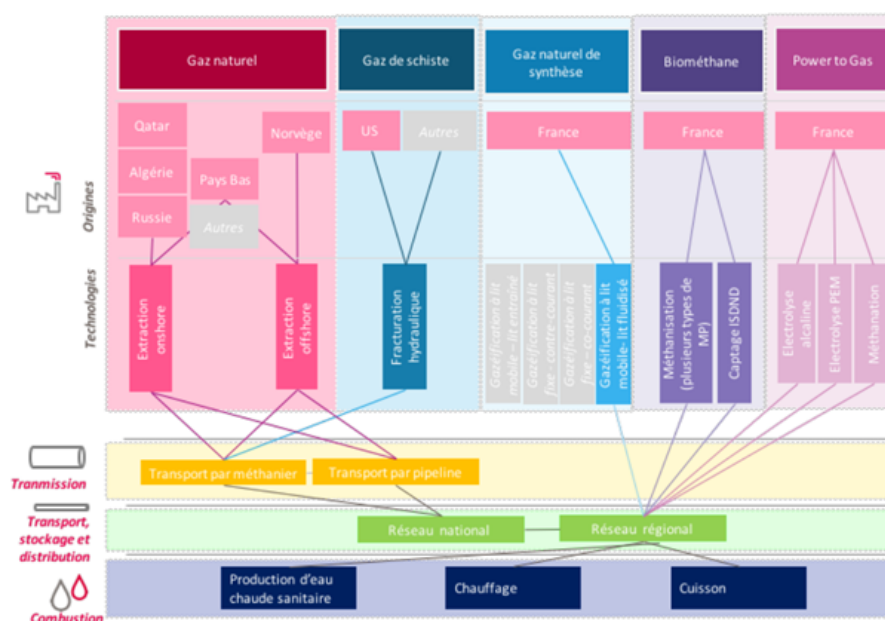
- Le **gaz naturel** est le combustible fossile composé d'un mélange d'hydrocarbures présents naturellement dans des roches poreuses sous forme gazeuse. Il désigne aussi le **gaz de réseau** (le gaz naturel extrait du sol est traité en plusieurs sous-produits, le principal étant le gaz naturel réseau). Dans la Base Carbone ®, les facteurs d'émissions se rapportent à ce gaz de réseau (en France, sa composition est à 88% massique du méthane)¹²³.
- Des **gaz issus d'industries spécifiques** : gaz de haut fourneau, gaz de pétrochimie (raffinerie, cokerie).
- Le **butane** et le **propane**.

Nota : les gaz liquéfiés à base de méthane (GNV, GNL, GNC) ou de propane / butane (GPL) sont décrits dans le chapitre « [combustible à fossile à liquide](#) »

Construction des facteurs d'émissions

Pour les divers combustibles présentés ci-dessus, les facteurs d'émission **pour la France** sont calculés comme suit :

- Pour le gaz naturel, les facteurs d'émissions sont issus de l'étude « Analyse du Cycle de Vie de la chaîne gazière » - GRTgaz, TIGF, STORENGY, GRDF, ELENGY de 2018¹²⁴. L'étude quantifie les émissions « carbone » de l'extraction/production de gaz jusqu'à son utilisation chez le consommateur en France métropolitaine pour l'année 2015.



Périmètre de comptabilisation des émissions (Source : « Analyse du Cycle de Vie de la chaîne gazière » - GRTgaz, TIGF, STORENGY, GRDF, ELENGY)

Le **périmètre** de comptabilisation inclut l'exploration / production, la transmission (transport du lieu d'extraction aux frontières françaises), le transport par gazoduc (pour les filières concernées) ou par méthanier (notamment pour la filière LNG incluant la liquéfaction, le transport par méthanier et la regazéification), le transport et la distribution se différenciant par la pression du réseau, et la combustion (différentes modalités).

Les résultats des **filières** "Gaz naturel conventionnel" (transport par pipeline ou par méthanier) et "Biométhane" sont utilisées et rentrent en compte dans le calcul du facteur d'émission "Gaz Naturel Mix France".

L'ensemble des **processus et flux** ont été intégrés (excepté les activités considérées comme négligeables telles que les activités tertiaires des entreprises (Siège, R&D) ou les étapes de prospection de gaz fossile).

/!\ **Point de vigilance** : les auteurs utilisent dans leurs calculs, un facteur d'émission du biogaz comptabilisant différentes émissions évitées (ce qui le rend, en l'état, non éligible à la Base Carbone®). Compte tenu de la faible part de biogaz dans le réseau en 2015 (0,02%), ces choix n'ont toutefois aucune incidence sur le poids carbone final du « mix méthane » d'où la validation du FE global « gaz naturel ».

■ Pour les gaz de haut fourneau et gaz de cokerie on utilise la réglementation ETS pour les émissions de CO_{2f} et le rapport OMINEA 2011 du CITEPA¹⁰² pour les émissions de CH_4 et N_2O

■ Pour le butane et le propane, voir le [chapitre sur les combustibles fossiles liquides](#)

Pour l'échelle européenne, les données de l'IPCC¹²² sont retenues pour les émissions liées à la combustion.

Actualisation "Gaz naturel 2022" (données 2020)¹²⁵

Le gaz consommé en France en 2020 est considéré être à 95,42% du gaz conventionnel, 4,11% du gaz de schiste et 0,47% du biométhane :

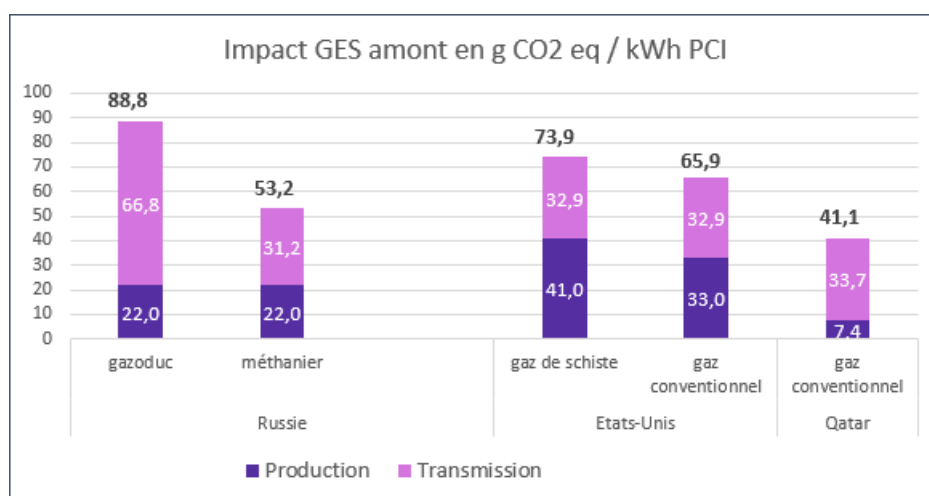
Gaz	Mix considéré pour 2020
Gaz conventionnel Norvège	43,52%
Gaz conventionnel Russie	16,70%
Gaz conventionnel Algérie	9,45%
Gaz conventionnel Nigéria	9,23%
Gaz conventionnel Pays-Bas	8,99%
Gaz conventionnel Qatar	4,17%
Gaz de schiste US	4,11%
Gaz conventionnel US	1,60%
Gaz conventionnel Trinité & Tobago	1,10%
Biométhane France	0,47%
Gaz conventionnel Angola	0,44%
Gaz conventionnel Pérou	0,22%

Le gaz est produit dans chaque pays selon le précédent tableau, puis transmis vers la France soit via pipeline soit via méthanier (sous forme de GNL) :

Pays	% via pipeline	% via GNL
Algérie	0,0%	100,0%
Angola	0,0%	100,0%
Autres Europe	100,0%	0,0%
Nigéria	0,0%	100,0%
Norvège	95,7%	4,3%
Pays-Bas	100,0%	0,0%
Pérou	0,0%	100,0%
Qatar	0,0%	100,0%
Russie	34,2%	65,8%
Trinidad & Tobago	0,0%	100,0%
USA	0,0%	100,0%

Sensibilité sur la substitution du gaz russe

Les impacts comparés des différentes sources d’approvisionnement entrant en compte pour l’analyse de sensibilité sur la substitution du gaz russe pour les étapes de production et de transmission (acheminement jusqu’à la France, par pipe ou par méthanier).



Source : Base ecoinvent pour les émissions de la production en Russie et au Qatar, étude du CIRAIG pour la production aux États-Unis

En ce qui concerne le transport par pipeline du gaz russe, environ 40% des impacts proviennent des fuites du gaz, 57% proviennent de la consommation des compresseurs, 2,5% de la construction des pipelines et moins de 0,5% de la compensation des pertes de gaz.

Le calcul de l’impact GES est basé sur des données des émissions par km de canalisation pour l’acheminement par pipe et les émissions de la liquéfaction/regazéification + transport GNL pour 10 000km pour l’acheminement par méthanier.

L'ensemble de ces données est repris dans les tableaux ci-dessous.

Résultats "Gaz naturel France"

Les résultats, en valeurs absolues, par étape du cycle de vie pour la combustion d'1kWh PCI de gaz naturel du réseau en France (rendement de la combustion : 100%) sont pour 2015 [124](#) et pour 2022 [125](#)

Année	Production (kg CO ₂ e/kWh PCI)	Transmissio n (kg CO ₂ e/kWh PCI)	Transport (kg CO ₂ e/kWh PCI)	Distribution (kg CO ₂ e/kWh PCI)	Combustion (kg CO ₂ e/kWh PCI)	Total (kg CO ₂ e/kWh PCI)
2015	0,0153	0,0206	0,00277	0,00148	0,187	0,227
2022	0,015	0,020	0,001	0,003	0,201	0,240

Poids carbone par étape de Cycle de Vie du "gaz naturel - Mix France 2015" [124](#) et "gaz naturel - Mix France 2022" [125](#)

La conversion en différentes unités se fait à l'aide [des facteurs de conversion énergétiques](#).

Combustible	Total amont + combustion					
	GJ (PCS)	GJ (PCI)	kWh (PCS)	TEP (PCI)	TEP (PCS)	m ³
Gaz naturel "Mix France 2015"	56,85	63,10	0,2046	2641	2380	2,201
Gaz naturel "Mix France 2022"	60,0	66,6	0,216	2790	2513	2,33

*Facteurs d'émissions **amont + combustion** du gaz naturel pour le périmètre **France***

Résultats "Autres Gaz" (hors Gaz naturel "Mix France")

Emissions amont

Combustibles		t de gaz par TJ PCI										Total Amont (tCO2e/TJ PCI)
		Extraction/ production /traitemen t		Transport intern. Pipeline		Liquéfactio n		Distributi on		Reste du process		
		CO2	CH4	CO2	CH4	CO2	CH4	CO2	CH4	CO2	CH4	
Eur.	Gaz naturel	2,0	0,0	1,0	0,1	1,8	0,0	1,5	0,0	0,7	0,0	10,2

Facteurs d'émissions amont des combustibles fossiles gazeux (/TJ PCI)

Le rapport OMINEA 2011 du CITEPA pour la France¹⁰² est utilisé les contenus énergétiques par unité de poids (GJ/t).

La masse volumique du GNL est issue de la directive 1999/100/CE du 15 décembre 1999¹²¹.

Combustibles	Total (kg CO2e/kWh PCI)	Total (kg CO2e/Tep)	PCI en GJ/t	Total en Kg CO2e/t	Masse volumique (kg/m³)	Total en kgCO2e/m³
Eur. Gaz naturel	0,037	427	48	488		

*Facteurs d'émissions amont des combustibles fossiles gazeux
(unités énergétiques, massiques et volumiques) pour le périmètre Europe*

Emissions amont et combustion

Combustibles		TOTAL Amont (tCO2e/TJ PCI)	Combustion (t de gaz /TJ PCI)			TOTAL combustion (tCO2e/TJ PCI)
			CO2	CH4	N2O	
Fr.	Gaz de haut fourneau	0	268	0,0003	0,0025	268,8
	Gaz de cokerie	0	47	0,0003	0,0025	47,8
Eur.	Gaz naturel	10,2	56,1	0,0005	0,0025	56,1

*Facteurs d'émissions amont et combustion des combustibles fossiles gazeux
(tCO2e/TJ PCI) pour le périmètre France et Europe*

S'appuyant sur la même hypothèse concernant la [combustion des déchets solides](#), les gaz de haut fourneaux et de cokerie se voient attribuer une valeur "amont" nulle.

Pour le périmètre européen la source utilisée pour les contenus énergétiques par unité de poids est la décision 2007/589/CE¹⁰³ et la directive ETS¹⁰¹.

Combustibles	Total amont + combustion (tCO2e/TJ PCI)	Total amont + combustion (kg CO2e/kWh PCI)	Total amont + combustion (kg CO2e/Tep PCI)	Total amont + combustion (kg CO2e/t PCI)	Total amont + combustion (kg CO2e/m³)
Fr.	Gaz de haut fourneau	269	0,968	11288	618
	Gaz de cokerie	48	0,171	2006	1504
Eur.	Gaz naturel	66	0,239	2783	3180

Facteurs d'émissions amont et combustion des combustibles fossiles gazeux

(tCO₂e/ unité énergétique – PCI-, massique et volumique) pour le périmètre France et Europe

Incertitudes

Pour les combustibles gazeux, les procédés de production et les compositions sont relativement standards, et les conditions de combustion sont bien connues, de telle sorte que ce poste est affectée d'une incertitude de 5% seulement.

Données « Label E+/C- »



Dans le cadre des réflexions sur la Performance Environnementale des Bâtiments Neufs (PEBN), des travaux ont été menés pour établir un référentiel « Energie-Carbone » à mettre en œuvre dans le cadre de l'expérimentation nationale du Label E+/C-. Les facteurs d'émissions associés ne sont à utiliser que dans ce cadre très précis.

Plus d'informations sur le [site de l'expérimentation](#).

Sources :

- [\[101\] Arrêté du 31 octobre 2012 relatif à la vérification et à la quantification des émissions déclarées dans le cadre du système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre pour sa troisième période \(2013-2020\)](#)
- [\[102\] Rapport OMINEA 2011, CITEPA](#)
- [\[103\] Décision 2007/589/CE définissant des lignes directrices pour la surveillance et la déclaration des émissions de gaz à effet de serre, conformément à la directive 2003/87/CE du Parlement européen et du Conseil](#)
- [\[121\] Directive 1999/100/CE de la Commission, du 15 décembre 1999](#)
- [\[122\] 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - chapitre 3 - MOBILE COMBUSTION](#)
- [\[123\] CRIGEN. \(2012\). Analyse de Cycle de Vie de l'ensemble des activités de GrDF en 2012. GRDF.](#)
- [\[124\]. « Analyse du Cycle de Vie de la chaîne gazière » - GRTgaz, TIGF, STORENGY, GRDF, ELENKY de 2018](#)
- [\[125\] Mise à jour de l'ACV de la chaîne gazière en France - ICare - Elengy, GRDF, GRTgaz, Storengy & Teréga - 25/11/2022](#)
- [\[943\] MEEM - MLHD - Référentiel Bâtiment « Energie-Carbone » - Label E+/C-](#)

3.1.3 Organiques

Le terme "combustibles organiques" désigne tous les **produits bruts ou dérivés issus de la biomasse**.

De façon similaire aux combustibles fossiles, les facteurs d'émissions présentés ci-après sont décomposables en deux parties :

- Une partie **combustion** qui permet de calculer les émissions in situ
- Une partie **amont** qui ne concerne que les émissions de **production et transport du combustible** (extraction, raffinage, transport...)

La biomasse pose des problèmes méthodologiques plus complexe que les combustibles fossiles. En effet, de part son caractère renouvelable, une partie ou la totalité du CO₂ émis lors de la combustion de cette dernière est séquestrée par une nouvelle plante ("cycle court du carbone").

Pour en savoir plus sur ce point, voir le [chapitre sur le CO2 biogénique](#).

L'estimation de ce "cycle court" est soumis à certains débats et présente souvent une incertitude élevée.

Afin de bien séparer les émissions et puits issus de la biomasse des émissions "fossiles", le CO₂ est restitué à l'utilisateur de la Base Carbone dans deux champs distinct :

- Le dioxyde de carbone fossile : CO_{2f}
- Le dioxyde de carbone biomasse : CO_{2b}

Dans la plupart des facteurs d'émissions de la biomasse, l'**hypothèse de la neutralité carbone est faite**. On suppose ainsi que les émissions de la combustion de la biomasse sont compensées par la séquestration amont.

Cette hypothèse n'est valable que dans le cas d'une "gestion durable" de la biomasse. Cette notion doit faire l'objet d'une attention particulière lors de la réalisation des bilans des émissions de GES

3.1.3.1 Solides

Description

Le terme « **biocombustibles** » désigne les combustibles solides, d'origine végétale (ou animale, de manière plus marginale), utilisés soit pour de la production de chaleur seule, soit pour une production combinée de chaleur et d'électricité.

Ces biocombustibles peuvent être les co-produits ou sous-produits d'activités forestières, agricoles ou industrielles ou être issu de filières ayant uniquement comme objectif la fourniture d'énergie.

La filière bois énergie est aujourd'hui la première EnR en France. En 2019, elle représente 36 % de la production primaire nationale d'énergies renouvelables, pratiquement exclusivement sous forme de chaleur ; seulement 8 % de sa production est électrique. L'estimation de la répartition des combustibles biomasse dans les installations financées par le Fonds Chaleur et les installations de cogénération de plus de 1200 MWh/an en 2018 donne approximativement la répartition suivante : environ 45 % de plaquettes forestières ; 9,5 % de plaquettes bocagères ; 17 % de connexes de l'industrie de la transformation du bois ; 17 % de sous-produits industriels et agricoles ; 7% de bois en fin de vie SSD (Sortie du statut de déchet) ; 4 % de bois déchet « adjuvanté » ; 0,5 % de granulés du bois et autres. [\[134\]](#)

Les biocombustibles retenus dans la Base Carbone® sont issus de l'étude ADEME "Analyse du cycle de vie du bois énergie collectif et industriel" - Janvier 2022 [\[134\]](#) :

- Les plaquettes forestières
- Le connexes de transformation de bois
- Les déchets bois
- Les granulés de bois (ou pellets)

Les **plaquettes forestières** sont les copeaux de bois issus du broyage par des engins mécanisés des **rémanents de l'exploitation forestière** ou de bois de faible diamètre dont c'est souvent la seule valorisation possible. Elles sont utilisés des chaudières pour le chauffage domestique ou dans le chauffage collectif (réseau de chaleur) et industriel.

Les **connexes de transformation de bois** sont des écorces humides non calibrées ou des délignures sèches issus de la transformation du bois. Ils sont constitués de produits divers selon l'activité de l'industrie (copeaux, plaquettes, chutes de panneaux...)

Les **déchets de bois** sont issus d'emballages (type SSD : "Sortie du statut de déchet") ou d'ameublement, demenuiserie, ou d'emballage sans SSD secs non calibrés (DEA). Plusieurs étapes de préparation sont possibles : Stockage, concassage, broyage, déferrailage, criblage.

Les **granulés de bois** (ou pellets en anglais) sont issus du **compactage des résidus de scieries** ou du compactage des sciures et copeaux provenant directement de la sylviculture. Ils sont utilisés pour le chauffage domestique dans des foyers fermés / poêles / inserts ou dans des chaudières à granulés.

Les facteurs d'émissions proposés résultent de différents scénarios [\[134\]](#):

	S1	S2	Variante S2		S9	S3	S4	S5	S6	Variante S6	
Type de combustible	Plaquettes forestières sèches	Plaquettes forestières humides				Connexes transformation bois	Déchets bois		Granulés blancs français		
	Taillis de feuillu (châtaigner)	Taillis de feuillu (châtaigner)	Taillis Courte Rotation (TCR) (eucalyptus)	Souches de futaie résineux (douglas)	Taillis de feuillu (châtaigner)		Propres	Adjuvants	Séchage avec énergie produite par chaufferie (écorce, broyat de palette)	Séchage avec énergie produite par chaufferie (gaz)	Séchage avec énergie produite par unité de cogénération (écorce, broyat de palette)
Puissance chaufferie	0-0,5 MW	0,5-5 MW			0,5-3 MW	5-50 MW	0,5-5 MW	5-50 MW	0-0,5 MW		
Usage					Cogénération						
Transport vers la chaufferie	35 km	35 km			35 km	0 km	35 km	35 km	175 km		
 Usage climatique  Usage processus industriel											



Usage climatique



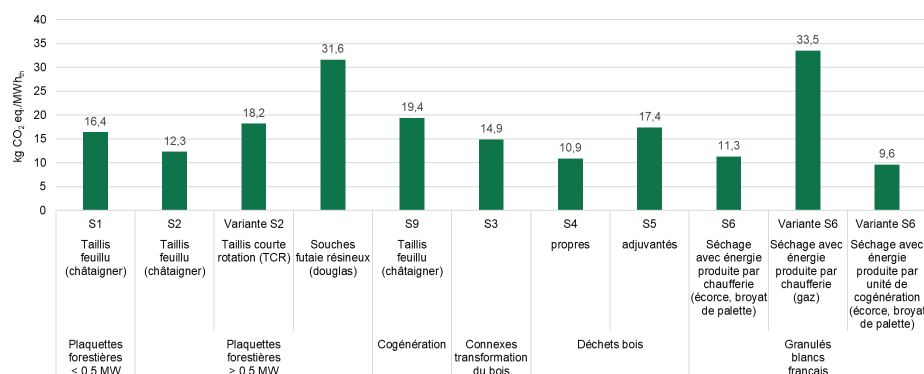
Usage processus industriel

Scenarios étudiés de l'utilisation de différents biocombustibles [\[134\]](#)

Les facteurs d'émissions sont établis par kWhPCI ou par kg de combustible à partir de la table de correspondance :

Scénario	Bio Combustible	Quantité (kg) de combustible nécessaire pour la production de 1 MWh th
S1	Plaquettes forestières sèches (25% humidité)	326
S2	Plaquettes forestières humides (45% humidité)	395
S3	Connexes de l'industrie de première transformation du bois (écorces ou chutes issues de scierie ou papeterie) utilisés directement sur le site	583
S4	Déchets de bois « propre » (Broyat SSD criblé)	296
S5	Déchets de bois « adjuvanté » (Broyat criblé sans SSD classés non dangereux)	296
S6	Granulés blancs français issus de connexes de scierie (unité de production des granulés intégrée)	241

Les principaux résultats sont :



Résultats d'émissions de l'utilisation de différents biocombustibles [\[134\]](#)

La valeur par défaut à utiliser en l'absence d'information sur l'intrant est 16,4 kgCO_{2eq}/MWhth. Cette valeur correspond à l'utilisation de plaquette forestière de taillis de feuillu sèche, utilisée dans une chaufferie de puissance 0-0,5 MW

Poste amont

Le poste amont intègre toutes les émissions en lien avec la préparation du bio combustible : broyage, transport, séchage, concassage, criblage....

		Scénario 1 (S1)	Scénario 2 (S2)	Scénario 3 (S3)	Scénario 4 (S4)	Scénario 5 (S5)	Scénario 6 (S6)
	Source biomasse	Taillis de feuillus (châtaigner)	Taillis de feuillus (châtaigner)	Non définie	/	/	/
	Type de produit récolté	BI/BE + 70%MB _u	BI/BE + 70%MB _u	Non défini	/	/	/
	Type de gestion sylvicole	Exploitation et débordage	Exploitation et débordage	Non défini	/	/	/
	Broyage en bord de route	✓	✓	✗	✗	✗	/
	Préparation						
	Transport vers plateforme de préparation	✓	✗	✗	✗	✗	/
	Broyage en plateforme	✗	✗	✗	✗	✗	/
	Séchage	✓ - Naturel	✗	✗	✗	✗	/
	Concassage	✗	✗	✗	✓	✓	/
	Broyage rapide	✗	✗	✓	✓	✓	/
	Criblage	✓	✗	✗	✗	✓	/
	Séchage et granulation	/	/	/	/	/	✓ - Combustible utilisé pour le séchage : écorce et broyat de palettes
	Type de combustible obtenu	Plaquette forestière sèche	Plaquette forestière humide	Connexes de l'industrie de première transformation du bois (écorces ou chutes issues de scierie ou papeterie) utilisés directement sur le site	Déchets de bois « propre » (Broyat SSD criblé)	Déchets de bois « adjuvant » (Broyat criblé sans SSD classés non dangereux)	Granulés blancs français issus de connexes de scierie (unité de production des granulés intégrée)
	Taux d'humidité initial – final (%)	45 %-25 %	45 %-45 %	45 %-45 %	/-20 %	/-20 %	45 %-8 %
	PCI (MWh _{net} /t _{seche})	3,04	3,61	2,44	3,98	3,98	4,86
	Masse volumique (t/m ³)	0,26	0,36	0,33	0,2	0,2	0,75
	Densité anhydre ²³ (sans écorce) (t/m ³)	0,59	0,59	-	-	-	-
	Transport vers la chaufferie	✓	✓	✗	✓	✓	✓
	Puissance	0-0,5 MW	0,5-5 MW	5-50 MW	0,5-5 MW	5-50 MW	0-0,5 MW
	Usage	Réseau de chaleur	Réseau de chaleur	Industriel	Réseau de chaleur	Industriel	Réseau de chaleur
	Rendement	80 %	85 %	85 %	85 %	85 %	80 %
	Dépoussiérage						
	Multi-cyclone (MC)	✗	✓	✓	✓	✓	✗
	Électrofiltre (EF)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Filtre à manche (FAM)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	SNCR	✗	✗	✓	✗	✓	✗
	Autres traitements	✗	✗	✗	✗	✓	✗
	Devises des cendres	Épandage	Épandage	Épandage	Épandage	Épandage	Épandage

Note : BI : Bois d'industrie - BE : Bois énergie - MB : Menu bois

Caractéristiques des scénarios étudiés [\[134\]](#)

En règle générale ne sont pas comptabilisées les étapes de Gestion sylvicole et récolte du bois (Gestion et exploitation forestière, débordage) ainsi que de préparation du bois pour d'autres usages (papeterie ou scierie). De plus amples détails sont donnés dans l'étude [\[134\]](#)

Poste combustion

La combustion émet des émissions de CH_4 dépendantes de la qualité de l'équipement de combustion.

La combustion n'émet pas de CO_{2f} (fossile), mais émet du CO_{2b} (biogénique) : voir le [chapitre sur le \$\text{CO}_2\$ biogénique](#) pour comprendre la prise en compte du CO_{2b} dans les exercices de comptabilité GES.

Quand c'est un composé d'origine organique qui est brûlé, deux cas de figure peuvent se présenter :

- La biomasse brûlée n'est pas remplacée : il y a alors lieu de compter les émissions.
- La biomasse brûlée est remplacée l'année même ou peu de temps après : dans ce cas, la nature de la biomasse est à prendre en compte.
 - Pour la biomasse d'origine agricole, les émissions de carbone biogénique ne sont pas comptabilisées. Cependant, si la production de cette biomasse induit des changements d'occupation du sol directs ou indirects, ou un changement des pratiques agricoles, un impact supplémentaire serait à prendre en compte. Des facteurs pour prendre en compte l'impact des changements d'occupation des sols directs sont déjà proposés aujourd'hui dans la Base Carbone, et peuvent être ajoutés aux facteurs d'émission du combustible². En revanche, en raison de la difficulté de quantification et de la grande variabilité des situations possibles, il n'existe pas encore de facteurs d'émission pour prendre en compte les changements d'occupation des sols indirect et changement de pratiques agricoles dans la Base Carbone de l'ADEME.
 - Pour la biomasse d'origine forestière, les émissions de carbone biogénique ne sont pas comptabilisées si cette biomasse provient d'un pays où les prélèvements en forêt sont inférieurs à l'accroissement net de la mortalité. Cependant, si la production de cette biomasse induit des changements de pratiques sylvicoles, un impact supplémentaire serait à prendre en compte.

(1) Les émissions de CO_2 sont incluses dans l'inventaire d'émissions. Il faut tenir compte à la fois du carbone contenu dans la biomasse brûlée, et de la perte de carbone du sol qui suivra la déforestation, ce qui en pratique consiste à rajouter 20 à 50 % de supplément aux émissions de combustion.

(2) La biomasse produite sur des parcelles défrichées se voit affectée des émissions liées à la déforestation. En pratique on impute aux 20 ou 30 premières années de production le déstockage de carbone lié à la déforestation initiale ainsi que ce qui viendra de la perte de carbone des sols.

Le facteur d'émission non nul des biocombustibles peut également provenir :

- des gaz autres que le CO_2 émis lors de la combustion (par exemple du CH_4) ;

- des émissions de gaz à effet de serre liées à la production du combustible (fabrication des engrais le cas échéant, conduite de la culture, traitement mécanique ou thermique du produit de la culture ou du bois, etc) ;
- des émissions de gaz à effet de serre liées au transport du combustible entre son lieu de production et son lieu d'utilisation.

Données « Label E+/C- »



Dans le cadre des réflexions sur la Performance Environnementale des Bâtiments Neufs (PEBN), des travaux ont été menés pour établir un référentiel « Energie-Carbone » à mettre en œuvre dans le cadre de l'expérimentation nationale du Label E+/C-. Les facteurs d'émissions associés ne sont à utiliser que dans ce cadre très précis.

Plus d'informations sur le [site de l'expérimentation](#).

Sources :

- [\[134\] Etude ADEME "Analyse du cycle de vie du bois énergie collectif et industriel" - Janvier 2022](#)
[\[943\] MEEM - MLHD - Référentiel Bâtiment « Energie-Carbone » - Label E+/C-](#)

3.1.3.2 Liquides

Description

Les combustibles liquides organiques sont composés par exemple :

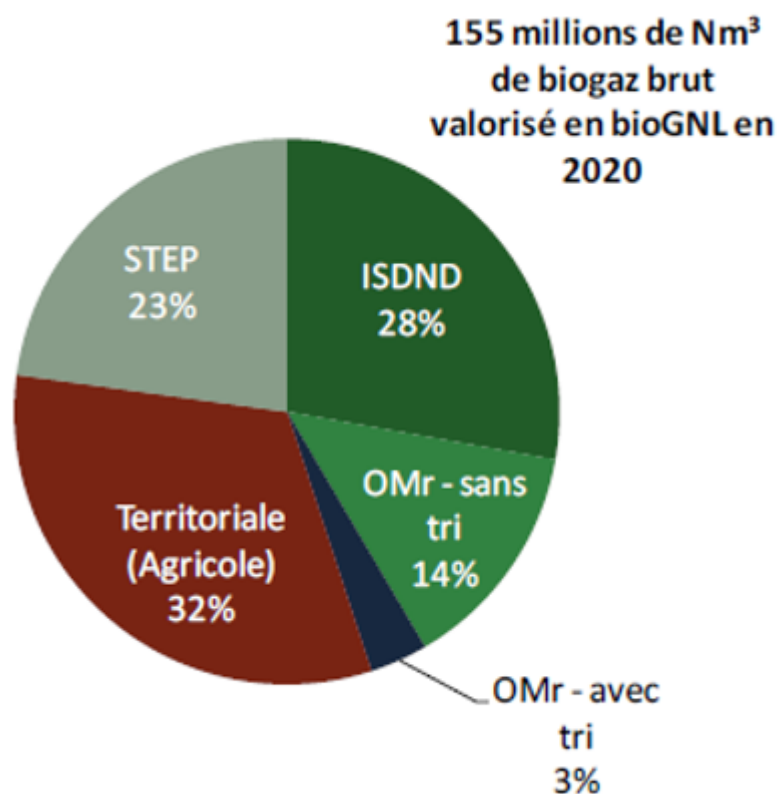
- des gaz liquéfiés comme le BioGNL ,
- Des biocarburants provenant des filières "éthanol" et des filières "huiles végétales"

Le BioGNL

L'étude d'Analyse de Cycle de Vie « Evaluation de l'empreinte Carbone du Bio GNL via épuration cryogénique de biogaz » - Mars 2016 – ENEA QUANTIS, commanditée par SUEZ, propose des facteurs d'émissions pour le BioGNL.

Les données utilisées datent de 2016 et se basent sur l'état des lieux estimé en 2020^[142].

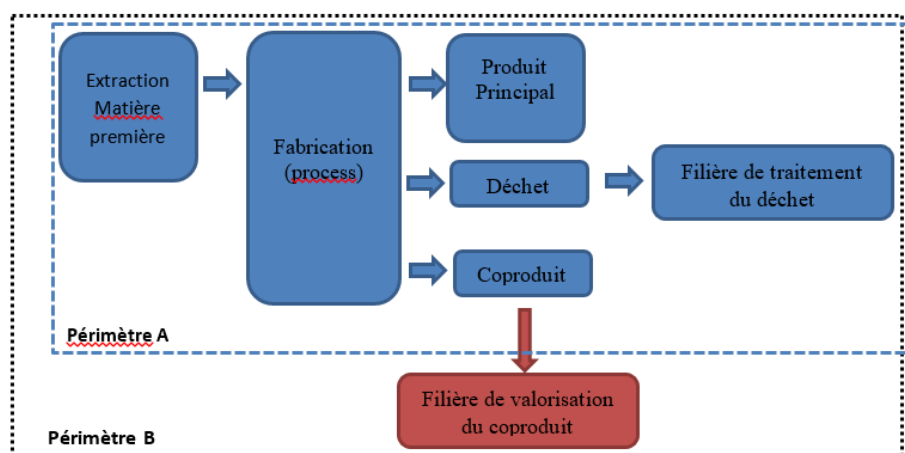
- Le mix de production envisagé pour le calcul des facteurs correspond à la répartition des différentes filières de production pour le bioGNL à l'horizon 2020 ;
- L'épuration cryogénique étant la technologie de purification et de liquéfaction largement prédominante dans le cadre de la production du bioGNL, les facteurs d'émissions sont évalués en prenant uniquement en compte l'épuration par cryogénie.



Mix de répartition des filières de production du BioGNL en 2020 [\[142\]](#):

Les facteurs d'émissions proposés et retenus dans la Base Carbone[®] intègrent les émissions suivantes (périmètre A ci-dessous) :

- **Amont** : uniquement les étapes additionnelles mises en œuvre spécifiquement pour répondre à la production de biogaz. Cela comprend les émissions liées à la récupération de matières premières (OM avec ou sans tri, boues de STEP, déchets de la filière territoriale et collective agricole, CIVE...), la méthanisation, l'épuration cryogénique du biogaz, le transport et stockage ;
- **Combustion** : utilisation (moteur ou chaudière).



Périmètre de comptabilisation de l'étude [\[142\]](#):

Dans le cadre de l'étude réalisée, une évaluation élargie intégrant la prise en compte des bénéfices induits est proposée (périmètre B ci-dessus). Les émissions liées à la valorisation des coproduits (CO₂ liquide produit lors du process, digestat en lieu et place d'engrais classique) apparaissent alors en émissions négatives.

En gCO _{2eq} /kWh _{PCI}	CO _{2f}	CH _{4F}	CH _{4b}	N ₂ O	Autres gaz	CO _{2b}
Combustion	0	5	0	2	0	201
Amont	13	47	0	3.39	16.1	61
Autre* (bénéfices induits)	-45	-0.9	0	-0.025	-3.02	-1

(* non inclus dans la Base Carbone®)

Nous rappelons que dans la Base Carbone®, ne sont présentées que les émissions liées à la fabrication / conception du produit (périmètre A). Les émissions liées à la valorisation de coproduits qui seraient ensuite utilisés sur le marché en lieu et place de produits classique ne sont pas comptabilisées hors valorisation des déchets.

Biocarburants

Le terme "biocarburants" désigne les carburants liquides obtenus à partir de matières premières végétales (ou exceptionnellement animales). Actuellement, deux grandes filières industrielles existent :

- La filière éthanol
- La filière huiles végétales
- La filière huiles usagées

La filière éthanol

L'**éthanol** est produit par fermentation de sucres ou d'amidon, principalement issus, en France, des **cultures de betteraves et de céréales**. Cet alcool peut être incorporé à l'essence jusqu'à 10 % en volume sans modification technique des moteurs ; jusqu'à 10,3 % s'il est transformé au préalable avec l'isobutène pétrolier en ETBE (éthyl tertio butyl éther), ce dernier étant autorisé jusqu'à 22 % (l'ETBE étant composé à 47% en volume d'éthanol).

Il peut également être utilisé avec des véhicules adaptés - dits « flexibles » - qui acceptent jusqu'à 85 % d'éthanol (essence E85) dans le carburant utilisé.

La filière huiles végétales

L'autre filière concerne les **huiles végétales** issues du pressage des **oléagineux (colza principalement et tournesol)**. Une réaction de transestérification avec du méthanol ou de l'éthanol permet d'obtenir un produit incorporable dans le gazole pour les moteurs Diesel : l'EMHV (l'ester méthylique d'huile végétale). Des variantes en développement permettront d'utiliser de l'éthanol (pour produire de l'EEHV - ester éthylique d'huile végétale) ou d'estérifier des acides gras d'origine animale. L'incorporation des esters est autorisée dans le gazole jusqu'à 7 % en volume, depuis le 1er janvier 2008 sans modification des moteurs Diesel actuels. Les esters doivent être conformes à la norme européenne (NF) EN 14214 qui définit leurs spécifications.

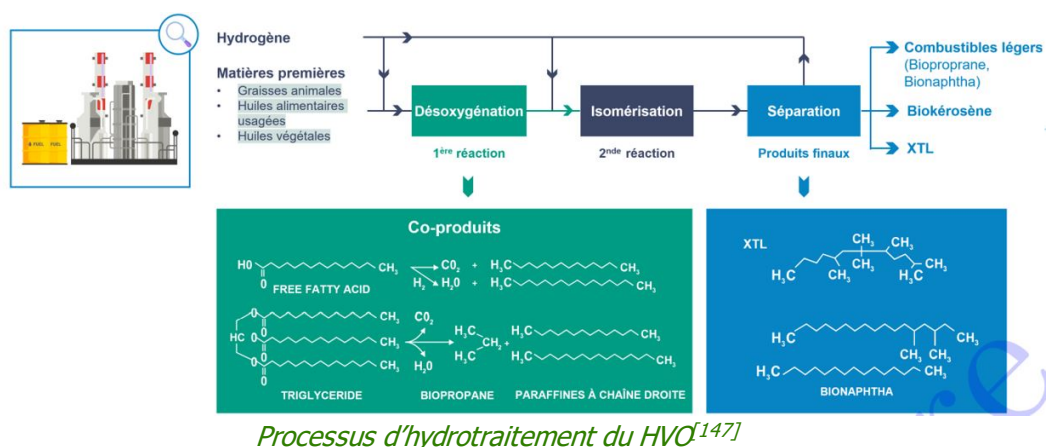
Par ailleurs, le gazole B30, contenant entre 24 et 30% en volume d'EMHV, est autorisé pour les flottes captives disposant d'une logistique carburant dédiée. Ce carburant n'est pas disponible à la vente au grand public dans la mesure où il n'est pas compatible avec les moteurs de nombreux véhicules diesel déjà mis en circulation en Europe.

Pour retrouver les facteurs d'émissions de l'ensemble des carburants disponibles à la pompe, merci de vous référer au chapitre ["Cas spécifique des carburants à la pompe \(filières essence et diesel\)"](#).

La filière huiles usagées

La filière « huiles usagées » peut utiliser comme matière première des huiles de cuissons ou à base de graisse animales CAT 1, 2 et 3). Il s'agit d'une sous-filière des huiles végétales comme c'est le cas de la production du biocarburant « HVO 100 » issu d'Huiles Végétales Hydro traitées (en anglais hydrotreated vegetable oil).

Le HVO est obtenu par hydrocraquage ou hydrogénation d'huile et aboutit à des substituts à l'essence, au gazole, au propane, au kérosène et à d'autres matières premières chimiques. Le biogazole produit par ces procédés peut remplacer le gazole « à la pompe » sans adaptation technique du véhicule.



Construction des facteurs d'émission

■ Cas des filières éthanol & huiles végétales

Ils se basent sur des résultats d'études ACV des biocarburants consommés en France, (publiée par l'ADEME, le MEEDDM, le MAAP et France Agrimer en février 2010) et sur l'arrêté du 11 mai 2012 relatif aux contenus énergétiques des biocarburants et carburants.

La question du carbone biogénique est centrale concernant les biocarburants. Pour en savoir plus, voir le [chapitre sur le CO₂ biogénique](#).

Historiquement, les biocarburants utilisés en Europe ne provenaient que de cultures annuelles, et de cultures européennes (donc sans déforestation préalable). C'est sur ce double postulat que sont basées les ACV actuellement disponibles. En pareil cas les facteurs d'émission tiennent compte des émissions de méthane ou de protoxyde d'azote lors de la combustion, généralement marginales, et des émissions provenant de la culture et de la transformation et la distribution des produits de culture.

Ce postulat devient doublement inexact pour les cultures de soja (pouvant entrer jusqu'à 25% dans l'approvisionnement de certaines usines de production de biodiesel en France), qui sont pour partie installées sur des parcelles qui ont été récemment défrichées. Dans l'étude ACV biocarburants France 2010, les analyses de sensibilité montraient que c'était la filière biodiesel de soja qui était susceptible d'être le plus impactée par des scénarii importants de changement d'affectation des sols directs. Il est également pour partie inexact dans le cas de la canne à sucre brésilienne, cette culture étant pluriannuelle d'une part, et les terres sur lesquelles elle prend place étant soustraites aux autres usages, ce qui finira par engendrer, mais par effet indirect, de la déforestation.

■ Cas des huiles usagées

Le facteur d'émission du « HVO 100 » proposé est issu d'une ACV d'Altens¹⁴⁷.

Il se base sur :

- La technologie « hydrotraitement » (qui correspond à environ 70% de la capacité de production européenne et monte jusqu'à 90% de la capacité totale française). Cette technologie est utilisée par les principaux acteurs qui distribuent du HVO 100 en France (NESTE, Total et ENI)
- Une non prise en compte des « changement d'affectation des sols ». Le changement d'affectation des sols directs et indirect peut avoir une forte influence sur le bilan GES des biocarburants conventionnels (rapport de l'ADEME Analyses de Cycle de Vie appliquées aux biocarburants de 1ère génération, 2010). Le HVO 100 est produit uniquement à partir de déchets issus du recyclage, il ne s'agit donc pas d'un biocarburant conventionnels. Il peut être considéré un CAS nul, en cohérence avec la RED.

- Un facteur d'émission de l'hydrogène, produit directement sur site, issu à 100% du vaporeformage de gaz naturel (donnée ADEME).

Résultats

■ Cas des filières éthanol & huiles végétales

Les facteurs d'émissions publiés concernant les biocarburants, quoi que restant du même ordre de grandeur, sont susceptibles de varier d'un facteur quatre d'une étude à l'autre¹⁴⁰ :

- ♦ Carburants issus des filières alcools éthers : de 20 à 80 gCO₂e / MJ
- ♦ Carburants issus des filières huiles esters : de 10 à 40 gCO₂e / MJ

La valeur par défaut sera issue des travaux ADEME – MEEDDM – MAAP - FranceAgrimer de 2010 (« Analyses de cycle de vie appliquées aux biocarburants de première génération consommés en France »), à savoir :

	Facteur d'émission en gCO ₂ e / MJ	Facteur d'émission en gCO ₂ e/kWh	Facteur d'émission en kgCO ₂ e /Tonne	Facteur d'émission en gCO ₂ e / kg
Amont				
Ethanol	37 gCO ₂ e / MJ	132 gCO ₂ e / kWh	990 kgCO ₂ e/Tonne	990 gCO ₂ e / kg
EMHV	32,3 gCO ₂ e / MJ	116,2 gCO ₂ e / kWh	1199 kgCO ₂ e/Tonne	1199 gCO ₂ e / kg
Combustion				
Ethanol	0 gCO ₂ e / MJ	0 gCO ₂ e / kWh	0 kgCO ₂ e/Tonne	0 gCO ₂ e / kg
EMHV	0 gCO ₂ e / MJ	0 gCO ₂ e / kWh	0 kgCO ₂ e/Tonne	0 gCO ₂ e / kg

Facteurs d'émission des biocarburants (ADEME – MEEDDM – MAAP - FranceAgrimer, 2010)

Pour les Biodiesels, les valeurs spécifiques par filière de production (colza, tournesol, soja, palme, HVP, EMGA "graisses animales", EMHAU "huiles alimentaires usagées") et sans changement d'affectation des sols sont tirées de la même étude¹⁴⁵ :

	Facteur d'émission en kgCO ₂ /GJ PCI
Biodiesel, filière colza, sans CAS	37,3
Biodiesel, filière tournesol, sans CAS	25,1
Biodiesel, filière soja, sans CAS	22,1
Biodiesel, filière palme, sans CAS	21,8
Biodiesel, filière EMHAU, sans CAS	8,7
Biodiesel, filière EMGA, sans CAS	8,4
Biodiesel, filière HVP, sans CAS	31,8

■ Cas des huiles usagées

Deux facteurs d'émissions distincts sont proposés¹⁴⁷. Ils sont relatifs au « HVO à base d'huiles de cuissons usagées » et au « HVO à base de graisses animales CAT 1, 2 et 3 » :

	kgCO ₂ e/GJ (PCI)	kgCO ₂ e/ litre	kgCO ₂ e/ kg	kgCO ₂ e/ tep (PCI)	kgCO ₂ e/ kWh (PCI)
HVO à base de déchets HAU (huiles de cuissons)	15.83	0.543	0.6966	663	0.0570
HVO base de déchets graisses animales	20.73	0.712	0.9122	868	0.0746

En l'absence d'information sur la typologie d'intrants utilisés pour la production de votre HVO, il est recommandé d'utiliser le HVO à partir de déchets HAU qui représente la quasi-totalité des ventes en 2021.

Complément sur le Changement d'affectation des sols

Cette partie à but pédagogique concerne l'analyse des effets potentiels du changement d'affectation des sols (CAS) sur les bilans d'émissions de GES des biocarburants consommés en France.

Les travaux existants ou en cours **n'ont pas encore réussi à créer des références matures d'un point de vue méthodologiques sur ces sujets**. L'étude ACV

biocarburants publiée en 2010 à partir de laquelle ont été calculées les valeurs des tableaux ci-dessus n'ayant pas vocation à résoudre cette question complexe, le principe retenu a été de calculer les bilans d'émissions de GES sans intégrer les changements d'affectation des sols dans le résultat de référence conformément aux recommandations du référentiel de réalisation d'ACV pour les biocarburants. Par contre, l'impact potentiel de différents scénarii de CAS sur les bilans de GES a été examiné ensuite au travers d'une analyse de sensibilité.

Cette analyse de sensibilité a été conduite en considérant l'hypothèse d'un CAS direct pour les filières d'importation et d'un CAS indirect pour deux exemples de filières France. Elle a cherché à répondre à la question suivante : comment évoluent ces bilans lorsqu'on leur intègre des valeurs plausibles d'émissions liées à ces changements d'occupation ? La construction de valeurs « plausibles » a reposé sur des scénarii simplifiés et gradués, allant du plus pessimiste jusqu'à une situation favorable.

Le scénario le plus pessimiste, appelé « CAS maximal », de CAS direct correspondrait au remplacement d'un ha de forêt primaire tropicale humide par un hectare de canne à sucre ou de palmier à huile, en supposant que toutes les émissions de CO₂ générées seraient affectées à la canne à sucre avec un lissage sur 20 ans.

Puis des scénarii « CAS intermédiaires », « CAS modérés » et enfin, « CAS optimistes », ont été construits en faisant varier certaines données du problème (les hectares remplacés ne sont plus de la forêt primaire, mais un mix de différents sols ; le lissage est fait sur 50 ans au lieu de 20,...). Le scénario optimiste imagine, par exemple, le remplacement par le coproduit alimentaire du biocarburant (tourteaux de colza, drèches de blé,...) d'importations de produits destinés à l'alimentation animale qui auraient entraîné la déforestation de surfaces supplémentaires. Pour une description plus exhaustive des différents scénarii, des calculs intermédiaires réalisés, se reporter au rapport complet de l'étude ACV biocarburants (<http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=23698>).

Dans le tableau ci-dessous sont donnés à titre indicatif des ordres de grandeur supérieur et inférieur des facteurs d'émission pour l'éthanol et le biodiesel calculés à partir des bilans d'émissions de GES obtenus en considérant des scénarii maximum et optimistes pour le CAS direct et indirect selon différentes filières de production. Ces valeurs sont bien présentées ici pour donner une idée de la manière dont pourrait évoluer le bilan carbone d'un produit, d'une entreprise en fonction des caractéristiques de fournitures. Elles ne sont en aucun cas à utiliser hors du contexte dans lequel elles ont été obtenues et surtout pas comme des valeurs résultant de situations réelles existantes.

Les chiffres de la colonne « CAS maximum » correspondent à l'ordre de grandeur de la borne supérieur. Cette borne est calculée en combinant le scénario de CAS direct maximum et le scénario de CAS indirect maximum. La même démarche est effectuée pour les scénarii optimistes. Ces valeurs ont été arrondies.

	Facteur d'émission par MJ		Facteur d'émission par kWh		Facteur d'émission par Tonne		Facteur d'émission par Kg	
Amont	CAS maximum.	CAS optimiste	CAS maximum	CAS optimiste	CAS maximum.	CAS optimiste	CAS maximum.	CAS optimiste
Ethanol	220 gCO ₂ e	37 gCO ₂ e	825 gCO ₂ e	128 gCO ₂ e	6105 kgCO ₂ e	935 kgCO ₂ e	6105 gCO ₂ e	935 gCO ₂ e
EMHV	220 gCO ₂ e	18 gCO ₂ e	788 gCO ₂ e	55 gCO ₂ e	8122 kgCO ₂ e	550 kgCO ₂ e	8122 gCO ₂ e	550 gCO ₂ e

Illustration de la sensibilité des facteurs d'émissions des biocarburants à la problématique du changement d'affectation des sols

Incorporation dans l'essence et le gazole

Des mesures fiscales incitatives sont mises en place pour une incorporation progressive, par les pétroliers et les distributeurs, de biocarburants dans les carburants conventionnels essence et gazole.

Précision terminologique :

- **Taux TGAP** d'incorporation annuel de biocarburants dans les carburants, exprimé en PCI, au global, pour la filière gazole et pour la filière essence. Ce taux est calculé selon la formule de la directive EnR sur l'ensemble des incorporations de biocarburant dans une filière (essence ou gazole). C'est le seul sur lequel il y avait jusqu'à 2009 un objectif annuel législatif,
- **Taux d'incorporation physique (volumique)**, exprimé par filière (essence, gazole) de manière globale ou par type de biocarburant
- **Teneur volumique maximum** permise en biocarburant, variable selon le carburant distribué à la pompe. Cette teneur maximale ne peut évoluer que par modification des arrêtés définissant les caractéristiques des différents carburants et biocarburants distribués. Une **teneur volumique effectivement observée** sur le terrain pour les différents carburants distribués à la pompe, est réalisée à l'occasion des contrôles annuels de qualité des carburants

Le taux d'incorporation des biocarburants est en constante progression (directive européenne 2003/30/CE sur l'incorporation des biocarburants) :

%PCI	Filière essence	Filière gazole	Incorporation totale
2006	1,75 %	1,77 %	1,77 %
2007	3,35 %	3,63 %	3,57 %
2008	5,55 %	5,75 %	5,71 %
2009	7,8 %	6,3 %	

Evolution des pourcentages effectifs d'incorporation de biocarburants dans l'essence et le gazole

Le taux d'incorporation actuel de la base carbone est fixé selon les objectifs réglementaires de rigueur en 2009. Depuis 2010, il n'y a plus eu (sauf en 2014) d'évolution de l'objectif annuel en PCI. Il paraît désormais plus pertinent de se baser sur une base réelle plutôt que réglementaire.

La base réelle reprenant les taux d'incorporation réels sont disponibles via le bilan TGAP contrôles qualité carburant pour 2015 fourni annuellement par les douanes et la DGEC.

Les taux d'incorporation physique volumique pour l'ensemble des carburants (dont E85, E10, B30...) issus des bilans TGAP contrôles qualité carburant pour **2015** sont de :

- o **7,96% pour la filière biocarburant gazole**
- o **12,84% pour la filière biocarburant essence**

Les valeurs retenues dans le calcul des facteurs d'émission sont détaillées par type de carburant à savoir :

	Contrôles	
	% volumique	% énergétique
Essence		
SP98	7,063%	4,80%
SP95	6,316%	4,26%
SP95-E10	9,588%	6,53%
E85	72,782%	63,70%
Gazole		
Gazole (B7)	6,74%	6,78%
B30	*	

*B30 : une incorporation théorique de 30% est laissée pour l'instant même si le B30 est un carburant utilisé uniquement par des flottes d'entreprise, avec une teneur maximum de 30% en volume de biodiesel dans le gazole et une teneur minimum de 24% en volume. Il n'est pas distribué aux pompes des stations-services, mais seulement sur sites dédiés en interne entreprise l'utilisant pour leurs flottes.

Sources :

[140] Etude ADEME – BG – EPFL / « Bilan environnemental des filières végétales pour la chimie, les matériaux et l'énergie » / 2004.

[142] Evaluation de l'empreinte Carbone du Bio GNL via épuration cryogénique de biogaz - Mars 2016 – ENEA QUANTIS pour SUEZ

[145] Analyses de Cycle de Vie appliquées aux biocarburants de première génération consommés en France - Rapport final - ADEME, MEEDDM, MAAP et France Agrimer - Février 2010

[147] NESTE – ALTENS. "Proposition de facteurs d'émissions de GES associés au HVO100 (XTL) pour la Base Carbone de l'ADEME » (Juin 2022)

3.1.3.3 Gaz

Description

Les combustibles gazeux organiques sont des gaz obtenus à partir de matière première végétale. Nous pouvons par exemple citer :

- Le biométhane,
- Le biopropane,

Le Biométhane (publié en 2025 - données 2021)

Dans la nouvelle étude à laquelle se rapporte le nouveau jeu de données pour le biométhane, la filière d'injection de biométhane est analysée au travers de l'étude de 6 filières de production de biométhane. En effet, l'ancienne filière "Territoriale & Agricole" est maintenant scindée en 3 filières et les filières Traitement des Ordures Ménagères (sans tri à la source) et Gestion des biodéchets ménagers (avec tri à la source) sont désormais regroupées en une seule filière :

- Filière Agricole Territoriale (AT)
- Filière Agricole Autonome (AA)
- Filière Industriel Territorial (IT)
- Filière STEU (Stations d'épuration)
- Filière Installation de Stockage des Déchets Non Dangereux (ISDND)
- Filière Déchets Ménagers et biodéchets (sans tri à la source)

Ce jeu de données traduit les émissions de GES et la contribution au changement climatique de la production, l'injection et la consommation de 1 kWh PCI de biométhane issu de déchets ou de cultures en France à travers une combustion en chaudière afin de produire de la chaleur.

Ce jeu de données se base sur un mix de filières de production de biométhane, basé sur le mix représentatif de 2021.

Mix de types de charges	Huile de palme	Huile de colza	Huile de tournesol	Distillat d'acides gras d'huile de palme (PFAD)	Huile de cuisson (UCO)	Graisses animales	Acides gras de Tall Oil (TOFA)/Tall pitch oil
2020	65%	10%	3%	9%	8%	3%	2%
2023	9%	0%	0%	0%	23%	59%	9%

Mix moyen de production de biométhane en France en 2021 [\[144\]](#)

En fonction des filières, le facteur d'émission varie sur un intervalle allant de 10,93 g CO₂e/kWh PCI (filière ISDND) à 50,12 g CO₂e/kWh PCI (filière Biodéchets)

Les principales étapes prises en compte sont : le prétraitement / tri des intrants, la méthanisation, le torchage et traitement de l'air, l'épuration et l'injection dans le réseau, le transport et la distribution et finalement la combustion en chaudière.

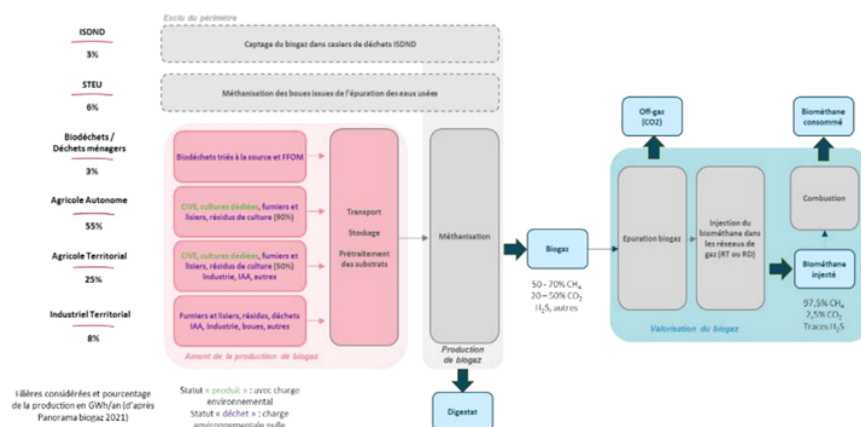


Figure 1 - Schéma macro simplifié des différentes filières de production de biométhane en France.

Schéma simplifié des différentes filières de production de biométhane en France [\[144\]](#)

Les filières AA, AT influent davantage sur le facteur d'émission de l'ensemble de la filière biométhane. Elles représentent en effet 80% du mix de production.

Les différences de résultats constatées pour les deux filières ISDND et STEU, avec les plus faibles facteurs d'émissions, s'expliquent par les frontières de leur système plus restreintes que celles des autres filières et le statut des intrants utilisés pour la production de biométhane qui sont des déchets. À savoir, les déchets sont considérés comme ayant une charge environnementale nulle.

L'impact du biométhane est :

- très dépendant des taux d'émissions de méthane : fuites au niveau du digesteur et pertes liées au procédé d'épuration qui structurent de manière conséquente le jeu de données de la filière.
- dépendant du mix d'intrants dont les caractéristiques sont très diverses. Chaque unité de méthanisation utilise une ration spécifique.

Les valeurs de ces paramètres sont structurantes dans l'ACV réalisée.

Différentes technologies de méthanisation (digesteur en voie sèche, digesteur en voie humide et post digesteur), de traitement de l'air (bio-filtres, laveur physico-chimique), et d'épuration du biogaz en biométhane (épuration membranaire, lavage à l'eau, PSA, cryogénie) ont été considérées, en fonction des filières de production de biométhane étudiées.

Différences par rapport à d'autres valeurs publiées

- Avec extension des frontières du système

Dans l'étude GRDF, une partie de l'analyse réalisée intègre, pour certaines filières de production de biométhane, des émissions évitées par une extension des frontières. Les émissions évitées potentielles seraient par exemple la réduction des émissions liées au traitement des effluents d'élevages, ou la réduction des émissions liée à l'utilisation du digestat à la place d'engrais minéraux ...

Cette intégration n'a pas été retenue pour l'intégration dans Base Empreinte étant donné :

- qu'elle n'entre pas dans la logique souhaitée de construction des jeux de données dans Base Empreinte®
 - qu'elle n'est pas compatible avec la réalisation d'un BEGES organisation
 - que les émissions évitées sont des potentiels
- Par rapport au précédent jeu de données mis à disposition dans la Base Empreinte

Bien que l'étude GRDF d'octobre 2023 visait à actualiser la dernière étude (2021) d'analyse du cycle de vie du biométhane injecté dans le réseau de gaz naturel français, à travers une combustion en chaudière pour la production de chaleur sur la base de données et d'hypothèses sourcées et plus récentes, le nombre important de modification entre cette étude et la précédente ACV induit un grand nombre de facteurs de variation.

Les principaux éléments mis à jour sont :

- Les données à disposition ont évolué : la filière évolue rapidement, elle est en constant développement, la part des différentes typologies de site (agricole, STEU, etc.) et leur composition évoluent.
- la réglementation pousse à rendre la filière plus vertueuse.

Comme le souligne la nouvelle étude, en absence d'analyse d'incertitude, cette mise à jour d'ACV ne permet pas de conclure sur la significativité de la différence observée entre les deux valeurs de facteur d'émission de GES (41,64 g CO₂ e/kWh PCI de biométhane versus 44,1 g CO₂e/kWh PCI dans la précédente étude).

Conseils d'utilisation

- Si vous avez un accord direct avec un industriel qui produit du biogaz (via par exemple un BPA (Biogas Purchase Agreement)), il n'est pas recommandé d'utiliser ce jeu de données. Il convient d'utiliser un jeu de données spécifique à ce processus industriel.

En effet, comme souligné dans l'étude GRDF, les fuites de méthane au niveau du digesteur et de l'épuration ainsi que le mix d'intrant considéré influence peuvent influencer fortement la valeur associée à ce jeu de données.

- Si vous souhaitez calculer le jeu de donnée pour différentes unités, voici les tableaux des conversions à utiliser :

unité	tep	GJ	kWh PCI	m ³ de biogaz
tep	1	45.37	12 602	1153
GJ	0.022	1	277.5	26.3
kWh PCI	0.00008	0.0036	1	0.10
m ³ de biogaz	0.00087	0.038	10.54	1

Rapport PCI/PCS : 0.9 (1 kWh PCS équivaut à 0.9 kWh PCI)

Le Biopropane « HVO »

Cette nouvelle version du FE associé au biopropane provient d'une mise à jour simplifiée des facteurs d'émissions de GES associés au biopropane issu d'huiles végétales hydro-traitées (HVO) – Décembre 2024 – ICARE pour France Gaz Liquides

L'étude initiale était : Etude Primagaz - I Care & Consult, Proposition de facteurs d'émissions de GES associés au biopropane issu d'huiles végétales hydro-traitées (HVO) à la Base Carbone® de l'ADEME, avril 2021.

Le biopropane relève des conditions d'utilisation classiques équivalentes à celles du propane, indépendamment de son mode de distribution (réseau indépendant, citerne ou bouteille).

Les facteurs d'émissions du biopropane « HVO » ont été calculés par une analyse du cycle de vie réalisée en 2020 sur un périmètre allant de la culture des intrants agricoles (ou de la récupération de matières grasses usagées) jusqu'à la combustion du biopropane et publiées dans la Base Carbone® de l'ADEME.

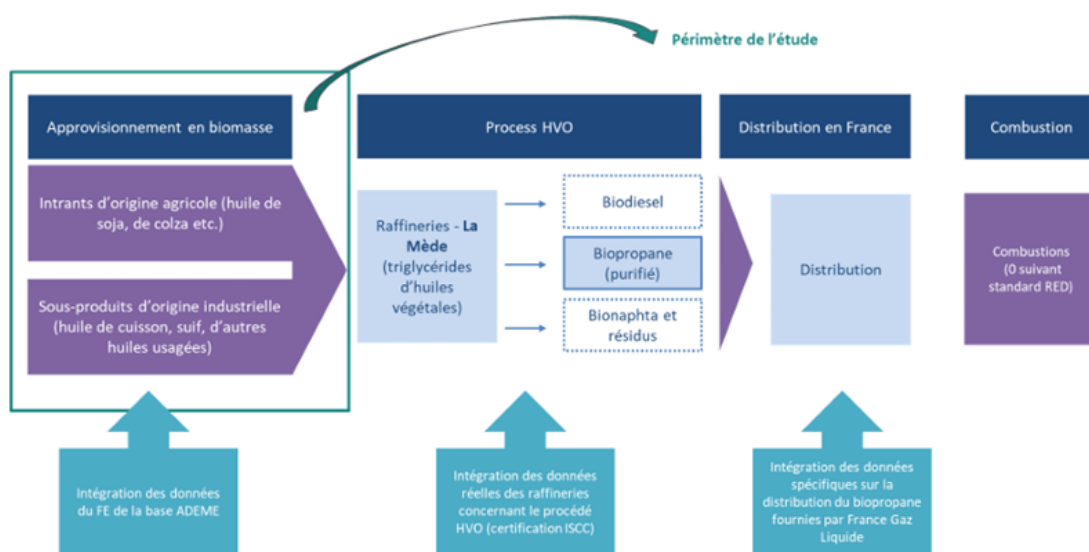
Lors de ce projet réalisé en 2020, sept intrants avaient été considérés

- Huiles végétales d'origine agricole :
 1. Huile de colza
 2. Huile de tournesol
 3. Huile de palme, produite avec capture de méthane
 4. Huile de palme, produite sans capture de méthane
- Déchets et résidus d'origine organique issus de l'industrie ou de l'agriculture :
 5. Huiles de cuisson usagées (UCO (Used Cooking Oil) en anglais)
 6. Graisses animales
 7. Résidus du traitement des huiles et des graisses

En 2023, cette étude a fait l'objet d'une mise à jour partielle car le mix d'intrants a évolué et ne comporte plus d'huile de colza et de tournesol.

Lors de cette mise à jour simplifiée en 2023, aucune autre évolution que le mix d'intrant n'a été considérée.

Les données fournies comprennent l'impact de l'approvisionnement en matières premières, ainsi que l'impact du processus HVO permettant la production de biopropane et la combustion de celui-ci en chaudière tel que représenté sur le schéma ci-dessous :



Le contenu de chaque étape est détaillé ci-dessous :

- Approvisionnement en biomasse :

Intrants d'origine agricole

Cette étape comprend les émissions GES :

- De la production agricole
- De la production d'huile végétale
- Du transport vers la bioraffinerie

Intrants d'origine industrielle – sous-produits

Cette étape couvre les émissions de GES dues aux intrants qui sont des sous-produits d'origine industrielle utilisés dans le processus HVO. Ces intrants étant considérés comme des sous-produits (un équivalent de déchets), les émissions associées à leur production ont été considérées comme nulles dans le cadre de l'étude réalisée. Seules les émissions dues au traitement (si nécessaire) et au transport sont comptabilisées.

- Processus de transformation

Les procédés industriels de transformation en biopropane sont réalisés sur le site de La Mède de Total. Ces procédés comprennent suivant les intrants des étapes de raffinage, de prétraitement, le processus HVO et enfin un processus de purification.

Le processus HVO, connu sous le nom d'hydrotraitement, extrait l'oxygène de la biomasse et produit un mélange d'hydrocarbures (biodiesel et biopropane), d'eau et de CO₂.

Comme stipulé au point 17 de l'annexe V de la Directive 2009/28/CE de l'Union Européenne relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables (dite directive « RED »), la règle d'allocation entre le biodiesel et le biopropane lors du processus HVO est une « répartition au prorata de leur contenu énergétique (déterminé par le pouvoir calorifique inférieur dans le cas de coproduits autres que l'électricité) ».

- Distribution

Cette étape correspond à la distribution en France à partir de l'usine Total de La Mède.

Elle comprend différents transports (par pipeline, par route ou voie ferrée) et plusieurs étapes de stockages intermédiaires.

Les données de distribution sont spécifiques à Primagaz, généralisées pour l'ensemble des distributeurs de biopropane en France

- Combustion

Ce poste correspond à la combustion du propane lors de son utilisation par le client final. Conformément à la Directive RED II annexe V article 13, « les émissions de CO₂ résultant du carburant à l'usage sont considérées comme nulles pour les biocarburants et les bioliquides ». Le biopropane est considéré comme un biocarburant (article 2) car l'ensemble de ses intrants proviennent de « biomasse ». L'huile de palme, étant des « produits [...] provenant de l'agriculture » et les huiles de cuisson, les graisses animales et les acides gras faisant partie de « la fraction biodégradable des déchets industriels ».

- Si vous souhaitez calculer le jeu de donnée pour différentes unités, voici les tableaux des conversions à utiliser :

unité	Tep PCI	GJ	kg	kWh PCI	litre de biopropane
Tep PCI	1	41,87	910	11630	1767
GJ	0,0233	1	21,73	277,78	42,20
kg	0,0011	0,046	1	12,78	1,942
kWh PCI	0,0000859	0,0036	0,0783	1	0,152
litre de biopropane	0,000556	0,02391	0,515	6,58	1

Sources :

[141] Etude Primagaz, étude GreenFlex / « Proposition de facteurs d'émissions de GES associés au biopropane issu d'huiles végétales hydro-traitées (HVO) à la Base Carbone® de l'ADEME » Sept 2017 actualisé en 2021

[143] Vargas, M. ; Maurice, E. ; Graveaud, F. ; Faure, M. (2017) « Evaluation des impacts GES de l'injection du biométhane dans le réseau de gaz naturel - rapport intermédiaire du 16 mai 2017

[144] « Evaluation multi-indicateurs des impacts environnementaux de l'injection du biométhane dans le réseau de gaz naturel à travers une combustion en chaudière pour produire de la chaleur » - Octobre 2023 – Réalisée par Agrosolutions et CGI Business Consulting pour le compte de GRDF - Etude disponible via le lien suivant : [Etude d'analyse du cycle de vie du biométhane injecté dans le réseau de gaz naturel français- GRDF](#)

[146] Clark et al. " PumpTo-Wheels (PTW) methane emission from the heavy-duty (HD) transportation sector" - Environ. Sci. Technol. 2017, 51, 2, 968–976 - <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.est.5b06059>

3.2 Emissions de process et émissions fugitives

Ce chapitre se rapporte aux émissions directes de GES qui ne proviennent pas de l'usage de l'énergie. Cette catégorie englobe des réactions chimiques ou biologiques diverses (dont les émissions résultant du métabolisme de bactéries diverses) et les fuites sans réaction chimique intermédiaire.

Dans la Base Carbone ®, la classification suivante de ces émissions a été adoptée :

- Les émissions liées aux **cheptels** dans les activités d'élevage (fermentation entérique des animaux et gestion des déjections)
- Les émissions liées aux **sols agricoles**, notamment dus à la fertilisation azotée de ces derniers
- Les émissions liées aux **traitement des déchets** (fuites de méthane des centre de stockage, émission de protoxydes d'azote dans le traitement des eaux usées)
- Les fuites de gaz frigorigènes fluorés dans les systèmes de **réfrigération et de climatisation**
- Les émissions liées à certains **process industriels**

Pour réaliser le bilan des émissions de GES réglementaire, ces données sont utilisées pour renseigner les postes n°1.3 (émissions directes des procédés hors énergie) ou n°1.4 (émissions directes fugitives).

Selon les différentes nomenclatures, les émissions de CO₂ découlant de la réduction du minerai de fer par du coke sont classées dans les émissions liées à l'usage de l'énergie ou pas.

3.2.1 Agriculture - cheptels

Description

L'activité humaine augmente les populations de certains animaux par l'activité d'élevage. Ainsi, les émissions de directes de CH_4 et de N_2O des cheptels d'animaux d'élevage sont prises en compte dans les méthodes de comptabilité des émissions de gaz à effet de serre anthropiques.

Les herbivores produisent du méthane en tant que sous-produit de la **fermentation entérique**, processus digestif par lequel l'hydrate de carbone est décomposé par des micro-organismes en simples molécules destinées à l'absorption dans le sang. La quantité de méthane émise dépend du type de tube digestif, de l'âge et du poids de l'animal, et de la qualité et quantité de nourriture consommée. Le bétail ruminant (bovins et ovins notamment) est une grande source de méthane, alors que le bétail non ruminant (chevaux, cochons) représente une source modérée. La structure intestinale des ruminants entraîne une forte fermentation entérique de leurs aliments .

La **gestion des déjections animales** engendre des émissions de GES. Le terme "déjections animales" regroupe le fumier et lisier (c.a.d. le solide et le liquide) produits par les cheptels. La décomposition des déjections animales en condition anaérobie (absence d'oxygène), lors du stockage et du traitement, produit du méthane. La nitrification et la dénitrification de l'azote contenu dans les déjections animales en condition aérobie, lors du stockage et du traitement, produit du protoxyde d'azote. Enfin, une partie de l'azote des déjections animales se transforme en ammoniac ou en NO_x et peut se transformer alors en protoxyde d'azote.

Les émissions liées à l'épandage des déjections animales sont comptabilisées dans le [chapitre suivant sur la fertilisation des sols agricoles](#).

Fermentation entérique

Les valeurs proposées ci-dessous sont celles tirées du guide OMINA 2013 du CITEPA¹⁰² servant à réaliser l'inventaire national des émissions de GES :

Animal	$\text{kgCH}_{4b} \cdot \text{tête}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$
Vache laitière	121
Autres bovins	51
Ovins	9,3
Caprins	11,7
Truies	2,5
Autres porcins	0,65
Chevaux	21,8
Mules et ânes	12,1
Volaille	-

On notera que ces valeurs évoluent au fil du temps et sont hétérogènes d'une source à

l'autre. Toutefois, les ordres de grandeur restent toujours les mêmes.

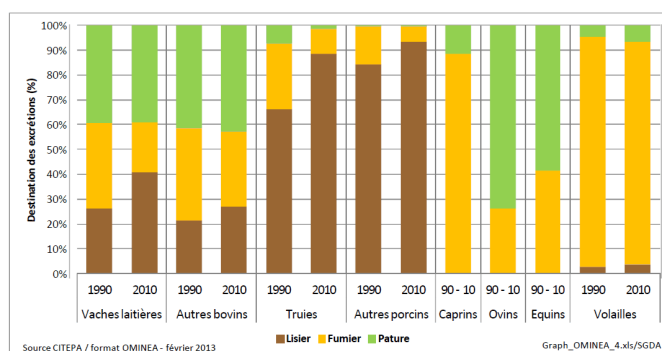
Gestion des déjections animales

Système de gestion

Les émissions directes de CH_4 et N_2O liées aux déjections animales dépendent du type d'animal et du système de gestion des déjections (lisier, fumier ou pâture).

Suivant le type d'animal, les déjections sont destinées à des modes de gestion différents. A chaque animal, on associera une répartition des déjections par mode de gestion : $\text{SG}_{\text{lisier}}$, $\text{SG}_{\text{fumier}}$ et $\text{SG}_{\text{pâturage}}$.

Cette répartition est fournie par le graphique suivant du rapport OMINEA 2013 :



Source : rapport OMINEA 2013 102

Les valeurs 2010 pour le paramètre SG sont conservées pour les calculs suivants, soit :

	Vaches laitières (1990 - 2011)	Autres bovins (1990 - 2011)	Truies	Caprins	Ovins	Equins	Autres porcins	Volailles
$\text{SG}_{\text{lisier}}$	41%	27%	88%	-	-	-	93%	3%
$\text{SG}_{\text{fumier}}$	20%	30%	10%	88%	26%	42%	6%	90%
$\text{SG}_{\text{pâturage}}$	39%	43%	2%	12%	74%	58%	1%	7%

Part CH_4

Les émissions de CH_4 liées à la gestion des déjections animales sont calculées pour chaque animal à partir de la formule du GIEC suivante (reprise du rapport OMINEA) :

$$FE_{CH_4} = SV * 365_{\text{jours/an}} * Bo * 0,67_{\text{kg/m}^3} * \sum (FCM_k * SG_k)$$

Avec

SV : Solides volatils excrétés (kg/jour)

Bo : Capacité de production maximale de CH₄ (m³/kg de SV)

FCM_k : facteur de conversion en CH₄ (%)

k : le mode de gestion (fumier, lisier ou pâture)

Le rapport OMINEA 2013 fournit les valeurs suivantes pour les paramètres Bo, SV et FCM :

		Vaches laitières (1990 - 2011)	Autres bovins (1990 - 2011)	Porcins	Volailles	Ovins	Caprins	Chevaux	Anes
Bo		0,24	0,17	0,45	0,32	0,19	0,17	0,33	0,33
SV		3,46- 4,12	1,93- 1,99	0,5	0,1	0,4	0,28	1,72	0,94
FCM	Liquide (lisier)	39%			1,50%	NA			
	Solide (fumier)	1%			1,50%	1%			
	Pâture	1%							

Source : rapport OMINEA 2013 [102](#)

Part N₂O

Les émissions de N₂O liées à la gestion des déjections animales sont calculées pour chaque animal à partir de la formule suivante :

$$FE_{N_2O} = F_{ex} * 44/28 * \sum (FD_k * SG_k)$$

Avec

F_{ex} : le facteur d'excrétion azoté de l'animal (kg/place/an)*

FD_k : le facteur d'émissions directe de N₂O du mode de gestion (%)

k : le mode de gestion (fumier, lisier ou pâture)

On parle de kg/place/an et non de kg/animal/an car certains animaux, comme les volailles, ont une durée de vie inférieure à l'année.

Les valeurs par défaut du GIEC pour les facteurs d'émissions directes de N_2O des modes de gestion sont :

■ F_{lisier} : 0,1%

■ F_{fumier} : 2%

■ $F_{\text{pâture}}$: 2%

Les facteurs d'excrétion azoté de l'animal sont fournis par le rapport OMINEA 2003. Les valeurs pour l'année 2011 sont les suivantes :

■ F_{ex} (Vaches laitières) : 115,6 kg/place/an

■ F_{ex} (Autres bovins) : 59,1 kg/place/an

■ F_{ex} (Truies) : 21,2 kg/place/an

■ F_{ex} (Autres porcins) : 5,8 kg/place/an

■ F_{ex} (Caprins) : 14,1 kg/place/an

■ F_{ex} (Ovins) : 16,7 kg/place/an

■ F_{ex} (Chevaux) : 60,2 kg/place/an

■ F_{ex} (Mules et ânes) : 17,1 kg/place/an

■ F_{ex} (Poules) : 0,61 kg/place/an

■ F_{ex} (Poulets) : 0,34 kg/place/an

■ F_{ex} (Autres volailles) : 0,71 kg/place/an

Epandage des lisiers et fumiers

Le fumier et le lisier servent d'engrais organique. Les émissions de N_2O liées à leur épandage sont traitées dans le [chapitre suivant sur la fertilisation des sols agricoles](#).

Incertitudes

Selon les lignes directrices sur les inventaires nationaux d'émissions de GES du GIEC, les incertitudes sont :

- 50% pour les facteurs d'émission de CH₄ de la fermentation entérique si les facteurs de Tiers 1 sont retenus
- 20% pour les facteurs d'émission de CH₄ de la fermentation entérique si les facteurs de Tiers 2 sont retenus
- 20% pour les facteurs d'émission de CH₄ de la gestion des déjections animales si les facteurs de Tiers 2 sont retenus
- -50 à 100% pour les facteurs d'émissions de N₂O de la gestion des déjections animales (nitrification / dénitrification)
- -80% à +500% pour les facteurs d'émissions de N₂O de la gestion des déjections animales (depuis NO_x et NH₃)

L'incertitude élevée sur les émissions de N₂O provient des nombreux paramètres biologiques et climatiques qui interviennent dans sa formation.

Sources :

[\[102\] Rapport OMINEA 2013, CITEPA](#)

[\[200\] Lignes directrices du GIEC sur les inventaires nationaux d'émissions de gaz à effet de serre, volume 4, chapitre 10 "émissions des cheptels et de la gestion des déjections"](#)

3.2.2 Agriculture - sols agricoles

Description

La gestion des sols agricoles produit :

- Des émissions de N₂O dues à l'épandage d'engrais azoté d'origine minérale ou végétale
- Des émissions de N₂O dues au drainage / gestion des sols *
- Des émissions de CO₂ dues au chaulage (phénomène marginal par rapport au premier, non traité ici)
- Des émissions de CO₂ dues à l'application d'urée (phénomène marginal par rapport au premier, non traité ici)

* Les terres gérées sont les terres subissant interventions et actions humaines à des fins productives, écologiques ou sociales.

Les sols cultivés reçoivent des quantités d'azote provenant de différentes origines. Les intrants considérés sont d'origines multiples : ils peuvent être synthétiques (fertilisants minéraux), organiques (déjections animales ou boues des stations de traitements des eaux) ou d'origine végétale (résidus de culture ou plantes nitrophiles).

Cette **fertilisation, minérale ou organique** génère des émissions de N_2O de différente façon :

- Emissions directes des sols par des processus de nitrification / dénitrification suite à une augmentation anthropique de la quantité d'azote contenu dans les sols
- Emissions indirectes dues à la volatilisation du N sous forme de NH_3 et d'oxydes de N (NO_x), et le dépôt de ces gaz et de leurs produits NH_4^+ et NO_3^- sur les sols et la surface des lacs et autres plans d'eau
- Emissions indirectes après lixiviation et écoulements de N, surtout sous forme de NO_3^- , sur des sols gérés

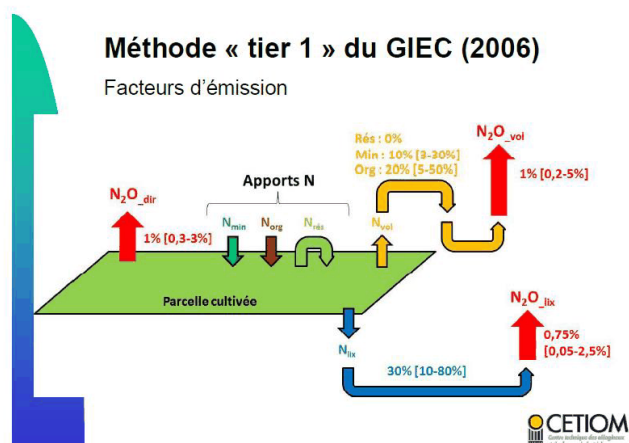
Les termes directes et indirectes n'ont pas le même sens ici que dans la comptabilité carbone de type bilan GES. Les facteurs d'émissions qui sont déduit de ce chapitre, ne sont que des FE directs !

Dans la Base Carbone ®, la méthode retenue pour l'estimation de ces émissions de N_2O est celle du projet AGRIBALYSE, soit la méthode GIEC 2006b Tiers 1²⁰⁰. C'est cette méthode qui est détaillée ci-après.

Fertilisation azoté

Principe

La figure suivante présente une vue d'ensemble des émissions directes et indirectes de N_2O pour les productions végétales. Seuls les facteurs d'émissions (flux et chiffres en rouge) ont été repris ; les autres flux (apports, volatilisation – en jaune - et lessivage – en bleu) ont été calculés dans les modèles nitrate et ammoniac/ NO à partir de données collectées par culture.



Modèle d'émission de N₂O selon GIEC (2006b) niveau 1

Source : rapport méthodologique AGRIBALYSE

Equations

Le modèle de calcul N₂O n'utilise le GIEC 2006b (Niveau 1) :

Equation n°1 : Emissions directes de N₂O des sols gérés (niveau 1) :

ÉQUATION 11.1
ÉMISSIONS DIRECTES DE N₂O DES SOLS GÉRÉS (NIVEAU 1)

$$N_2O_{Directes} - N = N_2O - N_{N_{entrées}} + N_2O - N_{SO} + N_2O - N_{PPP}$$

Où :

$$N_2O - N_{N_{entrées}} = \left[\left[(F_{SN} + F_{ON} + F_{RR} + F_{MOS}) \cdot FE_1 \right] + \left[(F_{SN} + F_{ON} + F_{RR} + F_{MOS})_{RI} \cdot FE_{1RI} \right] \right]$$

$$N_2O - N_{SO} = \left[\left(F_{SO,CP,Temp} \cdot FE_{2CP,Temp} \right) + \left(F_{SO,CP,Trop} \cdot FE_{2CP,Trop} \right) + \left(F_{SO,F,Temp,RN} \cdot FE_{2F,Temp,RN} \right) + \left(F_{SO,F,Temp,PN} \cdot FE_{2F,Temp,PN} \right) + \left(F_{SO,F,Trop} \cdot FE_{2F,Trop} \right) \right]$$

$$N_2O - N_{PPP} = \left[\left(F_{PPP,BVS} \cdot FE_{3PPP,BVS} \right) + \left(F_{PPP,MA} \cdot FE_{3PPP,MA} \right) \right]$$

Source : GIEC (2006b) niveau 1

Où :

N₂O_{Directes} - N = émissions annuelles directes de N₂O - N imputables aux sols gérés, kg N₂O - N an⁻¹

N₂O - N_{N_{entrées}} = émissions annuelles directes de N₂O - N imputables aux entrées de N sur les sols gérés, kg N₂O - N an⁻¹

N_2O-N_{SO} = émissions annuelles directes de N_2O-N imputables aux sols organiques gérés, kg N_2O-N an⁻¹

N_2O-N_{PPP} = émissions annuelles directes de N_2O-N imputables aux entrées d'urine et de fèces sur les sols de paissance, kg N_2O-N an⁻¹

F_{SN} = quantité annuelle de N d'engrais synthétique appliqué aux sols, kg N an⁻¹

F_{ON} = quantité annuelle de fumier animal, compost, boues d'égouts et autres ajouts de N organiques appliquée aux sols (Note : Si les boues d'égouts sont incluses, contre-vérifier avec le secteur *Déchets* afin de ne pas double compter les émissions de N_2O dues au N des boues d'égout), kg N an⁻¹

F_{RR} = quantité annuelle de N retourné aux sols dans les résidus de récoltes (aériens et souterrains), y compris les cultures fixatrices d'azote et dues au renouvellement des fourrages/pâturages, kg N an⁻¹

F_{MOS} = quantité annuelle de N minéralisé dans les sols minéraux associée aux pertes de C des sols de la matière organique des sols en raison de changements d'affectation des terres ou de gestion, kg N an⁻¹

F_{SO} = superficie annuelle de sols organiques drainés/gérés, ha (Note : les indices inférieurs CP, F, Temp, Trop, RN et PN se réfèrent à terres cultivées et prairies, terres forestières, tempérée, tropicale, riche en nutriments et pauvre en nutriments, respectivement)

F_{PPP} = quantité annuelle de N d'urine et de fèces déposée par les animaux paissant sur des pâturages, parcours et parcelles, kg N an⁻¹ (Note : les indices inférieurs BVS et MA se réfèrent aux bovins, volaille et suidés, et moutons et autres animaux, respectivement)

FE_1 = facteur d'émissions des émissions de N_2O dues aux entrées de N, kg N_2O-N (kg entrées de N)⁻¹ (tableau 11.1)

FE_{IRI} représente le facteur d'émissions des émissions de N_2O dues aux entrées de N sur le riz inondé, kg N_2O-N (kg entrées de N)⁻¹ (tableau 11.1) ⁵

FE_2 = facteur d'émissions des émissions de N_2O dues sols organiques drainés/gérés, kg N_2O-N ha⁻¹ an⁻¹ (tableau 11.1) (Note : les indices inférieurs CP, F, Temp, Trop, RN et PN se réfèrent à terres cultivées et prairies, terres forestières, tempérée, tropicale, riche en nutriments et pauvre en nutriments, respectivement)

FE_{3PPP} = facteur d'émissions des émissions de N_2O dues au N de l'urine et des fèces déposé sur les pâturages, parcours et parcelles par les animaux paissant, kg N_2O-N (kg entrées de N)⁻¹ ; (tableau 11.1) (Note : les indices inférieurs BVS et MA se réfèrent aux bovins, volaille et suidés, et moutons et autres animaux, respectivement)

Equation n°2 : Emissions de N_2O liées à la déposition atmosphérique d'azote volatilisé issus de la gestion des sols (niveau 1) :

ÉQUATION 11.9
 N_2O DU AU DEPOT ATMOSPHERIQUE DE N VOLATILISE DEPUIS DES SOLS GERES (NIVEAU 1)

$$N_2O_{(DAT)}-N = [(F_{SN} \bullet Frac_{GAZE}) + ((F_{ON} + F_{PPP}) \bullet Frac_{GAZM})] \bullet FE_4$$

Source : GIEC (2006b) niveau 1

Où :

$N_2O_{(DAT)}-N$ = quantité annuelle de N_2O-N produite par le dépôt atmosphérique de N volatilisé depuis des sols gérés, kg N_2O-N an⁻¹

F_{SN} = quantité annuelle de N d'engrais synthétique appliqué aux sols, kg N an⁻¹

$Frac_{GAZE}$ = fraction de N d'engrais synthétique volatilisé sous forme de NH_3 et de NO_x , kg N volatilisé (kg de N appliqué)⁻¹ (tableau 11.3)

F_{ON} = quantité annuelle de fumier animal géré, compost, boues d'égouts et autres ajouts de N organiques appliqués aux sols, kg N an⁻¹

F_{PPP} = quantité annuelle de N d'urine et de fèces déposée par des animaux paissant sur des pâturages, parcours et parcelles, kg N an⁻¹

$Frac_{GAZM}$ = fraction de matériaux d'engrais au N organiques appliqués (F_{ON}) et de N d'urine et de fèces déposé par les animaux paissant (F_{PPP}) volatilisé sous forme de NH_3 et de NO_x , kg N volatilisé (kg de N appliqué ou déposé)⁻¹ (tableau 11.3)

FE_4 = facteur d'émissions des émissions de N_2O dues au dépôt atmosphérique de N sur les sols et les surfaces aquatiques, [kg N- N_2O (kg NH_3-N + NO_x-N volatilisé)⁻¹] (tableau 11.3)

La conversion des émissions de $N_2O_{(DAT)}-N$ en émissions de N_2O , pour l'établissement des rapports, se fait à l'aide de l'équation suivante :

$$N_2O_{(DAT)} = N_2O_{(DAT)}-N \cdot 44/28$$

Equation n°3 : Emissions de N_2O dues à la lixiviation de l'azote des sols gérés, dans les régions où existent ces écoulements (niveau 1) :

ÉQUATION 11.10
 N_2O DU A LA LIXIVIATION/ÉCOULEMENTS DE N DE SOLS GERES DANS LES REGIONS OU
EXISTENT LA LIXIVIATION ET LES ÉCOULEMENTS (NIVEAU 1)

$$N_2O_{(L)}-N = (F_{SN} + F_{ON} + F_{PPP} + F_{RR} + F_{MOS}) \cdot Frac_{LXI-(H)} \cdot FE_5$$

Source : GIEC (2006b) niveau 1

Où :

$N_2O_{(L)}-N$ = quantité annuelle de N_2O-N produit par la lixiviation et les écoulements après ajouts de N aux sols gérés dans les régions où existent la lixiviation et les écoulements, kg N_2O-N an⁻¹

F_{SN} = quantité annuelle de N d'engrais synthétique appliqué aux sols dans les régions où existent la lixiviation et les écoulements, kg N an⁻¹

F_{ON} = quantité annuelle de fumier animal géré, compost, boues d'égouts et autres ajouts de N organiques appliqués aux sols dans les régions où existent la lixiviation et les écoulements, kg N an⁻¹

F_{PPP} = quantité annuelle de N d'urine et de fèces déposée par des animaux paissant dans les régions où existent la lixiviation et les écoulements, kg N an⁻¹ (tirée de l'équation 11.5)

F_{RR} = quantité annuelle de N retourné aux sols dans les résidus de récoltes (aériens et souterrains), y compris les cultures fixatrices d'azote, et dû au renouvellement des fourrages/pâturages, dans les régions où existent la lixiviation et les écoulements, kg N an⁻¹

F_{MOS} = quantité annuelle de N minéralisé dans les sols minéraux, associé aux pertes de C des sols de la matière organique des sols en raison de changements d'affectation des terres ou de gestion dans les régions où existent la lixiviation et les écoulements, kg N an⁻¹ (tirée de l'équation 11.8)

$Frac_{LXI-(H)}$ = fraction de tout le N minéralisé/ajouté aux sols gérés dans les régions où existent la lixiviation et les écoulements, et perdue par la lixiviation et les écoulements, kg N (kg d'ajouts de N)⁻¹ (tableau 11.3)

FE_5 = facteur d'émissions des émissions de N_2O dues à la lixiviation et aux écoulements de N, kg N_2O-N (kg de N lessivé et écoulé)⁻¹ (tableau 11.3)

Les facteurs d'émissions du GIEC

TABLEAU 11.1 FACTEURS D'ÉMISSIONS PAR DÉFAUT POUR LES ÉMISSIONS DIRECTES DE N ₂ O DES SOLS GÉRÉS		
Facteur d'émission	Valeur par défaut	Plage d'incertitude
FE ₁ pour les ajouts de N par les engrais minéraux, les amendements organiques et les résidus de récoltes, et N minéralisé des sols minéraux en raison de pertes de carbone des sols [kg N ₂ O-N (kg N) ⁻¹]	0,01	0,003 – 0,03
FE _{IRI} pour les rizières inondées [kg N ₂ O-N (kg N) ⁻¹]	0,003	0,000 – 0,006
FE _{2CP, Temp} pour les sols de cultures organiques tempérées et de prairies (kg N ₂ O-N ha ⁻¹)	8	2 - 24
FE _{2CP, Trop} pour les sols de cultures organiques tropicales et de prairies (kg N ₂ O-N ha ⁻¹)	16	5 - 48
FE _{2F, Temp Org R} pour les sols de forêts organiques tempérées et boréales riches en nutriments (kg N ₂ O-N ha ⁻¹)	0,6	0,16 – 2,4
FE _{2F, Temp Org P} pour les sols de forêts organiques tempérées et boréales pauvres en nutriments (kg N ₂ O-N ha ⁻¹)	0,1	0,02 – 0,3
FE _{2F, Trop} pour les sols de forêts organiques tropicales (kg N ₂ O-N ha ⁻¹)	8	0 - 24
FE _{3PPP, BVs} pour les bovins (laitiers, non laitiers et buffles), la volaille et les suidés [kg N ₂ O-N (kg N) ⁻¹]	0,02	0,007 – 0,06
FE _{3PPP, MA} pour les mouton et « autres animaux » [kg N ₂ O-N (kg N) ⁻¹]	0,01	0,003 – 0,03
Sources : FE ₁ : Bouwman <i>et al.</i> 2002a,b ; Stehfest & Bouwman, 2006 ; Novoa & Tejeda, 2006 ; FE _{IRI} : Akiyama <i>et al.</i> , 2005 ; FE _{2CP, Temp} , FE _{2CP, Trop} , FE _{2F, Temp} : Klemetsson <i>et al.</i> , 1999, <i>Recommandations du GIEC en matière de bonnes pratiques</i> , 2000 ; FE _{2F, Temp} : Alm <i>et al.</i> , 1999 ; Laine <i>et al.</i> , 1996 ; Martikainen <i>et al.</i> , 1995 ; Minkinen <i>et al.</i> , 2002 ; Regina <i>et al.</i> , 1996 ; Klemetsson <i>et al.</i> , 2002 ; FE ₃ , BVs, FE ₃ , MA : de Klein, 2004.		

Source : GIEC (2006b) niveau 1

TABLEAU 11.3 FACTEURS D'ÉMISSIONS, DE VOLATILISATION ET DE LIXIVIATION PAR DÉFAUT POUR LES ÉMISSIONS INDIRECTES DE N ₂ O DES SOLS		
Facteur	Valeur par défaut	Plage d'incertitude
FE ₄ [volatilisation et redépôt de N], kg N ₂ O-N (kg NH ₃ -N + NO _x -N volatilisé) ^{-1 22}	0,010	0,002 - 0,05
FE ₅ [lixiviation/écoulements], kg N ₂ O-N (kg N lixiviation/écoulements) ^{-1 23}	0,0075	0,0005 - 0,025
Frac _{GAZE} [volatilisation des engrais synthétiques], (kg NH ₃ -N + NO _x -N) (kg N appliqué) ⁻¹	0,10	0,03 - 0,3
Frac _{GAZM} [volatilisation de tous les engrais organiques au N appliqués, et des fèces et de l'urine déposées par les animaux paissant], (kg NH ₃ -N + NO _x -N) (kg N appliqué ou déposé) ⁻¹	0,20	0,05 - 0,5
Frac _{LIXI-05} [pertes de N dues à la lixiviation/écoulements pour les régions où Σ (pluies en saison pluvieuse) - Σ (EP à la même époque) > capacité de rétention d'eau des sols, OU où l'on irrigue (sauf irrigation goutte à goutte)], kg N (kg ajouts de N ou dépôts par les animaux paissant) ⁻¹	0,30	0,1 - 0,8
Note : Le terme Frac _{LIXI} précédemment utilisé a été modifié pour ne s'appliquer désormais qu'aux régions où les capacités en rétention d'eau sont excédées, en conséquence des précipitations et/ou de l'irrigation (sauf goutte à goutte), et lorsqu'il y a lixiviation/écoulements. Il est recréé sous la forme Frac _{LIXI-05} . À la définition de Frac _{LIXI-05} présentée ci-dessus, EP est l'évaporation potentielle, et les saisons des pluies peuvent être comprises comme les périodes où les précipitations > 0,5 * Pan Évaporation. (On peut trouver la définition de l'évaporation potentielle et de la panévaporation dans tout texte agricole ou météorologique de base). Pour d'autres régions, la valeur de Frac _{LIXI} par défaut est considérée comme nulle.		

