

Analyse d'une fiscalité HFC sur les pompes à chaleur utilisées pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire des bâtiments

Empreinte carbone des équipements
et incidence d'une taxe sur les coûts pour les ménages

Étude réalisée par :



Aurélien Schuller
aurelien.schuller@carbone4.com

Natan Leverrier
natan.leverrier@carbone4.com

Table des matières

Synthèse de l'étude	3
Acronymes utilisés	5
1. Contexte et objectifs de l'étude	6
2. Les fluides frigorigènes dans le cadre des objectifs climatiques	7
2.1. Pourquoi utilise-t-on des fluides frigorigènes ?	7
2.2. Quel est leur impact sur le climat ?	8
2.3. Quelles politiques pour diminuer cet impact ?	9
2.4. Quels sont les progrès constatés ?	11
3. Empreinte carbone comparée des PAC et CET.....	13
3.1. Méthodologie et hypothèses	13
3.2. Résultats et conclusions.....	16
4. Impact économique d'une taxe HFC pour les PAC et CET.....	17
4.1. Méthodologie et hypothèses	17
4.2. Résultats et conclusions.....	19
5. Conclusion	20

Synthèse de l'étude

Une faible part des émissions de gaz à effet de serre est imputable aux fluides frigorigènes des pompes à chaleurs en France

Les émissions des fluides frigorigènes représentent 3,8% des émissions de gaz à effet de serre en France métropolitaine en 2015. Parmi ces émissions, moins de 13% sont imputables aux pompes à chaleur et aux chauffe-eau thermodynamiques, soit **0,5% des émissions totales de gaz à effet de serre de la France métropolitaine**¹ (voir Partie 2).

Des politiques existantes qui engendrent déjà une réduction de l'impact des fluides frigorigènes

Ces émissions sont dues aux hydrofluorocarbures, de puissants gaz à effet de serre pris isolément (ayant un pouvoir réchauffant parfois plusieurs milliers de fois plus grand que le CO₂) qui sont nécessaires au fonctionnement des machines thermodynamiques. Du fait des politiques mises en place et des innovations réalisées par la filière, **une nouvelle génération de fluides frigorigènes est en cours d'adoption dans tous les équipements**. Il s'agit de la 4^{ème} génération développée en moins de 25 ans, elle est beaucoup moins nuisible pour « la couche d'ozone » et le climat. Du fait des politiques ainsi menées, **les émissions de gaz à effet de serre liées aux fluides frigorigènes décroissent très régulièrement en France, au taux moyen de 2,5% par an depuis leur maximum historique de 1995**¹ (voir Partie 2).

Des pompes à chaleur 3 à 4 fois moins émettrices de gaz à effet de serre que les solutions alternatives

L'étude réalisée par Carbone 4 a visé à comparer, pour une maison individuelle neuve ou rénovée, les pompes à chaleur et le chauffe-eau thermodynamique face à des solutions alternatives au gaz et évaluer l'impact qu'aurait une taxe sur les HFC sur les coûts de ces équipements.

En termes d'empreinte carbone, le résultat est sans équivoque : sur leur durée de vie, les solutions thermodynamiques émettent de 3 à 4 fois moins qu'une solution alternative au gaz (voir Partie 3).

¹ Source : « Inventaire des émissions de fluides frigorigènes, France et DOM COM, année 2015, Rapport final », Février 2017. S. Barrault, D. Clodic.

Une compétitivité économique des pompes à chaleur qui serait dégradée en cas de taxe sur les HFC

L'instauration d'une taxe sur les fluides frigorigènes, qui viendrait en supplément du dispositif de quotas existant au sein de l'Union européenne, renchérirait de façon significative les coûts des pompes à chaleur et chauffe-eau thermodynamiques : de +1,2% à +8,4% en coûts d'investissement et de +2,4% à +6,8% en coûts globaux (voir Partie 4).

		Barème de la taxe €/t CO ₂ éq.		Surcoût à l'investissement		Surcoût en coûts globaux		Réduction d'empreinte carbone
		22 €	70 €			22 €	70 €	
Maison neuve	1	PAC air-air multisplit +CET	Chaudière gaz murale DS	+1,2%	+3,8%	+2,4%	+3,8%	Facteur 3
	2	PAC air-eau DS	Chaudière gaz murale DS	+1,7%	+5,4%	+4,8%	+6,6%	Facteur 4
Maison rénovée	3	PAC air-eau DS	Chaudière gaz au sol DS	+2,7%	+8,4%	+5,0%	+6,8%	Facteur 4

Concernant les pompes à chaleur, une taxe HFC serait potentiellement contreproductive

Sans que cette étude ne permette de se prononcer pour l'ensemble des équipements utilisant des HFC, l'analyse réalisée par Carbone 4 démontre qu'une **taxe HFC vient dégrader la compétitivité économique des solutions thermodynamiques**. Ceci pourrait potentiellement freiner l'acquisition de PAC et de CET par les ménages français alors même que ces équipements ont un bien meilleur impact en termes d'émissions de gaz à effet de serre.

De plus, du fait de la politique de quotas sur les HFC engagée au niveau européen (Règlement F-Gas), **il n'est pas évident qu'une taxe HFC puisse avoir une influence majeure sur l'accélération du passage à des fluides frigorigènes alternatifs** alors qu'il s'agit pourtant de l'objet même d'une telle taxe. En effet, un enchérissement des fluides frigorigènes est déjà constaté et la transition vers de nouveaux fluides est déjà programmée par la filière.

Acronymes utilisés

- CET : chauffe-eau thermodynamique
- CFC : chlorofluorocarbures
- CITE : crédit d'impôt pour la transition énergétique
- DS : double service (chauffage et eau chaude sanitaire)
- ECS : eau chaude sanitaire
- FF : fluides frigorigènes
- GES : gaz à effet de serre
- HCFC : hydrochlorofluorocarbures
- HFC : hydrofluorocarbures
- HFO : hydrofluoroléfines
- MGED : module de données environnementales génériques par défaut
- MI : maison individuelle
- PAC : pompe à chaleur
- PEP : profils environnementaux produits
- PLF : projet de loi de finance
- PRG : potentiel de réchauffement global
- PSR : règles spécifiques aux catégories de produits (*product specific rules*)
- t CO₂ éq. : tonne équivalent CO₂
- TTC : toutes taxes comprises
- TVA : taxe sur la valeur ajoutée
- UTCATF : utilisation des terres, changement d'affectation des terres et forest

1. Contexte et objectifs de l'étude

L'instauration d'une taxe HFC

En juillet 2017, dans le Plan Climat présenté par le ministre Nicolas Hulot figure le projet de taxer les hydrofluorocarbures (HFC) : « la France introduira une fiscalité incitative sur les HFC (...) conformément aux engagements pris dans le cadre du Protocole de Montréal, tout en s'assurant que ces mesures accélèrent la transformation du secteur industriel concerné ». L'introduction de cette fiscalité a été envisagée dès le projet de loi de finance (PLF) de 2017 (pour l'année fiscale 2018), mais a été écartée. Dans le cadre des discussions préalables à l'adoption du PLF pour l'année fiscale 2019 un amendement similaire a été adoptée par la Commission du développement durable².

Les pompes à chaleur (PAC) et chauffe-eau thermodynamiques (CET) sont des équipements qui font partie des solutions permettant de réduire l'empreinte carbone du secteur du bâtiment en améliorant l'efficacité énergétique des équipements de chauffage et d'eau chaude, en participant à la décarbonation des usages et au développement des énergies renouvelables (grâce à leur coefficient de performance, l'énergie nécessaire aux bâtiments est partiellement puisée dans les calories de l'air). Ces équipements ont recours à des fluides frigorigènes (FF), principalement des HFC qui, pris isolément, sont de puissants gaz à effet de serre (GES).

Dès lors, face à ce paradoxe entre d'une part, des équipements qui participent à la réalisation des objectifs de la transition énergétique et, d'autre part, une fiscalité environnementale qui viendrait taxer ces équipements, **les industriels et opérateurs de la filière des PAC ont exprimé leurs vives préoccupations.**³

Objectifs de l'étude

Dans ce contexte, les analyses menées par Carbone 4 ont pour objet **d'évaluer l'incidence d'une fiscalité HFC sur le positionnement technique et économique des PAC et CET** en remettant à plat les éléments sur l'empreinte carbone de ces deux équipements et en évaluant l'impact économique associé à une taxe HFC.