Source : GIEC (2006b) niveau 1

Les facteurs d'émissions obtenus

En reprenant les équations et valeurs par défaut du GIEC, on calcul les FE suivant :

- Epandage d'engrais minéraux : 0,021 kgN₂O / kg d'azote étendu
- Epandage d'engrais organiques (déjections animales, végétaux, compost, boues de station d'épuration...) : 0,022 kgN₂O / kg d'azote étendu
- Résidus de culture : 0,019 kgN₂O / kg d'azote étendu

- Déjections animales des BVS (Bovins, volaille, suidés) en pâture : 0,038 kgN₂O / kg d'azote étendu
- Déjections animales des MA (Moutons et autres animaux) en pâture : 0,022 kgN₂O / kg d'azote étendu
- Drainage / gestion des sols des cultures organiques tempérées et de prairies : 13 kgN₂O / ha
- Drainage / gestion des sols des forêts organiques tempérées : 0.9 kgN₂O / ha

Incertitudes

La variabilité naturelle des phénomènes décrits ci-dessus entraîne des incertitudes très importantes sur les facteurs d'émissions : de -80% à +400%.

Sources :

[\[201\] Lignes directrices du GIEC sur les inventaires nationaux d'émissions de gaz à effet de serre, volume 4, chapitre 11 "N2O emissions from managed soils, and co2 emissions from limes and urea application"](#)

3.2.3 Traitement des déchets et eaux usées

Description

Le traitement des déchets génèrent des émissions directes de GES lors :

- Du stockage des déchets solides organiques
- Process d'épuration des eaux usées
- Fuite de biogaz
- Compostage
- Épandage des boues de stations d'épurations et compost (voir [agriculture - sols agricoles](#))
- De l'incinération des déchets (voir le chapitre sur la combustion des déchets)

Stockage des déchets solides organiques

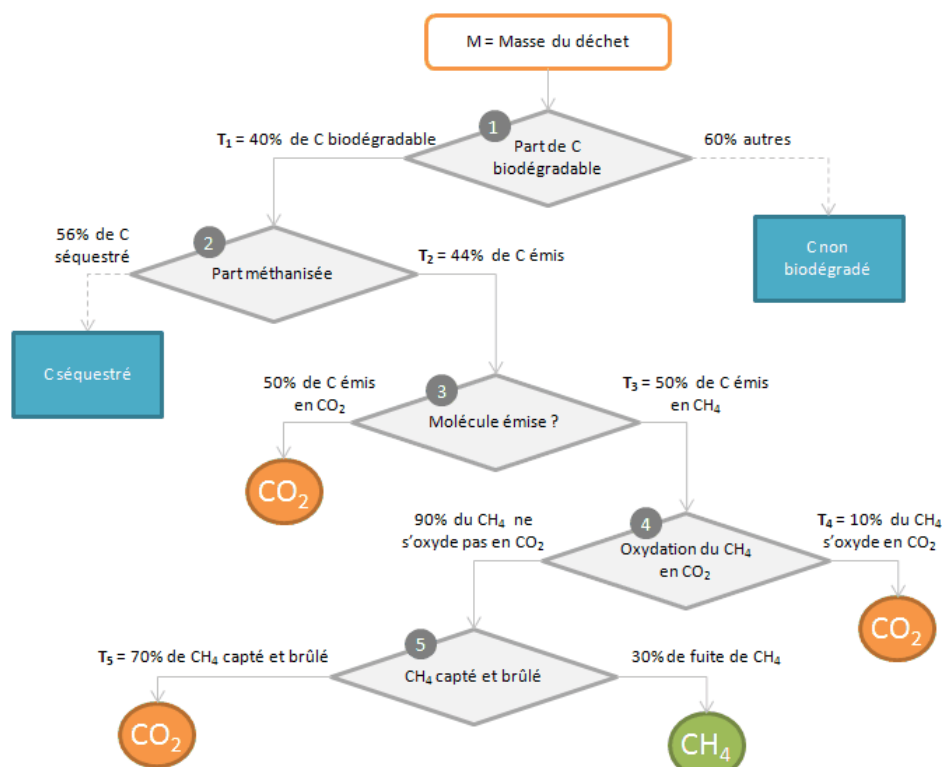


Schéma des émissions de GES dues au stockage des déchets organiques

Les déchets biodégradables ou "biodéchets" appartiennent à une catégorie de déchets d'origine végétale ou animale en général, qui se décomposent grâce à d'autres organismes vivants (décomposeurs). On les trouve généralement dans les résidus urbains solides (parfois appelées ordures ménagères biodégradables) comme :

- les déchets végétaux
- les déchets de cuisine allant dans les ordures ménagères
- les déchets de papiers et cartons
- les plastiques et autres contenants ou emballages biodégradables.

Cette décomposition a notamment lieu dans des centres de stockage. Elle génère des émissions de GES en suivant le principe du schéma représenté ci-dessus.

Ainsi, pour chaque type de déchets, on dispose des **taux caractéristiques** suivant :

- T_1 : % (en poids) de C Biodégradable
- T_2 : Taux de méthanisation du C biodégradable
- T_3 : Taux de CH_4 dans le gaz
- T_4 : Taux d'oxydation

■ T_5 : Taux moyen de captage (caractéristique du centre de stockage)

Les émissions de CH_4 du déchets sont donc données par la formule suivante :

$$E_{\text{CH}_4} = M * T_1 * T_2 * T_3 * (1-T_4) * (1-T_5)$$

Les émissions de CO_{2b} du déchets sont donc données par la formule suivante :

$$E_{\text{CO}_{2b}} = M * T_1 * T_2 * [(1 - T_3) + T_3 * T_4 + T_3 * (1-T_4) * T_5 * 44/12]$$

Dans la Base Carbone ®, on dispose des taux suivant :

Type de déchet	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5
Déchets de carton	40%	22%	50%	10%	70%
Déchets de papier	38%	24%	50%	10%	70%
Déchets alimentaires	15%	38%	50%	10%	70%
Ordures ménagères	13%	30%	50%	10%	70%

Cela permet de trouver les facteurs d'émissions suivants :

Type de déchet	Pour 1 tonne de déchets	
	kg CO_{2b} émis	kg CH_4 émis
Déchets de carton	150	11,9
Déchets de papier	155	12,3
Déchets alimentaires	97	7,7
Ordures ménagères	64	5,1

Si le centre de stockage n'est pas équipé de moyen de captage du méthane, alors les émissions de CH_4 augmentent drastiquement ($T_5 = 0$). On suppose dans la Base Carbone ® que tous les centres de stockage en sont équipés en France.

Process d'épuration des eaux usées

Description

Le traitement des eaux usées peut conduire aux émissions directes de GES suivantes :

- Des émissions de CH₄ générées lors du séjour en conditions anaérobies (marécages, bassins de rétentions, lagunes, bras mort de rivière...) d'eaux chargées en matière organique (contenant beaucoup de carbone).
- Des émissions de N₂O générées par la dégradation (nitrification / dénitrification) des composés azotés contenues dans l'eau, en conditions aérobies ou non.

Certaines entreprises peuvent disposer de mesures précises des émissions de CH₄ et N₂O aux niveau de leurs installation. Ces valeurs sont bien entendu plus précises que les valeurs ci-dessous et s'y substitue donc.

Part CH₄

En pratique, il faut une durée de séjour minimum en conditions anaérobies et une concentration minimum des eaux usées en matières organiques, pour que les émissions soient significatives, ce qui suit ne concerne pas :

- les eaux rejetées dans un milieu non stagnant (eaux en mouvement de rivière ou de fleuve, par exemple), où les conditions anaérobies ne sont pas réunies,
- les eaux rejetées dans un réseau qui aboutit à une station d'épuration, car le maintien en conditions anaérobies de la matière organique en suspension (qui ne dure que le temps d'arriver à la station) est bien trop court pour que des émissions significatives aient lieu. Seules les eaux en sortie de station, et rejetées dans un milieu stagnant, sont éventuellement à prendre en compte.

Une parfaite adéquation des facteurs d'émission à la réalité devrait conduire à utiliser des facteurs différenciés selon le système de traitement (qui conditionne le caractère plus ou moins aérobie) et les conditions climatiques (qui conditionnent la rapidité de fermentation). Ainsi, selon ce contexte une part plus ou moins grande du carbone initial est effectivement transformée en méthane.

Le GWRC, dans ses travaux de 2010, recommande d'utiliser un ratio de CH₄ émis/ DCO* éliminée = 0,0002. Soit :

$$\text{kg CH}_4 \text{ provenant des eaux usées} = 0,0002 * \text{kg DCO}^* \text{ éliminée}$$

* DCO : Demande Chimique en Oxygène

Part N₂O

Les publications scientifiques récentes s'accordent sur le fait que les émissions de N₂O des stations d'épuration sont essentiellement liées à l'étape de nitrification. Les quantités de N₂O produites sont proportionnelles aux flux d'azote nitrifié et dépendent de la nature du traitement et donc du type de procédé de traitement et de sa mise en oeuvre.

Le groupe de travail de l'ASTEE sur le guide sectoriel eau et assainissement²¹⁰ propose de retenir le facteur d'émissions de 0,073 % t N₂O / t NTK* abattue sur la STEU quel que soit le procédé de traitement. Cette valeur est obtenue avec une valeur de rendement de 80% et s'applique sur les stations qui traitent l'azote. Il met toutefois en garde sur les incertitudes très importantes sur ce poste (écarts pouvant aller de 1 à 20).

$$\text{kg N}_2\text{O provenant des eaux usées} = 0,00073 * \text{kg NTK}^*$$

* NTK : azote total réduit

Incertitudes

Pour les process d'épuration des eaux usées, l'incertitude étant très grande (de 1 à 20), la valeur de 2000% est retenue.

Sources :

- [210] [*ASTEE - ADEME / Guide méthodologique des émissions de gaz à effet de serre des services de l'eau et de l'assainissement \(Guide sectoriel Mis à jour en 2018\)*](#)
[211] [*Ministère australien de l'environnement / 1997 / A Quick Reference Guide, Estimating Potential Methane Production, Recovery and Use from Waste.\(www.environnement.gov.au\)*](#)

3.2.4 Réfrigération et climatisation

Principe

Les systèmes de production de froid comportent au moins un circuit contenant un fluide caloporteur. Ces systèmes ne sont pas parfaitement hermétiques et présentent des fuites. Les gaz fluorés issus de ces fuites sont de puissants gaz à effet de serre. Leurs PRG sont indiqués dans le chapitre : [données physiques > PRG](#).

Ce chapitre fournit pour chaque système frigorifique des valeurs moyennes :

- La **charge** du système (ou un ratio de charge) qui permet de connaître la masse de fluide contenu dans le système
- Un **taux de fuite annuel** qui permet d'estimer la quantité de fluide qui est émise annuellement
- Un **taux de fuite en fin de vie** qui permet d'estimer la quantité de fluide qui est émise lorsque le système est détruit

Connaître les émissions de GES de ses équipements de froid consiste donc à :

- Déterminer les volumes de fluides frigorigènes ayant fuités dans l'année (valeurs exactes si connues ou calcul via les données moyenne de la Base Carbone ®)
- Déterminer le type de gaz fluoré et son PRG
- Faire le produit des deux

Certaines entreprises disposent des charges exactes de leurs équipements. Ces valeurs sont bien entendu plus précises que les valeurs ci-dessous et s'y substituent donc.

Ce classement retenu dans la Base Carbone est le suivant :

- Réfrigération - commerciale
- Réfrigération - industrielle
- Réfrigération - transport de marchandises
- Climatisation - résidentielle
- Climatisation - commerciale
- Climatisation - tertiaire (hors commerce)
- Climatisation - transport de personnes

Les données proposées dans cette section sont tirées de l'inventaire des émissions de fluides frigorigènes réalisé par ARMINES²²⁰.

Réfrigération

Commerciale

Le terme « froid commercial » désigne les équipements qui servent à conserver, dans les magasins (de l'épicerie de quartier à l'hypermarché) des produits (le plus souvent des aliments) au froid (bacs réfrigérants, bacs à surgelés, etc).

Pour cette catégorie d'appareils, nous proposons une approche par les surfaces de vente. En pratique cette approche passe par une estimation intermédiaire qui attribue à un type de commerce donné une puissance frigorifique moyenne par unité de surface.

Les équipements fonctionnant en froid positif peuvent être rangés dans deux sous-catégories :

- les systèmes directs désignent les équipements qui ne disposent que d'un seul circuit frigoporteur - contenant le fluide frigorigène - qui va du compresseur/échangeur au compartiment réfrigéré,
- les systèmes indirects désignent les équipements qui disposent d'un échangeur intermédiaire : un premier circuit, qui contient un fluide frigorigène pouvant changer de phase, va du compresseur à un échangeur, où il transfère ses frigories à un deuxième circuit (contenant un fluide qui n'a pas besoin de changer de phase) qui va de l'échangeur au compartiment réfrigéré.

Les systèmes indirects sont techniquement plus complexes, puisqu'il faut un composant supplémentaire dans l'appareil. Leur avantage est que le circuit primaire (celui qui part du compresseur) est moins long et donc contient moins de fluide frigorigène, ce qui limite la quantité qui fuit (cette dernière est souvent proportionnelle à la charge en fluide).

Dans tous les cas de figure, l'âge joue un rôle important dans les taux de fuite : plus un appareil est vieux, plus son taux de fuites augmente.

Enfin un sous-ensemble des installations de réfrigération s'intitule les meubles autonomes, ce qui désigne de petits appareils de réfrigération qui se trouvent généralement dans les commerces de proximité.

Système	type de surface de vente	ratio de charge (kg de fluide / m ²)	charge moyenne (kg de fluide)	taux de fuites annuel (%)	taux de fuites en fin de vie (%)
direct	120 à 400 m ² - supérette	-	132	14	71
direct	120 à 400 m ² - alimentation générale	-	5	10	78
direct	400 à 2500 m ²	0,21	-	20	20
direct	2500 à 15000 m ²	0,19	-	27	20
indirect	toute	0,12	-	10	20

Approche par les surfaces de vente

charge moyenne (kg de fluide)	taux de fuites annuel (%)	taux de fuites en fin de vie (%)
0,3	0,5	90

Meubles autonomes

Industrielle

Le froid est utilisé de façon importante dans l'industrie agro-alimentaire et dans certains procédés industriels.

Le tableau ci-dessous raisonne par secteur industriel et par puissance d'équipement. Il nous fournit notamment :

- Un ratio de charge (kg fluide / kW frigo)
- Un taux de fuite annuel
- Un taux de fuite en fin de vie

Type d'industrie	Moyen temp évap -10 à -15 °C	BT -35 à - 50 °C	Système		Pfrigo MWfroid	Ratio de charge (kgfluide/kW frigo)	Charge typique (t)	taux de fuite annuel (%)	taux de fuite fin de vie (%)
			direct	indirect					
Industrie agro alimentaire									
industrie viande (abattoirs)	X		X		1 à 2	5,5	6 à 8	14	15
produits laitiers	X			X	0,5 à 1	1	0,5 à 1	12	15
vin	X			X	0,2	2	0,5	12	15
bière	X			X	1 à 2	2	1,5	12	15
surgelés		X	X		1 à 5	8,8	10 à 20	14	10
glace hydrique poissons	X		X		10 kW à 2 MW	4	4 kg à 8 t	14	15
entrepôts frigorifiques	X	X	X		2 à 10	6	12 à 20	14	10
chocolaterie industrielle	X			X	0,5	2	0,5	12	15
boissons gazeuses	X			X	0,5 à 2	2	1	12	15
Procédés industriels									
chimique	X	X	X		0,5 à 5	6	6 à 10	14	10
caoutchouc	X		X		2	5,5	10	15	15
patinoires		X	X	X	0,5 à 2	3	2	12	50

De plus, nous disposons de valeurs spécifiques aux tanks à lait et les patinoires

charge moyenne (kg de fluide)	taux de fuites annuel (%)	taux de fuites en fin de vie (%)
2,1	12	62

Tank à lait

Type de patinoire	charge moyenne (kg de fluide)	taux de fuites annuel (%)	taux de fuites en fin de vie (%)
patinoire fixe	1000	15	35
patinoire mobile	250	15	35

Patinoires

Transport de marchandises

Le transport de marchandises frigorifique est principalement utilisé pour les produits alimentaires.

Type de transport	charge moyenne (kg de fluide)	taux de fuites annuel (%)	taux de fuites en fin de vie (%)
Transport maritime	1000	15	80
Transport par camion (système "poulie-courroie")	2.2	22	30
Transport par semi-remorque (système "moteur thermique")	6.5	13	30
Conteneur autonome - neuf	4.6	20	80

transport frigorifique de marchandises

Climatisation

Résidentielle

Dans le secteur résidentielle, on utilise principalement des climatisations à air :

Secteur	Type	charge moyenne (kg de fluide)	taux de fuites annuel (%)	taux de fuites en fin de vie (%)
Résidentiel	"mobile"	0,5	2	30
Résidentiel	"split"	1	5	85
Résidentiel	"splits et multisplits"	5	6	35
Résidentiel	"window"	0,6	2	92
Résidentiel	"multisplits"	1,5	6	90

*Climatisations à air***Commerciale et tertiaire**

Dans le secteur tertiaire, on utilise principalement des climatisations à air. Dans le secteur commercial, on utilise aussi des climatisations à eau glacée :

Secteur	Type	charge moyenne (kg de fluide)	taux de fuites annuel (%)	taux de fuites en fin de vie (%)
Tertiaire	"DRV"	9	10	85
Commerce	"rooftop"	26	5	26
Tertiaire	"armoire"	5	6	85
Tertiaire	Tout équipement confondu	9	9	36

Climatisations à air

Secteur	Type de chiller à compresseur	Puissance de l'équipement	ratio de charge (kg de fluide / m²)	taux de fuites annuel (%)	taux de fuites en fin de vie (%)
Tertiaire	volumétrique	P<50kW	0,3	10	30
Tertiaire	volumétrique	50<P<350kW	0,3	5	30
Tertiaire	volumétrique	P>350kW	0,2	5	30
Tertiaire	centrifuge	-	0,3	4	20

*Climatisations à eau glacée***Transport de personnes**

Type de transport	charge moyenne (kg de fluide)	taux de fuites annuel (%)	taux de fuites en fin de vie (%)
Climatisation automobile (R134a) - neuf	0.52	5	98

Sources :

[\[220\] ADEME - ARMINES, 2011 / Inventaire des émissions des fluides frigorigènes – France – Année 2010](#)

3.2.5 Process industriels

Définition

Il existe de nombreux process industriels spécifiques émettant des GES dont :

- La décarbonatation dans les industries minérales
- Les pertes de SF₆ du réseau de transport d'électricité
- Certains procédés chimiques
- La fabrication et l'utilisation de certains solvants
- L'utilisation de castine dans les procédés sidérurgiques
- L'utilisation des mousses d'isolation thermique,
- L'utilisation des extincteurs incendie,
- L'utilisation des aérosols
- La fabrication de semi-conducteurs
- La fabrication des panneaux photovoltaïques
- La fabrication des équipements électriques
- Les fuites du réseau de gaz naturel

Le seul procédé réellement significatif au niveau national en termes de volume d'émissions de GES est le premier : la décarbonatation dans les industries minérales.

Décarbonatation dans les industries minérales

La fabrication de produits minéraux (ciment, chaux, dolomie, verre, matériaux de construction...) engendre des émissions de CO₂ spécifiques par décarbonatation.

On pourra retenir les facteurs d'émissions suivant¹⁰² :

- Décarbonatation lors de la fabrication du ciment : 525 kgCO₂ / t de clinker

- Décarbonatation lors de la fabrication de la dolomie : 717-815 kgCO₂ / t de dolomie
- Décarbonatation lors de la fabrication de la chaux hydraulique : 335-568 kgCO₂ / t de chaux
- Décarbonatation lors de la fabrication de la chaux issues du raffinage des betteraves : 157 kgCO₂ / t de chaux
- Décarbonatation lors de la fabrication des tuiles et briques : 40 kgCO₂ / t de tuiles et briques

Autres cas

Les émissions fugitives d'autres process industriels nécessiteront une investigation spéciale au cas par cas.

Sources :

[\[102\] Rapport OMINEA 2013, CITEPA](#)

3.3 UTCF

Utilisation des Terres, leurs Changements et la Forêt

Ce chapitre s'intéresse aux variations de stock de carbone d'un territoire. Ces variations proviennent de :

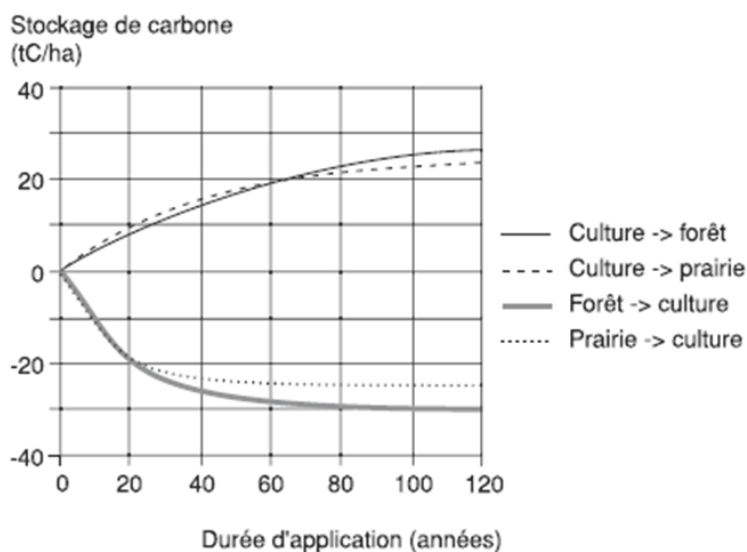
- L'évolution de la biomasse sur pied ou biomasse forestière
- La déforestation / reforestation
- Les changements des stocks de carbone contenu dans les sols suite à un changement d'affectation des sols

Pour réaliser le bilan des émissions de GES réglementaire, ces données sont utilisées pour renseigner le poste n°1.5 (émissions directes issues de la biomasse - sols et forêts)

3.3.1 Changement d'affectation des sols

Description

Les changements d'affectation des sols modifient les stocks de carbone contenus sur les sols. Il peut en résulter soit une émission de CO₂, soit une captation de CO₂. Par exemple, d'un point de vue majoritaire, le retournement d'une prairie et sa substitution par une culture entraîne un déstockage du carbone des sols. Les cinétiques de stockage / déstockage du carbone entraînées par des changements d'affectation des sols sont des **phénomènes qui s'inscrivent sur de longues périodes**. Par ailleurs, on peut également noter sur le graphe ci-dessous que la vitesse de destockage à une échelle de 20 ans est deux fois plus rapide que la vitesse de stockage.



*Evolution des stocks de carbone suite à un changement d'affectation des sols
(L'intervalle de confiance à 95% sur ces valeurs est de l'ordre de +/- 40%),*

Dans ces recommandations, le GIEC distingue 6 types de sols :

- Les forêts
- Les prairies
- Les cultures
- Les espaces artificialisés
- Les zones humides
- Les autres terres

On s'intéressera ici tout particulièrement aux quatre premiers types de sols. On distinguera dans le type d'espaces artificialisés, les sols « imperméabilisés » et les « sols non imperméabilisés » (ceux-ci incluant, pelouses, parc et jardins, etc).

Sources

Ces données proviennent de l'étude de l'INRA : "**Stocker du carbone dans les sols agricoles de France?**" [240](#) (Octobre 2002). Bien que cette étude ne repose pas sur les dernières données fournies par le RMQS [241](#), la méthodologie employée, reflétant les différences de cinétique entre émissions et captations est plus fine que la méthode GIEC [001](#). Elle est par ailleurs appropriée pour le calcul de bilan à l'échelle d'organisations (entreprises ou collectivités).

Concernant l'artificialisation des sols, en première approximation, on ne pas retient pas de changement de stock de C dans les sols lorsque celui-ci devient un espace végétalisé (parc, jardin, pelouse de stade, etc.). Dans le cas des imperméabilisations des sols (construction de voirie, parking ou bâtiments) on appliquera par défaut une émission à hauteur du stock total de carbone contenu dans le sol. Cette approche est cohérente avec la démarche du CITEPA. Les valeurs proposées sont donc pour les prairies et les forêts $290 \text{ tCO}_2.\text{ha}^{-1}$ et pour les cultures $190 \text{ tCO}_2.\text{ha}^{-1}$

Changement d'affectation des sols

Les facteurs d'émission (ou de captation) proposés pour la France sont les suivants :

- FE (culture vers prairie) = $-1,8 (+/- 0,95) \text{ tCO}_2.\text{ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$
- FE (culture vers forêt) = $-1,61 (+/- 0,88) \text{ tCO}_2.\text{ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$
- FE (prairie vers forêt) = $-0,37 (+/- 0,73) \text{ tCO}_2.\text{ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$
- FE (prairie vers culture) = $3,48 (+/- 1,1) \text{ tCO}_2.\text{ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$
- FE (forêt vers culture) = $2,75 \text{ tCO}_2.\text{ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$
- FE (forêt vers prairie) = $0,37 (+/- 0,37) \text{ tCO}_2.\text{ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$
- FE (culture vers prairie) = $-1,8 (+/- 0,95) \text{ tCO}_2.\text{ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$
- FE (forêt vers sols non imperm.) = $0 \text{ tCO}_2.\text{ha}^{-1}$
- FE (prairie vers sols non imperm.) = $0 \text{ tCO}_2.\text{ha}^{-1}$
- FE (culture vers sols non imperm.) = $0 \text{ tCO}_2.\text{ha}^{-1}$
- FE (forêt vers sol imperméabilisés) = $290 (+/- 120) \text{ tCO}_2.\text{ha}^{-1}$
- FE (prairie vers sol imperméabilisés) = $290 (+/- 120) \text{ tCO}_2.\text{ha}^{-1}$
- FE (culture vers sol imperméabilisés) = $190 (+/- 80) \text{ tCO}_2.\text{ha}^{-1}$

	Cultures	Prairies	Forêts	sols non imperm.	sols imperm.
Cultures en terres arables		-1,80	-1,61	0	190
Prairies permanentes	3,48		-0,37	0	290
Forêts	2,75	0,37		0	290

Sources :

[\[001\] AR4 : 4ème rapport du GIEC \(2007\) - Chapitre 3: Recommandations en matière de bonnes pratiques pour le secteur CATF](#)

[\[240\] INRA / Octobre 2002 / Stocker du carbone dans les sols agricoles de France ?](#)

[\[241\] RMQS - Réseau de Mesures de la Qualité des Sols](#)

3.3.2 Forêt Française

Description

L'estimation de la séquestration carbone

A l'échelle globale, les sols et les forêts (y compris les produits issus du bois) stockent, sous forme de biomasse vivante ou morte, 3 à 4 fois plus de carbone que l'atmosphère. Toute variation négative ou positive de ces stocks, même relativement faible, peut influencer sur les émissions de gaz à effet de serre. La séquestration nette de dioxyde de carbone (CO₂) est un flux net positif de l'atmosphère vers ces réservoirs qui se traduit au final par une augmentation des stocks. L'estimation territoriale de ce flux se base sur les informations disponibles sur les changements d'affectation des sols (ex : artificialisation des sols, déforestation), la dynamique forestière et les modes de gestion des milieux (ex : pratiques agricoles) qui modifient sur les stocks de carbone en place.

L'estimation de la séquestration carbone est devenue obligatoire dans le cadre de l'élaboration d'un PCAET (décret le n° 2016-849). L'objectif est de mettre l'accent sur le service rendu par les forêts, les couverts végétaux et les sols, comme "puits carbone" dans le contexte du réchauffement climatique.

CE QUE DIT LE DÉCRET :

« Le diagnostic comprend : une estimation de la séquestration nette de dioxyde de carbone et de ses possibilités de développement identifiant au moins les sols agricoles et la forêt, en tenant compte des changements d'affectation des terres ; les potentiels de production et d'utilisation additionnelles de biomasse à usages autres qu'alimentaires sont également estimés, afin que puissent être valorisés les bénéfices potentiels en termes d'émissions de gaz

à effet de serre, ceci en tenant compte des effets de séquestration et de substitution à des produits dont le cycle de vie est plus émetteur de tels gaz. »

Flux carbone

D'un point de vue méthodologique, l'estimation des flux de carbone entre les sols, la forêt et l'atmosphère est sujette à des incertitudes importantes car elle dépend de nombreux facteurs, notamment pédologiques et climatiques. Deux éléments doivent être pris en compte pour estimer ces flux :

- Les changements d'affectation des sols ;

A titre d'exemple, en France, les trente premiers centimètres des sols de prairies permanentes et de forêts présentent des stocks près de 2 fois plus importants que ceux de grandes cultures. La mise en culture d'une prairie permanente aboutit ainsi à une émission de CO₂ vers l'atmosphère ; au contraire, la forte augmentation de la surface forestière qui a eu lieu au cours du XXème siècle a généré un puits carbone important.

- Les modes de gestion des milieux, notamment :

- Les pratiques agricoles (ex : gestion des résidus de culture, semis direct, couverture du sol, agroforesteries, haies, apports de produits résiduels organiques). Par exemple, la couverture du sol en hiver va permettre d'accroître les apports de biomasse au sol tout en limitant les risques d'érosion et de lessivage des nitrates ;

- Les modes de gestion sylvicole, les niveaux de prélèvement de la biomasse et son mode de retour au sol. Ainsi, la gestion durable de la forêt et le retour au sol de la biomasse est essentiel au maintien des stocks de carbone.

- Les stocks et flux dans les produits issus de la biomasse prélevée, en particulier le bois d'œuvre.

Outil ALDO de l'ADEME

Pour aider les territoires dans leur diagnostic, l'ADEME a développé l'outil « ALDO [242](#) ». Ce tableur Excel propose, à l'échelle des EPCI, des valeurs par défaut pour :

- L'état des stocks de carbone organique des sols, de la biomasse et des produits bois en fonction de l'aménagement de son territoire (occupation du sol) ;
- La dynamique actuelle de stockage ou de déstockage liée aux changements d'affectation des sols, aux forêts et aux produits bois en tenant compte du niveau actuel des prélèvements de biomasse ;

- Les potentiels de séquestration nette de CO₂ liés à diverses pratiques agricoles pouvant être mises en place sur le territoire.

Deux sources majeures d'informations ont nourri le volet biomasse des forêts de l'outil ALDO :

- Les résultats de l'enquête d'Inventaire Forestier National (IFN) de l'IGN qui produit des données sur les volumes de bois et les flux de carbone des principaux types de peuplements forestiers à l'échelle des régions administratives, des Grandes Régions Écologiques (GRECO) ;
- La cartographie des types de peuplements forestiers (différenciant feuillus, résineux et mixte et peupleraies) au niveau des EPCI produite par l'IGN qui permet le calcul des surfaces des différents types de peuplements forestiers cartographiées dans chaque commune ;

A noter : Aldo intègre également des données sur les variations de stocks de carbone dans les sols qui ne sont pas mentionnées ici.

Toutes ces informations sont mises librement à la disposition des territoires pour les aider dans la réalisation de leurs diagnostics sur le carbone des écosystèmes forestiers. **Il est important de vérifier leur pertinence et, le cas échéant, de les remplacer par des valeurs plus cohérentes avec le territoire.**

Retrouvez la page dédiée sur le site de l'ADEME : <https://www.ademe.fr/contribution-lign-a-letablissement-bilans-carbone-forets-territoires-pcaet>, dont notamment le rapport d'étude de l'IGN expliquant comment ont été obtenus les données forestières utilisées dans l'outil ALDO (volet 0 du rapport).

Intégration des données dans la Base Carbone®

Dans l'outil ALDO, les données de flux de carbone liées aux variations de stocks C dans la biomasse forestière proviennent des facteurs de séquestration moyen par Grandes Régions Ecologique et par typologie de peuplement (feuillus, résineux, mixte et peuplier).

Afin de conserver une facilité de navigation et ne pas se soustraire à l'autonomie de l'outil ALDO, la Base Carbone® n'intègre pas le même niveau de précision que l'outil Aldo. Les facteurs d'émissions/séquestration (en tCO₂/ha/an) inclus dans la Base Carbone® correspondant aux 22 anciennes régions administratives métropolitaines et la moyenne « France », sans différencier la région écologique, et avec une granulométrie du type de peuplement plus grossière que celle disponible dans ALDO (*par ensemble de composition VS essence par essence*). Ces valeurs agrégées ont été fournies par l'IGN

(<https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/carbone-epci-ign-2019-volet0-guide-ademe.xlsx>). Elles permettent de donner des premiers ordres de grandeurs et de montrer l'étendue des informations disponibles.

Nous invitons grandement les utilisateurs de la Base Carbone® à utiliser directement les données issues de l'outil ALDO pour plus de précision. Il est important de garder à l'esprit que ces données de flux carbone sont très sensibles à la localisation et à la typologie de peuplement. Ainsi, il est recommandé de descendre à l'échelle locale la plus fine disponible.

Sources :

[\[242\] ADEME – Outil ALDO - Estimer la séquestration de CO2 dans les sols et la biomasse](#)

Part

IV

4 Catégorie 2 : Emissions indirectes - énergie

Les émissions indirectes liées à l'énergie, correspondent à la consommation d'une énergie finale dont les émissions ne sont pas émises sur le lieu de consommation, mais de production. Concrètement, il s'agit de l'électricité et des réseaux de chaleur / froid.

4.1 Electricité

Description

Que ce soit dans une centrale à charbon, nucléaire, avec une éolienne ou un barrage, l'électricité est toujours produite à partir d'une énergie dite "primaire" déjà disponible dans la nature (pétrole, gaz, uranium, solaire...). Pour calculer le "contenu en équivalent CO₂" d'un kWh électrique fourni à l'utilisateur, il est nécessaire, dans l'idéal, de tenir compte :

1. Des émissions de **combustion**, le cas échéant, de l'énergie primaire utilisée,
2. Des émissions **amont liées à la mise à disposition de cette énergie primaire** à la centrale électrique,
3. Des émissions qui ont été engendrées par la **construction de l'installation de production** (qu'il s'agisse d'une centrale produisant en masse ou d'un panneau solaire),
4. Des **pertes en ligne** si l'énergie électrique n'est pas produite sur place, car cette énergie perdue a bien entendu conduit à des émissions lors de sa production.

Les chapitres suivants sont organisés de la façon suivante :

- Le chapitre **mix électrique** s'intéresse au facteur d'émission de l'électricité **au niveau du consommateur** de l'électricité ;
- Le chapitre **moyen de production** s'intéresse au facteur d'émission de l'électricité **associé à chaque système de production d'électricité**.

Pour réaliser le bilan d'Emissions de GES réglementaire, ces données sont utilisées pour renseigner :

- le poste n°2.1 (émissions indirectes liées à la consommation d'électricité) pour les émissions de combustion,

- le poste n°4.1 (émissions indirectes associées aux produits achetés) pour les émissions amont liées à :
 - l'extraction et transport des combustibles,
 - la construction de la centrale
 - les pertes réseaux

L'électricité est produite à partir d'énergies primaires de différentes origines et de compositions variables selon le pays. Il en résulte un "contenu moyen en gaz à effet de serre" de kWh électrique consommé très variable d'un pays à l'autre. On utilisera l'expression « électricité de réseau » pour désigner un kWh produit dans un pays donné. Cette électricité de réseau se verra conventionnellement affecter le contenu moyen en gaz à effet de serre de la consommation électrique effectuée dans le pays.

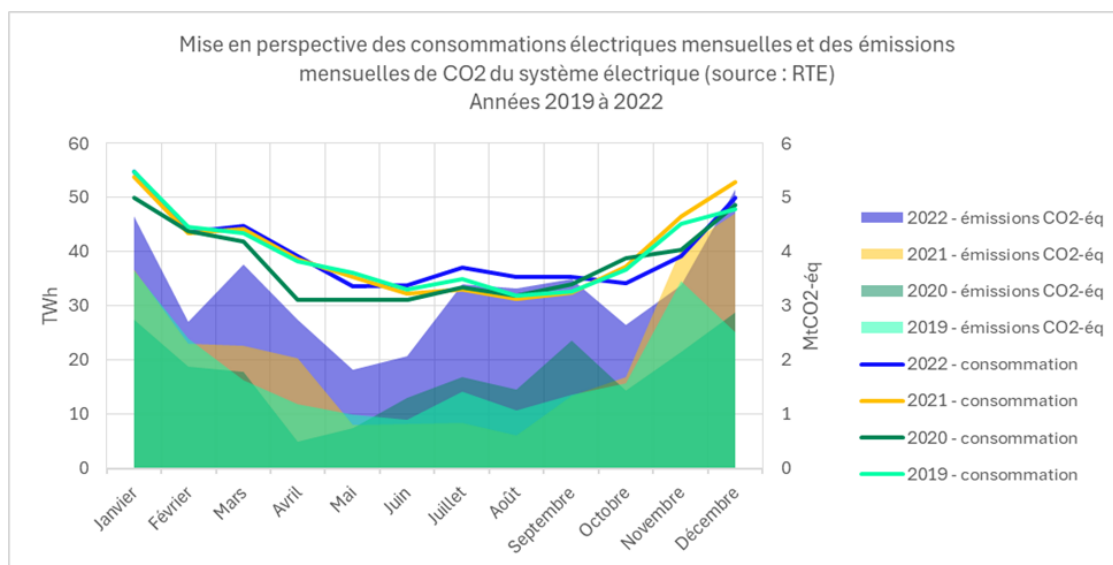
Cette convention suppose implicitement:

- une **prise en compte des imports/exports d'électricité** puisqu'il y a des échanges transfrontaliers qui ont tendance à augmenter avec le renforcement des interconnexions des différents réseaux nationaux. Il faut noter que ces échanges ne représentent souvent, en bilan annuel, qu'une minorité de l'électricité consommée dans le pays (par exemple : solde exportateur de 50,1 TWh sur une production française de 494,7 TWh en 2023),

- qu'il est **impossible de tracer précisément l'origine** de ce kWh (sinon on lui appliquerait un facteur d'émission spécifique à la centrale ou au groupe de centrales dont il est issu).

Par ailleurs, les centrales en fonctionnement ne sont pas les mêmes en fonction de la période de l'année, ni même de l'heure de la journée, pour diverses raisons de coût, de disponibilité technique, de conditions météorologiques, etc*Par exemple, les centrales nucléaires, même si elles peuvent moduler leur production, s'arrêtent et redémarrent moins facilement que les barrages et certaines centrales au fioul ou à gaz qui sont beaucoup plus faciles à arrêter ou à démarrer rapidement en fonction des besoins.*

Comme ce sont ces dernières (les centrales à charbon, à fioul lourd ou à gaz) qui conduisent aux principales émissions de CO₂, on comprendra facilement qu'en fonction de leur mise en route ou non, le contenu moyen CO₂ du kWh qui circule sur le réseau électrique changera de manière significative. Cela explique que le facteur d'émission du kWh électrique de réseau varie, en France, en fonction des mois et de l'heure de la journée : en particulier, il a globalement tendance à augmenter vers la fin d'automne et en hiver, et à diminuer vers la fin du printemps et en été.



Les **contenus CO₂ proposés dans la Base Carbone®**, et plus généralement utilisés dans les méthodes de bilans d'émissions de GES (réglementation art. L229-25 ou autres) sont donc généralement **pertinents pour une évaluation actuelle ou passée**, mais à **utiliser avec précaution pour toute analyse prospective**.

Les facteurs d'émission mis à disposition

Les facteurs d'émission suivants sont mis à disposition dans la Base Carbone^(R).

Nom du FE	Périmètre	Statut
FE "Mix de consommation - moyen"	France continentale	Disponible en consultation en ligne
FE "Mix de consommation - par usage"	France continentale	Disponible en consultation en ligne (plus mis à jour)
FE pour les ZNI	Corse, Guadeloupe, Martinique, La Réunion, Mayotte, Guyane...	Disponible en consultation en ligne (mise à jour à programmer)
FE pour les autres pays	Autres pays	Disponible en consultation en ligne
FE par moyen de production	/	Disponible en consultation en ligne

Pour la réalisation d'un Bilan d'émissions de GES d'une activité en France continentale, le FE « Mix de consommation - moyen » doit être utilisé et non les FE mix de consommation par usage qui peuvent être utilisés à titre « indicatif », en information complémentaire de l'estimation via le FE « Mix de consommation - moyen ».

Pour la réalisation d'un Bilan d'émissions de GES d'une activité dans une ZNI, le FE relatif à la ZNI doit être utilisé.

Comme mentionné à l'annexe 5 de la méthodologie réglementaire pour la réalisation d'un bilan des émissions de GES, la mise à jour annuelle du FE électricité n'engendre pas un recalcul des émissions de l'année de référence d'une organisation.

4.1.1 Mix électrique de la France continentale

Attention : tout ce qui suit concerne les travaux pour la construction des facteurs d'émissions représentatifs du mix français continental uniquement. Pour toutes les ZNI (Zones non-interconnectées) françaises (DROM, COM et Corse), merci de vous référer aux FE spécifiques de vos territoires.

Contexte

Le contenu carbone de l'électricité présente pour la France une variabilité plus grande que d'autres pays, compte tenu de la spécificité du secteur électrique français, dont le parc de production est très hétérogène : centrales nucléaires, énergies renouvelables, centrales gaz...

En effet, en France, les émissions de CO₂ de l'électricité à la production sont en moyenne faibles (voir ci-après Le FE « Mix de consommation - moyen ») mais varient fortement selon les moyens de production : les émissions des parcs nucléaires et renouvelables (sans émissions directes) sont très faibles, mais celles du parc de centrales à gaz ou les importations de charbon sont beaucoup plus élevées. Ceci conduit de fait à des variations saisonnières importantes du contenu moyen en CO₂ du kWh livré sur le réseau, tandis que dans les autres pays européens, cette dispersion est plus limitée dans la mesure où la production d'électricité à partir de centrales thermiques à combustibles fossiles représente la majeure partie de la production en base.

Dans la mesure où les moyens de production émetteurs (centrales thermiques à flamme) fonctionnent en « bouclage » de l'équilibre offre-demande en France, et dans la mesure où le chauffage électrique par effet joule est très représenté en France, la moyenne nationale varie assez sensiblement en fonction des conditions de température et des disponibilités de fonctionnement du parc.

Toutefois, il est important de garder en tête que sur le réseau, les électrons sont totalement indifférenciés. Ainsi, la question consistant à rechercher la centrale de production qui alimente tel utilisateur ou tel usage n'a pas de sens d'un point de vue physique. **Le calcul d'un contenu en CO₂, plus précis qu'une unique valeur moyenne, relève donc nécessairement de simplifications méthodologiques et de conventions.**

/!\ Mise à jour à venir de la méthodologie de calcul du FE "Mix de consommation - moyen"

En 2027, l'ADEME prévoit de **mettre à jour sa méthodologie** de calcul du facteur d'émission « Mix de consommation – moyen » de l'électricité en France ce qui permettra d'améliorer la prise en compte des échanges transfrontaliers d'électricité. L'ADEME fera aussi évoluer certaines données concernant les installations de production d'électricité thermique fossile et renouvelable, afin de refléter les connaissances scientifiques les plus à jour. Ces changements pourront entraîner une hausse du facteur d'émission moyen de la consommation d'électricité en France en 2027. Le cas échéant, l'ADEME explicitera les raisons de cette hausse et dans quelle mesure ces écarts sont dus à des changements méthodologiques ou physiques. »

Ajout des FE "Mix de consommation - par usage"

L'approche par un seul indicateur du contenu CO₂ moyen du kWh français s'étant révélée insuffisante pour définir les politiques publiques et stratégies de long terme, **l'ancien GT mis en place pour la Base Carbone^(R) a fait le choix d'utiliser en complément du contenu moyen du mix électrique, des contenus CO₂ différenciés par usage**. Ainsi, dès 2005, une méthode dite « saisonnalisée par usage » a été introduite dans la Base Carbone^(R) visant à mettre en évidence le caractère saisonnalisé des émissions de CO₂ du système électrique français, et à relier cet aspect notable du système électrique aux usages (chauffage, éclairage, cuisson, etc.) qui induisent et structurent cette saisonnalité, comme par exemple le chauffage électrique (en général, plus de 80% des consommations liées au chauffage sont concentrées sur 5 mois, de novembre à mars).

En 2025, il avait été décidé d'arrêter de calculer ces FE par usage. L'utilisateur ne trouvera donc pas de **FE « Mix de consommation - par usage » ultérieurs à ceux relatifs à 2023 « Electricité/2023 – usage »**.

En 2026, il a été décidé de calculer et de publier les FE par usage pour 2024.

La raison principale est liée aux investigations additionnelles réalisées par les équipes ADEME concernant l'usage réel de ces "FE par usage". Lors de celles-ci, il est apparu que certaines approches de comptabilité carbone "territoire" recommandent d'utiliser ceux-ci. En attendant de s'accorder sur l'usage de ces FE, l'ADEME publie donc une version 2024 de ces données.

Lissage sur 4 années

Par ailleurs, afin de permettre aux organisations qui réalisent un Bilan des émissions de GES, un suivi des émissions dans le temps sans que celui-ci ne soit trop influencé par les conditions climatiques exceptionnelles ou les opérations de maintenance et réparations imprévues d'une année n , la Base Carbone® propose ses facteurs d'émissions du kWh électrique pour des séries temporelles de 4 années glissantes.

Ci-après un tableau de présentation des périodes couvertes ainsi que la correspondance avec les années des données d'activités. Le FE de l'année n était calculé, jusqu'au FE « Electricité/2023 - mix moyen/consommation » inclus, sur base des données des quatre années précédentes : $n-1$, $n-2$, $n-3$ et $n-4$. Les données relatives à l'année comprise dans le titre du FE n'étaient pas prise en compte en raison de contraintes liées à la fourniture des données nécessaires au calcul des FE « par usage ».

A partir du FE « Electricité/2024 - mix moyen/consommation », les FE de l'année n seront calculés sur base des données des années : n , $n-1$, $n-2$ et $n-3$.

Années utilisées pour le calcul du facteur d'émissions	Année des données d'activité utilisées pour le bilan
2008-2009-2010-2011	2008-2009-2010-2011-2012*
2009-2010-2011-2012	2013
2010-2011-2012-2013	2014
2011-2012-2013-2014	2015
2012-2013-2014-2015	2016
...	...
2019-2020-2021-2022	2023
2021-2022-2023-2024	2024
2022-2023-2024-2025	2025
Etc.	Etc.

Correspondance entre les années utilisées pour le calcul du FE et la données d'activité correspondante

* Comme la méthodologie utilise des moyennes glissantes de 4 ans et que les données homogènes ne sont disponibles que depuis 2008, les mêmes résultats seront utilisés pour les années 2008, 2009, 2010, 2011, 2012.

4.1.1.1 Mix de consommation - moyen

Le facteur d'émissions mix moyen « électricité France » correspond à la répartition des différentes sources d'énergies primaires utilisées pour la production d'électricité consommée en France, à laquelle sont ajoutées les pertes de transport et de distribution en ligne. Les données d'entrées (production et consommation) sont fournies par RTE à l'ADEME.

Jusqu'à la V15.0 de la Base Carbone®, le facteur d'émission « Mix moyen électricité France » était calculé selon la formule :

$$\frac{\text{Emissions CO}_2 \text{ de la production} + \text{émissions CO}_2 \text{ du solde importateur}}{\text{Quantité d'énergie (Production)} + \text{somme du solde importateur}}$$

Suite aux travaux menés par le GT « Electricité » courant 2017-2018, une mise à jour importante a été réalisée afin de mieux prendre en compte l'impact des imports/exports et de mettre à jour le contenu CO₂ moyen européen. Ainsi, la méthode utilise désormais les soldes importateur et exportateur, heure par heure et le contenu CO₂ européen de l'AIE.

Le calcul du contenu CO₂ moyen se base sur la formule suivante :

$$\frac{\text{Emissions CO}_2 \text{ du mix français} + \text{émissions CO}_2 \text{ du solde importateur} - \text{émissions CO}_2 \text{ du solde exportateur}}{\text{Production d'électricité du mix français} + \text{solde importateur} - \text{solde exportateur}}$$

Avec :

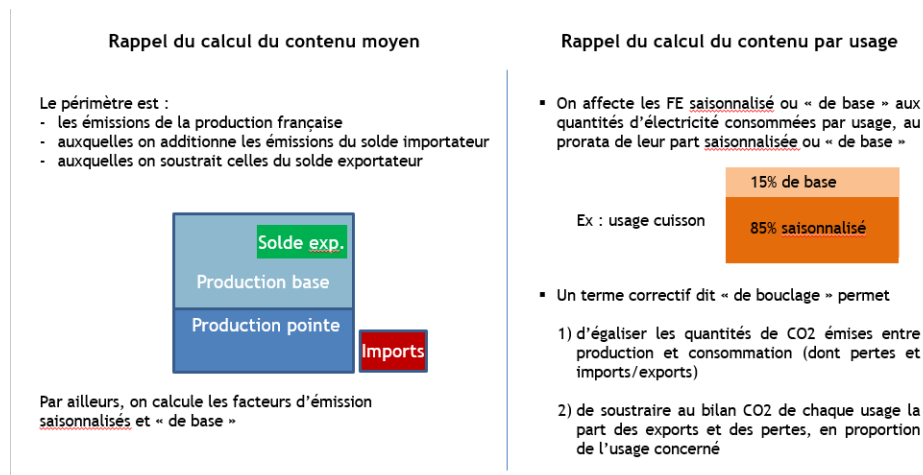
- Le contenu CO₂ associé au solde exportateur équivalent au contenu de base français ;
- L'utilisation des facteurs d'émission européens utilisés pour les imports (valeurs de l'AIE pour le périmètre « Europe des 28 »).

Une mise à jour rétroactive des valeurs du mix électrique (base, saisonnée, moyen) de 2008 à aujourd'hui a été effectuée en 2019 en tenant compte de ces actualisations du calcul. Ces hypothèses et formules sont désormais appliquées chaque année.

A noter !

En 2027, l'ADEME fera évoluer sa méthodologie de calcul et certaines données utilisées, ce qui pourra entraîner une hausse du facteur d'émission moyen « consommation d'électricité France ». Le cas échéant, l'ADEME explicitera les raisons de cette hausse et dans quelle mesure ces écarts sont dus à des changements méthodologiques ou physiques.

4.1.1.2 Mix de consommation - par usage



Comme mentionné plus haut, le calcul d'un contenu en CO₂ par usage relève nécessairement de simplifications méthodologiques et de conventions. Ainsi, face à certaines insuffisances méthodologiques de la méthode historique « saisonnalisée par usage » introduite en 2005 et suite à la décision de l'Etat de retenir une nouvelle approche dans le cadre de la réglementation du bâtiment RE2020, il a été fait le choix dans la Base Carbone® de présenter deux méthodes de calcul des facteurs d'émissions par usage qui reposent sur des logiques d'allocation des impacts différentes :

- La méthode « moyenne mensualisée par usage », méthode de référence pour tout calcul d'émissions par usage, notamment en lien avec les réglementations du bâtiment,
- La méthode « saisonnalisée par usage à la maille mensuelle », qui s'inscrit dans la continuité de la méthode saisonnalisée historique en corrigeant certains biais méthodologiques, et peut être utilisée en dehors des réglementations bâtiments en complément de la précédente pour la réalisation d'analyse de sensibilité.

Nous rappelons que pour la réalisation d'un Bilan d'émissions de GES, le "Mix de consommation - moyen" doit être utilisé et non "Mix de consommation - par usage" qui ne peuvent être utilisés à titre « indicatif », en information complémentaire de l'estimation via le "Mix de consommation - moyen".

En 2025, il avait été décidé d'arrêter de calculer ces FE par usage. L'utilisateur ne trouvera donc pas de FE « mix de consommation par usage » relatifs à 2024.

En 2026, il a été décidé de calculer et publier à nouveau les FE par usage pour 2024.

La raison principale est liée aux investigations additionnelles réalisées par les équipes ADEME concernant l'usage réel de ces "FE par usage". Lors de celles-ci, il est apparu que certaines approches de comptabilité carbone "territoire" recommandent d'utiliser ceux-ci. Par conséquent et

en attendant de s'accorder sur l'usage de ces FE, l'ADEME publie une version 2024 de ces données.

Principes communs

Ces deux méthodes, leur logique de construction, et leur domaine d'application sont explicitées en détail ci-après. Toutefois, elles suivent l'une comme l'autre les grands principes suivants :

- Elles respectent la **somme totale des émissions** : sur l'ensemble des usages, la somme du produit du contenu CO₂ de chaque usage par sa consommation d'électricité annuelle est égale aux émissions CO₂ de l'ensemble du parc électrique français corrigées des émissions liées aux imports et exports.
- Elles sont basées sur les données historiques **moyennées sur plusieurs années** (4 ans – par exemple, les FE de 2016 sont basés sur les données moyennées de 2012 à 2015) permettant de gommer les variations dues à des situations particulières, aussi bien en termes de fonctionnement du parc qu'en termes de climatologie.
- Le périmètre retenu est celui de la **France continentale**, hors production autoconsommée, avec prise en compte des interconnexions et échanges (le solde exportateur est considéré comme un usage ; le solde importateur comme un moyen de production).
- L'utilisation de données au **pas mensuel** car la « variance » du contenu CO₂ est en grande partie expliquée par la composante saisonnière (par opposition aux variations horaires au sein d'une semaine). Les études à pas de temps plus fin nécessiteraient des travaux complémentaires non menés à ce jour dans le cadre du GT « Electricité ».

Les principales caractéristiques des deux approches se résument par le tableau suivant :

	Principe méthodologique	Principale caractéristique
Méthode moyenne par usage	> Attributionnelle > Moyenne du contenu CO₂ de la production électrique à la maille considérée, pondérée par le profil de consommation annuel de l'usage à la même maille. A ce jour, la maille mensuelle a été retenue.	> Cette méthode considère qu'à un instant donné, tous les kWh consommés sur le réseau ont le même contenu CO₂, quel que soit l'usage qui en est fait. > Quelle que soit la maille considérée, cette méthode conduit à des contenus CO₂ par usage modérément différenciés entre eux.
Méthode saisonnée par usage	> Attributionnelle > Repose sur une distinction entre une production (resp. consommation) de base et une production (resp. consommation) dite saisonnée pour chacun des usages	> Cette méthode vise à établir un lien entre la variabilité saisonnière des émissions de CO₂ et la variabilité saisonnière des usages. > Elle aboutit à des contenus CO₂ par usage plus différenciés.

Méthode moyenne mensualisée

La méthode mensuelle par usage est la **méthode de référence pour tout exercice de comptabilité carbone cherchant à différencier les usages de l'électricité, et en particulier la réglementation bâtiment** (RE2020, DPE, décret tertiaire...) ou tout autre réglementation qui s'appuierait sur cette approche méthodologique.

Son principe général repose sur le fait de relier le contenu CO₂ moyen du système électrique, au pas de temps mensuel, avec un profil d'usage. Pour cela, on procède de la manière suivante :

- 1) Pour chaque mois, on calcule un contenu CO₂ moyenné du parc de production électrique français (valeur en gCO₂/kWh), tenant compte de la part respective de chaque moyen de production et de leur facteur d'émission propre ;
- 2) Pour chaque mois également, on calcule la part de la consommation de l'usage sur sa consommation annuelle (valeur en %, pour chaque mois), tel que représenté ci-dessous ;

- 3) Ensuite, on calcule le produit de ces deux résultats (valeur en gCO₂/kWh) pour chacun des 12 mois de l'année et on somme les valeurs, de sorte à obtenir un résultat de contenu CO₂ reflétant le profil annuel de cet usage.

Le contenu CO₂ moyenné du parc de production électrique français se calcule par la formule suivante, basée sur les moyens de production identifiés (nucléaire, hydraulique, éolien, solaire, thermique renouvelable, charbon, fioul, gaz et imports) :

$$Q_{CO2,i} = \frac{\sum_{p=1}^9 (P_{p,i} \times FE_p)}{\sum_{p=1}^9 P_{p,i}}$$

Avec :

$Q_{CO2,i}$ le contenu CO₂ mensuel moyenné, en g/kWh,
 $P_{p,i}$ la production mensuelle d'un moyen de production p
 FE_p le facteur d'émission du moyen de production p, en g/kWh,

Ainsi, le calcul réalisé pour un usage donné est :

$$FE_{e,u} = \frac{\sum_{i=\text{janvier}}^{\text{décembre}} Q_{CO2,i} \times C_{usage,i}}{\sum_{i=\text{janvier}}^{\text{décembre}} C_{usage,i}} = \sum_{i=\text{janvier}}^{\text{décembre}} Q_{CO2,i} \times \%C_{usage,i}$$

Avec :

$FE_{e,u}$ le facteur d'émission de l'électricité pour l'usage considéré,
 $Q_{CO2,i}$ le contenu CO₂ mensuel moyenné, en g/kWh,
 $C_{usage,i}$ la consommation mensuelle d'électricité de l'usage considéré, en GWh,
 $\%C_{usage,i}$ la part de la consommation mensuelle d'électricité de l'usage considéré sur sa consommation annuelle, en %.

On retrouve ces éléments dans la note du Ministère en charge de l'Environnement, publiée le 28/07/2020 sur le site www.batiment-energiecarbone.fr/ qui précise la formule pour l'usage du chauffage (extrait) :

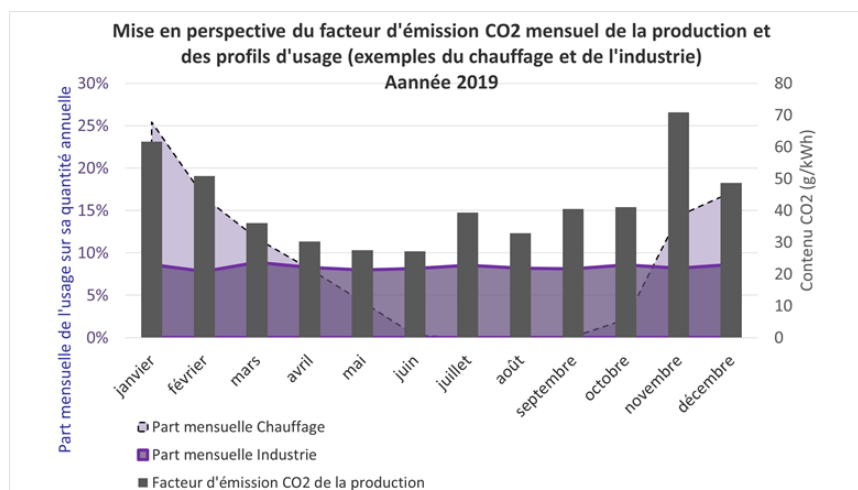
$$FE_{e,c} = \frac{\sum_{i=\text{janvier}}^{\text{décembre}} Q_{CO2,i} \times C_{chauffage,i}}{\sum_{i=\text{janvier}}^{\text{décembre}} C_{chauffage,i}}$$

Avec :

$FE_{e,c}$ le facteur d'émission de l'électricité pour l'usage chauffage,
 $Q_{CO2,i}$ le contenu CO₂ mensuel moyenné, en g/kWh,
 $C_{chauffage,i}$ la consommation mensuelle en électricité pour l'usage chauffage, en GWh,
 $C_{chauffage,totale}$ la consommation électrique totale en 2017 pour l'usage chauffage, en GWh.

A titre d'exemple, le graphe ci-dessous illustre le calcul réalisé sur l'année 2019. Il met en perspective :

- Le facteur d'émission CO₂ mensuel du parc de production (en gCO₂/kWh) ;
- La part de la consommation de l'usage sur sa consommation annuelle (en %), pour les usages Chauffage (violet) et Industrie (bleu).



Cette approche répartit les émissions mensuelles de façon homogène sur tous les usages.

Retrouvez le détail du calcul de la méthode moyenne mensualisée dans le [rapport technique détaillé](#) proposé par l'ADEME.

Méthode saisonnalisée à la maille mensuelle

La méthode « saisonnalisée par usage mensuelle » s'inscrit dans la continuité de l'approche de la méthode saisonnalisée historique de la Base Carbone®. En 2021, afin d'améliorer la prise en compte du développement de la production d'électricité photovoltaïque et de l'usage « climatisation », la méthode a été revue pour ne pas se limiter à une maille annuelle (répartition des quantités d'énergie selon une part annuelle de base et une part annuelle saisonnalisée) et adaptée pour mieux intégrer la maille mensuelle permettant ainsi une analyse plus fine des évolutions.

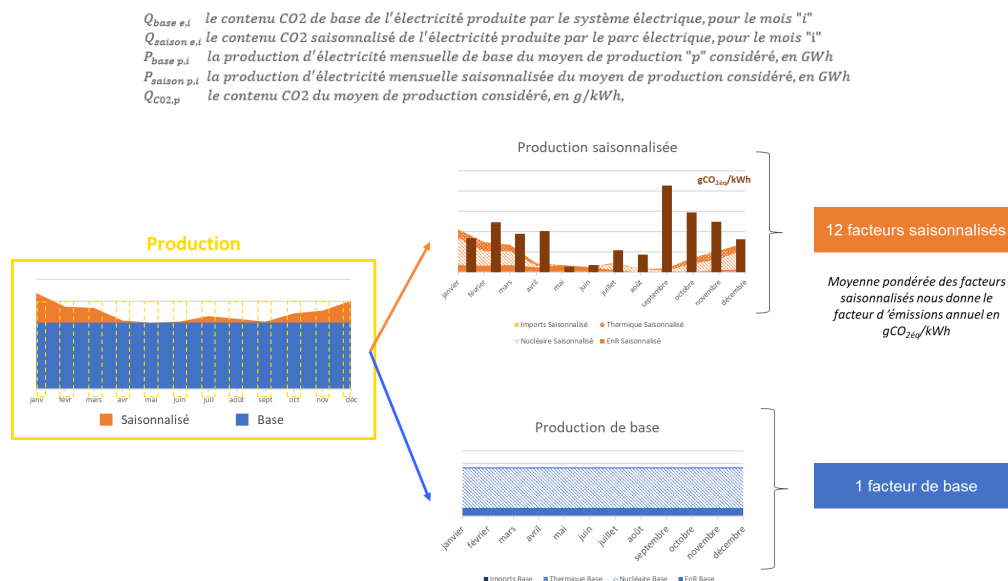
La méthode consiste, pour chaque type de production (nucléaire, hydraulique, éolien, solaire, thermique renouvelable, charbon, fioul, gaz, imports), à séparer la production à la maille mensuelle entre une part « en base » et une part « saisonnalisée », puis de calculer le contenu CO₂ de chacune de ces deux composantes de la production.

Pour chaque moyen de production, la part « en base » correspond au minimum de production mensuelle d'électricité atteint sur l'année. La part « saisonnalisée » correspond à la différence entre la production du mois et ce minimum.

La formule de calcul des contenus CO₂ de base et saisonnalisé pour l'ensemble du parc, soit 9 moyens de production (dont les imports) est :

$$Q_{base\ e,i} = \frac{\sum_{p=1}^9 (P_{base\ p,i} \times Q_{CO2,p})}{\sum_{p=1}^9 P_{base\ p,i}} \quad \text{et} \quad Q_{saison\ e,i} = \frac{\sum_{p=1}^9 (P_{saison\ p,i} \times Q_{CO2,p})}{\sum_{p=1}^9 P_{saison\ p,i}}$$

Avec :



Concernant la consommation, la méthode distingue également, pour chaque mois, la part « en base » et la part « saisonnalisée » à la maille mensuelle de chaque usage (climatisation, éclairage, chauffage, etc.). Cette distinction se fonde sur le minimum mensuel de l'usage au cours de l'année (part en base) et sur la différence entre la consommation du mois et ce minimum (part saisonnalisée).

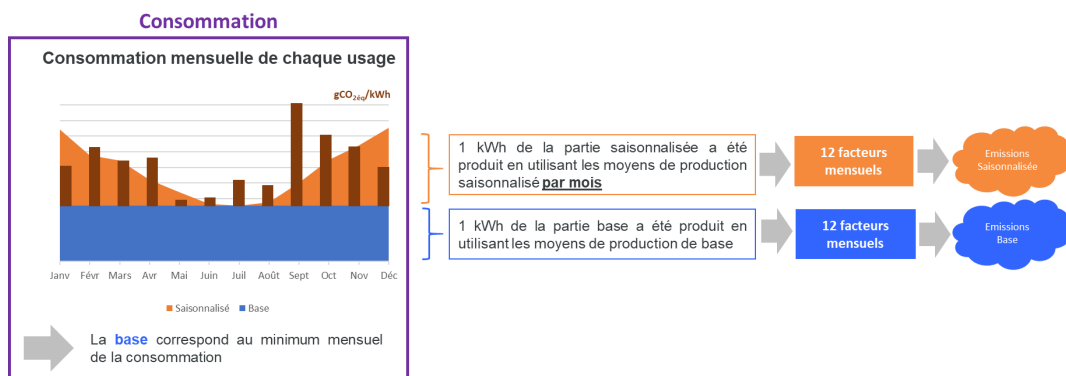
La méthode affecte alors à ces deux parts de consommation, le contenu CO₂ associé (respectivement celui de la production mensuelle en base et celui de la production mensuelle saisonnalisée). L'ensemble de ces valeurs sont alors sommées sur les 12 mois de l'année, puis cette somme est divisée par la quantité d'électricité consommée par l'usage concerné.

La formule de calcul pour chaque usage est :

$$FE_{e,u} = \frac{\sum_{i=1}^{12} (C_{base\ u,i} \times Q_{base\ e,i} + C_{saison\ u,i} \times Q_{saison\ e,i})}{\sum_{i=1}^{12} (C_{base\ u,i} + C_{saison\ u,i})}$$

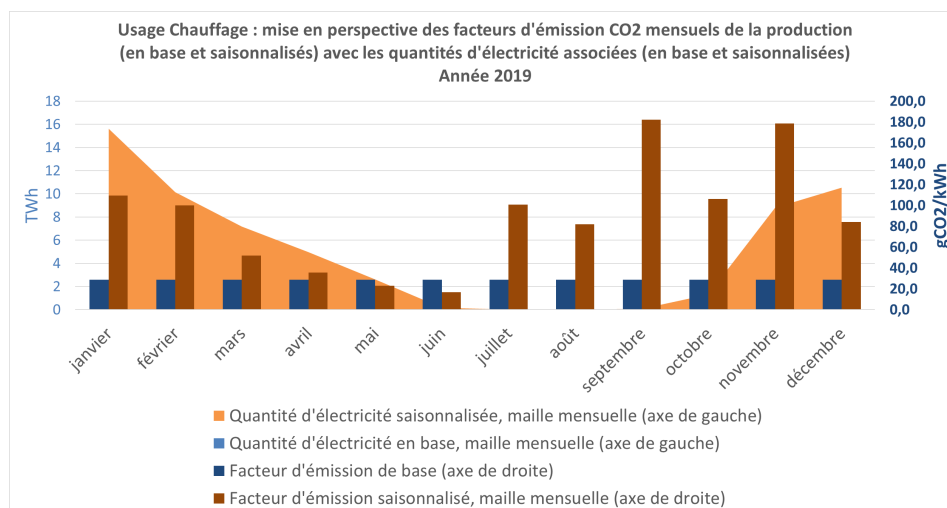
Avec :

$FE_{e,u}$ le facteur d'émission de l'électricité pour l'usage considéré,
 $Q_{base\ e,i}$ le contenu CO2 de base de l'électricité produite par le parc électrique, pour le mois "i"
 $Q_{saison\ e,i}$ le contenu CO2 saisonnalisé de l'électricité produite par le parc électrique, pour le mois "i"
 $C_{base\ u,i}$ la consommation d'électricité mensuelle de base de l'usage considéré, en GWh
 $C_{saison\ u,i}$ la consommation d'électricité mensuelle saisonnalisée de l'usage considéré, en GWh

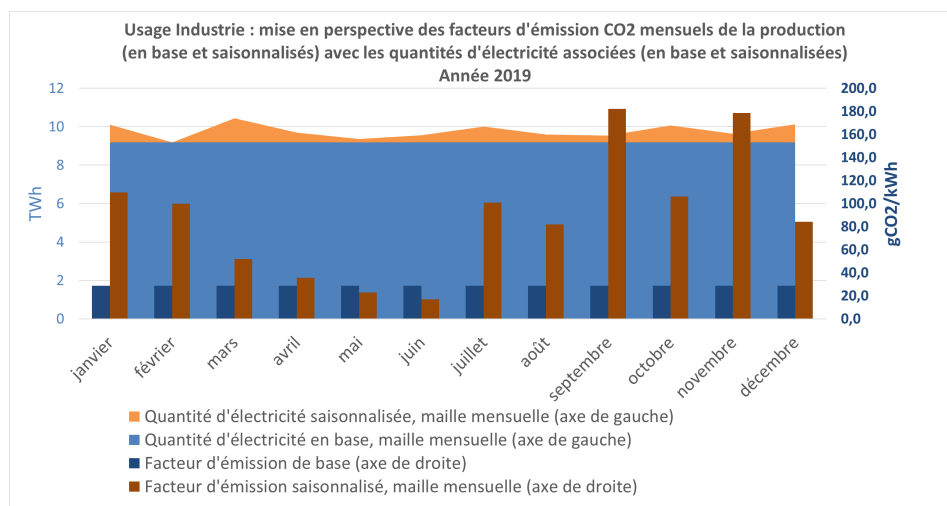


A titre d'exemple, les graphes ci-dessous illustrent le calcul réalisé sur l'année 2019. Ils mettent en perspective :

- Les facteurs d'émission CO₂ mensuels du parc de production – en base et saisonnalisé (en gCO₂/kWh) ;
- Les quantités d'électricité considérées en base ou saisonnalisée, à la maille mensuelle, pour les usages Chauffage (1er graphe) et Industrie (2nd graphe).



Nota : la quantité d'électricité « en base » est nulle, dans cet exemple, pour le chauffage



Cette approche vise à tenir compte à la fois des caractéristiques intrinsèques à chaque usage et de la réponse du système de production à ces usages, en se basant sur le principe d'un lien entre la variabilité saisonnière des émissions de CO₂ à la variabilité saisonnières des usages.

Elle peut être utilisée pour réaliser des études de sensibilité pour les différents usages en complément de la méthode moyenne mensualisée, dès lors qu'une approche par usage est choisie, dans le but de rendre compte de l'incertitude liée aux règles d'allocation des émissions (allocation moyenne vs allocation saisonnalisée).

Retrouvez le détail du calcul de la méthode moyenne mensuelle dans le rapport technique détaillé proposé par l'ADEME.

"Règle" d'application des facteurs d'émission par usage

Usage	Résidentiel	Tertiaire	Industrie	Transport	Agriculture
Chauffage	X	X	X	X	X
Résidentiel : ECS	X				
Résidentiel : Eclairage résidentiel	X				
Résidentiel : Lavage, froid, bruns, gris	X				
Résidentiel : Cuisson	X				
Eclairage publique et industriel		X			
Industrie			X		
Transport				X	
Autres (tertiaire, agriculture...)		X			X

Guide pour l'utilisation des données

4.1.1.3 Mix électrique des ZNI (Zones Non-Interconnectées)

Les ZNI (Zones Non-Interconnectées) françaises sont les territoires français, qui sont approvisionnés par un réseau électrique différent de celui de la France continentale. Ce sont en général des territoires insulaires.

Les ZNI françaises sont les suivantes :

- La Corse
- Les départements d'outre-mer
 - La Guadeloupe
 - La Martinique
 - La Réunion
 - La Mayotte
 - La Guyane
- Les collectivités d'outre-mer
 - Saint-Pierre-et-Miquelon
 - Saint-Barthélemy
 - Saint-Martin
 - Wallis-et-Futuna
- Les Îles du Ponant
- L'île anglo-normande de Chausey

La Nouvelle Calédonie et la Polynésie française ont des statuts particuliers.

Le réseau électrique des ZNI n'étant pas relié à celui de la France continentale, les ZNI ont des facteurs d'émissions spécifiques à leur mix.

Des travaux seront menés dans les prochaines années afin de mettre à jour les FE des ZNI actuellement déjà disponibles dans Base Carbone® et développer ceux qui manquent.

4.1.1.4 Mix électrique autres pays

Description

Pour les contenus CO₂ moyen à l'étranger, les valeurs actuelles de la Base Carbone® ont été prises dans une publication de l'Agence Internationale de l'Énergie (« CO₂ Emissions from Fuel

Combustion », 2013, fournissant des données pour 2011²¹⁰) et figurent dans le tableau ci-dessous.

Dans cette publication, les valeurs tiennent compte des kWh électriques et thermiques fournis. Par contre, les échanges transfrontaliers ne sont pas pris en compte et cela concerne uniquement les émissions directes des centrales.

L'ensemble des hypothèses de calcul retenus par l'AIE présentées ci-dessus ne permettent ainsi pas de comparer directement ces données avec celles de la France.

Par ailleurs, des publications plus récentes de l'AIE sont disponibles (publication payante) : n'hésitez pas à consulter directement leur site internet.

Pays	kgCO _{2e} / kWh	Pays	kgCO _{2e} / kWh
Afrique du Sud	0,927	Kazakstan	0,766
Albanie	0,002	Kenya	0,274
Algérie	0,548	Kirghizistan	0,094
Allemagne	0,461	Kosovo	1,287
Angola	0,440	Koweït	0,842
Antilles Néerlandaises	0,707	Lettonie	0,227
Arabie Saoudite	0,737	Liban	0,709
Argentine	0,367	Libye	0,885
Arménie	0,181	Lituanie	0,548
Australie	0,841	Luxembourg	0,410
Autriche	0,188	Macédonie	0,687
Azerbaïdjan	0,584	Malaisie	0,727
Bahreïn	0,640	Malte	0,872
Bangladesh	0,593	Maroc	0,718
Bélarus	0,585	Mexique	0,455
Belgique	0,220	Moldavie	0,583
Bénin	0,720	Mongolie	1,492
Birmanie	0,262	Montenegro	0,405
Bolivie	0,423	Mozambique	0,001
Bosnie-Herzégovine	0,729	Namibie	0,197
Botswana	2,517	Népal	0,001
Brésil	0,087	Nicaragua	0,460
Brunéi Darussalam	0,798	Nigéria	0,405
Bulgarie	0,579	Norvège	0,017
Cambodge	0,804	Nouvelle-Zélande	0,150
Cameroun	0,207	Oman	0,794
Canada	0,186	Ouzbékistan	0,734
Chili	0,410	Pakistan	0,425
Chine	0,766	Panama	0,298

Pays	kgCO _{2e} / kWh	Pays	kgCO _{2e} / kWh
Chypre	0,702	Paraguay	0,000
Colombie	0,176	Pays-Bas	0,415
Congo	0,142	Pérou	0,289
Corée du Sud	0,533	Philippines	0,481
Corée du Nord	0,465	Pologne	0,781
Costa rica	0,056	Portugal	0,255
Côte d'Ivoire	0,445	Qatar	0,494
Croatie	0,305	Rép. Dém. Du Congo	0,003
Cuba	1,012	République Tchèque	0,589
Danemark	0,360	Roumanie	0,499
Dominicaine, République	0,589	Royaume-Uni	0,457
Égypte	0,450	Russie	0,639
El Salvador	0,223	Sénégal	0,637
Émirats Arabes Unis	0,598	Serbie	0,724
Équateur	0,389	Singapour	0,499
Érythrée	0,646	Slovaquie	0,197
Espagne	0,238	Slovénie	0,325
Estonie	1,014	Soudan	0,344
États-Unis	0,522	Sri Lanka	0,379
Éthiopie	0,007	Suède	0,030
Finlande	0,229	Suisse	0,027
Gabon	0,383	Syrie	0,594
Géorgie	0,071	Tadjikistan	0,024
Ghana	0,259	Taïwan	0,768
Gibraltar	0,762	Tanzanie	0,329
Grèce	0,718	Thaïlande	0,513
Guatemala	0,286	Togo	0,195
Haïti	0,538	Trinité-et-Tobago	0,700
Honduras	0,332	Tunisie	0,463
Hongrie	0,317	Turkménistan	1,898
Inde	0,912	Turquie	0,460
Indonésie	0,709	Ukraine	0,419
Iraq	1,003	Union européenne à 27	0,429
Irlande	0,458	Uruguay	0,081
Islande	0,000	Venezuela	0,264
Israël	0,689	Viêt Nam	0,432
Italie	0,406	Yémen	0,655
Jamaïque	0,711	Zambie	0,003
Japon	0,416	Zimbabwe	0,660
Jordanie	0,566		

Facteurs d'émission de la production d'électricité par pays en 2011

Incertitudes et variabilité

Les facteurs d'émissions de l'électricité de réseau, reflétant le parc de centrales installées sur le territoire national, varient lentement. En effet, la composition de ce parc ne change pas du tout au tout d'une année sur l'autre.

En revanche, entre autres pour des raisons climatiques, ce qui peut assez rapidement changer d'une année sur l'autre est l'appel aux centrales fournissant l'électricité de pointe, qui sont, pour une large partie des pays d'Europe, des centrales thermiques à flamme, c'est-à-dire utilisant comme énergie primaire du charbon, du gaz ou du pétrole (même si l'hydroélectricité de lac est aussi utilisée pour la pointe, mais déjà à son maximum de potentiel). Une large partie de la production à faible teneur en CO₂, à savoir le nucléaire (30% du courant européen environ), l'hydroélectricité au fil de l'eau, et plus marginalement l'éolien, fournit de l'électricité dite "de base", c'est-à-dire celle qui est consommée en permanence.

Un autre processus qui est susceptible de provoquer une modification du contenu en CO₂ du kWh en quelques années est le basculement du charbon sur le gaz pour les moyens de pointe et semi base. Ainsi, la dernière Programmation Pluriannuelle de l'Energie prévoyait la fermeture des dernières centrales à charbon d'ici 2022. Cependant, fin 2023, trois unités de production étaient toujours actives.

Compte tenu des variations issues de la mise en service de nouvelles capacités (rythme lent), ou de la mise en route ou pas des centrales fournissant l'électricité de pointe (fortes variations d'une année sur l'autre), et de l'antériorité des chiffres repris ci-dessus (les statistiques ont souvent 2 ans de décalage avec l'année en cours), la variabilité maximale constatée pour le facteur d'émission français moyen est de l'ordre de 15% sur les 5 dernières années.

Sources :

[\[310\] AIE - 2013 - CO2 emissions from fuel combustion - highlights](#)

4.1.2 Moyens de production

Ce chapitre présente le contenu CO₂ de l'électricité en sortie de centrale par type de centrale. Les facteurs d'émission comprennent :

1. Les émissions liées à la **combustion du combustible** (pour les centrales thermiques)
2. Les émissions liées à la **mise à disposition du combustible** (pour les centrales thermiques et nucléaires)
3. Les émissions liées à la **construction de la centrale**

Ainsi les pertes en ligne ne sont pas (logiquement) prises en compte dans ce chapitre.

Les moyens de production sont classés en deux catégories:

- **Conventionnels** pour les centrales nucléaires et fossiles (charbon, gaz, fioul)
- **Renouvelables** pour les centrales hydroélectriques, l'éolien, le photovoltaïque et le thermique renouvelable

4.1.2.1 Conventionnel

Définition

Les facteurs d'émissions moyens ont été obtenus à partir de résultats d'ACV unitaires pour les centrales thermiques fossiles et fissiles suivantes :

- Centrale nucléaire
- Centrale à gaz : Turbine A Combustion et Cycle Combiné Gaz
- Centrale à charbon
- Centrale fioul-vapeur

Le périmètre des données comprend l'amont et la combustion :

Nucléaire	Centrale à gaz	Centrale à Charbon	Centrale fioul-vapeur
6	418	1058	730

FE de l'électricité pour les moyen de production en France exprimés en $g_{eq}CO_2/kWh$

La source utilisée est la base de données ELCD ³²⁰

Cas du nucléaire "France"

EDF a publié en 2022 l'ACV de son kWh nucléaire EDF³²¹. L'indicateur ACV Changement Climatique y est évalué à $4 g_{eq}CO_2/kWh$ alors que la Base Carbone retenait initialement la valeur de $6 g_{eq}CO_2/kWh$ comme facteur d'émission.

L'étude³²¹ inclut une étude de fiabilité du résultat de l'indicateur « Changement Climatique », pour démontrer que l'ordre de grandeur obtenu est conforme à l'état de l'art de la recherche internationale sur le sujet (extrait du rapport EDF, annexe 1). En complément à cette étude de fiabilité, une comparaison a été effectuée par les auteurs avec une étude du CEA,, dont le résultat est voisin de celui d'EDF ($5 g_{eq}CO_2/kWh$). La comparaison a été menée en considérant, dans chaque étude, les contributions des principales étapes du cycle électronucléaire :

Les résultats des deux études sont fournis dans le tableau 1

Etape	EDF ³²¹	CEA
Mine	1,3	1,704
Conversion	0,3	0,278
Enrichissement	0,4	0,626
Fabrication	0,1	0,062
Production*	1	2,14
Reprocessing	0,5	0,376
Déchets	0,2	0,104
Total	3,7	5,29

(*) : Construction, exploitation et déconstruction

Comparaison d'études EDF (2022) et CEA. Résultats donnés en $g_{eq} CO_2/kWh$

Le principal écart est identifié à l'étape « production » où l'étude CEA aboutit à une valeur (2,14 $g_{eq} CO_2/kWh$) soit le double de celle de l'étude EDF (1 $g_{eq} CO_2/kWh$).

Les données de l'étape CEA sont citées « data derived from ecoinvent, CEA system studies, inventaire déchets 2009 ». L'étude a été réalisée avec le logiciel « CEA Nelcas », aujourd'hui abandonné en faveur d'un outil du domaine public (Gabi). Depuis, une étude ORANO (2020 - page 135], plus récente et également réalisée par le CEA avec le logiciel « CEA Nelcas », aboutit à une valeur de 1,21 $g_{eq} CO_2/kWh$, comparable à celle de l'étude EDF³²¹.

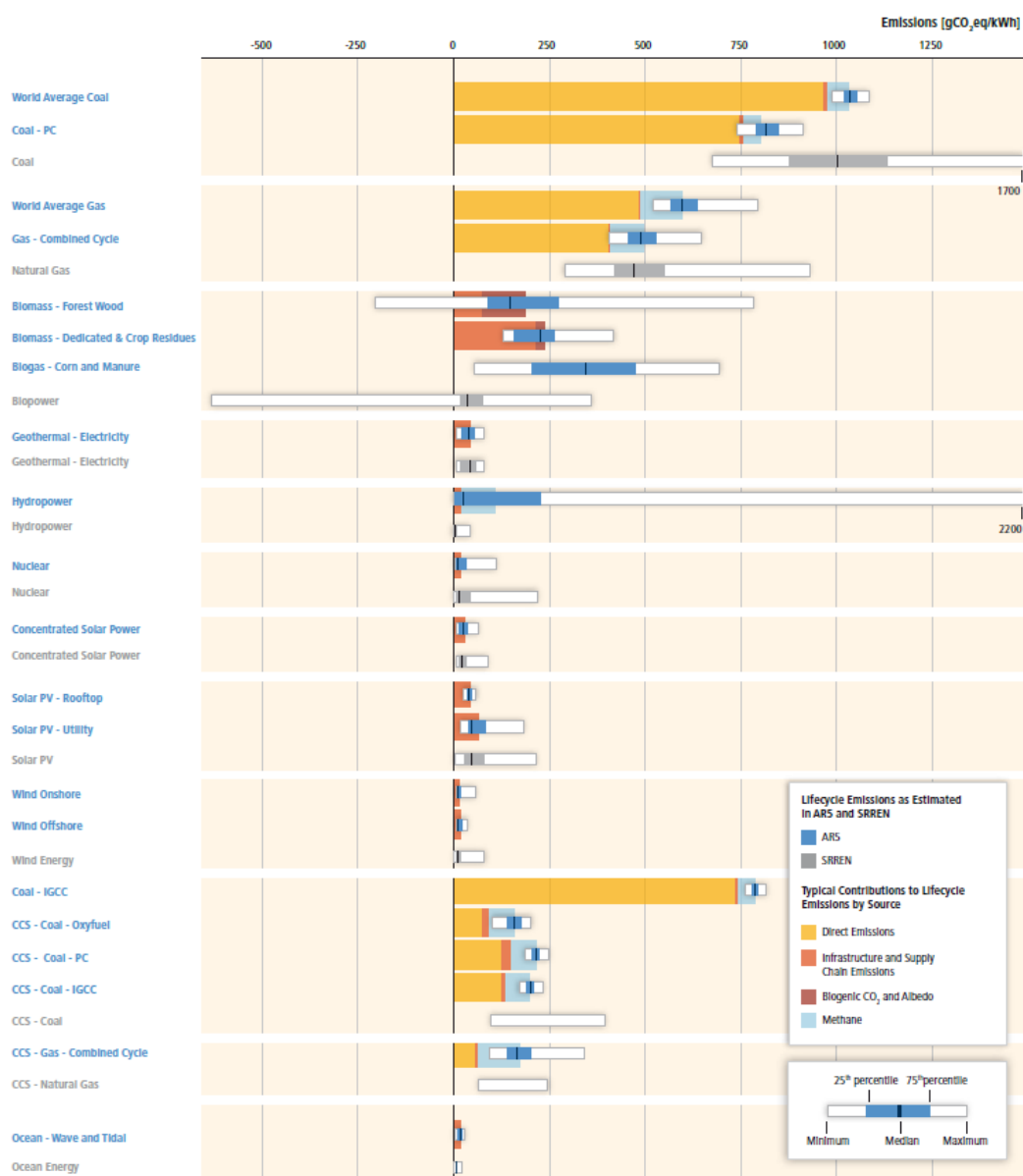
Autres filières

A titre informatif, le rapport du GIEC (AR5)^[333] propose un récapitulatif des facteurs d'émissions recensés dans la littérature pour l'ensemble des filières existantes à date (en $gCO_2e/kW_{électrique}$).

Attention : même si les valeurs ont été « harmonisées » (sur un même périmètre de cycle de vie) , il existe une grande variabilité dans ces valeurs qui restent des moyennes internationales. Elles sont données à titre indicatif et n'ont pas lieu de remplacer les valeurs proposées dans la Base Carbone®, spécifiques au cas français.

Par exemple, pour l'électricité issue de la biomasse, le rapport indique que les valeurs mentionnées intègrent les impacts de la combustion de la biomasse (avec un PRG du CO_2 biogénique compris entre 0 et 1 selon le type de culture, la localisation géographique, ...)^[334] et les impacts du changement d'albédo suivant l'évolution d'écosystème, d'une durée de vie du CO_2 de 100 ans, etc. mais ne tiennent pas compte de la variation de carbone organique dans les sols. Ces émissions sont donc étroitement liées aux caractéristiques du site et significativement plus grandes pour les espèces à longue rotation. Les données utilisées datent de 2010 à 2012 et ne sont pas représentatives du cas français.

Facteurs d'émissions des productions électriques issues du rapport AR5 du GIEC [333]



Émissions comparatives de gaz à effet de serre sur le cycle de vie de l'électricité fournie par des technologies actuelles disponibles dans le commerce (combustibles fossiles, renouvelables et énergie nucléaire) ou futures et précommerciales (systèmes avec capture et stockage de CO₂, énergie océanique). Source : graphique 7.6, rapport AR5 du GIEC

A partir des différentes valeurs proposées dans le corps du rapport⁽¹⁾⁽²⁾ ou à partir d'une lecture du graphique⁽³⁾ ci-dessus, nous proposons la compilation suivante :

Technologie	Caractéristiques (Capacité, configuration, ...)	Estimation basse ⁽¹⁾ (gCO _{2e} /KWh)	Estimation haute ⁽²⁾ (gCO _{2e} /KWh)	Estimation moyenne ⁽³⁾ à partir du graphique ci-dessus (gCO _{2e} /KWh)
Charbon	Combustion	675	1689	1 038
Charbon	Centrales électriques au charbon « modernes » et « avancées »	710	950	
Charbon	Centrales à charbon pulvérisé (PC)			815,2
Charbon	Centrales à cycle combiné à gazéification intégrée (IGCC)			788
Charbon	Avec utilisation de CCS (capture et stockage de CO ₂)	70	290	
Charbon	Centrale charbon avec oxycombustion et CCS			161
Charbon	Centrale PC avec CCS			217,4
Charbon	Centrale IGCC avec CCS			201
Pétrole	Pour différents types de générateurs et de turbines	510	1170	
Gaz	Diverses turbines à cycle combiné	290	930	
Gaz	Centrales à cycle combiné au gaz naturel	410	650	
Gaz	Avec CCS et hypothèse de fuite en gaz naturel <1%	90	370	
Gaz	Moyenne mondiale			598
Gaz	Cycle combiné gaz avec CCS			168,5
Biomasse	Bois de forêt en co-combustion avec de la houille			206,5
Biomasse	Dédiés et résidus de cultures			228,3
Biogaz	Maïs et fumier			342,4
Solaire thermique	80MW, parabolique (creux)	7	89	
Solaire Photovoltaïque	Silicone polycristallin	5	217	
Energie solaire	Energie solaire concentrée			27,2
Solaire Photovoltaïque	En toiture			43,5
Solaire Photovoltaïque	Hors toiture (ex : champs, ...)			49
Nucléaire	Différents types de réacteurs	1	220	
Géothermie	80MW, roche sèche chaude	6	79	
Eolien	/	7	56	
Eolien	Onshore			8,7
Eolien	Offshore			10,9
Energie marine	Barrages marémoteurs, hydroliennes et énergie des	10	30	

(1) et (2) : extraction de valeurs dans le corps du rapport AR5 (GIEC 2014)
 (3) : lecture de la valeur moyenne à partir du graphique dans le rapport AR5 (2014)

Sources :

[320] Base de données ELCD - Consulté en mars 2015

[321] EDF, <https://www.edf.fr/groupe-edf/produire-une-energie-respectueuse-du-climat/lenergie-nucleaire/notre-vision/analyse-cycle-de-vie-du-kwh-nucleaire-dedf>

[333] IPCC 2014 (AR – Chapitre 7 Energy Systems)

[334] Francesco Cherubini et al 2012 Environ. Res. Lett. 7 045902.

4.1.2.2 Renouvelable

Généralités

Pour toute production électrique utilisant une énergie primaire renouvelable (vent, soleil, bois, géothermie, etc), la convention prise est de ne tenir compte que des émissions « amont » pour l'énergie, et des émissions liées à la fabrication et à la maintenance du dispositif de production. L'utilisation de l'énergie primaire en elle-même est considérée comme sans émissions. Cette convention ne s'applique pas à la valorisation de déchets (qui ne sont pas tous renouvelables, notamment les plastiques), bien que certains organismes (l'AIE notamment) incluent la valorisation de déchets dans les énergies renouvelables.

Les facteurs d'émission présentés ci-dessous ne tiennent pas compte de l'intermittence induite.

Eolien

Une Analyse de Cycle de Vie réalisée pour l'ADEME en 2017 a permis de fournir des données précises sur les impacts environnementaux de la production éolienne avec les spécificités du parc français installé sur terre et prévu en mer [331]. Les différentes étapes du cycle de vie d'une installation éolienne sont incluses dans les frontières du système :

- Fabrication des composants du système
- Installation du système éolien
- Utilisation
- Maintenance
- Désinstallation, traitement en fin de vie

Différentes unités fonctionnelles ont été considérées selon la localisation de l'éolienne :

- sur terre : « 1 kilowattheure issu de la capacité de production éolienne française terrestre en 2013, délivré sur le réseau électrique, avec un facteur de charge moyen calculé sur les 5 dernières années (2010-2014), pour une durée de vie de parc de 20 ans »

- en mer : «1 kilowattheure issu de la capacité de production éolienne française maritime entre 2020 et 2023, délivré sur le réseau électrique, avec un facteur de charge moyen fondé sur les estimations futures, pour une durée de vie de parc de 20 ans»

Les résultats* calculés pour l'ensemble des parcs éoliens terrestres et maritimes français, sur les phases de fabrication et d'usage / production d'énergie confirment les faibles émissions de CO₂ :

- Eolienne terrestre : taux d'émission de 14,1 g CO₂ eq / kWh
- Eolien en mer : taux d'émission de 15,6 g CO₂ eq / kWh

Ces émissions caractérisant les parcs français sont analogues à celles rapportées par les études internationales. La phase de fabrication des composants est la principale source des impacts, notamment en raison de la consommation d'énergie.

() Remarque : afin d'assurer une cohérence de périmètre de comptabilisation avec les autres facteurs d'émissions « énergie » présents dans la Base Carbone®, les phases de démantèlement et fin de vie des ouvrages ne sont pas intégrées dans les facteurs d'émission retenus.*

Photovoltaïque

Le projet INCER-ACV³³², soutenu par l'ADEME dans le cadre de l'appel Energie durable vise à contribuer à la consolidation des méthodes de quantification d'impacts environnementaux compte-tenu des possibles variations des paramètres d'entrée par rapport à des scénarios moyens. Pour aboutir à ces résultats, le partenaire scientifique de ce projet (ARMINES) a appliqué le protocole développé à la filière énergétiques photovoltaïque à base de silicium cristallin.

L'analyse d'incertitude au cas spécifique de la filière compte-tenu des fonctions de distribution de paramètres d'entrée définies est proposée sur une plateforme web ouverte : <http://viewer.webservice-energy.org/incr-acv/app/>. Les valeurs proposées utilisent une distribution statistique proche de l'état actuel de la technologie et du marché pour le productible annuel (entre 600 et 1500 kWh/kWp/an), l'intensité électrique silicium (entre 10 et 110 kWh/kg) et l'efficacité du module (entre 0.15 et 0.22 kWp/m²). La durée de vie est fixée à 25,2 ans, cette durée est conforme aux garanties des fabricants mais les panneaux ont une durée de vie plus importante.

Le facteur non technologique sur lequel il est possible de faire évoluer l'empreinte carbone du photovoltaïque est le mix électrique utilisé pour la production du module. Pour un mix électrique chinois, l'empreinte carbone du photovoltaïque est de 43,9 gCO_{2eq}/kWh, pour un mix électrique européen 32,3 gCO_{2eq}/kWh et 25,2 gCO_{2eq}/kWh pour un mix électrique de fabrication français. La majorité des panneaux installés en France provenant d'usine de fabrication en Chine, **la valeur par défaut est 43,9 gCO_{2eq}/kWh.**

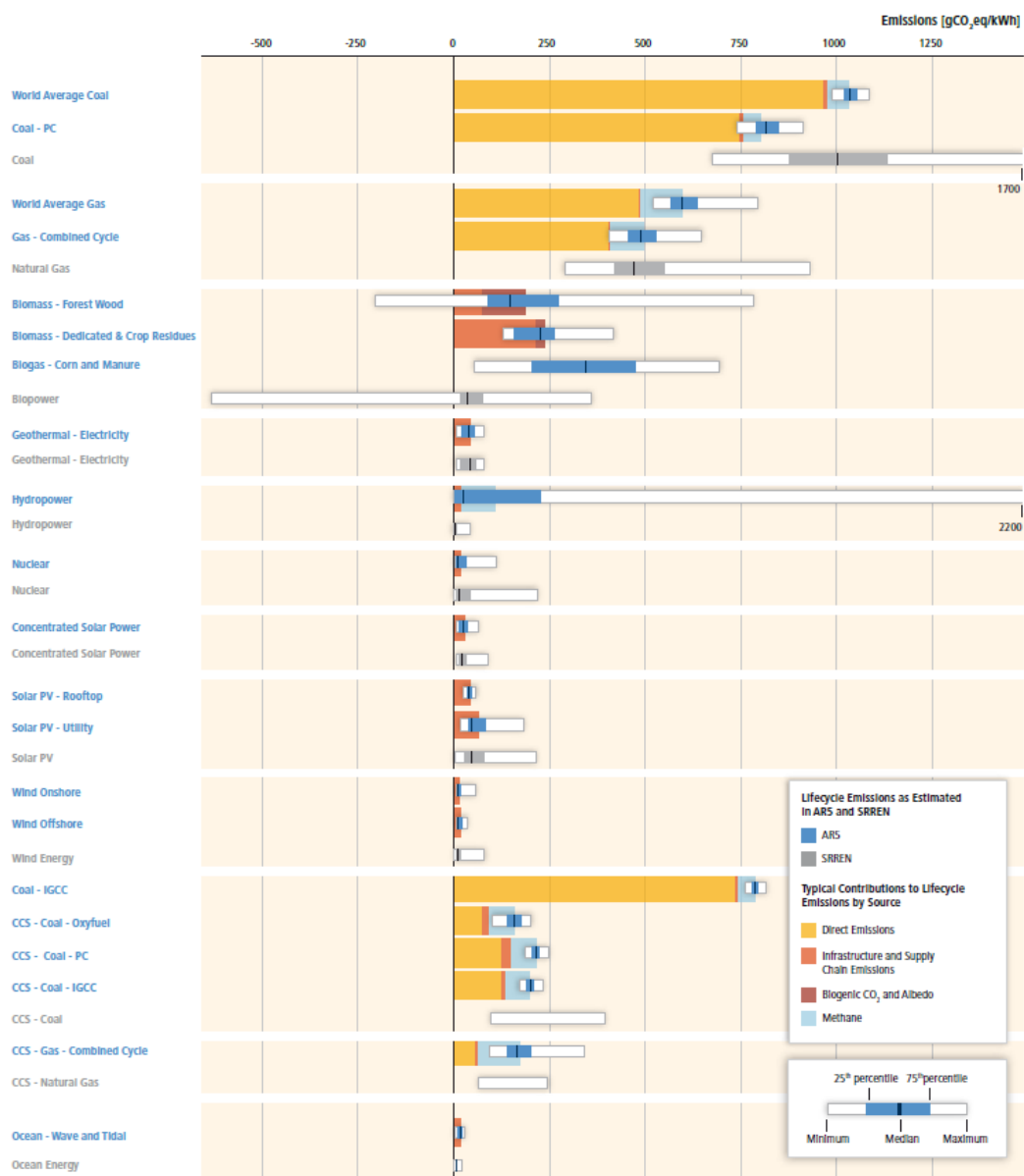
Autres filières

A titre informatif, le rapport du GIEC (AR5)^[333] propose un récapitulatif des facteurs d'émissions recensés dans la littérature pour l'ensemble des filières existantes à date (en gCO_{2e}/kWélectrique).