Afin de mettre en perspective le projet de taxe, cette étude rappelle des éléments sur l'impact des gaz fluorés et sur leur rôle dans les émissions de GES en France ainsi que sur les politiques existantes et des évolutions réalisées par la filière.

Le périmètre de l'étude ne portant que sur les équipements thermodynamiques (PAC et CET), les analyses de Carbone 4 ne couvrent qu'une petite partie des émissions de GES liées aux fluides frigorigènes et donc l'assiette totale d'une potentielle taxe HFC (voir la décomposition des différents usages et des émissions des différents fluides frigorigènes dans les parties 2.1. et 2.2.).

Méthodologie générale

Afin de rendre compte des effets concrets d'une fiscalité HFC, Carbone 4 a réalisé une **analyse comparative sur des cas d'étude réels à l'échelle d'un ménage français vivant en maison individuelle, entre des solutions PAC et CET pour des logements neufs ou rénovés, et leurs solutions alternatives au gaz.**

Cette approche permet ainsi de comparer **l'empreinte carbone en cycle de vie** des différents équipements (partie 3) et de comparer les **coûts avec ou sans une taxe HFC** (partie 4).

Cette étude n'évalue pas l'impact économique global d'une taxe HFC pour la filière PAC et CET, ni l'impact de cette taxe sur les émissions de GES en France.

² Source : Amendement N°I-CD137 adopté le 1^{er} octobre 2018.

³ « Communiqué de Presse : La France s'apprête à taxer une énergie renouvelable », AFPAC, AFGP, Uniclimate, 14 novembre 2017.

2. Les fluides frigorigènes dans le cadre des objectifs climatiques

2.1. Pourquoi utilise-t-on des fluides frigorigènes ?

*FF, CFC, HCFC et HFC,
impact climatique et appauvrissement de l'ozone stratosphérique : de quoi parle-t-on ?*

Un **fluide frigorigène (FF)** est un fluide dont on provoque les changements d'état (en principe avec un compresseur et un condenseur) pour qu'il prenne ou cède sa chaleur latente à l'endroit voulu et ainsi abaisser ou augmenter la température de cet endroit.

Les **chlorofluorocarbures (CFC)**, **hydrochlorofluorocarbures (HCFC)** et **hydrofluorocarbures (HFC)** sont trois grandes familles de FF (d'autres familles existent). Ces substances peuvent également servir pour d'autres usages (notamment dans les aérosols, les extincteurs, les mousses d'isolation et les solvants industriels).

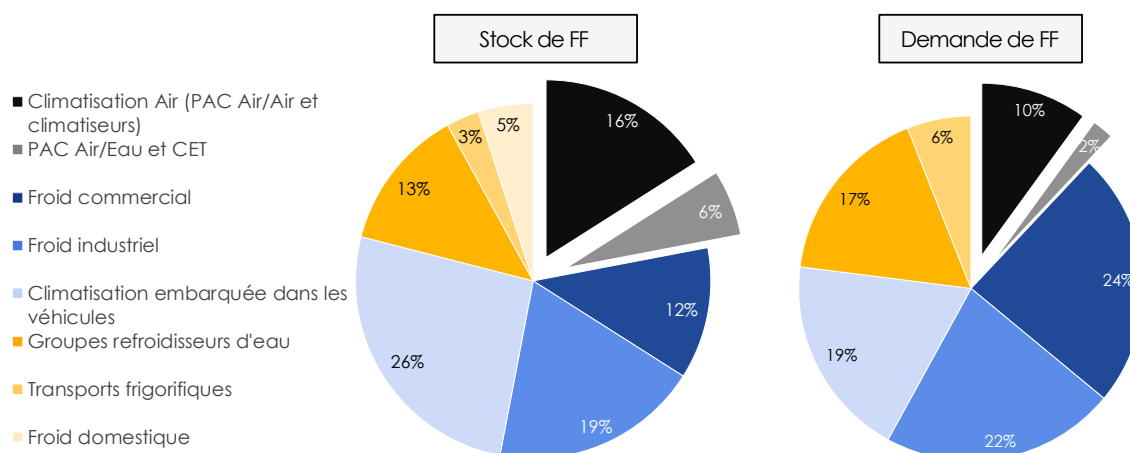
Les CFC et HCFC (mais pas les HFC) sont des composés chlorés classés parmi les principales **substances appauvrissant l'ozone stratosphérique** : dans l'atmosphère, ils agissent directement sur l'ozone (qui filtre les rayons UV du soleil) en le transformant en monoxyde de chlore. En France, les CFC et HCFC sont complètement interdits depuis 2000 et 2015 respectivement (voir partie 2.4)

Les CFC, HCFC et HFC sont de puissants gaz à effet de serre (GES) et ainsi contribuent au réchauffement climatique. Pour comparer le pouvoir réchauffant de ces gaz à celui du CO₂, on évalue leur **potentiel de réchauffement global (PRG)** à 100 ans. Par définition le PRG du CO₂ est égal à 1. Pour les HFC, les PRG varient de 124 à 14 800.

Les FF sont utilisés pour **deux usages** et différents types d'équipement :

- pour **produire du chaud** ; ce sont les **deux équipements thermodynamiques** analysés dans cette étude : les **pompes à chaleur**⁴ et les **chauffe-eau thermodynamiques** ;
- pour **produire du froid** ; tous les équipements sont regroupés en sept catégories : le froid domestique (réfrigérateurs et congélateurs) ; le froid commercial (dans les hypermarchés, supermarchés, petits commerces et les distributeurs automatiques) ; le froid industriel ; les groupes refroidisseurs d'eau ; la climatisation à air ; les transports frigorifiques et la climatisation embarquée dans les véhicules.

**Répartition par type d'équipement de la quantité en tonnes
du stock et de la demande de FF**
France métropolitaine | 2015



Source : « Inventaire des émissions de fluides frigorigènes, France et DOM COM, année 2015, Rapport final », Février 2017. S. Barrault, D. Clodic.

⁴ Certaines PAC sont réversibles et peuvent produire à la fois du chaud et du froid.

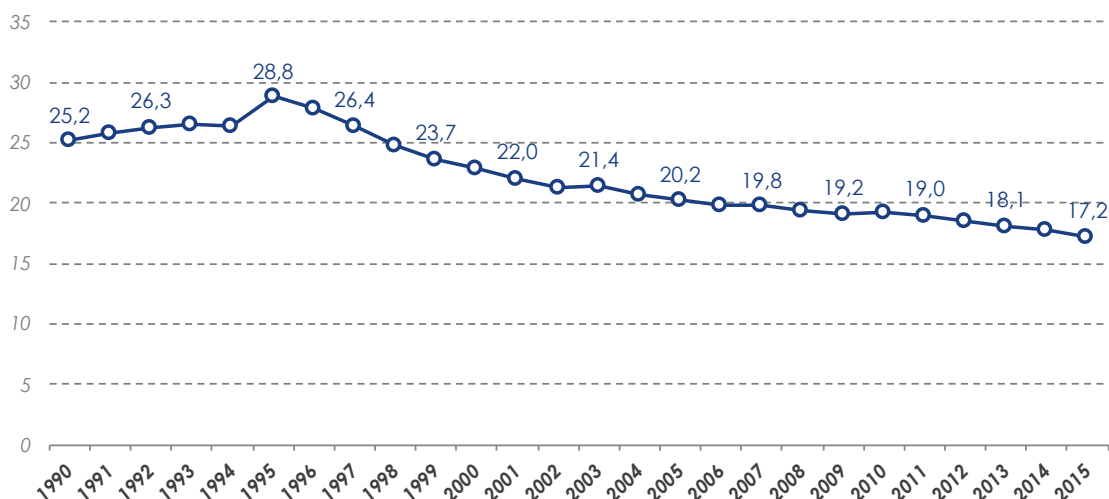
La répartition de la quantité de FF entre les différents équipements montre que **les FF sont principalement utilisés dans les équipements destinés à produire du froid**. Selon l'*Inventaire des émissions de fluides frigorigènes*⁵, où les pompes à chaleur air/air sont classées dans la même catégorie que les climatiseurs à air destinés à produire du froid⁶, les PAC et CET représentent, en 2015 pour la France métropolitaine moins de 12% de la demande en FF (en tonnes de FF vendus) et moins de 22% des stocks de FF présents dans les tous les équipements.