Attention : même si les valeurs ont été « harmonisées » (sur un même périmètre de cycle de vie) , il existe une grande variabilité dans ces valeurs qui restent des moyennes internationales. Elles sont données à titre indicatif et n'ont pas lieu de remplacer les valeurs proposées dans la Base Carbone®, spécifiques au cas français.

Par exemple, pour l'électricité issue de la biomasse, le rapport indique que les valeurs mentionnées intègrent les impacts de la combustion de la biomasse (avec un PRG du CO₂ biogénique compris entre 0 et 1 selon le type de culture, la localisation géographique, ...)^[334] et les impacts du changement d'albédo suivant l'évolution d'écosystème, d'une durée de vie du CO₂ de 100 ans, etc. mais ne tiennent pas compte de la variation de carbone organique dans les sols. Ces émissions sont donc étroitement liées aux caractéristiques du site et significativement plus grandes pour les espèces à longue rotation. Les données utilisées datent de 2010 à 2012 et ne sont pas représentatives du cas français.

Facteurs d'émissions des productions électriques issues du rapport AR5 du GIEC ^[333]



Émissions comparatives de gaz à effet de serre sur le cycle de vie de l'électricité fournie par des technologies actuelles disponibles dans le commerce (combustibles fossiles, renouvelables et énergie nucléaire) ou futures et précommerciales (systèmes avec capture et stockage de CO₂, énergie océanique). Source : graphique 7.6, rapport AR5 du GIEC

A partir des différentes valeurs proposées dans le corps du rapport⁽¹⁾⁽²⁾ ou à partir d'une lecture du graphique⁽³⁾ ci-dessus, nous proposons la compilation suivante :

Technologie	Caractéristiques (Capacité, configuration, ...)	Estimation basse ⁽¹⁾ (gCO _{2e} /KWh)	Estimation haute ⁽²⁾ (gCO _{2e} /KWh)	Estimation moyenne ⁽³⁾ à partir du graphique ci-dessus (gCO _{2e} /KWh)
Charbon	Combustion	675	1689	1 038
Charbon	Centrales électriques au charbon « modernes » et « avancées »	710	950	
Charbon	Centrales à charbon pulvérisé (PC)			815,2
Charbon	Centrales à cycle combiné à gazéification intégrée (IGCC)			788
Charbon	Avec utilisation de CCS (capture et stockage de CO ₂)	70	290	
Charbon	Centrale charbon avec oxycombustion et CCS			161
Charbon	Centrale PC avec CCS			217,4
Charbon	Centrale IGCC avec CCS			201
Pétrole	Pour différents types de générateurs et de turbines	510	1170	
Gaz	Diverses turbines à cycle combiné	290	930	
Gaz	Centrales à cycle combiné au gaz naturel	410	650	
Gaz	Avec CCS et hypothèse de fuite en gaz naturel <1%	90	370	
Gaz	Moyenne mondiale			598
Gaz	Cycle combiné gaz avec CCS			168,5
Biomasse	Bois de forêt en co-combustion avec de la houille			206,5
Biomasse	Dédiés et résidus de cultures			228,3
Biogaz	Maïs et fumier			342,4
Solaire thermique	80MW, parabolique (creux)	7	89	
Solaire Photovoltaïque	Silicone polycristallin	5	217	
Energie solaire	Energie solaire concentrée			27,2
Solaire Photovoltaïque	En toiture			43,5
Solaire Photovoltaïque	Hors toiture (ex : champs, ...)			49
Nucléaire	Différents types de réacteurs	1	220	
Géothermie	80MW, roche sèche chaude	6	79	
Eolien	/	7	56	
Eolien	Onshore			8,7
Eolien	Offshore			10,9
Energie marine	Barrages marémoteurs, hydroliennes et énergie des	10	30	

- (1) et (2) : extraction de valeurs dans le corps du rapport AR5 (GIEC 2014)
 (3) : lecture de la valeur moyenne à partir du graphique dans le rapport AR5 (2014)

Sources :

- [330] [*Solar resources and carbon footprint of photovoltaic power in different regions in Europe, De Wild-Scholten, SmartGreenScans, 2014*](#)
 [331] [*Impacts environnementaux de l'éolien français, Données 2015, ADEME, 2017*](#)
 [333] [*IPCC 2014 \(AR – Chapitre 7 Energy Systems\)*](#)
 [334] [*Francesco Cherubini et al 2012 Environ. Res. Lett. 7 045902.*](#)

4.2 Réseaux de chaleur/froid

Ce chapitre traite de l'intensité carbone de l'énergie d'un réseau de chaleur ou de froid.



Pour réaliser le bilan des émissions de GES réglementaire, ces données sont utilisées pour renseigner le poste n°2.2 (émissions indirectes liées à la consommation d'énergie autres que l'électricité).

4.2.1 Réseaux de chaleur/froid

Description

Lorsqu'une entreprise ou un particulier achète de la vapeur (pour un particulier, c'est au minimum via un réseau de chauffage urbain, et le plus souvent également via une copropriété ou un bailleur) ou du froid, la production de cette vapeur ou de ce froid a nécessité l'utilisation de combustibles divers. Le facteur d'émission de la vapeur/du froid consommé va donc dépendre du ou des combustible(s) utilisé(s) par le producteur. Souvent, l'alimentation de l'installation productrice de vapeur/de froid est multi-énergies : charbon, fioul lourd, gaz, biomasse et ordures ménagères y contribuent dans des proportions variables.

Un réseau de chaleur ou de froid est constitué :

- d'installation(s) de production de chaleur ou de froid, ou de récupération de chaleur ou de froid lorsque celle-ci est produite à l'extérieur du réseau ;
- d'un réseau primaire de canalisations qui transporte la chaleur ou du froid, en empruntant le domaine public ou privé, jusqu'à sa livraison à plusieurs bâtiments ou sites ;
- et qui livre sa chaleur ou son froid à un ou plusieurs abonnés.

Pour réaliser le bilan des émissions de GES réglementaire, ces données sont utilisées pour renseigner le poste n°2.2 (émissions indirectes liées à la consommation d'énergie autre que l'électricité). Si une décomposition avait été publiée, il aura été possible d'imputer une partie de ces émissions de GES au poste 4.1 (amont du combustible) mais ce n'est pas possible dans ce cas-ci.

Valeurs

Depuis 2009, le ministère en charge de l'écologie publie, à un rythme annuel, un arrêté relatif à la performance énergétique des réseaux de chaleur et de froid, dit « Arrêté DPE ». La méthode employée jusqu'en 2020 pour obtenir les valeurs inscrites dans le tableau, présent dans l'arrêté, a évolué pour prendre en compte la RE2020. Cet arrêté indique les niveaux de CO₂ tels qu'évalués par leurs exploitants en application de règles de calculs référencées au sein de l'arrêté.

L'arrêté du 11 avril 2025 (modifiant l'arrêté du 15 septembre 2006 relatif au diagnostic de performance énergétique pour les bâtiments existants proposés à la vente en France métropolitaine) indique les niveaux de rejets de CO₂ (en kg par kWh d'énergie distribuée/livrée) par les réseaux de chaleur et de froid en France. Ces valeurs viennent ainsi remplacer celles publiées dans l'arrêté du 5 juillet 2024. Ces sont les valeurs issues de cet arrêté qui sont reprises dans la Base Empreinte [341](#).

A noter que ces valeurs sont mises à jour annuellement. Elles sont accessibles, ainsi que l'historique des valeurs depuis 2009, sur le site "DPE des réseaux de chaleur et de froid en France" du Cerema [342](#).

Trois valeurs caractérisant un réseau sont accessibles directement ou dans le commentaire :

- **Le contenu CO₂ en émissions**
- **Le contenu CO₂ en ACV**
- **Le taux d'énergie renouvelable et de récupération**

Contenu CO₂ en émissions vs. Contenu CO₂ en ACV

Les valeurs reprises directement dans la Base se rapporte au "contenu CO₂ en ACV".

Par rapport au "contenu CO₂ en émissions", défini selon la RT 2012 (Réglementation Thermique 2012³⁴³), la méthodologie du calcul du "contenu CO₂ en ACV" permet de compléter la comptabilisation des émissions en incluant les parts relatives à :

- à l'extraction de matières premières,
- au transport de matières premières,
- à l'électricité pour le fonctionnement des chaufferies et du réseau primaire,
- à l'infrastructure du réseau primaire.

Taux d'énergie renouvelable et de récupération

Le taux d'énergie renouvelable et de récupération d'un réseau de chaleur, communément appelé « taux d'EnR&R », représente le pourcentage de la production de chaleur d'origine renouvelable et de récupération par rapport à la production totale de chaleur.

Note : Une décomposition avait été publiée dans la version 23.8 de la Base Carbone. Cette décomposition a été retirée car elle était erronée pour certains réseaux. L'erreur provenait du fait que les calculs des valeurs associées au "Contenu CO₂ en émissions" vs. "Contenu CO₂ en ACV" ne s'appuient pas sur les mêmes facteurs d'émissions pour l'électricité. Les réseaux

consommant de l'électricité (ceux ayant recours par exemple à une PAC) présentaient donc des valeurs de décomposition erronées.

Sources :

[341] <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000051520810>

[342] *DPE des réseaux de chaleur et de froid en France - CEREMA*

Part



5 Catégorie 3 : Emissions indirectes - transport

Les autres émissions indirectes, correspondent à l'ensemble des émissions dont les sources sont en dehors du périmètre organisationnel mais qui sont nécessaires à son activité.

Les valeurs des deux chapitres transport de marchandises et transport de personnes sont utilisables à la fois dans le cadre de l'article 75 et de l'information CO2 des transports.

5.1 Transport de marchandises

En 2023, les émissions de gaz à effet de serre (GES) du secteur des transports (marchandises & personnes) diminuent de 3,4 % par rapport à 2022⁴⁰⁰. Les transports restent le secteur qui contribue le plus aux émissions nationales de GES, avec 32 % du total des émissions⁴⁰⁰. **C'est un secteur clé de la comptabilité carbone.**

Les émissions suivantes sont associées au transport de marchandises :

- De manière systématique :

- Les émissions directes générées par la **combustion des carburants** des véhicules
- Les émissions indirectes liées à l'**amont des carburants**

-Selon les cas de figure :

- Dans les transports frigorifiques, les **émissions fugitives** directes de gaz frigorigènes fluorés. Ces émissions sont comptées à part dans la Base Carbone® (voir le [chapitre réfrigération dans les transports](#))
- Dans le transport aérien, les **émissions directes d'H₂O stratosphérique** dues aux traînées de condensation. Ce point très spécifique fait encore aujourd'hui l'objet de recherches et doit être considéré avec prudence.
- Pour certaines catégories de véhicules, les émissions indirectes liées à la **fabrication du matériel de transport**. Le calcul des valeurs des FE du poste « fabrication » a fait l'objet d'une approche structurée de l'analyse bibliographique afin de fournir des facteurs pertinents. En effet, les publications analysées n'ayant pas toujours les mêmes hypothèses ou méthodes de calcul, l'impact évalué par chacune des publications a été ramené à un impact par kg de véhicule pour s'affranchir des hypothèses de calcul tels que les kilomètres parcourus sur la durée de vie, ou encore le taux de remplissage ou facteur de charge. Une fois l'impact par kg de véhicule défini, le calcul de l'impact par passager.km

ou tonne.km a alors été réalisé à partir des hypothèses structurantes des FE existants (poste amont et combustion) : nombre de passagers ou tonnage transporté, durée de vie en km, etc.

Sont exclues à ce stade des données « Transport de Marchandises », les émissions suivantes :

■ **Maintenance** : l'analyse bibliographique réalisée dans le cadre des travaux du GT Transport de la Base Carbone® a mis en évidence un manque de robustesse des données de maintenance pour les modes pour lesquels des données sont disponibles ainsi qu'un manque d'homogénéité dans les données et notamment sur les différents périmètres associés à la maintenance (uniquement pièces de maintenance, prise en compte de l'énergie pour la réparation, maintenance préventive ou curative, etc.). La maintenance semble néanmoins non négligeable et, selon les modes de transport pourrait représenter jusqu'à 50-60% de l'impact de la fabrication (ferroviaire). Sur les véhicules routiers, les ordres de grandeur pour la maintenance des différentes catégories varient entre 17% de l'impact de la fabrication du véhicule pour les poids lourds, jusqu'à 71% pour les deux roues.

■ **Fin de vie** : seules quelques publications intègrent aujourd'hui l'étape de la fin de vie des véhicules au sein de leur évaluation, et aucune étude dédiée à ce sujet n'a été trouvée pour permettre une intégration dans les facteurs d'émissions proposés dans la Base Carbone®.

■ **Infrastructures** : au vu de l'analyse bibliographique menée dans le cadre des travaux du GT Transport de la Base Carbone®, la contribution de l'infrastructure aux émissions du transport ne semble pas négligeable, hormis pour le secteur aérien où celle-ci contribue a priori à moins de 5%, du fait de l'inexistence d'infrastructure linéaire et des émissions importantes en phase d'utilisation de l'aérien.

Les impacts des infrastructures peuvent être répartis selon plusieurs étapes du cycle de vie de l'infrastructure : la construction (incluant les infrastructures linéaires et les bâtiments, etc.), l'opération (liée principalement à la consommation d'énergie des infrastructures) et la maintenance (comprenant les matériaux et l'énergie nécessaire aux opérations de maintenance de ces infrastructures). Les contributions des différentes étapes varient selon les modes de transport : par exemple, la construction des infrastructures est généralement l'un impact le plus important pour le routier et le ferroviaire quand l'opération a une contribution non négligeable pour l'aérien et le maritime. On notera également que la maintenance a un très faible impact sur les différents modes, excepté sur le maritime où le dragage peut avoir une contribution significative et sur le routier pour les véhicules lourds.

Dans le cadre d'un bilan des émissions de GES, ce chapitre donnera les facteurs d'émissions pour :

- Le poste 3.1 - Transport de marchandises amont
- Le poste 3.2 - Transport de marchandises aval

Il convient de noter que « Transport de marchandises amont » concerne le transport de marchandises dont le coût est supporté par la personne morale qui réalise son Bilan des émissions de GES (non pris en compte dans les catégories émissions directes et émissions indirectes associées à l'énergie). Par opposition, « Transport de marchandises aval » concerne le transport de marchandises dont le coût n'est pas supporté par la personne morale⁴⁰¹.

Les émissions GES du transport de marchandises peuvent également être fournies par les prestataires de transports à leurs clients, dans le cadre de l'information GES des transports.

Sources :

[400] [CCTN – Bilan annuel des transports en 2023 – Les comptes des transports – Publié en novembre 2024.](#)

[401] [MEEM - Méthode pour la réalisation des bilans d'émissions de gaz à effet de serre conformément à l'article L. 229-25 du code de l'environnement - Version 4 - Octobre 2016 - Annexe - fiche 12, p.49](#)

5.1.1 Routier

Description

La classification retenue pour les transports routiers de marchandises se décompose selon deux approches :

- Par type de camion et tonnage ;
- Par type d'usage spécifique.

Macro Catégorie	Catégorie	Sous-Catégorie	Classification
Transport de marchandises	Routier	Par catégorie	VUL - par motorisation
			Rigide - par motorisation
			Articulé - par motorisation
		Par usage	Déménagement

Sources des données & périmètre

Postes "Amont" et "Combustion"

Mise à jour 2025 des FE relatifs aux carburants fossiles

Les facteurs d'émission des carburants fossiles suivants ont été mis à jour sur base du rapport du GLEC, publié en février 2025 :

- Filière diesel (diesel B7, biodiesel) ;

- Filière essence (essence pompe, bioéthanol) ;
- Gaz liquéfiés (GPL, GNC, GNL, GNL incorporation bio 20%).

Cette mise à jour vise à refléter une évolution méthodologique liée à :

- Prise en compte des émissions ventilées et fugitives de méthane lors des processus d'extraction du pétrole et du gaz
- Prise en compte des émissions de méthane lors du transport par pipeline.

Les facteurs d'émission des véhicules électriques (à hydrogène compris) et hybrides n'ont pas été actualisés.

Les consommations en diesel routier de certains poids lourds ont été mises à jour sur base du GLEC v3.1.

Par camion & tonnage

La principale source des données proposées dans la Base Carbone® est le rapport du GLEC, publié en février 2025. Le Global Logistics Emissions Council (GLEC) a été créé en 2014 en tant qu'initiative volontaire et compte aujourd'hui plus de 50 entreprises, associations industrielles et programmes de fret vert ; et est soutenu par des experts, des gouvernements et d'autres parties prenantes. Son but : développer et mettre en œuvre des directives partagées pour calculer, déclarer et réduire les émissions liées au transport de marchandises.

Les données proposées par le GLEC sont des données représentatives pour l'Europe. Elles intègrent les émissions liées à l'amont et la combustion du carburant. Sont exclues : les fuites des carburants (hors fuites déjà intégrées dans les facteurs d'émissions des carburants), les émissions liées à la production et maintenance des véhicules, les émissions liées à la construction et maintenance des infrastructures, ainsi que les émissions liées à l'exploitation des sites de transports logistiques.

Trois facteurs d'émissions sont disponibles pour des véhicules hybride et électrique. Celles-ci intègrent l'amont et la combustion du carburant, ainsi que la fabrication des véhicules. Ces données sont issues de l'étude E4T de l'ADEME et l'IFPEN datant de 2015. Retrouvez plus d'informations méthodologiques dans le chapitre « [Transport routier de personnes](#) ».

Cinq facteurs d'émissions sont également proposés pour les véhicules utilitaires légers à hydrogène. Ils sont issus de l'étude « [Analyse du Cycle de Vie relative à la mobilité hydrogène](#) » - produite en 2020 par l'ADEME, Sphera et Gingko21. Ces valeurs reflètent l'impact de fabrication du véhicule, de ses équipements (*pile, batterie, réservoir...*) et de son usage, via l'impact amont du carburant utilisé. Sont exclus des facteurs d'émission les phases « fin de vie » et « maintenance » des différents composants des véhicules.

Le périmètre étudié correspond à un véhicule utilitaire roulant 200 000 km sur sa durée de vie, fonctionnant sur une base hybride batterie – pile à combustible. Il comporte donc une pile à combustible de 40 kW, un réservoir embarqué d'une capacité de 5,5kg d'hydrogène et une

batterie de 20 kWh. Le véhicule étant modélisé à vide, l'impact du chargement complet a été évalué à une consommation de carburant augmentée d'un tiers. Afin de présenter une donnée moyenne, les facteurs d'émission correspondent à un véhicule circulant à vide la moitié de sa durée de vie.

L'impact de la consommation d'hydrogène est basé sur cinq scénario de production où différentes distances de chalandise sont attribuées selon le moyen de production :

- 500 km pour le vaporeformage de gaz naturel [1] et de biométhane [2], correspondant à un mode de production centralisé.
- 0 km pour l'électrolyse en connexion réseau mix France [3] et mix Europe [4], en production sur site, correspondant à un mode de production décentralisé.
- 50 km pour l'électrolyse en connexion EnR directe [5], correspondant à un circuit de distribution territorial, la station n'étant pas nécessairement « au pied des EnR ».

Par usage

Les facteurs d'émissions des carburants utilisés pour les données « déménagement » ont été mis à jour sur base du GLEC v3.1.

Les données liées à la consommation de carburant ainsi qu'à la fabrication du véhicule sont issues des travaux 2011 de l'OEET (Observatoire Energie Environnement des Transports), sur la base des enquêtes 2010 du CNR. Elles intègrent les émissions liées à l'amont et la combustion de carburant, ainsi que la fabrication du véhicule.

Poste "Fabrication de véhicules"

L'évaluation des émissions de GES par kg de véhicule s'appuie sur quatre sources de données qui offrent une variété de valeurs relativement large, selon différents types de poids lourds, allant du véhicule utilitaire léger (VUL) au poids lourd routier de 26 tonnes (à vide) :

- Les évaluations environnementales constructeur réalisées par Renault Trucks (Périmètre France) ;
- Deux études d'analyse du cycle de vie de poids lourds : Yang (Périmètre Chine) et l'étude E4T de l'Ifpen (Périmètre France) ;
- Un inventaire du cycle de vie par S. Wolff (Périmètre européen)

Pour revenir aux données en t.km, les hypothèses de charge utile des véhicules s'appuient principalement sur les hypothèses existantes ou archivées de la Base Carbone® (données HBEFA), complétées par les données de l'étude E4T de l'Ifpen. Les hypothèses de durée de vie en km sont issues des hypothèses de l'étude E4T de l'Ifpen et des hypothèses des valeurs poids lourds archivées de la Base Carbone®. Les hypothèses de masse s'appuient principalement sur les données HBEFA et sur les hypothèses des valeurs poids lourds archivées de la Base Carbone®.

Pour plus d'informations sur l'approche méthodologique générale, se référer au chapitre [Transport de Marchandises](#).

Principales hypothèses

Postes "Amont" et "Combustion"

Par camion & tonnage

Chargement et motorisations

Les données intégrées dans la Base Carbone® sont les données GLEC pour la région Europe, pour un chargement moyen/mixte. Les hypothèses de chargement et retour à vide sont reprises ci-dessous :

Moyen de transport	Taux de remplissage	Taux de retour à vide	Combiné (uniquement VUL)
VUL, < 3,5 t – Essence	-	-	24%
VUL, < 3,5 t – Gazole	-	-	36%
Rigide (tous tonnages confondus) Articulé (jusqu'à 60 tonnes)	60%	17%	-
Articulé, 60 à 72 tonnes	72%	30%	-

Pour chacun des moyens de transport, plusieurs motorisations sont proposées selon les cas de figures : essence, diesel avec 7% d'incorporation biodiesel, GNC, GPL, GNL et GNL avec 20% d'incorporation bio.

Retrouvez l'ensemble de la méthodologie et des hypothèses dans le Framework du GLEC – février 2025.

Cas de l'hydrogène

Au vu des modèles de véhicules électriques à hydrogène disponibles sur le marché en 2020, seul le véhicule utilitaire est proposé dans le cadre du transport de marchandises. Les impacts présentés sont déclinés selon la source de production de l'hydrogène.

Les facteurs d'émission pour le VUL électrique à hydrogène sont proposés par type de scénario de production d'hydrogène. Pour information, en 2020, le procédé majoritaire reste le vaporeformage de gaz naturel. Il est donc à prendre par défaut en l'absence d'information.

Les facteurs d'émission proposés sont issus de l'étude « Analyse du Cycle de Vie relative à la mobilité hydrogène »^[170] - produite en 2020 par l'ADEME, Sphera et Gingko21. Ces valeurs reflètent l'impact de fabrication du véhicule, de ses équipements (pile, batterie, réservoir...) et de son usage, via l'impact amont du carburant utilisé. Sont exclus des facteurs d'émission les phases « fin de vie » et « maintenance » des différents composants des véhicules.

Le périmètre étudié correspond à un véhicule utilitaire roulant 200 000 km sur sa durée de vie, fonctionnant sur une base hybride batterie – pile à combustible. Il comporte donc une pile à combustible de 40 kW, un réservoir embarqué d'une capacité de 5,5kg d'hydrogène et une batterie de 20 kWh. Le véhicule étant modélisé à vide, l'impact du chargement complet a été évalué à une consommation de carburant augmentée d'un tiers. Afin de présenter une donnée moyenne, les facteurs d'émission correspondent à un véhicule circulant à vide la moitié de sa durée de vie.

L'impact de la consommation d'hydrogène est basé sur cinq scénarios de production. Différentes distances de chalandise sont attribuées selon le moyen de production :

- 500 km pour le vaporeformage de gaz naturel [1] et de biométhane [2], correspondant à un mode de production centralisé.
- 0 km pour l'électrolyse en connexion réseau mix France [3] et mix Europe [4], en production sur site, correspondant à un mode de production décentralisé.
- 50 km pour l'électrolyse en connexion EnR directe [5], correspondant à un circuit de distribution territorial, la station n'étant pas nécessairement « au pied des EnR ».

Les facteurs d'émission pour un VUL électrique hydrogène sont proposés par type de scénario de production d'hydrogène. Pour information, en 2020, le procédé majoritaire reste le vaporeformage de gaz naturel. Il est donc à prendre par défaut en l'absence d'information.

Scénario de production d'hydrogène	Fabrication véhicule (kgCO ₂ /km)	Production d'hydrogène (kgCO ₂ /km)	Production d'électricité (kgCO ₂ /km)	Total (kgCO ₂ /km)
[1] Vaporeformage de gaz naturel, 500 km	0,053	0,177	0,005	0,235
[2] Vaporeformage de biométhane, 500 km		0,080	0,005	0,138
[3] Electrolyse France, 0 km		0,033	0,005	0,091
[4] Electrolyse Europe, 0 km		0,222	0,036	0,311
[5] Electrolyse EnR, 50 km		0,024	0,005	0,082

Pour information et à titre de comparaison, l'« Analyse du Cycle de Vie relative à la mobilité hydrogène »^[170] a réalisé une comparaison des émissions du VUL électrique hydrogène à une référence diesel et une référence électrique batterie, modélisées dans l'analyse de cycle de vie, sur la base des mêmes hypothèses de fonctionnement.

Le facteur d'émission d'un VUL de référence 100% électrique reste inférieur à ceux des véhicules hydrogène calculés sur le même segment. Les VUL hydrogène issus des scénarios biométhane, électrolyse EnR et France montrent des facteurs d'émission significativement inférieurs à celui du VUL de référence diesel. Le VUL hydrogène issu du scénario gaz naturel

présente un facteur d'émission très proche du VUL diesel, quand le VUL hydrogène issu du scénario d'électrolyse Europe dépasse même cette référence.

Scénario de production d'hydrogène	Ecart du FE VUL Hydrogène (en %) par rapport à la référence VUL diesel
[1] Vaporeformage de gaz naturel, 500 km	- 9 %
[2] Vaporeformage de biométhane, 500 km	- 47 %
[3] Electrolyse France, 0 km	- 65 %
[4] Electrolyse Europe, 0 km	+ 20 %
[5] Electrolyse EnR, 50 km	- 68 %
Référence VUL électrique batterie	- 74 %

Par usage

Des valeurs de charge utile, taux d'utilisation (tous trajets confondus, y compris à vide), et consommation moyenne du véhicule, ont été proposées par le groupe de travail de l'OEET. Elles sont reportées dans le tableau suivant :

Moyen de transport	Volume	Taux d'utilisation (charge + vide)	Consommation kilométrique (l/100km)	Nombre moyen d'unités transportées (trajets à vide compris)
Fourgon	8 m ³	35%	16,0	2,8 m ³
Porteur	45 m ³	35%	27,0	15,8 m ³
Ensemble articulé	90 m ³	35%	34,2	31,5 m ³

Poste "Fabrication de véhicules"

Une valeur unique d'impact en kgCO_{2e}/kg de véhicule a été calculée pour l'ensemble des poids lourds, en réalisant une moyenne issue des données des sources bibliographiques présentées ci-dessus. Cette valeur s'élève à 3,0 kgCO_{2e}/kg de véhicule. Pour les véhicules utilitaires légers, la valeur d'impact des voitures particulières a été reprise, à savoir 4,5 kgCO_{2e}/kg de véhicule.

Les hypothèses suivantes ont été prises en compte pour repasser en t.km à partir des hypothèses existantes pour les FE des postes « Amont » et « Combustion ».

	Unité BC	Facteur kgCO ₂ /kg de véhicule	Charge utile (en tonnes)	Durée de vie en km	Masse type (en tonnes)
Marchandise					
VUL < 3,5 tonnes thermique	/t.km	Voiture	0,3	194 400	2,3
Rigide - 3,5 à 7,5 tonnes thermique	/t.km	Poids lourds	2,5	372 000	3,5
Rigide - 7,5 à 12 tonnes thermique	/t.km	Poids lourds	5,0	372 000	6,0
Rigide - 12 à 20 tonnes thermique	/t.km	Poids lourds	6,2	372 000	8,1
Rigide - 20 à 26 tonnes - thermique	/t.km	Poids lourds	8,4	372 000	11,8
Rigide - 26 à 32 tonnes - thermique	/t.km	Poids lourds	13,7	372 000	13,6
Articulé < 34 tonnes - thermique	/t.km	Poids lourds	14,7	750 000	13,7
Articulé 34 à 40 tonnes - thermique	/t.km	Poids lourds	16,3	750 000	15,4
Articulé 40 à 44 tonnes - thermique	/t.km	Poids lourds	16,8	750 000	16,0
Articulé 44 à 60 tonnes - thermique	/t.km	Poids lourds	21,1	750 000	20,6
Articulé 60 à 72 tonnes	/t.km	Poids lourds	25,6	750 000	25,5
	Unité BC	Facteur kgCO ₂ /kg de véhicule	Volume en m ³	Durée de vie en km	Masse type (en tonnes)
Marchandise					
Articulé - 90 m ³	/t.km	Poids lourds	90,0	750 000	15,0
Camion porteur - 45 m ³	/t.km	Poids lourds	45,0	550 000	10,5
Fourgon - 8 m ³	/t.km	Poids lourds	8,0	250 000	2,2

Evolution du secteur

En 2023, l'activité intérieure de transport routier de marchandises par poids lourds en France métropolitaine s'établit à 286,4 milliards de tonnes-kilomètres, en baisse de 2,4 % sur un an. L'activité du pavillon français s'établit à 164,2 milliards de tonnes-kilomètres et celle du pavillon étranger à 122,3 milliards.

Sources :

[170] ADEME, Sphera et Gingko21. "Analyse du Cycle de Vie relative à la mobilité hydrogène" (2020)

[400] CCTN – Les comptes des transports en 2018 - 56e rapport de la Commission des comptes des transports de la Nation - Publié le 29/08/2019

[402] Enquête sur l'utilisation des véhicules de transport routier de marchandises (TRM) - Ministère de la Transition écologique et solidaire - 2018

5.1.2 Ferroviaire

Description

La classification retenue pour le transport ferré de marchandises distingue, pour le périmètre France :

- L'énergie de traction du train (électrique, diesel ou mixte si celle-ci est inconnue)
- La densité des marchandises transportées (dense, moyennes et légères)

Pour le transport ferré de marchandises dans les autres pays d'Europe, un facteur d'émission « train » unique est retenu par pays. Ces données sont issues de la publication « INFRAS-IWW » de l'UIC (Union International des Chemins de fer) datant de 2004.

Sources des données & périmètre

■ Mise à jour 2025 des FE des sources d'énergie

Les facteurs d'émission suivants ont été mis à jour pour le périmètre France :

- Le facteur d'émission lié à la combustion du diesel non routier sur base du rapport du GLEC, publié en février 2025 ;
- Le facteur d'émission pour l'amont de l'électricité sur base des données BE de 2024 (mix moyen de consommation).

■ Postes "Amont" et "Combustion"

La principale source des données proposées dans la Base Carbone® est la plateforme EcoTransIT World, accréditée par le GLEC. Son but est de développer et mettre en œuvre des directives partagées pour calculer, déclarer et réduire les émissions liées au transport de marchandises.

Les données proposées intègrent les émissions liées au transport de marchandises par chemin de fer sur un réseau ferroviaire entre le lieu de chargement et déchargement, c'est-à-dire les émissions associées au carburant et/ou à l'électricité utilisé pour déplacer la cargaison par ses propres moyens ou transportés par un autre véhicule. Ne sont pas incluses : les émissions de la production du chemin de fer, du véhicule ou de l'infrastructure ferroviaire, ni les émissions du personnel associé aux opérations ferroviaires.

■ Poste "Fabrication de véhicule"

Faute de données sur la fabrication des trains de marchandises, les données utilisées pour déterminer un facteur en $\text{kgCO}_2\text{e/kg}$ de véhicule sont les données du [transport de personnes](#), pour la catégorie train grande ligne/TER/RER.

Pour revenir au t.km, les données de masse des trains et de capacités de chargement ont été reprises de la Base Carbone®. La donnée sur la durée de vie est une estimation basée sur des recherches bibliographiques.

Pour plus d'informations sur l'approche méthodologique générale, se référer au chapitre [Transport de Marchandises](#).

Principales hypothèses

■ Postes "Amont" et "Combustion"

Les facteurs d'émissions proposés dans la Base Carbone® sont obtenus à partir des données moyennes pour un train de tonnage brut de 1000 tonnes, et les hypothèses suivantes :

Chargement	Tonnage associé	Consommation - Traction Diesel (l/t.km)	Consommation – Traction Electrique (kWh/t.km)
Marchandises denses	600 tonnes	0,0076	0,0278
Marchandises moyennes	520 tonnes	0,0088	0,0322
Marchandises légères	400 tonnes	0,0113	0,0415

Dans le cas où la source d'énergie de traction n'est pas identifiée, nous avons retenu l'hypothèse d'un mélange de :

- 80% de traction électrique
- 20% de traction diesel

Cette répartition est basée sur des informations de Fret SNCF, correspondant aux données moyennes en France. Les facteurs d'émissions du mode traction moyen sont calculés en utilisant ce prorata.

Les facteurs d'émissions des énergies utilisés pour le périmètre France sont les suivants :

Energie	Unité	Amont	Combustion
Electricité – mix moyen de consommation (2024)	kgCO _{2e} /kWh	0.013	0.035 (à la centrale)
Diesel	kgCO _{2e} /litre	0.7	2.68

Le facteur d'émission lié à l'amont est considéré comme égal à 26% de celui lié à la combustion.

■ Poste "Fabrication de véhicule"

Par manque de données et en accord avec les experts du ferroviaire consultés, il a été convenu de considérer la valeur des trains grande ligne, **soit 7 kgCO_{2e}/kg de véhicule**.

Géographie	Véhicule – FE de la Base Carbone®	Valeur retenue kgCO _{2e} /kg
France continentale	Train - traction électrique – Tout Chargement	7
France continentale	Train - traction diesel – Tout Chargement	7
Corse	Train de marchandises	7

Les données de masse des trains et de capacités de chargement ont été reprises de la Base Carbone®. La donnée sur la durée de vie est une estimation basée sur des recherches bibliographiques, dont l'ordre de grandeur a été vérifié via des recalculs avec des données issues des publications et des entretiens menés.

Localisation	Fonctionnement	Type de Train	Unité BC	Masse type train (kg)	Capacité de transport (tonne)	Durée de vie (km)
France continentale	Electrique	Train - traction électrique - Chargement dense	/t.km	1 000 000	600	4 500 000
France continentale	Electrique	Train - traction électrique - Chargement moyen	/t.km	1 000 000	520	4 500 000
France continentale	Electrique	Train - traction électrique - Chargement léger	/t.km	1 000 000	400	4 500 000
France continentale	Diesel	Train - traction diesel - Chargement dense	/t.km	1 000 000	600	4 500 000
France continentale	Diesel	Train - traction diesel - Chargement moyen	/t.km	1 000 000	520	4 500 000
France continentale	Diesel	Train - traction diesel - Chargement léger	/t.km	1 000 000	400	4 500 000
Corse		Train de marchandises	/t.km	1 000 000	506,7	4 500 000

Evolution du secteur⁴⁰⁰

Le transport ferroviaire de marchandises représente 32,0 milliards de tonnes-kilomètres en 2018, en baisse par rapport à 2017. Les tonnages transportés diminuent très sensiblement (- 7,7 %) en 2018, conséquence d'une baisse des volumes au niveau national (- 6,8 %), à l'international (- 8,3 %) et du transit (- 14,2 %).

Suite à la libéralisation du transport ferroviaire national en 2006, de nouveaux opérateurs se sont progressivement installés dans le paysage ferroviaire français. Sur le segment du fret ferroviaire français, on dénombre 24 opérateurs disposant d'un certificat de sécurité, y compris l'opérateur historique et ses filiales (Fret SNCF, VFLI par exemple). Les nouveaux opérateurs ont effectué 33 % des transports en tonnes-kilomètres en 2018 (hors filiales de la SNCF). L'évolution constatée ressemble à celle observée dans d'autres pays européens comme l'Allemagne, la Hongrie ou la Pologne.

Sources :

[\[400\] CCTN – Les comptes des transports en 2018 - 56e rapport de la Commission des comptes des transports de la Nation - Publié le 29/08/2019](#)

5.1.3 Aérien

Description

Dans la Base Carbone®, les facteurs d'émissions du transport de fret aérien sont classés selon deux typologies d'appareil (avion cargo ou avion passager), puis par :

- Taille d'appareil (tonnages ou nombre de sièges)
- Longueur de trajet - 500/1000/2000/5000/plus (en km)

Sous-catégorie	Classification
Avions cargo	10 à 25 tonnes : détail par kms parcourus
	26 à 100 tonnes : détail par kms parcourus
	Plus de 100 tonnes : détails par kms parcourus
Avions passagers	Capacité de 20 à 50 sièges : détail par kms parcourus
	Capacité de 51 à 100 sièges : détail par kms parcourus
	Capacité de 101 à 220 sièges : détail par kms parcourus
	Capacité de plus de 220 sièges : détail par kms parcourus

Source des données & périmètre

■ Postes "Amont" et "Combustion"

L'ensemble des données proposées dans la Base Carbone® sont issues du calculateur TARMAAC (Traitements et Analyses des Rejets éMis dans l'Atmosphère par l'Aviation Civile) de la DGAC (Direction Générale de l'Aviation Civile).

TARMAAC est un outil développé par la DGAC en coopération avec le CITEPA (Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique), notamment utilisé pour établir l'inventaire des émissions du trafic aérien de la France dans le cadre des engagements pris lors du protocole de Kyoto (niveau national). Il s'appuie sur des méthodes internationales utilisées pour les inventaires d'émissions et sur des données de trafic réelles allant jusqu'au vol à vol (type avion, origine destination, motorisation, chargement en passagers, fret et poste, temps de roulage, etc...).

Les données proposées intègrent les émissions liées à l'amont et la combustion du carburant, durant les phases de vol, roulage et stationnement. Elles intègrent donc de fait les consommations des APU (groupe auxiliaire de puissance). Ne sont pas incluses les émissions

liées à la fabrication de l'appareil, aux infrastructures aéroportuaires ou aux trainées de condensation.

Pour plus de détails ou pour réaliser vos évaluations au plus juste en origine-destination, n'hésitez pas à consulter directement le [calculateur d'émissions de CO₂ de l'aviation en ligne](#) et le [bilan annuel des émissions du transports aériens](#), produit par la DGAC.

■ Poste "Fabrication de véhicule"

Les sources de données utilisées sont identiques à celles du [transport de personnes](#), faute de données spécifiques au transport de marchandises identifiées. La base de données de l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI ou ICAO en anglais) regroupant les données de trafic aérien depuis 2008 a été utilisée pour rebasculer de kgCO_{2e}/kg de véhicule au tonne.km transportées.

Pour plus d'informations sur l'approche méthodologique générale, se référer au chapitre [Transport de Marchandises](#).

Principales hypothèses

■ Postes "Amont" et "Combustion"

Les avions « cargo » correspondent aux avions qui transportent le fret. Les avions « passagers » correspondent à des avions dit "mixtes". Il s'agit des avions de ligne classiques, pouvant transporter à la fois passagers et fret. Les facteurs d'émissions sont donnés en tonnes.km, sachant qu'un Peq (= équivalent personne) correspond à 100 kg de fret transporté.

Le facteur d'émission du kérosène considéré est identique à celui utilisé par le calculateur TARMAAC :

Energie	Unité	Combustion
Kérosène	kg CO2e/kg fuel	3.16

Sur base de documentation du calculateur TARMAAC, cette quantité de CO₂ (3,16) est multipliée par un facteur 1,01 pour obtenir la quantité de GES exprimée en CO₂ équivalent afin de prendre en compte la contribution des autres GES aux émissions du transport aérien (essentiellement N₂O, celle du CH₄ étant inférieure à 0,1%).

Ce facteur d'émission résultant est semblable à celui mentionné dans le rapport du GLEC, publié en février 2025.

Pour la phase de production et de distribution du carburant, conformément aux facteurs d'émissions définis par l'ADEME, les émissions de gaz à effet de serre (en CO₂e) sont obtenues en multipliant la quantité de CO₂ émise en vol par un facteur 0,21.

Pour permettre des évaluations en première approche, des facteurs d'émission globaux sont fournis par la DGAC par catégorie de distance ou de taille d'appareil et pour le trafic total. Les valeurs respectives des consommations de carburant en kg/t.km des avions cargos et des avions mixtes ont été déduites des facteurs d'émissions renseignés pour la phase de vol dans le rapport « [Les émissions gazeuses liées au trafic aérien en France en 2023](#) » :

Consommation de carburant lors de la combustion (en kg/t.km)			
Avions cargo	10 à 25 tonnes	26 à 100 tonnes	> 100 tonnes
0 - 500 km	0.368	0.822	0.399
500 - 1000 km	0.475	0.465	0.420
1000 - 2000 km	/	0.384	0.404
2000 - 5000 km	/	/	0.172
> 5000 km	/	/	0.142

Consommation de carburant lors de la combustion (en kg/t.km)				
Avions cargo	20 à 50 sièges	51 à 100 sièges	101 à 220 sièges	> 220 sièges
0 - 500 km (turboprop)	0.65	0.36	/	/
0 - 500 km (jet)	0.91	0.6	0.41	/
500 - 1000 km	0.66	0.43	0.32	0.47
1000 - 2000 km	0.85	0.36	0.26	0.33
2000 - 5000 km	/	/	0.23	0.24
> 5000 km	/	/	0.25	0.21

■ Poste "Fabrication de véhicule"

La valeur retenue de l'impact par kgCO₂e/kg de véhicule est celle du transport de personnes, soit 40 kgCO₂e/kg d'avion.

Le recalcul en tonne.km a été réalisé à partir des hypothèses suivantes :

Type	Capacité	Distance	Unité BC	Masse type (en kg)	Allocation fret (si pertinent)	Tonnage total (en tonnes)	Durée de vie en km
Avion mixte	Capacité 20 - 50 sièges	<500 kms (jet et turboprop)	/t.km	11 705,6	0,03	0,0986	30 000 000
		500-1000 kms	/t.km	11 700,5	0,03	0,0985	30 000 000
		1000-2000 kms	/t.km	11 700,5	0,04	0,1266	30 000 000
	Capacité 51-100 sièges	<500 kms (jet et turboprop)	/t.km	13 070,9	0,03	0,1218	30 000 000
		500-1000 kms	/t.km	13 069,3	0,03	0,1218	30 000 000
		1000-2000 kms	/t.km	13 069,3	0,03	0,1566	30 000 000
	Capacité 101-220 sièges	<500 kms (jet)	/t.km	40 056,0	0,03	0,3408	40 000 000
		500-1000 kms	/t.km	40 055,8	0,03	0,3407	40 000 000
		1000-2000 kms	/t.km	40 055,8	0,04	0,4381	40 000 000
		2000-5000 kms	/t.km	40 055,8	0,12	1,8451	40 000 000
		>5000 kms	/t.km	40 055,8	0,12	1,8451	40 000 000
	Capacité > 220 sièges	500-1000 kms	/t.km	143 261,7	0,04	1,4179	50 000 000
		1000-2000 kms	/t.km	143 261,7	0,04	1,4179	50 000 000
		2000-5000 kms	/t.km	143 261,7	0,11	5,2764	50 000 000
		> 5000 kms	/t.km	143 261,7	0,11	5,2764	50 000 000

Type	Capacité	Distance	Unité BC	Masse type (en kg)	Allocation fret (si pertinente)	Tonnage total (en tonnes)	Durée de vie en km
Avion cargo	10-25t par km parcourus	< 500 kms	/t.km	40 056,0	1	17,5	40 000 000
		500 - 1000 kms	/t.km	40 055,8	1	17,5	40 000 000
	26 - 100t	< 500 kms	/t.km	91 658,9	1	63	40 000 000
		500 - 1000 kms	/t.km	91 658,9	1	63	40 000 000
		1000 - 2000 kms	/t.km	91 658,9	1	63	40 000 000
	>100t	< 500 kms	/t.km	143 261,7	1	100	40 000 000
		500 - 1000 kms	/t.km	143 261,7	1	100	50 000 000
		1000 - 2000 kms	/t.km	143 261,7	1	100	50 000 000
		2000-5000 kms	/t.km	143 261,7	1	100	50 000 000
		>5000 kms	/t.km	143 261,7	1	100	50 000 000

Evolution du secteur

L'activité du transport aérien en France s'est élevée en 2018 à 172,43 millions de passagers, en hausse de 5,1% par rapport à 2017, un ensemble fret et poste de 2,51 millions de tonnes (-1,2%) et un nombre de passagers équivalents-kilomètres-transportés (convention ½ croisière) de 292,9 milliards de PeqKT (+5,5%), pour 1,54 million de mouvements commerciaux (+1,3%).

Entre 2000 et 2018, ces émissions ont progressé de 21,5% pour un nombre de passagers-équivalents-kilomètres-transportés (PeqKT) en augmentation de +62,1%. Le développement du trafic aérien s'est ainsi accompagné d'une amélioration continue de son efficacité énergétique : diminution de -25,7% des émissions de CO₂ unitaire (en kg de CO₂/ PeqKT), soit une décroissance moyenne de -1,6% /an.

Chiffres clés, DGAC - <https://eco-calculateur.dta.aviation-civile.gouv.fr/les-chiffres-cles>

Impact climatique des traînées de condensation & émissions associées

En plus du CO₂ émis par la production et combustion du carburant, les avions peuvent affecter le climat par d'autres émissions et processus atmosphériques, tels que la vapeur d'eau (H₂O), les oxydes d'azote (NO_x), les particules (aérosols) de sulfate et de suie, ou les traînées de condensation. Pour ces dernières, bien que leur contribution sur le total de l'impact climatique de l'aviation à l'échelle mondiale (évaluée sur la base du forçage radiatif – cf ci-après) soit évaluée à un minimum de 50 %, il subsiste encore d'importantes incertitudes scientifiques quant à leur estimation et font encore l'objet de nombreuses recherches scientifiques.

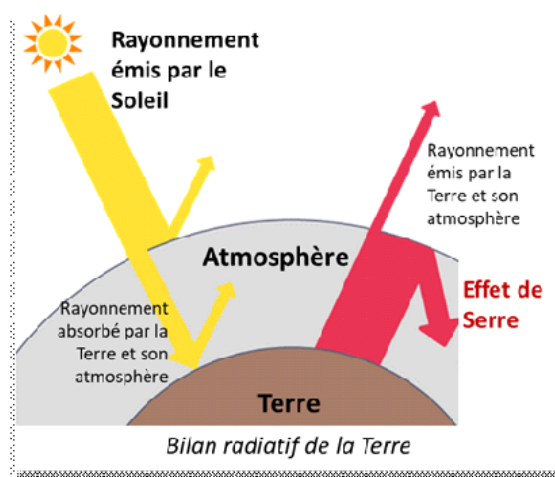
Définition

Les **traînées de condensation** sont des panaches blancs observables dans le ciel après le passage d'un avion. Elles se forment à haute altitude (de 8 à 13 km) à la sortie des réacteurs si l'air environnant est suffisamment froid et humide. Les traînées de condensation sont constituées de cristaux de glace, formés par la condensation de la vapeur d'eau émise par les moteurs, autour de noyaux de condensation présents dans les gaz de combustion et dans l'atmosphère.

Les traînées de condensation peuvent s'estomper quelques secondes seulement après leur formation, par sublimation de la glace (on parle de traînées non persistantes), ou persister jusqu'à quelques heures pour former des nuages induits du type cirrus (on parle alors de traînées persistantes si elles conservent une forme linéaire ou cirrus de traînée si elles ne conservent pas de forme linéaire).

Métriques associées

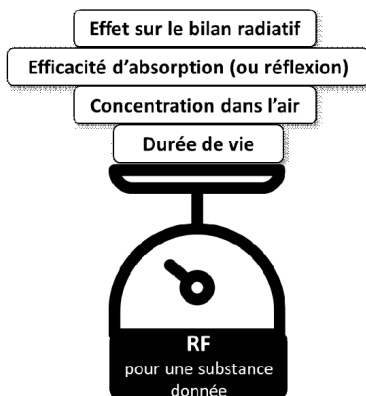
Pour comprendre l'évaluation de l'impact des traînées de condensation, il faut revenir à la définition de l'équilibre énergétique de la Terre. Au sommet de l'atmosphère, moyenné sur le globe et sur une année, l'**équilibre énergétique** est défini de telle sorte que le rayonnement solaire absorbé par la Terre est approximativement égal au rayonnement infrarouge sortant de la Terre. Du fait qu'une partie de l'énergie que renvoie la Terre ne quitte pas l'atmosphère et est retenue, l'effet de serre se produit. C'est cet effet de serre « naturel » qui permet à la terre d'avoir une température moyenne de l'ordre de 15 °C (au lieu de -18 °C sans atmosphère).



©Citepa d'après Kartable.fr

Alors, pour identifier les différentes contributions au déséquilibre de cette **balance énergétique**, il est nécessaire de définir l'apport d'une espèce chimique ou d'un phénomène au bilan énergétique de la Terre. Pour cela, la notion de **forçage radiatif** (RF, acronyme de l'anglais « Radiative Forcing ») est appliquée. Il s'agit du flux d'énergie qu'une substance a ajouté ou soustrait durant une certaine période au bilan énergétique de la planète.

Le forçage radiatif (RF) est calculé en watts par mètre carré (W.m^{-2}). Quatre paramètres sont importants pour le calcul :



©Citepa

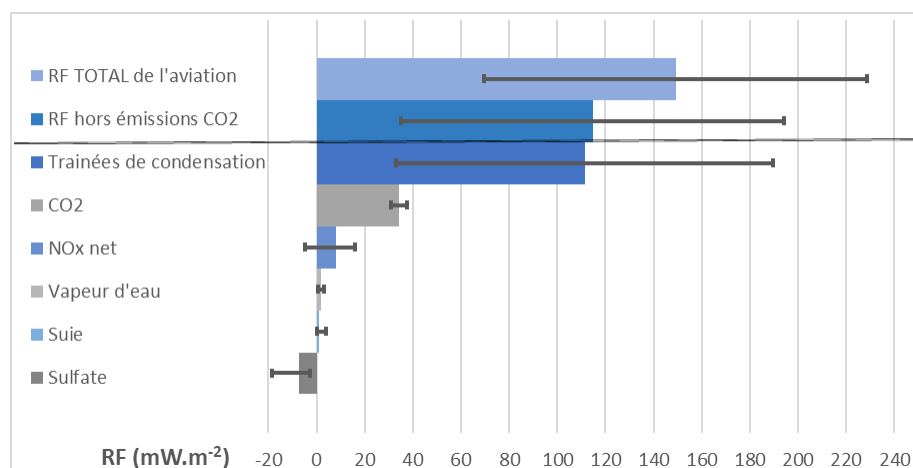
- L'effet sur le bilan radiatif : Le RF est positif lorsque la planète absorbe plus d'énergie qu'elle n'en émet. Le système climatique réagit en conséquence en se réchauffant. C'est le cas des gaz à effet de serre (GES) émis dans l'atmosphère.

Le RF est négatif lorsque la planète émet plus d'énergie qu'elle n'en absorbe. Ceci conduit à un refroidissement. C'est le cas des particules d'aérosol qui réfléchissent le rayonnement solaire.

L'impact des traînées de condensation, ainsi que le total de tous les effets issus de l'aviation ont un forçage radiatif positif.

- L'efficacité d'absorption ou de réflexion : Par exemple, une molécule qui absorbe fortement et sur une large gamme de longueur d'onde aura un impact plus important sur le forçage radiatif. C'est le cas du méthane (CH_4) comparé au dioxyde de carbone (CO_2).
- La concentration dans l'atmosphère : Plus un gaz est présent en grande quantité, plus fort sera son effet sur le bilan radiatif. De ce fait, l'estimation du RF prend en compte l'historique des émissions pour examiner leur effet cumulatif sur une période donnée (généralement une année).
- La stabilité ou durée de vie : Une molécule très stable, et qui donc persiste longtemps dans l'atmosphère, aura une contribution durable sur le bilan radiatif. Ceci est le cas du CO_2 qui a des effets à longue durée.

À titre de comparaison, la figure suivante présente les valeurs des RF des différents composants qui contribuent au RF total du secteur de l'aviation. Ces valeurs sont issues de LEE et al. (2020)⁴⁰¹ pour l'année d'évaluation de 2018.



Composants des forçages radiatifs globaux de l'aviation pour l'année 2018.

Source : LEE et al. (2020) ⁴⁰¹

On définit également le **RFI : l'index de forçage radiatif**. C'est un indicateur des contributions relatives du CO_2 et des effets non- CO_2 au forçage radiatif sur un périmètre particulier (par exemple, l'aviation). Il est calculé à partir des RF des composants analysés du secteur concerné. Autrement dit il s'agit du ratio entre la somme des RF composants le RF total (CO_2 , trainées, NOx , vapeur d'eau, etc.) et celui des émissions seules de CO_2 .

Le RFI n'est donc pas un nombre intrinsèquement fixe au fil du temps, puisqu'il dépend des concentrations totales de CO_2 et des effets non CO_2 pris en compte. Ainsi, dans les études plus anciennes, dont le rapport GIEC de 1999⁴⁰² qui ne prenaient en compte que l'impact des trainées persistantes, le RFI est estimé entre 1,9 et 2,8. Cela signifie que les effets climatiques totaux étaient de 1,9 à 2,8 fois plus grands que les seuls effets liés aux émissions de CO_2 . Les trainées persistantes contribuent seules, dans ce contexte, entre 15 % et 41 % au RF total de l'aviation. Lorsque les études plus récentes intègrent en plus les effets des cirrus de trainée alors mieux

connus, le RFI augmente et il est ainsi estimé entre 3,8 et 4,3. Les trainées de condensation contribuent dans ce contexte, entre 71 % et 75 % au RF total de l'aviation.

A noter qu'une troisième métrique est parfois utilisée pour estimer l'impact des trainées de condensation : le Potentiel de Réchauffement Global d'une substance (PRG). Mise au point par le GIEC pour estimer l'impact futur d'une substance sur le réchauffement planétaire et pouvoir faire des comparaisons entre substances chimiques différentes, elle se définit comme le forçage radiatif cumulé sur une durée d'une quantité de gaz donnée. Cette valeur est normalisée par rapport à celle du CO₂ (dont le PRG est fixé arbitrairement à 1) et est calculée sur une période donnée (la période de référence a été fixée à 100 ans dans le cadre de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques [CCNUCC] et du Protocole de Kyoto) après qu'une certaine concentration ait été atteinte à un instant initial. C'est la métrique couramment utilisée pour la réalisation des bilans d'émissions de GES et l'ensemble des facteurs d'émission de la Base Carbone®.

Conclusion à ce jour

L'évolution des connaissances démontre une plus **grande importance des effets des trainées de condensation sur le climat** à mesure que les méthodologies d'évaluation s'améliorent. Il est ainsi recommandé de prendre en compte ce paramètre pour évaluer l'effet des politiques et actions sur l'impact climatique global de l'aviation : une évaluation qui serait basée exclusivement sur les émissions de CO₂ pourrait conduire à mettre en place des mesures inefficaces sur le plan climatique dans les cas où des compromis sont nécessaires, et à négliger – au contraire – des opportunités de réduction des impacts climatiques de l'aviation dans les cas où des synergies sont possibles.

Toutefois, pour estimer l'impact climatique des émissions hors CO₂, notamment des trainées de condensation, la complexité de la méthodologie à employer dépend directement de la métrique choisie. À partir de l'état actuel des connaissances scientifiques, les **métriques RF et RFI semblent les plus abouties pour évaluer les différents composants de l'aviation** ayant un impact sur le changement climatique, notamment les trainées de condensation.

Un facteur équivalent CO₂ constant est l'alternative la plus simple pour estimer un tel impact, car il ne nécessite qu'une simple multiplication des émissions de CO₂ issues de la combustion. C'est le cas de nombreuses études qui utilisent le RFI comme facteur multiplicateur. Cependant, l'utilisation d'un facteur constant reste imprécis car il existe de fortes interdépendances entre l'impact climatique et le lieu d'émission, ainsi que l'altitude de vol et la distance de vol. En d'autres termes, **tous les vols n'induisent pas la formation de trainées, les mesures de RF et RFI représentant l'impact global du secteur à l'échelle mondiale.**

Les émissions liées aux trainées de condensation **ne doivent pas être prises en compte dans le cadre de l'information GES des prestations de transport** et ne sont pas obligatoires dans le cadre de l'article 75 pour la réalisation des Bilans d'émissions de GES.

Cependant, au regard de l'état actuel des connaissances identifiant clairement un impact non négligeable des effets non CO₂ sur l'impact global de l'aviation et ne disposant pas à ce jour de méthodologie consolidée permettant d'appliquer un facteur multiplicateur par type de vol,

l'ADEME propose - à titre conservateur - de continuer à utiliser un facteur multiplicateur égal à 2 pour l'ensemble des émissions de GES de l'aérien liés à la combustion lorsque cela est possible. Dit autrement, pour un kg équivalent CO₂ dû au CO₂ de la combustion, un kg équivalent CO₂ sera rajouté pour tenir compte du reste.

En tout état de cause, soyez vigilant à conserver la même approche d'un exercice à l'autre (avec ou sans prise en compte des traînées) pour permettre un suivi réel des émissions dans le temps.

Pour plus d'information sur la quantification de l'impact des traînées de condensation, n'hésitez pas à consulter le rapport⁴⁰³ [« État de l'art de la recherche scientifique sur l'impact climatique des traînées de condensation des avions »](#) d'avril 2021, disponible dans la librairie de l'ADEME.

Sources :

[401] D.S. LEE, et al., 2020. *The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018. Atmospheric Environment. 244 (1), September 2020.*

[402] GIEC, 1999. *Rapport spécial du GIEC : L'aviation et l'atmosphère planétaire. 1999.*

[403] ADEME, 2021- [« État de l'art de la recherche scientifique sur l'impact climatique des traînées de condensation des avions »](#) d'avril 2021.

5.1.4 Maritime

Description

La classification retenue pour les transports maritime de marchandises se base sur les usages et se décompose comme suit :

- Porte-conteneurs
- Vraquiers
- Ro-Pax
- Cargo
- Pétroliers
- Gaziers/Méthaniers
- Outre Mer

Les **porte-conteneurs** servent au transport de marchandises diverses. Les données sont proposées par grandes voies maritimes, reflétant le trafic réel des lignes considérées.

Les **vraquiers** sont des navires de charge destinés au transport de marchandises solides en vrac. Il peut s'agir de sable, de granulats, de céréales mais aussi de matériaux denses comme les minéraux (dans ce dernier cas, on parle alors de minéraliers). Les données sont proposées par tonnage et motorisation disponibles.

Les **rouliers** chargent principalement des véhicules de transports routiers de marchandises et leur chargement, ainsi que des voitures individuelles. Deux types de rouliers sont retenus ici : les Ro-Ro et les Ro-Pax (équivalent des ferrys). Les Ro-Ro, de l'acronyme anglais Roll-On, Roll-Off signifiant littéralement « roule dedans, roule dehors », ne transportent que des véhicules. Les Ro-Pax accueillent également des passagers, avec ou sans leurs véhicules.

Les **cargos** sont des navires de commerce, destinés au transport de marchandises diverses. Les données sont proposées par capacité de tonnage. Les chimiquiers appartiennent à cette catégorie.

Un **pétrolier** est un navire-citerne servant à transporter le pétrole ainsi que ses dérivés. Les données proposées ici le sont par capacité du navire.

Un **gazier** ou méthanier est un navire servant à transporter du gaz naturel liquéfié dans ses citernes. Les navires transportant du GPL appartiennent à cette catégorie. Les tailles retenues dans la Base Carbone® sont : gazier petit GPL (petite taille) et gazier VLGC : Very Large Gas Carrier (grande taille).

La catégorie **Outre-Mer** représente le transport maritime régional de marchandises inter-îles dans les DOM COM.

Sources des données & périmètre

Mise à jour 2025 des facteurs d'émissions des carburants fossiles et des consommations

Les facteurs d'émission des carburants fossiles suivants ont été mis à jour sur base du rapport du GLEC, publié en février 2025 :

- HFO (Heavy Fuel Oil) avec une teneur inférieure à 0,5% de soufre (VLSFO) ;
- MGO (Marine Gas Oil) avec une teneur inférieure à 0,1% de soufre (ULSFO).

Les consommations en carburant des navires ont également été déduites du GLEC.

Des modes de transport fonctionnant au GNL (porte-conteneurs, vraquiers, méthaniers, pétroliers, Ro-Ro, Ro-Pax) ont été ajoutés. Pour ces transports, les émissions liées aux fuites de méthane sont prises en compte.

■ Postes "Amont" et "Combustion"

La principale source des données proposées dans la Base Carbone® est le rapport du GLEC, publié en février 2025 [431](#). Le Global Logistics Emissions Council (GLEC) a été créé en 2014 en tant qu'initiative volontaire et compte aujourd'hui plus de 50 entreprises, associations industrielles

et programmes de fret vert ; et est soutenu par des experts, des gouvernements et d'autres parties prenantes. Son but : développer et mettre en œuvre des directives partagées pour calculer, déclarer et réduire les émissions liées au transport de marchandises.

Les données proposées par le GLEC intègrent l'amont et la combustion du carburant consommé en mer et au port, y compris les liaisons à vide et repositionnement. Cela comprend les moteurs principaux et auxiliaires, ainsi que l'utilisation de carburant pour les réfrigérateurs, les chaudières, les incinérateurs et tous les besoins propres du bord (équipes).

Les travaux récents du GLEC n'intègrent pas de navires au GNL. Les données utilisées pour les porte-conteneurs, vraquiers, méthaniers, pétrolier, Ro-Ro et Ro-Pax au GNL sont issues et/ou établies à partir de diverses sources telles que la Régulation européenne CoFuelEU Maritime (Regulation (EU) 2023/1805), l'étude sur l'utilisation du GNL comme carburant maritime (Kuittinen et al, 2023) ou encore le rapport FOURTH IMO Greenhouse Gas Study (2020).

■ Poste "Fabrication de véhicule"

Peu de ressources bibliographiques sont disponibles et la représentativité technique des données identifiées n'est pas suffisante pour permettre une intégration d'un poste « Fabrication » dans les facteurs d'émissions existants.

Principales hypothèses

Porte-conteneurs

L'ensemble des données proposées par le GLEC ont été calculées à partir de la méthodologie du Clean Cargo de 2023 et le reporting annuel des navires.

Trois catégories de voies maritimes sont disponibles :

- Une moyenne internationale
- 3 voies majeures de transport maritimes
- La liste complète de toutes les voies navigables maritimes.

Contrairement aux autres types de transport maritime, depuis la version 23.9 de la Base Carbone, les FE sont exprimés en **TEU** pour les porte-conteneurs.

Les capacités des porte-conteneurs (en TEU = Twenty-foot Equivalent Unit) ont été moyennées par itinéraire et sont donc spécifiques à chacune des voies maritimes.

Un TEU équivaut à un conteneur standard de 20 pieds.

/!\ Si la masse réelle de la cargaison par TEU n'est pas connue,

- un facteur de conversion standard de 10 tonnes par TEU peut être utilisé pour un conteneur type ;
- un facteur de conversion de 6 tonnes par TEU pour les cargaisons légères,
- et un facteur de conversion de 14,5 tonnes par TEU pour les cargaisons lourdes.

Seules la moyenne internationale et les voies maritimes partant et/ou arrivant d'Europe géographique ont été intégrées à la Base Carbone®. Les navires partant et/ou arrivant des territoires d'Outre-mer ne sont pas inclus.



Figure - Voies maritimes proposées par le GLEC

L'ensemble des données pour les porte-conteneurs sont proposées en version sèche ou réfrigérée.

Vraquiers, Rouliers, Pétroliers, Cargos, Gaziers

Les données suivantes, proposées dans le rapport du GLEC, sont structurantes pour l'élaboration du facteur d'émissions associé :

	Capacité
Cargo	< 5 000 t

	Capacité
	5 000 t - 9 999 t
	10 000 t - 19 999 t
	> 20 000 t
Pétroliers	< 5 000 t
	5 000 t - 9 999 t
	10 000 t - 19 999 t
	20 000 t - 59 999 t
	60 000 t - 79 999 t
	80 000 t - 119 999 t
	120 000 t - 199 999 t
	> 200 000 t
Vraquier	< 10 000 t
	10 000 t - 34 999 t
	35 000 t - 59 999 t
	60 000 t - 99 999 t
	100 000 t - 199 999 t
	> 200 000 t
Ro-Ro	0 t - 4 999 t
	5 000 t - 9 999 t
	10 000 t - 14 999 t
	> 15 000 t
Ro-Pax	0 t - 1 999 t
	2 000 t - 4 999 t
	5 000 t - 9 999 t
	10 000 t - 19 999 t
	> 20 000 t
Gazier	0 m ³ - 49 999 m ³
	50 000 m ³ - 99 999 m ³
	100 000 m ³ - 199 999 m ³
	> 200 000 m ³

Pour chacun des navires, une distinction par motorisation est disponible le cas échéant. Les données étant relativement proche entre le HFO et le MGO, il a été décidé de n'inclure dans la Base Carbone® qu'une donnée moyenne, combinant ces deux carburants, au prorata de leur relative utilisation telle que décrite ci-dessous.

Type de navire	Pro-rata		Source
	HFO	MGO	
Porte-conteneurs	80%	20%	Avis d'expert (sur la base des quantités de carburants délivrés par le port de Rotterdam)
Vraquiers	80%	20%	Avis d'expert (sur la base des quantités de carburants délivrés par le port de Rotterdam)
Rouliers Ro-Ro	80%	20%	Avis d'expert (sur la base des quantités de carburants délivrés par le port de Rotterdam)
Rouliers Ro-Pax	80%	20%	Avis d'expert (sur la base des quantités de carburants délivrés par le port de Rotterdam)
Pétroliers	80%	20%	Avis d'expert (sur la base des quantités de carburants délivrés par le port de Rotterdam)
Cargos	80%	20%	Avis d'expert (sur la base des quantités de carburants délivrés par le port de Rotterdam)
Petits gaziers	80%	20%	Avis d'expert (sur la base des quantités de carburants délivrés par le port de Rotterdam)
Grand gaziers	100%	0%	Avis d'expert (sur la base des quantités de carburants délivrés par le port de Rotterdam)

Navires au GNL

Les facteurs d'émission utilisés pour les carburants des navires au GNL sont issus du rapport du GLEC, publié en février 2025 :

Carburant	Amont (kg CO2e/kg)	Combustion (kg CO2e/kg)
GNL - Otto dual fuel - medium speed	0.88	3.73
GNL - Otto dual fuel - slow speed	0.89	3.24
GNL Diesel	0.89	2.82
LBSI	0.89	3.48

Les navires suivants ont été modélisés avec une utilisation de GNL et pour les motorisations suivantes :

	Capacité	Type de motorisation
Pétroliers	120 000 t - 199 999 t	27% HDPF 2-stroke + 5% LSMGO (flamme pilote)
	> 200 000 t	73% LDPF 2-stroke + 5% LSMGO (flamme pilote)
Porte-conteneurs	0 t - 999 t	LBSI
	1 000 t - 1 999 t	LBSI
	2 000 t - 2 999 t	LDPF 4-stroke + 5% LSMGO (flamme pilote)
	3 000 t - 4 999 t	LDPF 4-stroke + 5% LSMGO (flamme pilote)
	5 000 t - 7 999 t	LDPF 4-stroke + 5% LSMGO (flamme pilote)
	8 000 t - 11 999 t	LDPF 2-stroke + 5% LSMGO (flamme pilote)
	12 000 t - 14 499 t	LDPF 2-stroke + 5% LSMGO (flamme pilote)
	14 500 t - 19 999 t	LDPF 2-stroke + 5% LSMGO (flamme pilote)
	> 20 000t	LDPF 2-stroke + 5% LSMGO (flamme pilote)
Vraquier	< 10 000 t	LDPF 4-stroke + 5% LSMGO (flamme pilote)
	10 000 t - 34 999 t	LDPF 4-stroke + 5% LSMGO (flamme pilote)
	35 000 t - 59 999 t	LDPF 4-stroke + 5% LSMGO (flamme pilote)
	60 000 t - 99 999 t	LDPF 4-stroke + 5% LSMGO (flamme pilote)
	100 000 t - 199 999 t	LDPF 4-stroke + 5% LSMGO (flamme pilote)

	Capacité	Type de motorisation
	> 200 000 t	LDPF 4-stroke + 5% LSMGO (flamme pilote)
Ro-Ro	0 t - 4 999 t	LDPF 4-stroke + 5% LSMGO (flamme pilote)
	5 000 t - 9 999 t	LDPF 4-stroke + 5% LSMGO (flamme pilote)
	10 000 t - 14 999 t	LDPF 4-stroke + 5% LSMGO (flamme pilote)
	> 15 000 t	LDPF 4-stroke + 5% LSMGO (flamme pilote)
Ro-Pax	0 t - 1 999 t	LBSI
	2 000 t - 4 999 t	LDPF 4-stroke + 5% LSMGO (flamme pilote)
	5 000 t - 9 999 t	LDPF 4-stroke + 5% LSMGO (flamme pilote)
	10 000 t - 19 999 t	LDPF 4-stroke + 5% LSMGO (flamme pilote)
	> 20 000 t	LDPF 4-stroke + 5% LSMGO (flamme pilote)
Méthanier	0 m³ - 49 999 m³	LDPF 4-stroke + 5% LSMGO (flamme pilote)
	50 000 m³ - 99 999 m³	LDPF 4-stroke + 5% LSMGO (flamme pilote)
	100 000 m³ - 199 999 m³	LDPF 4-stroke + 5% LSMGO (flamme pilote)
	> 200 000 m³	Turbine à gaz/vapeur : 100% GNL

Les fuites de méthane associées aux différentes motorisations des navires GNL sont recensées dans le tableau ci-dessous :

Carburant	Fuites de méthane (% du carburant)	Source
LDPF 4-stroke	3.1%	CoFuelEU Maritime Regulation (Regulation (EU) 2023/1805) : https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32023R1805
LBSI	2.6%	
LDPF 2-stroke	1.7%	
HPDF 2-stroke	0.2%	

Outre-mer

Trois facteurs d'émissions sont disponibles pour le transport maritime en outre-mer. Ces données sont issues d'enquête du trafic réel observé. Retrouvez le détail méthodologique et les principales hypothèses utilisées, directement dans la [documentation Outre-Mer](#) de la Base Carbone®.

Evolution du secteur⁴⁰⁰

L'activité portuaire se concentre principalement dans les sept grands ports maritimes (GPM) de métropole et Calais. Le tonnage des marchandises traitées est relativement stable en 2018 (+ 0,7%), et s'élève à 368 millions de tonnes de marchandises, dont 355,2 millions de tonnes en métropole.

Cette relative stagnation du trafic total masque en réalité deux tendances contraires : une progression du volume sortant (+ 3,7%) compensée par une diminution du volume entrant (- 0,8%), ce dernier représentant près des deux tiers du trafic. Le volume des vracs solides continue à progresser (+ 5,4%) tandis que celui des rouliers est en nette diminution (- 4,1%).

Selon l'OCDE, les volumes de fret international vont être multipliés par plus de 4 d'ici 2050. Le nombre de navires marchands augmente rapidement chaque année.

Il est constaté une évolution des navires de commerce pour utiliser de plus en plus le GNL en tant que carburant marin, en réponse notamment au durcissement sur le teneur en soufre des carburants*. Cela concerne : Porte-conteneurs, Ro-Ro et Ro-Pax, Paquebots à passagers.

() Global CAP2020, avec une limitation à 0,5% au 1er janvier 2020, au lieu du plafond à 3,5% accepté jusqu'alors.*

Outre le gaz, des expérimentations sont en cours sur d'autres carburants alternatifs, biosourcés, hydrogène, ammoniac. Dans le même ordre d'esprit, des systèmes de propulsion véliques auxiliaires apparaissent, permettant d'espérer des gains allant jusqu'à 25% du besoin énergétique du navire en navigation. Le transport maritime s'oriente donc très clairement vers un « mix énergétique ».

L'usage d'un fioul marin à basse teneur en soufre et l'installation de scrubbers (épurateurs de fumée) sont également une réponse à ce GLOBAL CAP 2020 notamment pour les navires existants, bien que cette dernière solution pondère de 1 à 2% la facture énergétique du navire.

Par ailleurs, il est prévu à terme la généralisation du raccordement électrique à quai des navires de commerce lors des escales, permettant ainsi de réduire la consommation en carburant et donc les émissions de polluants atmosphériques lors de ces escales.

Ces développements technologiques sont une des réponses à la trajectoire imposée par l'Europe et par l'OMI** quant à la réduction des émissions de gaz à effet de serre du transport maritime, et conduisent à améliorer l'efficacité unitaire des navires.

*(**) La réduction des émissions annuelles de GES du transport maritime d'au moins 50% d'ici 2050 et d'améliorer la performance de l'intensité carbone de 40% d'ici à 2030 par rapport à 2008*

Sur le plan opérationnel, la pratique généralisée du routage prenant en compte les conditions météorologiques (vent, courant, marée) ainsi que l'abaissement volontaire de la vitesse commerciale (également appelée « slow-steaming ») pour certaines catégories de navires (vraquiers, porte-conteneurs), contribuent également à cette amélioration. A titre d'exemple, CMA-CGM annonce avoir réduit de 50 % les émissions de CO₂ par conteneurs par kilomètre entre 2005 et 2015, et vise à réduire à nouveau de 30 % ces émissions d'ici 2025.

Sources :

[400] CCTN – *Les comptes des transports en 2018 - 56e rapport de la Commission des comptes des transports de la Nation - Publié le 29/08/2019*

[430] ADEME - MEDDAT - *Etude de l'efficacité énergétique et environnementale du transport maritime - Avril 2009*

[431] GLEC - *The global method for calculation and reporting of logistics emissions - Février 2020*

[432] BSR - *Clean Cargo Working Group Carbon Emissions Accounting Methodology - Juin 2015*

[433] Etude EMEP/EEA « Air pollutant emission inventory. Guidebook 2019 », chapitre 1.A.3.d Navigation (ship-ping), Table 3-7 Percentage of installed Main Engine power by engine type/fuel class (2010 fleet)

5.1.5 Fluvial

Description

Dans la Base Carbone[®], deux types de bateaux fluviaux sont retenus :

- Les bateaux automoteurs, par capacité de port en lourd : les marchandises sont chargées dans cette péniche
- Les pousseurs, par puissance : les marchandises sont chargées dans des barges que ce bateau pousse

Bateau automoteur	Bateau pousseur
Capacité inférieure à 400 tonnes de port en lourd	Puissance inférieure à 880 kW
Capacité comprise entre 400 et 649 tonnes de port en lourd	Puissance supérieure ou égale à 880 kW
Capacité comprise entre 650 et 999 tonnes de port en lourd	
Capacité comprise entre 1000 et 1499 tonnes de port en lourd	
Capacité comprise entre 1500 et 2999 tonnes de port en lourd	
Capacité égale ou supérieure à 3000 tonnes de port en lourd	

Sources des données & périmètre

■ Mise à jour 2025 de FE du carburant

Le facteur d'émission lié à la combustion du diesel non routier a été actualisé sur base du rapport du GLEC, publié en février 2025.

■ Postes "Amont" et "Combustion"

Les facteurs d'émission considérés pour le diesel non routier sont les suivants :

Le facteur d'émission lié à l'amont est considéré égal à 26% de celui lié à la combustion.

Combustion (kg CO ₂ e/L)	Amont (kg CO ₂ e/L)	Total (kg CO ₂ e/L)
2.68	0.7	3.38

L'ensemble des données proposées dans la Base Carbone® sont issues de l'étude ADEME-VNF « Efficacité énergétique et environnementale du transport fluvial de marchandises et de personnes »⁴⁴¹, publiée en juin 2019. Il s'agit de la mise à jour de l'étude précédemment menée en 2006 qui avait abouti aux données historiques de la Base Carbone®.

Au cours de la dernière décennie, des changements structurels forts sont intervenus sur le transport fluvial de marchandises : augmentation de la productivité (t.km/tpl), hausse du trafic conteneurisé, diversité des marchandises transportées, diminution de l'offre de cale mais augmentation des capacités moyennes, ... ; justifiant le besoin de mise à jour de ces données de référence.

Toutefois, de par la très grande hétérogénéité des bateaux rencontrés et des situations de navigation, et du fait que le mode fluvial est un mode où les consommations énergétiques et émissions associées dépendent fortement de l'infrastructure (en milieu confiné) et des conditions de navigation (courant, manœuvres, ...), les valeurs proposées donnent une vision globale des performances de la navigation fluviale en France et doivent être considérées avec précaution.

Les données proposées intègrent l'amont et la combustion du carburant utilisé. Elles n'intègrent pas la fabrication du bateau ou l'impact des infrastructures.

■ Poste "Fabrication de véhicule"

Aucune publication n'a été identifiée sur le transport fluvial. Seules des données ecoinvent existent et peuvent correspondre techniquement aux navires recherchés pour la Base Carbone®.

N'étant pas suffisamment représentatif, aucune valeur n'a été intégrée in fine dans la Base Carbone®

Principales hypothèses

Pour retrouver l'ensemble des hypothèses, données détaillées et la méthodologie utilisée, nous vous invitons à consulter le [rapport de l'étude](#), disponible sur le site de l'ADEME⁴⁴¹.

A partir des données d'enquêtes, sur la base d'un taux de voyages à vide de 31% et d'utilisation de gazole non routier en terme de carburant pour l'ensemble des bateaux, il a été possible de reconstruire un indicateur de consommation moyenne des bateaux moyens représentatifs du trafic fluvial. Ces valeurs correspondent à la moyenne des indicateurs par bassin, en considérant le poids de chaque gabarit dans les t.km parcourues en 2016 au sein de ce bassin.

Bateaux	Consommation (l/t.km)	Consommation énergétique (kJ/t.km)
Bateau automoteur		
< 400 TPL	0.010	374
400 à 649 TPL	0.011	407
650 à 999 TPL	0.008	293
1000 à 1499 TPL	0.009	337
1500 à 2999 TPL	0.006	221
> 3000 TPL	0.004	158
Bateau pousseur		
Puissance inférieure à 880 kW	0.010	370
Puissance supérieure ou égale à 880 kW	0.003	103

Evolution du secteur

Avec près de 7,4 milliards de t.km, le trafic fluvial pris dans sa globalité (trafic intérieur, exportations et importations) enregistre une croissance à deux chiffres en 2019 par rapport à 2018 (+10%), avec un peu plus de 56,3 millions de tonnes transportées sur le réseau français (en augmentation de +9%) et 7,4 milliards de tonnes-kilomètres.

Cette tendance très positive de l'activité fluviale profite globalement à l'ensemble des filières et s'explique en grande partie par le dynamisme du bassin Seine-Oise et par un retour à un niveau de fret conséquent sur les réseaux de l'est de la France (Rhin sur sa partie française et bassin mosellan).

Le transport de conteneurs a porté sur 567 000 EVP en 2019, soit 2,6 % de plus qu'en 2018.

Sur la base de la dernière étude ADEME, il apparaît que des changements structurels forts sont intervenus sur le transport fluvial de marchandises : augmentation de la productivité (t.km/tpl), hausse du trafic conteneurisé, diversité des marchandises transportées, diminution de l'offre de cale mais augmentation des capacités moyennes. Toutefois, on constate globalement un faible taux de renouvellement et donc par conséquent un vieillissement de la flotte.

Néanmoins, des expérimentations de carburants alternatifs (bio sourcés, GNL, hydrogène) sont en cours, permettant de réduire les émissions de polluants.

A l'image du transport maritime, il est prévu à terme la généralisation du raccordement électrique à quai des bateaux lors des escales, permettant ainsi de réduire la consommation en carburant et donc les émissions de polluants atmosphériques lors de ces escales.

Sources :

[\[441\] Efficacité énergétique et environnementale du transport fluvial de marchandises et de personnes - Efficacités énergétiques et émissions unitaires du transport fluvial. Rapport & synthèse - ADEME, VNE, AJBD - Mai 2019](#)

5.2 Transport de personnes

En 2023, les émissions de gaz à effet de serre (GES) du secteur des transports (marchandises & personnes) diminuent de 3,4 % par rapport à 2022. Les transports restent le secteur qui contribue le plus aux émissions nationales de GES, avec 32% du total des émissions⁴⁰⁰. **C'est un secteur clé de la comptabilité carbone.**

Les émissions suivantes sont associées au transport de personnes :

- De manière systématique :

- Les émissions directes générées par la **combustion des carburants** des véhicules
- Les émissions indirectes liées à l'**amont des carburants**

-Selon les cas de figure :

- Dans le transport aérien, les **émissions directes d'H₂O stratosphérique** dues aux traînées de condensation. Ce point très spécifique fait encore aujourd'hui l'objet de recherches et doit être considéré avec prudence.
- Pour certaines catégories de véhicules, les émissions indirectes liées à la **fabrication du matériel de transport**. Le calcul des valeurs des FE du poste « fabrication » a fait l'objet d'une approche structurée de l'analyse bibliographique afin de fournir des facteurs pertinents. En effet, les publications analysées n'ayant pas toujours les mêmes hypothèses ou méthodes de calcul, l'impact évalué par chacune des publications a été ramené à un impact par kg de véhicule pour s'affranchir des hypothèses de calcul tels que

les kilomètres parcourus sur la durée de vie, ou encore le taux de remplissage ou facteur de charge. Une fois l'impact par kg de véhicule défini, le calcul de l'impact par passager.km ou tonne.km a alors été réalisé à partir des hypothèses structurantes des FE existants (poste amont et combustion) : nombre de passagers ou tonnage transporté, durée de vie en km, etc.

Sont exclues à ce stade des données « Transport de Personnes », les émissions suivantes :

■ **Maintenance** : l'analyse bibliographique réalisée dans le cadre des travaux du GT Transport de la Base Carbone® a mis en évidence un manque de robustesse des données de maintenance pour les modes pour lesquels des données sont disponibles ainsi qu'un manque d'homogénéité dans les données et notamment sur les différents périmètres associés à la maintenance (uniquement pièces de maintenance, prise en compte de l'énergie pour la réparation, maintenance préventive ou curative, etc.). La maintenance semble néanmoins non négligeable et, selon les modes de transport pourrait représenter jusqu'à 50-60% de l'impact de la fabrication (ferroviaire). Sur les véhicules routiers, les ordres de grandeur pour la maintenance des différentes catégories varient entre 17% de l'impact de la fabrication du véhicule pour les poids lourds, jusqu'à 71% pour les deux roues.

■ **Fin de vie** : seules quelques publications intègrent aujourd'hui l'étape de la fin de vie des véhicules au sein de leur évaluation, et aucune étude dédiée à ce sujet n'a été trouvée pour permettre une intégration dans les facteurs d'émissions proposés dans la Base Carbone®.

■ **Infrastructures** : au vu de l'analyse bibliographique menée dans le cadre des travaux du GT Transport de la Base Carbone®, la contribution de l'infrastructure aux émissions du transport ne semble pas négligeable, hormis pour le secteur aérien où celle-ci contribue a priori à moins de 5%, du fait de l'inexistence d'infrastructure linéaire et des émissions importantes en phase d'utilisation de l'aérien.

Les impacts des infrastructures peuvent être répartis selon plusieurs étapes du cycle de vie de l'infrastructure : la construction (incluant les infrastructures linéaires et les bâtiments, etc.), l'opération (liée principalement à la consommation d'énergie des infrastructures) et la maintenance (comprenant les matériaux et l'énergie nécessaire aux opérations de maintenance de ces infrastructures). Les contributions des différentes étapes varient selon les modes de transport : par exemple, la construction des infrastructures est généralement l'un impact le plus important pour le routier et le ferroviaire quand l'opération a une contribution non négligeable pour l'aérien et le maritime. On notera également que la maintenance a un très faible impact sur les différents modes, excepté sur le maritime où le dragage peut avoir une contribution significative et sur le routier pour les véhicules lourds.

Dans le cadre d'un bilan des émissions de GES, ce chapitre donnera les facteurs d'émissions pour :

- Le poste 3.5 - Déplacements professionnels
- Le poste 3.4 - Transport de visiteurs et de clients
- Le poste 3.3 - Déplacements domicile-travail

Les émissions GES du transport de personnes peuvent également être fournies par les prestataires de transports à leurs clients, dans le cadre de l'information GES des transports.

5.2.1 Routier

Description

La classification retenue pour les transports routiers de personnes est la suivante, certaines catégories étant à ce jour incomplètes et faisant l'objet de travaux complémentaires :

Voiture particulière	Moyenne (parc) - toutes motorisations
	Par gamme - toutes motorisations
	Par usage (courte distance, mixte France, longue distance) - toutes motorisation
Deux roues	Par puissance
Autobus - Autocar	Moyenne - toutes motorisations
	Par type de motorisation
Taxi-VTC	DROM COM

Sources des données & périmètre

Postes "Amont" et "Combustion"

Voici un aperçu rapide des différentes sources de données utilisées pour couvrir les postes « amont » et « combustion » de l'ensemble du transport routier de personnes : ...

Voiture particulière	Moyenne (parc) - toutes motorisations	HBEFA & CCTN
	Par gamme - toutes motorisations	Etude E4T - ADEME & IFPEN, ACV Hydrogène - ADEME
	Par usage (courte distance, mixte France, longue distance) - toutes motorisation	HBEFA & CCTN
Deux roues	Par puissance	HBEFA
Autobus - Autocar	Moyenne (parc + neuf) - toutes motorisations	UTP

	Par type de motorisation	HBEFA, Etude E4T - ADEME & IFPEN
Taxi-VTC	DROM COM	Données historiques Bilan Carbone®

Mise à jour 2025 des FE des carburants fossiles et de certaines consommations

Les facteurs d'émission des carburants fossiles suivants ont été mis à jour sur base du [rapport du GLEC, publié en février 2025](#) :

- Filière diesel (diesel B7, biodiesel) ;
- Filière essence (essence pompe, E85) ;
- Gaz liquéfiés (GPL, GNV).

Cette mise à jour vise notamment à refléter une évolution méthodologique liée à :

- Prise en compte des émissions ventilées et fugitives de méthane lors des processus d'extraction du pétrole et du gaz
- Prise en compte des émissions de méthane lors du transport par pipeline.

Les consommations en GNV et GPL des voitures particulières ont été mises à jour sur base des données HBEFA 4.1.

Les facteurs d'émission des véhicules électriques (à hydrogène compris), hybrides, et des autobus par usage (taille d'agglomération) n'ont pas été actualisés.

HBEFA

Le Manuel des facteurs d'émission pour le transport routier (HBEFA) a été élaboré à l'origine pour le compte des agences de protection de l'environnement d'Allemagne, de Suisse et d'Autriche.

Ce manuel fournit des facteurs d'émission, ainsi que la consommation de carburant et d'énergie pour toutes les catégories de véhicules actuelles (PC, VUL, VLD, bus et motos), chacune divisée en différentes catégories, pour une grande variété de situations de circulation, pour des années allant de 1990 à 2050 intégrant la composition réelle du parc automobile.

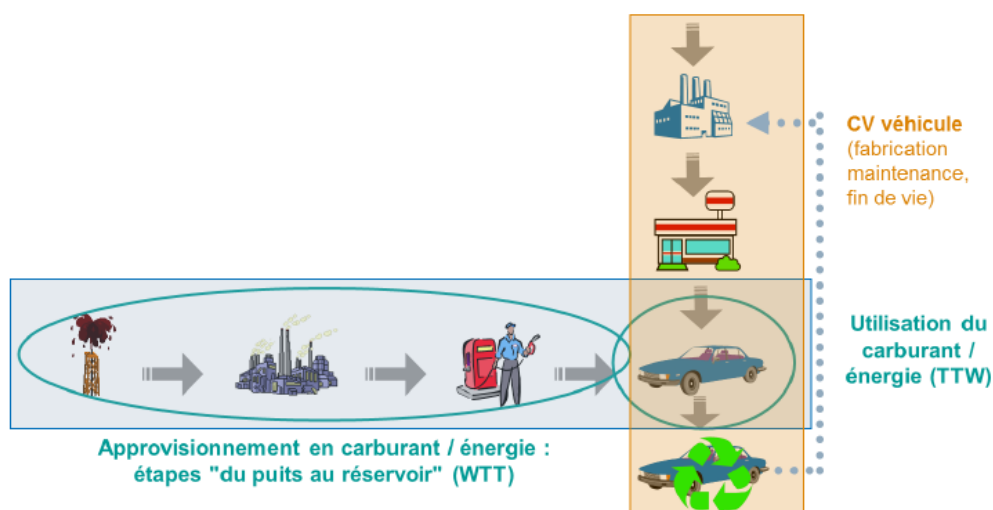
Les données intègrent l'amont et la combustion du carburant. Elles n'intègrent pas la fabrication des véhicules et les émissions liées aux infrastructures routières.

Etude E4T, ADEME & IFPEN

En 2013, l'IFPEN dans le cadre d'un projet co-financé par l'ADEME, a réalisé une évaluation des performances économiques, énergétiques et environnementales des technologies véhicules en fonction des conditions d'usage. L'analyse a été menée sur différents segments de véhicule (véhicule particulier, bus, véhicule utilitaire léger, poids lourd livraison, poids lourd routier) aux technologies de propulsion variées (moteur thermique, hybride, électrique), dans différents

contextes d'usage (cycle urbain, cycle homologué), en prenant en compte à la fois le cycle de vie véhicule et le cycle de vie carburant.

L'ACV a été réalisée conformément aux normes ISO 14040 & 14044 à l'aide du logiciel commercial d'ACV SimaPro®. Les frontières du système sont les suivantes, quel que soit le segment de véhicule étudié⁴⁵⁵ :



Retrouvez plus d'informations en consultant le [rapport final de l'étude](#) sur la médiathèque de l'ADEME⁴⁵⁶.

Etude ACV Hydrogène, ADEME

Au vu des modèles de véhicules électrique hydrogène disponibles sur le marché en 2020, seul un véhicule de type berline est proposé dans le cadre du transport de personnes par l'« Analyse du Cycle de Vie relative à la mobilité hydrogène »^[170] - produite en 2020 par l'ADEME, Sphera et Gingko21. Les impacts présentés sont déclinés selon la source de production de l'hydrogène.

L'hydrogène est un vecteur énergétique obtenu à partir d'une source énergétique « primaire » (ex : gaz naturel) ou « secondaire » (ex : électricité) selon les procédés. On distingue l'hydrogène volontairement produit par un procédé et l'hydrogène coproduit, résultant d'un procédé non dédié à sa production. Les facteurs d'émissions proposés sont exclusivement issus de procédés de production volontaire, étant les plus sujet à évolution selon la demande.

Le **procédé de production le plus répandu actuellement est le reformage de gaz naturel**, mais des données sont également proposées pour le reformage de biométhane et l'électrolyse de l'eau.

Le périmètre de l'étude inclut l'impact de fabrication du véhicule, de ses équipements (pile, batterie, réservoir...) et de son usage, via l'impact amont du carburant utilisé. Sont exclus des

facteurs d'émission les phases « fin de vie » et « maintenance » des différents composants des véhicules.

UTP

Les données proposées par l'UTP (Union des Transports Publics et ferroviaires) sont issues de l'enquête TCU (enquête annuelle sur les transports collectifs urbains, pilotée par la DGITM et menée par le GART et l'UTP), d'une enquête sur le parc des services urbains au 1er janvier 2018 (enquête biannuelle effectuée par l'UTP auprès de ses adhérents) et des facteurs d'émissions pour les carburants de la Base Carbone®.

L'enquête TCU 2017 permet de connaître le nombre de voyageurs sur chacun des modes : autobus, tramways et métro, la consommation réelle définissant des émissions GES propres à chacun de ces modes de transport. L'enquête sur le parc des services urbains de 2018, quant à elle, permet de connaître finement les caractéristiques des véhicules de 139 réseaux urbains.

Les données proposées intègrent les émissions liées à la consommation de carburant (amont + combustion). Ne sont pas incluses les émissions liées à la fabrication des véhicules ou à l'infrastructure routière.

Poste "Fabrication de véhicules"

Pour définir le poste « Fabrication » des facteurs d'émissions proposés ici, les sources de données suivantes ont été utilisées :

Type véhicule	de	Calcul en kgCO ₂ e/kg véhicule	en	de	Calcul en kgCO ₂ e/pkm
Voiture particulière		ACV de constructeurs (Mercedes, Renault) et études ACV de Chester et al., Hawkins, Bauer, Ifpen	de		Hypothèses de remplissage : Base carbone (ENTD 2008) Durée de vie en km et Masse type : Ifpen – Etude E4T
Deux roues		Ecoinvent et études ACV de Cox & Mutel et de l’Ifpen	et		Hypothèses de remplissage : Ecoinvent Durée de vie en km : Ifpen – Etude E4T Masse type : Etude de BO Ducreux et étude de M. Leuenberger et R. Frischknecht
Autobus-Autocar		EPD Irizar, Ecoinvent, Etudes ACV de Nordelof et de l’Ifpen	Irizar, Etudes		Hypothèses de remplissage : Base carbone (Experts) Durée de vie en km : UTP, Ifpen – Etude E4T, Datalab Transport Masse type : HBEFA

A noter : La moyenne des différentes sources de données jugées représentatives a été calculée pour évaluer les émissions en kgCO₂e/kg de véhicule, et les hypothèses de remplissage et de durée de vie utilisées pour la phase d’utilisation du véhicule ont été reprises lorsqu’elles étaient disponibles et complétées avec d’autres sources lorsque nécessaire.

Pour plus d’informations sur l’approche méthodologique générale, se référer au chapitre [Transport de Personnes](#).

Principales hypothèses

Voitures particulières

■ Postes "Amont" et "Combustion"

Les données de consommation en carburant proposées pour les voitures particulières, hors véhicules électriques & hybrides, ont été définies sur la base des données HBEFA, ajustées par les hypothèses et correctifs suivants :

Carburant	Consommation (L /peq.km et kg/peq.km pour les gaz)	Hypothèses complémentaires
-----------	--	----------------------------

	France mixte	Longue distance	Courte distance	
Gazole	0.038	0.025	0.045	Consommations recalculées sur base de Comptes de transports 2019 et HBEFA 4.1
Essence	0.045	0.03	0.054	Consommations recalculées sur base de Comptes de transports 2019 et HBEFA 4.1
GNV	0.03	0.02	0.036	HBEFA 4.1
GPL	0.028	0.019	0.034	HBEFA 4.1
E85	0.068	0.046	0.081	
Moyenne	Consommations des Comptes de transports 2019 (59% de moteur gazole, 39% de moteur essence, 2% autres - Source : Statistique dev durable.gouv/)			

Le taux de remplissage a été défini sur la base de l'ENTD de 2008 :

- Mixte France : 1,6 passagers
- Longue distance : 2,2 passagers
- Courte distance : 1,4 passagers

Concernant les données proposées par gamme de véhicules, intégrant les véhicules hybrides et électriques, les principales hypothèses de l'étude E4T sont les suivantes :

- La durée de vie des véhicules pour la phase « Fabrication »

Véhicule	A	C	D	Bus	VUL	PL livraison
Durée de vie (ans)	10	10	10	12	12	12
kms / an	12 000	15 000	15 000	40 000	16 200	31 000

- La modélisation d'un cycle urbain pour la phase « Utilisation » avec une hypothèse forte pour les VHR : ces véhicules ne sont mus dans un cycle urbain que par la seule utilisation de l'électricité. En effet, il est supposé que ces véhicules sont rechargés quand de besoin et compte tenu de l'autonomie croissante de ces véhicules, ils peuvent satisfaire la totalité des trajets des usagers en mode électrique.
- Les données, initialement décomposées en « véhicule », « pneus » et « batterie » sont ré-agrégées pour ne former qu'un seul poste « fabrication » pour chaque véhicule. Sont exclus les phases « fin de vie » et « maintenance » des différents composants des véhicules.
- Les facteurs d'émissions, proposées en kgCO₂/pers.km ou kgCO₂/tonne.km sont recalculés en kgCO₂/km. Les taux d'occupation utilisés dans l'étude ADEME-IFPEN pour les véhicules particuliers est de 1,3 personnes.