Si **la part des équipements thermodynamiques (PAC et CET) reste relativement faible dans le marché français des FF**, il s'agit d'un **marché en croissance depuis 2005-2008**. La demande en FF pour les PAC et CET est en légère croissance ces dernières années alors que la demande sur l'ensemble des équipements est en diminution. **La part relative des FF pour les PAC et CET tend donc à augmenter.**

2.2. Quel est leur impact sur le climat ?

En 2015, les émissions liées aux FF⁷ représentaient environ **3,8% des émissions totales (hors UTCATF⁸) de GES en France métropolitaine**. Ces émissions, après avoir atteint un pic en 1995 avec 28,8 Mt CO₂ éq., sont en constante baisse depuis et ont atteint 17,2 Mt CO₂ éq. en 2015.

Évolution des émissions de fluides frigorigènes en France métropolitaine
en Mt CO₂ éq.



Source : « Inventaire des émissions de fluides frigorigènes, France et DOM COM, année 2015, Rapport final », Février 2017. S. Barrault, D. Clodic.

La répartition des émissions entre les différents équipements qui utilisent des FF est similaire aux répartitions pour le stock ou la demande de FF (partie 2.1). **Les PAC et CET représentent, en 2015 pour la France métropolitaine moins de 13% des émissions de GES totales dues aux FF**. Cela porte les émissions des FF utilisés dans les PAC et CET **à moins de 0,5% des émissions totales** de la France métropolitaine en 2015 hors UTCATF. La part des PAC et CET dans les émissions totales de FF reste ainsi assez faible. Toutefois, avec les

⁵ Source : « Inventaire des émissions de fluides frigorigènes, France et DOM COM, année 2015, Rapport final », Février 2017. S. Barrault, D. Clodic.

Pour certains équipements, notamment les PAC et CET, les émissions se basent sur des coefficients techniques majorants.

⁶ Selon les données de ventes d'Observ'ER et de l'AFPAC, les PAC air/air représentent environ 75% des équipements de la catégorie « Climatisation à Air » de l'« Inventaire des émissions de fluides frigorigènes ».

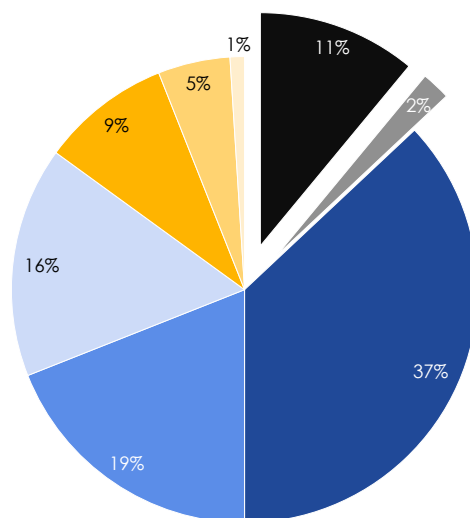
⁷ Selon les données du CITEPA, les HFC représentent 4,6% des émissions de GES en France métropolitaine. 87% de ces émissions de HFC proviennent de l'utilisation des HFC en tant que fluide frigorigène. À ces émissions, il faut ajouter les émissions des gaz chlorés, CFC et HCFC, non-comptabilisées dans les émissions totales de la France pour la Convention-cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques, pour obtenir la part des émissions totales liées aux fluides frigorigènes.

⁸ Utilisation des Terres, Changement d'Affectation des Terres et Forêt (UTCATF).

climatiseurs à air, il s'agit des seuls équipements dont les émissions sont en hausse, du fait de la croissance des ventes de ces équipements.

Répartition par type d'équipement des émissions liées aux fluides frigorigènes France métropolitaine | 2015

- Climatisation Air (PAC Air/Air et climatiseurs)
- PAC Air/Eau et CET
- Froid commercial
- Froid industriel
- Climatisation embarquée dans les véhicules
- Groupes refroidisseurs d'eau
- Transports frigorifiques
- Froid domestique



Source : « Inventaire des émissions de fluides frigorigènes, France et DOM COM, année 2015, Rapport final », Février 2017. S. Barrault, D. Clodic.

2.3. Quelles politiques pour diminuer cet impact ?

D'où viennent les émissions de FF ? Comment les réduit-on ?

Les **émissions de FF interviennent à toutes les étapes de la vie des équipements** :

- lors de leur fabrication : ce sont les **émissions à la charge** ;
- au cours de l'utilisation : ce sont les **émissions fugitives** liées aux fuites des équipements et les **émissions dues aux recharges** éventuelles en FF dans les équipements ;
- à la fin de vie : ce sont les **émissions dues à la quantité de FF non récupéré** dans les équipements.

Ainsi, il y a **cinq paramètres principaux** qui interviennent dans les émissions de GES des FF :

- **la quantité de fluide** utilisée dans les équipements, *i.e.* la charge des équipements ;
- **le fluide utilisé** (dont le PRG peut varier considérablement) ;
- **la durée de vie des équipements** ;
- **le taux de fuite des équipements** ;
- **le taux de récupération des FF.**

Pour réduire les émissions de GES des FF, il est possible d'agir sur ces cinq paramètres. Cependant **chacun de ces leviers potentiels présentent des difficultés techniques**. En particulier, **le choix du fluide dépend de ses propriétés physico-chimiques**, il n'est pas toujours possible de remplacer un fluide par un autre : certains FF sont inflammables ou possèdent une température critique⁹ qui ne permet pas d'obtenir la température souhaitée avec une bonne efficacité énergétique (e.g. besoin d'un compresseur plus puissant). Le taux de récupération des fluides est lui dépendant non seulement des modalités techniques de récupération (il n'est pas possible de récupérer 100% du fluide d'un équipement) mais également du vandalisme sur les équipements dans la filière de récupération (pour récupérer le cuivre notamment).

⁹ La température critique d'un fluide est sa température maximale en phase liquide indépendamment de la pression. Analyse d'une fiscalité HFC sur les pompes à chaleur utilisées pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire des bâtiments

Au niveau mondial, suite à la découverte du « trou dans la couche d'ozone », le **Protocole de Montréal** relatif à des substances qui appauvrissent l'ozone stratosphérique a été adopté en 1987 au Canada. Cet accord international a permis d'imposer une **suppression progressive des CFC, atteinte en 2010**, tant dans les pays industrialisés que dans les pays en développement. **Pour les HCFC, l'accord prévoit l'arrêt de la production et de la consommation en 2020 dans les pays industrialisés et en 2030 dans les pays en développement.**

Enfin, plus récemment avec l'adoption de **l'Amendement de Kigali en 2016**, les États signataires se sont engagés à une **diminution progressive des HFC jusqu'en 2047** :

- -85% d'ici à 2036 par rapport aux années 2011-2013 pour les pays industrialisés (-45% d'ici 2024).
- -80% d'ici à 2045 par rapport aux années 2020-2022 pour une partie des pays en développement
- -85% d'ici à 2047 par rapport aux années 2024-2026 pour l'Inde et quelques pays du Moyen-Orient.

Au sein de l'Union européenne, l'élimination des CFC et des HCFC a été imposée par le Règlement 1005/2009 : les **CFC sont complètement interdits sur le marché européen depuis 2001 et les HCFC depuis 2015.**

Pour les autres GES fluorés, **les HFC** principalement, le Règlement 517/2014, dit **Règlement F-Gaz II** (qui remplace le Règlement F-Gaz I de 2006), prévoit principalement trois types de mesures :

- des **mesures de contrôle** : l'obligation pour les États de membre de mettre en place la certification des entreprises et des personnes de la filière des FF, un contrôle d'étanchéité obligatoire à partir d'une charge de 5 t CO₂ éq. et un registre obligatoire pour ces installations.
- des **mesures d'interdiction** : pour certains équipements, les FF avec un PRG élevé sont interdits. Par exemple, à partir de 2015, les FF avec un PRG supérieur à 150 sont interdits dans les réfrigérateurs et congélateurs ménagers et, à partir de 2025, les FF avec un PRG supérieur à 750 pour les PAC et climatisations à air.
- des **mesures de réduction de la quantité mise sur le marché** : un **système de quotas** en t CO₂ éq. a été mis en place depuis 2015. Il prévoit une **baisse annuelle des quantités de HFC mises sur le marché jusqu'à atteindre -79% en tonnages équivalent CO₂ d'ici à 2030 par rapport aux années 2009-2012.**