Cas de l'hydrogène

Le périmètre étudié correspond à un véhicule particulier roulant 200 000 km sur sa durée de vie, correspondant à un usage intensif (exemple : usage taxi). Le véhicule comporte les

caractéristiques suivantes : une pile à combustible de 100 kW, un réservoir embarqué d'une capacité de 5,3kg d'hydrogène et une batterie de 1,4 kWh.

L'impact de la consommation d'hydrogène est basé sur cinq scénario de production. Différentes distances de chalandise sont attribuées selon le moyen de production :

- 500 km pour le vaporeformage de gaz naturel [1] et de biométhane [2], correspondant à un mode de production centralisé.
- 0 km pour l'électrolyse en connexion réseau mix France [3] et mix Europe [4], en production sur site, correspondant à un mode de production décentralisé.
- 50 km pour l'électrolyse en connexion EnR directe [5], correspondant à un circuit de distribution territorial, la station n'étant pas nécessairement « au pied des EnR ».

Les facteurs d'émission pour la berline électrique hydrogène sont proposés par type de scénario de production d'hydrogène. Pour information, en 2020, le procédé majoritaire reste le vaporeformage de gaz naturel. Il est donc à prendre par défaut en l'absence d'information.

Scénario de production d'hydrogène	Fabrication véhicule (kgCO ₂ /km)	Production d'hydrogène (kgCO ₂ /km)	Total (kgCO ₂ /km)
[1] Vaporeformage de gaz naturel, 500 km	0,050	0,166	0,216
[2] Vaporeformage de biométhane, 500 km		0,075	0,125
[3] Electrolyse France, 0 km		0,031	0,081
[4] Electrolyse Europe, 0 km		0,208	0,258
[5] Electrolyse EnR, 50 km		0,022	0,072

Pour information et à titre de comparaison, l'« Analyse du Cycle de Vie relative à la mobilité hydrogène » a réalisé une comparaison des émissions d'une berline hydrogène à une référence diesel et une référence batterie, modélisées dans l'analyse de cycle de vie, sur la base des mêmes hypothèses de fonctionnement.

Le facteur d'émission d'une berline de référence électrique batterie reste inférieur à ceux des véhicules hydrogène calculés sur le même segment. Les berlines hydrogène issus des scénarios biométhane, électrolyse EnR et France montrent des facteurs d'émission significativement inférieurs à celui de la berline de référence diesel. La berline hydrogène issu du scénario gaz naturel et électrolyse Europe présentent un facteur d'émission supérieur à celui de la berline diesel.

Scénario de production d'hydrogène	Ecart du FE Berline Hydrogène (en %) par rapport à la référence Berline diesel
[1] Vaporeformage de gaz naturel, 500 km	+ 6 %
[2] Vaporeformage de biométhane, 500 km	- 59 %
[3] Electrolyse France, 0 km	- 60 %
[4] Electrolyse Europe, 0 km	+ 27 %
[5] Electrolyse EnR, 50 km	- 65 %
Référence Berline électrique batterie	- 72 %

■ Poste "Fabrication de véhicule"

Pour la fabrication des véhicules, les valeurs retenues en kgCO₂e/kg de véhicule à partir de l'analyse de littérature sont les suivantes :

Type de véhicule	Valeur en kgCO ₂ e/kg de véhicule
Voiture particulière	4,5

Ces valeurs ont été calculées en réalisant une moyenne des données issues des sources bibliographiques présentées ci-dessus.

- Pour chacun de ces résultats, la moyenne a été effectuée sur des valeurs présentant une diversité de périmètres géographiques : France, Suisse, Europe et États-Unis.
- La représentativité des différents types de véhicule a été respectée puisque le résultat de la voiture particulière comprend des modèles de voitures citadines, jusqu'au SUV.

Le recalcul en passager.km a été réalisé à partir des hypothèses suivantes :

	Unité BC	Facteur kgCO ₂ /kg de véhicule	Nombre de passagers	Durée de vie en km	Masse type (en tonnes)
Véhicule léger thermique	/passager.k m	Voiture	1,6	120 000	0,9
Véhicule compact thermique	/passager.k m	Voiture	1,6	150 000	1,4
Berline thermique	/passager.k m	Voiture	1,6	150 000	1,6

Deux roues

■ Postes "Amont" et "Combustion"

Les données relatives aux deux roues motorisés sont directement issues de HBEFA :

2019		Consommation l/100 km		
		France mixte	Longue distance	Courte distance
Cyclomoteur	Essence	2,3	2,3	2,3
Motos <= 250 cm ³	Essence	2,2	2,3	2,1
Motos > 250 cm ³	Essence	6	5,5	6,1

Les facteurs d'émissions des véhicules « engins de déplacement personnel électriques, vélo à assistance électrique (VAE) » sont issus de l'étude ADEME de décembre 2019 « Modélisation et évaluation environnementale de produits de consommation et biens d'équipement » [641](#)

	Durée de vie (années)	Fabrication et fin de vie (en kg CO ₂ e/équipeme nt)	Exploitation (en kg CO ₂ e/équipeme nt)	TOTAL (en kg CO ₂ e/équipeme nt)
Trottinette électrique	4	18,18	2,00	20,18
Hoverboard	4	20,18	0,15	20,33
Vélo à assistance électrique	12	17,7	5,57	23,32

Extrait de l'étude 2019 « Modélisation et évaluation environnementale de produits de consommation et biens d'équipement »

Les valeurs retenues dans la Base Carbone® correspondent à un périmètre « fabrication + utilisation » qui comptabilise les émissions liées à :

- L'extraction des matières premières
- L'approvisionnement
- La mise en forme
- L'assemblage
- La distribution
- L'utilisation

Les impacts, évalués par équipement sur sa durée de vie, ont été ramenés à l'heure d'utilisation (Hoverboard) ou au km (vélo électrique, trottinette) en se basant sur les données suivantes [641](#) :

- ♦ Vélo : Durée de vie 12 ans. 1 renouvellement de la batterie au cours de la durée de vie du produit. Basé sur le scénario suivant 2500 km par an avec une charge tous les 40 km parcourus et une durée de vie de la batterie pleine charge de 400 charges (le prix d'une batterie peut atteindre 20%-25% du prix d'achat du vélo). Total de 30 000km
- ♦ Trottinette : Durée de vie de la batterie à pleine capacité : 2 ans avec Batterie encore utilisable pendant 2 ans lorsque sa capacité commence à décroître. Parcours d'un trajet quotidien de 8 km (4 km aller, 4 km retour), 125 jours par an pendant 4 ans soit 4 000km cumulés
- ♦ Hoverboard : Durée de vie de la batterie à pleine capacité : 2 ans avec Batterie encore utilisable pendant 2 ans lorsque sa capacité commence à décroître. Utilisation de l'engin de déplacement personnel à motorisation électrique à des fins récréatives à raison de deux heures par mois pendant 4 ans (soit 96heures cumulées sur la durée de vie)

■ Poste "Fabrication de véhicule"

Pour la fabrication des véhicules, les valeurs retenues en kgCO₂e/kg de véhicule à partir de l'analyse de littérature sont les suivantes :

Type de véhicule	Valeur en kgCO ₂ e/kg de véhicule
Deux roues	4,2

Ces valeurs ont été calculées en réalisant une moyenne des données issues des sources bibliographiques présentées ci-dessus.

- Pour chacun de ces résultats, la moyenne a été effectuée sur des valeurs présentant une diversité de périmètres géographiques : France, Suisse, Europe et États-Unis.
- La représentativité des différents types de véhicule a été respectée puisque les modèles de deux-roues sont bien représentés avec une diversité de tailles et de puissances de véhicule.

Le recalcul en passager.km a été réalisé à partir des hypothèses suivantes :

	Unité BC	Facteur kgCO ₂ /kg de véhicule	Durée de vie en km	Masse type (en tonnes)
Cyclomoteur	/km	Deux roues	28 800	0,09
Moto =< 250 cm ³	/km	Deux roues	28 800	0,12
Moto > 250 cm ³	/km	Deux roues	28 800	0,2

Autobus - autocars

■ Postes "Amont" et "Combustion"

Les données moyennes de transport urbain collectif fournies par l'UTP reposent sur les hypothèses de construction suivantes :

- Les modes de transports urbains et interurbains sont divisés en modes thermiques et modes électriques. Les modes thermiques correspondent aux usages selon trois classes d'agglomérations :
 - Classe 1 : agglomérations de plus de 250 000 habitants
 - Classe 2 : agglomérations de 100 000 à 250 000 habitants
 - Classe 3 : agglomérations de moins de 100 000 habitants
- Les données concernant les voyages sur un réseau sont collectées dans la base TCU de manière totale, puis une distinction est faite pour les voyages en métro, en tramway, en transport à la demande (TAD) et en transport de personnes à mobilité réduite (TPMR). Les voyages en autobus sont définis par déduction des voyages des modes précédemment mentionnés du total des voyages du réseau. En revanche, la base TCU ne collecte pas les voyages par type d'autobus (articulés, standards, midibus). Il en est de même pour le kilométrage.
- Les données concernant les consommations de carburants englobent l'ensemble des services dans chaque catégorie de carburant. Par ailleurs, l'enquête TCU permet de connaître uniquement la consommation en gazole de l'exploitant principal. Les consommations des sous-traitants sont alors reconstruites à partir du kilométrage effectué et de la consommation moyenne de l'exploitant principal. Cette hypothèse est conservatrice du fait qu'elle a tendance à surévaluer la consommation du sous-traitant, lequel opère le plus souvent dans des zones moins denses, avec une distance inter-arrêt plus longue, des arrêts moins nombreux, générant moins de consommation.
- Le nombre de voyages ne prend pas en compte un éventuel phénomène de fraude. Le taux de fraude peut être très variable d'un réseau à l'autre et inexistant sur un réseau appliquant la gratuité. Il n'est pas renseigné dans la base TCU. Par conséquent, cette situation tend à surévaluer les émissions GES par passager kilomètre.

Autobus - TAD - TPMR	Nombre de voyages	Émissions GES totales (FE 2017)	Distance moyenne par voyage (km)	Émissions GES (gCO ₂ e / passager.km)
Classe 1	952 080	571 165 616	4,67	128,52
Classe 2	418 314	260 685 041	4,55	136,90
Classe 3	162 884	110 357 527	4,65	145,68

Pour plus d'informations sur les transports collectifs ferré (métro et tramway), se référer au chapitre « Transport de personnes ferroviaire ».

Concernant les données à disposition concernant les autobus et autocars par motorisation thermique, les données de consommation de carburant sont issues d'une modélisation HBEFA, pour lesquelles des hypothèses supplémentaires ont été ajoutée afin d'obtenir des données en passager.km :

Véhicule	Consommation (L/passager.km)	Hypothèses complémentaires
Autobus, Gazole	0.033	Taux de remplissage : 10 personnes
Autobus, GNV	-	
Autocar	0.01	Taux de remplissage : 30 personnes (62%), source ARAFER 2019

Concernant les données à disposition concernant les autobus et autocars électriques, les données sont issues de l'étude E4T de l'ADEME et l'FPEN. Se référer aux hypothèses de l'étude décrite ci-dessus.

■ Poste "Fabrication de véhicule"

Pour la fabrication des véhicules, les valeurs retenues en kgCO₂e/kg de véhicule à partir de l'analyse de littérature sont les suivantes :

Type de véhicule	Valeur en kgCO₂e/kg de véhicule
Autobus – Autocar	4,0

Ces valeurs ont été calculées en réalisant une moyenne des données issues des sources bibliographiques présentées ci-dessus.

- Pour chacun de ces résultats, la moyenne a été effectuée sur des valeurs présentant une diversité de périmètres géographiques : France, Suisse, Europe et États-Unis.
- La représentativité des différents types de véhicule a été respectée puisque la catégorie Autobus – Autocar intègre différents modèles d'autocars et d'autobus.

Le recalcul en passager.km a été réalisé à partir des hypothèses suivantes :

	Unité BC	Facteur kgCO ₂ /kg de véhicule	Nombre de passagers	Durée de vie en km	Masse type (en tonnes)
Autobus moyen - Agglo de 100 000 à 250 000 hab	/passager.km	Autobus / Autocar	10	444 621	10,7
Autobus moyen - Agglo de plus de 250 000 hab	/passager.km	Autobus / Autocar	10	190 333	10,7
Autobus moyen - Agglo de moins de 100 000 hab	/passager.km	Autobus / Autocar	10	75 741	10,7
Autobus thermique	/passager.km	Autobus / Autocar	10	480 000	10,7
Autocar thermique	/passager.km	Autobus / Autocar	30	361 884	12,0

Evolution du secteur [400](#)

La part du transport individuel dans le transport intérieur de voyageurs est quasi stable (80,6 %). Le nombre de voyageurs-kilomètres réalisés en véhicules particuliers (y compris étrangers) est de 757,1 milliards en 2018. Cette récente stabilité observée en 2018 rompt avec la tendance de croissance annuelle moyenne de + 1,2 % observée depuis 2013. Elle peut trouver son origine dans la forte croissance des prix des carburants en 2018 : + 16,6 % pour le gazole et + 9,2 % pour l'essence sans plomb.

Avec 44,6 milliards de voyageurs-kilomètres transportés en 2018, le transport collectif urbain représente 24,5 % du transport collectif. Il progresse de 0,7 % en voyageurs-kilomètres. La croissance du transport collectif urbain est soutenue sur les réseaux de province (+ 2,8 %) tandis qu'il est stable sur les réseaux d'Ile-de-France (+ 0,1 %).

D'après l'évolution des immatriculations [457](#), on observe une baisse de la proportion d'autobus au gazole, notamment dans le cadre du renouvellement du parc. À ce jour, 20 % des autobus au niveau national utilisent une énergie alternative au gazole. Cette tendance devrait continuer de s'accroître étant donné que dans le cas des services urbains, 28 % du parc circule avec une énergie alternative au gazole. Une part importante des véhicules Gazole Euro 3-4-5 devraient également être renouvelés à l'avenir par de l'Euro 6, ce qui devrait contribuer à la baisse des émissions unitaires.

Sources :

[170] ADEME, Sphera et Gingko21. "Analyse du Cycle de Vie relative à la mobilité hydrogène" (2020)

[400] CCTN – [Les comptes des transports en 2018 - 56e rapport de la Commission des comptes des transports de la Nation - Publié le 29/08/2019](#)

[455] Etude Economique, Energétique et Environnementale pour les Technologies du transport routier français – IFP Energie Nouvelle - 2013

[456] [Bilan transversal de l'impact de l'électrification par segment - Projet E4T- ADEME, IFP Energies Nouvelles -Avril 2018](#)

[457] UTP, Note technique, Février 2020, "Les services urbains poursuivent leur mue énergétique"

[641] ADEME. J.Lhotellier RDC Environnement. Décembre 2019. [Modélisation et évaluation environnementale de produits de consommation et biens d'équipement – Rapport. 180 pages.](#)

5.2.2 Ferroviaire

Description

La classification retenue pour le transport ferré de personnes distingue le périmètre France des autres pays d'Europe.

Pour le transport ferré de personnes dans les autres pays d'Europe, un facteur d'émission « train » unique est retenu par pays. Ces données sont issues de la publication « INFRAS-IWW » de l'UIC (Union International des Chemins de fer) datant de 2004.

Pour transport ferré de personnes en France, sont distingués :

- Les trains : TGV, TER et trains grandes lignes
- Les métros, RER, Transilien en Ile-de-France
- Les métros et tramway dans les autres villes

Sources des données & périmètre

Postes "Amont" et "combustion"

Les données relatives au TGV, aux trains grandes lignes et au TER sont fournies par la SNCF, dans le cadre de l'Info GES des transports. Retrouvez [la méthodologie](#) directement sur le site de la SNCF⁴⁷⁰. Celle-ci est mise à jour annuellement.

Les données concernant les transports ferrés de l'Ile de France sont issues de travaux communs SNCF et RATP, en collaboration avec Ile de France Mobilité.

Concernant les transports ferrés hors Ile de France, les données sont issues de l'UTP (Union des Transports Publics et ferroviaires) et leur enquête TCU 2017 sur le Transport Collectif Urbain

permettant de connaître le nombre de voyageurs sur chacun des modes : autobus, tramways et métro.

Les données relatives aux autres pays d'Europe sont issues d'une étude de l'Union Internationale des Chemins de fer (UIC) sur les effets externes, communément appelée "étude INFRAS-IWW", qui a fait l'objet d'une actualisation en octobre 2004 avec pour année de référence 2000. Cette étude permet d'établir des facteurs d'émission pour le transport ferroviaire de voyageurs de différents pays européens, pour la seule énergie de traction.

L'ensemble des données disponibles intègre l'amont et la combustion de l'énergie de traction utilisée. Il n'intègre pas la fabrication du matériel roulant ou les émissions liées à l'infrastructure (voies de chemins de fer, gare, etc.).

Poste fabrication

L'impact des trains grande ligne, TER et RER sont évalués dans une même catégorie. Il a été considéré que la conception de ces trains est comparable et que l'impact par kg de véhicule est donc identique. Le calcul de l'impact par kg de train pour les trains grande ligne, TER et RER, métros et tramways est basé sur un ensemble de déclarations environnementales de produits (EPD – Environmental Product Declaration), complété par des échanges avec Alstom, la SNCF et la RATP.

Pour permettre de revenir in fine à une donnée en passager.km :

- Pour les trains grandes lignes, TGV, Ouigo, TER, RER et transiliens : la SNCF a fourni une valeur en passager/km basée sur les données « au réel ».
- Les trains de voyageurs Corse ont été considérés similaires à des TER et sont donc basés sur les valeurs de la SNCF.
- Pour les métro et tramways : par manque de données spécifiques aux véhicules RATP, les données issues de la revue bibliographiques ont été utilisées. Seul le nombre de places par véhicule est spécifique aux métros et tramways franciliens.

Pour plus d'informations sur l'approche méthodologique générale, se référer au chapitre [Transport de Personnes](#).

Principales hypothèses

TGV, TER, trains grandes lignes

Pour chaque type de train, la quantité moyenne de CO_{2e} émise par km est calculée chaque année, en divisant la consommation d'énergie de l'année précédente (à laquelle on applique un facteur d'émission de CO_{2e} par type d'énergie) par le nombre de voyageurs transportés de l'année précédente et la distance qu'ils ont parcourue.

Pour la **fabrication des véhicules**, les valeurs retenues en kgCO₂e/kg de véhicule à partir de l'analyse de littérature sont les suivantes :

Géographie	Véhicule – FE de la Base Carbone®	Valeur retenue kgCO ₂ e/kg
France continentale	Train grandes lignes	7
France continentale	TGV et ouigo	7
France continentale	TER	7
Corse	Train de voyageurs	7

La densité bibliographique pour les TGV étant faible pour une représentativité et une qualité des données variables, une valeur identique aux trains grande ligne/TER/RER a été retenue pour les TGV. Il est considéré que les différences de conception entre les TGV et les trains grande ligne/TER/RER sont minimales et que l'impact massique peut donc être considéré comme identique. Cette valeur est par ailleurs cohérente avec l'EPD de l'ETR100 d'Hitachi, train qui peut être considéré comme représentatif des TGV français.

Le recalcul en passager.km a été réalisé à partir des données au réel par la SNCF.

Métro, RER, Transilien en Ile de France

Pour chaque sous-mode de transport, les données (consommation, nombre de voyageurs, kms parcourus) sont mises à jour annuellement à partir des données RATP et SNCF. Les facteurs d'émissions proposés sont calculés à partir des données réseaux de la RATP et la SNCF, pondérées par les voyageurs-kilomètres sur chaque réseau.

Moyens de transport	Sources des données
Métro	RATP
RER, Transilien	RAPT & SNCF

Tramway	RATP
---------	------

Pour la **fabrication des véhicules**, les valeurs retenues en kgCO₂e/kg de véhicule à partir de l'analyse de littérature sont les suivantes :

Véhicule – FE de la Base Carbone®	Valeur retenue kgCO ₂ e/kg
RER et transilien, île de France	7
Métro, île de France	4
Tramway, île de France	4

Une valeur identique aux métros a été retenue pour les tramways. En effet, les EPD disponibles ne permettent pas d'avoir accès à l'ensemble des hypothèses utilisées et donc de s'affranchir d'hypothèses structurantes telles que le taux de remplissage ou la durée de vie. Ces EPD présentent par ailleurs une faible représentativité géographique. Il a donc été retenu une valeur en kgCO₂e/kg de véhicule identique aux métros, confortés notamment suite à des échanges avec Alstom.

Le recalcul en passager.km a été réalisé à partir des hypothèses suivantes :

	Transport de passager	Unité BC	Facteur kgCO ₂ /kg de véhicule	Masse type train (en kg)	Nombre places offertes	Taux de remplissage	Durée de vie en km
France continentale	RER et transilien, île de France	/passager.km	Train grande ligne/TER/RE R/TGV	Recalcul SNCF sur les données au réel			
France continentale	Métro, île de France	/passager.km	Métro/tram	140020	824	78%	3 897 243
France continentale	Tramway, île de France	/passager.km	Métro/tram	45013	263	77%	2 179 000

Métro, tramway hors Ile de France

L'enquête TCU 2017 a permis de définir, selon 2 classes d'agglomérations, une distance moyenne de trajet et le nombre de trajets réalisés :

Agglomérations	Distance moyenne par trajet (km)	Nombre de trajets
Classe 1 : + de 250 000 habitants	4.67	1 257 819
Classe 2 : 100 000 à 250 000 habitants	4.05	57 485

Les facteurs d'émissions sont alors obtenus à partir de FE électricité pour l'usage mobilité.

Pour la fabrication des véhicules, les valeurs retenues en kgCO₂e/kg de véhicule à partir de l'analyse de littérature sont les suivantes :

Véhicule – FE de la Base Carbone®	Valeur retenue kgCO2e/kg
Métro, tramway, trolleybus > 250 000 hab	4
Métro, tramway, trolleybus - 100 000 à 250 000 hab	4

Comme pour l'Île de France, une valeur identique aux métros a été retenue pour les tramways. Le recalcul en passager.km a été réalisé en faisant une moyenne du tramway et du métro d'Île de France.

Evolution du secteur

Avec 97,1 milliards de voyageurs-kilomètres transportés, le transport ferroviaire de voyageurs, hors navettes Eurotunnel, représente 53,2 % du transport collectif. Après une reprise en 2017, le transport ferroviaire repart à la baisse avec une diminution de 3,0 % du trafic en 2018. A noter que cette année a été marquée par les 39 jours de grève perlée sur les mois d'avril à juin 2018.

Globalement, entre 2013 et 2018, le trafic de voyageurs sur les TGV est en augmentation de 1.3% chaque année, et sa part dans le transport ferroviaire de voyageurs augmente (60,3 % en 2018 contre 59,6 % en 2017).

En 2018, le trafic en TER s'accroît légèrement (+ 0,5 %) après une année 2017 de croissance forte, tandis qu'avec 19,2 milliards de voyageurs-kilomètres transportés, le trafic des trains et RER d'Île-de-France représente 19,8 % du transport ferroviaire.

Sources :

[\[470\] Information sur la quantité de gaz à effet de serre émise à l'occasion d'une prestation de transport - Méthodologie générale - Version de Mai 2024](#)

5.2.3 Aérien

Description

Dans la Base Carbone®, les facteurs d'émissions du transport aérien de voyageurs sont classés selon :

- La capacité de l'appareil (nombre de sièges)
- La longueur du trajet : 500/1000/2000/5000/plus (en km)
- Le type de courrier : court/moyen/long

Les facteurs d'émissions sont donnés en "kgCO₂e/(passager équivalent.km)"

Sous-catégorie	Classification
Avions passagers	Court, Moyen, Long courrier
	Capacité de 20 à 50 sièges : détail par kms parcourus
	Capacité de 51 à 100 sièges : détail par kms parcourus
	Capacité de 101 à 220 sièges : détail par kms parcourus
	Capacité de plus de 220 sièges : détail par kms parcourus

Source des données & périmètre

■ Postes "Amont" et "Combustion"

L'ensemble des données proposées dans la Base Carbone® sont issues du calculateur TARMAAC (Traitements et Analyses des Rejets éMis dans l'Atmosphère par l'Aviation Civile) de la DGAC (Direction Générale de l'Aviation Civile).

TARMAAC est un outil développé par la DGAC en coopération avec le CITEPA (Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique), notamment utilisé pour établir l'inventaire des émissions du trafic aérien de la France dans le cadre des engagements pris lors du protocole de Kyoto (niveau national). Il s'appuie sur des méthodes internationales utilisées pour les inventaires d'émissions et sur des données de trafic réelles allant jusqu'au vol à vol (type avion, origine destination, motorisation, chargement en passagers, fret et poste, temps de roulage, etc...).

Les données proposées intègrent les émissions liées à l'amont et la combustion du carburant, durant les phases de vol, roulage et stationnement. Elles intègrent donc de fait les consommations des APU (groupe auxiliaire de puissance). Ne sont pas incluses les émissions liées à la fabrication de l'appareil, aux infrastructures aéroportuaires ou aux trainées de condensation.

N'hésitez pas à consulter directement le [calculateur d'émissions de CO₂ de l'aviation en ligne](#) et le [bilan annuel des émissions du transports aériens](#), produit par la DGAC.

■ Poste "Fabrication de véhicule"

Pour déterminer l'impact de la fabrication d'un avion en kgCO_{2e}/kg de véhicule, l'analyse bibliographique s'est basée sur des publications scientifiques d'analyse de cycle de vie, des EPD ainsi que des données ecoinvent.

Afin de convertir les valeurs en kgCO_{2e}/kg de véhicule en kgCO_{2e}/passager.km ou /tonne.km selon qu'on s'intéresse au transport de personnes ou au transport de marchandises, des hypothèses sur les caractéristiques des différents avions ont été utilisées. La base de données de l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI ou ICAO en anglais) regroupant les données de trafic aérien depuis 2008 a été utilisée.

Pour plus d'informations sur l'approche méthodologique générale, se référer au chapitre [Transport de Personnes](#).

Principales hypothèses

■ Postes "Amont" et "Combustion"

Les avions « passagers » correspondent à des avions dit "mixtes". Il s'agit des avions de ligne classiques, pouvant transporter à la fois passagers et fret. Les facteurs d'émissions sont donnés en tonnes.km, sachant qu'un Peq (= équivalent personne) correspond à 100 kg de fret transporté.

Pour permettre des évaluations en première approche, des facteurs d'émission globaux sont fournis par catégorie de distance ou de taille d'appareil et pour le trafic total. Cela revient à effectuer des moyennes avec une pondération en passagers-équivalents.kilomètres-transportés.

Le facteur d'émission du kérosène considéré est identique à celui utilisé par le [calculateur TARMAAC](#) :

Energie	Unité	Combustion
Kérosène	kg CO2e/kg fuel	3.16

Sur base de documentation du calculateur TARMAAC, cette quantité de CO₂ (3,16) est multipliée par un facteur 1,01 pour obtenir la quantité de GES exprimée en CO₂ équivalent afin de prendre en compte la contribution des autres GES aux émissions du transport aérien (essentiellement N₂O, celle du CH₄ étant inférieure à 0,1%).

Ce facteur d'émission résultant est semblable à celui mentionné dans le [rapport du GLEC, publié en février 2025](#).

Pour la phase de production et de distribution du carburant, conformément aux facteurs d'émissions définis par l'ADEME, les émissions de gaz à effet de serre (en CO₂e) sont obtenues en multipliant la quantité de CO₂ émise en vol par un facteur 0,21.

Pour permettre des évaluations en première approche, des facteurs d'émission globaux sont fournis par la DGAC par catégorie de distance pour le trafic total. Les valeurs des consommations de carburant en kg/peq.km des avions mixtes ont été déduites des facteurs d'émissions renseignés pour la phase de vol dans le rapport « [Les émissions gazeuses liées au trafic aérien en France en 2023](#) » :

Consommation de carburant lors de la combustion (en peq/t.km)				
Avions mixte	20 à 50 sièges	51 à 100 sièges	101 à 220 sièges	> 220 sièges
0 - 500 km (turboprop)	0.065	0.036	/	/
0 - 500 km (jet)	0.091	0.06	0.041	/
500 - 1000 km	0.066	0.043	0.032	0.047
1000 - 2000 km	0.085	0.036	0.026	0.033
2000 - 5000 km	/	/	0.023	0.024
> 5000 km	/	/	0.025	0.021

■ Poste "Fabrication "

Il a été considéré que l'impact par kg de véhicule pouvait être considéré comme indépendant de la taille de l'avion. Ainsi, une unique valeur a été retenue pour l'ensemble des avions. Le facteur est en revanche différent une fois le recalcul en passager.km effectué, du fait d'hypothèses de distance, de durée de vie ou de taux de remplissage différentes. La valeur retenue est de 40 kgCO₂e/kg de véhicule.

Le recalcul en passager.km a été réalisé à partir des hypothèses suivantes :

Capacité pour un avion mixte	Distance	Unité BC	Masse type (en kg)	Allocation passagers	Nombre de passagers	Durée de vie en km
Capacité 20 - 50 sièges	<500 kms (turboprop et jet)	/passager.km	11 705,6	0,97	28,1	30 000 000
	500-1000 kms	/passager.km	11 700,5	0,97	28,4	30 000 000
	1000-2000 kms	/passager.km	11 700,5	0,96	28,9	30 000 000
Capacité 51-100 sièges	<500 kms (turboprop et jet)	/passager.km	13 070,9	0,97	39,5	30 000 000
	500-1000 kms	/passager.km	13 069,3	0,97	39,9	30 000 000
	1000-2000 kms	/passager.km	13 069,3	0,97	40,7	30 000 000
Capacité 101-220 sièges	<500 kms (jet)	/passager.km	40 056,0	0,97	103,5	40 000 000
	500-1000 kms	/passager.km	40 055,8	0,97	104,4	40 000 000
	1000-2000 kms	/passager.km	40 055,8	0,96	106,6	40 000 000
	2000-5000 kms	/passager.km	40 055,8	0,88	119,9	40 000 000
	>5000 kms	/passager.km	40 055,8	0,88	119,9	40 000 000
Capacité > 220 sièges	500-1000 kms	/passager.km	143 261,7	0,96	352,4	50 000 000
	1000-2000 kms	/passager.km	143 261,7	0,96	352,4	50 000 000
	2000-5000 kms	/passager.km	143 261,7	0,89	396,3	50 000 000
	> 5000 kms	/passager.km	143 261,7	0,89	396,3	50 000 000

Evolution du secteur

L'activité du transport aérien en France s'est élevée en 2018 à 172,43 millions de passagers, en hausse de 5,1% par rapport à 2017, un ensemble fret et poste de 2,51 millions de tonnes (-1,2%) et un nombre de passagers équivalents-kilomètres-transportés (convention ½ croisière) de 292,9 milliards de PeqKT (+5,5%), pour 1,54 million de mouvements commerciaux (+1,3%).

Entre 2000 et 2018, ces émissions ont progressé de 21,5% pour un nombre de passagers-équivalents-kilomètres-transportés (PeqKT) en augmentation de +62,1%. Le développement du trafic aérien s'est ainsi accompagné d'une amélioration continue de son efficacité énergétique :

diminution de -25,7% des émissions de CO₂ unitaire (en kg de CO₂/ PeqKT), soit une décroissance moyenne de -1,6% /an.

Chiffres clés, DGAC - <https://eco-calculateur.dta.aviation-civile.gouv.fr/les-chiffres-cles>

Impact climatique des traînées de condensation & émissions associées

En plus du CO₂ émis par la production et combustion du carburant, les avions peuvent affecter le climat par d'autres émissions et processus atmosphériques, tels que la vapeur d'eau (H₂O), les oxydes d'azote (NO_x), les particules (aérosols) de sulfate et de suie, ou les traînées de condensation. Pour ces dernières, bien que leur contribution sur le total de l'impact climatique de l'aviation à l'échelle mondiale (évaluée sur la base du forçage radiatif – cf ci-après) soit évaluée à un minimum de 50 %, il subsiste encore d'importantes incertitudes scientifiques quant à leur estimation et font encore l'objet de nombreuses recherches scientifiques.

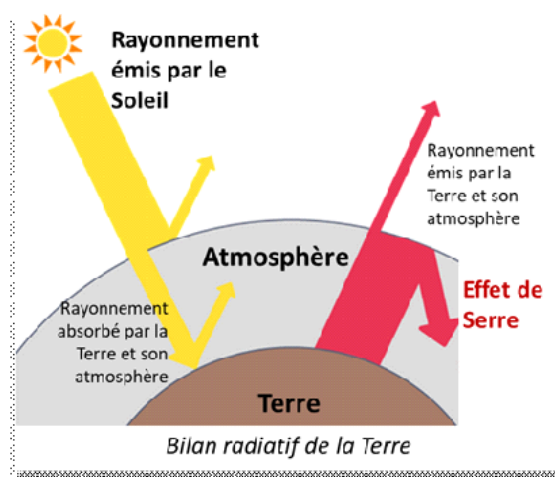
Définition

Les **traînées de condensation** sont des panaches blancs observables dans le ciel après le passage d'un avion. Elles se forment à haute altitude (de 8 à 13 km) à la sortie des réacteurs si l'air environnant est suffisamment froid et humide. Les traînées de condensation sont constituées de cristaux de glace, formés par la condensation de la vapeur d'eau émise par les moteurs, autour de noyaux de condensation présents dans les gaz de combustion et dans l'atmosphère.

Les traînées de condensation peuvent s'estomper quelques secondes seulement après leur formation, par sublimation de la glace (on parle de traînées non persistantes), ou persister jusqu'à quelques heures pour former des nuages induits du type cirrus (on parle alors de traînées persistantes si elles conservent une forme linéaire ou cirrus de traînée si elles ne conservent pas de forme linéaire).

Métriques associées

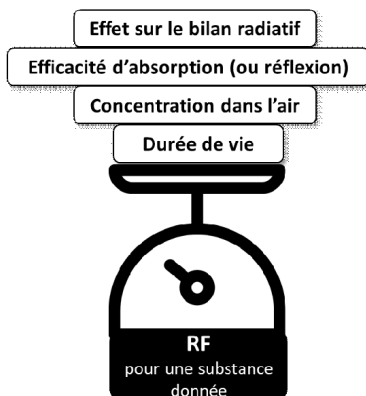
Pour comprendre l'évaluation de l'impact des traînées de condensation, il faut revenir à la définition de l'équilibre énergétique de la Terre. Au sommet de l'atmosphère, moyenné sur le globe et sur une année, l'**équilibre énergétique** est défini de telle sorte que le rayonnement solaire absorbé par la Terre est approximativement égal au rayonnement infrarouge sortant de la Terre. Du fait qu'une partie de l'énergie que renvoie la Terre ne quitte pas l'atmosphère et est retenue, l'effet de serre se produit. C'est cet effet de serre « naturel » qui permet à la terre d'avoir une température moyenne de l'ordre de 15 °C (au lieu de -18 °C sans atmosphère).



©Citepa d'après Kartable.fr

Alors, pour identifier les différentes contributions au déséquilibre de cette **balance énergétique**, il est nécessaire de définir l'apport d'une espèce chimique ou d'un phénomène au bilan énergétique de la Terre. Pour cela, la notion de **forçage radiatif** (RF, acronyme de l'anglais « Radiative Forcing ») est appliquée. Il s'agit du flux d'énergie qu'une substance a ajouté ou soustrait durant une certaine période au bilan énergétique de la planète.

Le forçage radiatif (RF) est calculé en watts par mètre carré (W.m^{-2}). Quatre paramètres sont importants pour le calcul :



©Citepa

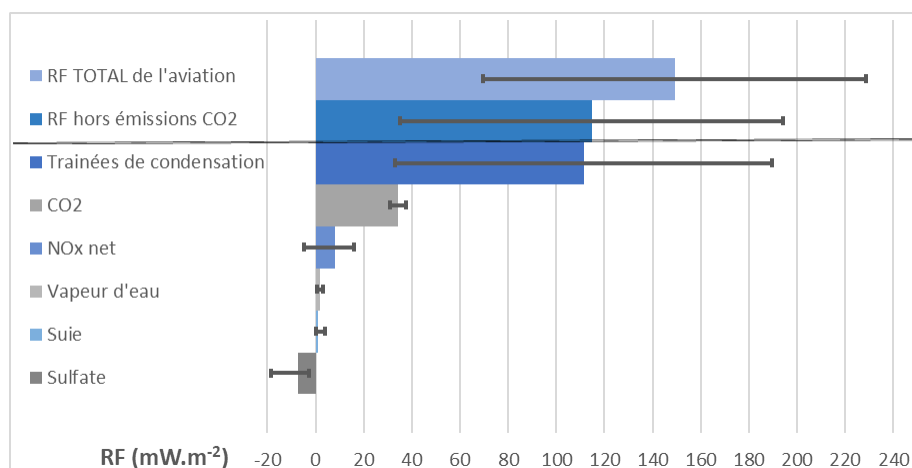
- L'effet sur le bilan radiatif : Le RF est positif lorsque la planète absorbe plus d'énergie qu'elle n'en émet. Le système climatique réagit en conséquence en se réchauffant. C'est le cas des gaz à effet de serre (GES) émis dans l'atmosphère.

Le RF est négatif lorsque la planète émet plus d'énergie qu'elle n'en absorbe. Ceci conduit à un refroidissement. C'est le cas des particules d'aérosol qui réfléchissent le rayonnement solaire.

L'impact des traînées de condensation, ainsi que le total de tous les effets issus de l'aviation ont un forçage radiatif positif.

- L'efficacité d'absorption ou de réflexion : Par exemple, une molécule qui absorbe fortement et sur une large gamme de longueur d'onde aura un impact plus important sur le forçage radiatif. C'est le cas du méthane (CH_4) comparé au dioxyde de carbone (CO_2).
- La concentration dans l'atmosphère : Plus un gaz est présent en grande quantité, plus fort sera son effet sur le bilan radiatif. De ce fait, l'estimation du RF prend en compte l'historique des émissions pour examiner leur effet cumulatif sur une période donnée (généralement une année).
- La stabilité ou durée de vie : Une molécule très stable, et qui donc persiste longtemps dans l'atmosphère, aura une contribution durable sur le bilan radiatif. Ceci est le cas du CO_2 qui a des effets à longue durée.

À titre de comparaison, la figure suivante présente les valeurs des RF des différents composants qui contribuent au RF total du secteur de l'aviation. Ces valeurs sont issues de LEE et al. (2020)⁴⁰¹ pour l'année d'évaluation de 2018.



Composants des forçages radiatifs globaux de l'aviation pour l'année 2018.

Source : LEE et al. (2020) ⁴⁰¹

On définit également le **RFI : l'index de forçage radiatif**. C'est un indicateur des contributions relatives du CO_2 et des effets non- CO_2 au forçage radiatif sur un périmètre particulier (par exemple, l'aviation). Il est calculé à partir des RF des composants analysés du secteur concerné. Autrement dit il s'agit du ratio entre la somme des RF composants le RF total (CO_2 , trainées, NOx , vapeur d'eau, etc.) et celui des émissions seules de CO_2 .

Le RFI n'est donc pas un nombre intrinsèquement fixe au fil du temps, puisqu'il dépend des concentrations totales de CO_2 et des effets non CO_2 pris en compte. Ainsi, dans les études plus anciennes, dont le rapport GIEC de 1999⁴⁰² qui ne prenaient en compte que l'impact des trainées persistantes, le RFI est estimé entre 1,9 et 2,8. Cela signifie que les effets climatiques totaux étaient de 1,9 à 2,8 fois plus grands que les seuls effets liés aux émissions de CO_2 . Les trainées persistantes contribuent seules, dans ce contexte, entre 15 % et 41 % au RF total de l'aviation. Lorsque les études plus récentes intègrent en plus les effets des cirrus de trainée alors mieux

connus, le RFI augmente et il est ainsi estimé entre 3,8 et 4,3. Les trainées de condensation contribuent dans ce contexte, entre 71 % et 75 % au RF total de l'aviation.

A noter qu'une troisième métrique est parfois utilisée pour estimer l'impact des trainées de condensation : le Potentiel de Réchauffement Global d'une substance (PRG). Mise au point par le GIEC pour estimer l'impact futur d'une substance sur le réchauffement planétaire et pouvoir faire des comparaisons entre substances chimiques différentes, elle se définit comme le forçage radiatif cumulé sur une durée d'une quantité de gaz donnée. Cette valeur est normalisée par rapport à celle du CO₂ (dont le PRG est fixé arbitrairement à 1) et est calculée sur une période donnée (la période de référence a été fixée à 100 ans dans le cadre de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques [CCNUCC] et du Protocole de Kyoto) après qu'une certaine concentration ait été atteinte à un instant initial. C'est la métrique couramment utilisée pour la réalisation des bilans d'émissions de GES et l'ensemble des facteurs d'émission de la Base Carbone®.

Conclusion à ce jour

L'évolution des connaissances démontre une plus **grande importance des effets des trainées de condensation sur le climat** à mesure que les méthodologies d'évaluation s'améliorent. Il est ainsi recommandé de prendre en compte ce paramètre pour évaluer l'effet des politiques et actions sur l'impact climatique global de l'aviation : une évaluation qui serait basée exclusivement sur les émissions de CO₂ pourrait conduire à mettre en place des mesures inefficaces sur le plan climatique dans les cas où des compromis sont nécessaires, et à négliger – au contraire – des opportunités de réduction des impacts climatiques de l'aviation dans les cas où des synergies sont possibles.

Toutefois, pour estimer l'impact climatique des émissions hors CO₂, notamment des trainées de condensation, la complexité de la méthodologie à employer dépend directement de la métrique choisie. À partir de l'état actuel des connaissances scientifiques, les **métriques RF et RFI semblent les plus abouties pour évaluer les différents composants de l'aviation** ayant un impact sur le changement climatique, notamment les trainées de condensation.

Un facteur équivalent CO₂ constant est l'alternative la plus simple pour estimer un tel impact, car il ne nécessite qu'une simple multiplication des émissions de CO₂ issues de la combustion. C'est le cas de nombreuses études qui utilisent le RFI comme facteur multiplicateur. Cependant, l'utilisation d'un facteur constant reste imprécis car il existe de fortes interdépendances entre l'impact climatique et le lieu d'émission, ainsi que l'altitude de vol et la distance de vol. En d'autres termes, **tous les vols n'induisent pas la formation de trainées, les mesures de RF et RFI représentant l'impact global du secteur à l'échelle mondiale.**

Les émissions liées aux trainées de condensation **ne doivent pas être prises en compte dans le cadre de l'information GES des prestations de transport** et ne sont pas obligatoires dans le cadre de l'article 75 pour la réalisation des Bilans d'émissions de GES.

Cependant, au regard de l'état actuel des connaissances identifiant clairement un impact non négligeable des effets non CO₂ sur l'impact global de l'aviation et ne disposant pas à ce jour de méthodologie consolidée permettant d'appliquer un facteur multiplicateur par type de vol,

l'ADEME propose - à titre conservateur - de continuer à utiliser un facteur multiplicateur égal à 2 pour l'ensemble des émissions de GES de l'aérien liés à la combustion lorsque cela est possible. Dit autrement, pour un kg équivalent CO₂ dû au CO₂ de la combustion, un kg équivalent CO₂ sera rajouté pour tenir compte du reste.

En tout état de cause, soyez vigilant à conserver la même approche d'un exercice à l'autre (avec ou sans prise en compte des traînées) pour permettre un suivi réel des émissions dans le temps.

Pour plus d'information sur la quantification de l'impact des traînées de condensation, n'hésitez pas à consulter le rapport⁴⁰³ [« État de l'art de la recherche scientifique sur l'impact climatique des traînées de condensation des avions »](#) d'avril 2021, disponible dans la librairie de l'ADEME.

Sources :

[401] D.S. LEE, et al., 2020. *The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018. Atmospheric Environment*. 244 (1), September 2020.

[402] GIEC, 1999. *Rapport spécial du GIEC : L'aviation et l'atmosphère planétaire*. 1999.

[403] ADEME, 2021- [« État de l'art de la recherche scientifique sur l'impact climatique des traînées de condensation des avions »](#) d'avril 2021.

5.2.4 Maritime

Sources des données & périmètre

Mise à jour 2025 des facteurs d'émissions des carburants fossiles et des consommations

Les facteurs d'émission des carburants fossiles suivants ont été mis à jour pour les Ro-Pax sur base du rapport du GLEC, publié en février 2025 :

- HFO (Heavy Fuel Oil) avec une teneur inférieure à 0,5% de soufre (VLSFO)
- MGO (Marine Gas Oil) avec une teneur inférieure à 0,1% de soufre (ULSFO)

■ Postes "Amont" et "Combustion"

Le transport maritime de personne se fait essentiellement par ferry (roulier Ro-Pax). Ces navires peuvent transporter à la fois des personnes et leur voiture. Huit données sont disponibles dans la Base Carbone®, 5 données « Ro-Pax » issue du GLEC calculées sur base du rapport du GLEC, publié en février 2025 et 3 données historiques liées aux liaisons inter-îles en Outre-Mer.

Se référer au chapitre [« Transport Maritime de Marchandises »](#) pour plus d'information sur la construction des données, leur périmètre, leurs sources.

■ Poste "Fabrication de véhicule"

Peu de ressources bibliographiques sont disponibles et la représentativité technique des données identifiées n'est pas suffisante pour permettre une intégration in fine dans la Base Carbone® d'un poste « Fabrication » pour le transport maritime de personnes. En effet, seules des analyses de cycle de vie de ferry parcourant un nombre restreint de km ont été identifiées. Pour l'ensemble des données, et à partir d'hypothèses sur certaines caractéristiques types de ces navires, les valeurs oscillent entre 1,7 et 4,3 kgCO₂e/kg de navire.

Les recherches bibliographiques ont également mis en lumière un manque de transparence global sur les caractéristiques des navires et notamment sur leur masse, empêchant ainsi de formuler des hypothèses permettant d'utiliser cette valeur par kg de navire.

Par manque de données issues de publications, et donc de moyens de comparaison pour chaque type de navire, il a été décidé de ne pas intégrer ces résultats dans les valeurs de la Base Carbone®.

5.2.5 Fluvial

Description

Le transport fluvial de personnes correspond aux navettes fluviales de tourisme. Faute de données plus récente à ce jour, la donnée actuelle de la Base Carbone® est une donnée historique de 2010.

5.2.6 Par câble

Description

Le FE relatif au transport par câble a été fourni par [POMA](#), société active dans le transport par câble.

Ce FE se base sur un outil de calcul du bilan carbone d'une télécabine développé par POMA avec Carbone 4.

La technologie modélisée est une "télécabine monocâble", un transport par monocâble débrayable à mouvement unidirectionnel continu, qui est la technologie la plus répandue dans le Monde dans les usages de mobilité par câble.

Le FE se rapporte à une ligne de 1,77 km de long, comprenant 2 gares, 8 pylônes, des câbles et 26 véhicules. La ligne a une durée de vie de 40 ans et se rapporte à un usage en zone urbaine

Il prend en compte les étapes de fabrication et de maintenance des composants de même que la consommation d'électricité liée à son exploitation.

Part

VI

6 Catégorie 4/5 : Emissions indirectes - produits achetés/vendus

Les autres émissions indirectes, correspondent à l'ensemble des émissions dont les sources sont en dehors du périmètre organisationnel mais qui sont nécessaires à son activité.

6.1 Achat de biens

La production des matériaux de base (verre, acier, métaux, plastique, etc.) engendre des émissions de gaz à effet de serre essentiellement dues à l'énergie fossile et l'électricité consommées dans les processus industriels de fabrication (charbon pour la fabrication d'acier par exemple).

Les facteurs d'émission ont été obtenus de deux manières distinctes :

- soit par le biais d'analyses de cycle de vie déjà publiées, qui sont alors mentionnées ;
- soit par calcul direct lorsque les dépenses énergétiques décomposées par source d'énergie utilisée sont connues.

Ces facteurs d'émission ont vocation à être réactualisés en fonction des progrès des industries concernées d'une part, et en fonction de l'acquisition de nouvelles connaissances (notamment les contributions à la Base Carbone ®) d'autre part.

Dans le cadre d'un bilan des émissions de GES, ce chapitre donnera les facteurs d'émissions pour :

- Les catégories 4 et 5 relatives aux émissions indirectes associées aux biens achetés/produits vendus

Ces facteurs d'émissions peuvent aussi servir d'approximations pour d'autres facteurs d'émission. Par exemple dans le cas du transport, il permet d'obtenir la part amortissement des véhicules.

6.1.1 Produits de l'agriculture et de la pêche

Description globale

Les produits agricoles regroupent l'ensemble des produits végétaux et animaux produits par le monde agricole. Ils sont à distinguer des produits agro-alimentaires qui eux subissent des étapes de transformation, emballages, transports, etc. supplémentaires avant d'arriver dans votre assiette.

Les facteurs d'émissions mis à disposition sont calculés pour 1 kg de produit agricole brut (ex. 1 kg de blé à la sortie de la ferme). Les calculs prennent en compte l'ensemble des processus amont (fabrication des intrants) et au champ (opérations culturales), en s'arrêtant à la sortie du champ.

Les impacts relatifs aux processus de transformation, à la logistique, au transport, à l'emballage et à l'utilisation des produits ne sont pas pris en compte dans cette partie agricole.

Les données disponibles pour la partie agricole sont riches : elles concernent des produits moyens, et des déclinaisons (agriculture raisonnée, agriculture biologique, système d'élevage à l'herbe...), reflétant ainsi la variabilité des modes de production et leurs impacts environnementaux relatifs. Les pratiques « standards/moyennes » sont le résultat de la représentativité de ces différents modes de production en France aujourd'hui. Les produits agricoles sont donc dits « **sortie ferme** ». Il s'agit en effet d'Inventaire de Cycle de Vie (ICV) allant du berceau à la porte de la ferme.

Les facteurs d'émissions sont issus de la base de données **AGRIBALYSE® 3.2 (publiée fin 2024)**.

Dans la Base Empreinte®, n'est repris actuellement que l'indicateur relatif au changement climatique.

Base de données Agribalyse®

AGRIBALYSE® est la base de données publique française la plus exhaustive d'indicateurs environnementaux des produits agricoles et alimentaires fondés sur l'Analyse du Cycle de Vie.

Elle fournit des indicateurs d'impacts environnementaux :

- des principales productions agricoles françaises,

- des principaux produits alimentaires consommés en France.

La base de données contient des données sur plus de 200 productions agricoles et plus de 2500 aliments prêts à être consommés. Il s'agit à la fois de produits agricoles (une pomme) et de produits transformés (une compote de pomme, un muffin...). Elle couvre toutes les catégories de produits des principales filières consommées en France. Elle inclut ainsi les produits alimentaires produits à l'étranger et importés (café, chocolat...).

Retrouvez toute la documentation sur la base de données Agribalyse® sur : <https://doc.agribalyse.fr/documentation>

AGRIBALYSE® c'est :

- une **base de données publiques** comprenant des données de référence pour 2500 produits alimentaires et 200 produits agricoles bruts ;
- un **dispositif méthodologique de référence** pour l'analyse environnementale des produits agricoles et alimentaires ;
- des **travaux de recherche** pour améliorer les méthodologies et les données ;
- un **réseau d'experts** qui vous accompagne pour la compréhension et la diffusion des travaux (documentation, formations, journées techniques) ;
- une **dynamique d'amélioration continue** : la base de données, en constante évolution, suit les avancées de la science ; elle est enrichie et mise à jour régulièrement, et validée dans le cadre d'un partenariat veillant à leur qualité et leur transparence.

Depuis septembre 2021, la gouvernance d'Agribalyse a évolué vers un GIS (Groupement d'intérêt Scientifique) REVALIM.

La base de données conserve son nom et reste la propriété de l'ADEME.

Le GIS REVALIM

Le 29 septembre 2021, le Groupement d'Intérêt Scientifique Revalim (pour Réseau d'Evaluation des produits agricoles et ALIMentaires) a été créé par les 4 membres INRAE, ADEME, ACTA et ACTIA.

Un partenariat existait déjà depuis 2009 autour du programme AGRIBALYSE® ayant permis la construction de méthodologies et d'une base de données de référence des impacts environnementaux des produits agricoles et alimentaires.

Les 11 instituts techniques, ainsi que l'OFB et l'ANSES sont adhérents agréés du GIS. Ils participent ainsi activement aux travaux du GIS (via les travaux du conseil scientifique et techniques et les groupes de travail).

Le GIS REVALIM vise à :

- Assurer un rôle d'animation scientifique
- Faire progresser les méthodes d'ACV
- Valoriser ces connaissances

- Pérenniser un réseau scientifique

Plus de détails sur les membres et les objectifs peuvent être obtenus :

<https://doc.agribalyse.fr/documentation/le-programme-agribalyse/les-partenaires-du-programme>

6.1.2 Produits agro-alimentaires et boissons

Description globale

Les produits agro-alimentaires concernent les principaux produits alimentaires consommés en France, soit près de 2500 aliments prêts à être consommés. Il s'agit à la fois de produits agricoles (une pomme) et de produits transformés (une compote de pomme, un muffin...). Ils couvrent toutes les catégories de produits des principales filières consommées en France et incluent ainsi les produits alimentaires produits à l'étranger et importés (café, chocolat...).

Les facteurs d'émissions sont issus de la base de données **AGRIBALYSE® 3.2 (publiée fin 2024)**.

Dans la Base Empreinte®, n'est repris actuellement que l'indicateur relatif au changement climatique.

Des données s'appuyant sur des "mixes de consommation"

Concernant les produits agricoles bruts utilisés dans la fabrication des produits alimentaires, des "mixes de consommation" ont été calculé, pour prendre en compte les produits importés.

Ainsi, les impacts de la « tomate standard conventionnelle » utilisée dans la pizza représentent la moyenne pondérée des impacts des tomates majoritairement utilisés pour les produits transformés (c'est-à-dire 18% de tomates issues de la production française, 46% de tomates italiennes et 36% de tomates espagnoles).

Des produits "moyens / standards" représentatifs des produits consommés en France

Les indicateurs d'impacts fournis par AGRIBALYSE représentent les indicateurs calculés pour des produits « standards », les plus consommés en France.

Ainsi par exemple l'impact d'une pizza Margherita « standard », constituée de tomates « standards » conventionnelles, de gruyère et de jambon standards « conventionnels », issus des systèmes de production majoritaires aujourd'hui, et d'emballages majoritaires observés pour ce type de produit. Les impacts de la « tomate standard conventionnelle » de la pizza représentent la moyenne pondérée des impacts de tomates majoritairement utilisés pour les produits transformés (c'est-à-dire 18 % des tomates issues de la production française, 46 % de tomates italiennes et 36% de tomates espagnoles).

Les données Agribalyse® ne permettent pas de comparer des produits alimentaires d'une même catégorie entre eux *ex : deux pizzas Margarita de marques concurrentes ou bien une Pizza Margarita Bio et une Pizza Margarita non Bio*).

Base de données Agribalyse®

AGRIBALYSE® est la base de données publique française la plus exhaustive d'indicateurs environnementaux des produits agricoles et alimentaires fondés sur l'Analyse du Cycle de Vie.

Elle fournit des indicateurs d'impacts environnementaux :

- des principales productions agricoles françaises,
- des principaux produits alimentaires consommés en France.

La base de données contient des données sur plus de 200 productions agricoles et plus de 2500 aliments prêts à être consommés. Il s'agit à la fois de produits agricoles (une pomme) et de produits transformés (une compote de pomme, un muffin...). Elle couvre toutes les catégories de produits des principales filières consommées en France. Elle inclut ainsi les produits alimentaires produits à l'étranger et importés (café, chocolat...).

Retrouvez toute la documentation sur la base de données Agribalyse® sur : <https://doc.agribalyse.fr/documentation>

AGRIBALYSE® c'est :

- une **base de données publiques** comprenant des données de référence pour 2500 produits alimentaires et 200 produits agricoles bruts ;
- un **dispositif méthodologique de référence** pour l'analyse environnementale des produits agricoles et alimentaires ;
- des **travaux de recherche** pour améliorer les méthodologies et les données ;
- un **réseau d'experts** qui vous accompagne pour la compréhension et la diffusion des travaux (documentation, formations, journées techniques) ;
- une **dynamique d'amélioration continue** : la base de données, en constante évolution, suit les avancées de la science ; elle est enrichie et mise à jour régulièrement, et validée dans le cadre d'un partenariat veillant à leur qualité et leur transparence.

Depuis septembre 2021, la gouvernance d'Agribalyse a évolué vers un GIS (Groupement d'intérêt Scientifique) REVALIM.

La base de données conserve son nom et reste la propriété de l'ADEME.

Le GIS REVALIM

Le 29 septembre 2021, le Groupement d'Intérêt Scientifique Revalim (pour Réseau d'Evaluation des produits agricoles et ALIMENTaires) a été créé par les 4 membres INRAE, ADEME, ACTA et ACTIA.

Un partenariat existait déjà depuis 2009 autour du programme AGRIBALYSE® ayant permis la construction de méthodologies et d'une base de données de référence des impacts environnementaux des produits agricoles et alimentaires.

Les 11 instituts techniques, ainsi que l'OFB et l'ANSES sont adhérents agréés du GIS. Ils participent ainsi activement aux travaux du GIS (via les travaux du conseil scientifique et techniques et les groupes de travail).

Le GIS REVALIM vise à :

- Assurer un rôle d'animation scientifique
- Faire progresser les méthodes d'ACV
- Valoriser ces connaissances
- Pérenniser un réseau scientifique

Plus de détails sur les membres et les objectifs peuvent être obtenus :

<https://doc.agribalyse.fr/documentation/le-programme-agribalyse/les-partenaires-du-programme>

6.1.3 Bois

Description

Cette catégorie de la Base Carbone[®], recense les facteurs d'émissions de :

- bois d'œuvre utilisé dans le domaine de la construction
- bois d'ameublement utilisé dans la fabrication d'objets courants ou de palettes en bois

Les facteurs d'émissions de produits finis à base de bois (ex : armoires, tables, chaises,...) sont disponibles dans la catégorie « Achat de bien → mobilier »

La question du bois énergie est traitée précédemment dans le [chapitre sur les biocombustibles](#).

Facteurs d'émission

La production du bois

Pour les émissions découlant du tronçonnage, du débardage, du sciage, du transport, etc, la production de bois d'œuvre a été provisoirement affectée d'un facteur d'émission de 36,6 kg équivalent CO₂ par tonne, facteur d'émission également applicable à la production de palettes.

La problématique de la séquestration du carbone

Dans le cas de bois d'ameublement ou palettes, ces éléments sont destinés à vivre une vie relativement courte, et une fois devenus des déchets industriels banals ils libéreront le carbone qu'ils contiennent, par combustion ou par fermentation. De la sorte, il n'y a pas lieu de compter quoi que ce soit au titre d'une éventuelle séquestration pour la production de palettes en bois ou plus largement à tous les objets en bois dont la durée de vie est de quelques dizaines d'années tout au plus.

Par contre, sous certaines conditions précisées ci-dessous, il est possible de considérer que l'emploi du bois comme matériau d'œuvre engendre un "puits de carbone", c'est-à-dire que l'emploi du bois d'œuvre permet d'être crédité d'émissions négatives. En effet, le bois contient du carbone qui a été soustrait à l'atmosphère lors de la croissance de l'arbre, et si le carbone contenu dans les arbres coupés ne retourne pas dans l'atmosphère mais reste dans l'ouvrage réalisé avec du bois, alors que dans le même temps, d'autres arbres se mettent à pousser à la place de ceux qui ont été coupés, l'homme contribue ainsi à soustraire du CO₂ de l'atmosphère au lieu d'en rajouter.

Il y a toutefois **deux conditions express pour que le bois d'œuvre corresponde à un puits**.

La **première condition** est qu'il faut qu'il provienne d'une forêt "bien gérée", c'est-à-dire d'une forêt où les coupes et les plantations se compensent. En effet, en l'absence de replantation (ou de régénération naturelle), le fait de couper un arbre pour le transformer en charpente ne fait que déplacer un stock existant, mais n'en reconstitue aucun.

En ce qui concerne les **bois exotiques**, qui proviennent de **forêts qui ne sont généralement pas bien gérées**, et où les coupes ne sont pas compensées par des plantations (puisque la surface diminue), on ne peut donc pas parler de puits de carbone. En fait il est même probable que l'exploitation d'une tonne de bois exotique conduise à des émissions nettes significatives : pour pouvoir exploiter les quelques espèces commercialement intéressantes (pas plus de quelques exemplaires à l'hectare), les forestiers construisent des pistes qui, par la suite, servent à des paysans pour aller défricher le reste de la forêt, ce qui cause des **émissions significatives de CO₂**.

Le seul cas de figure où le bois est un puits est donc celui où l'exploitant replante ; concrètement, faute de savoir ce que fait l'exploitant, on se limitera à appliquer cette valeur à du bois de provenance européenne (les forêts européennes sont globalement à peu près bien gérées).

La **deuxième condition** concerne la **réelle durabilité de l'objet contenant le bois**. En effet, si ce dernier sert à fabriquer une charpente dont la durée de vie est supérieure au siècle, il

sera légitime de lui faire correspondre un puits, mais s'il sert à fabriquer du mobilier à courte durée de vie (20 ou 30 ans), alors l'existence d'un puits se discute, car le carbone ne séjournera que brièvement dans l'objet en bois (qui fera l'objet d'une incinération en fin de vie).

A la condition de **provenir de forêts "bien gérées"** et d'être inclus dans des **objets qui dureront au moins un siècle**, l'emploi d'une tonne de bois d'œuvre donne un crédit de 1 850 kgCO_{2e}, ce qui correspond à la teneur moyenne en CO₂ du bois.

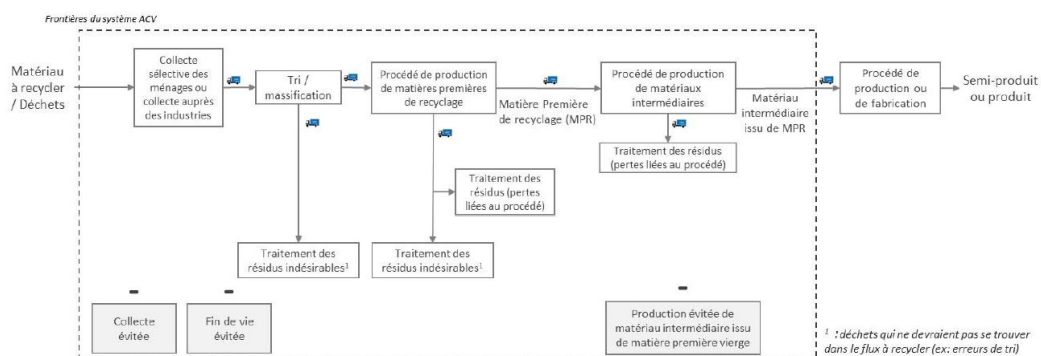
6.1.4 Papier, carton et articles en papier ou en carton

Pâte à papier / Carton

La Fédération Professionnelle des Entreprises du Recyclage (FEDEREC) a réalisé en 2017 le bilan environnemental du recyclage selon la méthode d'analyse de cycle de vie (ACV) pour les filières de recyclage les plus représentatives du marché français dont notamment les papiers et cartons.

Pour chaque filière sont quantifiées les émissions de gaz à effet de serre liées à la fabrication de produits à partir de matière première « vierge » et « renouvelable ». L'unité fonctionnelle utilisée dans l'étude est « Analyse de la collecte, du tri et de la transformation d'une tonne de déchets afin de produire des matériaux intermédiaires issus de MPR en substitution de matériaux intermédiaires issus de ressources vierges ».

Le périmètre de l'étude, commun à toutes les filières, est présenté sur le schéma suivant⁶¹⁰ :



La filière des papiers comptabilise les papiers graphiques (belles sortes et moyennes sortes) issus des ménages et des activités économiques. La filière carton, quant à elle, intègre les cartons d'emballages issus des ménages et des activités économiques.

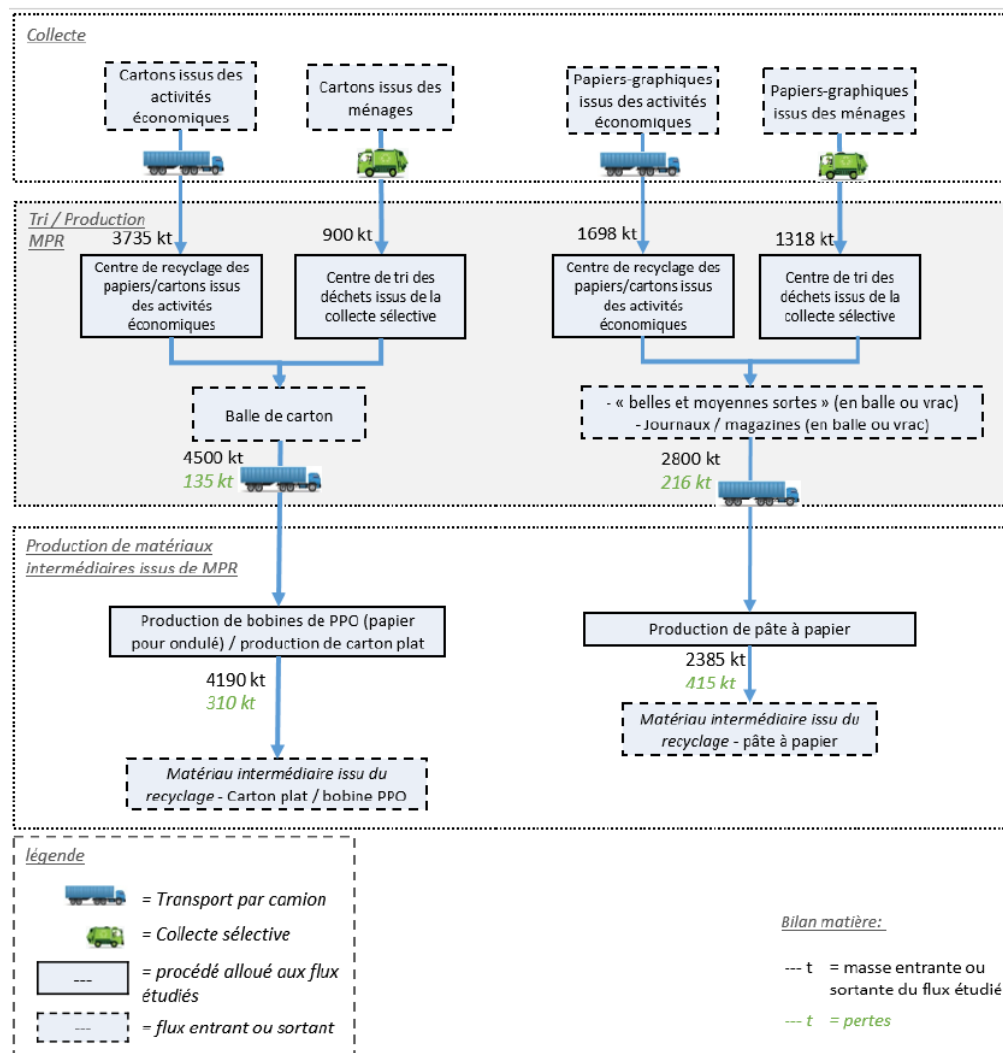


Schéma de la filière papier / carton étudiée

La filière papiers/cartons étudiée ne considère pas toute la diversité de la filière papier/carton. En effet, les papiers/graphiques issus des ménages peuvent également être utilisés dans la production de PPO (Papier Pour Ondulé) ou dans la fabrication du papier d'hygiène.

In fine, la valeur retenue est de 297 kg CO_{2e} pour la pâte à papier issue de matière primaire « vierge » et de 317 kg CO_{2e} pour la pâte à papier issue de la filière recyclage. Concernant le carton, le facteur d'émission s'élève à 390 kg CO_{2e} pour le carton issu de matière primaire « vierge » et à 670 kg CO_{2e} pour le carton issu de la filière recyclage.

Résultats par tonne collectée	Matière primaire (kWh)	Matière de recyclage (kWh)	Matière primaire (kg eq. CO ₂)	Matière de recyclage (kg eq. CO ₂)
Pâte à papier	9 193	2 739	297	317
Carton	13 115	3 017	390	670

Résultat de l'étude FEDEREC (2017)

On constate que les facteurs d'émissions provenant de matières recyclées sont plus importants que ceux des matières primaires brutes. Selon FEFCO, l'industrie du vierge utilise, en moyenne en Europe, une plus grande quantité d'énergie d'origine renouvelable (biomasse) que l'industrie du recyclé.

En cohérence avec les règles de comptabilité carbone internationales, la combustion de cette biomasse qui émet du carbone d'origine biogénique n'est pas comptabilisée dans cette étude. A défaut, s'il était comptabilisé, le carbone biogénique aurait un bilan neutre sur l'indicateur effet de serre (le carbone émis pendant la combustion étant considéré par défaut, capté pendant la croissance de la biomasse). Il est important de noter que les résultats sur l'effet de serre ne reflètent donc pas la plus grande sobriété énergétique de la filière du recyclage, comme le montrent les résultats de consommation d'énergie primaire.

Par ailleurs, les caractéristiques des données utilisées (disponibles au moment de l'étude) en limitent la validité :

- Les données utilisées pour la transformation des balles de papiers en pâte à papier (source : ADEME-COPACEL 2013) correspondent à la production de pâte à papier pour ramettes de papier. Le recyclage des journaux et magazines est approximé via ces données, alors qu'il est réalisé dans des usines intégrées où la pâte produite est immédiatement transformée en bobines de papier. Les résultats actuels désavantagent le recyclage. ;
- Les données d'inventaire de la régénération du carton (recyclage) et les données de production de carton vierge sont des données issues de moyennes européennes (FEFCO) alors que la part des fibres de récupération, utilisées par les usines papetières en France, a été de 73.6% du tonnage collecté en 2014. Enfin, selon FEDEREC, la part respective de l'utilisation de la biomasse entre les usines consommant des fibres vierges et celles consommant des fibres recyclées n'est pas la même en France que dans certains pays d'Europe, ce qui ne permet pas de mettre en évidence l'éventuelle économie de gaz à effet de serre que pourrait procurer le recyclage de la fibre.
- La filière papier est très sensible aux hypothèses utilisées, le taux de substitution et l'efficacité du procédé de recyclage sont des paramètres influents sur les résultats de la filière. L'analyse de sensibilité montre l'influence du choix de l'inventaire du cycle de vie (ICV) du papier sur les résultats. Derrière ces inventaires, c'est le type d'énergie utilisée par l'industrie du recyclé et l'industrie du vierge qui impacte fortement la contribution de l'un ou l'autre sur l'effet de serre.

Ces données ont le mérite d'exister et de permettre des premières approximations. Elles sont toutefois à considérer avec précaution.

Papier (ramette)

Une analyse de cycle de vie sur les ramettes de papier a été conduite par l'ADEME et la COPACEL en 2013 (réalisation Solinenn).

Cette étude s'est basée sur la méthodologie relative à l'affichage environnemental (BPX 30-323-0). Une revue critique a été effectuée.

Elle couvre l'ensemble du cycle de vie, néanmoins, certains postes (contributeurs théoriques) ont été exclus du périmètre :

- Les flux liés à la R&D ne sont pas pris en compte du fait de la difficulté de connaître la part de R&D qui s'applique au produit ou au système étudié;
- Les flux liés aux transports des salariés du domicile jusqu'au lieu de travail ne sont pas considérés dans l'évaluation environnementale. Il en est de même pour les déplacements professionnels;
- Les flux liés aux services associés à un produit ou un système tels que la publicité, le démarchage et le marketing sont exclus des limites du système;
- L'information relative aux impacts du déplacement des clients pour se rendre sur le lieu de vente du produit est mise à disposition du consommateur, mais pas de manière intégrée aux indicateurs concernant l'affichage environnemental des produits.

En termes de représentativité, l'étude couvre les papiers consommés en France pour l'année 2011. Ainsi, des données provenant d'usines localisées en France, Brésil, Allemagne et Finlande ont été utilisées.

Une revue critique a été effectuée.

4 catégories de pâte à papiers ainsi que la valeur moyenne d'une ramette de papier de bureau ont été étudiées. Ci-après sont présentés les résultats.

Eucalyptus	Résineux	Feuillus	Papier recyclé	Ramette papier moyenne (hors utilisation et fin de vie)
0,440	0,410	0,400	0,470	2.29

Facteurs d'émission de la pâte à papier selon le type d'essence exprimés en kg CO₂e/kg ou Kg CO₂e/ramette

Un calcul pour déterminer le FE moyen au poids à partir de la ramette moyenne permet de obtenir la valeur de 0.919 kgCO₂e/kg de papier.

Papier (Autre)

Deux facteurs d'émissions, historiquement au statut discussion depuis leur proposition par des tiers, ont récemment été validés par le COGO dans la Base Carbone® en l'absence de données plus récentes. Ces données permettent de donner un ordre de grandeur.

Ainsi, vous trouverez :

- un facteur d'émission pour un « livre 300g », proposé par Carbone 4
- un facteur d'émissions « Etiquettes papier imprimés » issu du guide sectoriel de l'ADEME "Comptabilisation des émissions de GES - Application de la méthode Bilan Carbone® à la filière viti-vinicole"[660](#)

Sources :

[\[610\] FEDEREC / Mars 2017 / Évaluation environnementale du recyclage en France selon la méthodologie de l'analyse de cycle de vie - Rapport final](#)

[\[660\] ADEME, Comptabilisation des émissions de gaz à effet de serre - Application de la méthode Bilan Carbone® à la filière viti-vinicole \(Itinéraires n°24\) - juin 2011](#)

6.1.5 Minerais, granulats et autres produits des industries extractives

Description

Ce chapitre propose les facteurs d'émissions des produits des industries extractives :

- Granulats
- Pierres de carrières
- Tourbes

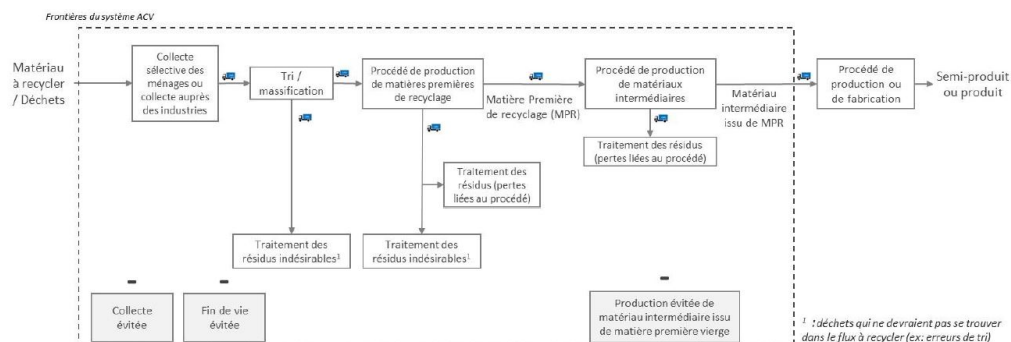
6.1.5.1 Granulats

Description

La Fédération Professionnelle des Entreprises du Recyclage (FEDEREC) a réalisé en 2017 le bilan environnemental du recyclage selon la méthode d'analyse de cycle de vie (ACV) pour les filières de recyclage les plus représentatives du marché français dont notamment les déchets du bâtiment.

Pour chaque filière sont quantifiées les émissions de gaz à effet de serre liées à la fabrication de produits à partir de matière première « vierge » et « renouvelable ». L'unité fonctionnelle utilisée dans l'étude est « Analyse de la collecte, du tri et de la transformation d'une tonne de déchets afin de produire des matériaux intermédiaires issus de MPR en substitution de matériaux intermédiaires issus de ressources vierges ».

Le périmètre de l'étude, commun à toutes les filières, est présenté sur le schéma suivant⁶¹⁰:



La filière « granulat » comptabilise les déchets de chantiers et gravats issus des ménages et assimilés collectés en déchèterie. Elle est représentée ci-dessous telle que modélisée dans cette étude :

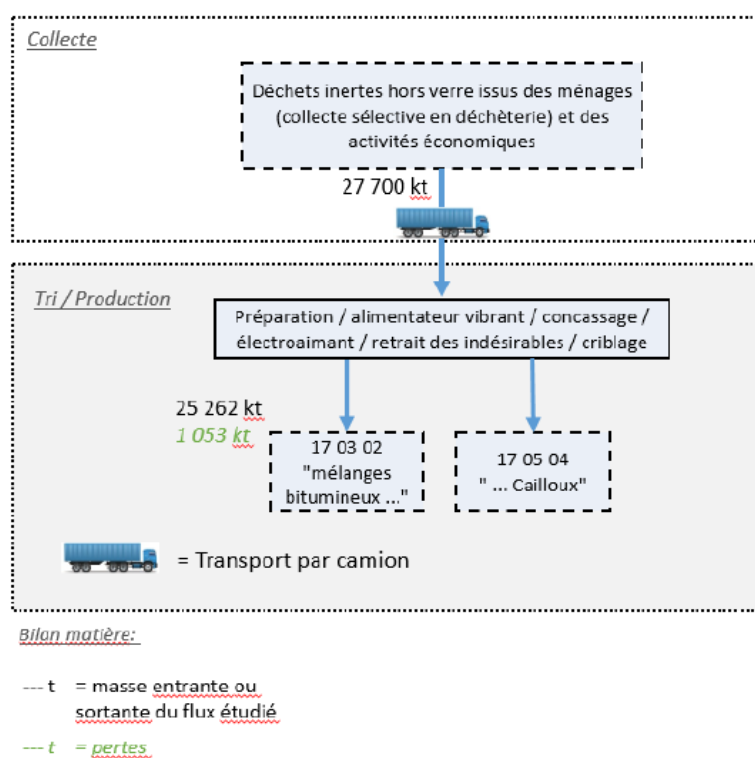


Schéma de la filière granulat étudiée

In fine , la valeur retenue est de 4kg CO_{2e} pour les granulats issus de matière primaire « vierge » et de 3 kg CO_{2e} pour les granulats issus de la filière recyclage.

Résultats par tonne collectée	Matière primaire (kWh)	Matière de recyclage (kWh)	Matière primaire (kg eq. CO ₂)	Matière de recyclage (kg eq. CO ₂)
Granulats	35	29	4	3

Résultat de l'étude FEDEREC (2017)

L'incertitude sur le facteur d'émission est prise égale à 10%.

Sources :

[\[610\] FEDEREC / Mars 2017 / Évaluation environnementale du recyclage en France selon la méthodologie de l'analyse de cycle de vie - Rapport final](#)

6.1.5.2 Tourbes

Description

L'exploitation de la tourbe, qui est une ressource fossile issue de la décomposition de matière organique, est destinée à fournir notamment les secteurs de l'horticulture et de l'énergie.

Son cycle de vie est émetteur de gaz à effets de serre (GES) sous plusieurs aspects :

- La préparation de la tourbière : son assèchement, en creusant des fossés d'évacuation ou par pompage, qui expose la tourbe à l'oxydation au contact de l'air, relarguant ainsi le carbone séquestré
- La récolte : l'action des engins mécaniques, l'oxydation de la tourbe exposée
- Le stockpiling ou la phase de séchage à l'air libre, où du carbone est encore relargué
- Son acheminement, ou fret, vers le marché
- La fin de vie de la tourbe : incinération dans le cas du secteur énergie, et décomposition de la part d'humus instable dans l'horticulture

Les facteurs d'émissions de trois types de tourbes horticoles (blondes, brunes et noires) au périmètre « cradle to gate », c'est-à-dire en intégrant les 3 premières étapes présentées ci-dessus sont proposés dans la Base Carbone®.

Les valeurs ont été calculées sur la base de l'étude de 3 sites d'extraction de la tourbe en Finlande pour l'année 2006-2007, et s'appuient également sur les résultats d'études précédentes de sites d'extraction et des recommandations du GIEC :

- GIEC IPCC. (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (Vol. 4 Agriculture, Forestry and Other Land Use). Récupéré sur [Chapter 7 Wetlands, Volume 4, 2006 IPCC Guidelines \(iges.or.jp\)](#) (inchangée par la publication 2019)
- Niko Silvan, K. S. (2012). Excavation-drier method of energy-peat extraction reduces long-term climatic impact. Boreal Environment Research, 263-276.: <https://core.ac.uk/reader/146448874>

Ces valeurs sont valables uniquement pour les technologies d'extraction classiques que sont la méthode moderne (Vacuum Harvest ou VH) et la méthode traditionnelle (Bloc Cut ou BC).

6.1.6 Plastiques et autres produits chimiques

6.1.6.1 Produits en caoutchouc et en plastique

Source des données et commentaires

L'association européenne des producteurs de plastique (dont l'intitulé en Anglais à l'époque de la publication de ce qui suit était Association of Plastic Manufacturers in Europe ou APME, devenu depuis PlasticsEurope) a publié en 1997 et 1998 des analyses de cycle de vie donnant les émissions dans l'air de CO₂, méthane, N₂O associées à la production d'un certain nombre de produits chimiques de base et de matières plastiques.

Ces documents - éventuellement actualisés - servent le plus souvent de base au calcul des facteurs d'émission en équivalent CO₂, avec les remarques suivantes :

- les PRG des gaz mineurs (méthane, protoxyde d'azote) ont changé depuis 1997, ce qui, toutes choses égales par ailleurs, change les facteurs d'émission, mais comme les ACV publiées fournissent les émissions par gaz l'adaptation est facile,
- la technologie a pu s'améliorer (ou plus rarement se dégrader) en 15 ans, ce qui peut modifier les émissions calculées à l'époque,
- le contexte économique a pu changer, ce qui peut changer les règles d'allocation si cette dernière est faite au prorata des valeurs économiques dans les process qui servent à plusieurs co-produits, ce qui est fréquent dans l'industrie chimique,
- le facteur d'émission utilisé pour l'électricité a également pu changer depuis la date de la publication, soit parce que les lieux de production ont changé, soit parce que l'électricité de réseau d'un pays a vu son facteur d'émission changer, soit parce que le facteur par producteur a changé pour les sites retenus pour les calculs (car les industriels choisissent leur producteur d'électricité, et le Bilan Carbone leur impute alors le facteur d'émission de l'électricité achetée).

Rien de ce qui précède n'est réhibitoire dans une approche en ordre de grandeur pour obtenir des valeurs moyennes acceptables pour l'Europe, mais il faut néanmoins garder ces limites en tête.

Sauf mention contraire, l'incertitude pour tous les facteurs d'émission des plastiques est de 20%, ce qui signifie que pour un plastique disposant d'un facteur d'émission de 2 550 kgCO₂e par tonne, nous nous trouvons en fait dans une fourchette de 2 050 à 3 080 kgCO₂e par tonne.

Les PRG utilisés dans la Base Carbone sont ceux de l'AR5 contrairement à ceux présentés dans cette partie de la documentation qui affiche des valeurs de l'époque. Ainsi, en cas de différence, ce sont bien les valeurs de l'application informatique qu'il convient d'utiliser.

Recyclage du plastique

Ce que l'on appelle de manière générique « recyclage du plastique » peut en pratique désigner trois procédés qui utilisent le même plastique jeté, mais ne fournissent pas la même matière en sortie :

- les techniques dites « de régénération », transforment les vieux plastiques en une pâte utilisée ensuite comme source d'énergie,
- les techniques dites « mécaniques » consistent à trier, nettoyer puis broyer les vieux plastiques pour fournir des granulés incorporés dans les processus de production d'objets en plastique. Souvent, la présence de produits non extractibles (impuretés, colorants, etc) n'autorise pas la production d'un plastique recyclé ayant les mêmes propriétés mécaniques et thermiques que le plastique initial,
- enfin les techniques dites « chimiques », les plus efficaces mais aussi les plus énergivores, consistent à retrouver le monomère de départ par décomposition thermique du polymère.

Seules les deux dernières techniques sont utiles pour déterminer le facteur d'émission d'un plastique issu de matière recyclée, puisque la régénération, contrairement à son nom, fournit de l'énergie et non du plastique en sortie.

Lorsque le recyclage est mécanique, l'énergie nécessaire pour la collecte, le broyage et le nettoyage des plastiques est en première approximation la même pour tous les plastiques. Initialement, les calculs se sont largement inspirés d'une publication réalisée en 1998 par l'EPA¹. Les données actuellement en ligne sont basées sur une actualisation de cette étude².

Polystyrène

Polystyrène primaire ou vierge

Les émissions dans l'air associées à la production du polystyrène GPPS vierge (non transformé en produit fini) sont issues de l'écoprofil de l'APME³ :

Gaz	PRG/CO2	Emissions (g/tonne)	kgCO2e / tonne produite
CO2	1	2 600 000	2 600
CH4	25	9 000	224
Total kg équivalent CO2			2 824

Facteur d'émission de la production de Polystyrène GPPS. Source APME, 1997 - PRG IPCC 2007

D'autres variétés de polystyrène sont données avec des valeurs un peu différentes :

- 2 900 kgCO2e par tonne pour le polystyrène « high impact »
- 3 600 pour le polystyrène thermoformé.

Cette ACV ne fournit pas de facteur d'émission pour le polystyrène expansé.

Faute de disposer d'autres sources, nous retiendrons la valeur proposée ci-dessus pour le polystyrène primaire : 2 824 kg équivalent CO2 par tonne.

Le styrène (donc la résine initiale) est à 2 700 kg équivalent CO2 par tonne selon cette même source.

Polystyrène recyclé

N'ayant pas de valeur, faute de mieux et par défaut, nous utiliserons le facteur d'émission équivalent au polystyrène primaire : 2 820 kg équivalent CO2 par tonne.

Polychlorure de Vinyle

Le polychlorure de vinyle, ou PVC (acronyme venant de l'appellation anglaise : PolyVinyl Chloride) peut être utilisé pour plusieurs usages : productions de pièces en plastique moulé, de pièces en plastique extrudé (tuyaux), de feuilles rigides, ou de films souples.

L'APME mentionnée plus haut fournit des éco-profils pour ces 4 usages, ainsi que pour la production de la résine initiale.

Production du polymère

A partir du monomère (le chlorure de vinyle) il existe plusieurs procédés de polymérisation pour produire du PVC, dont les performances ne sont pas identiques. Ces procédés s'intitulent respectivement « suspension », « emulsion » et « bulk ». Les usages des PVC obtenus en sortie de ces procédés sont indiqués dans le tableau ci-dessous.

Type de PVC	usages
Suspension PVC	Tuyaux, matériaux de construction, isolation de câble et autres pièces produites par injection
Emulsion PVC	Enduction
Bulk PVC	Feuille de PCV et bouteilles

Usages des différents types de PVC

Les facteurs d'émission de 1998 étaient les suivants pour ces trois procédés (Le « suspension PVC » était le plus courant à l'époque).

Type de PVC	kgCO _{2e} /tonne
Suspension PVC	2160
Emulsion PVC	2732
Bulk PVC	1932

FE de la production de PVC avant transformation, selon le procédé de polymérisation.

Source : APME, 1998 - PRG IPCC 2007

Une actualisation du calcul pour le « emulsion » effectué sur la base de données PlasticsEurope 2006 conduit aux valeurs suivantes :

Gaz	PRG/CO2	Emissions (g/tonne)	kgCO _{2e} / tonne produite
CO2	1	1 774 000	1775
CH4	25	4 000	99
Total kg équivalent CO2			1874

FE de la production de PVC avant transformation, pour le procédé « émulsion ».

Source : PlasticsEurope, 2005-2007 - PRG IPCC 2007

Nous retiendrons cette valeur actualisée, soit 1 890 kg équivalent CO2 par tonne pour une production primaire (100% de matériau vierge).

PVC transformé

Divers ecoprofils de l'APME⁴ donnent les valeurs suivantes pour les émissions des principaux gaz à effet de serre lors de la production de pièces en Polychlorure de Vinyle (ces valeurs comprennent donc à la fois la production du matériau et sa transformation en pièces) :

	CO2 (kgCO _{2e} / t)	CH4 (kgCO _{2e} / t)	total (kgCO _{2e} / t)
PVC moulé par injection	1899	216	2115
Tuyaux en PVC	2402	249	2651
Feuilles rigides de PVC	2402	209	2611
Films souples en PVC	2402	216	2618

Emissions par tonne pour divers polystyrènes travaillés.

Source : APME, 1998 - PRG IPCC 2007

Les documents utilisés ne précisent pas quel est le procédé de fabrication du polymère (bulk, suspension ou émulsion). Toutefois ces valeurs peuvent être utilisées faute de mieux pour des pièces transformées.

PVC recyclé

L'actualisation du document de l'EPA précédemment cité⁵ fournit pour le PVC 100% ex-recyclé la valeur de 400 kgCO₂e par tonne, que nous prendrons comme référence.

Polyéthylène haute densité

Polyéthylène haute densité primaire

Une autre publication de PlasticsEurope⁶ fournit les émissions dans l'air de la production d'une tonne de polyéthylène haute densité (souvent désigné par l'acronyme français PEHD, ou anglais HDPE).

Gaz	PRG/CO ₂	Emissions (g/tonne)	kgCO ₂ e / tonne produite
CO ₂	1	1 567 000	1 566
CH ₄	25	14 000	348
Total équivalent CO₂			1 914

Facteur d'émission de la production de Polyéthylène haute densité

Source : PlasticsEurope 2005 - PRG IPCC 2007

Cette valeur, cohérente avec ce qui se trouve ailleurs dans la littérature, servira de référence.

Polyéthylène haute densité issu de recyclé

La publication 2006 de l'EPA⁷ fournit comme valeur 202 kgCO₂e/tonne (la valeur était de 1000 kgCO₂e/tonne dans la version précédente, ce qui laisse supposer un fort changement de procédé), que nous prendrons par défaut.

De même que vu précédemment, une formule d'interpolation linéaire permettra de tenir compte d'un taux de recyclé variable.

Polyéthylène basse densité

Polyéthylène basse densité primaire

Une publication de PlasticsEurope⁸ propose la valeur de 2 094 kgCO₂e par tonne pour la production d'une tonne de polyéthylène basse densité (avant transformation en produit fini), ainsi qu'il suit.

Gaz	PRG/CO2	Emissions (g/tonne)	kgCO2e / tonne produite
CO2	1	1 687 000	1687
CH4	25	16 280	407
Total équivalent CO2			2094

Facteur d'émission de la production de Polystyrène basse densité.

Source : PlasticsEurope 2005 - IPCC 2007 pour les PRG

Cette valeur, cohérente avec le reste de la littérature, sera arrondie à 2 090 kgCO2e par tonne.

Polyéthylène basse densité issu de recyclé

La publication 2006 de l'EPA⁹ fournit comme valeur 202 kgCO2e/tonne, que nous prendrons par défaut.

Ici encore une interpolation linéaire permettra de tenir compte d'un taux de recyclé variable.

Polyéthylène terephthalate ou PET

PET amorphe primaire (ou vierge)

Les calculs sont basés sur une publication de PlasticsEurope de 2005¹⁰ qui donne les émissions dans l'air liées à la production d'une tonne de Polyéthylène terephthalate amorphe.

Gaz	PRG/CO2	Emissions (g/tonne)	kgCO2e / tonne produite
CO2	1	2 809 000	2809
CH4	25	18 480	462
Total équivalent CO2			3271

Facteur d'émission de la production de PET amorphe vierge.

Source PlasticsEurope 2005 - PRG IPCC 2007

Nous retiendrons donc 3 260 kgCO2e par tonne.

Autres formes de PET primaire (ou vierge)

Le PET peut également s'utiliser pour fabriquer des bouteilles ou des films. La même publication de PlasticsEurope sur le PET fournit les valeurs suivantes (après application des PRG de l'IPCC 2007) :

- PET amorphe : 4 305 kg équivalent CO₂ par tonne,
- PET qualité bouteille : 3 410 kg équivalent CO₂ par tonne,
- PET en film : 5 500 kg équivalent CO₂ par tonne (après transformation en film ; valeur arrondie à 2 chiffres significatifs).

PET issu de recyclé

Le recyclage du PET étant majoritairement mécanique, c'est la valeur de 202 kgCO₂e/tonne qui est prise par défaut pour le PET amorphe. Pour les autres formes de PET, on retranchera l'économie due au recyclage sur le PET amorphe, soit 3 263 kgCO₂e par tonne, ce qui donne :

- PET qualité bouteille 100% ex-recyclé : 348 kgCO₂e par tonne,
- PET en film : 2 460 kgCO₂e par tonne (valeur arrondie à 2 chiffres significatifs).

Une interpolation linéaire permettra ici aussi de tenir compte d'un taux de recyclé variable.

Polypropylène

Le facteur d'émission « PP Polypropylène » est issu du guide ADEME "[Comptabilisation des émissions de GES - Application à la filière viti-vinicole](#)". Ce guide sectoriel a été co-construit avec de nombreux organismes tels que l'ADEME et DR Aquitaine, Bourgogne, Champagne et Languedoc Roussillon / IFV / Centres techniques et organismes régionaux (BIVB, CIVB, CIVC) / bureaux d'études (Aventerre, Ajyr, Alain Bonhoure Conseil, Cairn Environnement, ECO2 Initiative, Envylis) / Groupe ICV (Institut coopératif du vin) / SOCOTEC, le Centre Technique Industriel UNGDA.

La donnée proposée a été déterminée à partir des Eco Profils « Plastics Europe ».

Nylon

Nous donnons, à titre indicatif, les émissions dans l'air associées à la production de Nylon fournies également par l'APME¹¹, car cela permet de fixer les idées en ce qui concerne un produit plus sophistiqué que les plastiques de base.

Gaz	PRG	Emissions (g/tonne)	kgCO ₂ e / tonne produite
CO ₂	1	6 900 000	6900,0
CH ₄	25	24.000	600,0
N ₂ O	298	740	220,5
Total équivalent CO₂			7720,5

Facteur d'émission de la production de Nylon 66.

Source : Dr. I. Boustead / 1999 / Eco-profiles in the european industry.

Plastique, valeur par défaut

Il peut arriver que, lors d'un Bilan GES, la décomposition par type de plastique utilisé ne soit pas commode à réaliser (par exemple pour tenir compte des emballages en plastique pour les produits achetés, pour lesquels la composition ne figure pas). Il faut alors recourir à une valeur moyenne, représentant les émissions moyennes liées à la production d'une tonne de plastique. Il s'agit, en quelque sorte, d'une valeur tenant compte des tonnages respectifs des différentes qualités de plastique et des facteurs d'émission par plastique.

Le mémento des décideurs de la MIES¹² donne une valeur moyenne pour le plastique de 2350 kg équivalent CO₂ par tonne. Ce montant étant cohérent avec les valeurs obtenues ci-dessus pour les plastiques les plus courants, nous la retiendrons, faute de mieux, lorsque le type de plastique n'est pas connu.

Pour le plastique 100% ex-recyclé nous prendrons la valeur de 202 kgCO₂e par tonne par défaut, en faisant l'hypothèse que le mode largement dominant de recyclage est mécanique.

Sources :

US Environment Protection Agency / 1998 / Greenhouse Gas Emissions From Management of Selected Materials in Municipal Waste.

Solid Waste Management and Greenhouse Gases: A Life-Cycle Assessment of Emissions and Sinks, 3rd Edition, Chapter 3, Source Reduction and Recycling, EPA, 2006

Dr. I. Boustead / avril 1997 / Eco-profiles in the european industry - report 4 : polystyrene (second edition). Il s'agit de polystyrène GPPS (General Purpose Polystyrene) : polystyrène pur, contenant peu d'additifs ; produit clair et cassant.

Dr. I. Boustead / Mai 1998 / Eco-profiles in the european industry - LCA-reports, Polyvinyl chloride - PVC injection moulding

Solid Waste Management and Greenhouse Gases: A Life-Cycle Assessment of Emissions and Sinks, 3rd Edition, Chapter 3, Source Reduction and Recycling, EPA, 2006



Eco-profiles of the European Plastics Industry, HIGH DENSITY POLYETHYLENE (HDPE), The European Council of Vinyl Manufacturers (ECVM) & PlasticsEurope, March 2005

Solid Waste Management and Greenhouse Gases: A Life-Cycle Assessment of Emissions and Sinks, 3rd Edition, Chapter 3, Source Reduction and Recycling, EPA, 2006

Eco-profiles of the European Plastics Industry, LOW DENSITY POLYETHYLENE (LDPE), The European Council of Vinyl Manufacturers (ECVM) & PlasticsEurope, March 2005

Solid Waste Management and Greenhouse Gases: A Life-Cycle Assessment of Emissions and Sinks, 3rd Edition, Chapter 3, Source Reduction and Recycling, EPA, 2006

1. Eco-profiles of the European Plastics Industry, POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET) (MORPHOUS GRADE), The European Council of Vinyl Manufacturers (ECVM) & PlasticsEurope, March 2005

1. Dr. I. Boustead / 1999 / Eco-profiles in the european industry. (Année de référence des années 1995)

2. Mission Interministérielle de l'Effet de Serre / juin 1999 / Mémento des décideurs.

6.1.6.2 Produits chimiques (hors plastiques)

Description

La classification retenue pour les produits chimiques est la suivante :

- Les produits chimiques de base
- Les engrais et composés azotés
- Les pesticides et autres produits agrochimiques
- Les peintures et résines
- Les autres produits chimiques

En fonction des contributions à la Base Carbone ®, cette classification pourra être amenée à évoluer.

6.1.6.2.1 Produits chimiques de base

Description

Cette section propose des données issues du guide "[Comptabilisation des émissions de GES - Application de la méthode Bilan Carbone® à la filière viti-vinicole](#)"⁶⁶⁰ de 2011 a répertorié près de 80 facteurs d'émissions en lien avec l'activité viticole, compilant diverses sources de données pertinentes pour le secteur (Cairn environnement, AJYR,...). Retrouvez le tableau détaillé pages 22 et 23.

Ce guide sectoriel de l'ADEME a été co-construit avec de nombreux organismes tels que l'ADEME et DR Aquitaine, Bourgogne, Champagne et Languedoc Roussillon / IFV / Centres techniques et organismes régionaux (BIVB, CIVB, CIVC) / bureaux d'études (Aventerre, Ajyr, Alain Bonheure Conseil, Cairn Environnement, ECO₂ Initiative, Envylis) / Groupe ICV (Institut coopératif du vin) / SOCOTEC, le Centre Technique Industriel UNGDA.

Sources :

[\[660\] ADEME, Comptabilisation des émissions de gaz à effet de serre - Application de la méthode Bilan Carbone® à la filière viti-vinicole \(Itinéraires n°24\) - juin 2011](#)

6.1.6.2.2 Engrais et composés azotés

Description

Cette section concerne les émissions liées à la fabrication des engrais et composés azotés.

Les émissions liées à l'épandage de ces engrais sont traitées dans le [chapitre sur les sols agricoles](#).

Production des engrais

Les valeurs proposées ci-dessous sont issues du guide GESTIM+⁵⁵³.

Par rapport à la version précédente (guide GESTIM⁵⁵⁰), les données ont été entièrement revues afin de produire des facteurs d'émissions spécifiques pour la France : utilisation des données de Fertilizer Europe pour la fabrication des engrais, intégration de toutes les origines des matières premières et des transports associés, etc...

Type d'intrant	Composition	Unité d'élément nutritif	kg CO ₂ /kg d'élément nutritif	kg N ₂ O/kg d'élément nutritif	kg CH ₄ /kg d'élément nutritif
Ammonitrate	33,5% N	kg N	3,37	1,51E-3	1,05E-4
Ammonitrate calcaire	27% N	kg N	3,56	1,48E-3	1,34E-4
Solution azotée*	30% N	kg N	3,60	4,24E-3	8,41E-5
Urée*	46% N	kg N	4,24	4,02E-3	7,25E-5
Engrais azoté moyen		kg N	3,67	2,24E-3	9,40E-5
Trisuperphosphate (TSP)	46% P ₂ O ₅	kg P ₂ O ₅	1,34	2,89E-5	6,33E-5
Monoammonium phosphate	11% N + 54% P ₂ O ₅	kg P ₂ O ₅	1,71	3,81E-5	9,38E-5
Dinoammonium phosphate	18% N + 46% P ₂ O ₅	kg P ₂ O ₅	2,79	4,68E-5	1,19E-4
Engrais phosphaté moyen		kg P ₂ O ₅	1,34	2,89E-5	6,33E-5
Clorure de Potasse (KCl)	60% K ₂ O	kg K ₂ O	0,67	2,71E-5	3,31E-5
Nitrate de potassium	44% K ₂ O + 14%N	kg K ₂ O	2,34	9,93E-4	7,18E-5
Nitrate de Potasse	44%	kg K ₂ O	2,34	9,93E-4	7,18E-5
Engrais potassique moyen		kg K ₂ O	0,67	2,71E-5	3,31E-5

* la production d'urée CO(NH₂)₂ capture une molécule de CO₂. Cela réduit l'émission au stade industriel, mais cette molécule est libérée au moment de l'hydrolyse de l'urée apportée au sol. Cette captation temporaire ayant lieu lors de la fabrication n'a ici pas été intégrée. Il n'est donc pas nécessaire d'ajouter des émissions au champ pour estimer l'impact total de ces engrais. Par rapport aux références intégrant la réduction au stade industriel, l'écart ici est de : +1.593 kg CO₂/kg de N de l'urée, +0.797 kg de CO₂/kg de N de la solution azotée (50% du N sous forme urée).

Impacts des engrais minéraux liés à la fabrication des engrais, de leurs matières premières et à leur transport, pour un approvisionnement moyen France, références

produites sur la base des données de la WFLDB 3.3 et des statistiques de l'UNIFA (Source guide GES'TIM+).

Pour obtenir les émissions il faut multiplier la dose d'élément nutritif par le facteur d'émission correspondant. Pour les engrais binaires ou ternaire, il faut sommer les émissions de chaque élément nutritif.

Par exemple pour l'utilisation d'un engrais ternaire, les émissions à l'hectare (kgCO_{2e}/ha) se calculeront comme suit :

$$\text{dose N(kgN/ha)} * 5,29 + \text{dose P(kgP}_2\text{O}_5\text{/ha)} * 0,94 + \text{dose K(kg K}_2\text{O/ha)} * 0,51$$

Par ailleurs, une publication de la Station Fédérale de Recherches en Economie et Technologie Agricoles (en abrégé FAT)², en Suisse présente des données complémentaires rassemblées dans le tableau ci-dessous :

Type d'engrais	Unité	Emissions en mg de gaz/unité		
		CO ₂	N ₂ O	CH ₄
Nitrate ammoniacque phosphate	kg N	1,41E+06	21	9420
Nitrate d'ammoniacque phosphate (ASP)	kg P	1,54E+06	40	2490
Scories thomas	kg P	1,10E+06	22,6	1440
Fumier en tas	tonne	2,94E+06	64,7	9120
Lisier	m ³	2,92E+06	98,8	6960

Emissions de gaz à effet de serre par unité dans l'engrais.

Type d'engrais	Unité	Equivalent CO ₂ en kg/unité		
		CO ₂	N ₂ O	CH ₄
Nitrate amoniacque phosphate	kg N	0,385	0,007	0,235
Nitrate d'amoniacque phosphate (ASP)	kg P	0,42	0,011	0,062
Scories thomas	kg P	0,3	0,007	0,037
Fumier en tas	tonne	0,802	0,018	0,227
Lisier	m ³	0,796	0,029	0,172

Facteurs d'émission de la production d'engrais par unité dans l'engrais.

Le poids d'azote dans la majorité des engrais de synthèse varie de 30% à 50%.

L'incertitude sur ces valeurs - valables pour l'Europe - est de 30%.

Sources :

[\[550\] guide GESTIM - l'Institut de l'élevage, IFIP, ITAVI, ARVALIS Institut du Végétal, CETIOM, ITB\)](#)
[\[551\] Gaillard & al. / 1997 / Inventaire environnemental des intrants agricoles en production végétale / Comptes rendus de la FAT.](#)
[\[553\] GESTIM+ : la référence méthodologique pour l'évaluation de l'impact des activités agricoles sur l'effet de serre, la préservation des ressources énergétiques et la qualité de l'air \(Institut de l'élevage, IFIP, ITAVI, ARVALIS Institut du Végétal, CETIOM, ITB\)](#)

6.1.6.2.3 Pesticides et autres produits agrochimiques

Description

Un pesticide est une substance répandue sur une culture pour lutter contre des organismes considérés comme nuisibles. C'est un terme générique qui rassemble les insecticides, les fongicides, les herbicides, les parasitocides. Ils s'attaquent respectivement aux insectes ravageurs, aux champignons, aux « mauvaises herbes » et aux vers parasites⁵⁵².

Comme pour les engrais, les mêmes publications de GESTIM⁵⁵⁰ et de la FAT⁵⁵¹ propose des analyses de cycle de vie permettant de déboucher sur les émissions dans l'air liées à la production des phytosanitaires désormais utilisés de manière courante en agriculture (herbicides, insecticides, fongicides...).

Herbicides

Comme les engrais sont mesurés en unités d'azote, les phytosanitaires en agriculture sont souvent mesurés en "kg de matières actives" : on ne regarde alors que le seul poids du principe actif, lequel est généralement dilué dans un ou plusieurs excipient(s) (qui peu(ven)t n'être que de l'eau, tout simplement) pour aboutir à une formulation vendue avec une dénomination commerciale.

La difficulté pratique sur laquelle on bute souvent pour appliquer les facteurs d'émission ci-dessous, qui se rapportent à des noms de principes actifs, est que la dénomination commerciale n'a souvent pas de consonance évidente avec le nom du principe actif, exactement comme pour les médicaments.

Les chiffres de la publication de la FAT pour les herbicides sont rassemblés dans le tableau ci-dessous.

Matière actives herbicides	Emissions en mg par kg de matière active		
	CO ₂	N ₂ O	CH ₄
Amidosulfuron	9,59E+06	258	31500
Asulame	8,03E+06	222	28500
Atrazine	5,02E+06	126	21000
Bifenox	2,63E+06	76,5	6920
Carbétamide	8,03E+06	222	28500
Chlortoluron	9,59E+06	258	31500
Dinosèbe	2,21E+06	43,2	7710
Ethofumesate	8,64E+06	231	25900
Fluroxypyr	2,00E+07	538	49000
Glyphosate	1,59E+07	495	44700
Ioxynil	8,64E+06	231	25900
Isoproturon	9,59E+06	258	31500
MCPA	4,22E+06	103	11900
MCPB	7,86E+06	208	20400
Mecoprop P	7,86E+06	208	20400
Metamitrone	8,16E+06	208	25500
Metolachlore	9,03E+06	233	25500
Pendimethaline	3,59E+06	104	13500
Phenmediphame	8,03E+06	222	28500
Pyridate	8,64E+06	231	25900
Rimsulfuron	9,59E+06	258	31500
Tébutame	8,63E+06	226	24900
Terbuthylazine	8,16E+06	208	25500

FE de différents herbicides

Lorsque l'herbicide employé n'est pas connu, nous proposons comme valeur par défaut la donnée du guide GESTIM dont les valeurs par gaz sont présentées ci-dessous.

Intitulé	Kg CO ₂ / kg de matière active	Kg CH ₄ / kg de matière active	Kg N ₂ O/ kg de matière active
Herbicide moyen	8,33217	0,02548	0,00022

FE de l'herbicide moyen

Fongicides

La même publication donne les chiffres suivants pour les matières actives :

Matière actives Fongicides	Emissions en mg par kg de matière active		
	CO ₂	N ₂ O	CH ₄
Carbendazime	1,39E+07	367	38800
Chlorothalonil	3,26E+06	104	10800
Fenpropimorphe	5,53E+06	150	18400
Flusilazole	5,53E+06	150	18400
Mancozèbe	2,46E+06	65	12100
Manèbe	2,56E+06	70,4	13100
Prochloraze	5,53E+06	150	18400
Tebuconazole	5,53E+06	150	18400

FE de différents fongicides

Lorsque le fongicide employé n'est pas connu, nous proposons comme valeur par défaut la donnée du guide GESTIM dont les valeurs par gaz sont présentées ci-dessous .

Intitulé	Kg CO ₂ / kg de matière active	Kg CH ₄ / kg de matière active	Kg N ₂ O/ kg de matière active
Fongicide moyen	5,537	0,01855	0,00015

FE du fongicide moyen

Insecticides

Le guide GESTIM donne les chiffres suivants pour les deux matières actives étudiées:

Intitulé	Kg CO ₂ / kg de matière active	Kg CH ₄ / kg de matière active	Kg N ₂ O/ kg de matière active
Insecticide moyen	23,7	0,0543	0,00063

FE de l'insecticide moyen

Molluscides

La publication de la FAT donne les chiffres suivants pour la seule matière active étudiée :

Matière actives molluscides	Emissions en mg par kg de matière active			total kgCO _{2e} /kg
	CO ₂	N ₂ O	CH ₄	
Methiocarbe	8,03E+06	222	28500	9.02

FE d'un molluscide

Cette valeur servira aussi de valeur par défaut lorsqu'une autre matière active sera utilisée, avec un facteur d'incertitude de 50% en pareil cas.

Régulateurs de croissance

Le guide GESTIM donne les chiffres suivants pour les régulateurs de croissance:

Intitulé	Kg CO ₂ / kg de matière active	Kg CH ₄ / kg de matière active	Kg N ₂ O/ kg de matière active
Régulateur de croissance moyen	7,86	0,0241	0,00021

FE des régulateurs de croissance

Valeur par défaut

Lorsque seul le poids de matières actives sera connu, sans distinction de nature (herbicides, fongicides, etc.) la valeur par défaut correspondra à la proportion de chaque matière active dans une grande culture standard, soit 10% d'insecticides et 90% d'herbicides et fongicides, le tout amenant à une valeur approximative de 9,2 tonnes équivalent CO₂ par tonne de matière active avec un facteur d'incertitude de 30%.

Sources :

- [550] [*guide GESTIM - l'Institut de l'élevage, IFIP, ITAVI, ARVALIS Institut du Végétal, CETIOM, ITB*](#)
 [551] [*Gaillard & al. / 1997 / Inventaire environnemental des intrants agricoles en production végétale / Comptes rendus de la FAT.*](#)
 [552] <http://fr.wikipedia.org/wiki/Pesticide>

6.1.6.2.4 Peintures et résines

Description

On retrouvera dans cette catégorie, les facteurs d'émissions pour les peintures, vernis et revêtements similaires, encres d'imprimerie et mastics.

Méthodologie

Les facteurs d'émissions retenus ici, ont été calculés dans le cadre du [Base IMPACT ®](http://www.base-impacts.ademe.fr) (www.base-impacts.ademe.fr).

Les hypothèses de calculs seront disponible mi 2015 dans le présent document

6.1.6.2.5 Autres produits chimiques

Description

Cette section propose des données issues du guide "[Comptabilisation des émissions de GES - Application de la méthode Bilan Carbone® à la filière viti-vinicole](#)"⁶⁶⁰ de 2011 a répertorié près de 80 facteurs d'émissions en lien avec l'activité viticole, compilant diverses sources de données pertinentes pour le secteur (Cairn environnement, AJYR,...). Retrouvez le tableau détaillé pages 22 et 23.

Ce guide sectoriel de l'ADEME a été co-construit avec de nombreux organismes tels que l'ADEME et DR Aquitaine, Bourgogne, Champagne et Languedoc Roussillon / IFV / Centres techniques et organismes régionaux (BIVB, CIVB, CIVC) / bureaux d'études (Aventerre, Ajyr, Alain Bonheure Conseil, Cairn Environnement, ECO₂ Initiative, Envylis) / Groupe ICV (Institut coopératif du vin) / SOCOTEC, le Centre Technique Industriel UNGDA.

Sources :

[\[660\] ADEME, Comptabilisation des émissions de gaz à effet de serre - Application de la méthode Bilan Carbone® à la filière viti-vinicole \(Itinéraires n°24\) - juin 2011](#)

6.1.7 Produits minéraux non métallique

Description

Le secteur des produits minéraux non métalliques regroupe la production de ciment, de céramiques, de verre et de chaux.

Il s'agit d'industries manufacturières traditionnelles et bien établies, dont la caractéristique principale est qu'elles transforment des minéraux présents à l'état naturel, comme le calcaire, la silice et l'argile, par le biais d'un processus énergivore.⁵⁵⁵

Sources :

[\[555\] site de la commission européenne](#)

6.1.7.1 Verre et articles en verre

Description

Les différents types de verres proposés dans la Base Carbone ® sont :

- le verre d'emballage : bouteilles, flacons...
- le verre plat flotté : vitrerie, bâtiment, automobile, miroiterie...
- le verre plat courbé
- le verre plat renforcé
- le verre plat de sécurité laminé
- le verre plat à motifs
- le cristal (ou verre plat au plomb)

On notera que le **verre d'emballage** et le **verre flotté plat** sont les deux principaux types de verres.

Méthodologie

Les facteurs d'émissions retenus ici sont tirés de la [Base IMPACT ®](#).

Postes

La production de verre fait intervenir plusieurs sources d'émissions significatives :

- l'énergie utilisée dans les fours, et pour la rectification en sortie de four
- la production d'intrants (dont du carbonate de soude)
- la décarbonatation d'une partie des intrants
- la production d'emballages,
- du fret intermédiaire, et des émissions tertiaires : déplacements, bureaux, etc.

Nous ne disposons pas du détail de ces postes pour les éléments provenant de la Base IMPACT ®.

Valeurs

Les facteurs d'émissions massique ci-dessous sont valides sur le périmètre Europe :

Nom	Valeur	Hypothèse d'incorporation de calcin	Taux de recyclé
Verre d'emballage	0,81 kgCO _{2e} / kg	70%	70%
Verre flotté plat	1,26 kgCO _{2e} / kg	4%	4%
Verre courbé	2,39 kgCO _{2e} / kg	25%	25%
Verre renforcé (verre monocouche de sécurité-ESG) (épaisseur 1 mm; densité 2.5 kg/m2)	4,56 kgCO _{2e} / kg	10%	10%
Verre de sécurité laminé; RER	3,42 kgCO _{2e} / kg	25%	25%
Cristal/Verre au plomb; RER	1,90 kgCO _{2e} / kg	Non précisé	0%
Verre à motifs; RER	1,16 kgCO _{2e} / kg	Non précisé	0%

Facteurs d'émission des différents type de verre

Source : Base IMPACT - PRG AR4

Les PRG utilisés dans la Base Carbone sont ceux de l'AR5 contrairement à ceux présentés dans cette partie de la documentation qui reste à actualiser. Ainsi, en cas de différence, ce sont bien les valeurs de l'application informatique qu'il convient d'utiliser.

6.1.7.2 Ciments, chaux, plâtres, bétons

Ciment

Description

Le ciment est un liant hydraulique, une matière inorganique finement moulue qui, gâchée avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit en réaction au processus d'hydratation. Après durcissement, cette pâte conserve sa résistance et sa stabilité, même sous l'eau. Le ciment est un constituant de base du béton.

Le terme générique "béton" désigne un matériau de construction composite fabriqué à partir de granulats (sable, graves) agglomérés par un liant. On parle de liant hydraulique (couramment appelé ciment) quand il fait prise par hydratation, on obtient dans ce cas un béton de ciment. On peut aussi utiliser un liant dit hydrocarboné (bitume), ce qui conduit à la fabrication du béton bitumineux.

Clinker et ciment portland

Le clinker est un liant hydraulique obtenu par calcination du calcaire, et le principal constituant du ciment.

Contexte

Le facteur d'émissions du ciment est issu d'une ACV par l'ATIL (Association Technique de l'Industrie des Liants hydrauliques). La démarche et les résultats de cette ACV sont présent dans le module d'information environnementale de l'ATILH édité en juin 2011⁵⁸⁰ (édition juin 2011 - Version 2). Il correspond à l'étape de production des ciments.

La version publique est disponible en ligne sur <http://www.infociments.fr/developpement-durable/construction-durable/icv-ciments>

Une revue critique a été réalisée en 2011. Cette revue critique a été conduite conformément à la norme ISO 14044 § 6 par Henri Lecouls - Consultant en gestion de l'environnement, et auteur de plusieurs FDES.

Le facteur d'émission du ciment CEM I car c'est le ciment Portland le plus émissif disponible sur le marché français. Il est à noter que d'autres ciments Portland moins émissif sont disponibles (ex. CEM II/A-S, CEM III/A, CEM V/A, etc.).

Résultats

Le ciment Portland CEM I a donc un facteur d'émissions de **866 kgCO_{2e} / tonne de ciment**.

Béton armé

Description

Le béton est un matériau de construction composé de granulats (pierre de carrière concassées, ou granulats directement prélevés dans un lit de rivière) et d'un liant, en général du ciment. Lorsque ce béton est coulé autour d'une armature en ferraille, on parle de béton armé.

Comme le facteur d'émission des granulats est assez bas, le facteur d'émission d'un béton non armé est directement fonction du poids de ciment dans le total et du % de clinker dans le ciment.

Contexte

Le facteur d'émission du béton armé provient de la valeur de la FDES d'un béton de poteau de section 25*25 cm armée avec un ratio d'acier de 80 kg/m³ ⁵⁸¹ soit un taux de ferrailage classique. Cette FDES est disponible sur la base INIES et a été réalisé avec BETie.

Résultat

L'impact CO₂ de cette poutre est de 398 kg de CO₂/m³ soit **159 kgCO_{2e} / tonne de béton** (on a considéré un poids de 2,5 tonnes/m³).

Béton (C25/30CEM II)

Le facteur d'émission « Béton - (C25/30CEM II) » est historiquement issu d'une proposition de Lafarge. Son ordre de grandeur a été confirmé à partir des données issues du guide sectoriel « Travaux Publics » ⁵⁸², le jugeant pertinent pour une première approche, et permettant de valider le facteur d'émissions.

Sources :

[\[580\] Module d'information environnementale de l'ATILH édité en juin 2011](#)

[\[581\] Fiche FDES d'un béton de poteau de section 25*25 cm armée avec un ratio d'acier de 80 kg/m³](#)

[\[582\] ADEME - FNTP, Réaliser une analyse environnementale dans les Travaux Publics - guide sectoriel 2015](#)

6.1.7.3 Matériaux de construction en terre cuite

Description

Les matériaux de construction en terre cuite sont tirés de la base de données de matériaux de construction INIES ⁵⁹⁰ (www.inies.fr).

Sources :

[\[590\] INIES](#)

6.1.7.4 Enrobés pour route

Description

Un enrobé (ou enrobé bitumineux) est un mélange de graviers, sable et de liant hydrocarboné (appelé couramment goudron ou bitume) appliqué en une ou plusieurs couches pour constituer la chaussée des routes⁵⁶⁰.

La seule publication actuellement disponible en France est une étude réalisée par Colas en septembre 2003⁵⁹⁵, d'où sont tirés les chiffres ci-dessous.

Constituants primaires

Tout comme un bâtiment est réalisé à partir de constituants primaires tels que métaux, plastiques, béton, etc., une voie routière est réalisée à partir de composants primaires qui sont mis en jeu de manière variable selon le type de voie qui est construite. En fait les véritables constituants primaires rentrent dans 3 catégories :

- des granulats, c'est-à-dire des constituants provenant de carrières et plus ou moins finement concassés,
- du liant, qui est l'équivalent routier du ciment,
- enfin du métal, pour faire des glissières ou des équivalents routiers du béton armé.

Ces composants sont alors mélangés en parts variables et fournissent des "produits" qui sont directement utilisés lors de la construction, et qui portent des noms usuels pour les sociétés de travaux routiers.

Seuls sont mentionnés ci-dessous les produits dont les équivalents CO₂ ne sont pas abordés au chapitre métaux (donc notamment pas l'acier). Il s'agit pour l'essentiel de constituants propres à la construction de voies routières. La publication discrimine les émissions des phases de fabrication, de transport et de mise en œuvre. Le cas échéant, il sera donc possible de "réduire" les facteurs d'émission si l'une de ces phases est absente du cas considéré. Il s'agit bien entendu de valeurs moyennes.

Produit	KgCO _{2e} / tonne
Béton bitumineux	55
Grave bitume 3	48
Enrobé à module élevé	55
Enrobé tiède	51
Grave émulsion	29
Béton bitumineux à froid	37
Grave ciment	51
Grave ciment préfissurée	51
Grave liant hydraulique	22
Grave liant routier préfissurée	22
Béton de ciment (routier)	136
Béton armé continu (routier)	202
Grave non traitée	15
Sol traité liant routier	15
Recyclage en place à chaud (REC)	40
Béton bitumineux avec 10% REC	51
Béton bitumineux avec 20% REC	44
Béton bitumineux avec 30% REC	40
Béton bitumineux avec 50% REC	37
Recyclage en place à l'émulsion	11

Facteurs d'émission des matériaux de construction des routes et parking

Dans la mesure où ces valeurs incluent la mise en œuvre, il n'y a pas lieu de tenir compte d'un quelconque supplément à ce titre (les émissions du siège ne sont pas réintégrées au prorata, mais comme pour toute activité industrielle il est peu probable que cela change significativement les valeurs). Incidemment notons que le pourcentage du "supplément d'émissions" lié au transport et à la mise en œuvre oscille entre 10% et 30% (le gravier non traité sortant du lot avec 50%) et que la moyenne s'établit à un peu plus de 15% (tableau ci-dessous).

Produit	Supplément transport & mise en œuvre
Béton bitumineux	12%
Grave bitume 3	15%
Enrobé à module élevé	11%
Enrobé tiède	13%
Grave émulsion	24%
Béton bitumineux à froid	20%
Grave ciment	11%
Grave ciment préfissurée	10%
Grave liant hydraulique	28%
Grave liant routier préfissurée	29%
Béton de ciment	5%
Béton armé continu	3%
Grave non traitée	51%
Sol traité liant routier	13%
Béton bitumineux avec 10% REC	12%
Béton bitumineux avec 20% REC	13%
Béton bitumineux avec 30% REC	12%
Béton bitumineux avec 50% REC	11%
Recyclage en place à l'émulsion	15%
Moyenne	16%

Pourcentage supplémentaire engendré par le transport et la mise en œuvre des matériaux de construction des routes et parkings

Cela incite à prendre comme référence cette valeur de 15% pour les émissions liées à la phase de construction. En d'autres termes, lorsque les émissions de **construction d'un bâtiment** seront déduites des poids de matériaux mis en œuvre, **on rajoutera un supplément de 15% aux émissions de fabrication des matériaux** utilisés pour tenir compte de cette étape.

Sources :

[560] <http://fr.wikipedia.org/wiki/Enrob%C3%A9>

[595] COLAS, 2003, ACV, *La route écologique du futur*

6.1.8 Métaux et produits métalliques

Ce chapitre traite de la fabrication des métaux :

- Acier
- Aluminium

■ Autre métaux

6.1.8.1 Acier

Description

La production d'acier peut se faire de deux manières :

- par réduction de minerai de fer avec du coke,
- par fonte de ferrailles, généralement dans des fours électriques.

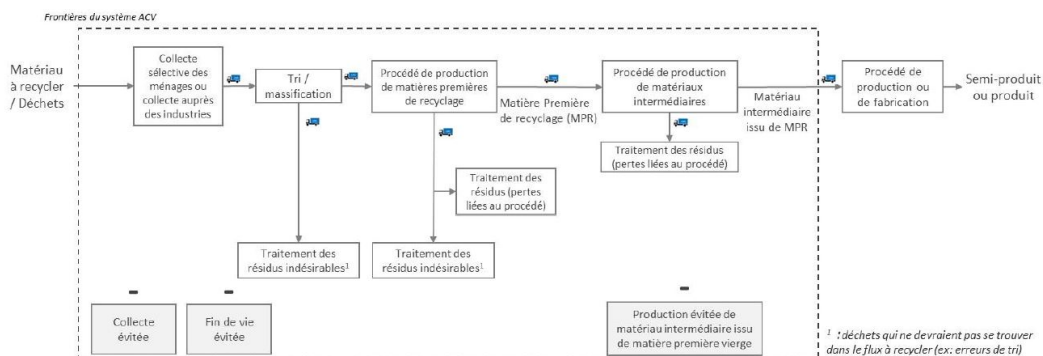
Dans le premier cas de figure, les émissions de CO₂ sont essentiellement engendrées par l'oxydation du carbone (du coke) lors de la réduction du minerai de fer, ainsi que par la combustion du gaz de cokéfaction (qui contient beaucoup de monoxyde de carbone). Dans le deuxième cas de figure, c'est la production de l'électricité utilisée qui compte le plus.

Analyse de Cycle de Vie

La Fédération Professionnelle des Entreprises du Recyclage (FEDEREC) a réalisé en 2017 le bilan environnemental du recyclage selon la méthode d'analyse de cycle de vie (ACV) pour les filières de recyclage les plus représentatives du marché français dont notamment les (ferrailles, l'Aluminium, et le Cuivre, papiers, cartons, verre d'emballage, PET, PEhd d'emballage, déchets du bâtiment et les chiffons textiles).

Pour chaque filière sont quantifiées les émissions de gaz à effet de serre liées à la fabrication de produits à partir de matière première « vierge » et « renouvelable ». L'unité fonctionnelle utilisée dans l'étude est « Analyse de la collecte, du tri et de la transformation d'une tonne de déchets afin de produire des matériaux intermédiaires issus de MPR en substitution de matériaux intermédiaires issus de ressources vierges ».

Le périmètre de l'étude, commun à toutes les filières, est présenté sur le schéma suivant⁶¹⁰ :



La filière « métaux ferreux » comptabilise les ferrailles apportées par les ménages et assimilés dans les déchèteries ou directement sur les recycleurs de ferrailles, déchets de démolition, déchets industriels, DEEE, VHU et emballages.

In fine, la valeur retenue est de 2211 kg CO_{2e} pour les métaux ferreux issus de matière primaire « vierge » et de 938 kg CO_{2e} pour les métaux ferreux issus de la filière recyclage.

Résultats par tonne collectée	Matière primaire (kWh)	Matière de recyclage (kWh)	Matière primaire (kg eq. CO ₂)	Matière de recyclage (kg eq. CO ₂)
Ferraille/Acier	6 248	3 763	2 211	938

Résultat de l'étude FEDEREC (2017)

L'incertitude sur le facteur d'émission est prise égale à 10%.

Sources :

[\[610\] FEDEREC / Mars 2017 / Évaluation environnementale du recyclage en France selon la méthodologie de l'analyse de cycle de vie - Rapport final](#)

6.1.8.2 Aluminium

Description

La production d'aluminium est une source de gaz à effet de serre du fait :

- de l'énergie utilisée pour extraire la bauxite, la transformer en alumine, puis électrolyser l'alumine fondue (avec des consommations secondaires non négligeables pour la production d'anodes et d'autres intrants)
- d'émanation de perfluorocarbures (notamment du CF₄) lors de l'électrolyse de l'alumine (à laquelle on ajoute des additifs fluorés pour cette opération, lesquels réagissent pour partie avec l'anode en carbone).

Pour faire une tonne d'aluminium en lingots, il faut extraire (en moyenne) 5 168 kg de bauxite, qui donnera 1 925 kg d'alumine, laquelle sera électrolysée en consommant 441 kg d'anode, pour finir par donner une tonne de métal pur.

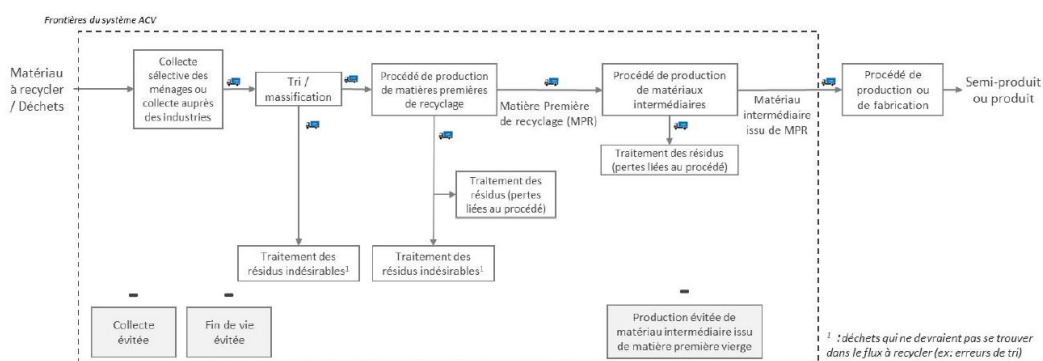
La très importante quantité d'électricité utilisée pour l'électrolyse conduit à une dispersion très forte des résultats selon le pays de production : une publication technique fait ainsi état de valeurs qui vont de 1,7 à 23 tonnes de CO₂ par tonne d'aluminium primaire selon le procédé et la zone de production⁶⁰⁵.

Analyse de Cycle de Vie

La Fédération Professionnelle des Entreprises du Recyclage (FEDEREC) a réalisé en 2017 le bilan environnemental du recyclage selon la méthode d'analyse de cycle de vie (ACV) pour les filières de recyclage les plus représentatives du marché français dont notamment les ferrailles, l'Aluminium, et le Cuivre.

Pour chaque filière sont quantifiées les émissions de gaz à effet de serre liées à la fabrication de produits à partir de matière première « vierge » et « renouvelable ». L'unité fonctionnelle utilisée dans l'étude est « Analyse de la collecte, du tri et de la transformation d'une tonne de déchets afin de produire des matériaux intermédiaires issus de MPR en substitution de matériaux intermédiaires issus de ressources vierges ».

Le périmètre de l'étude, commun à toutes les filières, est présenté sur le schéma suivant⁶¹⁰ :



La filière « aluminium » comptabilise l'aluminium apportés par les ménages et assimilés dans les déchèteries ou directement sur les recycleurs de ferrailles, déchets de démolition, déchets industriels, DEEE, VHU et emballages aluminium.

In fine, la valeur retenue est de 7803 kg CO_{2e} pour les métaux ferreux issus de matière primaire « vierge » et de 562 kg CO_{2e} pour les métaux ferreux issus de la filière recyclage.

Résultats par tonne collectée	Matière primaire (kWh)	Matière de recyclage (kWh)	Matière primaire (kg eq. CO ₂)	Matière de recyclage (kg eq. CO ₂)
Aluminium	43 525	2 656	7 803	562

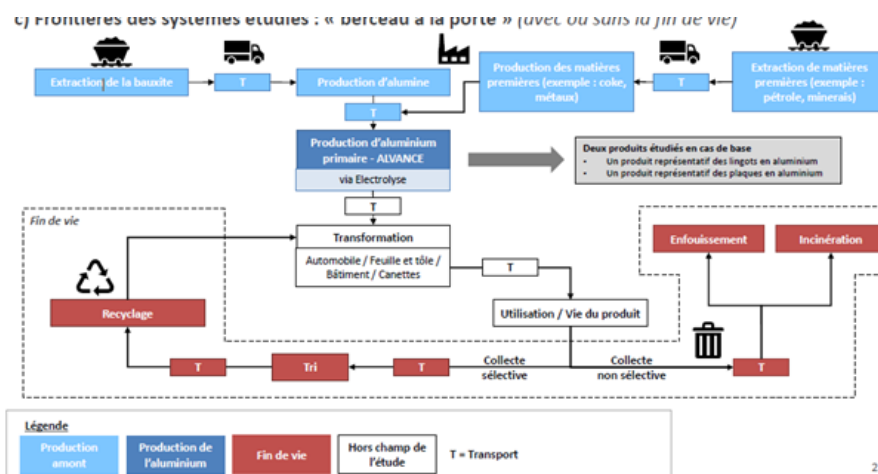
Résultat de l'étude FEDEREC (2017)

L'incertitude sur le facteur d'émission est prise égale à 30%.

Cas de l'aluminium produit en France

Les entreprises Aluminium Dunkerque et Trimet sont les deux seules productrices d'aluminium primaire en France.

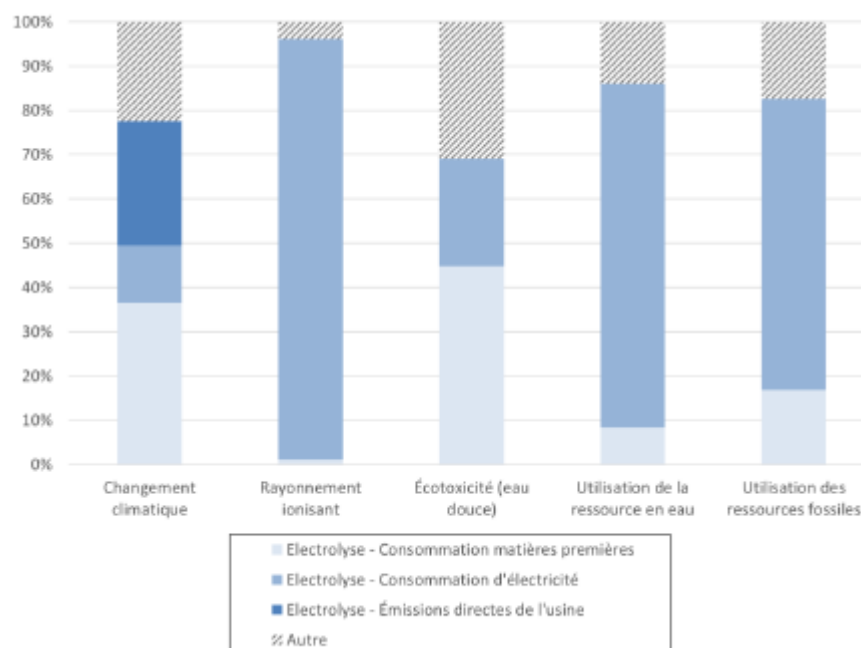
Le calcul du facteur d'émission est une agrégation des données issu d'études ACV des deux sites de productions. Il est important de noter que les calculs ne respectent pas toutes les exigences des normes ISO 14040 et ISO 14044, notamment en matière de consistance des données d'arrière-plan.



21

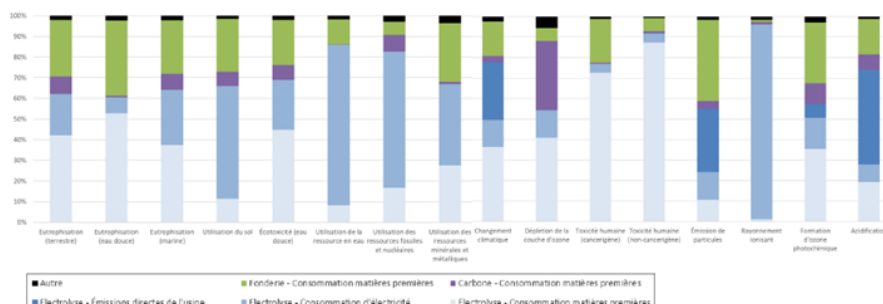
Frontières du système étudié

L'électrolyse représente entre plus de 75% de émissions de GES sur l'ensemble de son cycle de vie. Cette étape peut être divisée en trois contributions majeures : les émissions directes de l'usine, la consommation d'énergie et la consommation d'alumine.



Répartition des impacts environnementaux

Cinq mêmes procédés concentrent 95% de l'impact total lié aux émissions de gaz à effet de serre. Il s'agit de la consommation de matière première de l'électrolyse, de la fonderie et du poste carbone, la consommation d'électricité ainsi que les émissions directes de l'électrolyse.



Sources :

[605] *Aluminium smelting greenhouse footprint and sustainability*, Jeffrey Keniry, *Light metals*, 2008

[610] [FEDEREC / Mars 2017 / Évaluation environnementale du recyclage en France selon la méthodologie de l'analyse de cycle de vie - Rapport final](#)

6.1.8.3 Cuivre

Description

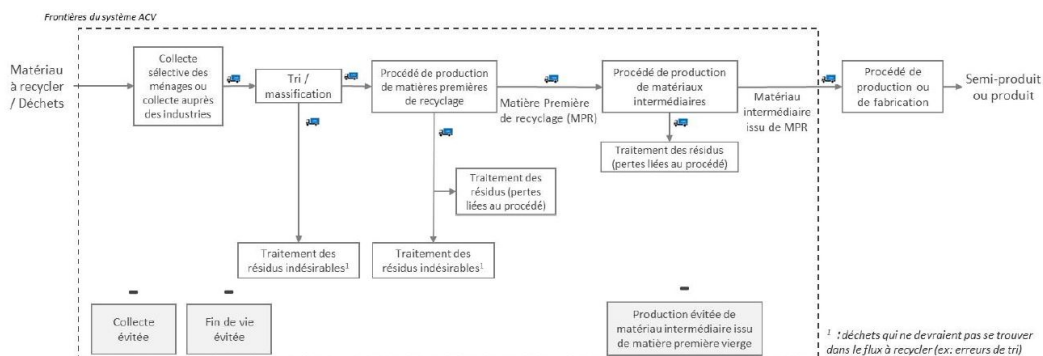
Le cuivre, sous sa forme minérale naturelle, doit passer par une série d'étapes (concentration, fusion, affinage, transformation de la forme) pour pouvoir être utilisé.

Analyse de Cycle de Vie

La Fédération Professionnelle des Entreprises du Recyclage (FEDEREC) a réalisé en 2017 le bilan environnemental du recyclage selon la méthode d'analyse de cycle de vie (ACV) pour les filières de recyclage les plus représentatives du marché français dont notamment les ferrailles, l'Aluminium, et le Cuivre.

Pour chaque filière sont quantifiées les émissions de gaz à effet de serre liées à la fabrication de produits à partir de matière première « vierge » et « renouvelable ». L'unité fonctionnelle utilisée dans l'étude est « Analyse de la collecte, du tri et de la transformation d'une tonne de déchets afin de produire des matériaux intermédiaires issus de MPR en substitution de matériaux intermédiaires issus de ressources vierges ».

Le périmètre de l'étude, commun à toutes les filières, est présenté sur le schéma suivant ⁶¹⁰ :



In fine, la valeur retenue est de 1445 kg CO_{2e} pour le cuivre issu de matière primaire « vierge » et de 1304 kg CO_{2e} pour le cuivre issu de la filière recyclage.

Résultats par tonne collectée	Matière primaire (kWh)	Matière de recyclage (kWh)	Matière primaire (kg eq. CO ₂)	Matière de recyclage (kg eq. CO ₂)
Cuivre	7 369	5 695	1 445	1 304

Résultat de l'étude FEDEREC (2017)

L'incertitude sur le facteur d'émission est prise égale à 10%.

Sources :

[\[610\] FEDEREC / Mars 2017 / Évaluation environnementale du recyclage en France selon la méthodologie de l'analyse de cycle de vie - Rapport final](#)

6.1.8.4 Autres métaux

Description

Il n'existe pas beaucoup d'analyses de cycle de vie aisément disponibles pour les autres métaux. Une publication australienne⁶⁰⁹ permet d'obtenir les valeurs moyennes suivantes pour divers métaux courants, y compris l'acier, et l'aluminium et le cuivre déjà évalués par ailleurs, mais sur la base d'une électricité entièrement produite au charbon (ce qui correspond à la situation australienne) :

Métal	kgCO _{2e} / kg de métal	Taux de recyclage pris en compte (Australie seule pour l'acier et l'aluminium, monde entier pour le reste)
Acier	2,31	36%
Aluminium	22,40	22%
Cuivre, procédé 1	3,30	40%
Cuivre, procédé 2	6,20	40%
Plomb, procédé 1	2,09	47%
Plomb, procédé 2	3,19	47%
Zinc, procédé 1	4,58	36%
Zinc, procédé 2	3,30	36%
Nickel, procédé 1	11,40	34%
Nickel, procédé 2	16,10	34%

Facteurs d'émission pour différents types de métaux produits en Australie. (CSIRO, 2003)

Pour la France, le CEREN nous donne des consommations énergétiques par secteur d'activité (sur la base des codes NAF)⁶¹⁰, discriminées entre combustibles fossiles et électricité, et rapportées à la tonne de métal produite ou travaillée.

En considérant que chaque tonne équivalent pétrole de combustibles fossiles utilisée dans l'industrie engendre 2,79 tonne CO_{2e} d'émissions de gaz à effet de serre*, et en supposant que chaque kWh d'électricité utilisé engendre des émissions de 0,352 kgCO_{2e} (ce qui correspond à la moyenne européenne), il est possible d'aboutir à des valeurs par tonne de métal détaillées dans le tableau ci-dessous :

* Contenu en CO₂ découlant du mix énergétique moyen de l'industrie pour les combustibles fossiles : 19% de charbon, 27% de fioul, 49% de gaz, 5% de renouvelables et divers.

Code NAF	Libellé exact de l'activité	Consommation de combustibles en tep/tonne	Emissions CO2 combustibles en tCO2e/tonne	Consommation d'électricité en tep/tonne	Emissions CO2 électricité en tCO2e/tonne	Emissions CO2 totales en tCO2e/tonne
27.4F	Plomb première et deuxième fusion	0,17	0,48	0,02	0,07	0,55
27.4F	Zinc	0,29	0,81	0,25	1,03	1,83
27.4M	Nickel	0,88	2,46	0,45	1,83	4,29
27.4G	1ère transformation plomb et zinc	0,19	0,51	0,03	0,11	0,66

Facteurs d'émission pour différentes activités métallurgique. (CEREN – 1999)

En "fusionnant" les diverses activités relatives au même métal, nous aboutissons alors à une autre approximation, qui est nécessairement une borne inférieure, puisque ne tenant pas compte de la part minière (il n'y a quasiment pas de mines de métaux en France, à l'exception du Nickel en Nouvelle Calédonie) :

Métal	tCO _{2e} /tonne
Plomb	1,21
Zinc	2,49
Nickel	4,29

Calcul des facteurs d'émission pour différents métaux sans tenir compte de la part minière

Par ailleurs, le mémento des décideurs de la MIES⁶⁰⁹ fournit un chiffre pour le cuivre, qui est de 1025 kgCO_{2e} / tonne. Ce même mémento donne également 1600 kgCO_{2e} / tonne d'acier, et 6600 kgCO_{2e} / tonne d'aluminium.

Si nous reprenons toutes les valeurs proposées, nous pouvons arriver au tableau de synthèse suivant, avec la mention de la part de l'électricité (celle qui conduit aux plus grands écarts) pour les chiffres du CEREN :

Métal	Borne inférieure (CEREN)	Borne inférieure (Australie)	Borne supérieure (Australie)	Part de l'électricité dans l'énergie consommée, pour les valeurs CEREN
Plomb	1,21	2,09	3,19	10%
Zinc	2,49	3,30	4,58	40%
Nickel	4,29	11,4	16,1	34%

Récapitulatif des facteurs d'émissions (tCO_{2e}/tonne) de la production de différents types de métaux.

Sachant que les chiffres du CEREN ne tiennent pas compte de l'activité minière amont, ni du transport, mais qu'en revanche une partie significative de ces métaux sont importés déjà produits (et non sous forme de minerai), nous pouvons alors retenir des valeurs comprises entre les valeurs "basses" pour l'Australie (où, rappelons-le, l'électricité est essentiellement produite à base de charbon) et les valeurs du CEREN.

Synthèse

On obtient ainsi le tableau ci-dessous (nous retenons la valeur médiane d'une fourchette large, avec un facteur d'incertitude qui reflète l'ampleur de la fourchette) :

Métal	Valeur retenue (kgCO _{2e} / kg de métal)	Incertitude retenue
Plomb	2,09	30%
Zinc	2,93	20%
Nickel	9,17	30%

Synthèse des facteurs d'émissions retenus pour la production de différents types de métaux

Il s'agit très clairement de valeurs approximatives, et il serait fort opportun de réaliser des ACV plus approfondis des filières.

Enfin les métaux non listés ci-dessus se verront affecter, à titre conservatoire, un facteur d'émission de **3 667 kgCO_{2e} / tonne** et un facteur d'incertitude de 80%.

Sources :

[\[607\] CSIRO / Août 2003 / Sustainability Network, Update 30E.](#)

[\[608\] CEREN / juillet 1999 / Contenu énergétique des produits de base de l'industrie, les matériaux de construction.](#)

[\[609\] MIES : Mission Interministérielle de l'Effet de Serre](#)

6.1.9 Machines et équipements

Description

Dans cette catégorie, sont classés :

- Les machines industrielles (machines-outils et toutes machines de procédé spécifique)
- Les équipements électriques hors électroménager (moteurs, alternateurs, transformateurs...)
- L'informatique et équipements électroniques (photocopieurs, imprimantes, serveurs...)
- L'électroménager

6.1.9.1 Machines industrielles

Valeurs

Pour les machines (et les lignes de production), une valeur par défaut est proposée : elle correspond au facteur d'émission de la fabrication des véhicules, soit 5.5 tCO₂e / tonne de machine.

Cette estimation tient compte de tous les gaz à effet de serre retenus.

Il s'agit d'une approximation grossière qui donne un ordre de grandeur. A noter que, pour une entreprise utilisant des machines industrielles dans ses lignes de production, les émissions carbone liées à l'énergie utilisée pour la fabrication seront souvent prépondérantes par rapport à celles de la fabrication de la machine industrielle utilisée et amortie sur plusieurs années.

6.1.9.2 Équipements électriques (hors électroménager)

Description

La Base Carbone® propose des valeurs pour différents types d'équipement électriques :

- Moteurs, génératrices et transformateurs électriques et matériel de distribution et de commande électrique
- Piles et accumulateurs électriques
- Fils, câbles et matériel d'installation électrique
- Autres matériels électriques
- Equipements de bricolage et jardinage

Les appareils électroménager sont présents dans la catégorie « Machine et équipement à Electroménager »

Sources

Les facteurs d'émissions retenus ici sont tirés de la [Base IMPACT®](#). pour les moteurs, piles câbles électriques et autres matériels électriques.

Les facteurs d'émissions des équipements Bricolage et jardinage (perceuse, scie sauteuse, tondeuse à gazon) sont issus de l'étude ADEME de décembre 2019 « Modélisation et évaluation environnementale de produits de consommation et biens d'équipement » [641](#)

Valeurs

Aimants, piles, câbles

Nom	Périmètre	Valeur
Aimant; NdFeB	Monde	33,1 kgCO _{2e} / kg
Aimant; AlNiCo	Monde	25,8 kgCO _{2e} / kg
Pile AA; alcaline (Zn/MnO ₂ ; 23g)	Asie	0,136 kgCO _{2e} / unité
Pile AAA; alcaline (Zn/MnO ₂ ; 12g)	Asie	0,065 kgCO _{2e} / unité
Câble électrique interne; signal; conducteur cuivre; isolation PE	Monde	0,027 kgCO _{2e} / m
Câble électrique externe; alimentation principale; conducteur cuivre; isolation PE et gaine PVC	Monde	0,382 kgCO _{2e} / m
Câble électrique interne; alimentation; conducteur cuivre; isolation PE	Monde	0,096 kgCO _{2e} / m

Facteurs d'émission des différents équipements électriques

Source : Base IMPACT - PRG AR4

Les PRG utilisés dans la Base Carbone® sont ceux de l'AR5 contrairement à ceux présentés dans cette partie de la documentation qui reste à actualiser. Ainsi, en cas de différence, ce sont bien les valeurs de l'application informatique qu'il convient d'utiliser.

Equipements de bricolage et jardinage

L'étude ADEME de décembre 2019 « Modélisation et évaluation environnementale de produits de consommation et biens d'équipement » propose des impacts carbones sur le cycle de vie d'équipements [641](#) :

	Durée de vie	Matériaux Premières	Approvisionnement	Mise En forme	Assemblage	Distribution	Utilisation	Fin De Vie	TOTAL	Total (cradle-to-gate)
Perceuse-visseuse (sans fil)	9	1,67	0,04	0,12	0,51	0,27	0,36	-0,04	2,93	2,34
Scie sauteuse 720 W	9	2,03	0,08	0,30	0,54	0,57	0,36	-0,36	3,52	2,95
Tondeuse thermique 190 cm ³	10	13,72	0,64	0,97	-0,09	5,39	63,18	-4,91	78,89	15,24
Robot tondeuse (Lithium Ion 3.2 Ah)	10	7,86	0,22	0,95	0,87	0,98	12,24	-1,48	21,65	9,90
Tondeuse électrique 1200 W	10	4,41	0,21	0,43	0,87	1,02	0,42	-0,67	6,70	5,92

Extrait de l'étude 2019 « Modélisation et évaluation environnementale de produits de consommation et biens d'équipement »

Les valeurs retenues dans la Base Carbone® correspondent à un périmètre « cradle to gate » élargi qui comptabilise les émissions liées à :

- L'extraction des matières premières
- L'approvisionnement
- La mise en forme
- L'assemblage
- La distribution

De même, ne sont comptabilisées que les émissions de CO₂ d'origine fossile. Le carbone d'origine biogénique mobilisé (liés l'utilisation de carton d'emballage par exemple) est, lorsque c'est le cas, affiché dans les détails du facteur d'émission présentés dans la Base Carbone® sans être comptabilisé dans le facteur d'émission global. Plus de détails dans le § 5.3.9.4 Electroménager.

Autres matériels électriques

Différents facteurs d'émissions, historiquement au statut discussion depuis leur proposition par des tiers, ont été récemment validés par le COGO dans la Base Carbone® en l'absence de données plus récentes. Ces données permettent de donner un ordre de grandeur.

Ainsi, vous trouverez les facteurs d'émission:

- "Groupe électrogène" et "Tableau électrique" FE issus du "[Guide secteur des technologies numériques, information et communication](#)" (source : ECOINVENT / Profil environnemental d'un produit Schneider Electric (donnée constructeur))
- "Moteur électrique" et "Variateur électrique" proposés par Carbone 4

Sources :

[641] ADEME. J.Lhotellier RDC Environment. Décembre 2019. Modélisation et évaluation environnementale de produits de consommation et biens d'équipement – Rapport. 180 pages.

6.1.9.3 Informatique et équipement de bureau

Mise à jour en 2026

Au printemps 2026, les FE relatifs au secteur "Numérique" ont été archivés et remplacés par des jeux de données multicritères issus de la Base de données "Empreinte" Numérique de l'ADEME. **Ils sont donc dorénavant disponibles en consultation en ligne et téléchargeables via l'export des données Base Empreinte.**

Cette base de données reprend l'empreinte environnementale selon différents indicateurs de catégories d'impacts pour 4 types d'éléments relatifs au numérique :

- les services numériques
- les équipements terminaux
- les équipements réseaux
- les équipements centres de données

Ces données ont été construites entre 2018 et 2025 à partir de travaux différents. Leur qualité est hétérogène, l'ADEME les fournit à titre indicatif. L'utilisateur veillera à prendre connaissance des paragraphes suivants avant réutilisation des données.

Certains résultats proviennent d'étude spécifiques disponibles sur la librairie de l'ADEME :

- Audiovisuel : <https://librairie.ademe.fr/economie-circulaire-et-dechets/7667-etude-de-l-impact-environnemental-des-usages-audiovisuels-en-france.html>

- Equipements (Terminaux) : <https://librairie.ademe.fr/societe-et-politiques-publiques/7880-evaluation-de-l-impact-environnemental-du-numerique-en-france.html>
- Equipements (Réseaux) : <https://librairie.ademe.fr/industrie-et-production-durable/6789-evaluation-de-l-empreinte-environnementale-de-la-fourniture-d-acces-a-internet-en-france.html>
- Equipements (Datacenter) : <https://librairie.ademe.fr/industrie-et-production-durable/6031-referentiel-par-categorie-de-produit-rcp-de-services-cloud-et-de-centre-de-donnees.html>
- Cartes graphiques : <https://librairie.ademe.fr/economie-circulaire-et-dechets/9103-analyse-de-cycle-de-vie-de-gpu-cartes-graphiques-pour-l-intelligence-artificielle.html>

Hormis pour les services numériques, les données agrégées **n'incluent pas les impacts environnementaux liés à la consommation d'électricité en phase d'usage**. Ils doivent être ajoutés manuellement par l'utilisateur des données, à partir de la consommation électrique de l'équipement fournie dans un fichier Excel mis à disposition sur le site Base Empreinte.

Description

Cette section se focalise sur les équipements informatiques, électroniques et optiques.

Les appareils électroniques sont fabriqués à partir de composants électroniques tels que les transistors.

Une approche détaillée par composant (ex: circuits imprimés) ou assemblée par unité produite (imprimante, écran, etc.) est proposée.

6.1.9.3.1 Composants et cartes électroniques

Fabrication de circuits imprimés

Description

Un circuit imprimé est un support, en général une plaque, permettant de maintenir et de relier électriquement un ensemble de composants électroniques entre eux. Il est constitué d'un assemblage d'une ou plusieurs fines couches de cuivre séparées par un matériau isolant.

Dans la Base Carbone ®, on distingue divers type de circuits imprimés :

- contrôleurs LCD et cartes mères TV connectées

- carte mère TV basique
- alimentation électrique

Méthodologie

Les facteurs d'émissions retenus ici sont tirés de la [Base IMPACT®](#).

Les données sont représentatives de la production en Asie : elles couvrent les besoins pour la consommation française.

Valeurs

Type d'assemblage de circuits imprimés	Valeur	Unité
contrôleurs LCD et cartes mères TV connectées	866	kgCO _{2e} / m ²
carte mère TV basique	444	kgCO _{2e} / m ²
alimentation électrique	352	kgCO _{2e} / m ²

Facteurs d'émission des différents composants et cartes électroniques

Source : Base IMPACT - PRG AR4

Les PRG utilisés dans la Base Carbone® sont ceux de l'AR5 contrairement à ceux présentés dans cette partie de la documentation qui reste à actualiser. Ainsi, en cas de différence, ce sont bien les valeurs de l'application informatique qu'il convient d'utiliser.

6.1.9.3.2 Ordinateurs et équipements périphériques

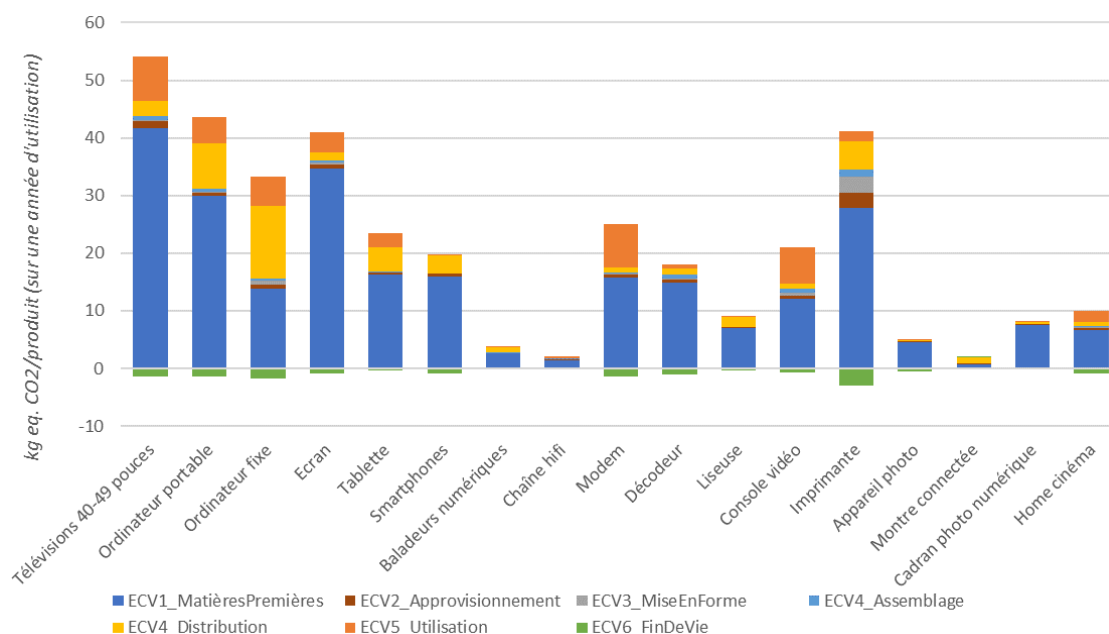
Description

L'étude ADEME de 2018 « Modélisation et évaluation ACV des produits de consommation et biens d'équipement » a évalué, selon les recommandations ILCD 2011, l'impact carbone de différents équipements informatiques, audio et vidéo :

Catégorie de produit	Segmentation	SuperBOM (kg / produit)	Changement climatique cradle-to-grave (kg CO2-eq. / produit)	Changement climatique cradle-to-grave (kg CO2-eq. / an)	Changement climatique cradle-to-gate (kg CO2-eq. / produit)
EEE à forte composante électronique					
Télévision	30-40 pouces	11	371	46	320
	40-49 pouces	11	422	53	350
	>49 pouces	15	568	71	466
Ordinateur portable	Ordinateur portable	2	169	42	124
Ordinateur fixe	Bureautique	6	189	32	94
	Haute performance	11	394	66	169
Ecran	21,5 pouces	5	236	36	211
	23,8 pouces	6	265	40	239
Tablette	Classique (9 à 11 pouces)	0,8	70	23	50
	Mini (<9 pouces)	0,5	48	16	31
	Détachables (10 à 13 pouces)	1,3	86	29	63
Smartphone	Classique (feature phone)	0,2	16	8	14
	Moins de 4,5 pouces	0,3	27	14	24
	5 pouces	0,3	32	16	27
	Plus de 5,5 pouces	0,3	38	19	33
Baladeur numérique	Non tactile	0,04	2	1	1.1
	Tactile	0,08	7	3	6
Chaîne HiFi	Stéréo classique	12	136	27	98
	Enceinte active Bluetooth	0,3	9	2	8
Modem	DSL haut débit	2	83	24	58
	Fibre haut débit	2	115	35	78
Décodeur	Décodeur	2	59	17	57
Liseuse	Non rétro-éclairée	0,3	37	7	29
	Rétro-éclairée	0,3	44	9	36

Catégorie de produit	Segmentation	SuperB OM (kg / produit)	Changement climatique cradle-to-grave (kg CO2-eq. / produit)	Changement climatique cradle-to-grave (kg CO2-eq. / an)	Changement climatique cradle-to-gate (kg CO2-eq. / produit)
Console vidéo	De salon	3	102	20	69
	Portable	0,3	31	6	22
Imprimante	Jet d'encre	8	106	21	73
	Laser	17	191	38	172
	Multi fonction jet d'encre	6	95	19	76
Appareil photo	Reflex numérique	0,9	28	6	28
	Hybride	0,8	27	5	27
	Compact	0,4	22	4	24
Montre connectée	Montre connectée	0,1	10	2	4
Cadre photo électronique	Cadre photo électronique	0,5	39	8	39
Home cinéma	Home cinéma	13	153	31	106
	Barre de son	2	45	9	37

Extrait de l'étude ACV ADEME sur les produits de consommation et bien d'équipement [640]



Détail des émissions carbone des biens « à forte composante électronique » - Extrait de l'étude ACV ADEME sur les produits de consommation et bien d'équipement [640]

L'étude ADEME de décembre 2019 « Modélisation et évaluation environnementale de produits de consommation et biens d'équipement » ⁶⁴¹ est venu compléter l'évaluation environnementale d'équipements supplémentaires à forte composante électronique : écran publicitaire numérique, vidéoprojecteur, enceinte à commande vocale type GAFA

	Durée de vie	Matières Premières	Approvisionnement	Mise en forme	Assemblage	Distribution	Utilisation	Fin de vie	TOTAL	Total (cradle-to-gate)
Vidéoprojecteur	8	15,86	0,09	0,17	1,21	0,77	10,67	-0,28	28,48	17,32
Enceinte à commande vocale	5	2,44	0,06	0,07	0,42	3,11	0,90	-0,02	6,97	2,99
Ecran publicitaire 2m²	10	119,85	4,74	2,15	0,71	4,44	163,55	-49,78	245,67	127,46
Ecran publicitaire 2m² (sans casing)	10	99,42	3,26	1,72	0,71	3,02	163,55	-38,11	233,59	105,12

Extrait de l'étude 2019 « Modélisation et évaluation environnementale de produits de consommation et biens d'équipement »

Le détail complet de l'analyse est disponible (hypothèses, périmètres, etc.) dans le [rapport complet de l'étude 2018](#) et [2019](#)

Les conclusions de l'étude, montrent que, sur l'ensemble du cycle de vie :

- L'indicateur d'impact potentiel sur le changement climatique est dominé par la phase d'extraction et de production des matières premières et des composants. En effet, les composants électroniques nécessitent pour leur fabrication une grande quantité d'énergie et de matériaux rares dont l'extraction est complexe et génératrice d'impacts. Ainsi, les éléments les plus contributeurs de la phase ECV1 sont les cartes électroniques, comprenant les composants, et les écrans LCD, batteries et autres composants.
- Les transports ainsi que la phase d'utilisation (constituée principalement de la consommation d'électricité des produits) ont un impact non négligeable, voire dans de rare cas majoritaire du fait de transport par avion.

Les résultats retenus dans la Base Carbone® correspondent à un **périmètre** « cradle to gate » **élargi** qui comptabilise les émissions liées à :

- L'extraction des matières premières
- L'approvisionnement
- La mise en forme
- L'assemblage
- La distribution

Afin de compléter cette catégorie, d'autres facteurs d'émissions, issus de la **Base Impact** (2014) et estimés sont proposés dans la Base Carbone® :

■ Serveurs

Pour les serveurs et grosses unités, nous proposons, à titre conservatoire, d'affecter les valeurs d'émission au prorata du prix de vente, comparé au prix d'une unité centrale. Ainsi si un serveur ou une grosse imprimante coûte l'équivalent de 5 fois le prix d'une unité centrale d'ordinateur personnel, on pourra lui affecter un facteur d'émission de 5 x "poids carbone de la fabrication de l'unité centrale d'un ordinateur".

■ Matériel de reprographie

Considérant que le matériel de reprographie n'est rien d'autre que du matériel informatique particulier, il ressort qu'un photocopieur a un facteur d'émission moyen de 2 935 kgCO₂e.

* Ces calculs ont été effectués sur la base des coûts moyens comparés par un service achat de grande banque

■ Autres équipements (données historiques)

Les facteurs d'émissions d'équipements complémentaires sont proposés : Racks (baies ou cabinets), Serveurs informatiques, Switch routeur firewall, Vidéo projecteur, Baies de disques.

Ils proviennent du "[Guide secteur des technologies numériques, information et communication](#)"⁶⁵⁰ de 2011, élaboré dans le cadre des travaux sectoriels de l'ADEME. Ont participé différents organismes tels que le Service Climat et Service Bâtiment de l'ADEME, CIGREF, Zen'to, GreenIT.fr, Orange, La Poste, INRIA, CNRS (EcoInfo), Demtech, CLER, Atrium Data, Meta IT, HP, SagemCom, Eeva Conseil, et l'APCC.

Ces données sont en l'occurrence issues de différentes sources : Bilan produit 2008, évaluation ACV à partir de données multiples, EcoInvent, ACV constructeur, etc.

Sources :

[640] ADEME. J.Lhotellier, E.Less, E.Bossanne, S.Pesnel. Mars 2018. *Modélisation et évaluation ACV de produits de consommation et biens d'équipements – Rapport. 188 pages.*

[641] ADEME. J.Lhotellier RDC Environment. Décembre 2019. *Modélisation et évaluation environnementale de produits de consommation et biens d'équipement – Rapport. 180 pages.*

[650] ADEME, Technologies numériques, information et communication (TNIC). *Réalisation d'un Bilan des émissions de gaz à effet de serre - Guide sectoriel 2012*

6.1.9.4 Electroménager

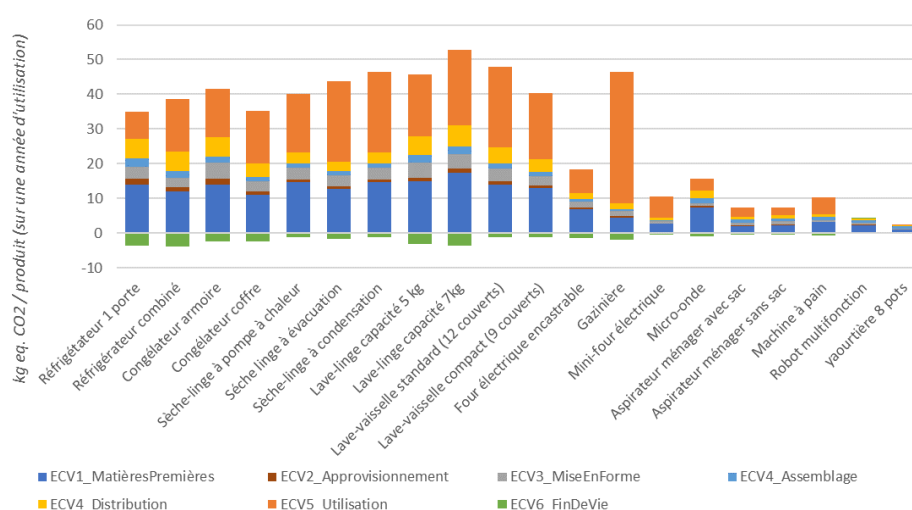
L'étude ADEME de 2018 « Modélisation et évaluation ACV des produits de consommation et biens d'équipement » a évalué, selon les recommandations ILCD 2011, l'impact carbone de différents biens électroménagers :

Catégorie de produit	Segmentation	SuperBOM (kg / produit)	Changement climatique cradle-to-grave (kg CO2-eq. / produit)	Changement climatique cradle-to-grave (kg CO2-eq. / an)	Changement climatique cradle-to-grave (kg CO2-eq. / produit)
EEE à faible composante électronique					
Four	Four électrique encastrable (54 litres)	34	319	17	187
	Four d'une cuisinière à gaz (63 litres)	35	846	45	132
	Minifour électrique (33 litres)	13	190	10	71
	Four professionnel vapeur combi électrique	155	12 676	667	734
Lave-vaisselle	Lave-vaisselle compact (9 couverts)	44	431	39	193
	Lave-vaisselle standard (12 couverts)	53	513	47	220
	Lave-vaisselle (lave-batterie) professionnel à capot	136	6 365	530	824
Lave-linge	Lave-linge à chargement	68	468	43	248

Catégorie de produit	Segmentation	SuperBOM (kg / produit)	Changement climatique cradle-to-grave (kg CO2-eq. / produit)	Changement climatique cradle-to-grave (kg CO2-eq. / an)	Changement climatique cradle-to-gate (kg CO2-eq. / produit)
	par le haut (capacité 5 kg)				
	Lave-linge à chargement frontal (capacité 7 kg)	79	539	49	275
Sèche-linge	Sèche-linge à évacuation (capacité 6 kg)	38	545	42	232
	Sèche-linge à condensation (capacité 6 kg)	43	588	45	260
	Sèche-linge à pompe à chaleur (capacité 8 kg)	43	506	39	260
Réfrigérateur	Réfrigérateur 1 porte (volume utile : 250 litres)	54	343	31	237
	Réfrigérateur combiné (215 litres / 79 litres)	56	382	35	196
	Réfrigérateur minibar (volume utile 33 litres)	16	159	13	69
Congélateur	Congélateur coffre (261 litres)	52	492	33	243
	Congélateur armoire (205 litres)	71	587	39	332
Micro-ondes	Four à micro-ondes (mono-fonction)	13	118	15	79
Aspirateur	Aspirateur domestique à traineaux sans sac	7.2	69	6.9	43
	Aspirateur domestique à traineaux avec sac	6.1	67	6.7	39

Catégorie de produit	Segmentation	SuperBOM (kg / produit)	Changement climatique cradle-to-grave (kg CO2-eq. / produit)	Changement climatique cradle-to-grave (kg CO2-eq. / an)	Changement climatique cradle-to-gate (kg CO2-eq. / produit)
	Aspirateurs professionnel à traineaux	12	234	23	67
Robot multifonction	Robot pâtissier	4.4	43	4.3	36
Machine à pain	Machine à pain (pains 500 g à 1 kg)	6.4	96	10	46
Yaourtière	Yaourtière 8 pots	2.5	23	2.3	19

Extrait de l'étude ACV ADEME sur les produits de consommation et bien d'équipement [640]



Détail des émissions carbone des biens « électroménager » - Extrait de l'étude ACV ADEME sur les produits de consommation et bien d'équipement [640]

L'étude ADEME de décembre 2019 « Modélisation et évaluation environnementale de produits de consommation et biens d'équipement »⁶⁴¹ est venu compléter l'évaluation environnementale d'équipements supplémentaires :

- Equipements à faible composante électronique (électroménager) : machine à café, hotte de cuisine, bouilloire électrique, plaque de cuisson, appareil à raclette
- Équipement technique de la maison : radiateur et chauffe-eau électrique, climatiseur mobile,

	Durée de vie	Matières Premières	Approvisionnement	Mise En Forme	Assemblage	Distribution	Utilisation	Fin De Vie	TOTAL	Total (cradle-to-gate)
Machine à café - filtre	5	3,35	0,10	0,29	1,78	0,78	27,18	5,98	39,46	5,52
Machine à café - dosette	5	1,69	0,08	0,26	1,76	0,61	35,16	10,55	50,11	3,79
Machine à café - expresso	5	5,41	0,19	0,64	1,76	1,42	28,05	4,78	42,26	8,01
Bouilloire	6	0,65	0,04	0,10	0,64	0,19	5,27	-0,11	6,79	1,43
Hotte décorative à extraction	10	4,20	0,18	0,30	0,80	0,53	6,47	-0,92	11,56	5,48
Hotte vitrière à recyclage d'air	10	1,65	0,11	0,16	0,80	0,35	5,10	-0,63	7,54	2,72
Plaques de cuisson à induction 9000W	10	6,39	0,22	0,28	0,75	1,27	18,22	-1,75	25,37	7,63
Plaques de cuisson vitrocéramiques 9000W	10	4,52	0,16	0,08	0,77	0,96	21,87	-0,79	27,56	5,53
Plaques de cuisson au gaz 9000W	10	2,94	0,15	0,09	0,57	0,53	90,10	-1,40	92,98	3,75
Appareil à raclettes 6-8p	11	0,91	0,04	0,06	0,34	0,16	0,36	-0,35	1,51	1,35
Radiateur électrique 1000 W à inertie	16	4,26	0,17	0,09	0,50	0,82	97,96	-2,79	101,00	5,01
Radiateur électrique 1000 W à rayonnement	16	1,40	0,06	0,06	0,51	0,29	97,96	-0,73	99,56	2,04
Ballon électrique chauffe-eau 200L	17	6,57	0,33	0,40	0,51	1,51	237,89	-2,45	244,77	7,81

Extrait de l'étude 2019 « Modélisation et évaluation environnementale de produits de consommation et biens d'équipement »

Le détail complet de l'analyse est disponible (hypothèses, périmètres, etc.) dans le [rapport complet de l'étude](#) et [2019](#)

Les conclusions de l'étude, montrent que, sur l'ensemble du cycle de vie :

- Pour les **appareils domestiques**, les deux phases de cycle de vie les plus contributrices sont la phase d'utilisation (entre 23% et 63% hors gazinière à 85% et

robot multifonction et yaourtière < 15%) et la phase de production des matières premières (25% à 50% hors gazinière à 10%).

- La contribution élevée de la phase d'utilisation pour la gazinière, par comparaison avec les autres appareils fonctionnant à l'électricité, montre qu'elle dépend du type d'énergie utilisé. En France, le mix électrique étant peu carboné par rapport aux autres pays européens, la phase d'utilisation y est donc moins contributrice qu'en moyenne en Europe.
- Pour les **appareils professionnels**, hors réfrigérateur mini-bar qui présente le même profil que les appareils domestiques, c'est la phase d'utilisation qui est la phase dominante sur les résultats (de 70% à 93%). Ceci s'explique par l'intensité d'utilisation de ces appareils qui est beaucoup plus grande que les appareils domestiques.
- De manière générale, les procédés contributeurs sont :
 - Le mix électrique en phase d'utilisation,
 - La production des métaux et notamment de l'acier,
 - La production des plastiques (PS, PU, PP, ABS),
 - Le transport en camion pour l'approvisionnement en matières premières et pour la distribution du produit fini,
 - Le recyclage de l'acier (impacts négatifs en raison de la production évitée de matière vierge grâce au recyclage).
- La contribution du circuit imprimé est élevée (8 à 10%) pour les sèche-linge qui ont le plus fort taux de composants électroniques dans la composition des appareils modélisés.
- Pour les **petits appareils** (machine à pain, robot et yaourtière), on remarque que la phase d'assemblage a une importance relative plus élevée que celle des appareils plus volumineux.

Les résultats retenus dans la Base Carbone® correspondent à un **périmètre** « cradle to gate » **élargi** qui comptabilise les émissions liées à :

- L'extraction des matières premières
- L'approvisionnement
- La mise en forme
- L'assemblage
- La distribution

De même, ne sont comptabilisées que les émissions de CO₂ d'origine fossile. Les éventuels puits carbone (liés à l'immobilisation de carbone d'origine biogénique issu du bois par exemple) sont, lorsque c'est le cas, affichés dans les détails du facteur

d'émission présentés dans la Base Carbone® mais ne sont pas comptabilisés dans le facteur d'émission global.

Sources :

[*\[640\] ADEME. J.Lhotellier, E.Less, E.Bossanne, S.Pesnel. Mars 2018. Modélisation et évaluation ACV de produits de consommation et biens d'équipements – Rapport. 188 pages.*](#)

[*\[641\] ADEME. J.Lhotellier RDC Environment. Décembre 2019. Modélisation et évaluation environnementale de produits de consommation et biens d'équipement – Rapport. 180 pages.*](#)

6.1.1 Véhicules automobiles et autres 0 matériel de transport

Description

Ce chapitre se focalise sur les émissions de GES liées à la fabrication des véhicules de transports.

6.1.10.1 Véhicules routiers

Description

Les calculs ci-dessous visent à déterminer les émissions liées à la phase de construction des matériels routiers de transport. Ces facteurs d'émissions sont repris dans le chapitre sur le [transport routier de marchandises](#).

Fabrication des véhicules (voitures - camions)

Pour disposer d'une prise en compte exhaustive des émissions liées au transport, il convient d'inclure les émissions liées à la fabrication des véhicules. Il faudrait aussi, en théorie, considérer celles liées à l'entretien des véhicules et à la construction et l'entretien des routes (pour information l'usure de la chaussée est une fonction poids du véhicules qui y circulent à la puissance 5, ce qui revient à dire que la réfection d'une chaussée est, en première approximation, totalement imputable aux poids lourds).

Pour disposer des chiffres concernant la fabrication, il nous faut alors disposer des poids moyens à vide des véhicules en question, et, pour que les données soient sommables, il faut bien entendu que les poids moyens à vide soient disponibles pour les mêmes classes de PTAC que les consommations.

Il nous faudra enfin disposer des kilométrages totaux parcourus, sur la durée de vie, par chaque moyen de transport examiné, afin de pouvoir affecter à chaque km parcouru la quote-part des émissions de fabrication.

Les classes de PTAC pour lesquelles les statistiques de consommation sont publiées sont les suivantes :

	Classe de PTAC
Camion-nettes	< 1,5 tonnes
	1,5 à 2,5 tonnes
	2,51 à 3,5 tonnes
	3,5 tonnes
Camions	3,51t à 5 tonnes
	5,1 à 6 tonnes
	6,1 à 10,9 tonnes
	11 à 19 tonnes
	19,1 à 21 tonnes
	21,1 à 32,6 tonnes
	tracteurs routiers (PTAC tracteur + remorque : 40 t en général).

Classes de PTAC pour les camionnettes et les camions.

La détermination de ces limites est le fruit de raisons diverses, au sein desquelles les suivantes ont sûrement contribué :

- 3,5 t est la limite supérieure de PTAC pour un utilitaire pouvant se conduire avec le permis B (tourisme).
- 19 t est la limite supérieure pour un véhicule à moteur à deux essieux,
- 26 t est la limite supérieure pour un véhicule à moteur à trois essieux,
- 32 t est la limite supérieure pour un véhicule à moteur à quatre essieux ou plus.

Enfin les ensembles articulés (appelés communément "semi-remorques") sont en quasi-totalité constitués de tracteurs de 7 t de poids environ, tractant des remorques dont le poids à vide est de 8t environ. La capacité maximale de fret de ces ensembles est de 25 t, pour parvenir à un poids total en charge de 40 tonnes environ.

Dans un premier temps, nous allons vérifier que le fait de raisonner par catégorie de PTAC n'induit pas une trop grande imprécision des résultats. Pour cela nous allons travailler sur le nombre de véhicules en circulation au 1er janvier 2002 par PTAC, fourni par le Ministère de

l'Équipement, des Transports et du Logement. Par exemple nous savons que la France comptait à cette date 1.554 véhicules de moins de 10 ans d'âge et ayant un PTAC de 6 tonnes exactement.

Nous pouvons alors calculer le PTAC moyen pour les [diverses catégories du transport de marchandises](#), et constater par ailleurs que chaque catégorie présente des pics de concentration autour de quelques PTAC particuliers. Les graphiques représentant cette répartition, et l'écart entre les PTAC des points d'accumulation et le PTAC moyen de la catégorie sont donnés en annexe.

La conclusion importante que nous pouvons en tirer est que, pour chaque catégorie de PTAC, l'écart maximal entre le PTAC moyen et le PTAC des véhicules les plus usuels de la catégorie (là où il y a le point d'accumulation, c'est-à-dire le pic sur le graphique) est de 20% au maximum. Cette indication est importante à double titre :

- d'une part les émissions de fabrication sont fonction du poids à vide, assez bien corrélé au PTAC,
- d'autre part nous verrons plus loin que la consommation moyenne du véhicule est aussi très bien corrélée à son PTAC.

En d'autres termes, en basant les calculs sur les PTAC moyens, l'écart entre cette moyenne et les valeurs applicables aux véhicules les plus répandus de la catégorie ne sera jamais supérieur à 20%.

Pour obtenir le poids à vide d'un véhicule donné lorsque nous avons le PTAC, il faut bien sûr connaître la charge utile maximale transportée, afin de la déduire du PTAC.

Ces charges utiles ont été déterminées comme suit :

- pour certains camions, elles sont notoires dans le milieu des transporteurs. Ce cas de figure concerne les ensembles articulés (40 tonnes de PTAC, 25 tonnes de charge utile au maximum), mais aussi les camions de 19 t de PTAC (13 tonnes de charge utile maximum) ou encore les camionnettes de 7,5 t de PTAC (4 t de charge utile maximum).
- pour les PTAC inférieurs ou égaux à 3,5 tonnes, les PTAC moyens et charges utiles maximales moyennes sont donnés par le Ministère des Transports
- pour les autres classes, nous avons interpolé le rapport entre PTAC et charge utile maximale à partir des valeurs ci-dessus.

Classe de PTAC	Moyenne du PTAC de la catégorie (tonnes)	Poids moyen à vide (tonnes)	Moyenne de la charge utile maximale (tonnes)
< 1,5 tonnes	1,30	0,90	0,40
1,5 à 2,5 tonnes	1,80	1,10	0,70
2,51 à 3,5 tonnes	2,90	1,70	1,20
3,5 tonnes	3,50	2,10	1,40
3,51 à 5 tonnes	4,74	2,37	2,37
5,1 à 6 tonnes	5,67	2,84	2,84
6,1 à 10,9 tonnes	8,80	4,11	4,69
11 à 19 tonnes	16,32	6,53	9,79
19,1 à 21 tonnes	19,37	7,75	11,62
21,1 à 32,6 tonnes	26,87	10,21	16,66
tracteurs routiers	40,00	15,00	25,00

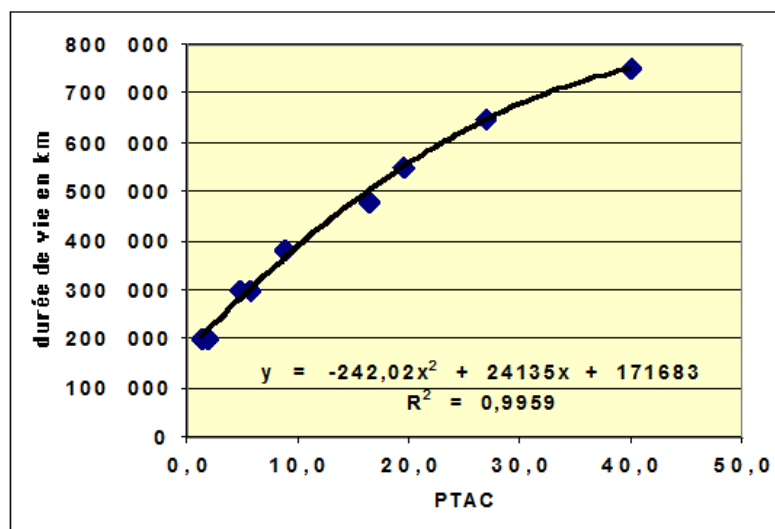
Caractéristiques PTAC

Enfin pour pouvoir disposer d'une contribution de la construction aux émissions par km il reste à connaître les "durées de vie", exprimées en km parcourus, des véhicules en question. Ces renseignements ont été pour partie obtenus sur le site du Comité National Routier, et pour le reste ils ont été aussi extrapolés :

Classe de PTAC	Durée de vie en km
< 1,5 t essence	150 000
< 1,5 t diesel	200 000
1,5 à 2,5 tonnes essence	150 000
1,5 à 2,5 tonnes diesel	200 000
2,51 à 3,5 tonnes essence	200 000
2,51 à 3,5 tonnes diesel	250 000
3,5 tonnes	300 000
3,51 à 5 tonnes	300 000
5,1 à 6 tonnes	300 000
6,1 à 10,9 tonnes	380 000
11 à 19 tonnes	480 000
19,1 à 21 tonnes	550 000
21,1 à 32,6 tonnes	650 000
tracteurs routiers	750 000

Durée de vie moyenne des véhicules en km en fonction de la classe de PTAC

Notons que la corrélation, ici du deuxième ordre, entre durée de vie et PTAC, est excellente avec les valeurs retenues lorsque les statistiques ne sont pas disponibles (graphique ci-dessous).



Corrélation entre la durée de vie et le PTAC des camions et camionnettes.

De même que pour les voitures particulières, nous allons convertir les poids à vide en émissions de fabrication. Comme la valeur ajoutée par unité de poids d'un camion est inférieure d'un facteur 2 à ce qu'elle est pour l'automobile (un semi-remorque de 15 tonnes de poids à vide coûte environ 100.000 euros, soit 6.000 euros par tonne, quand un véhicule particulier coûte de 12 à 15.000 euros par tonne), le facteur permettant de convertir les poids en émissions pourrait théoriquement être inférieur à 5,5 tCO_{2e} / tonne de camion. Cela étant, l'aluminium (9,5 tCO_{2e} / tonne) est un métal plus fréquemment employé pour les poids lourds (pour fabriquer les remorques) que pour les véhicules particuliers, et pour la partie "tracteur" (moteur, cabine, etc.) les émissions de fabrication par unité de poids n'ont pas de raison particulière d'être considérablement inférieures à ce qu'elles sont pour l'automobile. Jusqu'à plus ample informé, nous garderons donc ce facteur de **5,5 tCO_{2e} / tonne de camion**, qui n'a de toutes façons pas d'influence considérable sur les émissions par véhicule.km.

De la sorte, la division des émissions de fabrication par le kilométrage parcouru donne, aux émissions liées à l'entretien près, la contribution des postes autres que le carburant aux km parcourus.

Classe de PTAC	PTAC moyen	Poids moyen à vide (t)	Durée de vie en km	Fabrication gCO ₂ e /km
< 1,5 t essence	1,30	0,90	150 000	44,0
< 1,5 t diesel	1,30	0,90	200 000	33,0
1,5 à 2,5 tonnes essence	1,80	1,10	150 000	53,9
1,5 à 2,5 tonnes diesel	1,80	1,10	200 000	40,3
2,51 à 3,5 tonnes essence	2,90	1,70	200 000	62,3
2,51 à 3,5 tonnes diesel	2,90	1,70	250 000	49,9
3,5 tonnes	3,50	2,10	300 000	51,3
3,51 à 5 tonnes	4,74	2,37	300 000	57,9
5,1 à 6 tonnes	5,67	2,84	300 000	69,3
6,1 à 10,9 tonnes	8,80	4,11	380 000	79,2
11 à 19 tonnes	16,32	6,53	480 000	99,7
19,1 à 21 tonnes	19,37	7,75	550 000	103,4
21,1 à 32,6 tonnes	26,87	10,21	650 000	115,1
tracteurs routiers	40,00	15,00	750 000	146,7

Facteurs d'émission de la fabrication des véhicules en fonction de leur classe de PTAC

La désignation des types de matériel ayant été changé en 2012, le tableau de correspondance suivant permet au lecteur de trouver les valeurs actuellement utilisées dans la base.

Désignation OEET 2012	PTAC en tonne	Capacité de chargement en tonne	Durée de vie en km	Poids à vide en tonne	Fabrication en CO ₂ e	Fabrication gCO ₂ e/km
PTAC 3,5 tonnes	3,5 t	1,3 t	300 000 km	2,2 t	12,1 tCO ₂ e	40,3 gCO ₂ e/km
PTAC 3,5 tonnes	3,5 t	1,3 t	300 000 km	2,2 t	12,1 tCO ₂ e	40,3 gCO ₂ e/km
Porteur PTAC 19 tonnes	19,0 t	10,0 t	550 000 km	9,0 t	49,5 tCO ₂ e	90,0 gCO ₂ e/km
Ensemble articulé 40 tonnes frigorifique	40,0 t	22,0 t	750 000 km	18,0 t	99,0 tCO ₂ e	132,0 gCO ₂ e/km
Porteur PTAC 19 tonnes frigorifique	19,0 t	8,5 t	550 000 km	10,5 t	57,8 tCO ₂ e	105,0 gCO ₂ e/km
Porteur 7,5 t	7,5 t	3,0 t	380 000 km	4,5 t	24,8 tCO ₂ e	65,1 gCO ₂ e/km
Porteur 12 t	12,0 t	6,0 t	480 000 km	6,0 t	33,0 tCO ₂ e	68,8 gCO ₂ e/km
Ensemble articulé 26 tonnes	26,0 t	12,0 t	750 000 km	14,0 t	77,0 tCO ₂ e	102,7 gCO ₂ e/km
Ensemble articulé 35 tonnes	35,0 t	15,0 t	750 000 km	20,0 t	110,0 tCO ₂ e	146,7 gCO ₂ e/km
Ensemble articulé 40 tonnes	40,0 t	25,0 t	750 000 km	15,0 t	82,5 tCO ₂ e	110,0 gCO ₂ e/km
Fourgon 8 m3	3,5 t	8,0 t	250 000 km	2,2 t	12,1 tCO ₂ e	48,4 gCO ₂ e/km
Porteur 45 m3	19,0 t	45,0 t	550 000 km	10,5 t	57,8 tCO ₂ e	105,0 gCO ₂ e/km
Ensemble articulé 90 m3	40,0 t	90,0 t	750 000 km	15,0 t	82,5 tCO ₂ e	110,0 gCO ₂ e/km

Facteurs d'émission de la fabrication des véhicules en fonction de leur classe de PTAC et correspondance OEET 2012

Les marges d'incertitude sur ces données sont les suivantes :

- 10% sur les poids moyens à vide (erreur provenant d'un biais statistique sur l'échantillon étudié),
- 50% sur les émissions de fabrication du camion par unité de poids (soit une fourchette de 2,57 tonne de CO₂e à 8,25 tCO₂e / tonne de camion),
- 10% sur les kilométrages moyens parcourus par les véhicules avant d'être mis au rebut (cette donnée découle de l'observation).

La part liée à la construction sera donc affectée d'une incertitude de 70%, sauf pour les utilitaires les plus légers (PTAC < 2,5 tonnes) pour lesquels nous conserverons les barres d'erreur de l'automobile, soit 40%. Dans tous les cas de figure il s'agit clairement d'un ordre de grandeur, qu'il serait utile de préciser en procédant aux investigations appropriées (en clair il conviendrait de réaliser l'ACV des véhicules utilitaires).

Fabrication de véhicules (2 roues)

Les facteurs d'émissions des véhicules « 2 roues » sont issus de l'étude ADEME de décembre 2019 « Modélisation et évaluation environnementale de produits de consommation et biens d'équipement » [641](#)

	Durée de vie	Matières Premières	Approvisionnement	Mise EnForme	Assemblage	Distribution	Utilisation	Fin De Vie	TOTAL	Total (cradle-to-gate)
trottinette électrique	4	17,67	0,41	0,53	1,22	3,10	2,00	-4,75	20,18	19,82
Hoverboard	4	16,60	0,40	0,52	2,48	3,01	0,15	-2,84	20,33	20,00
Vélo à assistance électrique	12	17,78	2,39	0,41	0,24	0,99	5,57	-4,04	23,32	20,81

Extrait de l'étude 2019 « Modélisation et évaluation environnementale de produits de consommation et biens d'équipement »

Les valeurs retenues dans la Base Carbone® correspondent à un périmètre « cradle to gate » élargi qui comptabilise les émissions liées à :

- L'extraction des matières premières
- L'approvisionnement
- La mise en forme
- L'assemblage
- La distribution

De même, ne sont comptabilisées que les émissions de CO₂ d'origine fossile. Le carbone d'origine biogénique mobilisé (liés l'utilisation de carton d'emballage par exemple) est, lorsque c'est le cas, affiché dans les détails du facteur d'émission présentés dans la Base Carbone® sans être comptabilisé dans le facteur d'émission global. Plus de détails dans le § 5.3.9.4 Electroménager.

Sources :

[\[641\] ADEME. J.Lhotellier RDC Environment. Décembre 2019. Modélisation et évaluation environnementale de produits de consommation et biens d'équipement – Rapport. 180 pages.](#)

6.1.1 Mobilier 1

Description

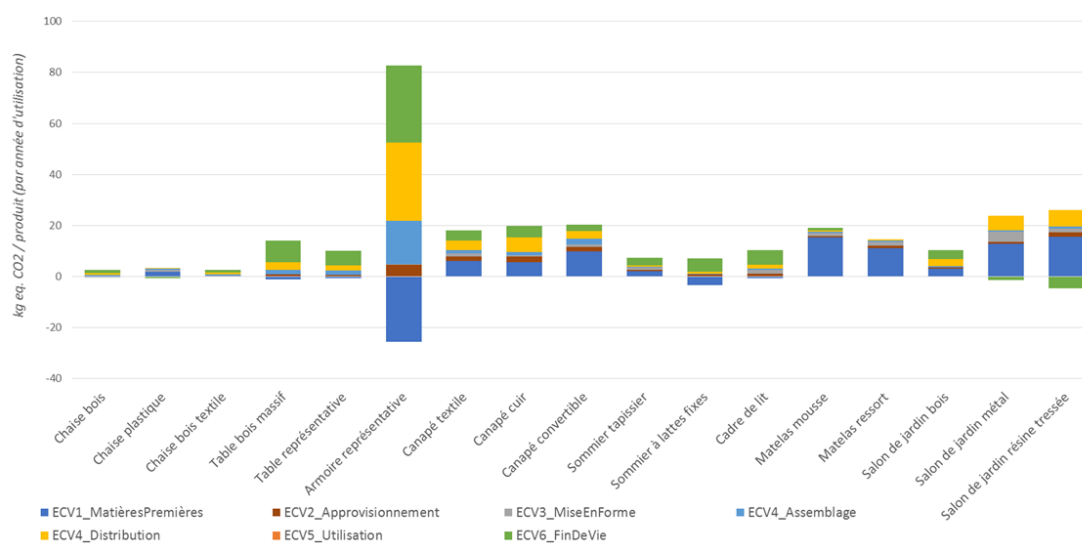
Cette section se focalise sur les équipements mobiliers tels que les :

- Chaise
- Table
- Canapé
- Armoire
- Lit
- Matelas

L'étude ADEME de 2018 « Modélisation et évaluation ACV des produits de consommation et biens d'équipement » a évalué, selon les recommandations ILCD 2011, l'impact carbone de différents types de mobilier :

Catégorie de produit	Segmentation	Super BOM (kg / produit)	Changement climatique cradle-to-grave (kg CO2-eq. / produit)	Changement climatique cradle-to-grave (kg CO2-eq. / an)	Changement climatique cradle-to-gate (kg CO2-eq. / produit)
Mobiliers					
Chaise	Chaise en bois	9.6	25.2	2.52	4.9
	Chaise en plastique	5.7	28	2.8	30
	Chaise mix (structure bois et revêtement textile)	9.3	12	1.2	7.8
Table	Table en bois 4 places	50	130	13	15
	Table représentative 4 places	34	96	9.6	18
Armoire	Armoire représentative	307	858	57.2	-53
Canapé	Canapé textile	43	180	18	104
	Canapé cuir	69	200	20	96
	Canapé convertible (type clic-clac, BZ)	38	204	20	149
Sommier	Sommier tapissier	26	110	7.36	58.3
	Sommiers à lattes fixes	39	69	4.6	-35
	Cadre de lit	55	147	9.8	39
Matelas	Matelas mousse	34	286	19	262
	Matelas ressort	28	219	15	210
Salon de jardin	Salon de jardin en bois	25	103	10	41
	Salon de jardin en métal	43	224	22	181
	Salon de jardin en résine tressée	47	215	22	196

Extrait de l'étude ACV ADEME sur les produits de consommation et bien d'équipement [640]



Détail des émissions carbone des biens « mobilier » - Extrait de l'étude ACV ADEME sur les produits de consommation et bien d'équipement [640]

Le détail complet de l'analyse est disponible (hypothèses, périmètres, etc.) dans le [rapport complet de l'étude](#).