Il s'agit d'un système avec allocation gratuite des quotas : les « metteurs sur le marché » obtiennent des quotas sur la base des mises sur le marché réalisées chaque année (les quotas sont réévalués tous les trois ans pour chacun des acteurs de ce marché). Du fait de cette baisse réglementaire de l'offre, **il s'ensuit un renchérissement du prix des HFC. Le surcoût déjà constaté en France par les acteurs de la filière est équivalent à 20 € / t CO₂ éq. en 2018¹⁰**, et devrait atteindre environ 30 € / t CO₂ éq. selon l'Agence fédérale allemande pour l'environnement¹¹. Ce surcoût est donc un transfert de richesse des exploitants et consommateurs européens vers les producteurs et importateurs de HFC évalués à environ 32 milliards d'euros pour la période 2015-2030¹².

Enfin, les gaz fluorés présents **dans le secteur automobile** (pour la climatisation embarquée) font l'objet d'une Directive spécifique (n°2006/40/CE) qui interdit les fluides avec un PRG supérieur à 140 à compter du 1^{er} janvier 2017.

En France, c'est le **Code de l'Environnement** qui précise la réglementation pour les HFC avec les articles R-543-75 à R543-123 (complétés par cinq arrêtés) pour les équipements qui utilisent des FF¹³. Les **rôles et obligations des différents acteurs de la filière** sont définis :

- les producteurs de HFC ont **l'obligation de récupérer sans frais les FF** repris par les distributeurs (au prorata de leurs quotas), puis de les traiter ou de détruire (si le traitement est impossible) ;

¹⁰ Données de l'Association Française pour les Pompes à Chaleur (AFPAC), juin 2018.

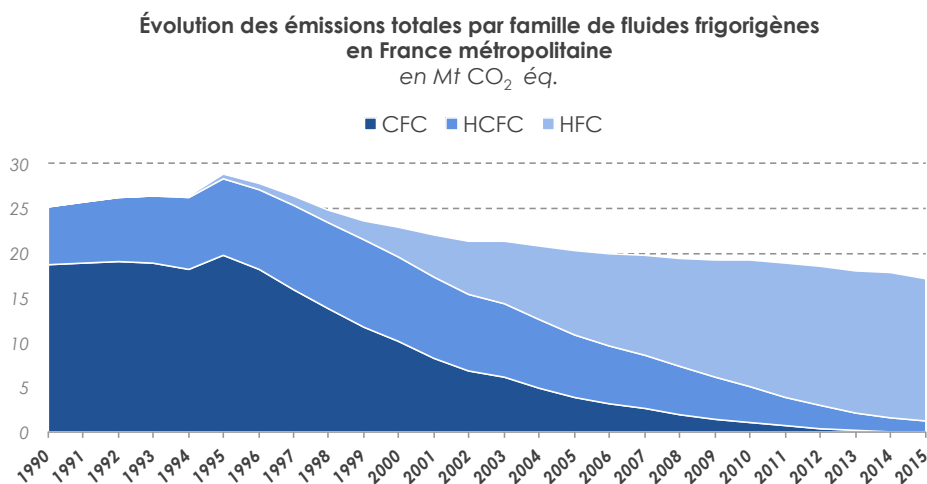
¹¹ Source : « Manuel du Règlement UE relatif aux gaz à effet de serre fluorés (F-Gaz) : Anticiper la réduction progressive des hydrofluorocarbones en Europe », Mai 2016, Environmental Investigation Agency.

¹² Ibid.

¹³ Cette réglementation s'applique aux CFC, HCFC et HFC. Les HFO (voir partie 2.4) sont explicitement exclus de cette réglementation.

- les distributeurs de HFC doivent céder les fluides uniquement aux personnes ayant une **attestation de capacité** (sauf s'il s'agit d'une installation ICPE), tenir un **registre de cession** et mettre à disposition des contenants pour la récupération ;
- les opérateurs de HFC doivent obtenir attestation de capacité, ils ont l'obligation de remettre au distributeur les FF récupérés et de déclarer annuellement la quantité de FF manipulée ;
- les organismes agréés délivrent les attestations de capacité ;
- enfin, les détenteurs d'équipements contenant des HFC doivent faire installer leurs équipements par un opérateur attesté et contrôler leur l'étanchéité de façon régulière (à partir d'une quantité de 5 t CO₂ éq.).