Les conclusions de l'étude, montrent que, sur l'ensemble du cycle de vie :

- Pour les produits d'ameublement, les trois phases de cycle de vie les plus contributrices sont la phase d'assemblage/distribution, la phase de production des matières premières et la phase de fin de vie. Néanmoins les tendances peuvent être très contrastées d'un produit à l'autre.
- Plus le produit est mono-matériau bois issu de la gestion durable des forêts, plus la contribution relative de la production des matières premières est faible, voire négative si l'on intègre le carbone d'origine biogénique stocké durablement.
- Selon le type de mobilier, la contribution relative des phases de cycle de vie varie :
 - Produits à majorité bois principalement issu de gestion durable : les phases de cycle de vie les plus contributrices sont la fin de vie (40% à 133%) et la distribution (7 à 50%) selon que le produit est fabriqué en France ou à l'import.
 - Produits sans bois (matelas, chaises et salon plastique et métal) : la principale étape contributrice est la mise à disposition des matières premières (entre 60% et 80%).
 - Produits mixte bois et autres matériaux (canapés) : la principale étape contributrice est la mise à disposition des matières premières (entre 30% et 50%), la fin de vie (entre 20% et 30%) et la distribution (entre 10 et 20%).
 - Produits bois issu de gestion non durable : Les phases de cycle de vie les plus contributrices sont la production des matières premières (30%), la distribution depuis l'Asie (30%) et la fin de vie (30%).

Les résultats retenus dans la Base Carbone® correspondent à un **périmètre** « cradle to gate » **élargi** qui comptabilise les émissions liées à :

- L'extraction des matières premières
- L'approvisionnement
- La mise en forme
- L'assemblage
- La distribution

De même, ne sont comptabilisées que les émissions de CO₂ d'origine fossile. Les éventuels puits carbone (liés à l'immobilisation de carbone d'origine biogénique issu du bois par exemple) sont, lorsque c'est le cas, affichés dans les détails du facteur d'émission

présentés dans la Base Carbone® mais ne sont pas comptabilisés dans le facteur d'émission global.

Sources :

[640] ADEME, J.Lhotellier, E.Less, E.Bossanne, S.Pesnel. Mars 2018. Modélisation et évaluation ACV de produits de consommation et biens d'équipements – Rapport. 188 pages.

6.1.1 Textile 2

Description

La Base Carbone® propose des valeurs pour différents types de textiles :

- Cuir
- Coton
- Synthétique
- Autre

6.1.12.1 Cuir

Les seules valeurs disponibles sont des procédés de traitement du cuir issu du projet Base IMPACT®.

Sources

Les facteurs d'émissions retenus ici sont tirés de la [Base IMPACT®](#).

Valeurs

Nom	Périmètre	Valeur
Finition post-tannage du cuir	Asie	2,62 kgCO _{2e} / kg
Peinture pour cuir (laques PU)	Asie	1,94 kgCO _{2e} / kg
Peinture pour cuir (laques PU)	Europe	1,67 kgCO _{2e} / kg
Tannage du cuir	Asie	1,04 kgCO _{2e} / kg
ponçage du cuir	Asie	0,106 kgCO _{2e} / kg
ponçage du cuir	Europe	0,0584 kgCO _{2e} / kg

Facteurs d'émission des différents procédés de traitement du cuir

Source : Base IMPACT - PRG AR4

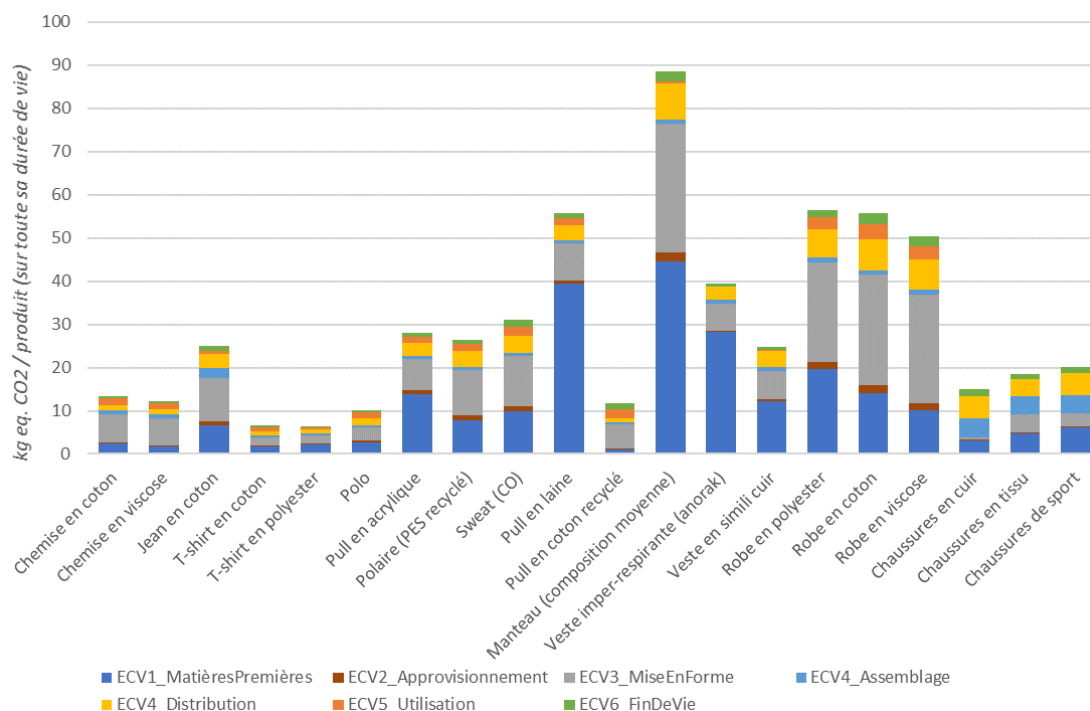
Les PRG utilisés dans la Base Carbone® sont ceux de l'AR5 contrairement à ceux présentés dans cette partie de la documentation qui reste à actualiser. Ainsi, en cas de différence, ce sont bien les valeurs de l'application informatique qu'il convient d'utiliser.

6.1.12.2 Coton, synthétique, autre

L'étude ADEME de 2018 « Modélisation et évaluation ACV des produits de consommation et biens d'équipement » a évalué, selon les recommandations ILCD 2011, l'impact carbone de différents types de textiles, habillement et chaussures:

Catégorie de produit	Segmentation	SuperB OM (kg / produit)	Changement climatique cradle-to-grave (kg CO2-eq. / produit)	Changement climatique cradle-to-grave (kg CO2-eq. / an)	Changement climatique cradle-to-gate (kg CO2-eq. / produit)
Textiles, habillement et chaussures					
Chemise	Chemise coton	0.3	13	13	10
	Chemise viscose	0.3	12	12	9
Jean	Jean coton	0.8	25	25	20
T-shirt	T-shirt coton à usage quotidien	0.2	7	7	4
	Polo	0.3	10	10	7
	T-shirt polyester à usage sportif	0.2	6	6	5
Pull	Pull acrylique	0.7	28	28	23
	Polaire en polyester recyclé	1.0	26	26	20
	Sweat en coton	1.1	31	31	23
	Pull en laine	0.8	56	56	49
	Pull en coton recyclé	0.9	12	12	7
Manteau	Manteau (composition moyenne)	1.9	89	89	77
	Veste imper-respirante (anorak)	0.5	39	39	36
	Veste simili cuir	0.7	25	25	20
Robe	Robe en polyester	1.5	56	56	45
	Robe en coton	1.6	56	56	43
	Robe en viscose	1.6	51	51	38
Chaussures	Chaussures cuir	0.9	15	15	8
	Chaussures tissu	0.7	19	19	13
	Chaussures de sport	0.9	20	20	14

Extrait de l'étude ACV ADEME sur les produits de consommation et bien d'équipement [640]



Détail des émissions carbone des textiles, habillement et chaussures - Extrait de l'étude ACV ADEME sur les produits de consommation et bien d'équipement [640]

Le détail complet de l'analyse est disponible (hypothèses, périmètres, etc.) dans le [rapport complet de l'étude](#).

Les conclusions de l'étude, montrent que, sur l'ensemble du cycle de vie :

- Pour les **articles d'habillement**, les deux phases de cycle de vie les plus contributrices sont la phase de production des matières premières (variation entre 8% pour le pull en coton recyclé et 72% pour l'anorak ; 35% en moyenne) et l'étape de mise en forme (variation entre 15 et 51% ; 36% en moyenne).

Remarque : la phase d'utilisation est évaluée en attribuant 100% des impacts des consommables à l'article d'habillement. Ainsi le scénario de référence est : aucun lavage (pour couvrir aussi bien le lavage machine que le nettoyage à sec), aucun séchage (étape non obligatoire) et aucun repassage (étape non obligatoire).

De manière générale, les procédés contributeurs pour les articles d'habillement sont :

- La production de la matière première textile
- L'électricité consommée pendant la mise en forme. La contribution est fonction des pays de production. Par exemple : la production d'électricité en Inde a plus d'impact qu'en Chine ou au Bangladesh de par le mix électrique utilisé (respectivement 1,60 kg CO₂ eq, 1,00 kg CO₂ eq et 0,78 kg CO₂ eq pour la production d'1 kWh d'électricité en Inde, en Chine et au Bangladesh).
- La vapeur consommée pendant la mise en forme (étapes d'ennoblissement)

- Le transport aérien (il intervient lors de la mise en forme ou lors de la distribution)
 - Le transport par camion (il intervient lors de l'approvisionnement, de la mise en forme ou lors de la distribution)
 - L'utilisation (électricité et/ou détergent) ressort pour les produits comportant 30 ou 50 cycles d'entretien
- Pour les **chaussures**, trois phases du cycle de vie ressortent : la production des matières premières (26% en moyenne), l'assemblage (25% en moyenne) et la distribution (27% en moyenne).

De manière générale, les procédés contributeurs pour les chaussures sont :

- L'électricité consommée pour l'assemblage
- Le transport aérien (étape de distribution)
- La production des matières premières (textiles, plastiques). Pour rappel, dans le cas des chaussures en cuir, la partie élevage ne porte pas d'impact du fait d'une allocation viande/cuir/lait n'imputant rien au cuir dans le référentiel AFNOR. Ainsi la production du cuir n'apparaît pas dans les procédés pertinents.
- L'électricité consommée pendant la mise en forme
- Le transport maritime (distribution)

Les résultats retenus dans la Base Carbone® correspondent à un **périmètre** « cradle to gate » **élargi** qui comptabilise les émissions liées à :

- L'extraction des matières premières
- L'approvisionnement
- La mise en forme
- L'assemblage
- La distribution

Sources :

[\[640\] ADEME. J.Lhotellier, E.Less, E.Bossanne, S.Pesnel. Mars 2018. Modélisation et évaluation ACV de produits de consommation et biens d'équipements – Rapport. 188 pages.](#)

6.1.1 Autres produits manufacturés

3

Enter topic text here.

6.1.13.1 Consommables de bureaux

Description

Les facteurs d'émissions « consommables de bureaux » proposés dans la Base Carbone® sont issus de différentes sources.

- Les facteurs d'émissions ramenés à une unité physique de poids ou à un nombre de feuilles (ex : cartouches, encre) sont issus d'une compilation de données réalisée pour l'élaboration du "Guide secteur des technologies numériques, information et communication" de 2011⁶⁵⁰. Ce guide de l'ADEME a vu la participation de différents organismes tels que le Service Climat et Service Bâtiment de l'ADEME, CIGREF, Zen'to, GreenIT.fr, Orange, La Poste, INRIA, CNRS (EcoInfo), Demtech, CLER, Atrium Data, Meta IT, HP, SagemCom, Eeva Conseil, et l'APCC.
- Les facteurs d'émissions ramenés à une unité monétaire (consommables bureautiques, petites fournitures) proviennent des ratios monétaires

Sources :

[\[650\] ADEME, Technologies numériques, information et communication \(TNIC\). Réalisation d'un Bilan des émissions de gaz à effet de serre - Guide sectoriel 2012](#)

6.1.13.2 Usage viticulture

Description

Cette section se focalise sur les intrants et consommables utilisés par l'activité viticole tels que :

- Intrants viticulture
- Produits oenologiques
- Autres intrants de vinification
- Produits d'hygiène
- Conditionnement / habillage du vin
- Bouchage / surbouchage

■ Emballage

Le guide "[Comptabilisation des émissions de GES - Application de la méthode Bilan Carbone® à la filière viti-vinicole](#)"^[660] de 2011 a répertorié près de 80 facteurs d'émissions en lien avec l'activité viticole, compilant diverses sources de données pertinentes pour le secteur (Cairn environnement, AJYR,...). Retrouvez le tableau détaillé pages 22 et 23.

Ce guide sectoriel de l'ADEME a été co-construit avec de nombreux organismes tels que l'ADEME et DR Aquitaine, Bourgogne, Champagne et Languedoc Roussillon / IFV / Centres techniques et organismes régionaux (BIVB, CIVB, CIVC) / bureaux d'études (Aventerre, Ajyr, Alain Bonhoure Conseil, Cairn Environnement, ECO₂ Initiative, Envylis) / Groupe ICV (Institut coopératif du vin) / SOCOTEC, le Centre Technique Industriel UNGDA.

Sources :

[\[660\] ADEME, Comptabilisation des émissions de gaz à effet de serre - Application de la méthode Bilan Carbone® à la filière viti-vinicole \(Itinéraires n°24\) - juin 2011](#)

6.1.13.3 Articles de sport

Description

Cette catégorie de la Base Carbone®, recense les facteurs d'émissions de différents produits et articles de sports.

Sources des données & périmètre

Les données proviennent :

- du rapport "Facteurs d'émissions d'équipements de sport" (Altern Consult 2008) listant près de 42 facteurs d'émissions d'équipements sportifs utilisés dans 19 disciplines différentes^[670].
- de l'ACV "bien équipement" de l'ADEME (Mars 2018)^[640] proposant 6 facteurs d'émissions pour les équipements "raquettes", "sac à dos" et "ballons".

Les facteurs d'émissions sont rapportés à un produit.

Les données d'inventaire du cycle de vie sont principalement issues de la littérature et des référentiels sectoriels pour l'affichage environnemental de l'ADEME. Ces référentiels sectoriels ont été établis lors de groupe de travail rassemblant des industriels du secteur concerné.

Les référentiels sectoriels permettent de définir l'unité fonctionnelle (service rendu par le produit), le flux de référence (nombre de produit nécessaire pour répondre à l'unité fonctionnelle),

les indicateurs d'impact environnemental les plus représentatifs du secteur industriel ainsi que la qualité des données attendues.

Principales limites de l'étude

Les résultats de l'étude ADEME représentent des produits standards types mais sont susceptibles de varier compte tenu de la diversité des compositions et des technologies de production.

Résultats

Les facteurs d'émissions proposés par l'ACV " bien équipement" de l'ADEME (Mars 2018))^[640] sont les suivants :

Catégorie de produit	Segmentation	Changement climatique (du berceau à la tombe) kg éq. CO ₂ / produit
Sac-à-dos	Sac-à-dos de randonnée (poids 470 g)	6.3
	Sac-à-dos d'écolier (poids 20 litres)	9.8
Raquette	Raquette de tennis (raquette 276 gr + housse 295 gr)	23
Ballon	Ballon de football	7
	Ballon de basket-ball	6.1
	Ballon de volley-ball	3

Selon l'équipement de sport, la contribution relative des phases de cycle de vie varie :

- **Sac-à-dos** : les phases de cycle de vie les plus contributrices sont la production des matières premières (50 à 80%) et la mise en forme (15 à 35%). Selon l'inventaire de cycle de vie utilisé, l'étape de mise en forme est directement incluse dans la phase « ECV1_MatièresPremières ». C'est le cas des tissus enduits, qui composent le sac de randonnée alors que pour le sac en polyester d'écolier, une étape de tissage doit être ajoutée dans la phase : « ECV3_MiseEnForme ».
- **Ballons** : Les phases de cycle de vie les plus contributrices sont la production des matières premières (25 à 50%), la fin de vie (20%) qui correspond à la fin de vie des ordures ménagères résiduelles en France. Viennent ensuite la distribution depuis l'Asie (15%) et la mise en forme en Asie (11 à 17%). Le ballon de volley-ball étant mono-matériau (PVC souple) et plus léger que les deux autres ballons, son impact GES est donc plus faible.

- **Raquette de tennis** : Les phases de cycle de vie les plus contributrices sont la production des matières premières (44%), l'assemblage en Asie (20%) et la mise en forme en Asie (15%).

Sources :

[640] ADEME, J.Lhotellier, E.Less, E.Bossanne, S.Pesnel. Mars 2018. Modélisation et évaluation ACV de produits de consommation et biens d'équipements – Rapport. 188 pages.

*[670] Altern Consult - "Facteurs d'émissions d'équipements de sport" 2008.
www.ufolep.org/modules/kameleon/upload/FE_Sport.pdf*

6.1.1 Eau, traitement et distribution d'eau 4

Enter topic text here.

6.1.14.1 Eau de réseau

Le Groupe de travail Bilan GES de l'Astee (Association Scientifique et Technique pour l'Eau et l'Environnement ; www.astee.org) a conduit une étude pour déterminer le facteur d'émission de l'eau potable. Les valeurs ont été réalisées à partir de la moyenne des Bilan GES (complets) des principaux opérateurs français. La moyenne est pondérée par rapport aux parts de marchés et sont donc ainsi représentatives de la moyenne consommée au niveau Français.

Ci après sont présentés consécutivement les valeurs pour la potabilisation et celles pour le traitement aval.

Les Bilan GES de Véolia et la Lyonnaise des eaux s'appuient sur des données 2011 tandis que ceux de la SAUR, le SEDI et Eau de Paris s'appuient sur des données 2012.

Scope	N° de postes (GES Art. 75)	Type de sources	Description détaillée	gCO2e/m3
Scope 1	1	Energie	Combustibles (fioul et gaz naturel) : sources fixes y compris les bâtiments tertiaires	4
	2	Déplacements	Gasol et essence (véhicules particuliers, utilitaires, engins)	20
	4	Emiss. sur site	Non applicable	0
Scope 2	6	Energie	Electricité: réseaux, usines (EP et EU) et bâtiments tertiaires	40
	7	Energie	Vapeur froid / chaud	0
Scope 3	8	Energie	Energie amont : combustibles sources fixes et électricité	12
	8	Déplacements	Energie amont Véhicule possédé	5
	9	Intrants	Réactifs consommés uniquement (les achats biens et services ne sont pas pris en compte)	24
	9	Réseaux	Réparations de fuites sur canalisation EP et Branchements EP	20
	11	Boues	Emissions de N2O liées à l'épandage des boues	0,4
	11	Déchets	Non applicable	0
	11	Fret	Non applicable	1
	12	Fret	Fret des réactifs - 156 km (données statistiques transports moyenne 2011 produits chimiques)	2
	13	Déplacements	Déplacements train et avion (non significatif)	0
	17	Déplacements	Déplacements visiteurs (non significatif)	0
	23	Déplacements	Domicile travail (1 Aller retour = 22 km, répartition par mode de transport source INSEE-SOeS, ENT D 2008), 1 ETP = 210 J travaillés	5
	24	Eaux usées	Non applicable	0
	RATIO TOTAL			132

Emissions par type de source et par m³ (pour la production d'eau potable) - PRG AR4

Pour les données présentées ci dessous (traitement), les Bilan GES de Véolia et la Lyonnaise des eaux s'appuient sur des données 2011 tandis que ceux de la SAUR s'appuient sur des données 2012.

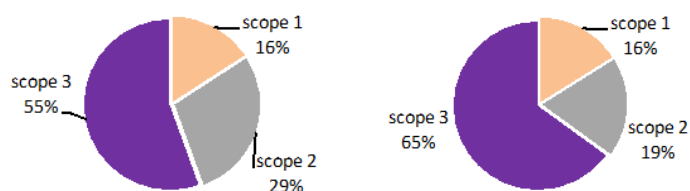
Les numéros de postes d'émission et les descriptions des types de sources peuvent être retrouvés dans l'annexe 1 du guide sectoriel « Quantification des Émissions de Gaz à effet de serre des Services d'Eau et d'Assainissement ».

Scope	N° de postes (GES Art. 75)	Type de sources	Description détaillée	gCO2e/m3
Scope 1	1	Energie	Combustibles (fioul et gaz naturel) : sources fixes y compris les bâtiments tertiaires	14
	2	Déplacements	Gasoil et essence (véhicules particuliers, utilitaires, engins)	14
	4	Emiss. sur site	Emissions liées aux process d'épuration (N2O et CH4)	12
Scope 2	6	Energie	Electricité: réseaux, usines (EP et EU) et bâtiments tertiaires	47
	7	Energie	Vapeur froid / chaud	0
Scope 3	8	Energie	Energie amont : combustibles sources fixes et électricité	14
	8	Déplacements	Energie amont Véhicule possédé	3
	9	Intrants	Réactifs consommés	53
	9	Réseaux	Réparations de fuites sur canalisation EP et Branchements EP	0
	11	Boues	Emissions de N2O liées à l'épandage des boues	28
	11	Déchets	Refus de dégrillage, Graisse et sables	4
	11	Fret	Fret des boues (90%) et sous-produits (10%)	3
	12	Fret	Fret des réactifs	2
	13	Déplacements	Déplacements train et avion (non significatif)	1
	17	Déplacements	Déplacements visiteurs (non significatif)	0
	23	Déplacements	Déplacements Domicile travail	7
	24	Eaux usées	Rejets au milieu naturel (CH4 et N2O)	58
	RATIO TOTAL			262

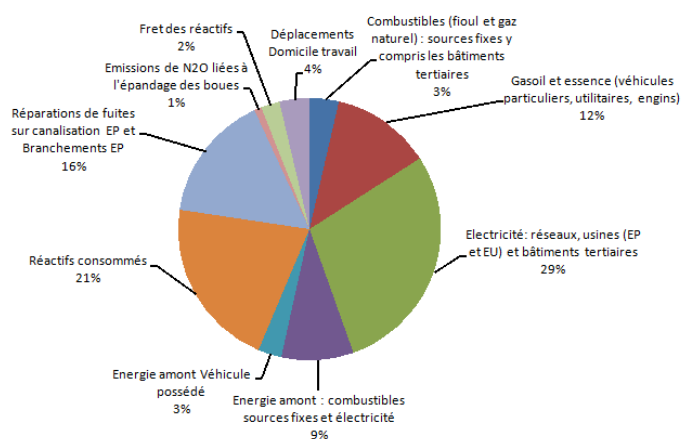
Emissions par type de source (pour le traitement des eaux usées) - PRG AR4

A noter que les deux facteurs d'émission (eau potable et eaux usées) comprennent les émissions d'opération (respectivement pour la production d'eau potable et sa distribution ainsi que le traitement des eaux usées), mais ne prennent pas en compte les émissions indirectes liées aux infrastructures (immobilisation des usines et réseaux).

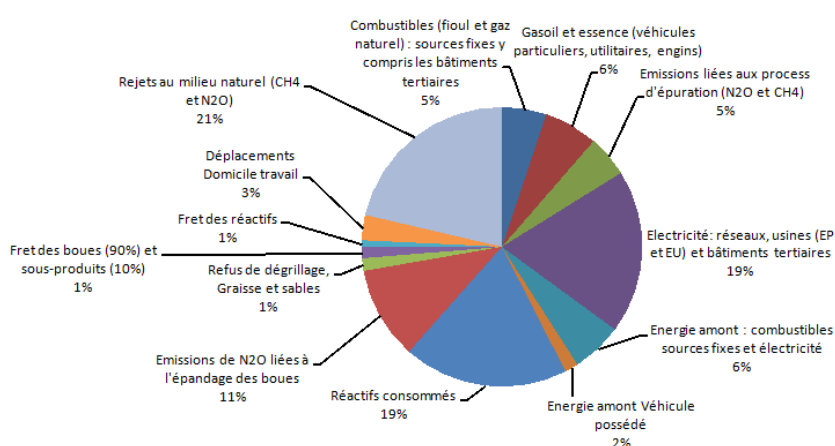
Enfin, conformément au guide sectoriel ASTEE-ADEME, les émissions de GES liées au traitement des boues hors épandage et les émissions de CO₂ biogéniques non quantifiées dans le guide sectoriel ne sont pas prises en compte dans le facteur d'émission pour les eaux usées.



Emissions par scope (en %) (pour l'eau potable à gauche, et pour les eaux usées à droite).



Emissions par type de source (en %) (pour l'eau potable).



Emissions par type de source (en %) (pour les eaux usées).

6.1.1 Bâtiments et ouvrages d'art

5

Description

Cette section donne des facteurs d'émissions pour les divers "produits" du secteur du BTP.

Ces "produits" correspondent à la construction :

- de bâtiments
- des infrastructures telles que les canalisations ou les routes

6.1.15.1 Batiments

Description

La construction des bâtiments génère des émissions de GES à la fois pour la fabrication des matériaux et leur acheminement que pour la consommation de carburants sur le chantier.

Le parallèle peut être fait avec "l'énergie grise" du bâtiment.

Trois approches sont proposées pour évaluer les émissions liées à la construction des bâtiments :

- Une approche par les surfaces construites à l'aide de ratio moyens
- Une approche globale par les consommation énergétiques
- Une approche plus détaillé par quantité de matériaux mis en oeuvre

Approche rudimentaire par les surfaces construites - Cas des logements et des bureaux

Les valeurs fournies ci-après sont extraites du rapport « capitalisation des résultats de l'expérimentation HQE Performance. Analyse statistique. Action 22 » de octobre 2013 ; DHUP convention Y13-08 n°2200756332. Ce rapport fournit tous les résultats de l'expérimentation HQE Performances menée entre 2012 et 2013 en collaboration, notamment, entre l'Association HQE, la DHUP, l'ADEME, le CSTB et le CEREMA [591](#).

L'ensemble des hypothèses, méthodologies et données sont fournies dans ce rapport qui est téléchargeable sur les sites internet de la DHUP et de l'Association HQE

(http://assohqe.org/hqe/IMG/pdf/14-027_HQEPef_RapportPrincipal_VF.pdf). Il le sera également sur l'application Base Carbone.

Les valeurs indiquées correspondent au seul contributeur « produits et équipements » mis en oeuvre lors de la construction d'un bâtiment (les autres contributeurs aux impacts environnementaux et notamment au changement climatique étant, pour un bâtiment : le chantier, les consommations d'eau, les consommations d'énergies liées aux usages immobiliers et mobiliers ; mais, à l'exception du chantier, les impacts liés à ces contributeurs auront lieu tout au long de la vie du bâtiment).

Il s'agit de valeurs médianes obtenues sur l'échantillon de bâtiments neufs analysés : 22 pour les maisons individuelles, 17 pour les immeubles de logements collectifs et 24 pour les bâtiments de bureaux. Cet échantillon est composé de constructions faisant appel à différents modes et matériaux constructifs pour leur enveloppe et à différents équipements électriques et de génie climatique.

Enfin, à la différence du rapport cité ci-avant, ces valeurs n'ont pas été annualisées. Cependant, ces valeurs tiennent compte de l'entretien et de l'éventuel remplacement des produits et équipements durant la vie du bâtiment fixée à 50 ans.

Résultats

Nom	Valeur	Unité	Remarque
Maisons individuelles	425	kgCO _{2e} / m ² Shon	50% des valeurs sont comprises entre 300 et 500 kgCO _{2e} / m ² Shon
Immeubles de logements collectifs	525	kgCO _{2e} / m ² Shon	50% des valeurs sont comprises entre 425 et 600 kgCO _{2e} / m ² Shon
Bâtiments de bureaux	650	kgCO _{2e} / m ² Shon	50% des valeurs sont comprises entre 550 et 800 kgCO _{2e} / m ² Shon

Facteurs d'émission de l'impact de la construction des bâtiments

- PRG AR4 -

Approche rudimentaire par les surfaces construites - Cas des autres bâtiments

Les valeurs proposées ci-dessous découlent des dépenses énergétiques requises pour construire divers types de bâtiments, et ne concernent donc que le CO₂ fossile.

Une étude a été réalisée par le CNRS (programme ECODEV) en 1998⁵⁹² qui donne la répartition des bâtiments mis en chantier en 1990 par nature d'utilisation et qui donne aussi les dépenses énergétiques globales par nature de bâtiment. Les consommations intermédiaires (transports, fabrication des matériaux, etc.) sont prises en compte dans cette étude.

Les bâtiments sont censés être soit à structure béton (par exemple un immeuble de bureaux), soit à structure métallique (par exemple un hangar ou un bâtiment d'exploitation agricole). Une estimation de la répartition entre les 2 a été faite par le CNRS.

Enfin, les logements et les bureaux considérés dans l'étude ne sont pas reportés ci dessous car traité dans le paragraphe ci dessus.

Type de bâtiment	m² totaux	Milliers de tonnes équivalent pétrole correspondant à la construction	% en structure métallique
Bâtiments agricoles	12 733 000	2 056	50%
Bâtiments industriels	17 495 000	2 825	70%
Garages	1 854 000	299	50%
Commerces	5 553 000	897	30%
Enseignement	2 536 000	410	0%
Santé	2 599 000	420	0%
Loisirs	2 213 000	357	20%

Dépenses énergétiques pour la construction de bâtiment selon leur activité.

Sur la base de ces données, on peut reconstituer la dépense énergétique au m² des bâtiments construits (tableau ci-dessous).

Type de bâtiment	m² totaux	m² métalliques	m² béton	kep/m² métal	kep/m² béton
Bâtiments agricoles	12 733 000	6 366 500	6 366 500	81	242
Bâtiments industriels	17 495 000	12 246 500	5 248 500	101	303
Garages	1 854 000	927 000	927 000	81	242
Commerces	5 553 000	1 665 900	3 887 100	67	202
Enseignement	2 536 000	0	2 536 000	54	162
Santé	2 599 000	0	2 599 000	54	162
Loisirs	2 213 000	442 600	1 770 400	62	186

Dépense énergétique pour la construction des bâtiments par matériaux

Il reste à déterminer le facteur d'émission d'un kep (kilo d'équivalent pétrole) dans la construction, si possible en tenant compte des gaz mineurs.

Pour cela, la méthode qui a été suivie est décrite ci-dessous :

- le CNRS donne des consommations énergétiques en tep par secteur d'activité,
- le CEREN donne, pour chaque code NAF, la proportion d'électricité dans l'énergie totale utilisée,

- en rapprochant les données CEREN et CNRS, nous obtenons une valeur de la proportion d'électricité dans chaque branche (ci-dessous),
- nous supposons que les émissions de CO₂ associées à la production de l'électricité sont négligeables (ce qui est acceptable face au reste),
- le solde, qui consiste en des combustibles fossiles, se voit affecter la valeur standard de 2,79 tonne CO_{2e} / tep* ce qui permet d'obtenir les émissions énergétiques,
- des émissions non énergétiques sont rajoutées dans le ciment (ratio de 1,35 pour un), et dans les métaux non ferreux (ratio 1 pour 1, pour l'aluminium).

* Contenu carbone découlant du mix énergétique moyen de l'industrie pour les combustibles fossiles.

Cela donne le tableau ci-dessous :

Produits	Consommation amont en tep	part de l'électricité	tep combustible	tCO _{2e} /tep pour le solde	t CO _{2e} énergie	t CO _{2e} non énergie	total t CO _{2e}
Métaux non ferreux	330 000	50%	165 000	2,79	459 800	459 800	919 600
Métaux ferreux	1 427 000	20%	1 141 600	2,79	3 181 259		3 181 259
Matériaux de construction	3 020 000	15%	2 567 000	2,79	7 153 373	9 657 054	16 810 427
Verre	358 000	40%	214 800	2,79	598 576		598 576
Travail des métaux	1 088 000	50%	544 000	2,79	1 515 947		1 515 947
Plastiques	206 000	25%	154 500	2,79	430 540		430 540
Matériel électrique	992 000	50%	496 000	2,79	1 382 187	1 382 187	2 764 373
Machines	3 864 000	50%	1 932 000	2,79	5 383 840		5 383 840
Biens ménagers	131 000	50%	65 500	2,79	182 527		182 527
Parachimie	140 000	50%	70 000	2,79	195 067		195 067
Bois	263 000	80%	52 600	2,79	146 579		146 579
TOTAL	11 819 000		7 403 000		20 629 695	11 499 041	32 128 735

Émissions par secteur d'activité (en France) engendrées par la phase de construction d'un bâtiment.

On voit donc que les émissions sont de 32.129.000 tonnes de CO_{2e} (incluant une partie des gaz mineurs) pour une consommation de 11.819.000 tep, donc en première approximation cela nous amène, pour la suite du raisonnement, à 2,71 tCO_{2e} / tep utilisée dans le bâtiment.

On peut alors assez facilement obtenir des facteurs d'émission par m² à partir des données ci-dessus, en affectant aux "contenus en énergie" du tableau 1 le facteur d'émission de 2,71 tCO_{2e} / tep utilisée dans le bâtiment

Type de bâtiment	kg équivalent CO2 par m ²	
	Construction métallique (hangar...)	Construction béton (immeuble de bureaux)
Bâtiments agricoles	220	656
Bâtiments industriels	275	825
Garages	220	656
Commerces	183	550
Enseignement	147	440
Santé	147	440
Loisirs	169	506

Facteurs d'émission au m² des bâtiments en fonction de leur type et de leur activité.

Cette méthode, certes rudimentaire, permettra cependant de modéliser, en ordres de grandeur, les émissions liées à la construction d'une nouvelle infrastructure et celles liées à l'amortissement. Le facteur d'incertitude par défaut est estimé égal à 50%.

Approche globale, par la consommation énergétique

Il est également possible de reconstituer les émissions de construction à partir de la consommation énergétique du bâtiment. Pour cela, nous considérons que les émissions liées à sa fabrication* représentent une fraction des émissions de fonctionnement sur sa durée de vie, et qui dépend du type de bâtiment :

- pour le stock existant, cela ira dans une fourchette de 7 à 10 % (dont 5 % pour la part imputable à la seule fabrication des matériaux).
- pour les bâtiments neufs, la proportion est de l'ordre de 15 %,
- avec des bâtiments à très haute performance énergétique cette proportion pourrait atteindre 30 à 50 % de la consommation énergétique sur leur durée de vie¹.

Dans la Base Carbone ®, seules deux approches ont été conservées : l'approche par les m² et l'approche par les quantités de matériaux mis en œuvre.

* Consommation directe pour la réalisation des chantiers, la consommation indirecte pour la fabrication des matériaux, leur approvisionnement et leur transport vers les chantiers, et les consommations annexes des autres branches de l'économie imputable aux bâtiments (assurances par exemple)

Approche plus détaillée, par quantité de matériaux mis en œuvre

Une approche un peu plus précise peut être tentée, surtout dans le cas d'un bâtiment à construire, si l'on connaît la nature des matériaux utilisés, et les quantités employées. En pareil cas, on utilisera des facteurs d'émission par unité fonctionnelle (UF)* (en pratique une tonne de ciment, un m² de toiture, etc), auxquels nous rajouterons, si cela n'est pas déjà pris en compte, les émissions de transport, de manutention et de traitement sur le chantier.

* L'Unité fonctionnelle est définie par l'ISO 14040 comme la "Performance quantifiée d'un système de produits destinée à être utilisée comme unité de référence dans une analyse du cycle de vie"

Les facteurs d'émission préconisés pour cette approche sont issus de la base de données INIES⁵⁹⁰. Cette base de donnée est constituée de fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES) de différents produits de construction fournies par les fabricants et syndicats professionnels de la branche et qui proposent des informations sur l'analyse du cycle de vie des produits. Il est ainsi possible pour chaque matériau d'identifier les émissions de GES dues à sa production, son transport, sa mise en oeuvre et également sa fin de vie. La base INIES recense à l'heure actuelle une quarantaine FDES et est enrichie régulièrement par de nouvelles fiches.

Quelques facteurs d'émission ont été extrait de cette base de données et sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Matériaux / Produits	Unités	FE (kgCO _{2e} / unité)
Mur en maçonnerie de blocs en béton	m ²	18,37
Poutrelle en béton précontraint	mL	3,37
Carreaux de plâtre	1 m ² de paroi	16,39
Bardage acier simple peau	1 m ² de paroi	8,51
Tuile béton	1 m ² de toiture	10,49
Complexe de doublage d'isol. Therm	1 m ² de paroi	6,01
Revêtement de sol PVC homogène	1 m ² de sol	6,6
Canalisations PVC	1 mL	2,57
Panneau de plafond suspendu	1 m ²	4,29
Monomur terre cuite	1 m ²	54,01

FE des matériaux et produits de construction issus de la base INIES

Sources :

[590] INIES

[591] Capitalisation des résultats de l'expérimentation HQE Performance, 2013, DHUP, CSTB, Association HQE, ADEME, CEREMA

[592] étude CNRS (programme ECODEV) en 1998

6.1.15.2 Voirie

Description

Les voiries recouvre à la fois les routes et les parkings.

Deux approches permettent de connaître les émissions des voiries :

- soit par les matériaux mis en oeuvre
- soit à l'aide de facteurs d'émissions surfaciques

Facteurs d'émissions surfaciques

Il ne sera pas toujours facile de disposer des poids de matériaux mis en œuvre, aussi il est également possible de travailler à partir de données plus faciles à obtenir, notamment les catégories de voies routières ainsi que leurs dimensions (longueur et largeur).

Catégories de voies routières

Les voies routières neuves sont aujourd'hui dimensionnées en fonction du trafic prévu qu'elles devront subir. Ce trafic se subdivise en deux composantes, l'une concernant les véhicules légers (PTAC < 3,5 tonnes), l'autre les poids lourds (PTAC > 3,5 tonnes).

La nomenclature sur laquelle s'appuie l'étude de Colas⁵⁹⁵ est celle du LCPC^{*}-SETRA^{**}. Elle comporte 8 classes de voies, dont les intitulés vont de TC1 à TC8.

* LCPC signifie Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.

** SETRA signifie Service d'Etudes techniques des Routes et Autoroutes (Service du Ministère des Transports)

Catégorie de voie	Trafic journalier prévu en poids lourds (dans chaque sens)	Trafic journalier prévu en véhicules particuliers
TC1	< 25	< 380
TC2	25 à 50	400 à 750
TC3	50 à 150	750 à 2 300
TC4	150 à 300	2 300 à 4 600
TC5	300 à 750	4 600 à 11 500
TC6	750 à 2 000	11 500 à 31 000
TC7	2 000 à 5000	31 000 à 77 000
TC8	Plus de 5000	Plus de 77 000

Trafic des différentes catégories de voies routières.

Émissions au m² construit

Outre sa classe, qui conditionne en fait la pression maximale qu'elle peut subir, et donc l'épaisseur ou la rigidité des matériaux mis en œuvre, une voie routière est également déterminée par sa structure, qui peut appartenir à l'une des trois familles suivantes :

- une structure en béton armé,
- une structure semi-rigide,
- une structure bitumineuse.

La publication précitée fournit alors des valeurs pour les émissions ramenées au m² de voie construite, pour chaque classe de voie, en fonction du type de structure. Ces valeurs ont été reprises sur un graphique (elles ne figurent pas sous forme de tableau dans la publication), donc sont susceptibles d'être incertaines de quelques % de ce fait, mais compte tenu des dispersions très souvent supérieures des valeurs réelles autour des valeurs moyennes fournies par les analyses de cycle de vie, cela n'est pas gênant.

Type de voie	kgCO _{2e} / m ² selon la structure		
	Béton armé	Semi-rigide	Bitume
TC1	85	40	15
TC2	87	45	20
TC3	92	45	25
TC4	100	54	28
TC5	105	57	32
TC6	115	60	37
TC7	125	65	40

Facteurs d'émission de la construction de routes en fonction du type de voie

Les valeurs concernant les voies classées TC8 ne figurent pas dans l'étude, mais une interpolation linéaire des valeurs obtenues pour les classes précédentes (en fonction de la classe) donne probablement un ordre de grandeur correct.

Émissions liées aux glissières de sécurité

Pour les voies routières à fort trafic, ou comportant 2 voies dans chaque sens, il est fréquent de trouver des glissières. Comme il s'avère que les émissions au mètre linéaire de voie ne sont pas loin d'être égales à celles liées à la construction de la chaussée, il est impératif d'en tenir compte le cas échéant.

Classe de route	kgCO _{2e} / m de glissière
TC5	88
TC6	280
TC7	280

Facteurs d'émission des glissières de sécurité en fonction du type de voie

Parkings

Les techniques de construction sont les mêmes pour les parkings que pour les chaussées. En première approximation, la structure de chaussée d'un parking de supermarché correspond à une classe de trafic TC2. Celle d'une aire de repos moyenne sur une autoroute correspond à un trafic de classe TC3 (Echanges avec Julien BILAL, Colas, Mai 2004).

Sources :

[\[595\] COLAS, 2003, ACV, La route écologique du futur](#)

6.1.1 Ratios monétaires

6

Description

Un facteur d'émissions monétaire permet d'estimer en ordre de grandeur le contenu carbone d'un produit ou service acheté à partir de son prix. Il est fourni en **kgCO_{2e}/k€ HT pour une année donnée**.

Les facteurs d'émissions monétaires proposés dans la Base Carbone peuvent être utilisés :

- Dans le bilan GES organisation pour estimer l'empreinte carbone de la catégorie d'émissions : « achat de biens et services » (ce point est détaillé ci-après)
- Dans le bilan GES de collectivités territoriales pour les catégories d'émissions : « marchés publics » et « subventions »
- Pour estimer l'empreinte carbone d'un citoyen

Les facteurs d'émissions proposés dans la Base Carbone sont basés sur la nomenclature NAF rev.2 . La NAF, nomenclature d'activités française, est une nomenclature des activités économiques productives.

Les facteurs d'émissions monétaires sont en général moins précis que des facteurs d'émissions physiques. Toutefois, ils permettent d'estimer facilement les émissions associées à tous les achats d'une entreprise. Pour certains types d'achats (énergie, matières premières, etc.), il est recommandé de calculer les émissions avec des facteurs d'émissions physiques (facteurs d'émissions par tonne, par kWh, etc.). Pour les achats pour lesquels un calcul à partir de données physiques n'est pas possible, il est recommandé de calculer les émissions avec des facteurs d'émissions monétaires (achats de services, de composants semi-finis, etc.).

La méthode de calcul

Les nouveaux facteurs d'émissions monétaires sont issus des travaux relatifs à l'empreinte carbone de la France menés conjointement par le SDES et l'INSEE depuis 2024.

La méthodologie appliquée est détaillée dans les différentes publications accessibles sur la page suivante : <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/emissions-de-gaz-effet-de-serre-et-empreinte-carbone-de-la-france-une-baisse-significative-en-2023?rubrique=27&dossier=1286>

La nouvelle méthodologie diffère de la précédente et se veut plus robuste notamment :

- au niveau de la prise en compte des imports
- au niveau de la granulométrie sectorielle .

L'évolution des ratios monétaires

L'évolution des ratios monétaires est dès lors un mixte entre 3 types d'évolution :

1. une évolution de la méthode de calcul (cf. ci-dessus)
2. une évolution physique de chaque secteur et de l'intensité carbone de l'économie en général
3. une évolution liée à l'inflation

Incertitude des facteurs d'émissions monétaires

Les facteurs d'émissions monétaires ont intrinsèquement une incertitude élevée. Cette incertitude est plus ou moins importante suivant la catégorie d'achats considérée. Il n'existe pas de méthode rigoureuse pour déterminer l'incertitude de ces facteurs d'émissions monétaires.

L'incertitude augmente :

- Dans les secteurs dont les produits sont très hétérogènes (ex : la chimie)
- Lorsque les dépenses considérées ne concernent qu'un seul produit (ex : achat d'ammoniac)

L'incertitude diminue :

- Dans les secteurs dont les produits sont relativement homogènes, par exemple « l'activité de poste et courrier » ou « l'industrie du papier et du carton » et dans les activités tertiaires
- Lorsque l'on considère un portefeuille de produits achetés (ex : les dépenses des ménages en produits ménagers)

6.1.1 Hydrogène 7

6.1.17.1 Production d'hydrogène

Description globale

L'hydrogène est un gaz obtenu à partir d'une source énergétique « primaire » (ex : gaz naturel) ou « secondaire » (ex : électricité) selon les procédés. On distingue l'hydrogène volontairement produit par un procédé et l'hydrogène coproduit, résultant d'un procédé non dédié à sa production. Les facteurs d'émissions proposés sont exclusivement issus de procédés de production volontaire, étant les plus sujet à évolution selon la demande.

Le **procédé de production le plus répandu actuellement est le reformage de gaz naturel**, mais des données sont également proposées pour le reformage de biométhane et l'électrolyse de l'eau.

L'unité de valeur retenue pour l'hydrogène en tant que vecteur énergétique est un kg d'hydrogène en sortie d'unité de production, respectant la norme de pureté ISO 14687:2019. Ce périmètre est compatible avec la traçabilité de l'hydrogène définie par le décret correspondant.

Méthodologie

Les facteurs d'émission proposés sont issus de l'étude « [Analyse du Cycle de Vie relative à la mobilité hydrogène](#) » - produite en 2020 par l'ADEME, Sphera et Ginkgo21.

Les valeurs renseignées dans la Base Carbone® correspondent au périmètre "Cradle to gate" : émissions amonts et infrastructures jusqu'à la sortie de l'unité de production.

/!\ Point de vigilance : les facteurs d'émissions ne prennent pas en compte le transport de l'hydrogène entre son lieu de production et son lieu de distribution. Dans le cas où ceux-ci ne sont pas confondus, l'impact transport doit être ajouté en fonction de la distance entre les deux sites, donné en kgCO₂/kgH₂/100km.

Mix énergétique utilisé pour la production	
Electricité	Réseau FR : Donnée prévisionnelle 2023 issue de la « Programmation pluriannuelle de l'énergie 2019-2023 /2024-2028 » du Ministère de la Transition Ecologique
	Réseau EU : Donnée prévisionnelle 2023 issue de l'AIE
	Source photovoltaïque, éolien, hydraulique : Base Carbone®
	Source mix EnR : Rapport « Un mix électrique 100% renouvelable ? Analyses et optimisations », ADEME, 2015
Gaz naturel	Base GaBi, mix moyen Français
Biométhane	Base Carbone®, mix moyen Français

L'ACV ayant chiffré des facteurs d'émission très proches pour la technologie d'électrolyse alcaline et PEM (Proton Exchange Membrane), la valeur présentée est une moyenne des deux technologies. . Une hypothèse de fonctionnement sur 1500h a été prise pour l'approvisionnement Photovoltaïque et sur 2200h pour l'approvisionnement éolien.

Résultats

Les facteurs d'émission pour la production d'hydrogène sont proposés par type de procédé. Pour information, en 2020, le procédé majoritaire reste le vaporeformage de gaz naturel. Il est donc à prendre par défaut en l'absence d'information.

Procédé	Production (kgCO ₂ /kgH ₂)
Vaporeformage de gaz naturel (SMR)	11,1
Vaporeformage de biométhane (SMR biométhane)	2,13
Electrolyse réseau France	2,77
Electrolyse réseau Europe	19,8
Electrolyse mix EnR	1,59
Electrolyse source photovoltaïque	2,58
Electrolyse source éolien	0,70
Electrolyse source hydraulique	0,45

L'impact d'une compression à 200 bars utilisant le réseau électrique Français est de 0,1 kgCO₂/kgH₂.

L'impact du transport routier d'hydrogène à 200 bars, la norme actuelle, est de 1,12 kgCO₂/kgH₂/100km. Au vu de l'incertitude de la donnée due à la maturité de la technologie, le facteur d'émission d'un transport d'hydrogène à 500 bars n'est pas disponible dans la Base Carbone®. Cependant, à titre d'information, l'ACV 2020 a estimé que ce type de transport abaisserait l'impact à environ 0,35 kgCO₂/kgH₂/100km.

Sources :

[170] ADEME, Sphera et Gingko21. "Analyse du Cycle de Vie relative à la mobilité hydrogène" (2020)

6.1.17.2 Distribution en station

Description globale

L'hydrogène est un vecteur énergétique obtenu à partir d'une source énergétique « primaire » (ex : gaz naturel) ou « secondaire » (ex : électricité) selon les procédés. On distingue l'hydrogène volontairement produit par un procédé et l'hydrogène coproduit, résultant d'un procédé non dédié à sa production. Les facteurs d'émissions proposés sont exclusivement issus de procédés de production volontaire, étant les plus sujet à évolution selon la demande.

Le **procédé de production le plus répandu actuellement est le reformage de gaz naturel**, mais des données sont également proposées pour le reformage de biométhane et l'électrolyse de l'eau.

L'unité de valeur ici étudiée pour le carburant en station est un kg d'hydrogène distribué à 700 bars en station.

Méthodologie

Les facteurs d'émission proposés sont issus de l'étude « [Analyse du Cycle de Vie relative à la mobilité hydrogène](#) » - produite en 2020 par l'ADEME, Sphera et Ginkgo21.

Les valeurs renseignées dans la Base Carbone® correspondent au périmètre "Cradle to gate" : émissions amonts et infrastructures jusqu'à la mise à disposition d'hydrogène en station-service à 700 bars. Compte tenu du faible impact de la compression dans le bilan et de l'incertitude des données, les valeurs présentées peuvent également être utilisées pour de l'hydrogène distribué à 350 bars. Les pertes à la distribution ont été prises en compte. .

/!\ Point de vigilance : les facteurs d'émissions ne prennent pas en compte le transport de l'hydrogène entre son lieu de production et son lieu de distribution. Dans le cas où ceux-ci ne sont pas confondus, l'impact transport doit être ajouté en fonction de la distance entre les deux sites, donné en kgCO₂/kgH₂/100km.

	Mix énergétique utilisé pour la production
Electricité	Réseau FR : Donnée prévisionnelle 2023 issue de la « Programmation pluriannuelle de l'énergie 2019-2023 /2024-2028 » du Ministère de la Transition Ecologique
	Réseau EU : Donnée prévisionnelle 2023 issue de l'AIE
	Source photovoltaïque, éolien, hydraulique : Base Carbone®
	Source mix EnR : Rapport « Un mix électrique 100% renouvelable ? Analyses et optimisations », ADEME, 2015
Gaz naturel	Base GaBi, mix moyen Français
Biométhane	Base Carbone®, mix moyen Français

L'ACV ayant chiffré des facteurs d'émission très proches pour la technologie d'électrolyse alcaline et PEM (Proton Exchange Membrane), la valeur présentée est une moyenne des deux technologies. .

Résultats

Les facteurs d'émission pour l'hydrogène distribué en station sont proposés par type de procédé. Pour information, en 2020, le procédé majoritaire reste le vaporeformage de gaz naturel. Il est donc à prendre par défaut en l'absence d'information.

Procédé	Production (kgCO ₂ /kgH ₂)	Compression et station (kgCO ₂ /kgH ₂)	Total (kgCO ₂ /kgH ₂)
Vaporeformage de gaz naturel (SMR)	11,8	0,38	12,2
Vaporeformage de biométhane (SMR biométhane)	2,25	0,38	2,63
Electrolyse réseau France	2,93	0,39	3,32
Electrolyse réseau Europe	21,0	2,39	23,4
Electrolyse EnR	1,69	0,24	1,93
Electrolyse source photovoltaïque	2,73	0,49	3,22
Electrolyse source éolien	0,74	0,21	0,95
Electrolyse source hydraulique	0,48	0,11	0,59

Remarque : les facteurs d'émissions "Production" du tableau ci-dessus sont légèrement supérieurs à ceux présentés sur la page "production d'hydrogène". Cette différence vient des pertes d'hydrogène occasionnées par la compression (1%) et la distribution (5%) sur le périmètre « distribution ». L'impact relatif à la production d'hydrogène pèse donc pour 1,06kgH₂ pour en distribuer 1kg, qui est l'unité fonctionnelle.

L'impact du transport routier d'hydrogène à 200 bars, la norme actuelle, est de 1,12 kgCO₂/kgH₂/100km. Au vu de l'incertitude de la donnée due à la maturité de la technologie, le facteur d'émission d'un transport d'hydrogène à 500 bars n'est pas disponible dans la Base Carbone®. Cependant, à titre d'information, l'ACV 2020 a estimé que ce type de transport abaisserait l'impact à environ 0,35 kgCO₂/kgH₂/100km.

Sources :

[\[170\] ADEME, Sphera et Gingko21. "Analyse du Cycle de Vie relative à la mobilité hydrogène" \(2020\)](#)

6.2 Achat de services

Description

Les services désignent une très large variété de prestations : informatique, gardiennage, téléphone, hôtellerie, voire garde d'enfants assurée par l'entreprise....

Il n'inclue pas :

- Les services de transport qui sont détaillé plus clairement dans le [chapitre sur le transport de marchandises](#) et [celui sur le transport de personne](#)
- Les services de traitement des déchets qui sont détaillé dans le chapitre sur le traitement des déchets

La prise en compte proposée ici n'a pas d'autre ambition que de donner un ordre de grandeur par défaut quand l'enjeu ne justifie pas de demander un bilan GES à un fournisseur.

Il existe diverses façons d'estimer le "contenu carbone" des services :

- Soit à partir d'un ratio économique moyen (voir chapitre ratio monétaire)
- Soit à partir d'un ratio économique fourni par le prestataire (il s'agit en gros : de son bilan GES complet sans les postes aval divisé par son chiffre d'affaire)
- Soit à partir de calcul physique (ex : voir chapitre achat de repas ci-après)

Dans le cadre d'un bilan des émissions de GES, ce chapitre donnera les facteurs d'émissions pour le poste 4.5 Achats de service

Ratio économique moyen

Dans une étude sur la demande énergétique, le CNRS indique qu'en 1990 le secteur des postes et télécoms a consommé 1.188.000 tonnes d'équivalent pétrole pour un chiffre d'affaires de 15 milliards d'euros. Cette valeur tient compte des intrants (véhicules, transports, etc.).

Comme par ailleurs la consommation d'énergie primaire en France est pour 40% de l'électricité, nous prendrons pour le secteur ci-dessus un ratio de 50% faute de mieux (le tertiaire consomme proportionnellement plus d'électricité que les transports ou l'industrie).

L'électricité étant négligeable dans les émissions, en première approximation, il en ressort qu'une tep dans le tertiaire engendre des émissions de 1,39 tCO_{2e}.

On arrive au fait que 150 000 € de postes et télécoms correspond à l'émission de 16,1 tCO_{2e}, soit environ 0,110 kgCO_{2e} / euro.

Ce ratio (incertitude 50%) sera considéré comme valable pour les services impliquant une infrastructure (informatique, télécoms, locations, hôtels, etc). Il n'est pas valable pour les emplois de bureau purs (consultants, avocats, formation, etc) ni pour les services impliquant des intrants significatifs (réparation et maintenant, installation de petit matériel, etc).

6.2.1 Ratios monétaires

Description

Un facteur d'émissions monétaire permet d'estimer en ordre de grandeur le contenu carbone d'un produit ou service acheté à partir de son prix. Il est fourni en **kgCO_{2e}/k€ HT pour une année donnée**.

Les facteurs d'émissions monétaires proposés dans la Base Carbone peuvent être utilisés :

- Dans le bilan GES organisation pour estimer l'empreinte carbone de la catégorie d'émissions : « achat de biens et services » (ce point est détaillé ci-après)
- Dans le bilan GES de collectivités territoriales pour les catégories d'émissions : « marchés publics » et « subventions »
- Pour estimer l'empreinte carbone d'un citoyen

Les facteurs d'émissions proposés dans la Base Carbone sont basés sur la nomenclature NAF rev.2 . La NAF, nomenclature d'activités française, est une nomenclature des activités économiques productives.

Les facteurs d'émissions monétaires sont en général moins précis que des facteurs d'émissions physiques. Toutefois, ils permettent d'estimer facilement les émissions associées à tous les achats d'une entreprise. Pour certains types d'achats (énergie, matières premières, etc.), il est recommandé de calculer les émissions avec des facteurs d'émissions physiques (facteurs d'émissions par tonne, par kWh, etc.). Pour les achats pour lesquels un calcul à partir de données physiques n'est pas possible, il est recommandé de calculer les émissions avec des facteurs d'émissions monétaires (achats de services, de composants semi-finis, etc.)..

La méthode de calcul

Les nouveaux facteurs d'émissions monétaires sont issus des travaux relatifs à l'empreinte carbone de la France menés conjointement par le SDES et l'INSEE depuis 2024.

La méthodologie appliquée est détaillée dans les différentes publications accessibles sur la page suivante : <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/emissions-de-gaz-effet-de-serre-et-empreinte-carbone-de-la-france-une-baisse-significative-en-2023?rubrique=27&dossier=1286>

La nouvelle méthodologie diffère de la précédente et se veut plus robuste notamment :

- au niveau de la prise en compte des imports
- au niveau de la granulométrie sectorielle .

L'évolution des ratios monétaires

L'évolution des ratios monétaires est dès lors un mixte entre 3 types d'évolution :

1. une évolution de la méthode de calcul (cf. ci-dessus)
2. une évolution physique de chaque secteur et de l'intensité carbone de l'économie en général
3. une évolution liée à l'inflation

Incertitude des facteurs d'émissions monétaires

Les facteurs d'émissions monétaires ont intrinsèquement une incertitude élevée. Cette incertitude est plus ou moins importante suivant la catégorie d'achats considérée. Il n'existe pas de méthode rigoureuse pour déterminer l'incertitude de ces facteurs d'émissions monétaires.

L'incertitude augmente :

- Dans les secteurs dont les produits sont très hétérogènes (ex : la chimie)
- Lorsque les dépenses considérées ne concernent qu'un seul produit (ex : achat d'ammoniac)

L'incertitude diminue :

- Dans les secteurs dont les produits sont relativement homogènes, par exemple « l'activité de poste et courrier » ou « l'industrie du papier et du carton » et dans les activités tertiaires
- Lorsque l'on considère un portefeuille de produits achetés (ex : les dépenses des ménages en produits ménagers)

6.2.2 Restauration

Repas

Description

La Base Carbone® propose diverses façon d'estimer les émissions de GES liées à un repas :

- Soit directement à partir des quantités d'aliments qui composent le repas (voir le chapitre sur les produits agricoles ou celui sur les produits agro-alimentaires)
- Soit à partir d'une valeur moyenne (voir ci-après)

Approche repas moyen français

Il est assez fréquent, lors de la réalisation du Bilan GES d'une activité non agroalimentaire, de ne pas avoir matériellement le temps de procéder à l'inventaire exhaustif de ce qui est acheté par le restaurant d'entreprise, la cantine, ou le restaurant universitaire.

Pour pouvoir néanmoins proposer un ordre de grandeur, nous construisons un facteur d'émission moyen par déjeuner.

Le point de départ est constitué par l'enquête INCA 3, effectuée en 2017 par l'ANSES⁷⁰¹. De cette étude sont tirés les aliments consommés en grammes par personne et par jour ainsi que la proportion d'aliments consommés par les adultes à chaque repas.

Pour chaque ingrédient consommé par un adulte au déjeuner, nous allons ensuite :

- affecter le facteur d'émission correspondant aux aliments ingérés si disponible,
- ou bien construire un facteur d'émission approximatif si la ligne désigne un produit non élémentaire. Par exemple, nous avons considéré que les « Plats à base de pommes de terre, de céréales ou de légumineuses » pouvaient être représentés par le « Gratin Dauphinois » dont le facteur d'émission a été calculé précisément dans le projet FOODGES. La catégorie « Condiments, herbes, épices et sauces » a été décomposée en utilisant les ingrédients possédant des facteurs d'émissions connus (60% sel, 20% moutarde, 20% épices), etc. Dans ce genre d'approche simplifiée, nous faisons

implicitement l'hypothèse que les éléments non pris en compte sont compensés par ceux qui le sont.

Cet exercice permet d'arriver au tableau suivant :

Groupe d'aliments	Conso moyenne (g/j) - INCA 3	% conso jour prise au déjeuner - INCA 3	Conso au déjeuner (g/rep as)	Facteur Emission (gCO2 /g)	gCO2 / déjeuner	Commentaires
Pain et panification sèche raffinés	108,1	31,6 [29,8-33,4]	34,16	1,52	51,92	
Pain et panification sèche complets ou semi-complets	6,3	12,1 [9,1-15,0]	0,76	1,52	1,16	
Céréales pour petit déjeuner et barres céréalières	4,8	0,8 [0,0-1,6]	0,04	0,34	0,01	
Pâtes, riz, blé et autres céréales raffinées	62,7	55,7 [52,4-59,0]	34,92	0,71	24,87	
Pâtes, riz, blé et autres céréales complètes et semi-complètes	1,6	56,3 [45,1-67,5]	0,90	0,71	0,64	
Viennoiseries, pâtisseries, gâteaux et biscuits sucrés	57	21,4 [19,0-23,9]	12,20	2,87	35,01	
Laits	75,3	2,3 [1,5-3,1]	1,73	1,22	2,11	
Yaourts et fromages blancs	76,7	38,0 [35,8-40,3]	29,15	2,88	83,94	
Fromages	30,9	43,5 [40,8-46,2]	13,44	4,94	66,40	
Entremets et crèmes desserts	17,2	44,9 [39,0-50,8]	7,72	2,81	21,70	Moyenne "mousse au chocolat", "crème brûlée", "île flottante"
Glaces, desserts glacés et sorbets	5,3	33,8 [27,2-40,4]	1,79	1,51	2,71	
Matières grasses animales	9	30,0 [26,7-33,2]	2,70	9,49	25,62	
Matières grasses végétales	7,5	48,9 [46,0-51,8]	3,67	2,15	7,90	
Œufs et plats à base d'œufs	12,6	37,3 [32,6-42,0]	4,70	2,61	12,27	
Viandes (hors volailles)	47,3	67,3 [64,2-70,3]	31,83	21,78	693,38	
Volailles	26	66,4 [62,6-70,2]	17,26	5,91	102,03	
Charcuterie	27,3	42,8 [39,6-46,0]	11,68	7,00	81,84	
Poissons	23	52,7 [48,6-56,8]	12,12	6,18	74,91	
Crustacés et mollusques	3,7	51,4 [42,0-60,9]	1,90	10,70	20,35	
Abats	2,7	55,4 [43,1-67,7]	1,50	7,36	11,01	
Légumes	130,7	55,3 [53,0-57,5]	72,28	1,29	93,24	
Légumineuses	7,7	65,0 [57,1-72,9]	5,01	0,79	3,97	
Pommes de terre et autres tubercules	45,8	67,8 [64,7-71,0]	31,05	0,60	18,72	
Fruits frais et secs	129,9	41,0 [38,4-43,6]	53,26	0,27	14,22	
Compotes et fruits au sirop	13,6	34,9 [27,8-42,1]	4,75	0,68	3,23	Salade de fruit
Noix, graines et fruits oléagineux	3,1	14,4 [10,8-18,1]	0,45	1,33	0,59	
Confiserie et chocolat	8,6	11,6 [9,6-13,5]	1,00	5,63	5,62	
Sucre et matières sucrantes	19,5	11,3 [9,9-12,8]	2,20	0,68	1,50	

Aliments consommés par les adultes au déjeuner (en grammes par personne et par jour) et facteurs d'émissions associés

Nous retiendrons donc la valeur de 2,035 kgCO_{2e} / repas du midi en moyenne, avec une incertitude de 50%.

Approche par type de repas

Il est également possible d'avoir une approche par menus prédéfinis. Sept menus sont ainsi présentés, ci après. Ceux-ci ont été élaborés de manière à respecter les besoins d'apports journaliers.

Repas Classique

Types de repas	Qte (g)	Kcal	Protéines (g)	Lipides (g)	gCO _{2e} /kg	gCO _{2e}
Entrée : légumes à la grecque						
légumes de saison	200	60	3	0	267	53,4
huile d'olive (1/2 c.s.)	7	63	0	7	2600	18,2
Plat principal : poulet au riz						
poulet	150	225	30	10,5	5160	774
riz	60	214	5	1	1410	84,6
beurre	10	76	1	8,4	9490	94,9
Plateau de fromages						
fromage à pâte molle	25	68	5	5	4280	107
fromage à pâte dure	25	100	7	7,5	5600	140
Pain	50	125	4	0,6	1520	76
Total		931	55	40		1350

Repas classique 1 (avec poulet)

Types de repas	Qte (g)	Kcal	Protéines (g)	Lipides (g)	gCO _{2e} /kg	gCO _{2e}
Entrée : tzatziki						
yaourt	125	75	5	4,4	2880	360
concombre	75		1		1720	129
huile d'olive (1/2 c.s.)	7	63	0	9	2600	18,2
Plat principal : bifteck - frites						
bifteck	150	222	37,5	6	35800	5370
frites	200	228	4,6	7,3	1300	260
Dessert : tarte aux poires						
farine	40	136	4,8	0,8	1170	46,8
poires	100	60	0,4	0	709,5	71
huile (1 c.s.)	15	135	0	15	2153	32,3
Total		919	53,3	42,5		6290

Repas classique 2 (avec bœuf)

Repas végétarien

Types de repas	Qte (g)	Kcal	Protéines (g)	Lipides (g)	gCO _{2e} /kg	gCO _{2e}
Entrée : soupe de légumes						
200g légumes de saison	200	60	3	0	267	53,4
huile (1/2 c.s.)	7	63	0	7	2153	15,1
Plat principal : omelette aux pommes de terre et aux oignons						
2 œufs	106	195	16	11	2610	276,7
pommes de terre	200	170	3	0,2	77	15,5
huile (1/2 c.s.)	7	63	0	7	2153	17,1
Dessert : salade de fruits						
fruits de saison	200	100	2	0	267	53,4
Pain	50	125	4	0,6	1520	76
Total		776	28	25,8		510

Repas végétarien 1

Repas à dominante végétale

Types de repas	Qte (g)	Kcal	Protéines (g)	Lipides (g)	gCO _{2e} /kg	gCO _{2e}
Entrée :salade de chou rouge aux pommes						
chou rouge	75	18	1	0	769	57,7
pommes	75	40	0,7	0	267	20
1/2 œuf	27	50	4	3	2610	69,2
huile d'olive (1/2 c.s.)	7	63	0	7	2600	18,2
Plat principal : riz cantonnais						
riz	70	250	6	1,5	1410	98,7
légumes de saison	125	38	2	0	267	33,4
poulet	60	90	12	4	5160	309,6
1/2 œuf	27	50	4	3	2610	69,2
Dessert : compote de pommes						
pommes	250	124	2,5	0	267	66,8
Pain	40	98	3,5	0,5	1520	60,8
Total		821	35,7	19		800

Repas à dominante végétale 1 (avec poulet)

Types de repas	Qte (g)	Kcal	Protéines (g)	Lipides (g)	gCO _{2e} /kg	gCO _{2e}
Entrée : salade de betteraves rouges aux pommes						
betteraves rouges	75	78	1	0	231	17,3
pommes	100	50	1	0	267	26,7
huile d'olive (1/2 c.s.)	7	63	0	7	2600	18,2
Plat principal : tagliatelles sauce bolognaise						
pâtes	80	240	9,6	1	495	39,6
oignons	100	43	1	0	607	60,7
bœuf à bouillir	50	127	14	7,5	35300	1765
huile d'olive (1/2 c.s.)	7	63	0	7	2600	18,2
Dessert : compote de pommes aux châtaignes						
pommes	200	108	2	0	267	53,4
farine de châtaignes	15	32	1	0	430	6,4
sucre (1/2 c.s.)	7	28	0	0	733	5,1
Total		832	29,6	22,5		2010

Repas à dominante végétale 2 (avec bœuf)

Repas à dominante animale

Types de repas	Qte (g)	Kcal	Protéines (g)	Lipides (g)	gCO _{2e} /kg	gCO _{2e}
Entrée : melon au jambon fumé						
melon	150	50	1	0	521	78,2
jambon fumé	40	112	11	7,5	5580	223,2
Plat principal : poulet au riz						
poulet	150	225	30	10,5	5160	774
riz	60	214	4,8	1,3	1410	84,6
beurre	10	76	0	8,4	9490	94,9
Plateau de fromages						
fromage à pâte molle	25	68	5	5	4280	107
fromage à pâte dure	25	100	7	7,5	5600	140
Pain	50	123	4	0,6	1520	76
Total		968	61,4	40,8		1580

Repas à dominante animale 1 (avec poulet)

Types de repas	Qte (g)	Kcal	Protéines (g)	Lipides (g)	gCO _{2e} /kg	gCO _{2e}
Entrée cornets de jambon aux légumes						
jambon cuit	40	42	7	2	5580	223,2
légumes de saison	100	30	1,5	0	267	26,7
mayonnaise	20	76	0	8	2336	46,7
Plat principal : bifteck - frites						
bifteck	180	266	45	7	35800	6444
frites	150	171	3,5	5,5	1300	195
Plateau de fromages						
Fromage à pâte molle	25	68	5	5	4280	107
fromage à pâte dure	25	100	7	7,5	5600	140
Pain	50	123	4	0,6	1520	76
Total		876	73	35,6		7260

Repas à dominante animale 2 (avec bœuf)

Régime alimentaire

Afin de pouvoir établir l'impact GES d'un changement pérenne d'habitude alimentaire, il est possible de raisonner directement à partir de facteurs d'émissions associés à un « régime alimentaire ».

Régime alimentaire « moyen »

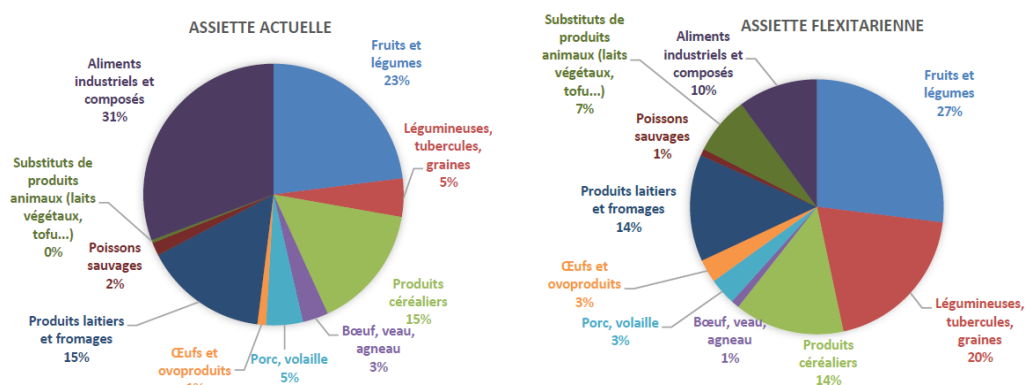
En 2017, une étude de WWF France et Eco2 Initiative⁷⁰² compare différents régimes alimentaires correspondant aux consommations hebdomadaires des ménages français (composés de 2 adultes, 1 adolescent et un enfant de moins de 10 ans) et en évalue **l'impact carbone, le coût et la qualité nutritionnelle**.

Elle s'appuie notamment sur les résultats des études Livewell du WWF, Afterres 2050 de Solagro et INCA3 de l'ANSES pour aboutir sur un facteur d'émission « **Alimentation moyenne journalière** » de 4,474 kgCO₂e/j/personne.

Régime alimentaire « flexitarien »

Dans cette même étude, WWF France et Eco2 Initiative ont élaboré un régime « durable » appelé « **flexitarien** » selon différents critères : bas carbone, sain et équilibré d'un point de vue nutritionnel, intégrant des produits labellisés et à un coût acceptable.

« Flexitarien » évoque un mode de consommation qui consiste à réduire fortement la part de protéines animales au profit des protéines végétales. Dans cette étude, l'assiette flexitarienne se compose ainsi de 2/3 de protéines végétales contre 1/3 de protéines animales.



Répartition des catégories d'aliments dans les assiettes INCA3 (actuelle) et Flexitarienne

Cette assiette a été composée à partir de 163 aliments parmi ceux les plus consommés par les Français.

Les principales caractéristiques de cette assiette sont une diminution de la viande (-31% au total, avec -66% de bœuf et de veau) et des poissons sauvages (-40%), une diminution des produits transformés industriels, gras, salés et sucrés (-69%), une diminution des produits à base de farines raffinés (-46%) au profit de farines complètes et une augmentation de la part des légumes, céréales et légumineuses (+95%).

Le facteur d'émission résultant d'une alimentation moyenne flexitarienne journalière est de 2,817 kgCO₂e/j/personne.

Bilan

Les valeurs retenues dans la Base Carbone[®] sont des valeurs mensuelles, permettant de refléter un changement de régime alimentaire :

Type de régime	Valeur	Unité
Régime alimentaire "classique"	136	kgCO2e/personne.mois
Régime alimentaire "flexitarien"	85,7	kgCO2e/personne.mois

Facteurs d'émissions mensuels de différents régimes alimentaires

Sources :

[\[701\] Étude individuelle nationale des consommations alimentaires 3 \(INCA 3\) - Avis de l'Anses - Rapport d'expertise collective - Juin 2017 Édition scientifique](#)

Base Carbone : facteurs d'émission alimentaire (ingrédients ingérés)

[\[702\] WWF – ECO2 Initiative – Vers une alimentation Bas Carbone, saine et abordable. Etude comparative multidimensionnelle de paniers alimentaires durables : impacts carbone, qualité nutritionnelle et coût. – 47p –2017.](#)

6.2.3 Autres services informatiques

Mise à jour en 2026

Au printemps 2026, les FE relatifs au secteur "Numérique" ont été archivés et remplacés par des jeux de données multicritères issus de la Base de données "Empreinte" Numérique de l'ADEME. **Ils sont donc dorénavant disponibles en consultation en ligne et téléchargeables via l'export des données Base Empreinte.**

Description

Les facteurs d'émissions de cette catégorie proviennent du "[Guide secteur des technologies numériques, information et communication](#)" de 2011.

Ce document de l'ADEME a été élaboré dans le cadre de travaux sectoriels. Ont participé différents organismes tels que le Service Climat et Service Bâtiment de l'ADEME, CIGREF, Zen'to, GreenIT.fr, Orange, La Poste, INRIA, CNRS (EcoInfo), Demtech, CLER, Atrium Data, Meta IT, HP, SagemCom, Evea Conseil, et l'APCC.

6.3 Traitement des déchets

Définitions

Dans ce chapitre sur le traitement des déchets, les définitions ci-dessous sont utilisées pour désigner ou documenter le périmètre d'application des différents FE mis à disposition.

Les activités de réemploi et de préparation à la réutilisation ne sont, sauf exception spécifiquement mentionnée, pas incluses dans les FE proposés la catégorie « Traitement des déchets ».

Dans le cadre d'un bilan GES, l'utilisation de matériaux ou produits réemployés ou réutilisés doit être modélisée dans les postes « Achats de biens » et « Achats de services ». Se reporter

également aux [fiches QuantiGES](#) de l'ADEME pour modéliser des actions de prévention (dont le réemploi) dans le cadre d'un plan d'actions de réduction de vos émissions.

Gestion des déchets [841](#)

La collecte, le transport, la valorisation, l'élimination des déchets et, plus largement, toute activité participant de l'organisation de la prise en charge des déchets depuis leur production jusqu'à leur traitement final, y compris les activités de négoce ou de courtage et la supervision de l'ensemble de ces opérations.

Collecte [841](#)

Toute opération de ramassage des déchets, en vue de leur transport vers une installation de traitement des déchets. Cela inclut les opérations de tri et de stockage préliminaires des déchets, en vue de leur transport vers une installation de traitement.

On parlera de collecte séparée^{[842](#)} dans le cadre où un flux de déchets est conservé séparément, en fonction de son type et de sa nature, afin de faciliter un traitement spécifique. Cette collecte peut également porter sur des déchets de type et nature différents tant que cela n'affecte pas leur capacité à faire l'objet d'une préparation en vue du réemploi, d'un recyclage ou d'autres opérations de valorisation.

Traitement [841](#), [842](#)

Toute opération de valorisation ou d'élimination, y compris la préparation qui précède la valorisation ou l'élimination.

Valorisation [841](#)

Toute opération dont le résultat principal est que des déchets servent à des fins utiles en substitution à d'autres substances, matières ou produits qui auraient été utilisés à une fin particulière, ou que des déchets soient préparés pour être utilisés à cette fin, y compris par le producteur de déchets.

On distingue :

☞ La valorisation énergétique^{[843](#)} comme l'utilisation de déchets combustibles en tant que moyen de production d'énergie par incinération, co-incinération ou autres techniques avec récupération d'énergie et répondant, le cas échéant, aux critères retenus réglementairement.

Note : Sont considérées comme valorisation énergétique les opérations classées selon le code R1 de l'annexe IV de l'arrêté du 31 janvier 2008 relatif au registre et à la déclaration annuelle des émissions polluantes et des déchets.

☞ La valorisation matière^{[842](#)} comme toute opération de valorisation autre que la valorisation énergétique et le retraitement en matières destinées à servir de combustible ou d'autre moyen de produire de l'énergie. Elle comprend notamment la préparation en vue du réemploi, le recyclage et le remblayage.

Installation d'incinération [844](#)

Tout équipement ou unité technique fixe ou mobile destiné spécifiquement au traitement thermique de déchets, avec ou sans récupération de la chaleur produite par la combustion. Le traitement thermique comprend l'incinération par oxydation ou tout autre procédé de traitement thermique, tel que la pyrolyse, la gazéification ou le traitement plasmatique.

Installation de co-incinération [844](#)

Installation fixe ou mobile dont l'objectif essentiel est de produire de l'énergie ou des produits matériels et qui utilise des déchets comme combustible habituel ou d'appoint ou dans laquelle les déchets sont soumis à un traitement thermique en vue de leur élimination.

Unité de valorisation énergétique (UVE) [844](#)

Unités d'incinération des déchets permettant de produire de l'électricité ou d'alimenter un réseau de chaleur.

Note : Un producteur de déchets dont les déchets sont traités dans une installation d'incinération dont les opérations sont classées D10, au sens de l'arrêté du 31 janvier 2008 relatif au registre et à la déclaration annuelle des émissions polluantes et des déchets, ne peut comptabiliser d'émissions évitées au titre de la valorisation énergétique.

Traitement mécano biologique (TMB) [845](#)

Le traitement mécano-biologique (TMB) s'applique aux ordures ménagères résiduelles (OMR). Il consiste en l'imbrication étroite d'opérations mécaniques (dilacérations et tris) et d'étapes biologiques (compostage, méthanisation).

Une installation de tri mécano-biologique peut avoir un ou plusieurs des cinq objectifs suivants:

- Sur la fraction à haut PCI (pouvoir calorifique inférieur) du déchet :
- Produire de l'énergie sous forme de CSR (combustible solide de récupération)
- Sur la fraction fermentescible du déchet :
- Produire de l'énergie sous forme de biogaz
- Fabriquer du compost
- Réduire et stabiliser les déchets avant de les mettre en décharge
- Sur l'ensemble du déchet :
- extraire des matériaux (métaux, plastiques, papiers-cartons) conformes au cahier des charges des activités de recyclage

Préparation en vue de la réutilisation [841](#)

Toute opération de contrôle, de nettoyage ou de réparation en vue de la valorisation, par laquelle des substances, matières ou produits qui sont devenus des déchets sont préparés de manière à être réutilisés sans autre opération de prétraitement.

Recyclage [841](#)

Toute opération de valorisation par laquelle les déchets, y compris les déchets organiques, sont retraités en substances, matières ou produits aux fins de leur fonction initiale ou à d'autres

fins. Les opérations de valorisation énergétique des déchets, celles relatives à la conversion des déchets en combustible et les opérations de remblaiement ne peuvent pas être qualifiées d'opérations de recyclage.

Régénération des plastiques [846](#)

Tout process permettant de produire des MPR plastiques (Matières Premières de Recyclage) c'est à dire des matières / compounds prêts à l'emploi par des plasturgistes, en remplacement total ou partiel de résines vierges, à partir de déchets de toutes origines : ménages et activités économiques (agriculture, construction, secteur tertiaire et industrie). Une unité de régénération de déchets de matières plastiques est un site industriel dédié au recyclage mécanique qui réalise au moins deux des opérations suivantes : lavage, broyage, densification, micronisation, granulation, compoundage.

Réemploi [841](#)

Toute opération par laquelle des substances, matières ou produits qui ne sont pas des déchets sont utilisés de nouveau pour un usage identique à celui pour lequel ils avaient été conçus.

Réutilisation [841](#)

Toute opération par laquelle des substances, matières ou produits qui sont devenus des déchets sont utilisés de nouveau.

Remblayage [841](#)

Toute opération de valorisation par laquelle des déchets appropriés non dangereux sont utilisés à des fins de remise en état dans des zones excavées ou, en ingénierie, pour des travaux d'aménagement paysager. Les déchets utilisés pour le remblayage doivent remplacer des matières qui ne sont pas des déchets, être adaptés aux fins susvisées et limités aux quantités strictement nécessaire pour parvenir à ces fins.

Elimination [841, 844](#)

Toute opération qui n'est pas de la valorisation, même lorsque ladite opération a comme conséquence secondaire la récupération de substances, matières ou produits ou d'énergie.

Stockage de déchets [dangereux] / [non dangereux] [847](#)

Elimination de déchets [dangereux] / [non dangereux] par dépôt ou enfouissement sur ou dans la terre.

Nature et classification des déchets

Les différentes catégories de déchets pour lesquelles des facteurs d'émission ont pu être quantifiés sont classées en fonction de leur origine : ménages et assimilés ou activités économiques.

Ces données concernent à la fois la production directe de déchets par l'entité réalisant son Bilan GES et la fin de vie des produits ou services vendus par cette même entité.

Dans le cadre d'un bilan GES, ce chapitre donnera les facteurs d'émissions pour :

- Le poste 11 - Déchets
- Le poste 20 - Fin de vie des produits vendus

Les **déchets ménagers et assimilés** sont répartis en catégories en fonction de leur nature (pour les déchets organiques et les ordures ménagères résiduelles) ou (pour tous les autres) en fonction des catégories de produits desquelles ils sont issus. Ces catégories correspondant à l'organisation de la gestion des déchets dans le cadre des REP (Responsabilité Elargie du Producteur). En effet, en fonction des caractéristiques des produits (et donc des déchets qui en découleront) qui relèvent de chaque REP, un même matériau peut être géré de manière très différente entre deux filières REP. A titre d'exemple, le PET est un matériau largement recyclé dans le cadre de la REP Emballages ménagers, en revanche si du PET entre dans la constitution d'un équipement électrique et électronique, celui-ci n'est pas recyclé. De même, le bois est largement recyclé dans le cadre de la REP mobilier alors qu'il n'est pas recyclé dans le cadre de la REP Emballages ménagers.

La classification et la structuration adoptée pour les FE des déchets ménagers et assimilés visent ainsi à refléter au plus près l'organisation réelle et les performances de leur gestion telle qu'elle est conduite en France.

Les **déchets des activités économiques** ont quant à eux été classés en visant à refléter au mieux les flux opérationnels de gestion de ces déchets en France. En revanche, à l'exception de quelques études notables, les données qui ont pu être collectées restent parcellaires et ne permettent pas de disposer de facteur d'émission pour l'ensemble des flux existants.

Les utilisateurs peuvent à défaut utiliser les FE relatifs aux déchets des ménages comme approximation (si pertinent) dans le cas où les FE relatifs aux déchets des activités économiques ne seraient pas disponibles.

A garder en tête

Les déchets correspondent la plupart du temps à des mélanges complexes de différents matériaux qui peuvent aussi contenir des impuretés et de l'humidité. La dénomination de certaines catégories de déchets reflète d'emblée cette complexité. Ainsi, la catégorie de déchets GEMF (Gros Electroménager Froid) désigne explicitement un mélange complexe contenant tous les matériaux (acier, aluminium, polystyrène, polyuréthane expansé, cuivre, huile de compresseur, gaz réfrigérants...) que l'on peut trouver dans les différents types de réfrigérateurs, congélateurs...

Dans certains cas en revanche, la dénomination d'une catégorie de déchets s'apparente largement à la dénomination d'un matériau : par exemple, dans le cas des déchets d'emballages

ménagers ou dans le cas de la gestion de déchets plastiques. Pour ces catégories, l'utilisateur gardera en tête qu'il ne s'agit jamais d'un matériau propre et sec mais bien d'un déchet qui intègre des impuretés et possiblement de l'humidité. Par exemple, la catégorie de déchets d'emballages ménagers « Plastique rigide PET bouteilles » désigne du PET initialement constitutif des bouteilles et intègre un taux d'impuretés/humidité de 12 %.

Nature des opérations de gestion des déchets

Périmètre général

Pour la plupart des catégories de déchets, la gestion en fin de vie constitue une arborescence complexe d'opérations successives depuis leur collecte jusqu'aux installations de valorisation et/ou de traitement final.

Sauf exception signalée dans les sections concernées, les facteurs d'émission proposés couvrent l'intégralité du périmètre depuis la prise en charge au point de collecte jusqu'aux opérations finales de valorisation ou de traitement. Ainsi, l'intégralité des étapes de gestion dont toutes les étapes de collecte et de transport intermédiaire sont d'ores et déjà intégrées dans les facteurs d'émission proposés.

Lors de la réalisation d'un Bilan GES (et sauf cas d'exception explicitement signalé), aucune étape de transport ne doit être ajoutée aux FE « Traitement des déchets » qui sont proposés

Opérations finales de valorisation et de traitement

Les facteurs d'émissions qui sont proposés sont désignés par le type d'opération ou de traitement final qui est conduit. En fonction de la catégorie de déchets, on pourra trouver les opérations finales suivantes :

- Recyclage, voire dans le cas des plastiques une distinction entre Recyclage granulés ou Recyclage paillettes
- Compostage industriel et compostage domestique
- Méthanisation
- Incinération
- Stockage
- Fin de vie moyenne, fin de vie moyenne hors recyclage et fin de vie moyenne filière

Les données de type « **fin de vie moyenne** », ainsi que « **fin de vie moyenne hors recyclage** » et « **fin de vie moyenne filière** » renvoient à une combinaison d'opérations finales consistant dans des opérations de valorisation matière (recyclage, compostage), de valorisation énergétique (incinération ou d'autres opérations de valorisation énergétique) et de

traitement (stockage ou destruction thermique). Cette combinaison est faite au prorata de la quantité de déchets qui est orientée vers chacune de ces destinations finales.

Les facteurs d'émission de type « **fin de vie moyenne** » sont considérés comme représentatifs de la gestion en fin de vie de l'ensemble du gisement de la catégorie de déchets concernés.

Les facteurs d'émission de type « **fin de vie moyenne hors recyclage** » sont représentatives des modalités de gestion en fin de vie de l'ensemble du gisement de la catégorie de déchets concernés lorsque celui-ci n'est pas recyclé.

Les facteurs d'émission de type « fin de vie moyenne **filière** » concernent des catégories de déchets dont une part notable du gisement échappe encore à la collecte par la filière REP concernée (notamment du fait d'un geste de tri inadéquat du producteur du déchet, par exemple le consommateur). **Les facteurs d'émission de type « fin de vie moyenne filière » sont donc représentatifs de la gestion en fin de vie au sein de la filière du gisement de déchets concerné, sans tenir compte de cette part non collectée. Ils ne sont en revanche pas représentatifs de la gestion en fin de vie de l'ensemble du gisement de déchets concernés, la gestion « hors filière » étant par essence mal connue et non quantifiée en termes d'émissions GES.** Les Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques (DEEE) et les Déchets d'Eléments d'Ameublement (DEA) sont typiquement des catégories de déchets pour lesquels les facteurs d'émission sont des facteurs de type « fin de vie moyenne filière ».

FE impact et FE émissions évitées

Pour une part importante des données proposées, deux types de facteur d'émission sont donnés :

- Un facteur d'émission classique, dit « impact » ;
- Un facteur d'émission « émissions évitées ».

Le facteur d'émission « impact » correspond toujours à une valeur positive d'impact GES. Il intègre l'ensemble des émissions GES induites, depuis la collecte jusqu'aux opérations finales de valorisation et de traitement du déchet, y compris les opérations de recyclage permettant de produire une matière première secondaire (par exemple du plastique recyclé).

Le facteur d'émission « émissions évitées » correspond toujours à une valeur négative de GES. Il traduit quant à lui les bénéfices escomptés du fait des opérations de valorisation matière et/ou des opérations de valorisation énergétiques : ces bénéfices sont calculés en considérant que la matière recyclée (l'énergie valorisée) remplace une matière (énergie) produite de manière conventionnelle et qu'on évite donc les impacts de cette production conventionnelle.

Les facteurs d'émission « impact » sont toujours positifs et les facteurs d'émission « émissions évitées » sont toujours négatifs.

Par exemple, dans le cas de la valorisation énergétique de déchets en incinération, l'énergie produite par l'incinérateur et valorisée sous forme électrique et sous forme thermique est considérée comme se substituant :

- Pour la quantité d'électricité produite : à une quantité équivalente d'électricité qui aurait été produite de manière conventionnelle (mix électrique moyen français)
- Pour la quantité de chaleur valorisée : à une quantité équivalente de chaleur qui aurait été produite de manière conventionnelle (mix des réseaux de chaleur français)

Un déchet dont l'incinération avec valorisation sous forme cogénération permet de produire 3 kWh/kg de déchet sous forme électrique et 2 kWh/kg de déchet sous forme thermique est crédité d'émissions évitées correspondant à la somme :

- Des impacts GES qui auraient été associés à la production des 3 kWh selon le mix électrique français
- Des impacts GES qui auraient été associés à la production de 2 kWh selon le mix des réseaux de chaleur français.

Autre exemple, dans le cas du recyclage d'un déchet produisant une matière première « secondaire » considérée comme se substituant à la même matière première « vierge » : si le recyclage d'un kilogramme de déchet permet de produire 0,8 kg de matière première secondaire, la valeur absolue des émissions évitées correspond aux émissions GES de production d'une quantité de 0,8 kg de matière première vierge.

Il est à noter que le ratio entre la quantité de matière valorisée et la quantité de matière conventionnelle considérée comme évitée n'est pas systématiquement de 1 pour 1, selon les processus de recyclage/régénération et les applications utilisatrices.

Comme expliqué précédemment, les émissions évitées qui sont quantifiées représentent dans la plupart des cas des émissions évitées du fait des opérations de valorisation matière ou énergie. Cependant, dans le cas particulier du stockage ainsi que du compostage de déchets qui contiennent du carbone d'origine biogénique, les émissions évitées qui sont quantifiées peuvent également intégrer la part de carbone qui est considéré comme n'étant pas dégradé en décharge.

Par exemple, si un déchet contient X kg de carbone d'origine biogénique par kg de déchet et que Y % de ce contenu carbone est considéré comme ne se dégradant pas en décharge à un horizon de 100 ans, alors $(X * Y)$ kg de carbone d'origine biogénique est considéré comme stocké ; ce stockage se traduit par des émissions évitées de $- ((X*Y) \times 44 / 12)$ kg Eq. CO₂/kg de déchet stocké.

Les émissions évitées correspondent à une quantification des bénéfices de valorisation matière et de valorisation énergétique. Dans le cas particulier du compostage et du stockage, elles peuvent également intégrer la part de carbone biogénique du déchet qui est considérée comme n'étant pas dégradée à un horizon de 100 ans.

Sources :

[841] : Art. L541-1-1 du Code l'Environnement.

[842] : Directive Cadre Déchets 2008/98/CE modifiée 2018

[843] : Glossaire 2ACR

[844] : Arrêté du 20 septembre 2002 relatif aux installations d'incinération et de co-incinération de déchets non dangereux et aux installations incinérant des déchets d'activités de soins à risques infectieux, annexe IV de l'arrêté du 31 janvier 2008 relatif au registre et à la déclaration annuelle des émissions polluantes et des déchets

[845] : ADEME

[846] : Syndicat national des Régénérateurs de matières Plastiques

[847] : Arrêtés du 30/12/2002 et du 15/02/2016, relatifs aux installations de stockage de déchets respectivement dangereux et non dangereux

6.3.1 Déchets ménagers et assimilés

Les FE présentés ici sont valables pour les déchets tels définis ci-après :

- Déchets ménagers⁸⁴⁸ : Tout déchet, dangereux ou non dangereux, dont le producteur est un ménage.
- Déchets ménagers assimilés⁸⁴⁹ : Les déchets dits assimilés regroupent les déchets des activités économiques pouvant être collectés avec ceux des ménages, eu égard à leurs caractéristiques et aux quantités produites, sans sujétions techniques particulières.

Dans le cas des déchets ménagers, le trajet du détenteur du déchet depuis son domicile jusqu'à un point d'apport (ex. : déchèterie) n'est en revanche pas pris en compte, sauf exception signalée dans les sections concernées, dans les facteurs d'émission.

Sources :

[848] : Art. R541-8 du Code l'Environnement.

[849] : Lexique à l'usage des acteurs de la gestion des déchets, CGDD, 2012. Adapté de : article L 2224-14 du CGCT

6.3.1.1 Déchets d'emballages

Définition

Les FE présentés dans le présent chapitre couvrent les déchets d'emballages définis à l'article 3 de la directive 2008/98/CE, à l'exclusion des résidus de production : « tout produit constitué de matériaux de toute nature, destiné à contenir et à protéger des marchandises données, allant des matières premières aux produits finis, à permettre leur manutention et leur acheminement du producteur au consommateur ou à l'utilisateur, et à assurer leur présentation. Tous les articles «à jeter» utilisés aux mêmes fins doivent être considérés comme des emballages⁸⁵¹. »

Compte tenu des modes de traitement actuels des déchets d'emballages ménagers et des données disponibles, des facteurs d'émissions sont proposés pour les modes de gestion suivants :

- Recyclage
- Incinération avec valorisation énergétique
- Stockage

- Fin de vie moyenne : celle-ci consistant dans une combinaison entre recyclage, incinération avec valorisation énergétique et stockage au prorata des quantités concernées pour chacune des catégories d’emballages ménagers.

Description des facteurs d’émissions

De manière générale, les facteurs d’émission qui sont proposés dans cette section sont représentatifs de la gestion des déchets d’emballages ménagers qui sont produits en France, que cette gestion ait intégralement lieu en France ou qu’elle ait pour partie lieu dans d’autres pays européens limitrophes.

Toutefois, dans le **cas particulier du recyclage de certaines catégories d’emballages plastiques** deux jeux de données différents sont proposés :

- Des **FE valides génériques** d’une part, issues des travaux conduits par Citeo, représentant le recyclage des déchets d’emballages plastiques qui sont produits en France ; les opérations de régénération ont lieu en France (pour majorité) et dans d’autres pays européens (de manière secondaire).
- Des **FE valides spécifiques** d’autre part, issues des travaux conduits par le SRP, représentant le recyclage de déchets plastiques qui est conduit en France par les adhérents du SRP. Les déchets plastiques qui sont régénérés peuvent intégrer d’autres types de déchets que des déchets d’emballages ménagers et peuvent pour partie provenir d’autres pays que la France. Certains opérateurs qui régénèrent des déchets d’emballages plastiques en France ne sont pas adhérents du SRP.

Dans le cas des FE valides spécifiques du SRP, une distinction est faite pour certaines catégories entre du « **recyclage paillettes** » et du « **recyclage granulés** » ; ceci est le cas pour les emballages rigides PET et les emballages rigides PE (PEHD). Le format « paillettes » ou « granulés » des plastiques recyclés dépend des applications ultérieures ; par exemple, dans le cas du rPET le format granulé est impératif pour une réintégration du rPET dans les bouteilles (il faut d’ailleurs que ce soit du rPET granulé qualité contact alimentaire) ; en revanche, le format paillettes est adéquat est suffisant pour des applications de type fibres textiles. En termes de procédé, le format granulé est obtenu par extrusion puis granulation des paillettes de plastiques (propres et sèches).

Les FE sur les emballages plastiques sont proposés en faisant une distinction entre plastiques pétrosourcés et biosourcés, ainsi qu’entre plastiques rigides et plastiques souples.

- En l’absence d’information sur la nature pétrosourcée ou biosourcée des déchets plastiques à modéliser, il est recommandé d’utiliser les FE de plastiques pétrosourcés.
- Les bouteilles, flacons, bidons, barquettes, blisters, pots... correspondent généralement à des plastiques rigides. Les films, sacs, sachets, enveloppes, doypack... correspondent généralement à des plastiques souples.

Dans le cas particulier des déchets d’emballages acier, il n’a pas été possible de quantifier des facteurs d’émission relatifs au recyclage et à la fin de vie moyenne qui respectent rigoureusement le fait de ne pas agréger les composantes « impacts » et « émissions évitées » au sein d’un même FE : les FE obtenus pour ces catégories d’emballages et ces modalités de gestion ne sont pas publiés dans la Base Carbone. Ils sont en revanche fournis à titre informatif dans la section « Cas particulier des déchets d’emballage acier ».

Composition et représentativité du gisement de déchets

FE valides génériques

Un taux d'impureté/humidité spécifiques à chacune des catégories de déchets de matériaux d'emballages a été pris en compte dans le calcul des FE. Par exemple, le taux d'humidité/impuretés pris en compte pour les déchets plastiques des bouteilles est de 13 %, ceci signifie qu'1 kg de déchets PET issus de bouteilles a été considéré comme contenant 87 % de PET et 13 % d'humidité/impuretés.

Les taux humidité /impureté pris en compte sont les suivants :

- Emballage acier : 12 %
- Emballage aluminium : 20 %
- Emballage verre : 2 %
- Emballage papier/carton : 10 %
- Emballages plastiques : 13 % pour les bouteilles et flacons et 18 % pour les autres emballages plastiques
- Emballages bois : 10 %
- Autres emballages : 18 %

D'autres caractéristiques relatives aux matériaux eux-mêmes ont pu être exploitées pour conduire l'évaluation de chaque FE et peuvent avoir une influence notable sur les résultats. N'hésitez pas à vous reporter à la documentation relative aux données exploitées dans l'outil Bilan Environnemental des Emballages⁸⁵².

FE valides spécifiques sur le recyclage des plastiques

Dans le cas particulier du recyclage des déchets d'emballages plastiques, les FE valides spécifiques sont considérées comme représentatifs du recyclage en France de certaines catégories d'emballages. Elles ont été établies à partir de données collectées auprès de régénérateurs qui reçoivent les déchets suivants :

- Cas de déchets PET : ces déchets plastiques se composent de manière quasi exclusive de déchets d'emballages ménagers (bouteilles flacons et barquettes).
- Cas des déchets PEHD : ces déchets plastiques se composent pour une part importante de déchets d'emballages ménagers et de déchets issus des industries du secteur de l'emballage.
- Cas des déchets PP : ces déchets plastiques se composent principalement de déchets issus des industries du secteur automobile et de l'emballage et des emballages ménagers et des Déchets d'Équipements Électriques et Électroniques (DEEE)
- Cas des déchets PEBD : ces déchets plastiques se composent principalement de déchets issus des emballages ménagers et du commerce.

Périmètre

FE valides génériques

FE recyclage - impact : ces FE prennent en compte les étapes allant de la collecte des déchets jusqu'à la sortie du recyclage, à savoir :

- collecte sélective dont bacs/conteneurs, collecte et transfert
- tri en centre de tri (préparateur de calcin pour le verre)
- transport entre le centre de tri et les sites de recyclage/régénération
- recyclage/régénération

FE recyclage - émissions évitées : les émissions évitées correspondent à la production de matière vierge considérée comme évitée du fait de la production d'un matériau recyclé. Les taux de substitution entre matière recyclée et matière vierge/primaire sont de 1 pour 1, à l'exception du carton pour lequel un taux de substitution de 0,85 de matière vierge pour 1 de matière recyclée a été considéré.

FE valorisation énergétique en Unité d'incinération d'ordures ménagères (UIOM) - impact : ces FE prennent en compte les étapes allant de la collecte jusqu'à la gestion des sous-produits d'incinération, à savoir :

- collecte de type Ordures ménagères résiduelles (OMR) dont bacs, collecte et transfert
- incinération dont consommation d'énergie, de réactifs, émissions directes de l'installation, gestion (valorisation et traitement) des sous-produits (mâchefers d'incinération d'ordures ménagères – MIOM, et résidus de fumées d'incinération d'ordures ménagères -REFIOM)

FE valorisation énergétique en UIOM - émissions évitées : les émissions évitées correspondent à la production d'énergie par des sources conventionnelles considérée comme évitée du fait de la valorisation énergétique en UIOM. La modélisation de l'énergie produite par incinération des déchets s'est appuyée sur les données fournies dans la publication ITOM de l'Ademe (2017) où est fourni la quantité d'énergie valorisée dans les UIOM avec cogénération, les UIOM avec valorisation thermique et les UIOM avec valorisation électrique pour l'année 2014. Le profil de la chaleur évitée du fait de la valorisation thermique dans les UIOM a été établi à partir de l'enquête nationale sur les réseaux de chaleurs et de froid (SNCU, 2015).

NB : dans le cas particulier des emballages acier et aluminium qui entreraient en incinération, une partie des matériaux est récupérée sur MIOM en sortie d'incinérateur ; les émissions évitées par cette récupération sur mâchefers ne sont pas comptabilisées dans les émissions évitées de l'UIOM. En revanche, les quantités de ferrailles et d'aluminium récupérées sur MIOM sont comptabilisées dans la valeur du taux de recyclage des emballages acier et aluminium.

FE mise en décharge - impact : ces FE prennent en compte les étapes allant de la collecte jusqu'à la mise en décharge, à savoir :

- collecte de type OMr dont bacs, collecte et transfert
- mise en décharge en incluant les consommations diverses, les émissions directes et le traitement des lixiviats

FE mise en décharge - émissions évitées : les émissions évitées correspondent à la part de carbone biomasse qui est considérée comme non dégradée en décharge. Les émissions évitées du fait d'une valorisation éventuelle du biogaz ont en revanche toujours été négligées.

FE fin de vie moyenne - impact : ces FE sont issus d'une combinaison des FE recyclage - impact, FE UIOM - impact et FE ISDND (installation de stockage de déchets non dangereux) – impact, à hauteur :

- du taux de recyclage technique à considérer pour chaque catégorie d'emballages pour le FE recyclage (cf. note de calcul ADEME-CITEO régulièrement actualisée [853](#));
- du taux d'incinération des OMR appliqué à la proportion d'emballages non recyclés pour les FE incinération ;
- du taux de mise en décharge des OMR appliqué à la proportion d'emballages non recyclés pour les FE mise en décharge.

La proportion respective des OMR en incinération et en décharge est quantifiée à partir des données ITOM de l'ADEME.

Les taux techniques de recyclage pris en compte ont été édités en 2018 et portent sur des données 2015. Les valeurs sont les suivantes :

- emballages acier : 74,1 %
- emballages aluminium : 34,0 %
- emballages carton : 64,3 %
- emballages verre : 74,8 %
- emballages plastique des type bouteille et flacons : 54,1 %
- autres emballages plastiques : 1,4 %

FE fin de vie moyenne - émissions évitées : les émissions évitées sont calculées selon la même procédure de calcul que les FE fin de vie moyenne - impacts mais en utilisant les FE recyclage - émissions évitées, FE UIOM - émissions évitées et FE ISDND - émissions évitées.

FE valides spécifiques sur le recyclage des plastiques

FE recyclage - impact : ces FE prennent en compte les étapes de collecte et tri initial (données issues des informations fournies par les sites et de la contribution de Citéo dans le cas des déchets d'emballages ménagers) et de régénération (données moyennes pondérées des sites des régénérateurs).

Sont inclus dans le système :

- Etape 1 : les consommations et émissions liées à la collecte, au transport, au tri, avec une règle d'affectation massique au prorata des masses de matières triées (papier, plastiques, ...)
- Etape 2 : les consommations et émissions liées à la régénération proprement dite, comprenant le transport d'approvisionnement des matières premières, la gestion des

déchets de la régénération (Déchets éliminés en décharge, par incinération ou valorisation énergétique, régénérés ailleurs), la production des emballages approvisionnés pour les matières premières de recyclage (MPR), les consommations des procédés de régénération (énergies, consommables), les émissions des procédés dans l'air et dans l'eau et une évaluation des infrastructures sur la base d'un modèle-type d'atelier (bâtiments en acier, aires de stockage en routes).

FE recyclage - émissions évitées : les émissions évitées consolident :

- Les émissions correspondant à la production de résine vierge considérée comme évitée du fait de la production de la matière première de recyclage (MPR) ; un taux de substitution de 1 pour 1 entre résine vierge et plastique recyclé a été pris en compte ;
- Les émissions correspondant à la production de métaux primaires considérés comme évités du fait de l'envoi dans une autre filière de recyclage de déchets métalliques extraits lors des premières étapes (tri) de la régénération des déchets plastiques ; un taux de substitution de 0,6 pour 1 a été considéré entre les métaux primaires et les déchets métalliques extraits ;
- Les émissions correspondant à la production d'énergie (chaleur/électricité) considérée comme évitée du fait de la valorisation énergétique des déchets sortis du statut déchets qui sont éliminés par incinération.

Cas particulier des déchets d'emballages acier

Concernant le recyclage des emballages en acier (fer blanc), le FE consolidant les impacts et émissions évitées est de – 1343 kg Eq. CO₂/t.

Concernant la gestion en fin de vie moyenne des emballages en acier (fer blanc), le FE consolidant les émissions évitées est de – 853 kg Eq. CO₂/t.

Pour ces deux FE, le périmètre pris en compte correspond à la consolidation du périmètre des impacts et du périmètre des émissions évitées tel qu'explicités pour les autres emballages.

Origine des données utilisées

FE valides génériques

Les données exploitées pour calculer ces facteurs d'émissions sont d'origine diverses :

- une part importante a été produite par CITEO et ses partenaires directs (filières matériaux, ADEME)
- d'autres données peuvent être issues de bases de données /d'outil et/ou de la bibliographie.

Pour plus d'information, reportez-vous à la documentation relative aux données exploitées dans l'outil Bilan Environnemental des Emballages [852](#).

FE valides spécifiques sur le recyclage des plastiques

Les FE spécifiques relatifs au recyclage des déchets plastiques sont dérivés des travaux du SRP portant sur les ICV (Ecoprofils) des MPR directement conduits par le SRP⁸⁵⁴.

Les travaux relatifs aux ICV des MPR aboutissent à des résultats d'impact environnementaux exprimés par kg de MPR produite, c'est-à-dire par kg de plastique recyclé sortant de régénération. Des adaptations ont été réalisées afin d'alimenter la partie déchets de la Base Carbone® et de fournir des résultats d'impact GES exprimés par kg de déchets plastique entrant en régénération.

Représentativité des données

Représentativité technique

FE valides génériques	FE valides spécifiques sur le recyclage des plastiques
Se référer à la section « Périmètre »	Ces données spécifiques au recyclage des déchets plastiques d'emballages peuvent être exploitées si l'utilisateur a la garantie que les déchets d'emballages plastiques ménagers sont effectivement régénérés par les opérateurs indiqués dans le commentaire de chaque FE proposé.

Représentativité temporelle

FE valides génériques	FE valides spécifiques sur le recyclage des plastiques
Les FE ont été établis en 2018. Les FE par filière de traitement (recyclage, incinération et mise en décharge) sont considérés comme représentatifs jusqu'en 2024. Les FE fin de vie moyenne sont plus sensibles à une évolution temporelle car tributaires des taux techniques de recyclage et de la répartition des OMr entre incinération et mise en décharge. Ils sont considérés comme représentatifs jusqu'en 2022.	Les différents facteurs d'émissions proposés dans cette catégorie ont été établis avec des données datant de 2015, et sont considérés comme représentatifs jusqu'en 2022.

Représentativité géographique

FE valides génériques	FE valides spécifiques sur le recyclage des plastiques
-----------------------	--

Les FE proposés sont considérés comme représentatifs de la gestion des déchets d'emballages ménagers produits en France. Le recyclage des déchets d'emballages ménagers produits en France est majoritairement opéré en France mais une partie peut avoir lieu dans d'autres pays européens limitrophes de la France. L'incinération avec valorisation des déchets d'emballages ménagers est opérée en France. La partie résiduelle des déchets d'emballages qui n'est pas recyclée ni valorisée énergétiquement est stockée dans des installations en France.	Pour chacune des catégories de déchets plastiques, le FE impact et le FE émissions évitées sont considérés comme représentatifs de la régénération de cette catégorie de déchets plastiques par les opérateurs français adhérents du SRP. Retrouvez la liste correspondante dans le commentaire de chaque FE.
--	---

Sources :

[851] : Directive 94/62/EC modifiée 2018

[852] : https://bee.citeo.com/pdfdoc/guide_donnees_bee.pdf

[853] : https://bee.citeo.com/pdfdoc/Note_Taux%20recyclage%20emb%20ACV.pdf

[854] : <http://www.srp-recyclage-plastiques.org/index.php/donnees-recyclage/icv-des-mpr.html>

6.3.1.2 Déchets d'éléments d'ameublement

Définition

Les FE proposés ici couvrent les déchets de biens meubles et leurs composants, dont la fonction principale est de contribuer à l'aménagement d'un lieu d'habitation, de commerce ou d'accueil du public en offrant une assise, un couchage, du rangement, un plan de pose ou de travail, ainsi que les produits rembourrés d'assise ou de couchage⁸⁵⁵.

Il s'agit de facteurs d'émission « fin de vie moyenne filière » à l'échelle de certaines catégories de Déchets d'Éléments d'Ameublement (DEA) :

- DEA Bois
- DEA Literie
- DEA Rembourrés
- DEA moyen

Ces catégories (sauf DEA moyen) de déchets correspondent aux flux opérationnels de gestion des DEA dans le cadre de la filière.

Aucune donnée spécifique n'est disponible pour les catégories de DEA plastiques et DEA métalliques. Ces catégories restent toutefois secondaires en termes de quantité par rapport à l'ensemble des DEA. Par ailleurs, elles sont incluses dans les facteurs relatifs aux DEA moyen.

Aucune donnée n'est disponible pour représenter les impacts GES de la gestion des DEA qui ne sont pas collectés et traités dans le cadre de la filière (gestion hors filière). Ces flux « hors-filière » représentaient 66% du gisement estimé de DEA en 2019. Pour aller plus loin, se reporter aux données publiées sur le site <https://www.syderep.ademe.fr/> pour connaître la quantité de DEA collectés et gérés dans le cadre de la filière par rapport aux quantités de DEA mis sur le marché.

Description du facteur d'émissions

Composition et représentativité du gisement de déchets

Le graphique ci-dessous représente la composition du gisement collecté et modélisé pour les facteurs DEA moyen :

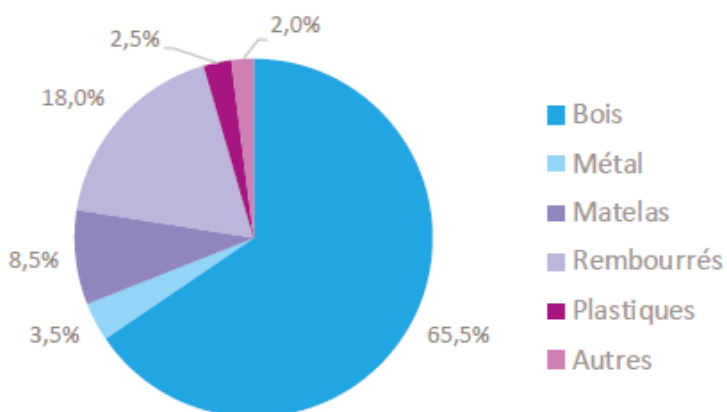


Figure : Composition représentative des DEA collectés en 2017

Composition des DEA Bois collectés en 2017

La famille des DEA bois est composée de 32% de bois massif, 7% d'indésirables (morceaux de tissus ou plastique), les 61% restant pouvant être considérés comme du panneau de particules ou assimilé. Les panneaux de particules sont principalement composés de particules de bois (jusqu'à 93 %) et de colles à base de formaldéhyde (entre 7 % et 12 %). Des matériaux supplémentaires peuvent également faire partie des flux entrant (éléments de quincaillerie, vernis, revêtements etc.) mais ils sont considérés comme négligeables. Ces informations sont issues d'une étude d'Eco-mobilier réalisée à l'échelle nationale. Plus d'une centaine d'échantillons de bois ont été prélevés de façon représentative puis étudiés.

Composition des DEA Literie

Le graphique ci-dessous représente la composition du gisement collecté et modélisé pour les facteurs DEA Literie:

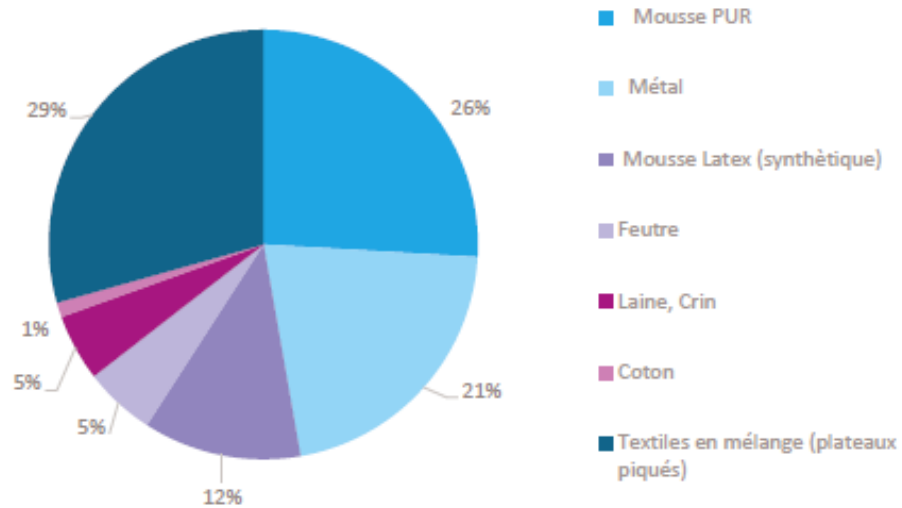


Figure : Composition des DEA Literie collectés en 2017

Composition des DEA Rembourrés

Le graphique ci-dessous représente la composition du gisement collecté et modélisé pour les facteurs DEA Rembourrés :

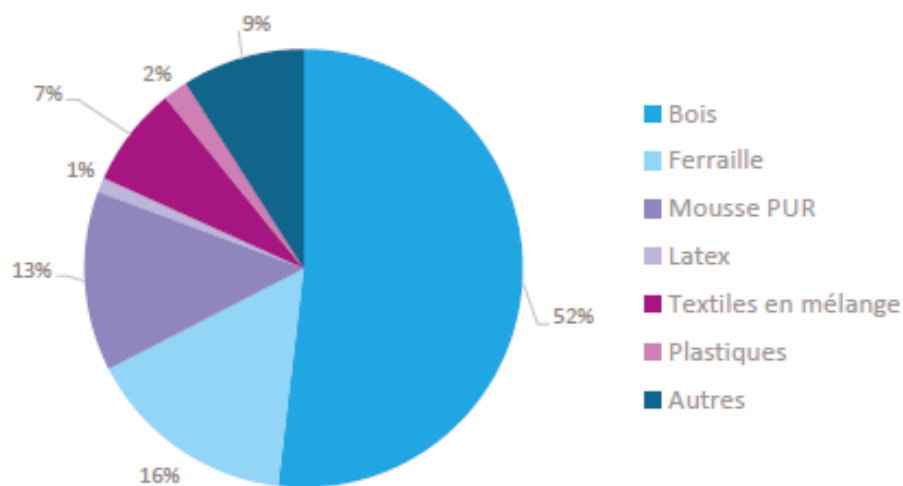


Figure : Composition des DEA Rembourrés collectés en 2017

Périmètre

Les FE sont établis pour les DEA qui sont collectés et traités dans le cadre de la filière de gestion opérée par Eco-mobilier. La gestion des DEA qui ne sont pas collectés par Eco-mobilier n'est pas prise en compte.

Le périmètre va du ramassage des DEA aux points de collecte jusqu'au traitement final des flux ; toutes les étapes de transport, tri ou préparation intermédiaire sont intégrées.

Collecte (ou ramassage) : cette opération consiste en l'acheminement des DEA en des points de regroupements vers un centre de tri ou de transit. La plupart des DEA sont collectés en mélange, néanmoins, dans certains cas particuliers, la collecte est spécifique à une famille de DEA ou type de meuble donné (ex. prestation spéciale pour un hôtel, un hôpital).

Tri ou transit des DEA : Suite à l'étape de collecte, la composition matière et la qualité des DEA sont évaluées afin de les rediriger vers les voies de valorisation adaptées. Les sites impliqués (centres de tri qui réceptionnent les DEA et réalisent une opération de tri des matériaux en vue de les adresser vers des centres de préparation spécifiques, et centres de transit qui réceptionnent les DEA et les dirigent vers des sites intégrés de préparation multi-flux après une simple opération de grappinage et de massification) remplissent deux types de fonctions similaires en termes de procédé et sont donc assimilés pour l'évaluation des FE.

Préparation des déchets d'éléments d'ameublement à la valorisation : inclut les **centres de préparations** chargés de démanteler les éléments d'ameublement puis de les préparer au recyclage et à la valorisation énergétique et les **sites intégrés de préparation multi-flux (SIPMF)** dont la particularité est de réaliser les opérations de tri et de préparation des matériaux issus des DEA à la valorisation (principalement énergétique, mais également matière) en une seule étape.

Valorisation des déchets d'éléments d'ameublement, via une valorisation Matière (un certain nombre de composants (ferraille, bois, mousse polyuréthane (PU), mousse latex, etc.) sont envoyés pour être recyclés dans des exutoires dédiés) ou **via une valorisation Énergétique** (les matériaux ne pouvant pas être envoyés en valorisation matière sont valorisés énergétiquement sous forme de combustibles solides de récupération dans des cimenteries ou des usines de production de papier (uniquement pour le bois : on parle alors de valorisation combustible bois ou « VCO »)).

Origine des données utilisées

Les données d'activité exploitées proviennent d'Eco-mobilier⁸⁵⁶ (composition des DEA, collecte, transport intermédiaire...), d'opérateurs (tri, préparation des DEA, recyclage des DEA literie...) et de repreneurs de matières recyclées (scénarii de substitution). Elles ont été complétées par des hypothèses et des modélisations (valorisation sous forme de Combustibles Solides de Récupération, en unité d'incinération d'ordures ménagères - UIOM, installation de stockage de déchets non dangereux - ISDND...).

Les données d'arrière-plan sont issues de la base de données ecoinvent (V3.5). Les calculs d'impact dont le calcul de la contribution à l'effet de serre a été fait avec la méthode AICV ILCD 2011 midpoint, publiée par le Joint Research Centre (JRC) de la Commission Européenne.

Représentativité

Représentativité technique

Pour la plus grande partie des étapes du cycle de vie, des données primaires ont été utilisées. Quand des hypothèses sont prises, une approche conservatrice est adoptée. C'est notamment le cas concernant les impacts liés à l'activité des SIPMF, centres de préparation rembourrés ou plastiques, qui ont été jugés équivalents à ceux des centres de tri.

De même, ni la composition des déchets de rembourrés accueillis dans les centres de préparation dédiés, ni la composition entrant dans la filière Eco-mobilier n'étant connues précisément, la représentativité de ce flux ne peut être attestée. Enfin, les flux de déchets plastiques étant marginaux, ils sont assez méconnus, aussi un manque de représentativité et de traçabilité peut être constaté.

Représentativité temporelle

Les FE proposés portent sur l'année 2017. Ils peuvent être considérés comme valides pour une période de 5 ans, soit jusqu'en 2022. En effet, l'entrée en vigueur de la loi AGECE pourrait être à l'origine d'une modification du périmètre d'Eco-mobilier et donc de la gestion des flux.

Représentativité géographique

Les FE proposés sont applicables pour représenter la gestion en fin de vie des DEA collectés en France par Eco-mobilier.

Sources :

[855] : Décret n° 2012-22 relatif à la gestion des DEA et Décret n° 2017-1607 du 27 novembre 2017

[856] : Eco-mobilier - Quantis. Empreinte environnementale de la filière de gestion des déchets d'éléments d'ameublement (DEA) opérée par Ecomobilier en 2017. Rapport final. 2020. 203 p

6.3.1.3 Déchets d'équipements électriques et électroniques

Définition

Les FE proposés ici couvrent les déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) « basse tension », c'est-à-dire conçus pour être utilisés à une tension ≤ 1000 volts en AC et 1500 volts en DC ⁸⁵⁷.

Sont considérés comme des DEEE « ménagers », les DEEE provenant des ménages et les DEEE d'origine commerciale, industrielle, institutionnelle et autre qui, en raison de leur nature et de leur quantité, sont similaires à ceux des ménages. Sont considérés comme DEEE « professionnels », les autres déchets d'équipements électriques et électroniques.

Les facteurs d'émissions proposés sont des facteurs d'émission « fin de vie moyenne filière » à l'échelle de chaque catégorie de DEEE ménagers :

- GEMF (Gros Electroménager Froid)

- GEMHF (Gros Electroménagers Hors Froid)
- PAM (Petits Appareils en Mélange)
- ECRANS CRT (Ecrans Cathod Ray Tub)
- ECRANS Plats
- T&L (Tubes & Lampes)
- DEEE moyen

Ces catégories (sauf DEEE moyen) de déchets correspondent aux flux opérationnels de gestion des DEEE dans le cadre de la filière.

Aucune donnée n'est disponible pour représenter les impacts GES de la gestion des DEEE qui ne sont pas collectés et traités dans le cadre de la filière (gestion hors filière). Ces flux « hors-filière » représentaient 48% du gisement estimé de DEEE en 2019. Pour aller plus loin, se reporter aux données publiées sur le site <https://www.syderep.ademe.fr/> pour connaître la quantité de DEEE collectés et gérés dans le cadre de la filière par rapport aux quantités de DEEE mises sur le marché.

Description du facteur d'émissions

Composition et représentativité du gisement de déchets

La composition des flux est établie grâce aux programmes d'évaluation de la composition matière des flux de déchets gérés par ecosystem. Ces programmes relèvent des échantillonnages et bilans matières équipements, réalisés annuellement, représentatifs des flux de déchets collectés sur l'année.

Le FE « DEEE moyen » est proposé **par défaut uniquement**, et ne doit être utilisé qu'en absence d'information précise sur les flux de DEEE concernés. Ce FE s'appuie sur les FE de chaque flux de DEEE, pondéré par la représentativité des tonnages collectés par ecosystem en 2019. Pour les équipements contenant des gaz réfrigérants ou isolants, le mix de gaz considéré est celui évalué pour les équipements collectés en 2019 par ecosystem. Pour le flux GEMF, les émissions liées aux pertes amont de gaz réfrigérants sont prises en compte.

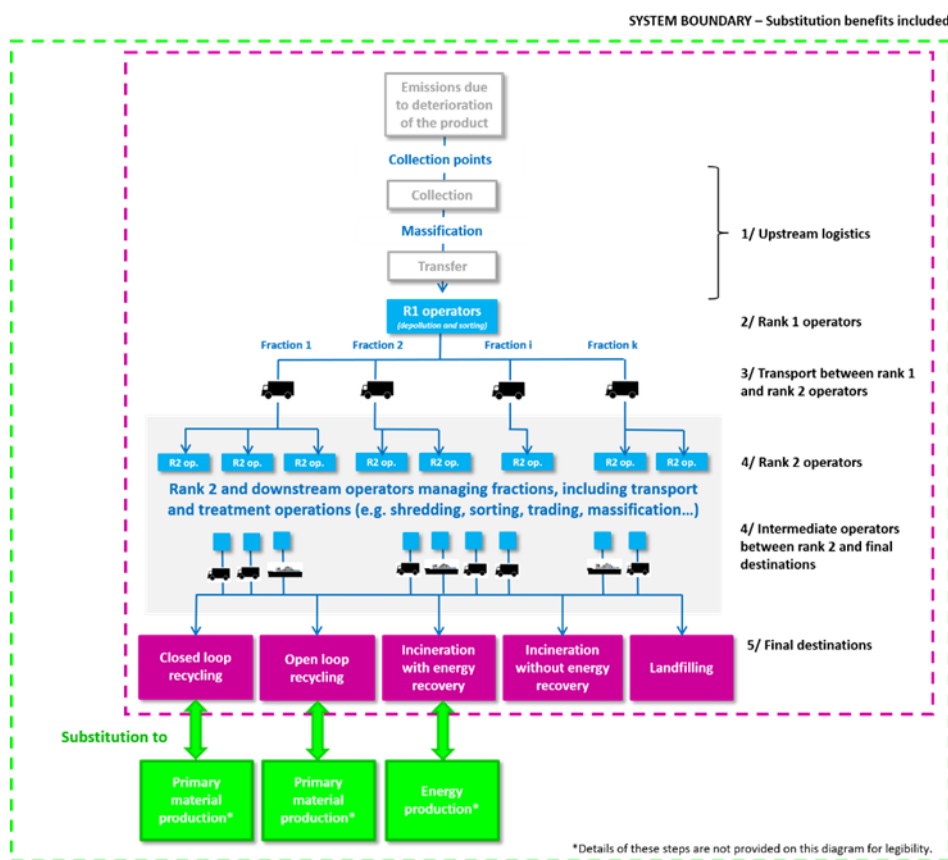
Point d'attention : le facteur d'émissions - Impacts étant bien plus élevé pour le flux GEMF que pour les autres flux de DEEE, ce FE « DEEE moyen » est largement gouverné par la proportion de GEMF considérée pour le calcul. **Nous recommandons dans la mesure du possible d'utiliser les FE de chaque flux et d'adapter les tonnages précisément.** Pour les collectivités locales, le détail des tonnages collecté par flux est transmis par l'OCAD3E.

Périmètre

FE fin de vie moyenne - impact :

Ces facteurs d'émissions (FE) couvrent les émissions liées à la gestion de DEEE dans la filière agréée, pilotée par ecosystem⁸⁵⁸.. Sont prises en compte toutes les étapes depuis le point de collecte des DEEE, jusqu'aux destinations finales des matières qui en sont issues (recyclage, valorisation, élimination).

Les destinations finales atteintes par chaque type de matériaux sont précisées dans le User guide accompagnant la base de données (<http://weee-lci.ecosystem.eco/Node/>, rubrique "Sources", Document "User guide").



- **Point d'attention 1** : Ces FE couvrent toutes les étapes de collecte, dépollution, traitement des DEEE et transport / traitement des matières jusqu'aux destinations finales incluses (recyclage, valorisation énergétique ou élimination).
- **Point d'attention 2** : Le transport des DEEE réalisé par le détenteur jusqu'au point de collecte n'est pas comptabilisé.

Trois FE sont disponibles pour le flux GEMF, les variations de FE pouvant être très importantes suivant la nature des gaz qu'ils contiennent :

1. **GEMF arrivant actuellement en fin de vie, avec pertes de gaz amont** : un certain nombre d'équipements arrive sur les centres de traitement avec un circuit réfrigérant déjà vide de gaz : les gaz réfrigérants ont été libérés à l'atmosphère. Ce FE prend en compte le taux de pertes moyen de ces équipements, avant l'arrivée sur le centre de traitement. Le mix de gaz réfrigérants et isolants considéré est celui des équipements collectés en 2019 par ecosystem (équipements anciens pour la plupart).
2. **GEMF arrivant actuellement en fin de vie, sans pertes de gaz amont** : Ce FE ne prend pas en compte la libération éventuelle de gaz réfrigérants avant l'arrivée sur le centre de traitement. Le mix de gaz réfrigérants et isolants considéré est celui des équipements collectés en 2019 par ecosystem.

3. **GEMF actuellement mis sur le marché, avec pertes de gaz amont** : Ce FE prend en compte la libération éventuelle de gaz réfrigérants avant l'arrivée sur le centre de traitement. Le mix de gaz réfrigérants et isolant tend à s'approcher de celui des équipements mis sur le marché actuellement (gaz réfrigérant : 100% R600a ; gaz isolant : 100% R601), bien moins impactant que dans les anciens équipements.

Le FE GEMF mis sur le marché doit être utilisé pour les équipements qui sont actuellement mis sur le marché.

Les FE GEMF en fin de vie doivent être utilisés pour les équipements qui arrivent actuellement en fin de vie.

Le FE GEMF en fin de vie, avec pertes de gaz amont doit être utilisé par défaut.

Le FE GEMF en fin de vie, sans pertes de gaz amont peut être utilisé sous réserve que ce facteur soit complété par une quantification spécifique des émissions GES générées par les émissions de gaz réfrigérants à l'atmosphère du fait :

- De perçages accidentels du circuit de réfrigération des équipements
- De pillages de certains composants des équipements ayant porté atteinte à l'intégrité des circuits de réfrigération

FE fin de vie moyenne - émissions évitées :

Suite au traitement des DEEE, des matières peuvent être recyclées ou valorisées énergétiquement. Ce FE prend en compte les émissions évitées grâce :

- au recyclage des matières, qui permet de produire des matières recyclées qui se substituent à des matières vierges. Les impacts liés à la fabrication de ces matières vierges sont donc évités ;
- à la valorisation énergétique de certaines matières, qui permet de produire de la chaleur ou de l'électricité qui se substitue à de la chaleur ou de l'électricité produite de manière conventionnelle. Les impacts liés à la production de ces énergies conventionnelles sont donc évités.

-

Origine des données utilisées

Ces facteurs d'émissions sont issus du croisement entre la base de données d'inventaires de cycle de vie (ICV) modélisant la fin de vie des équipements électriques et électroniques (EEE) développée par ecosystem et des programmes d'analyse de la composition matière des flux de déchets menés par ecosystem.

Base de données d'ICV sur la fin de vie des EEE : cette base de données est librement consultable sur la plateforme : <http://weee-lci.ecosystem.eco/Node>. Les informations relatives à la constitution de cette base de données sont disponibles dans le rapport méthodologique associé (rubrique "Sources", Document "Modelling principles report"). Ces travaux ont fait l'objet d'un travail de revue critique dont le rapport d'analyse est accessible sur la plateforme également (rubrique "Sources", Document "Review Report").

Programmes pour évaluer la composition matière des flux de déchets gérés par ecosystem : cette évaluation s'appuie sur deux programmes menés annuellement par ecosystem :

- les échantillonnages : analyse de la composition en équipements de chaque flux de DEEE
- les bilans matières équipements : analyse de la composition matière des équipements contenus dans les flux de DEEE.
-

Représentativité

Représentativité technique

Ces FE représentent la gestion effective des DEEE dans la filière agréée, pilotée par ecosystem. Cette chaîne de dépollution et traitement fait appel à de nombreux procédés spécifiques à chaque flux, modélisés dans la base de données d'ICV sur la fin de vie des EEE. Pour le détail sur les procédés modélisés et leur représentativité, se référer au rapport méthodologique et aux métadonnées associées à chaque ICV, disponibles sur le site d'ecosystem.

Le panel de revue critique qui a analysé la pertinence des scénarios et procédés mis en oeuvre pour la construction de ces ICV a évalué la représentativité technologique à "Very good" pour les flux PAM, GEMF et Tubes & Lampes et "Good" pour les flux GEMHF et Ecrans Plats. Les données concernant les écrans CRT n'ont pas été évaluées par la revue critique, car développées en second lieu.

Représentativité temporelle

La fin de validité des ICV a été estimée, sur recommandation de la revue critique à :

- 2020 pour les écrans plats
- 2022 pour le PAM, GEMF, le GEMHF et les lampes
- n'a pas été évaluée pour les écrans CRT ; à noter que ce flux n'évolue plus (plus de mises en marché d'écrans CRT) et que les process de traitement pour ce flux sont matures. Le FE n'a donc pas vocation à beaucoup évoluer.

La distinction pour les écrans plats tient au fait que les technologies modélisées étaient récentes au moment de la construction des ICV, donc susceptibles de connaître des ajustements plus rapidement que sur les autres flux, déjà matures. A date en 2020, on constate que les procédés de traitement des écrans plats sont toujours d'actualité. Ces ICV restent donc encore valides.

Les données utilisées pour définir la composition du gisement sont issues des programmes d'analyses menés sur l'année 2019. Cette composition évolue légèrement d'années en années au gré des évolutions dans le gisement collecté. En particulier, les mix de gaz réfrigérants ou isolants des équipements (largement responsables des valeurs obtenues pour le FE "GEMF arrivant en FdV actuellement, avec pertes de gaz amont") évolue dans le temps, la proportion d'équipements contenant des gaz fluorés désormais interdits diminuant. Ainsi, avec le temps, le FE-impacts du GEMF aura tendance à s'améliorer.

Pour ces raisons, la représentativité temporelle des FE retenue est :

- 2019-2022 pour le PAM, le GEMHF, les écrans Plats, les écrans CRT et les lampes ;

- 2019-2021 pour le GEMF.

Représentativité géographique

Ces FE sont considérés comme représentatifs de la gestion de la fin de vie des EEE dans la filière pilotée par ecosystem en France. En particulier, les étapes de collecte, dépollution et traitement des DEEE sont systématiquement réalisées en France. Les étapes ultérieures de régénération des matières peuvent être effectuées en France, en Europe, ou hors Europe.

Sources :

[857] : Directive 2012/19/UE modifiée 2018, Article R543-173 du Code de l'environnement

[858] : Ecosystem, facteurs d'émissions calculés en 2020, <http://weee-lci.ecosystem.eco/Node>.

Pour toute question sur ces facteurs d'émissions, merci de contacter ecosystem : weee-lci@ecosystem.eco

6.3.1.4 Déchets de piles et d'accumulateurs portables

Définition

Les FE proposés ici couvrent les déchets de piles et accumulateurs portables définis au sens de la Directive 2006/66/CE modifiée 2018.

Description du facteur d'émissions

Composition et représentativité du gisement de déchets

Le gisement considéré se compose de piles alcalines salines (82,4%), de piles boutons hors lithium primaire (0,3%) et d'accumulateurs (13,4%). **Les piles et accumulateurs industriels et automobiles ne sont pas couverts par ces données.**

Les volumes de piles alcalines salines (>80 %) rendent la contribution des autres types de piles peu significatifs sur le total.

Les FE correspondent à la gestion des piles et accumulateurs portables dans le cadre de la filière REP pilotée par Corepile et Screlec⁸⁶¹. **Aucune donnée n'est disponible pour représenter les impacts GES de la gestion des piles et accumulateurs portables qui ne sont pas collectés et traités dans le cadre de la filière (gestion hors filière).** Il est estimé qu'environ 50% du gisement (estimé également) des piles et accumulateurs portables n'est pas collecté et traités dans le cadre de la filière, ce chiffre se décomposant entre 30% de piles et accumulateurs en utilisation ou stockés, 15% jetés avec les ordures ménagères, et le reste ayant une destination inconnue. Pour aller plus loin, se reporter aux données publiées sur le site

<https://www.syderep.ademe.fr/> pour connaître la quantité de piles et accumulateurs portables collectés et gérés dans le cadre de la filière par rapport aux quantités mises sur le marché.

Périmètre

Les données couvrent les opérations de transport depuis les points de collecte jusqu'aux sites de regroupement et aux centres de tri ou pré-tri, les opérations de tri ou pré-tri elles-mêmes, le transport jusqu'aux centres de recyclage, les opérations de broyage et de fusion.

La collecte « primaire » entre le domicile du détenteur et le point d'enlèvement est hors périmètre des données publiées sur les déchets de piles et accumulateurs.

Origine des données utilisées

Les données utilisées pour modéliser les distances de transport jusqu'aux sites de regroupement puis aux centres de tri proviennent des éco-organismes SCRELEC et COREPILE. Les distances parcourues sur les tournées de collecte ont été modélisées selon une approche « point à point », les circuits réels de tournées n'étant pas connus. La production des contenants a été prise en compte, ainsi que leur impact lors du transport par une évaluation en tonnes.kilomètres.

Les données utilisées pour modéliser les opérations de tri puis de broyage et de fusion sont issues d'opérateurs.

Les données utilisées pour modéliser les émissions liées à la production des matériaux substitués, pour le calcul des émissions évitées, sont principalement issues de l'ADEME (Base Impacts®).

Représentativité

Représentativité technique

La modélisation est représentative de la gestion des piles et accumulateurs en fin de vie collectés dans le cadre de la filière agréée de Responsabilité Elargie du Producteur (Corepile, Screlec).

Représentativité temporelle

Les activités "amont" (collecte et transport jusqu'en centres de tri, opérations en centres de tri et transport jusqu'à l'entrée des centres de recyclage) ont été modélisées en 2010. Les activités "aval" (opérations de broyage et de fusion) ont été modélisées en 2013.

Représentativité géographique

Les données sont représentatives de la gestion des piles et accumulateurs portables collectés en France.

Sources :

[861] : Etude COREPILE / SCRELEC - Bilan carbone de la filière des piles et accumulateurs portables

6.3.1.5 Déchets textiles et linges

Description du facteur d'émissions

Composition et représentativité du gisement de déchets

Les données portent uniquement sur les textiles et linges de maison. Les chaussures, qui sont également collectées dans la même filière de Responsabilité Elargie du Producteur, sont quant à elles exclues par manque de données sur leur composition à ce jour.

La composition du gisement pris en référence pour l'étude est la suivante: 40.2 % de coton, 21.5 % de polyester, 12.7 % de polyamide, 8.4 % de viscose, 8.3 % d'acrylique, 7.3 % de laine et 1.6 % d'élasthanne. Cette composition est issue d'une étude ADEME⁸⁶².

Périmètre

Le calcul des émissions induites inclut les étapes de collecte et de tri des textiles et linges de maison usagés (transport, consommation d'électricité). Les étapes de valorisation réalisées en aval (coupe des chiffons, effilochage, préparation de combustibles solides de récupération – « CSR », valorisation énergétique) ne sont pas prises en compte dans les émissions induites.

Le calcul des émissions évitées correspond à un bilan net des impacts induits par les étapes de valorisation aval (coupe des chiffons, effilochage, préparation de CSR, valorisation énergétique) et des émissions évitées grâce à la substitution de matières ou d'énergie, y compris substitution de textiles neufs **grâce à la réutilisation**. La réutilisation est supposée permettre d'allonger la durée de vie d'un vêtement ou linge de maison de 80 %, soit l'évitement de la production de 80 % d'un textile neuf. Il est pris comme hypothèse que les textiles neufs évités sont composés de 51 % de textiles tricotés et 49 % de textiles tissés, selon des données douanières sur les imports/exports.

Origine des données utilisées

Les données sont issues d'une étude menée par ReFashion, organisme en charge de la filière des textiles et linges de maison, partiellement mise à jour en 2017. Les données primaires ont été collectées auprès de ReFashion (anciennement EcoTLC), d'opérateurs de tri, et de FEDEREC (Fédération Professionnelle des Entreprises du Recyclage). Elles concernent la répartition des flux entre les différentes voies de collecte et traitement, la consommation électrique des centres de tri.

Les données manquantes ont été complétées par des hypothèses du bureau d'étude spécialisé RDC Environnement (par exemple, pour les flux collectés en collecte séparée TLC, les différents paramètres de collecte (distance parcourue, poids moyen, type de véhicule, ...)) ou d'études ADEME (par exemple, pour les flux hors collecte sélective, les distances de collecte sont issues de l'étude ADEME "Analyse des distances parcourues par les bennes de collecte des ordures

ménagères" (2009) et la répartition enfouissement/stockage provient de l'étude ADEME ITOM publiée en 2015 (données 2012)).

Les données secondaires sont issues d'EcoInvent ou de la Base Impacts® de l'ADEME (notamment pour la production des matières premières évitées grâce au recyclage).

Représentativité

Représentativité technique

Pour les FE fin de vie moyenne des textiles, les taux d'orientation vers les différentes filières reflètent la situation en 2016 :

- 62 % de collecte non sélective et traitement avec les ordures ménagères (64 % d'incinération, 36 % de stockage: répartition issue de l'étude ITOM ADEME publiée en 2015, sur la base de données 2012). La composition des textiles gérés en mélange dans les ordures ménagères est supposée être la même que celle des textiles mis en marché.
- 38% de collecte sélective dont 23 % de réutilisation, 9 % d'effilochage (dont 7,5 % des cotons destinés à l'isolation des bâtiments, 92,5% en feutres), 4 % d'essuyage (substituant des chiffons composé de 90% cellulose, 10% coton), 2 % de CSR et 0.4 % de valorisation énergétique.

L'étude menée par ReFashion précise que le carbone d'origine biogénique stocké pendant la croissance du coton est déduit dans le calcul des émissions induites par la production de cette matière.

Représentativité temporelle

Les périodes de référence pour le calcul des données sont :

- 2010 pour la composition du gisement
- 2016 pour les données relatives aux ventilations des tonnages dans les débouchés

La représentativité temporelle des données d'inventaires génériques utilisés dans l'étude est variable en fonction des inventaires de cycle de vie utilisés dans cette étude (1990-2015). Faute de données plus récentes, ces données restent à privilégier à ce jour.

Représentativité géographique

L'utilisation des facteurs d'émissions proposés est pertinente à l'échelle de la France.

La localisation géographique des opérations modélisées correspond à:

- la France pour la collecte
- l'Europe pour le tri (80 % en France et 20 % dans différents pays d'Europe hors France)
- l'Europe, l'Afrique et l'Asie pour les débouchés du tri (selon les filières, la part dans ces différents continents est différente).

Sources :

[862] : Etude ADEME « Elaboration d'un plan de développement d'une base publique de données d'ACV comme support à l'affichage », avril 2010

6.3.1.6 Déchets organiques

Les facteurs d'émissions proposés ici couvrent les déchets organiques municipaux définis dans la circulaire du 28/06/01 relative à la gestion des déchets organiques comme « l'ensemble des déchets organiques dont l'élimination relève de la compétence des communes. Il s'agit notamment des biodéchets des ménages et des producteurs assimilés, des déchets verts des collectivités, des déchets organiques de l'assainissement collectif (boues) à l'exclusion des matières de vidange (assainissement privé hors de la responsabilité communale) ».

Règlementairement, les biodéchets sont définis par l'article R 541 – 8 du Code de l'environnement dans les termes suivants : « tout déchet non dangereux biodégradable de jardin ou de parc, tout déchet non dangereux alimentaire ou de cuisine issu notamment des ménages, des restaurants, des traiteurs ou des magasins de vente au détail, ainsi que tout déchet comparable provenant des établissements de production ou de transformation de denrées alimentaires. »

Compte tenu des modes de traitement actuels de ces déchets organiques, des facteurs d'émissions sont proposés pour les modes de gestion suivants :

- Compostage industriel
- Compostage domestique (extrapolation possible au compostage partagé)
- Méthanisation
- Enfouissement (cas des déchets putrescibles des ordures ménagères)
- Incinération (cas des déchets putrescibles des ordures ménagères)

6.3.1.6.1 Compostage industriel

Le compostage industriel est un procédé de transformation aérobie de matières fermentescibles dans des conditions contrôlées industriellement. Il permet l'obtention d'une matière fertilisante stabilisée riche en composés humiques, le compost. Il s'accompagne d'un dégagement de chaleur et de gaz carbonique⁸⁶³.

Composition et représentativité du gisement de déchets

Les déchets organiques pouvant être traités dans les installations de compostage industriel peuvent consister en des déchets verts (tontes de pelouses, feuilles...), des déchets de cuisine et de table triés à la source, la fraction fermentescible des déchets ménagers, des boues d'épuration

urbaines ou industrielles, les déchets agro-alimentaires, des effluents d'élevage (fientes, fumiers...).

Ces déchets peuvent être traités en mélange dans les installations.

Périmètre

Pour les émissions induites, sont pris en compte :

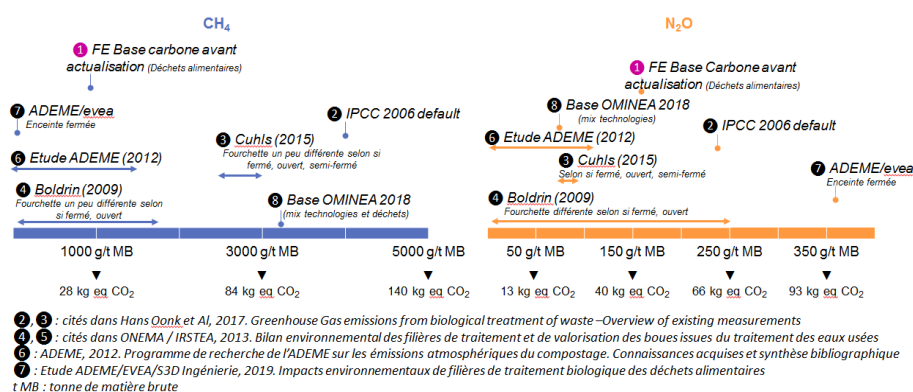
- Une étape de collecte des déchets (donnée générique non spécifique aux déchets compostés, basée sur une gestion de proximité)
- Les émissions directes engendrées par le processus de compostage industriel
- Le fonctionnement de l'installation (donnée générique non spécifique aux plateformes de compostage).

En ce qui concerne les émissions évitées, sont pris en compte :

- Une valorisation du compost permettant une substitution à des engrais de synthèse
- Le stockage dans le sol, sur une longue période, d'une partie du carbone contenu dans le compost.
-

Origine des données utilisées

Suite à une revue des différentes sources bibliographiques portant sur les émissions directes de gaz à effet de serre (CH_4 et N_2O) lors du processus de compostage industriel de déchets organiques, il a été mis en évidence que les valeurs obtenues divergent significativement et qu'une étude approfondie de cette bibliographie serait nécessaire.



Revue bibliographique : émissions directes de CH₄ et de N₂O lors du compostage industriel de déchets organiques

Dans ce laps de temps, le GT Déchets de la Base Carbone® a fait le choix de retenir les données moyennes établies par le CITEPA à l'échelle de la France et utilisées pour le compostage industriel dans le cadre de l'inventaire français au titre de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC) dans le cadre de la base OMINEA [864](#), permettant d'assurer une cohérence des données.

L'inventaire du CITEPA portant uniquement sur les émissions directes du processus de compostage, les émissions associées à la collecte et au fonctionnement des installations de compostage sont des valeurs génériques proposées dans une étude RECORD⁸⁶⁵ de 2008 et intitulée « Application de la méthode « bilan carbone® » aux activités de gestion des déchets » : 18 kg eq. CO₂ par tonne de déchet brut pour l'étape de collecte des déchets et 18 kg eq. CO₂ par tonne de déchet brut pour le fonctionnement des installations de traitement des déchets.

FE - impact

Afin d'établir ces facteurs moyens nationaux, le CITEPA s'appuie sur :

- Des quantités annuelles, établies par catégories de déchets, orientées en compostage industriel. Ces données sont disponibles dans les enquêtes bisannuelles ITOM de l'ADEME et pour les catégories suivantes : déchets verts et organiques, ordures ménagères en mélange, biodéchets, boues et autres.
- Des facteurs d'émission pour chaque catégorie de déchets et par type d'installation de compostage, issus d'une note du WG1 « GHG emissions from biological treatment of waste - overview of existing measurements » (Hans Oonk, C. Lambert, I. Cakars, M. Havranek) de 2017 sur les émissions atmosphériques des installations de traitements biologiques.

Ces facteurs d'émission sont estimés en fonction du mode d'aération utilisé (fermé vs à l'air libre). Pour le compostage industriel, la répartition du mode d'aération utilisée provient d'une étude de l'ADEME de 2007 qui indique une répartition de la quantité compostée sensiblement égale entre un compostage accéléré et un compostage lent (ADEME - Audit des plateformes de compostage de déchets organiques en France avec analyses de composts - Mars 2007).

Le facteur d'émission national de CH₄ et N₂O du compostage industriel est ainsi déduit des quantités compostées de chaque catégorie de déchets et des modes d'aération utilisés. Pour l'année 2018, les émissions moyennes directes des installations de compostage industriel en France sont de 3,1 kg de CH₄ / t de déchets traités et de 0,063 kg de N₂O / t de déchets traités.

FE - Emissions évitées

Concernant les émissions évitées, faute de données plus récentes à ce jour, la valeur de 26 kg eq. CO₂/tonne de déchet brut composté, établie dans le cadre de l'étude RECORD²¹ de 2008 et incluant une substitution à des engrais de synthèse et une séquestration dans le sol d'une partie du carbone contenu dans le compost, est conservée.

Représentativité

Les FE établis sont représentatifs du gisement moyen de déchets organiques orienté vers un compostage industriel et du parc moyen des installations de compostage industriel en France.

La valeur proposée dans le cadre de la Base carbone® est représentative des calculs effectués sur l'année 2018.

Cependant, **compte tenu de la forte variabilité des facteurs d'émissions du compostage industriel dans la bibliographie, et de l'hétérogénéité des situations sur les plateformes de compostage, il est nécessaire, si ce poste représente un enjeu important pour votre organisation, de chercher à déterminer un facteur d'émission spécifique à votre situation**, à partir des sources bibliographiques citées et des caractéristiques de la plateforme de compostage utilisée.

Sources :

[863] : ADEME. <https://www.ademe.fr/expertises/dechets/passer-a-l'action/valorisation-organique/compostage>

[864] : <https://www.citepa.org/fr/omineal/>

[865] : RECORD 2008 : Record. Application de la méthode Bilan Carbone aux activités de gestion des déchets. 2008. 134 p

6.3.1.6.2 Compostage domestique

Le compostage domestique est réalisé par les ménages dans leur jardin.

De manière générale, le compostage est un procédé de transformation aérobie (en présence d'oxygène, contrairement à la méthanisation qui est une réaction anaérobie) de matières fermentescibles dans des conditions contrôlées. Il permet l'obtention d'une matière fertilisante stabilisée, riche en composés humiques, le « compost », susceptible d'être utilisé, s'il est de qualité suffisante, en tant qu'amendement organique améliorant la structure et la fertilité des sols.

Les FE établis pour le compostage domestique peuvent être utilisés comme approximations des FE relatifs au compostage partagé qui désigne les opérations où le compostage, quel que soit sa taille ou sa forme (composteur, tas de compost, chalet, pavillon, aire...) est géré par plusieurs personnes, foyers, sur un lieu public ou au moins « collectif » (pied d'immeuble, espace d'un quartier ou d'un lotissement...).

Description du facteur d'émissions

Composition et représentativité du gisement de déchets

Les déchets concernés par le compostage domestique correspondent à des déchets de cuisine et des déchets verts produits par les ménages et gérés en mélange.

Périmètre

Pour le calcul des émissions induites, le périmètre pris en compte correspond :

- Au processus de compostage en tant que tel, celui-ci étant à l'origine d'émissions de CH₄ et de N₂O (et des émissions de CO₂ biogéniques) ;

- A l'épandage au sol du compost, cette action générant également des émissions.

En revanche, n'ont pas été pris en compte :

- Le stockage intermédiaire des déchets organiques (émissions gazeuses liées au démarrage du processus de décomposition des déchets organiques, fabrication et fin de vie du contenant), cette étape est supposée avoir un impact négligeable en comparaison du processus de compostage lui-même.
- Les éléments du composteur (extraction des ressources, fabrication du composteur et fin de vie).
- Les outils utilisés lors du remplissage du composteur (gants, pelles et fin de vie).

Il n'est pas proposé de FE « émissions évitées » pour le compostage domestique en raison des fortes incertitudes portant sur son utilisation effective et sur ce à quoi il se substitue (amendement organique, support de culture et nature de ce support par exemple). Toutefois, des données informatives sont fournies ci-après.

Origine des données utilisées

Les données relatives aux émissions processus de compostage domestique et à l'évaluation environnementale de cette gestion ont été recueillies et modélisées dans le cadre d'une étude⁸⁶⁶ réalisée en 2015 pour le compte de l'ADEME par l'APESA, OLENTICA et Bio Intelligence Service.

Cette étude, intitulée « Impact sanitaire et environnementaux du compostage domestique », avait pour objet d'évaluer différentes pratiques de compostage (en tas, en bac fermé, avec ou sans brassage) en procédant à des mesures d'émissions conduites lors d'un plan d'expérience mené sur une année.

Le tableau ci-dessous synthétise les pratiques de compostage pour lesquelles un facteur d'émission est disponible ainsi que les valeurs d'émissions lors du processus de compostage et lors de l'épandage qui ont été prises en compte.

Ces données portent sur des déchets de cuisine ne contenant pas de restes de viande ou de poissons. Le mix pris en compte dans l'étude citée en référence est un mix constitué de 2/3 de déchets de cuisine et d'1/3 de déchets verts.

	Compostage en bac fermé (brassé ou non)	Compostage en tas (brassé ou non)	
Type de déchets organiques	Mix déchets de cuisine et déchets verts	Mix déchets de cuisine et déchets verts	Déchets de jardin
Emissions de gaz à effet de serre vers l'air en mg/kg de déchets bruts (hors CO₂ biogénique)			

Lors du processus de compostage	CH ₄	16	68,5 (61-76)	50
	N ₂ O*	18	84	54
Lors de la phase d'épandage	N ₂ O	15	13,5 (6-21)	18
Emissions en kg eq CO₂ /kg de déchets bruts				
Facteur d'émissions (FE)		9,2E-03	2,8E-02	2,0E-2

* Les expériences n'ayant pas permis de détecter d'émissions de N₂O, les auteurs ont adopté une approche conservatrice et pris en compte des émissions considérées égales au seuil de détection.

Quid des émissions évitées

Les émissions évitées découlent de la valorisation possible du compost en amendement organique (un évitement de fertilisants et de pesticides est considéré dans cette étude) ou en support de culture (un évitement de tourbe est considéré dans cette étude) et à la prise en compte d'un stockage stable (pour une longue période) d'une partie du carbone contenu dans le compost suite à son apport au sol.

Comme précédemment indiqué, **l'existence de ces émissions évitées est toutefois conditionnée par l'utilisation effective du compost par les ménages**, ce qui ne semble pas toujours être le cas (le taux d'utilisation du compost par les ménages est à ce jour difficile à établir).

Le tableau ci-dessous présente les valeurs d'émissions évitées, exprimées en kg eqCO₂/kg de déchets bruts, telles que publiées dans le rapport d'étude⁸⁶⁶ APESA, OLENTICA, BIO Intelligence Service.

Emissions évitées selon le type de valorisation du compost	Compostage en bac fermé	Compostage en tas	
En kg eqCO ₂ /kg de déchets bruts	Mix déchets de cuisine et déchets verts	Mix déchets de cuisine et déchets verts	Déchets de jardin
Amendement organique (substitution fertilisants + pesticides)	-9,5E-2 (brassé) -7,7E-2 (non brassé)	-1,05E-1 (brassé) -4,1E-2 (non brassé)	-9,6E-2
Support de culture (substitution tourbe)	-2,2E-2 (brassé) -1,9E-1 (non brassé)	-2,31E-1 (brassé) -9,2E-2 (non brassé)	-2,25E-1

Selon les auteurs, les bénéfices plus élevés de la valorisation comme support de culture tiennent à l'évitement des émissions de CO₂ qui seraient générées par la dégradation de la tourbe, considérée comme d'origine fossile, suite à son épandage (une partie du carbone contenu dans la tourbe étant cependant considéré comme stocké de manière durable dans le sol).

L'autre poste le plus notable concerne les émissions évitées dues au stockage dans le sol d'une partie du carbone contenu dans le compost, celui-ci étant pris en compte quel que soit le mode de valorisation du compost.

Des informations plus détaillées par poste d'évitement ainsi que sur les hypothèses et les données considérées sont disponibles dans le rapport d'étude.

Représentativité

Représentativité technique

Deux pratiques de compostage domestique sont couvertes par les facteurs d'émissions proposés :

- En tas, avec ou sans brassage.
- En bac fermé, avec ou sans brassage.

Représentativité temporelle

Les facteurs proposés sont représentatifs de mesures et de calculs effectués sur l'année 2015.

Représentativité géographique

Le plan d'expérience a été conduit en France, dans la région de Pau. Par extrapolation, les facteurs d'émissions établis sont considérés comme représentatifs pour la France.

Sources :

[866] : [*APESA, OLENTICA, BIO Intelligence Service. 2015. Impact sanitaire et environnementaux du compostage domestique – Rapport. Partie B - 109 pages*](#)

6.3.1.6.3 Méthanisation

La méthanisation est une technologie basée sur la dégradation par des micro-organismes de la matière organique, en conditions contrôlées et en l'absence d'oxygène (en milieu anaérobie). Cette dégradation aboutit à la production :

- d'un produit humide, riche en matière organique partiellement stabilisée, appelé digestat. Celui-ci peut être utilisable brut ou après traitement (déshydratation et compostage, hygiénisation) comme compost ;

- du biogaz, mélange gazeux saturé en eau à la sortie du digesteur et composé d'un mélange de méthane et de gaz carbonique ainsi que de quelques traces d'autres gaz (NH_3 , N_2 , H_2S).

Le biogaz, en raison de son pouvoir calorifique, peut être utilisé de différentes façons : combustion pour la production d'électricité et de chaleur, production d'un carburant, ou injection dans le réseau de gaz naturel après épuration

Toutes les matières organiques sont susceptibles d'être ainsi décomposées (excepté des composés très stables comme la lignine) et de produire du biogaz, avec un potentiel méthanogène toutefois très variable. La méthanisation convient particulièrement aux substrats riches en eau, contenant de la matière organique facilement dégradable, et facilement pompables pour permettre un fonctionnement en continu.

Pour plus d'information, se reporter à la Fiche Technique « Méthanisation » de l'ADEME : <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/fiche-technique-methanisation-201502.pdf>

Description du facteur d'émissions

Composition et représentativité du gisement de déchets

Les travaux exploités pour établir le facteur d'émission proposé dans la Base Carbone® ont porté sur l'étude de déchets organiques de cuisine et de table des ménages. Ce FE peut également être utilisé comme approximation pour des déchets organiques issus des activités économiques de restauration.

Cette extrapolation n'est en revanche pas conseillée pour d'autres déchets organiques des activités économiques présentant des caractéristiques très différentes de celles des déchets de cuisine et de table (ex : composition, pouvoir méthanogène).

Périmètre

Pour le calcul des émissions générées, le périmètre pris en compte correspond :

- A la collecte des déchets de cuisine et de table entrants dans l'unité de méthanisation
- Aux infrastructures de l'unité de méthanisation (ex : cuves béton)
- Aux besoins énergétiques (électricité, gaz naturel) nécessaires au fonctionnement de l'installation et aux émissions directes de CH_4 et/ou N_2O émises lors des phases de stockage, de digestion et d'épuration du biogaz (cas de l'injection)
- Aux émissions directes de CH_4 et/ou N_2O lors de la phase de stockage des digestats
- Au transport et à l'épandage des digestats (matériel et son fonctionnement)

Les émissions directes de N_2O générées lors de l'application au sol des digestats sont comptabilisées dans le périmètre des émissions évitées, ceci étant dicté par les résultats disponibles dans l'étude à l'origine des données utilisées.

Pour le calcul des émissions évitées, les postes suivants sont pris en compte :

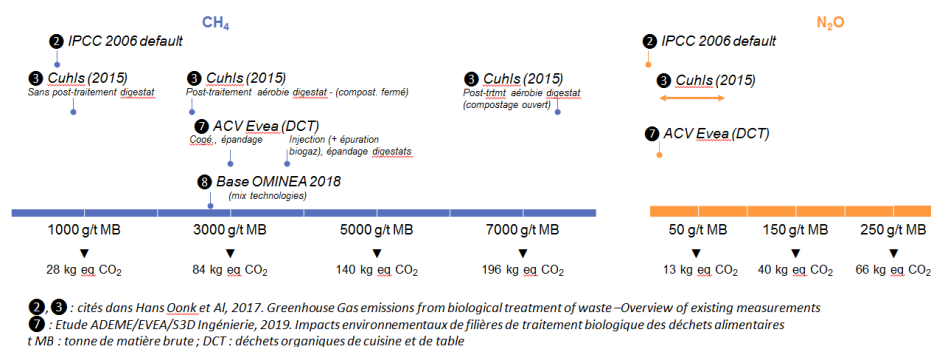
- Les émissions directes de N_2O générées lors de l'application au sol des digestats

- Evitement de la production de fertilisants
- Evitement de la production d'électricité et de chaleur (quand le biogaz est valorisé par cogénération)
- Evitement de la production et de la combustion de gaz naturel (cas des installations réinjectant le biométhane dans le réseau de gaz naturel)
-

Origine des données utilisées

Différentes sources bibliographiques portant sur la méthanisation de déchets organiques sont à ce jour disponibles. Leur analyse a montré que les méthodes et valeurs obtenues divergent significativement, notamment en lien avec :

- Le taux de fuite de biogaz au niveau du digesteur. Il s'agit d'un paramètre important qui peut notamment refléter la qualité de la maintenance et de l'entretien d'une installation, de son fonctionnement en conditions réelles dans le temps ;
- Le mode de valorisation des digestats. Certains travaux prennent en compte un épandage direct, d'autres une valorisation avec compostage de la phase solide des digestats (émissions de CH_4 et de N_2O lors de la phase de compostage).



Revue bibliographique : émissions directes de CH_4 et de N_2O lors du processus de méthanisation

Pour la Base Carbone®, le GT Déchets a fait le choix de retenir les données issues de l'étude ACV réalisée pour le compte de l'ADEME par EVEA/S3D⁸⁶⁷. Dans cette étude, les auteurs ont considéré que les déchets organiques de cuisine et de table des ménages ont un potentiel méthanogène de 63 $\text{Nm}^3 \text{CH}_4$ par tonne de matière brute.

Représentativité

Représentativité technique

L'étude à l'origine des données exploitées pour la Base Carbone® a porté sur des installations de méthanisation répondant à trois types de configurations dont les résultats ont été moyennés (moyenne arithmétique) pour obtenir les facteurs d'émissions induites et d'émissions évitées :

- Une méthanisation à la ferme, avec valorisation du biogaz in situ par cogénération (production de chaleur et d'électricité)
- Une méthanisation à la ferme, avec purification du biogaz et injection du méthane dans le réseau de gaz naturel
- Une méthanisation centralisée, avec purification du biogaz et injection du méthane dans le réseau de gaz naturel

Concernant le digestat, il est considéré une séparation de celui-ci en une phase solide et une phase liquide, puis un épandage direct de ces deux phases (pas de compostage).

Les déchets de cuisines et de table pris en compte correspondent à des déchets triés à la source et non à des DCT issus des ménages après un tri mécano-biologique.

Point d'attention sur les taux de fuites

Des « fuites » de méthane peuvent survenir en cours de digestion et également lors de l'épuration du biogaz en cas d'injection ultérieure sur le réseau.

Ces taux de « fuites » sont des paramètres très sensibles. La prise en compte d'autres valeurs, à la hausse ou à la baisse, conduirait à modifier notablement la valeur du facteur d'émission. Ces taux varient d'une installation de méthanisation à une autre en fonction des modalités de conduite de l'installation, de la qualité de sa maintenance, etc.

Dans la Base Carbone[®], les FE retenus considèrent un taux de « fuites » de 5% lors de la phase de digestion et de 2% lors de la phase d'épuration du biogaz, ces taux étant basés sur des données issues de la littérature technique et donc fonction de l'état actuel des connaissances.

Représentativité temporelle

Les données collectées et exploitées sont les plus récentes possibles à ce jour.

Représentativité géographique

Les données collectées et exploitées sont représentatives du contexte français, lorsque cela était possible.

Sources :

[867] : ADEME, EVEA *Évaluation et Accompagnement*, S3D Ingénierie, Mélissa CORNELUS, Audrey ROUSSEAU EL HABTI, *Impacts environnementaux de filières de traitement biologique des déchets alimentaires : compostages et méthanisations*, 117 pages. 2019

6.3.1.6.4 Incinération

Définition

Les FE de cette section concernent l'incinération avec valorisation énergétique des déchets putrescibles.

Description du facteur d'émissions

Composition et représentativité du gisement de déchets

Les déchets putrescibles couverts correspondent à la définition MODECOM. Ces déchets intègrent :

- Les déchets alimentaires (restes de cuisine)
- Les produits alimentaires non consommés
- Les autres putrescibles (cadavres d'animaux, excréments, croquettes et aliments pour animaux, peaux de lapins...)
- Les déchets de jardin

Périmètre

Le périmètre de calcul des facteurs d'émissions couvre :

- La collecte/transfert des déchets putrescibles
- Leur incinération, sans qu'il soit possible de préciser si tous les postes de consommation d'énergie et de réactifs, et la gestion des sous-produits (mâchefers d'incinération d'ordures ménagères – MIOM, et résidus de fumées d'incinération d'ordures ménagères -REFIOM) soient intégralement couverts sous cette étape.

Le périmètre de calcul des émissions évitées couvre la répartition des déchets faisant l'objet d'une valorisation énergétique sous forme électrique, sous forme thermique ou par cogénération ainsi que l'absence de valorisation énergétique.

Origine des données utilisées

L'impact GES de l'étape de collecte/transfert des déchets putrescibles vers les incinérateurs est issue de l'étude RECORD 2008 (Application de la méthode « Bilan Carbone® » aux activités de gestion des déchets)⁸⁶⁵.

L'impact GES de l'étape de combustion en incinérateur s'appuie également sur des données de la même étude RECORD :

- Le contenu carbone des déchets putrescibles est considéré comme intégralement d'origine biogénique : l'impact GES des émissions CO₂ de combustion des déchets putrescibles est ainsi considéré comme nul ;
- Des émissions spécifiques de N₂O ont été prises en compte, du fait de la richesse en azote des déchets putrescibles sur la base des données proposées par l'étude RECORD précitée ;
- Les émissions directes et indirectes de GES qui sont dues à la consommation d'énergie et de réactifs, et à la gestion des sous-produits sont également issues de l'étude RECORD ; cette étude exploitant elle-même une source bibliographique, il n'est pas possible de savoir précisément quels réactifs et sous-produits sont pris en compte.

Le calcul des émissions évitées des déchets putrescibles en incinération est dérivé du calcul des émissions évitées en incinération de certaines catégories d'emballages. Les émissions évitées du fait de la valorisation énergétique sont en effet considérées comme proportionnelles au PCI (Pouvoir Calorifique Inférieure) des déchets entrants en incinération.

Aucune donnée de PCI des ordures ménagères résiduelles (OMR) n'étant disponible dans le MODECOM 2017, un calcul du PCI des OMR a été conduit à partir des données suivantes :

- PCI en MJ/kg sec des déchets putrescibles, d'après le MODECOM 2007⁸⁶⁹
- Humidité en % des déchets putrescibles, d'après le MODECOM 2017⁸⁷⁰

Ce calcul aboutit à une valeur de PCI prise en considération de 6,30 MJ/kg brut (17,90 MJ/kg sec).

Les performances de valorisation énergétique dans les incinérateurs et la répartition entre les différents types de valorisation énergétique (électrique, thermique, cogénération, sans valorisation) sont issues des données ITOM⁸⁷¹ publiées en 2017. Elles sont représentatives du parc français d'incinérateurs en 2014.

Le contenu carbone de la chaleur évitée du fait de la valorisation thermique dans les unités d'incinération d'ordures ménagères (UIOM) a été établi à partir de l'enquête nationale sur les réseaux de chaleur et de froid (SNCU, 2015)⁸⁷².

Le contenu carbone de l'électricité évitée du fait de la valorisation électrique dans les UIOM est représentatif du mix de production électrique français de 2012 tel que modélisé dans la base de données ecoinvent.

Représentativité

Ces données sont considérées comme représentatives jusqu'en 2023.

Les facteurs d'impact et les émissions évitées de l'incinération des déchets putrescibles sont considérées comme représentatifs de la gestion des déchets putrescibles dans le parc français d'UIOM.

Se référer également à la section Origine des données utilisées.

Sources :

- [865] : RECORD 2008 : Record. Application de la méthode Bilan Carbone aux activités de gestion des déchets. 2008. 134 p
- [869] : MODECOM 2007 : Ademe. La composition des ordures ménagères et assimilés en France – campagne nationale de caractérisation 2007. 2010. 59 p
- [870] : MODECOM 2017
- [871] : ITOM 2017 : Ademe. Les installations de traitement des déchets ménagers et assimilés en France. Synthèse des résultats d'enquête. Données 2014. 2017. 27 p
- [872] : SNCU 2015 : SNCU, FEDENE. Enquête annuelle sur les réseaux de chaleur et de froid – Rapport 2014. 2015. 19 p

6.3.1.6.5 Stockage

Définition

Les FE de cette section concernent le stockage en installation de stockage de déchets non dangereux (ISDND) des déchets putrescibles.

Description du facteur d'émissions

Composition et représentativité du gisement de déchets

Les déchets putrescibles couverts correspondent à la définition MODECOM. Ces déchets intègrent :

- Les déchets alimentaires (restes de cuisine)
- Les produits alimentaires non consommés
- Les autres putrescibles (cadavres d'animaux, excréments, croquettes et aliments pour animaux, peaux de lapins...)
- Les déchets de jardin

Périmètre

Le périmètre de calcul des facteurs d'émissions couvre :

- La collecte/transfert des déchets putrescibles
- Leur mise en décharge qui intègre les opérations de manutention sur site (fonctionnement des engins) et la consommation d'électricité, les fuites de biogaz pour les sous-catégories de déchets concernés par la production de biogaz

Lors du calcul des émissions évitées de la mise en décharge, sont intégrés :

- La valorisation énergétique du biogaz, sous forme électrique, thermique ou par cogénération ainsi que l'absence de valorisation du biogaz (torchage) ;
- Le stockage de carbone à hauteur de la part de carbone d'origine biogénique qui est considérée comme n'étant pas dégradée à un horizon de 100 ans.

Origine des données utilisées

FE impact

Les données relatives à la collecte des déchets ainsi qu'à la consommation des engins et à la consommation électrique des centres de stockage sont issues de l'étude RECORD⁸⁶⁵ de 2008 (Application de la méthode « Bilan Carbone® » aux activités de gestion des déchets). L'impact lié à l'ensemble de ces postes contribue de manière secondaire (moins de 5 %) au FE global de la mise en décharge des déchets putrescibles.

Les impacts induits du fait de la nature du déchet stocké correspondent aux émissions de méthane à l'atmosphère du fait des fuites de biogaz. Cette quantification a été conduite en considérant que :

- Le contenu carbone biodégradable des déchets putrescibles correspond au COT mesuré pour cette catégorie dans le cadre du MODECOM 2017⁸⁷⁰. Une correction pour passer du COT en % sur sec à un COT en % sur brut a été faite en exploitant les valeurs d'humidité de chacune de ces catégories qui ont été quantifiées dans le cadre du MODECOM 2017.
- Le taux de méthanisation du carbone biodégradable des déchets putrescibles correspond à celui des déchets alimentaires de l'étude RECORD 2008, soit 38%.
- Le taux de fuites de biogaz dans les décharges et le taux d'oxydation du méthane sont également issus de l'étude RECORD de 2008. Ces valeurs ne sont pas spécifiques à la catégorie de déchets. Le taux de fuite considéré est de 30 % et le taux d'oxydation du méthane de 10 %.

FE émissions évitées

Le FE émissions évitées comporte deux composantes :

- Les émissions évitées du fait de la valorisation énergétique du biogaz.
- Les émissions évitées qui correspondent à la part de carbone organique non dégradée à 100 ans.

La quantification des émissions évitées du fait de la valorisation énergétique exploite les grandeurs suivantes :

- La quantité de méthane considérée comme captée : la quantification de cette valeur se fonde, comme pour le FE impacts, sur le contenu carbone biodégradable et le taux de méthanisation des déchets putrescibles et le taux de fuites de biogaz considéré pour les décharges.
- Le PCI du méthane.
- Une valeur d'efficacité de conversion énergétique dans le cas de la valorisation du biogaz sous forme électrique, thermique et par cogénération. Les efficacités utilisées sont issues de l'étude RECORD de 2008.
- Le facteur d'émission de l'électricité (évitée du fait de la valorisation) et le facteur d'émissions de la chaleur (évitée du fait de la valorisation). Le premier est issu de la Base Carbone® et correspond au mix moyen consommation de 2020 ; le second a été quantifié à

partir des données de l'enquête nationale sur les réseaux de chaleurs et de froid (SNCU, 2019)⁸⁷²..

La proportion des ISDND avec valorisation électrique, avec valorisation thermique, avec cogénération ou sans valorisation est issue des données ITOM⁸⁷¹, publiées en 2017.

La quantification des émissions évitées du fait de la quantité de carbone considérée comme non dégradée à 100 ans est conduite en exploitant le taux de dégradation des déchets alimentaires de l'étude RECORD de 2008, soit 76 %.

Représentativité

Ces données sont considérées comme représentatives jusqu'en 2023.

Les facteurs d'impact et les émissions évitées du stockage des déchets putrescibles sont considérées comme représentatifs de la gestion des déchets putrescibles dans le parc français d'ISDND.

Se référer également à la section Origine des données utilisées.

Sources :

- [865] : RECORD 2008 : Record. Application de la méthode Bilan Carbone aux activités de gestion des déchets. 2008. 134 p
 [870] : MODECOM 2017
 [871] : ITOM 2017 : Ademe. Les installations de traitement des déchets ménagers et assimilés en France. Synthèse des résultats d'enquête. Données 2014. 2017. 27 p
 [872] : SNCU 2015 : SNCU, FEDENE. Enquête annuelle sur les réseaux de chaleur et de froid – Rapport 2014. 2015. 19 p

6.3.1.7 Ordures ménagères

Définition

Les FE proposés pour les ordures ménagères couvrent les « déchets des ménages et assimilés collectés en mélange⁸⁷³ » (poubelle ordinaire ou « grise »).

Compte tenu des modes de traitement actuels des ordures ménagères et à partir des différentes sources bibliographiques, des facteurs d'émissions sont proposés pour les modes de gestion suivants :

- Incinération avec valorisation énergétique
- Stockage
- Fin de vie moyenne : celle-ci consistant dans une combinaison entre incinération avec valorisation énergétique et stockage au prorata des quantités concernées.

Description du facteur d'émissions

Composition et représentativité du gisement de déchets

Les facteurs d'émission concernent la gestion des ordures ménagères résiduelles (OMR) collectées par le SPPGDD (Service Public de Prévention et de Gestion des Déchets). Les OMR produites par les ménages (80,41 %) et les OMR produites par les activités économiques (19,59 %) sont prises en compte.

Le tableau ci-dessous présente la composition (sur brut) des OMR qui est prise en compte.

Catégories	% sur brut
Déchets Putrescibles	32.5
Papiers	8.8
Cartons	6.4
Composites	2.3
Textiles	3.0
Textiles sanitaires	13.8
Plastiques	14.7
Combustibles non classés	4.6
Verre	5.4
Métaux	3.5
Incombustibles non classés	4.4
Déchets dangereux	0.6

Périmètre

Le périmètre de calcul des facteurs d'émissions couvre la collecte/transfert des OMR et leur traitement (incinération et/ou mise en décharge). Les postes relatifs au traitement sont détaillés dans le tableau ci-dessous.

Postes pris en compte	Emissions induites	Emissions évitées
Mise en décharge	> Les opérations de manutention sur site (fonctionnement des engins) et la consommation d'électricité > Les fuites de biogaz pour les sous-catégories de déchets concernés par la production de biogaz	> La valorisation énergétique du biogaz, sous forme électrique, thermique ou par cogénération ainsi que l'absence de valorisation du biogaz (torchage) > Le stockage de carbone à hauteur de la part de carbone d'origine biogénique qui est considérée comme n'étant pas dégradée à un horizon de 100 ans
Incinération	> Les consommations d'énergie et de réactifs > Les émissions directes de l'installation > La gestion des sous-produits (mâchefers d'incinération d'ordures ménagères – MIOM, et résidus de fumées d'incinération d'ordures ménagères - REFIOM)	La valorisation énergétique sous forme électrique, thermique ou par cogénération ainsi que l'absence de valorisation énergétique

Origine des données utilisées

Cas de l'incinération

La composition des OMR prise en compte est issue des données du MODECOM 2017⁸⁷⁰.

Le calcul du facteur d'émissions des OMR en incinération est dérivé du calcul du facteur d'émissions en incinération de certaines catégories d'emballages, en ajustant la part de cet impact qui est conditionné par le contenu carbone fossile des déchets incinérés.

Le contenu carbone fossile des OMR est issu des données du MODECOM 2017 et correspond au contenu carbone organique total des OMR, duquel a été retranchée la part de carbone considérée comme étant d'origine biogénique. Le contenu carbone fossile pris en compte est de 7,4 % sur les OMR en brut (11,8 % sur matière sèche).

Le calcul du facteur d'émissions évitées des OMR en incinération est lui aussi dérivé du calcul du facteur d'émissions évitées en incinération de certaines catégories d'emballages. Les émissions évitées du fait de la valorisation énergétique sont en effet considérées comme proportionnelles au PCI (Pouvoir Calorifique Inférieure) des déchets entrants en incinération.

Aucune donnée de PCI des OMR n'étant disponible dans le MODECOM 2017, un calcul du PCI des OMR a été conduit à partir des données suivantes :

- Composition des OMR, d'après le MODECOM 2017
- PCI en MJ/kg sec de chaque catégorie des OMR, d'après le MODECOM 2007⁸⁶⁹
- Humidité en % de chaque catégorie des OMR, d'après le MODECOM 2017

Ce calcul aboutit à une valeur de PCI prise en considération de 10,60 MJ/kg brut (18,13 MJ/kg sec). Cette valeur est un peu plus élevée que la valeur quantifiée dans le cadre du MODECOM 2007 qui était de 9,284 MJ/kg brut (16,123 MJ/kg sec). Cette évolution s'explique par la baisse de la proportion des déchets putrescibles au profit des textiles sanitaires et des plastiques entre 2007 et 2017.

Les performances de valorisation énergétique dans les incinérateurs et la répartition entre les différents types de valorisation énergétique (électrique, thermique, cogénération, sans valorisation) sont issues des données ITOM⁸⁷¹ publiées en 2017. Elles sont représentatives du parc français d'incinérateurs en 2014.

Le profil de la chaleur évitée du fait de la valorisation thermique dans les unités d'incinération d'ordures ménagères (UIOM) a été établi à partir de l'enquête nationale sur les réseaux de chaleurs et de froid (SNCU, 2015)⁸⁷².

Le contenu carbone de l'électricité évitée du fait de la valorisation électrique dans les UIOM est représentatif du mix de production électrique français de 2012 tel que modélisé dans la base de données ecoinvent.

Cas de la mise en décharge

La composition des OMR prise en compte est issue des données du MODECOM 2017⁸⁷⁰.

Pour toutes les catégories de déchets du MODECOM, la composante du facteur d'émissions induites correspondant aux postes de collecte des déchets ainsi qu'à la consommation des engins et à la consommation électrique des centres de stockage est issue de l'étude RECORD⁸⁶⁵ de 2008 (Application de la méthode « Bilan Carbone® » aux activités de gestion des déchets). L'impact lié à l'ensemble de ces postes contribue de manière secondaire (environ 10 %) au FE global de la mise en décharge des OMR.

Les impacts induits et les émissions évitées qui sont liés à la nature même du déchet stocké ont été pris en compte pour les déchets putrescibles, les papiers, les cartons et les textiles sanitaires.

Pour ces quatre catégories de matériaux, il a en effet été considéré que le Carbone Organique Total (COT) correspond à un Carbone Organique Biodégradable (COB). Ceci est en accord avec les règles retenues par le MODECOM afin d'estimer la part de carbone d'origine biogénique dans les OMR.

Pour les autres catégories de déchets descriptives des OMR, aucun impact induit et aucune émission évitée spécifique à la nature du déchet ne sont prises en compte. Les seuls impacts de ces catégories correspondent ainsi aux impacts de collecte et aux impacts associés à la consommation énergétique et électrique des engins et du site.

Les impacts induits du fait de la nature du déchet stocké correspondent aux émissions de méthane à l'atmosphère du fait des fuites de biogaz. Cette quantification a été conduite en considérant que :

- Le contenu carbone biodégradable de chacune des catégories de déchets prise en compte correspond au COT mesuré pour cette catégorie dans le cadre du MODECOM 2017⁸⁷⁰. Une correction pour passer du COT en % sur sec à un COT en % sur brut a été faite en exploitant les valeurs d'humidité de chacune de ces catégories qui ont été quantifiées dans le cadre du MODECOM 2017.
- Le taux de méthanisation du carbone biodégradable des déchets putrescibles, du papier, du carton est basé sur les données de RECORD 2008 qui sont respectivement considérées pour les déchets alimentaires (taux de méthanisation de 38 %), les papiers (24 %), les cartons (22 %). En l'absence de données spécifiques pour les textiles sanitaires, le taux de méthanisation a été assimilé à celui des papiers, soit 24 %.
- Le taux de fuites de biogaz dans les décharges et le taux d'oxydation du méthane sont également issus de l'étude RECORD de 2008. Ces valeurs ne sont pas spécifiques à la catégorie de déchets. Le taux de fuite considéré est de 30 % et le taux d'oxydation du méthane de 10 %.

Le FE émissions évitées comporte deux composantes :

- Les émissions évitées du fait de la valorisation énergétique du biogaz.
- Les émissions évitées qui correspondent à la part de carbone organique non dégradée à 100 ans.

La quantification des émissions évitées du fait de la valorisation énergétique exploite les grandeurs suivantes :

- La quantité de méthane considérée comme captée : la quantification de cette valeur se fonde, comme pour le FE impacts, sur le contenu carbone biodégradable et le taux de méthanisation des déchets putrescibles et le taux de fuites de biogaz considéré pour les décharges.
- Le PCI du méthane.
- Une valeur d'efficacité de conversion énergétique dans le cas de la valorisation du biogaz sous forme électrique, thermique et par cogénération. Les efficacités utilisées sont issues de l'étude RECORD de 2008.
- Le facteur d'émission de l'électricité (évitée du fait de la valorisation) et le facteur d'émissions de la chaleur (évitée du fait de la valorisation). Le premier est issu de la Base Carbone® et correspond au mix moyen consommation de 2020 ; le second a été quantifié à partir des données de l'enquête nationale sur les réseaux de chaleurs et de froid (SNCU, 2019)⁸⁷⁴.

La proportion des installations de stockage de déchets non dangereux (ISDND) avec valorisation électrique, avec valorisation thermique, avec cogénération ou sans valorisation est issue des données ITOM⁸⁷¹ publiées en 2017.

La quantification des émissions évitées du fait de la quantité de carbone considérée comme non dégradée à 100 ans pour les déchets putrescibles, pour le papier, pour le carton et pour les textiles sanitaires est conduite en exploitant les données de l'étude RECORD de 2008 qui sont respectivement considérées pour les déchets alimentaires (taux de dégradation de 76 %), les

papiers (48 %), les cartons (44 %). En l'absence de données spécifiques pour les textiles sanitaires, leur taux de dégradation a été assimilé à celui des papiers, soit 48 %.

Représentativité

Ces données sont considérées comme représentatives jusqu'en 2023.

Les facteurs d'impact et les émissions évitées de l'incinération des OMR sont considérées comme représentatives de la gestion des OMR dans le parc français d'UIOM.

Les facteurs d'impact et les émissions évitées du stockage des OMR sont considérées comme représentatives de la gestion des OMR dans le parc français d'ISDND.

Se référer également à la section Origine des données utilisées.

Sources :

[865] : RECORD 2008 : Record. Application de la méthode Bilan Carbone aux activités de gestion des déchets. 2008. 134 p

[869] : MODECOM 2007 : Ademe. La composition des ordures ménagères et assimilés en France – campagne nationale de caractérisation 2007. 2010. 59 p

[870] : MODECOM 2017

[871] : ITOM 2017 : Ademe. Les installations de traitement des déchets ménagers et assimilés en France. Synthèse des résultats d'enquête. Données 2014. 2017. 27 p

[872] : SNCU 2015 : SNCU, FEDENE. Enquête annuelle sur les réseaux de chaleur et de froid – Rapport 2014. 2015. 19 p

[873] : Arrêté du 15 février 2016 relatif aux Installations de Stockage de Déchets Non Dangereux

[874] : SNCU 2019 : SNCU, FEDENE. Réseaux de chaleur et de froid – Chiffres clés, analyses et évolution. Résultats de l'enquête annuelle – édition 2019. 2019. 73 p

6.3.2 Déchets des activités économiques

Définitions

Les FE proposés ici sont valables pour les déchets tels que définis par le Code de l'Environnement [848](#) comme : « Tout déchet, dangereux ou non dangereux, dont le producteur initial n'est pas un ménage. »

Description des données

Faute de données disponibles, de nombreux flux de déchets d'activités économiques n'ont pu être modélisés au travers de FE dédiés. Cependant, pour certains de ces déchets, il est possible d'utiliser comme approximation les FE de déchets ménagers et assimilés de nature approchante.

C'est par exemple le cas des déchets suivants :

- Déchets d'Équipements Electriques et Electroniques (DEEE) « professionnels » : FE DEEE ménagers, selon le type d'équipements considérés et la présence de substances dangereuses / gaz réfrigérants
- déchets municipaux issus de la collecte en propreté urbaine : FE Ordures ménagères

De la même manière, les déchets correspondants aux 5 flux listés dans le cadre de l'obligation de tri instaurée par le Décret n° 2016-288, peuvent être modélisés avec les facteurs d'émissions suivants :

- Papiers - cartons : FE « Fin de vie moyenne filière » pour le carton d'emballages ménagers
- Métaux : FE « Fin de vie moyenne filière » pour les métaux de déchets du bâtiment, selon le type de métal considéré
- Plastiques : FE sur les déchets plastiques
- Verre : FE « Fin de vie moyenne filière » pour les déchets inertes en mélange du bâtiment dans le cas de verre plat ou de contenants en borosilicate, ou FE « « Fin de vie moyenne filière » pour les déchets de verre d'emballages ménagers dans le cas de verre sodocalcique
- Bois : selon la nature du bois considéré et son mode de gestion, FE « Fin de vie moyenne » pour les Déchets d'Éléments d'Ameublement (DEA) Bois issus des ménages

Sources :

[848] : Art. R541-8 du Code l'Environnement.

6.3.2.1 Déchets bâtiment

Le Syndicat des Entreprises de Déconstruction, Dépollution et Recyclage (SEDDRe) a mené, avec le bureau d'études Crowe – Sustainable Metrics, une étude visant à mieux connaître la composition des déchets du bâtiment à l'échelle de la France métropolitaine et à définir des valeurs moyennes d'émissions de gaz à effet de serre liées à la fin de vie de ces déchets⁸⁶⁰.

Déchets du bâtiment (SEDDRe – Crowe Sustainable Metrics 2018)

Filières étudiées	Production de déchets issus de démolition
Béton	70%
Déchets inertes en mélange (Gravats)	10%
Déchets en mélange (Benne DIB)	9%
Métaux	3%
Bois de classe B (Bois de construction)	4%
Plâtre	1%
Autres déchets - exclus du champ de l'étude	3%

Description du facteurs d'émissions

Composition et représentativité du gisement de déchets

La composition des déchets collectés en pied de chantier de déconstruction est issue de l'enquête démolition réalisée auprès d'entreprises de déconstruction (22 chantiers), complétée de données statistiques consolidées. Il s'agit de données moyennes, les proportions varient en fonction du type de bâtiment (industriel, tertiaire, résidentiel) et de la nature du chantier. A noter que les flux de déchet modélisés ne correspondent pas à des flux mono-matériaux purs : leur dénomination reflète le type de matériau principal, qui est généralement présent en mélange avec d'autres matériaux minoritaires en masse.

Ces matériaux minoritaires font l'objet d'opérations de gestion en fin de vie (tri, élimination ou valorisation) qui sont comptabilisées et attribuées au flux dans lequel ils sont collectés. De la même manière, les émissions évitées par la valorisation de ces matériaux minoritaires sont également comptabilisées et attribuées au flux de déchets dans lequel ils sont collectés. Dans certains cas, ces matériaux minoritaires en masse peuvent représenter une source significative d'impacts et/ou d'émissions évitées à l'échelle du flux de déchets.

Périmètre

L'analyse réalisée a permis de calculer trois types de **facteurs d'émissions** :

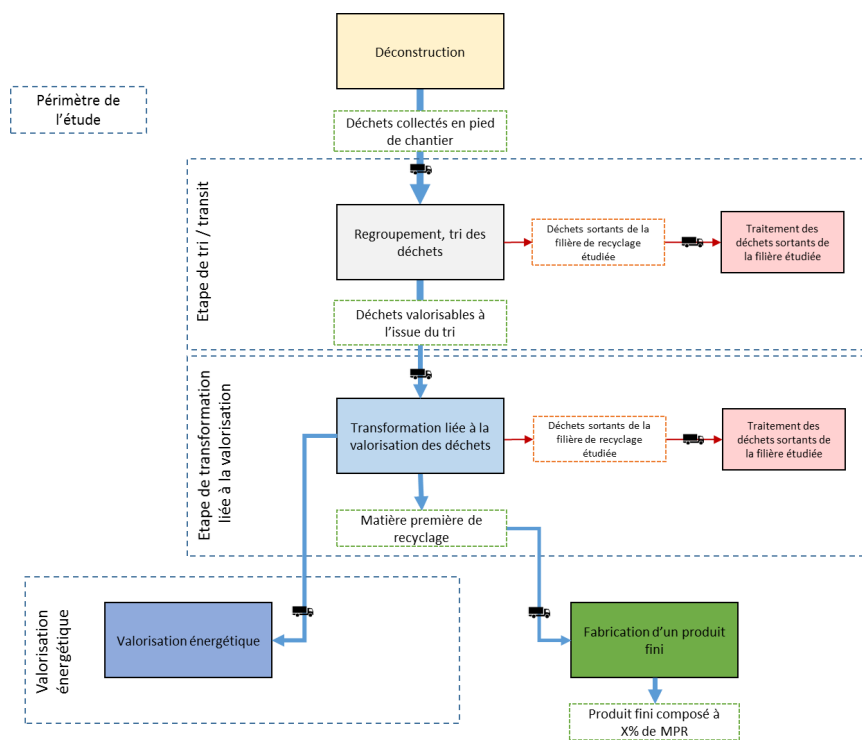
- Facteurs d'émissions liées à la fin de vie des déchets envoyés vers des filières de valorisation (étape de tri/regroupement des déchets) ;
- Facteurs d'émissions relatifs à la production de matières premières de recyclage (étape de transformation liée à la valorisation des déchets) ;
- Facteurs d'émissions relatifs à la production évitée grâce à la valorisation.

Ne sont aujourd'hui intégrés dans la Base Carbone® que les facteurs d'émissions liées à la fin de vie des déchets et les facteurs d'émissions relatifs aux émissions évitées grâce à la valorisation.

Deux **unités fonctionnelles** ont été définies, selon que :

- D'une part, on considère les facteurs d'émissions relatifs à la fin de vie des déchets de chantier envoyés vers des filières de valorisation : « une tonne de déchets collectés en pied de chantier et envoyés vers une filière de valorisation dans le but de produire des matières premières de recyclage en substitution de matériaux vierges » ;
- D'autre part, on considère les facteurs d'émissions relatifs à la production de matière première de recyclage : « une tonne matière première de recyclage ».

Le **périmètre** considéré est défini de la manière suivante :



Déchets du bâtiment : périmètre considéré **860**

Le calcul des émissions liées à la valorisation matière des déchets du bâtiment prend en compte les émissions des étapes allant de la collecte des déchets en pied de chantier jusqu'à la production de matière première de recyclage substituable à un matériau vierge. Le calcul des émissions liées à la valorisation énergétique des déchets prend en compte les émissions des étapes allant de la collecte des déchets en pied de chantier jusqu'à la production d'énergie.

Les postes exclus du périmètre sont :

- En amont : les émissions relatives à la déconstruction des bâtiments et à la préparation des déchets sur chantier (dépose des matériaux, remplissage des bennes, etc.) ;
- En aval : la fabrication du produit final (plaque de plâtre, panneau de particules, etc.) et le transport de la matière première de recyclage jusqu'à l'usine de fabrication du produit fini.
- Mais également, l'éclairage, le chauffage et le nettoyage des ateliers ; la consommation d'énergie des bâtiments administratifs ; les déplacements des employés sur site ; la fabrication et la maintenance lourde de l'outil de production et des systèmes de transport pour chaque étape ; les consommables des produits et équipements nécessaires au fonctionnement du processus.

Les principaux **résultats** de l'étude mettent en avant deux postes majeurs d'émissions (et donc leviers de réduction des émissions) des filières de valorisation des déchets de chantier :

- Les distances parcourues par les déchets jusqu'aux plateformes de valorisation ;
- Les consommations d'énergie des engins utilisés sur site.

Origine des données utilisées

L'étude menée par le SEDDRe s'appuie sur les sources suivantes :

- Enquête démolition menée en 2017 auprès des adhérents du SEDDRe, ayant permis de collecter la production de déchets par flux de 22 chantiers.
- SOeS : Enquête sur les déchets et déblais produits par l'activité BTP (2010)
- ADEME: Guide "Estimation de la production de déchets de bâtiment", OPTIGEDE
- Données d'activité collectées auprès de centres de tri et de plateformes de recyclage (pour la filière de recyclage des déchets de métaux, des facteurs d'émissions existants utilisés pour calculer les émissions relatives à la collecte et à la transformation des déchets).
- Etude FEDEREC/ADEME « Evaluation environnementale du recyclage en France selon la méthodologie de l'analyse de cycle de vie » pour les métaux

Les facteurs d'émissions intermédiaires utilisés proviennent de la Base Carbone® et la Base INIES.

Représentativité

Représentativité technique

Béton: 100% des déchets de béton triés en pied de chantier sont considérés recyclés sous forme de granulats, selon 3 circuits utilisés à parts égales (33,3%): concassage sur site, concassage sur plateforme de recyclage, transit en centre de tri et concassage sur plateforme de recyclage. Ces hypothèses ont été jugées représentatives de la filière de recyclage actuelle en France métropolitaine par le comité d'experts. Le recyclage du béton dans du béton a été exclu car encore marginal à l'échelle de la France.

Les granulats recyclés ont des caractéristiques techniques équivalentes aux granulats produits à partir de roches massives : il y a donc égalité fonctionnelle entre le granulat recyclé et le granulat issu de carrières. Pour 1 tonne de déchets de béton collectés en pied de chantier, 0,96 tonne de granulat recyclé est produite et 0,02 tonne de ferraille est envoyée en recyclage.

Bois B: La filière de valorisation des déchets de bois de construction est composée de deux circuits principaux : plateforme de recyclage avec tri sur site (60%), centre de tri/transit & plateforme de recyclage (40%). Ces hypothèses ont été jugées représentatives des pratiques actuelles en France métropolitaine par le comité d'experts filière.

Les déchets de bois envoyés en valorisation sont broyés pour produire des particules de bois : 80% des particules de bois produites à partir de déchets du bâtiment sont recyclées dans la production de panneaux de bois ; 20% sont valorisées énergétiquement pour produire de la chaleur, sachant que pour une tonne de déchets de bois de construction triés en pied de chantier, 0,80 tonne de copeaux de bois recyclés est produite afin d'entrer dans la production de panneaux de bois, 0,17 tonne de déchets est valorisée énergétiquement et 0,11 tonne de métaux sera envoyée en valorisation. L'hypothèse a été faite d'une égalité fonctionnelle entre les copeaux de bois recyclés et les copeaux de bois issus de forêt (connexes de scieries et de rondins). Les

émissions évitées (hors carbone biogénique) sont principalement liées à la production évitée de combustibles fossiles et à la valorisation des déchets métalliques extraits des déchets de bois de construction.

Plâtre: la transformation des déchets de plâtre en poudre de gypse recyclé est réalisée soit en usine de prétraitement (70%, il s'agit de plateformes de recyclage spécialisées dans la transformation du plâtre), soit en usine de fabrication de plaque de plâtre (30%, le broyage des déchets de plâtre est réalisé en amont de la chaîne de production avec un cahier des charges plus strict : les déchets en mélange avec des matériaux autres que le carton ne sont pas acceptés. Le taux de déchets non valorisés est par conséquent plus faible qu'en usine de prétraitement).

Le gypse recyclé est destiné à la fabrication de plaque de plâtre. Les apports directs de déchets de plâtre vers des sites de valorisation, la valorisation en amendement agricole et en cimenterie n'ont pas été pris en compte en raison des faibles volumes concernés. L'hypothèse d'une égalité fonctionnelle entre le gypse recyclé et le gypse issu de carrière a été retenue.

Métaux: Les FE proposés sont directement issus de l'étude FEDEREC/ADEME « Evaluation environnementale du recyclage en France selon la méthodologie de l'analyse de cycle de vie » publiée en Mai 2017. L'incertitude de 20% a été définie dans le cadre de l'étude SEDDRé.

Déchets inertes en mélange: La filière de recyclage des déchets inertes en mélange à l'échelle de la France métropolitaine est aujourd'hui peu développée. Selon les acteurs du secteur, la valorisation des déchets inertes n'est pas économiquement viable à l'heure actuelle. Par conséquent, dans le cadre de l'étude SEDDRé, il a été défini que 100% des déchets inertes en mélange transitant en centres de tri (mécanisés pour 70%, manuels pour 30%) étaient destinés au remblaiement de carrières. Les déchets inertes se substituent à du granulat extrait de ressources vierges lorsqu'ils sont utilisés en remblaiement.

Déchets non dangereux en mélange (bois B, métaux, plâtre, déchets inertes et autres déchets non dangereux) : 100% des déchets non dangereux en mélange envoyés en valorisation sont envoyés en centres de tri: centre de tri automatisé avec une chaîne de tri (35%) ou centre de tri mécanisé, avec utilisation d'une pelle (65%). A l'issue du tri, les déchets valorisables sont envoyés vers des plateformes de recyclage ou en remblaiement selon la nature des flux. La valorisation des déchets non dangereux sous forme de combustible solide de récupération (CSR) n'a pas été prise en compte dans le cadre de l'étude. La production de matière première de recyclage dépend de la composition de la benne en mélange. La présence de déchets inertes dans la benne en mélange est un paramètre fortement sensible pour les émissions générées par l'étape de transformation, comme pour les émissions évitées qui dépendent également fortement de la part des déchets de bois de classe B et des métaux.

Représentativité temporelle

Les schémas de filière ont été établis en 2017 et les données d'activité relatives aux consommations des équipements mobiles et fixes utilisés lors du traitement des déchets ont été collectées entre septembre 2017 et juillet 2018.

La validité de ces données dépend principalement de l'évolution des performances énergétiques des équipements (pelles et chargeuses hybrides par exemple) et du développement des filières sur le territoire (réduction des distances parcourues par les déchets). Dans le cadre de l'étude, la validité des facteurs d'émissions a été fixée à 5 ans (2019 – 2024).

Représentativité géographique

L'utilisation des facteurs d'émissions calculés dans le cadre de l'étude est pertinente à l'échelle de la France métropolitaine.

Sources :

[860] SEDDRé – Crowe Sustainable Metrics 2018 - émissions de GES de la valorisation des déchets de chantier

6.3.2.2 Déchets plastiques

Les données proposées ici correspondent toutes à des **données valides spécifiques** portant sur le recyclage des déchets plastiques produits par les activités économiques.

Dans la réalité, d'autres destinations de traitement que le recyclage concernent les déchets plastiques des activités économiques : l'incinération avec valorisation énergétique, la valorisation sous forme de combustibles solides de récupération (CSR), la mise en décharge, l'incinération déchets dangereux pour les plastiques qui contiennent des retardateurs de flamme bromés (RFB)... ; ces activités de valorisation ou de traitement peuvent avoir lieu en France mais également dans d'autres pays européens ou non.

Aucune donnée relative au traitement des déchets plastiques des activités économiques n'est à ce jour disponible, nous utiliserons par défaut – hors cas des données valides spécifiques ci-dessous pour la filière recyclage – les FE des déchets ménagers et assimilés.

Description du facteur d'émissions

Les FE recyclage des plastiques correspondent tous à des données **valides spécifiques** : ils sont représentatifs du recyclage des déchets plastiques en France par les adhérents du SRP, sachant que :

- Les déchets plastiques régénérés par les adhérents du SRP peuvent intégrer d'autres types de déchets que les déchets des activités économiques ainsi que des déchets plastiques produits dans d'autres pays que la France.
- Les déchets plastiques des activités économiques produits en France qui font l'objet d'un recyclage peuvent être régénérés en France mais également dans d'autres pays européens ou non, de la même manière que certains opérateurs qui régénèrent des déchets plastiques en France ne sont pas adhérents du SRP.

Ces FE **valides spécifiques** se distinguent donc de données **valides génériques** qui auraient eu, quant à elles, vocation à représenter le recyclage des déchets plastiques des activités économiques produits en France, que ce recyclage ait lieu en France ou non.

Dans certains cas, une distinction est proposée entre du « **recyclage paillettes** » et du « **recyclage granulés** » ; ceci est le cas pour les emballages rigides PET et les emballages rigides PE (PEHD). Le format « paillettes » ou « granulés » des plastiques recyclés dépend des applications ultérieures : par exemple, dans le cas du rPET le format granulés est impératif pour une réintégration du rPET dans les bouteilles (en plus de la qualité contact alimentaire) ; en revanche, le format paillettes est suffisant pour des applications de type fibres textiles.

Composition et représentativité du gisement de déchets

Les FE mis à disposition couvrent différents types de plastiques, provenant chacun des secteurs décrits ci-dessous :

- Déchets PVC : déchets issus des industries de fabrication de produits de construction et des chantiers du bâtiment (déconstruction, rénovation et neuf).
- Déchets PP : déchets issus principalement des industries du secteur automobile et de l'emballage et des emballages ménagers et des Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques (DEEE)
- Déchets PEBD agricole : déchets de films agricoles. Ces déchets plastiques sont fortement souillés avec de la terre et présentent un taux d'humidité élevé.
- Déchets PEBD : déchets issus des emballages ménagers et du commerce.
- Déchets PEHD : déchets d'emballages ménagers principalement et de déchets issus des industries du secteur de l'emballage.
- Déchets PET : déchets d'emballages ménagers quasi-exclusivement (bouteilles flacons et barquettes).
- Déchets PS : déchets issus des DEEE.

Périmètre

FE recyclage - impact : ces FE relatifs prennent en compte les étapes de collecte et tri initial (données issues des informations fournies par les sites et de la contribution d'Eco-Emballages dans le cas des déchets d'emballages ménagers) et de régénération (données moyennes pondérées des sites des régénérateurs).

Sont inclus dans le système :

- Etape 1 : les consommations et émissions liées à la collecte, au transport, au tri, avec une règle d'affectation massique au prorata des masses de matières triées (papier, plastiques, ...)
- Etape 2 : les consommations et émissions liées à la régénération proprement dite, comprenant le transport d'approvisionnement des matières premières, les déchets de la régénération (déchets éliminés en décharge, par incinération, régénérés ailleurs), la production des emballages approvisionnés pour les matières premières de recyclage (MPR), les consommations des procédés de régénération (énergies, consommables), les

émissions des procédés dans l'air et dans l'eau et une évaluation des infrastructures sur la base d'un modèle-type d'atelier (bâtiments en acier, aires de stockage en routes).

FE recyclage - émissions évitées : les émissions évitées calculées consolident :

- Les émissions correspondant à la production de résine vierge considérée comme évitée du fait de la production de la matière première de recyclage (MPR) ; un taux de substitution de 1 pour 1 entre résine vierge et plastique recyclé a été pris en compte dans ces calculs.
- Les émissions correspondant à la production de métaux primaires considérés comme évités du fait de l'envoi dans une autre filière de recyclage de déchets métalliques extraits lors des premières étapes (tri) de la régénération des déchets plastiques ; un taux de substitution de 0,6 pour 1 a été considéré entre les métaux primaires et les déchets métalliques extraits.
- Les émissions correspondant à la production d'énergie (chaleur/électricité) considérée comme évitée du fait de la valorisation énergétique des déchets.

Origine des données utilisées

Les FE valides spécifiques (car représentatifs des procédés mis en œuvre par les opérateurs adhérents du SRP) relatifs au recyclage des déchets plastiques sont dérivés des travaux du SRP portant sur les ICV (Ecoprofiles) des MPR⁸⁸⁰. Ces travaux aboutissent à des résultats d'impact environnementaux exprimés par kg de MPR produite, c'est-à-dire par kg de plastique recyclé sortant de régénération. Des adaptations ont été réalisées afin d'alimenter la partie déchets de la Base Carbone® et de fournir des résultats d'impact GES exprimés par kg de déchets plastique entrant en régénération.

Représentativité

Représentativité technique

Les FE valides spécifiques au recyclage des déchets plastiques des activités économiques peuvent être exploitées si l'utilisateur a la garantie que les déchets d'emballages plastiques sont effectivement régénérés par les opérateurs fournis en commentaire de chaque FE.

Représentativité temporelle

Les différents facteurs d'émissions proposés dans cette catégorie ont tous été établis avec des données datant de 2015 et considérés comme représentatifs jusqu'en 2022. Seuls les FE relatifs à la régénération des déchets PS ont été établis à partir de données datant de 2017 et considérés comme représentatifs jusqu'en 2024.

Représentativité géographique

Pour chacune des catégories de déchets plastiques, le FE impact et le FE émissions évitées proposés sont considérés comme représentatifs de la régénération de cette catégorie de déchets plastiques par les opérateurs français adhérents du SRP ayant participé aux travaux d'élaboration de l'ICV relatif à la MPR produite à l'issue de la régénération de cette catégorie de déchets plastiques.

Sources :

[880] <https://www.srprecycle.com/eco-profils-des-mpr-2024>

6.3.2.3 Déchets Dangereux

Les déchets dangereux sont constitués de « tout déchet qui présente une ou plusieurs des propriétés de dangers énumérées à l'annexe I du décret du 11/07/2011 » (Art. R541-8 du Code l'Environnement), comme « Explosif », « Comburant », « Inflammable », etc. Se référer à l'annexe du Décret pour la liste complète.

Les déchets dangereux peuvent être produits par des ménages (ex. : déchets diffus spécifiques, certains déchets d'équipements électriques et électroniques), des collectivités et des acteurs économiques. Pour ce qui concerne les déchets dangereux produits par les ménages, des facteurs d'émissions sont proposés pour certaines catégories dans la section Déchets ménagers et assimilés.

Pour ce qui concerne les déchets dangereux produits par des collectivités ou entreprises, la Base Carbone® propose des facteurs d'émissions pour :

- La stabilisation et le stockage de déchet industriel spécial (DIS) minéral solide (REFIOM et mâchefers d'incinération, laitiers, poussières, amiante...)
- L'incinération de déchets dangereux (déchets dangereux « moyens » et déchets d'activités de soins – DAS)

Bien qu'il existe une grande variété d'autres déchets dangereux issus des activités économiques et des collectivités, ceux-ci ne sont pas proposés faute de données disponibles (ex. : solvants, hydrocarbures, boues d'épuration ou boues de curage de lagunes, bains de traitement de surface, etc.). En fonction de la nature des déchets considérés et de leur mode de gestion, les utilisateurs de la Base Carbone® peuvent utiliser en première approximation les FE proposés dans ce chapitre.

6.3.2.3.1 Stabilisation et stockage des DIS minéral solides

Description du facteur d'émissions

Composition et représentativité du gisement de déchets

La liste des déchets dangereux admissibles dans les centres collectifs de stockage est fixée par arrêté ministériel (déchets ultimes issus de l'incinération de déchets ménagers ou industriels, boues de stations d'épuration industrielles, terres polluées, amiante...). Elle exclut les substances radioactives (dont le devenir est pris en charge par l'Andra), les substances explosives ou inflammables, fermentescibles, les déchets d'activités de soins, etc...

Les déchets concernés par ce traitement sont essentiellement des déchets solides ou minéraux, très peu réactifs, très peu évolutifs et très peu solubles. Ils proviennent de processus industriels ou d'installations de dépollution (par exemple les résidus de l'incinération).

Pour certains déchets, une étape de stabilisation (prétraitement par des procédés à froid à base de liants hydrauliques) est imposée par la réglementation avant tout stockage. Cela concerne les déchets les plus solubles (sels et métaux lourds). Les déchets stables en l'état (déchets ne nécessitant pas de prétraitement par stabilisation) et les déchets stabilisés sont ensuite stockés définitivement dans des casiers divisés en alvéoles hydrauliquement indépendantes.

Dans le cadre de l'étude ADEME-FNADE, 1 tonne de déchets dangereux est composée en moyenne de : 52,6% de déchets dangereux à stabiliser, 24,6% de déchets dangereux stables en l'état, 16,7% de terres polluées et 6,1% d'amiante.

Périmètre

Les phases de construction, d'exploitation, de fermeture et de post-exploitation sont prises en compte dans le périmètre. Lors de la phase d'exploitation, 3 opérations principales ont été étudiées : stabilisation des déchets à prétraiter, transport des déchets à l'intérieur du site et stockage dans les alvéoles.

La collecte et le transport des déchets vers le site de stockage ne sont pas pris en compte dans l'étude. Le cycle de vie de l'installation a été considéré sur une durée de 10 000 ans à partir de l'ouverture du site (choix arbitraire pour prendre en compte des émissions à très long terme).

Origine des données utilisées

Les données sont issues de l'étude⁸⁵⁰ réalisée par la FNADE et l'ADEME en 2001-2002 (publication en 2003). Cette étude s'est appuyée sur une collecte de données auprès des exploitants des dix principaux centres de stockage de déchets dangereux en France. D'après cette étude, le traitement d'une d'1 tonne de déchets dangereux conduit aux émissions suivantes.

	Construction du site et de la zone de stockage	Stabilisation des déchets		Transport des déchets sur le site	Stockage des déchets	Fermeture du site (10.000 ans)	Post-exploitation	TOTAL
		Matières premières	Procédés					
CO ₂ (g)	5 439	110 517	762	760	994	5 073		123 545
CH ₄ (g)	9	142	2	1	0,7	8		159

*Données d'inventaire du cycle de vie du processus « stabilisation-stockage » d'1 tonne de déchets dangereux, par étapes du cycle de vie
(ADEME - FNADE, 2003)*

En ajoutant la contribution des divers gaz à effet de serre émis, nous retiendrons un facteur d'émission moyen de 125 kg équivalent CO₂ par tonne de déchets. Les données d'inventaires obtenues auprès des sites ont été moyennées en fonction du tonnage de déchets traités par an par chacun.

Les valeurs ci-dessus étant agrégées pour tout ce qui entre sur le site de stockage, il n'est pas possible d'en extrapoler des valeurs pour un type particulier de déchets dangereux.

Représentativité

L'étude ADEME-FNADE réalisée en 2001-2002 est jugée représentative de la situation moyenne en France à cette époque. Il convient de noter que les valeurs ci-dessus peuvent varier dans un rapport de 1 à 4 selon les sites, ce qui explique que nous ayons retenu une incertitude de 50% pour ce facteur d'émission.

Sources :

[\[850\] ADEME – FNADE / 2003 / Eco-profil du stockage des déchets dangereux en sites collectifs en France.](#)

6.3.2.3.2 Incinération des déchets dangereux

Nous distinguons ici deux FE distincts :

- Le FE « Incinération Déchets dangereux » moyen
- Le FE « Incinération Déchets de soins » qui constitue une sous-catégorie des déchets dangereux.
-

FE « Déchets dangereux » moyen

Description du facteur d'émissions

Composition et représentativité du gisement de déchets

Dans la documentation de la base OMINEA, le CITEPA précise que « les Déchets Dangereux (DD) correspondent à une catégorie des déchets, d'origine industrielle ou domestique, nécessitant un traitement spécifique en raison de leur potentiel de toxicité. L'incinération de déchets dangereux est caractérisée par une grande diversité qualitative et quantitative des déchets traités, qui peuvent induire des facteurs d'émission évoluant beaucoup d'une année à l'autre. »

Périmètre

Seul un facteur portant sur les émissions induites par le traitement de ces déchets est proposé, intégrant :

- Une étape de collecte des déchets (donnée générique basée sur une gestion de proximité)
- Les émissions directes de gaz à effet de serre (CO₂, N₂O et CH₄), générées par la combustion des déchets lors de leur incinération
- Le fonctionnement de l'incinérateur (donnée générique non spécifique aux plateformes de compostage).

Faute de données existantes, il n'est pas proposé de facteur d'émission portant sur les émissions évitées (cas des incinérateurs de déchets dangereux réalisant une valorisation énergétique).

Origine des données utilisées

Ce facteur d'émission moyen à l'ensemble des déchets dangereux incinérés en France est issu des travaux du CITEPA dans le cadre de la base OMINEA, mise à jour annuellement.

Comme indiqué ci-dessus, les facteurs d'émission proposés par le CITEPA peuvent évoluer de manière significative d'une année à l'autre. Pour cette raison, le choix a été fait de calculer un FE d'émissions moyenné par type de gaz (CO₂, N₂O et CH₄) sur une période de trois ans, soit la période 2017-2019.

Facteur annuel moyen par gaz à effet de serre	CO ₂ (kg/t)	N ₂ O (g/t)	CH ₄ (g/t)
2017	916	15	14
2018	752	15	14
2019	744	15	14
Moyenne 2017-2019	804	15	14

Emissions directes de l'incinération des déchets dangereux – valeurs moyennes annuelles pour une tonne traitée sur la période 2017-2019 (source : CITEPA)

L'inventaire du CITEPA portant uniquement sur les émissions directes de l'incinération. Les émissions associées à la collecte des déchets et au fonctionnement des incinérateurs sont des valeurs génériques proposées dans une étude RECORD de 2008 et intitulée « Application de la méthode « Bilan Carbone® » aux activités de gestion des déchets » : 18 kg CO_{2e} par tonne de déchet brut pour l'étape de collecte des déchets et 18 kg CO_{2e} par tonne de déchet brut pour le fonctionnement des installations de traitement des déchets. La contribution de ces deux étapes est probablement sous-estimée dans le cas des déchets dangereux :

- Les unités d'incinérations de déchets dangereux (UIDD) sont moins nombreuses que les unités d'incinération d'ordures ménagères (UIOM) en France, ce qui suppose des transports plus importants entre les points de collecte des déchets et ces installations.

- Les UIDD traitent du déchet dangereux à des températures plus importantes que celle des UIOM et les modalités de traitement des effluents et de gestion des sous-produits peuvent être différentes (consommation énergétique et de réactifs différentes des UIOM)

Ainsi, le facteur d'émission agrégé est de 844 kg CO_{2e} par tonne de déchets dangereux incinérée.

Représentativité

Les FE établis sont représentatifs du gisement moyen de déchets dangereux orienté en incinération et du parc moyen des incinérateurs de déchets dangereux en France.

La valeur est représentative de la période 2017-2019.

Sources :

[864] : <https://www.citepa.org/fr/omineia/>

[865] : RECORD 2008 : Record. Application de la méthode Bilan Carbone aux activités de gestion des déchets. 2008. 134 p

Cas des déchets d'activité de soins

Faute de données plus récentes permettant d'établir des facteurs d'émissions induites et d'émissions évitées représentatifs de la gestion des différents types de déchets dangereux et non dangereux des activités de soins (déchets d'activités de soins à risque infectieux - DASRI, déchets de soins à risques chimiques et/ou toxiques - DRCT, déchets de soins à risques radioactifs, pièces anatomiques d'origine humaine - PAOH ou animale, déchets non dangereux, assimilables à des ordures ménagères - DAOM), le GT Déchets de la Base Carbone® a choisi de maintenir le facteur générique tel qu'établi jusqu'alors et correspondant aux valeurs d'émissions par défaut proposées dans la [documentation OMINEA du CITEPA](#) (édition de mars 2020) pour l'incinération des déchets hospitaliers. N'hésitez pas à vous y référer pour plus d'information sur les hypothèses de modélisation.

Les données du CITEPA correspondant à des émissions directes, les valeurs par défaut proposées dans une étude RECORD de 2008 et intitulée « Application de la méthode « Bilan Carbone® » aux activités de gestion des déchets » sont prises en compte pour l'étape de collecte des déchets et pour le fonctionnement de l'incinérateur : soit 18 kg CO_{2e} par tonne de déchet brut pour l'étape de collecte des déchets et 18 kg CO_{2e} par tonne de déchet brut pour le fonctionnement des installations de traitement des déchets.

Ainsi, le facteur d'émission agrégé moyen est de 943 kg CO_{2e} par tonne de déchets d'activité de soins incinérée.

6.3.3 Eaux usées

Voir le chapitre sur les émissions directes des eaux usées.

6.3.4 Contributions transverses

Définition

Les contributions transversales désignent des émissions qui sont indépendantes du processus de traitement des déchets, et qui seront prises en compte dans tous les cas de figure. Il y en a deux :

- la collecte des déchets,
- la construction du centre de traitement, les émissions associées à ses flux hors déchets (personnes, engins sur site, électricité, etc).

Collecte

Pour la collecte nous conserverons la valeur par défaut de 18 kgCO_{2e} utilisée *Facteur d'émission du compostage. - PRG AR5)* [002](#)

Ces émissions seront ajoutées au facteur d'émission lié au procédé de traitement dans tous les cas de figure.

Fonctionnement des centres de traitement

Ces émissions concernent l'électricité consommée, l'activité d'engins sur site, la production des réactifs et autres consommables, ou encore la construction des sites. Dans le cas de l'incinération, une étude réalisée pour la Fédération Nationale des Déchets [871](#) aboutit des émissions d'environ 18 kgCO_{2e} par tonne traitée. Lorsque cela concerne un centre de stockage, la valeur moyenne est de 15 kgCO_{2e} par tonne traitée.

Ces émissions seront également ajoutées à toutes les émissions calculées ci-dessous.

Sources :

[002] GIEC, AR5 - 5ème rapport (2013)

[871] « Le secteur des déchets ménagers et son rôle dans la lutte contre le changement climatique », FNADE, 2007

6.3.5 Emissions évitées

Principe

Les déchets peuvent être valorisés en fin de vie de différentes façon et conduire à des émissions évitées :

- Valorisation énergétique (électrique ou thermique) dans les incinérateurs et les centres de stockage
- Valorisation comme amendement pour le compostage (et pour la méthanisation)
- Valorisation en biogaz pour la méthanisation
- Recyclage

Ces émissions "évitées" sont à reporter à part dans les divers exercices de comptabilité carbone.

Emissions évitées liées à l'incinération

La valorisation consiste à utiliser l'énergie de combustion, soit pour faire de l'électricité, soit pour produire de la vapeur (utilisée ensuite pour du chauffage). La manière conventionnelle de prendre en compte cette valorisation est d'estimer les quantités de CO₂ que l'on aurait dû émettre pour obtenir le même service (chaleur ou électricité) avec des modes « traditionnels » (réseau électrique français, réseau de chaleur urbain « moyen ») que ce qui a été produit avec l'incinérateur.

Le tableau ci-dessous donne les kWh valorisés en moyenne par tonne de déchets incinérée lorsque l'incinérateur utilise la chaleur de combustion pour faire de l'électricité ou de la vapeur (qui sert dans le chauffage urbain). Ces valeurs sont obtenus en multipliant le PCI moyen par nature de déchet par les rendements moyens des installations françaises, qui sont de 16 % en cas de production électrique seule ; de 40 % en cas de production de vapeur seule, et respectivement de 8% et 34% en cas de cogénération.

Déchet incinéré	Energie de combustion PCI en GJ/t	Energie de combustion PCI en kWh/t	kWh électriques, valo électrique seule	kWh thermiques, valo thermique seule	kWh elec produits, cogénération	kWh thermiques produits, cogénération
Papier	15,12	4 200	655	1 690	326	1 445
Carton	16,38	4 550	709	1 830	354	1 566
Déchets alimentaires	5,51	1 531	239	616	119	527
HDPE/LDPE	43,5	12 083	1 884	4 861	939	4 158
PET	23,6	6 556	1 022	2 637	509	2 256
OM modecom 07	9,28	2 578	402	1 037	200	887
Plastique moyenne M07(sec)	35,5	9 858	1 537	3 966	766	3 392
PVC	13,3	3 694	576	1 486	287	1 271
PolyPropylène	32,6	9 056	1 412	3 643	704	3 116
PolyStyrène	29,4	8 167	1 273	3 285	635	2 810

Énergie valorisée en incinération.

Pour obtenir les émissions évitées, il suffit de multiplier les kWh valorisés par le contenu en CO₂ des kWh qui ont été évités. Ce calcul suppose implicitement que tout kWh produit par un incinérateur correspond à un kWh qui aurait été produit de toute façon et qui l'aurait été de manière « conventionnelle ».

L'hypothèse prise dans ce cadre de travail est pour l'électricité, le mix national français (79 gCO₂e/kWh) et pour la chaleur, le mix thermique européen (279 gCO₂e/kWh)

Valeurs retenues	kgCO ₂ e/t (Valorisation électrique)	kgCO ₂ e /t (Valorisation thermique)	kgCO ₂ e /t (Valorisation cogénération part Electrique/)	kgCO ₂ e /t (Valorisation cogénération part thermique)
Papier	55	469	29	403
Carton	59	510	29	436
Déchets alimentaires	18	172	11	147
HDPE/LDPE	158	1353	81	1159
PET	88	733	44	627
OM	33	290	18	246
Plastique moyen (sec)	128	1104	66	946
PVC	48	414	26	356
PP	117	1016	59	869
PS	106	917	55	785

Facteurs d'émissions évitées en valorisation énergétique pour l'incinération

Emissions évitées liées au stockage

En cas de récupération du méthane, ce dernier peut être utilisé soit pour faire de l'électricité, soit pour produire de la vapeur (utilisée ensuite pour du chauffage urbain ou éventuellement des usages industriels). La manière conventionnelle de prendre en compte cette valorisation est d'estimer les quantités de CO₂ que l'on aurait dû émettre pour obtenir le même service (chaleur ou électricité) avec des modes « traditionnels » (réseau électrique français, réseau de chaleur urbain « moyen ») que ce qui a été produit avec le méthane du CET.

Pour obtenir les kWh de vapeur et/ou d'électricité susceptibles d'être produits en fonction du type de valorisation effectuée, il faut connaître :

- les quantités de méthane captées ; elles sont obtenues en appliquant un taux de captage (70% comme valeur moyenne par défaut) aux émissions de CH₄ figurant ci-dessus, et exprimées en kgCH₄/t.
- le contenu énergétique du méthane en kWh PCI par kg de méthane (la valeur est de 13,8 kWh PCI/kg de CH₄)
- le rendement de la conversion électrique, qui est de 33% qu'il s'agisse de valorisation électrique seule ou de cogénération,
- et enfin le rendement de la conversion thermique ; peut atteindre 85%, si c'est une valorisation thermique seule, et 45% en cas de cogénération.

Avec ces paramètres nous obtenons le tableau ci-dessous.

type de déchets	émissions brutes CH ₄ (kgCO ₂ e/t)	kg CH ₄ capté par t	kWhPCI combustion	kWh électriques seul	kWh thermiques seul	kWh électriques cogénération	kWh thermiques cogénération
Carton	2933	82	1133	374	963	374	510
Papier	3040	85	1175	388	998	388	529
Déchets alimentaires	1899	53	734	242	624	242	330
OM	1258	35	486	160	413	160	219

kWh produits par la valorisation du méthane.

Pour obtenir les émissions évitées il suffit de multiplier les kWh par le contenu en CO₂ du kWh évité. A noter que localement ces rendements maximum peuvent ne pas être atteints en fonction des contraintes locales.

Emissions évitées liées au compostage

Pour le calcul qui suit, nous ferons les deux hypothèses suivantes :

- la production de compost évite l'emploi de fertilisants azotés de synthèse, ce qui permet d'éviter les émissions de production de ces engrais (les émissions de N₂O post épandage sont considérées comme invariantes),
- une fraction du CO₂ contenu dans le compost épandu sera séquestrée dans le sol, créant un puits organique.

Le premier poste est résumé dans le tableau ci-dessous, qui donne respectivement :

- les éléments nutritifs que l'on trouve dans le compost,
- leur teneur en kg par tonne de compost
- les émissions de fabrication quand il s'agit de produits de synthèse ou d'extraction minière
- le total économisé en utilisant une tonne de compost plutôt que l'équivalent en engrais de synthèse ou d'extraction minière

Éléments nutritifs	kg d'élément par tonne de compost	Emissions de fabrication en synthèse- kgCO ₂ e/kg nutriment	Total poste (kgCO ₂ e /tonne de compost)
Azote (acide nitrique)	6,2	5,28	32,6
Phosphore (P ₂ O ₅)	2	0,51	1,1
Potassium (K ₂ O)	4,5	0,37	1,8
Total			35,6

Emissions évitées du compostage.

Comme il faut 3,3 tonnes de déchets fermentescibles pour faire une tonne de compost, cela signifie que pour une tonne de déchets fermentescibles les émissions évitées seront de $35,6 \div 3,3 \approx 11$ kg equ CO₂ par tonne de déchets envoyée en compostage.

Pour la séquestration, nous prenons le chiffre fourni par l'AEA³, qui indique que 8% du CO₂ du compost sera séquestré. Ce dernier contenant en moyenne 660 kgCO₂e de CO₂ à la tonne, l'économie par tonne de déchets envoyée en compostage est donc de $660 \text{ [kgCO}_2\text{e de CO}_2\text{ par tonne de compost]} \times 8\% \div 3,33 \text{ [tonnes de déchets pour une tonne de compost]} = 16 \text{ kgCO}_2\text{e de CO}_2\text{ environ.}$

Les émissions évitées par tonne de déchets envoyée en compostage s'élèvent alors à $11 + 16 = 27 \text{ kgCO}_2\text{e.}$

Emissions évitées liées à la méthanisation

La méthanisation produit deux types de produits conduisant à des émissions évitées :

- du méthane, valorisé en chaleur ou électricité,
- du compost (une fois la fermentation terminée), valorisé comme amendement (en substitut aux émissions de production des engrais de synthèse). La production moyenne est de 510 kg par tonne de déchets entrant en méthanisation.

En France en 2004, pour 152 000 tonnes de déchets traités par méthanisation, 23.27 GWh d'énergie thermique ont été produits, et vendus représentant environ 6 490 tonnes CO₂e d'émissions évitées, soit, ramené à 1t de déchets, 44 kgCO₂e/tonne. Ceci est une valeur par défaut, et il est recommandé, si les données sont disponibles, d'adopter une approche au cas par cas en fonction de données d'activités spécifiques et de l'énergie substituée (électrique ou thermique).

Selon ITOM 2004, 77kt de compost ont été produites par les installations de méthanisation, pour 152kt de déchets entrant, soit en moyenne 510kg de compost par tonne. Cette valeur d'accorde bien avec les résultats des études citées dans le tableau ci-dessus, et sera utilisée par défaut. On suppose en outre que le compost produit est utilisé comme substitut aux engrais. Les émissions évitées sont donc de 33 kgCO₂e/tonne

Les émissions évitées sont donc de 77 kgCO₂e évitées par tonne d'ordures ménagères méthanisée.

Emissions évitées liées au recyclage

Les émissions évitées dans le cas du recyclage Dépendent de la méthode d'affectation des bénéfices retenue.

Par exemple, ci après les émissions évitées liées au recyclage de quelques matériaux lorsque la méthode des stocks est retenue :

Matériaux	Emissions de process matériaux vierges (kgCO ₂ e/T)	Emissions de process – Matériaux recyclé (kgCO ₂ e/T)	Emissions évitées liées au recyclage (kgCO ₂ e/T)
Acier et métaux ferreux	3190	1100	2090
PET	3263	202	3062

Facteurs d'émissions évitées en valorisation matière

Le principe méthodologique retenu est de n'appliquer les émissions évitées qu'à la fraction du déchet constituée de matière primaire (un acier issu à 60% de ferrailles et à 40% de minerai engendrera des émissions évitées, s'il est envoyé au recyclage, égales à 40% de la différence entre acier neuf et acier issu de recyclé). Le tableur calcule automatiquement le montant en fonction du type de matériau et du % de recyclé dans le déchet jeté.

La formule est la suivante :

$$FE_{\text{des Emissions évitées}} = FE_{\text{ev}} = FE_r - FE_{\text{ent}} = FE_r - (\%vi * FE_{vi} + \%r * FE_r) = \%v * (FE_r - FE_{vi})$$

Où :

FE_{ent} = facteur d'émission du matériau entrant

FE_{vi} = facteur d'émission du matériau 100% vierge

FE_r = facteur d'émission du procédé de recyclage = facteur d'émission de production du matériau 100% recyclé

$\%vi$ = part de matériau vierge dans le matériau entrant ($\%vi + \%r = 1$)

$\%r$ = part de matériau recyclé dans le matériau entrant ($\%vi + \%r = 1$)

Ces émissions sont données pour information dans le tableur, puisque la méthode préconise la prise en compte du recyclage dans le % de matériau issu de recyclé dans les intrants (et on ne peut pas donner deux fois le même bénéfice).

6.3.6 Répartition par filière et moyennes

Lorsque la destination d'un déchet n'est pas connue, nous appliquerons une valeur par défaut, calculée en pondérant le facteur d'émission de chaque type de traitement possible pour le déchet en question (CET, incinération, compostage, méthanisation, recyclage matière) par le % que le traitement en question représente dans l'ensemble du traitement de déchets en France.

La répartition des traitements de déchets par type de filière est actuellement la suivante (source Ademe) :

Type de déchets	enfouissement	incinération	recyclage	compostage	méthanisation
Métaux	60%	0%	40%	0%	0%
Verre	40%	0%	60%	0%	0%
Plastique	58%	32%	10%	0%	0%
Carton	12%	7%	80%	1%	0%
Papier	24%	14%	60%	2%	0%
déchets alimentaires	55%	31%	0%	12%	2%
Ordures ménagères moyenne	40%	55%	1%	3%	1%
Divers non combustible et non fermentescible	50%	0%	50%	0%	0%

Part de chaque traitement dans la fin de vie des déchets en France métropolitaine.

Par ailleurs les valorisations énergétiques équipant les diverses installations de traitement sont actuellement les suivantes (source Ademe) :

	Electrique	Thermique	Cogénération	Aucune	Total
CET	30%	4%	2%	64%	100%
Incinérateur	39%	11%	46%	4%	100%

Proportion de chaque type de valorisation pour l'enfouissement et l'incinération

En combinant les 2 tableaux précédents, ce qui revient à supposer que la répartition des valorisation énergétique (aucune, électrique, thermique ou cogénération) est identique pour tous les types de déchets, nous parvenons aux valeurs suivantes :

Type de déchet	% Enfouissement					% incinération				% recyclage	% compostage	% méthanisation
	sans captage	captage sans valo	valo elec	valo therm	cogen	sans valo	valo elec	valo therm	cogen			
Métaux	0%	60%								40%	0%	0%
Verre	0%	40%								60%	0%	0%
Plastique	0%	37%	17%	2%	1%	1%	12%	4%	15%	10%	0%	0%
Carton	0%	8%	4%	0%	0%	0%	3%	1%	3%	80%	1%	0%
Papier	0%	15%	7%	1%	0%	1%	5%	2%	6%	60%	2%	0%
Alimentaires	0%	35%	17%	2%	1%	1%	12%	3%	14%	0%	12%	2%
OM moyenne	0%	26%	12%	2%	1%	2%	21%	6%	25%	1%	3%	1%
Divers	0%	50%				0%				50%	0%	0%

Proportion de chaque filière et chaque type de valorisation pour les déchets en France métropolitaine

Avec les facteurs calculés aux § précédents, cela donne comme valeurs moyennes - pour les facteurs d'émission - ce qui est contenu dans le tableau ci-dessous.

(kgCO2e par tonne)	Valeur moy CET	Valeur moy incinération	Valeur moyenne recyclage	Valeur moyenne compostage	Valeur moyenne méthanisation	Mix français
Métaux	33	37	18	37	26	26
Verre	33	37	18	37	26	26
Plastique	33	2915	18	37	26	953
Carton	4	48	18	110	33	18
Papier	128	48	18	110	33	51
déchets alimentaires	407	48	18	110	33	253
Ordures ménagères moyenne	183	363	18	110	33	275
Divers non combustible et non fermentescible	33	37	18	37	26	26

Facteurs d'émission moyens quand la filière est connue ou inconnue

La dernière colonne est celle qui s'applique pour la fin de vie des produits générés par les entreprises françaises, ces derniers étant supposés être jetés un peu partout sur le territoire français.

Le même type de calcul s'applique aux émissions évitées, en prenant comme base 84 grammes équivalent CO2 par kWh évité pour l'électricité et 279 grammes équivalent CO2 par kWh évité pour les valorisations thermiques.

(kgCO2e par tonne)	Valeur moy CET	Valeur moy incinération	Valeur moy recyclage	Valeur moy compostage	Valeur moy méthanisation	Mix français
Métaux	0	0	-2090	0	0	-836
Verre	0	0	-422	0	0	-253
Plastique	0	-1093	-1705	0	0	-418
Carton	-22	-411	0	-26	-77	-22
Papier	-22	-378	0	-26	-77	-44
déchets alimentaires	-15	-139	0	-26	-77	-44
Ordures ménagères moyenne	-11	-191	0	-26	-77	-95
Divers non combustible et non fermentescible	0	0	0	0	0	0

Emissions évitées moyennes quand la filière est connue mais pas le type de valorisation, ou quand la filière est inconnue

La même remarque s'applique quant au traitement de fin de vie des emballages.

Part



7 Statistiques territoriales

Ce chapitre recense les données utiles à la réalisation de bilans GES territoires.

7.1 Résidentiel

Pour un Bilan GES territoire, il ne sera généralement pas possible d'accéder aux consommations directes des logements. Les informations accessibles se limiteront au mieux au nombre de logements, à leur type (appartement ou maison), à leur année de construction^{*}, et à l'énergie de chauffage utilisée (gaz, fioul, électricité).

* Ces informations sont disponibles sur le site de l'INSEE, dans la rubrique « recensement » ; cf. manuel du tableur pour le détail de l'accès aux informations utiles.

Pour pouvoir passer de ces informations à des émissions, il faut compléter cela par des consommations d'énergie moyennes par logement, que nous présentons ci-dessous.

7.1.1 Chauffage

Consommations moyennes par résidence principale pour le chauffage

Les chiffres communiqués à l'ADEME par le CEREN permettent d'aboutir aux valeurs suivantes, discriminées par type d'énergie, et par type de logement^{*} :

Energie finale utilisée et âge du logement	kWh/m ² .an - moyenne	superficie moyenne
Gaz naturel, maisons avant 1975	201	105
Gaz naturel, maisons après 1975	166	112
Gaz naturel, appts < 1975, chauff. Cent. collectif	207	66
Gaz naturel, appts > 1975, chauff. Cent. collectif	196	66
Gaz naturel, appts < 1975, chauff. Individuel	146	71
Gaz naturel, appts > 1975, chauff. Individuel	125	71
Fioul, maisons avant 1975	187	119
Fioul, maisons après 1975	171	120
Fioul, appts < 1975, chauff. Cent. collectif	195	71
Fioul, appts > 1975, chauff. Cent. collectif	174	71
Fioul, appts < 1975, chauff. Individuel	172	89
Fioul, appts > 1975, chauff. Individuel	162	88
Charbon, maisons < 1975	290	106
Charbon, maisons > 1975	235	114
Charbon, appts < 1975, chauff centr. Collectif	211	79
Charbon, appts > 1975, chauff centr. Collectif	172	79
GPL, maisons < 1975	139	114
GPL, maisons > 1975	129	116
GPL, appts < 1975	101	87
GPL, appts > 1975	80	86
Chauffage urbain, appartements < 1975	255	71
Chauffage urbain, appartements > 1975	230	70

Moyenne française de consommation d'énergie au m² par énergie fossile et par nature de logement, chauffage seul

* Le terme "logement" est utilisé dans l'ensemble de ce chapitre pour désigner les résidences principales.

En d'autres termes, une maison d'avant 1975 chauffée au fioul aura en moyenne une superficie de plancher de 106 m², et consommera en moyenne 290 kWh par m² et par an pour son chauffage.

La même source (CEREN) permet également de disposer de ces valeurs pour les logements chauffés à l'électricité :

Chauffage électrique pour les logements	kWh/m².an - moy	Superficie moyenne
Maisons avant 1975	150	96
Maisons après 1975	106	110
Appartements avant 1975	98	49
Appartements après 1975	65	53

Moyenne française de consommation d'énergie au m2 par nature de logement, chauffage électrique

Les consommations beaucoup plus faibles (2 fois inférieures, voire plus) des logements chauffés à l'électricité, par rapport au gaz ou au fioul, sont probablement la conséquence des divers facteurs ci-dessous (liste non limitative) :

- pour le gaz et le fioul¹, ce qui est compté est l'énergie achetée (donc celle qui passe le compteur), mais le rendement de l'installation de chauffage n'est de l'ordre de 60% en moyenne : le reste part dans la cheminée avec les gaz de combustion, fait l'objet de déperditions thermiques dans la tuyauterie en cave, et d'une manière générale est "perdue" autrement que par dissipation thermique dans le radiateur. De la sorte, l'énergie utile (celle qui est dissipée dans le radiateur) est inférieure de plusieurs dizaines de % à l'énergie achetée (celle qui passe le compteur),
- pour l'électricité, au contraire, l'énergie achetée (celle qui passe le compteur) se retrouve à quasiment 100% dans le radiateur,
- le chauffage électrique ne concerne que des installations individuelles (pas de chauffage collectif des immeubles avec une chaudière électrique), qui sont d'une manière générale plus économes que les chauffages collectifs (voir Tableau ci-dessus), notamment parce que le fait de payer une facture individualisée pousse aux économies, et également parce que les installations collectives sont rarement optimales sur l'ensemble de la surface chauffée (un exemple classique est le chauffage excessif d'une partie de la surface pour qu'une autre partie atteigne la température de confort),
- le chauffage électrique se concentre sur les constructions les plus récentes, qui sont aussi les plus performantes thermiquement (la RT n'est apparue qu'en 1975),
- le prix au kWh de l'électricité est nettement supérieur à celui du gaz, et donc les consommateurs sont plus attentifs à leur consommation.

Proportion de chaque énergie dans le chauffage des résidences principales (métropole uniquement)

L'exploitation de statistiques du CEREN⁹¹⁰ permet d'aboutir aux données suivantes concernant l'utilisation des diverses énergies de chauffage par les logements :

Energie	Milliers de maisons équipées	%	Milliers d'appartements équipés	%
Gaz	5 178,9	32,2%	6 396,8	52,1%
Fioul	2 971,8	18,5%	627,8	5,1%
GPL	395,3	2,5%	15,8	0,1%
Electricité	6 235,1	38,7%	4 022	32,8%
Bois	1 186,6	7,4%	54	0,4%
Chauffage urbain	67,4	0,4%	1 147	9,3%
Charbon	68,1	0,4%	12,9	0,1%
Ensemble	16 103,2	100%	12 276,5	100%

Mix énergétique français pour le chauffage des logements (au 30 juin 2015)

Cette répartition nationale peut servir pour estimer par défaut, pour un territoire donné, la proportion des logements chauffés par type d'énergie lorsque cette donnée n'est pas directement accessible.

Sources :

[\[910\] Suivi du parc et des consommations de l'année 2015, CEREN](#)

[\[911\] Indicateurs de développement durable, Jancovici pour IFEN, 2004](#)

7.1.2 Eau Chaude Sanitaire

Consommations moyennes par logement pour l'eau chaude sanitaire

La même source que celle précédemment citée (CEREN) permet d'aboutir aux valeurs suivantes pour la consommation moyenne d'énergie fossile pour l'eau chaude sanitaire (et bien évidemment pour les logements qui en utilisent), discriminées par type d'énergie, par année de construction et par type de logement :

Nature de logement et type d'énergie finale	kWh/an en moyenne
Gaz naturel, maisons avant 1975	1 668
Gaz naturel, maisons après 1975	1 944
Gaz naturel, appts < 1975	1 640
Gaz naturel, appts > 1975	1 792
Fioul, maisons avant 1975	2 672
Fioul, maisons après 1975	3 120
Fioul, appts < 1975	1 935
Fioul, appts > 1975	1 918
GPL, maisons < 1975	2 384
GPL, maisons > 1975	2 918
GPL, appts < 1975	1 642
GPL, appts > 1975	1 700
Chauffage urbain, appartements < 1975	2 379
Chauffage urbain, appartements > 1975	2 436

Moyenne française de consommation d'énergie par énergie fossile et par nature de logement, eau chaude sanitaire seule

En d'autres termes, un appartement d'après 1975 utilisant du gaz pour son eau chaude sanitaire consommera en moyenne 1.792 kWh par an pour cet usage.

Pour les logements qui utilisent de l'électricité, les consommations moyennes sont contenues dans le tableau ci-dessous :

ECS électrique pour les logements	kWh/an en moyenne
Maisons avant 1975	1 629
Maisons après 1975	1 633
Appartements avant 1975	1 110
Appartements après 1975	1 302

Moyenne française de consommation d'énergie par nature de logement, eau chaude sanitaire électrique

Proportion de chaque énergie dans l'eau chaude sanitaire des résidences principales (métropole uniquement)

L'exploitation des mêmes statistiques du CEREN⁹¹⁰ que précédemment mentionnées permet d'aboutir aux données suivantes concernant l'utilisation des diverses énergies pour l'eau chaude sanitaire des logements :

Énergie pour ECS	Milliers de maisons équipées	%	Milliers d'appartements équipés	%
Gaz	4 468,1	27,7%	5 823,8	47,4%
Fuel	1 762,7	10,9%	389,7	3,2%
GPL	442,4	2,7%	40,7	0,3%
Électricité	9 268	57,6%	5093	41,5%
Bois	94,9	0,6%	11,6	0,1%
Chauffage urbain	36,1	0,2%	912,3	7,4%
Autre	31	0,2%	5,5	0%
Ensemble	16 103,2	100%	12 276,6	100%

Mix énergétique français pour l'eau chaude sanitaire des logements (Juin 2015)

De même que ci-dessus, cette répartition nationale peut servir pour estimer la proportion par défaut des logements équipés par type d'énergie pour un territoire donné lorsqu'aucune information supplémentaire n'est disponible dans le cas concret étudié.

Sources :

[\[910\] Suivi du parc et des consommations de l'année 2015, CEREN](#)

7.2 Tertiaire

Il peut arriver qu'il difficile - voir impossible - d'accéder directement aux consommations d'énergie pour le chauffage lors de la réalisation d'un Bilan GES. C'est par exemple le cas :

- quand le bilan GES est effectué sur un très grand patrimoine qui n'appartient pas à un seul propriétaire, et donc sans centralisation d'aucune sorte des consommations effectives (c'est typiquement le cas pour l'approche « territoire » de la version « collectivités », et en pareil cas il est impensable d'aller relever les consommations immeuble par immeuble),
- quand on effectue le bilan GES d'une entité qui possède une très grande quantité de sites sans centralisation des consommations d'énergie, qui sont gérées localement,
- quand une entité occupe une portion d'immeuble avec un chauffage collectif, sans mesure individualisée de ce qui concerne uniquement l'entité en question,
- etc.

La méthode propose alors de se baser sur le nombre de m² chauffés, au besoin évalué avec les moyens du bord, la consommation de chauffage en kWh/m².an, approchée au mieux, et la nature d'énergie utilisée pour le chauffage, issue de statistiques au besoin. Les paragraphes ci-dessous proposent des valeurs par défaut pour un certain nombre de ces paramètres dans des situations bien définies.

Il n'y a pas de chauffage dans les DOM, hormis dans les « Hauts » de la Réunion, les deux modes étant l'électricité et le bois⁹²⁰.

Chauffage au fioul, moyennes nationales

Des statistiques sur les consommations moyennes par secteur d'activité sont régulièrement publiées par les services statistiques du ministère en charge de l'énergie. Nous reproduisons ci-dessous celles publiées en 2001 par l'Observatoire de l'Energie⁹²¹ (qui publie en fait une consommation totale par secteur et un parc bâti total par secteur, la division ayant été faite par nos soins).

Nature d'activité	Fioul (kWh/m ²)
Commerces	197
Bureaux	248
Enseignement	161
Santé - action sociale	292
Autres branches	259

*Consommation moyenne de fioul par m² pour le chauffage selon la nature d'activité.
(Observatoire de l'Energie, 2001)*

Chauffage au gaz naturel, moyennes nationales

Deux études du CEREN (1990 et 2003) fournissent des valeurs pour les consommations moyennes en gaz pour les activités qui utilisent cette énergie pour le chauffage ou pour l'ECS (ci-dessous).

Dépense moyenne en kWh/m ² - Gaz naturel				
Branche	Sous-Branche	Chauffage + ECS	Chauffage	ECS
Bureaux	Ensemble	184	177	7
	<1000m ²	198	191	7
	>=1000m ²	170	163	6
Enseignement	Ensemble	120	108	12
	Primaire	174	157	17
	Secondaire	96	86	9
	Supérieur - Recherche	140	127	14
Santé	Ensemble	174	134	41
	Hôpitaux publics	193	148	45
	Cliniques	152	117	35
	Restant	164	126	38
Commerces	Ensemble	152	142	10
	Grandes surfaces ^{**}			
	Petits commerces [*]	278	260	18
	Grands commerces ^{**}			
Cafés Hôtels Restaurants	Ensemble	274	220	54
	Restaurants	304	244	60
	Débites de boisson	218	175	43
	Hôtels	253	203	50

Consommation moyenne par m² de gaz naturel pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire selon la nature d'activité. CEREN 1990-2003

* La segmentation "petits commerces" correspond à des établissements de moins de 500 m²

** Les valeurs à prendre en compte pour les commerces de grande taille sont en attente des travaux conduits actuellement par PERIFEM.

Sources :

[\[920\] Selon OER et ADEME Réunion.](#)

[\[921\] Observatoire de l'Energie / édition 2001 / Tableaux des consommations d'énergie en France / page](#)

7.3 Transport de marchandises

Tonnes.km par habitant et par région

Pour la version « territoire » du Bilan Carbone, il existe des statistiques qui faciliteront grandement la mise en œuvre : les tonnes.km expédiées ou reçues par habitant, selon la région.

Tonnes.km expédiées par habitant et par région

Les statistiques du Ministère de l'Équipement (Source : MTETM/SESP, enquête TRM 2004) fournissent des millions de tonnes.km chargées et déchargées par région et par classe de PTAC (pour les PTAC à partir de 5 tonnes, les utilitaires légers ne sont pas concernés par cette enquête, mais sont à l'origine de tonnages marginaux dans l'ensemble).

A partir de ces données, il suffit de diviser par la population de la région pour aboutir aux valeurs suivantes (les données sont séparées dans deux tableaux pour de simples raisons de place) :

t.km expédiées par hab.an	Alsace	Aquitaine	Auvergne	Basse-Normandie	Bourgogne	Bretagne	Centre	Champagne-Ardenne	Corse	Franche-Comté	Haute-Normandie	Ile-de-France
de 5 t à 6 t	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
de 6,1 t à 10,9 t	12	21	35	14	17	16	10	13	7	18	11	16
de 11 t à 19 t	330	360	291	251	375	289	355	264	75	291	325	172
de 19,1 t à 21 t	0	11	62	11	32	21	4	17	0	9	10	4
21,1 à 32,6 t	200	161	242	164	161	255	201	209	199	203	119	61
tracteur routier	3 450	3 255	2 302	2 847	3 227	3 347	3 202	4 301	499	2 760	4 630	1 231

t.km expédiées par hab.an	Languedoc-Roussillon	Limousin	Lorraine	Midi-Pyrénées	Nord-Pas-de-Calais	Pays de la Loire	Picardie	Poitou-Charentes	PACA	Rhône-Alpes	Moyenne nationale
De 5 t à 6 t	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
De 6,1 t à 10,9 t	23	43	25	16	8	19	19	29	9	22	17
De 11 t à 19 t	193	324	289	285	228	324	255	454	243	308	272
De 19,1 t à 21 t	7	13	5	30	2	17	9	29	14	17	13
21,1 à 32,6 t	118	205	181	187	137	274	186	225	94	193	158
tracteur routier	2 400	2 355	3 289	2 223	2 968	3 549	3 643	3 857	2 219	2 808	2 711

t.km expédiées par la route par habitant et par an selon la région

Tonnes.km réceptionnées par habitant et par région

Les mêmes statistiques du Ministère de l'Équipement, avec la même division par la population de la région, permettent d'aboutir aux valeurs suivantes (les données sont séparées dans deux tableaux pour de simples raisons de place) :

t.km reçues par hab.an	Alsace	Aquitaine	Auvergne	Basse-Normandie	Bourgogne	Bretagne	Centre	Champagne-Ardenne	Corse	Franche-Comté	Haute-Normandie	Ile-de-France
De 5 t à 6 t	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
de 6,1 t à 10,9 t	17	15	40	9	22	14	8	14	7	18	12	16
de 11 t à 19 t	343	388	305	269	370	305	317	253	85	302	306	181
de 19,1 t à 21 t	2	16	39	8	32	24	7	6	0	9	9	7
21,1 à 32,6 t	195	184	247	162	169	237	206	194	202	233	150	70
tracteur routier	3 048	3 247	2 490	2 917	3 425	3 568	3 202	3 875	395	2 822	3 811	1 421

t.km reçues par hab.an	Languedoc-Roussillon	Limousin	Lorraine	Midi-Pyrénées	Nord-Pas-de-Calais	Pays de la Loire	Picardie	Poitou-Charentes	PACA	Rhône-Alpes	total
de 5 t à 6 t	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
de 6,1 t à 10,9 t	23	45	21	21	9	24	19	22	9	18	17
de 11 t à 19 t	255	318	271	314	184	354	262	326	248	296	272
de 19,1 t à 21 t	7	12	3	24	5	22	3	25	12	18	13
21,1 à 32,6 t	125	178	149	184	135	286	139	242	96	176	158
tracteur routier	2 066	3 093	2 989	2 461	5 751	3 553	3 274	3 428	2 269	2 747	2 711

t.km réceptionnées par la route par habitant et par an selon la région

7.4 Transport de personnes

Lors de la réalisation d'un Bilan GES « territoire », il ne sera bien évidemment jamais possible d'obtenir les distances réellement parcourues par chaque occupant du territoire. Cette approche nécessite donc de disposer de valeurs statistiques pour le nombre de km que chaque personne du territoire effectue en voiture dans l'année, en discriminant idéalement par motif (travail, loisirs, etc) ou par type de déplacement (mobilité quotidienne, qui regroupe travail, courses, école, sport et loisirs de proximité, et quelques motifs connexes, et mobilité longue distance, qui concerne plutôt les loisirs et les déplacements professionnels le cas échéant).

ces données « par défaut » seront aussi proposées pour les autres modes de transport (bus, avion, train), pour les mêmes raisons

Les données les plus fines disponibles sont malheureusement vieilles de près de 15 ans, et sont issues d'une enquête transports réalisée par l'INSEE⁹⁴⁰, dont les résultats figurent ci-dessous :

	Zones rurales ou ZPIU de moins de 50 000 hab	ZPIU de 50 000 à 300 000 hab		ZPIU de plus de 300 000 hab			ZPIU de Paris		Moyenne nationale
		Ville centre	Banlieue et périphérie	Ville centre	Banlieue	Périphérie	Paris	Banlieue et périphérie	
Nbre de déplacements quotidiens par personne	2,73	3,06	2,87	2,93	2,84	2,57	2,74	2,71	2,83
Distance moyenne par déplacement (en km)	9,70	6,96	9,23	7,06	7,73	10,14	6,16	9,19	8,61
Total	26,47	21,27	26,50	20,67	21,97	26,08	16,89	24,93	24,37
Répartition modale en %									
Marche à pied	12,37	20,59	12,73	23,41	14,29	12,71	30,64	19,41	16,57
Transports collectifs	2,80	4,86	4,29	11,83	7,26	4,13	35,11	13,90	7,74
Voiture particulière	79,94	70,90	77,31	61,21	73,14	77,33	32,09	62,94	71,03
Deux roues	4,64	3,56	5,34	3,54	5,24	5,67	2,01	3,57	4,47
Autres	0,24	0,10	0,33	0,00	0,07	0,16	0,14	0,17	0,19

Distances parcourues et répartition modale pour la mobilité quotidienne en Métropole

* ZPIU signifie zones de peuplement industriel ou urbain et permet de qualifier le tissu urbain et la taille de l'agglomération en tenant notamment compte du niveau des migrations quotidiennes. Dans le présent document, on confondra cette notion avec celle de taille d'agglomération.

** Une ville-centre d'unité urbaine multicommunale (ou d'agglomération multicommunale) est définie comme suit. Si une commune abrite plus de 50% de la population de l'unité urbaine, elle est seule ville-centre. Sinon, toutes les communes qui ont une population supérieure à 50% de la commune la plus peuplée, ainsi que cette dernière, sont villes-centres. Les communes urbaines qui ne sont pas villes-centres constituent la banlieue de l'agglomération multicommunale.

Faute de données plus récentes, nous avons utilisé celles figurant ci-dessus, sachant que la variation survenue depuis la date de l'enquête porte probablement plus sur le nombre de véhicules en circulation, leur masse et leur puissance moyennes, que sur le kilométrage annuel moyen par personne pour les déplacements quotidiens. En tout état de cause une variation supérieure à 10% semble peu probable au vu de l'évolution des statistiques routières en général.

En effet, les données des Comptes des Transports font ressortir une hausse de 18% des voyageurs.km entre 1994 et 2004, mais l'effet parc en explique l'essentiel : ce dernier a augmenté de plus de 20% sur la même période⁹⁴¹.

A partir de ce tableau, il est possible de calculer le kilométrage moyen par personne effectué en voiture au titre de la mobilité quotidienne en 1994 : un Français se déplace de 26,27 (km par jour) x 79,94% (en voiture) x 365 (jours par an) = 7.723 km en voiture par personne et par an en moyenne. Tous les autres kilométrages s'obtiendront de la même manière.

Pour en déduire les kilométrages effectués par les véhicules, il restera à diviser cette distance par le taux moyen d'occupation d'une voiture, qui est de 1,25 personne en moyenne dans le cadre des déplacements en ville⁹⁴².

Les valeurs obtenues seront affectées d'une incertitude de 10%.

Sources :

[\[940\] INSEE Enquêtes Transports 1993-1994](#)

[\[941\] Tableaux des consommations d'énergie, Observatoire de l'Energie, 2004 CCFA, 2005](#)

[\[942\] SES - Service Economie et Statistique du Ministère Equipement, Transports](#)

7.5 Industrie

Les valeurs de consommation énergétique de l'industrie sont extraites de la bdd Pégase de la DGE.

7.6 Agriculture

7.6.1 Grandes cultures

Lorsque la méthode Bilan Carbone sera appliquée à une collectivité locale, et que l'objectif sera d'estimer des émissions associées à des surfaces cultivées, il sera souvent plus facile d'obtenir un nombre d'hectares par type de culture que des poids par type de production. Nous pouvons alors utiliser des facteurs d'émission à l'hectare, basés sur des valeurs moyennes :

- d'utilisation d'engrais à l'hectare par type de culture (les engrais sont eux-mêmes différenciés entre engrais azotés et engrais potassiques), ce qui conditionne ensuite les émissions de protoxyde d'azote ainsi que les émissions liées à la fabrication de ces engrais,
- d'utilisation d'heures de machines agricoles par hectare et par type de culture, ce qui conditionne les émissions directes de CO₂ liées à l'utilisation de diesel.

7.6.1.1 Utilisation d'engrais azotés

Nous proposons ci-dessous un tableau qui donne la valeur moyenne de la fertilisation azotée à l'hectare, en fonction du type de culture et de la région, pour l'agriculture dite conventionnelle.

Zone de production	Betterave industrielle	Blé dur	Blé tendre	Colza	Maïs fourrage	Maïs grain	Orge	Pois	Pomme de terre	Prairies permanentes productives	Prairies temporaires	Tournesol	Vignes
France métropolitaine	103	172	166	162	69	150	127	1	157	46	58	39	15
Alsace	103	172	149	162	69	168	127	1	157	46	58	39	6
Aquitaine	103	172	156	162	144	189	127	1	157	46	62	69	6
Auvergne	103	172	147	162	85	158	127	1	157	46	46	39	15
Bourgogne	103	172	171	169	95	143	129	1	157	46	41	39	9
Bretagne	103	172	112	162	30	32	93	1	157	45	64	39	15
Centre	103	200	172	157	93	155	123	0	157	46	59	35	15
Champagne-Ardenne	101	172	191	169	124	149	135	2	157	46	58	39	39
Corse	103	172	166	162	69	150	127	1	157	46	58	39	15
Franche-Comté	103	172	166	165	128	147	118	1	157	46	33	39	15
Ile-de-France	118	172	184	168	69	158	119	0	157	46	58	39	15
Languedoc-Roussillon	103	156	166	162	69	150	127	1	157	46	58	39	14
Limousin	103	172	166	162	69	150	127	1	157	46	47	39	15
Lorraine	103	172	163	164	116	150	137	1	157	46	58	39	15
Midi-Pyrénées	103	184	145	162	69	188	86	1	157	46	48	41	15
Nord - Pas-de-Calais	105	172	162	162	87	150	139	1	157	88	58	39	15
Basse-Normandie	103	172	151	162	59	150	127	1	157	39	69	39	15
Haute-Normandie	103	172	164	153	84	150	132	2	157	58	58	39	15
Pays de la Loire	103	172	136	162	48	92	127	1	157	26	69	24	5
Picardie	98	172	174	154	94	131	134	0	157	73	58	39	15
Poitou-Charentes	103	172	160	160	86	169	123	1	157	46	62	38	29
PACA	103	123	166	162	69	150	127	1	157	46	58	39	9
Rhône-Alpes	103	172	140	162	111	158	127	1	157	46	43	39	15

Valeurs moyennes des unités d'azote à l'hectare cultivé en fonction du type de culture.

Source Agreste, enquêtes pratiques culturales 2006

Rappelons que les unités d'azote désignent, en kg, le poids de l'azote seul dans le total. Les agriculteurs ne comptabilisent que rarement les poids totaux d'engrais, préférant en général ne compter que le poids de l'azote seul dans ce qui est utilisé (de la sorte une éventuelle coupe de l'engrais avec un composé sans azote ne change pas les poids d'azote épandus).

A partir ces valeurs il est possible de calculer à la fois les émissions directes de N_2O , via le taux de volatilisation de l'azote (voir chapitre [émission fugitive > agriculture](#)), et les émissions de fabrication des engrais N.

Les données sont malheureusement indisponibles pour les cultures maraîchères et fruitières.

7.6.1.2 Consommation de carburant par ha

Consommation de carburant à l'hectare

Une étude de SOLAGRO sur les pratiques culturales permet de proposer les valeurs moyennes suivantes en ce qui concerne la consommation de carburant à l'hectare pour les principales cultures.

Nature de culture	Carburant Litres / ha
Céréales - oléoprotéagineux	100
Autres cultures industrielles (y compris pommes de terre et betteraves)	150
Prairies temporaires	65
Prairies naturelles productives	65
Prairies naturelles peu productives (pâturées)	5
Arboriculture / viticulture	190

Valeurs moyennes des consommations de carburant à l'hectare cultivé en fonction du type de culture.

Source Solagro

Ces mêmes informations sont présentées ci-dessous d'une manière un peu différente :

- les cultures sont différenciées comme précédemment,
- nous donnons les émissions correspondantes en appliquant le facteur d'émission du fioul domestique calculé au chapitre [combustible fossile liquide](#).

Type de culture	Litres de carburant par hectare	Emissions amont, kgCO ₂ e par ha	Combustion, kgCO ₂ e par ha
Betterave industrielle	150	40	400
Blé dur	100	29	268
Blé tendre	100	29	268
Colza	100	29	268
Maïs fourrage	100	29	268
Maïs grain	100	29	268
Orge	100	29	268
Pois	100	29	268
Pomme de terre	150	40	400
Prairies permanentes productives	65	18	172
Prairies temporaires	65	18	172
Tournesol	100	29	268
Vignes	190	55	506
Sorgho	100	29	268

Emissions à l'hectare liées à la consommation de carburant.

7.6.1.3 Fabrication d'engins agricoles

Fabrication des engins agricoles

Solagro propose les valeurs suivantes pour l'énergie de construction des machines agricoles, ramenées à l'hectare cultivé

Catégories cultures	Mécanisation MJ/ha
Céréales oléoprotéagineux	1530
Cultures industrielles	1750
Prairies temporaires	1000
Prairies naturelles productives	1000
Prairies naturelles peu productives (pâturées)	350
Arboriculture / viticulture	2300

Consommation d'énergie pour l'amortissement des machines agricoles à l'hectare cultivé.

En convertissant les MJ en kWh, puis en leur appliquant un facteur d'émission représentatif du mix énergétique primaire en Europe, soit environ 257 grammes équivalent CO₂ par kWh, on trouve les résultats suivants :

Type de culture	fabrication engins kgCO _{2e} /ha
Betterave industrielle	128
Blé dur	110
Blé tendre	110
Colza	110
Maïs fourrage	110
Maïs grain	110
Orge	110
Pois	110
Pomme de terre	128
Prairies permanentes productives	26
Prairies temporaires	26
Tournesol	110
Vignes	169
Sorgho	110

Consommation d'énergie pour l'amortissement des machines agricoles à l'hectare cultivé.

7.6.2 Serres

Consommation des serres maraîchères

Le tableau ci-dessous fournit les consommations d'énergie des serres de maraîchage (tous types de cultures sauf les fraises) issues d'une étude réalisée par CTIFL & ASTREDHOR pour l'ADEME en 2007.

Zone de production	kWh par m ² et par an	Ecart type	% gaz	% fioul lourd	% butane	% fioul	% vapeur	% charbon	% bois	% propane	Total
Bretagne	400	105	75%	14%	4%				7%		100%
Val de Loire	330	95	87%	13%							100%
Nord est	354	84	58%	27%				15%			100%
Sud ouest	277	69	71%			17%			12%		100%
BRM	240	106	70%	8%		2%	1%	2%		17%	100%
Moyenne nationale	321	127	77,3 %	13,8 %	0,4 %	1,2 %	0,5 %	2,6 %	2,6 %	1,5 %	100 %

Emissions à l'hectare liées à la consommation de carburant.

Source : CTIFL & ASTREDHOR pour l'ADEME, 2007

Avec ce tableau on obtient une consommation annuelle moyenne par m² et par énergie, et il suffit d'appliquer les facteurs d'émission par énergie pour obtenir des émissions par m² et par an.

Pour les fraises, l'estimation Solagro est de 25 kWh par m² et par an, avec le mix énergétique suivant (pour la France dans son ensemble) : 10% de gaz, 70% de fioul et 20% de propane.

Consommation des serres horticoles

Pour l'horticulture la même source propose les valeurs suivantes :

Région de culture	kWh par m ² et par an	% GN	% fioul lourd	% fioul dom	% bois	% propane	Total
Ouest	181	49%	16%	14%	6%	17%	100%
Centre	219	49%	16%	14%	6%	17%	100%
Est	121	49%	16%	14%	6%	17%	100%
Méditerranée	102	49%	16%	14%	6%	17%	100%
Moyenne nationale	160	49%	16%	14%	6%	17%	100 %

Ces valeurs permettent aussi d'obtenir simplement des émissions par m² et par an pour les serres horticoles.

7.7 Indicateurs transverses

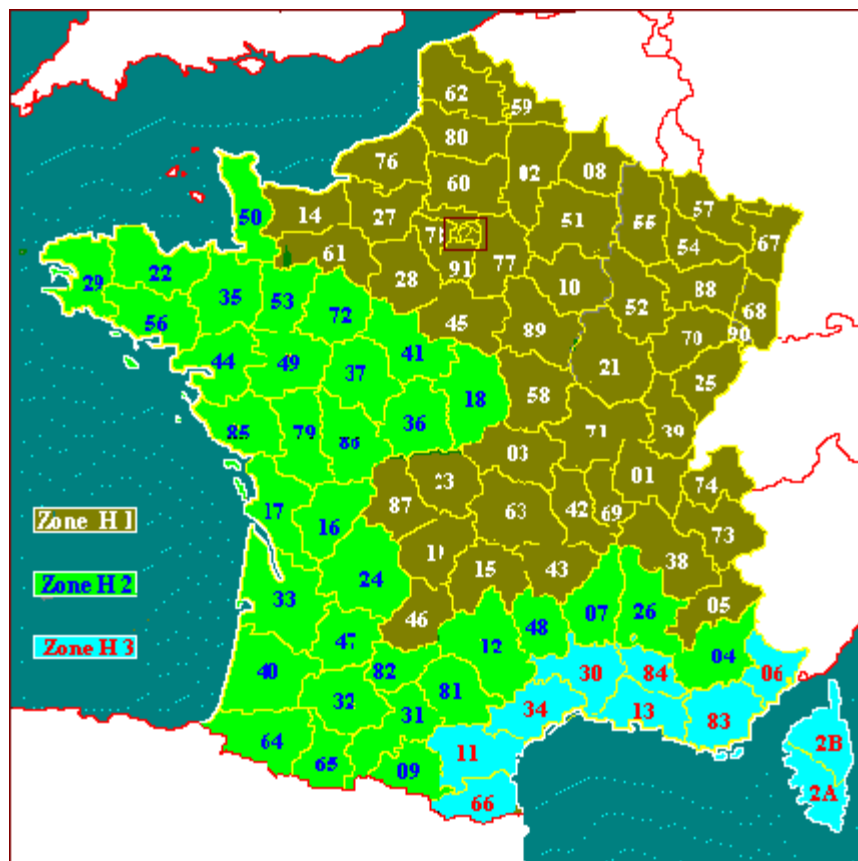
7.7.1 Corrections climatiques

Prise en compte de la localisation et de la rigueur climatique

La rigueur hivernale n'étant pas la même en tous points du territoire métropolitain, les consommations d'énergie consacrées au chauffage sont elles aussi variables selon la localisation du bâtiment concerné. Pour mieux approcher la réalité, on peut utiliser des coefficients de correction climatique, qui permettent d'obtenir des moyennes régionales à partir de la moyenne nationale de consommation d'énergie. Le principe est que le coefficient en question est le rapport des DJU pour la zone considérée aux DJU* pour l'ensemble du pays.

* DJU signifie degré jour unifié. Pour un lieu et un jour donnés, les DJU sont déterminés en faisant la différence entre une température de référence, 18°C, et la moitié de la somme de la température maximale et de la température minimale, si cette valeur est inférieure à 18 °C (il n'y a pas de DJU négatifs). Ensuite les DJU journaliers sont cumulés sur la période de chauffe, qui va du 1er octobre au 20 mai. Le total annuel moyen va de 1400 DJU pour la côte Corse à 3800 DJU dans le Jura, et se situe entre 2000 et 3000 pour la majeure partie du territoire métropolitain. .

Les coefficients de correction et les zones associées sont présentés ci-dessous :



Carte de localisation des zones climatiques

	H1	H2	H3
Coeff _{climat}	1,1	0,9	0,6

Coefficient de correction en fonction de la rigueur climatique

Si, au sein d'une zone donnée, l'altitude dépasse 800 mètres, on prendra conventionnellement le coefficient de la zone qui précède. Ainsi, un logement situé à plus de 800 m d'altitude dans une zone H2 devra être considéré comme étant en zone H1, etc. Les logements situés en zone H1 et à plus de 800 m d'altitude peuvent utiliser un coefficient H1 majoré de 20%.

Part



8 Annexes

Enter topic text here.

8.1 Lien Base Carbone et Bilan Carbone

Base Carbone ® et Bilan Carbone ®

Le Bilan Carbone ® est un outil historiquement porté par l'ADEME. Suite au rapport Havard (2009), il a été décidé que cet outil ne pouvait être porté par l'agence. Il est alors confié à une structure associative indépendante : l'[Association Bilan Carbone](#). Dans le cadre de ce transfert, l'ADEME a souhaité conserver la gestion de la base de données des facteurs d'émissions : la Base Carbone ®. Cette base a pour objectif d'alimenter en données un maximum de calculateurs carbone dont l'outil Bilan Carbone ®.

8.2 Base IMPACT

Description

La Base IMPACTS ® est la base de données génériques d'inventaire officielle pour le programme gouvernemental français d'affichage environnemental des produits de grande consommation. Elle est complémentaire aux référentiels sectoriels élaborés dans le cadre de la "plateforme ADEME-AFNOR" (<http://affichage-environnemental.afnor.org/>).

Les jeux de données d'inventaire de la Base IMPACTS ® sont directement caractérisés en indicateurs d'impact potentiel selon l'approche ACV (Analyse de Cycle de Vie), via les méthodes de caractérisation préconisées par le JRC (Joint Research Center, centre de recherche de la Commission Européenne) dans l'ILCD Handbook (<http://lct.jrc.ec.europa.eu/assessment/pdf-directory/Recommendation-of-methods-for-LCIA-def.pdf>).

Les jeux de données d'inventaire de la Base IMPACTS ® ont été soit acquis auprès de partenaires (PE International, Cycleco, Ecoinvent, Quantis), soit coproduits dans le cadre de programme spécifiques (Agri-BALYSE, ACYVIA, etc.).

Pour plus d'information, voir directement le site internet: <http://www.base-impacts.ademe.fr/>

8.3 Références

Les liens suivants correspondent à toutes les références utilisées pour le calcul des facteurs d'émissions de la Base Carbone ® :

- [001] [GIEC, AR4 - 4ème rapport \(2007\)](#)
- [002] [GIEC, AR5 - 5ème rapport \(2013\)](#)
- [003] [Rapport CRF CCNUCC 2012](#)
- [004] [Wikipédia - liste des réfrigérants](#)
- [005] [Association Bilan Carbone - Tableur Bilan Carbone](#)
- [006] [GIEC, AR6 - 6ème rapport \(2023\)](#)
- [020] Etude BiCaFF : Valade, A., Bellassen, V., Luyssaert, S., Vallet, P., & Njakou Djomo, S. (2017). Bilan carbone de la ressource forestière française - Projections du puits de carbone de la filière forêt-bois française et incertitude sur ses déterminants (p. 66). auto-saisine. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01629845>
- [021] Dhôte, J.-F., Roux, A., Schmitt, B., Bastick, C., Colin, A., Rigolot, É., Bastien, J.-C., Leban, J.-M., & Gardiner, B. (2017). Quel rôle pour les forêts et la filière forêt-bois françaises dans l'atténuation du changement climatique ?
- [101] [Arrêté du 31 octobre 2012 relatif à la vérification et à la quantification des émissions déclarées dans le cadre du système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre pour sa troisième période \(2013-2020\)](#)
- [102] [Rapport OMINEA 2011, CITEPA](#)
- [103] [Décision 2007/589/CE définissant des lignes directrices pour la surveillance et la déclaration des émissions de gaz à effet de serre, conformément à la directive 2003/87/CE du Parlement européen et du Conseil](#)
- [110] [Wikipédia - raffinage du pétrole](#)
- [111] [Guide méthodologique d'application de l'article L. 1431-3 du code des transports](#)
- [112] [Etude Well-to-wheel du JEC - Report Version 4.0 - juillet 2013](#)
- [113] [Etude IFP 2003, "Affectation des émissions de CO2 et de polluants d'une raffinerie aux produits finis pétroliers"](#)
- [114] [IFP-CFBP, EETP - European Emission Test Programme, 2004](#)
- [115] [Commission Européenne - directive européenne sur les EnR - annexe V C](#)
- [120] GDF SUEZ/DRI et Paul Scherrer Institut, 2007
- [121] [Directive 1999/100/CE de la Commission, du 15 décembre 1999](#)
- [122] [2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - chapitre 3 - MOBILE COMBUSTION](#)
- [124] GRTgaz, TIGF, STORENGY, GRDF, ELENGY - « Analyse du Cycle de Vie de la chaîne gazière » - 2018
- [125] Mise à jour de l'ACV de la chaîne gazière en France - ICare - Elengy, GRDF, GRTgaz, Storengy & Teréga - 25/11/2022
- [134] [Etude ADEME "Analyse du cycle de vie du bois énergie collectif et industriel" - Janvier 2022](#)

- [140] [Etude ADEME – BG – EPFL / « Bilan environnemental des filières végétales pour la chimie, les matériaux et l'énergie » / 2004.](#)
- [141] Etude Primagaz, étude GreenFlex / « Proposition de facteurs d'émissions de GES associés au biopropane issu d'huiles végétales hydro-traitées (HVO) à la Base Carbone® de l'ADEME » Sept 2017.
- [142] Evaluation de l'empreinte Carbone du Bio GNL via épuration cryogénique de biogaz - Mars 2016 – ENEA QUANTIS pour SUEZ
- [143] [Vargas, M. ; Maurice, E. ; Graveaud, F. ; Faure, M. \(2017\) « Evaluation des impacts GES de l'injection du biométhane dans le réseau de gaz naturel - rapport intermédiaire du 16 mai 2017](#)
- [144] *Evaluation multi-indicateurs des impacts environnementaux de l'injection du biométhane dans le réseau de gaz naturel à travers une combustion en chaudière pour produire de la chaleur » - Octobre 2023 – Réalisée par Agrosolutions et CGI Business Consulting pour le compte de GRDF - Etude disponible via le lien suivant : [Etude d'analyse du cycle de vie du biométhane injecté dans le réseau de gaz naturel français- GRDF](#)*
- [145] Analyses de Cycle de Vie appliquées aux biocarburants de première génération consommés en France - Rapport final - ADEME, MEEDDM, MAAP et France Agrimer - Février 2010
- [146] *Clark et al. " PumpTo-Wheels (PTW) methane emission from the heavy-duty (HD) transportation sector" - Environ. Sci. Technol. 2017, 51, 2, 968–976 - <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.est.5b06059>*
- [147] NESTE – ALTENS. "Proposition de facteurs d'émissions de GES associés au HVO100 (XTL) pour la Base Carbone de l'ADEME » (Juin 2022)
- [150] Circulaire n°9501 du 28 déc 2004
- [160] [Site internet : www.thermexcel.com](http://www.thermexcel.com)
- [170] [ADEME, Sphera et Ginkgo21. "Analyse du Cycle de Vie relative à la mobilité hydrogène" \(2020\)](#)
- [200] [Lignes directrices du GIEC sur les inventaires nationaux d'émissions de gaz à effet de serre, volume 4, chapitre 10 "emissions from livestock and manure management"](#)
- [201] [Lignes directrices du GIEC sur les inventaires nationaux d'émissions de gaz à effet de serre, volume 4, chapitre 11 "N2O emissions from managed soils, and CO2 emissions from limes and urea application](#)
- [210] ASTEE - ADEME / Guide méthodologique des émissions de gaz à effet de serre des services de l'eau et de l'assainissement (Guide sectoriel Mis à jour en 2018)
- [211] [Ministère australien de l'environnement / 1997 / A Quick Reference Guide, Estimating Potential Methane Production, Recovery and Use from Waste](#)
- [220] [ADEME - ARMINES, 2011 / Inventaire des émissions des fluides frigorigènes – France – Année 2010](#)
- [240] [INRA / Octobre 2002 / Stocker du carbone dans les sols agricoles de France ?](#)
- [241] [RMQS - Réseau de Mesures de la Qualité des Sols](#)
- [242] [ADEME – Outil ALDO - Estimer la séquestration de CO2 dans les sols et la biomasse](#)
- [310] [AIE - 2013 - CO2 emissions from fuel combustion - highlights](#)
- [320] [\[320\] Base de données ELCD - Consulté en mars 2015](#)

- [321] EDF, <https://www.edf.fr/groupe-edf/produire-une-energie-respectueuse-du-climat/lenergie-nucleaire/notre-vision/analyse-cycle-de-vie-du-kwh-nucleaire-dedf>
- [330] Solar resources and carbon footprint of photovoltaic power in different regions in Europe, De Wild-Scholten, SmartGreenScans, 2014
- [331] Impacts environnementaux de l'éolien français, Données 2015, ADEME, 2017
- [332] [Projet INCER - ACV. ADEME 2021. Incertitudes dans les méthodes d'évaluation des impacts environnementaux des filières de production énergétique par ACV](#)
- [333] [IPCC 2014 \(AR – Chapitre 7 Energy Systems\)](#)
- [334] [Francesco Cherubini et al 2012 Environ. Res. Lett. 7 045902.](#)
- [340] [Arrêté du 11 juillet 2013 relatif à la mise à jour des contenus en CO2 des réseaux de chaleur et de froid](#)
- [341] <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000049925781>
- [342] [DPE des réseaux de chaleur et de froid en France - CEREMA](#)
- [400] [CCTN – Bilan annuel des transports en 2023 – Les comptes des transports – Publié en novembre 2024.](#)
- [401] [Méthode pour la réalisation des bilans d'émissions de gaz à effet de serre conformément à l'article L. 229-25 du code de l'environnement - Version 4 - Octobre 2016 - MEEM - Annexe - fiche 12, p.49](#)
- [402] [Enquête sur l'utilisation des véhicules de transport routier de marchandises \(TRM\) - Ministère de la Transition écologique et solidaire - 2018](#)
- [420] [GIEC / 1999 / L'aviation et l'atmosphère planétaire, résumé à l'intention des décideurs](#)
- [421] D.S. LEE, et al., 2020. The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018. Atmospheric Environment. 244 (1), September 2020.
- [422] GIEC, 1999. Rapport spécial du GIEC : L'aviation et l'atmosphère planétaire. 1999.
- [423] ADEME 2021 - [« État de l'art de la recherche scientifique sur l'impact climatique des traînées de condensation des avions »](#) d'avril 2021
- [430] [ADEME - MEDDAT - Etude de l'efficacité énergétique et environnementale du transport maritime - Avril 2009](#)
- [431] [GLEC - The global method for calculation and reporting of logistics emissions - Février 2020](#)
- [432] [BSR - Clean Cargo Working Group Carbon Emissions Accounting Methodology - Juin 2015](#)
- [433] Etude EMEP/EEA « Air pollutant emission inventory. Guidebook 2019 », chapitre 1.A.3.d Navigation (ship-ping), Table 3-7 Percentage of installed Main Engine power by engine type/fuel class (2010 fleet)
- [440] ["Efficacités énergétiques et émissions unitaires de CO2 du transport fluvial de marchandises", l'ADEME et VNF, 2006](#)
- [441] [Efficacité énergétique et environnementale du transport fluvial de marchandises et de personnes - Efficacités énergétiques et émissions unitaires du transport fluvial. Rapport & synthèse - ADEME, VNF, AJBD - Mai 2019](#)
- [450] [Véhicules particuliers vendus en France – Consommations conventionnelles de carburant et émissions de CO2, ADEME, 2013](#)
- [451] [Etude Panel carburants, Kantar WorldPanel, MEDDTL-ADEME 2010](#)

- [452] [ADEME-Deloitte \(2007\) sur les efficacités énergétiques et environnementales des modes de transports](#)
- [453] Enquête annuelle « Cahiers Verts », enquête conjointe à la DGITM/CERTU, au GART et à l'UTP
- [454] enquête « Parc » de l'UTP au 1er janvier 2010
- [455] Etude Economique, Energétique et Environnementale pour les Technologies du transport routier français – IFP Energie Nouvelle - 2013
- [456] [Bilan transversal de l'impact de l'électrification par segment - Projet E4T- ADEME, IFP Energies Nouvelles -Avril 2018](#)
- [457] UTP, Note technique, Février 2020, "Les services urbains poursuivent leur mue énergétique"
- [470] [Information sur la quantité de gaz à effet de serre émise à l'occasion d'une prestation de transport - Méthodologie générale - Version 2024](#)
- [510] [site de référence des viandes rouges \(www.mhr-viandes.com\)](http://www.mhr-viandes.com)
- [511] [INRA](#)
- [515] Carbon Footprint of Yeast produced in the European Union, COFALEC
- [516] Yeast carbon footprint for COFALEC
- [517] [ADEME – ECOBILAN / 2003 / Bilans énergétique et gaz à effet de serre des filières de production de biocarburants](#)
- [540] Evaluation des impacts environnementaux potentiels de la production de granulats en France, 2011, UNPG
- [550] Guide GES'TIM - Travaux réalisés par l'Institut de l'élevage, IFIP, ITAVI, ARVALIS Institut du Végétal, CETIOM, ITB)
- [551] Gaillard & al. / 1997 / Inventaire environnemental des intrants agricoles en production végétale / Comptes rendus de la FAT
- [552] <http://fr.wikipedia.org/wiki/Pesticide>
- [553] [*IES'TIM+ : la référence méthodologique pour l'évaluation de l'impact des activités agricoles sur l'effet de serre, la préservation des ressources énergétiques et la qualité de l'air \(Institut de l'élevage, IFIP, ITAVI, ARVALIS Institut du Végétal, CETIOM, ITB\)*](#)
- [555] [site de la commission européenne](#)
- [560] <http://fr.wikipedia.org/wiki/Enrob%C3%A9>
- [580] Module d'information environnementale de l'ATILH édité en juin 2011
- [581] Fiche FDES d'un béton de poteau de section 25*25 cm armée avec un ratio d'acier de 80 kg/m³
- [582] [ADEME - FNTP, Réaliser une analyse environnementale dans les Travaux Publics - guide sectoriel 2015](#)
- [590] [INIES : Information sur l'Impact Environnemental et Sanitaire.](#)
- [591] [Capitalisation des résultats de l'expérimentation HQE Performance](#), 2013, DHUP, CSTB, Association HQE, ADEME, CEREMA
- [592] étude CNRS (programme ECODEV) en 1998
- [595] [COLAS, 2003, ACV, La route écologique du futur](#)
- [605] Aluminium smelting greenhouse footprint and sustainability, Jeffrey Keniry, Light metals, 2008

- [606] International Aluminium Institute, 2003, ACV
- [607] CSIRO / Août 2003 / Sustainability Network, Update 30E.
- [608] CEREN / juillet 1999 / Contenu énergétique des produits de base de l'industrie, les matériaux de construction.
- [609] [MIES : Mission Interministérielle de l'Effet de Serre](#)
- [610] [FEDEREC - Évaluation environnementale du recyclage en France selon la méthodologie de l'analyse de cycle de vie - Rapport final, Mars 2017](#)
- [630] Rapport "Computers and the Environment ; understanding and managing their impacts" - Kluwers Academic Publishers - Electronic Industry Association of Japan / Eric Williams et R. Kuehr, 2004
- [632] source EIAJ, année de référence 1997
- [633] source EPA, année de référence 2002
- [640] [ADEME. J.Lhotellier, E.Less, E.Bossanne, S.Pesnel. Mars 2018. Modélisation et évaluation ACV de produits de consommation et biens d'équipements – Rapport. 188 pages.](#)
- [641] [ADEME. J.Lhotellier RDC Environment. Décembre 2019. Modélisation et évaluation environnementale de produits de consommation et biens d'équipement – Rapport. 180 pages.](#)
- [660] [ADEME, Comptabilisation des émissions de gaz à effet de serre - Application de la méthode Bilan Carbone® à la filière viti-vinicole \(Itinéraires n°24\) - juin 2011](#)
- [670] Altern Consult - "Facteurs d'émissions d'équipements de sport" 2008.
www.ufolep.org/modules/kameleon/upload/FE_Sport.pdf
- [700] enquête INCA, effectuée en 1999 par AFSSA/CRÉDOC/DGAL
- [701] [Étude individuelle nationale des consommations alimentaires 3 \(INCA 3\) - Avis de l'Anses - Rapport d'expertise collective - Juin 2017 Édition scientifique](#)
- [702] [WWF – ECO2 Initiative – Vers une alimentation Bas Carbone, saine et abordable. Etude comparative multidimensionnelle de paniers alimentaires durables : impacts carbone, qualité nutritionnelle et coût. – 47p –2017.](#)
- [841] Art. L541-1-1 du Code l'Environnement.
- [842] Directive Cadre Déchets 2008/98/CE modifiée 2018
- [843] Glossaire 2ACR
- [844] Arrêté du 20 septembre 2002 relatif aux installations d'incinération et de co-incinération de déchets non dangereux et aux installations incinérant des déchets d'activités de soins à risques infectieux, annexe IV de l'arrêté du 31 janvier 2008 relatif au registre et à la déclaration annuelle des émissions polluantes et des déchets
- [845] ADEME
- [846] Syndicat national des Régénérateurs de matières Plastiques
- [847] Arrêtés du 30/12/2002 et du 15/02/2016, relatifs aux installations de stockage de déchets respectivement dangereux et non dangereux
- [848] Art. R541-8 du Code l'Environnement.
- [849] Lexique à l'usage des acteurs de la gestion des déchets, CGDD, 2012. Adapté de : article L 2224-14 du CGCT

- [850] ADEME – FNADE / 2003 / Eco-profil du stockage des déchets dangereux en sites collectifs en France.
- [851] Directive 94/62/EC modifiée 2018
- [852] https://bee.citeo.com/pdfdoc/guide_donnees_bee.pdf
- [853] https://bee.citeo.com/pdfdoc/Note_Taux%20recyclage%20emb%20ACV.pdf
- [854] <http://www.srp-recyclage-plastiques.org/index.php/donnees-recyclage/icv-des-mpr.html>
- [855] Décret n° 2012-22 relatif à la gestion des DEA et Décret n° 2017-1607 du 27 novembre 2017
- [856] Eco-mobilier - Quantis. Empreinte environnementale de la filière de gestion des déchets d'éléments d'ameublement (DEA) opérée par Ecomobilier en 2017. Rapport final. 2020. 203 p
- [857] Directive 2012/19/UE modifiée 2018, Article R543-173 du Code de l'environnement
- [858] Ecosystem, facteurs d'émissions calculés en 2020, <http://weee-lci.ecosystem.eco/Node>. Pour toute question sur ces facteurs d'émissions, merci de contacter ecosystem : weee-lci@ecosystem.eco
- [860] SEDDRé – Crowe Sustainable Metrics 2018 - émissions de GES de la valorisation des déchets de chantier
- [861] Etude COREPILE / SCRELEC - Bilan carbone de la filière des piles et accumulateurs portables
- [862] Etude ADEME « Elaboration d'un plan de développement d'une base publique de données d'ACV comme support à l'affichage », avril 2010
- [863] ADEME. <https://www.ademe.fr/expertises/dechets/passer-a-l'action/valorisation-organique/compostage>
- [864] <https://www.citepa.org/fr/ominea/>
- [865] RECORD 2008 : Record. Application de la méthode Bilan Carbone aux activités de gestion des déchets. 2008. 134 p
- [866] [*PESA, OLENTICA, BIO Intelligence Service. 2015. Impact sanitaire et environnementaux du compostage domestique – Rapport. Partie B - 109 pages*](#)
- [867] ADEME, EVEA Évaluation et Accompagnement, S3D Ingénierie, Mélissa CORNELUS, Audrey ROUSSEAU EL HABTI, Impacts environnementaux de filières de traitement biologique des déchets alimentaires : compostages et méthanisations, 117 pages. 2019
- [869] MODECOM 2007 : Ademe. La composition des ordures ménagères et assimilés en France – campagne nationale de caractérisation 2007. 2010. 59 p
- [870] ADEME, étude MODECOM 2017
- [871] ITOM 2017 : Ademe. Les installations de traitement des déchets ménagers et assimilés en France. Synthèse des résultats d'enquête. Données 2014. 2017. 27 p
- [872] SNCU 2015 : SNCU, FEDENE. Enquête annuelle sur les réseaux de chaleur et de froid – Rapport 2014. 2015. 19 p
- [873] Arrêté du 15 février 2016 relatif aux Installations de Stockage de Déchets Non Dangereux
- [874] SNCU 2019 : SNCU, FEDENE. Réseaux de chaleur et de froid – Chiffres clés, analyses et évolution. Résultats de l'enquête annuelle – édition 2019. 2019. 73 p
- [880] <https://www.srprecycle.com/eco-profils-des-mpr-2024>

- [910] Suivi du parc et des consommations de l'année 2015, CEREN
- [911] Indicateurs de développement durable, Jancovici pour IFEN, 2004
- [920] Selon OER et ADEME Réunion.
- [921] Observatoire de l'Energie / édition 2001 / Tableaux des consommations d'énergie en France / page
- [940] INSEE Enquêtes Transports 1993-1994
- [941] Tableaux des consommations d'énergie, Observatoire de l'Energie, 2004 CCFA, 2005
- [942] SES - Service Economie et Statistique du Ministère Equipement, Transports
- [943] [MEEM - MLHD - Référentiel Bâtiment « Energie-Carbone » - Label E+/C-](#)



L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale, l'agence met à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, ses capacités d'expertise et de conseil. Elle aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie et du ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche. www.ademe.fr