2.4. Quels sont les progrès constatés ?



Source : « Inventaire des émissions de fluides frigorigènes, France et DOM COM, année 2015, Rapport final », Février 2017. S. Barrault, D. Clodic.

Aujourd'hui, on distingue dans les émissions dues aux FF, **trois générations de fluides**. Les **HFC** sont la troisième génération de FF mais la première non-chlorée (donc qui n'agit pas directement comme substance appauvrissant l'ozone stratosphérique). Cette génération de fluide est venue remplacer les **HCFC** eux-mêmes venu remplacer les **CFC**.

Toutes ces transitions de FF, sont intervenues grâce à la **modification des différentes technologies d'équipements**. En moins de 25 ans, les constructeurs et distributeurs de ces équipements ont réussi sans blocages majeurs à modifier les équipements pour prendre en compte l'environnement règlementaire.

Tableau des PRG à 100 ans des principaux GES et FF

Famille de gaz		Nomenclature internationale	Nom complet	Formule chimique	PRG à 100 ans
Principaux GES		R744	Dioxyde de carbone	CO ₂	1
		R50	Méthane d'origine	CH ₄	28
		R744a	Protoxyde d'azote	N ₂ O	265
Gaz fluorés non-FF	Hexafluorure de soufre		Hexafluorure de soufre	SF ₆	23 500
	Trifluorure d'azote		Trifluorure d'azote	NF ₃	16 100
	Perfluorocarbures (PFC)	R14	PFC-14	CF ₄	6 630
R116		PFC-116	C ₂ F ₆	11 100	
1^{re} génération de FF	Chlorofluorocarbures (CFC)	R11	CFC-11	CCl ₃ F	4 660
		R12	CFC-12	CCl ₂ F ₂	10 200
		R13	CFC-13	CClF ₃	13 900
		R114	CFC-114	CClF ₂ CClF ₂	8 590
		R22	HCFC-22	CHClF ₂	1 760
2^e génération de FF	Hydrochlorofluorocarbures (HCFC)	R123	HCFC-123	CHCl ₂ CF ₃	79
		R124	HCFC-124	CHClFCF ₃	609
		R142b	HCFC-142b	CH ₃ CClF ₂	1 980
3^e génération de FF	Hydrofluorocarbures (HFC)	R23	HFC-23	CHF ₃	12 400
		R32	HFC-32	CH ₂ F ₂	677
		R125	HFC-125	CHF ₂ CF ₃	3 170
		R134a	HFC-134a	CH ₂ FCF ₃	1 300
		R143a	HFC-143a	CH ₃ CF ₃	4 800
	R4310mee	HFC-43-10mee	CF ₃ CHFCHFCF ₂ CF ₃	1 650	
	Mélanges de HFC	R404a			3 922
		R407c			1 774
		R410a			2 088
		R507			3 985
4^e génération de FF	Hydrofluoroléfine (HFO)	R1234yf	2,3,3,3-Tétrafluoropropène	CH ₂ =CF ₂ CF ₃	<1
		R1234ze	1,3,3,3-tétrafluoropropène	CFH=CH-CF ₃	<1
		R1233zd	Trans-1-chloro-3,3,3-trifluoroprop-1-ène	CF ₃ CH=CHCl	4,5
	Mélanges HFC/HFO	R452a			2 140
		R513a			631
R454c			< 150		
Hydrocarbures		R290	Propane	C ₃ H ₈	20

Source : 5^{ème} rapport du GIEC, 2014 ; « Fluide HFC : Quel avenir avec F-Gas ? », Deuxième édition, novembre 2017, Uniclîma.

Face aux enjeux de réduction des émissions de GES, **une quatrième génération de FF émerge**, ce sont les hydrofluoroléfines (**HFO**), ils ont un **PRG très faible proche de celui du CO₂** grâce à une durée de vie dans l'atmosphère relativement courte (environ 11 jours). Enfin, il est possible d'utiliser des **fluides dits « naturels »** dans les équipements qui utilisent les FF : en particulier il est possible d'utiliser des hydrocarbures comme le propane (avec un PRG de 20 mais inflammable) ou même directement du CO₂ (PRG de 114)

La filière des PAC et CET est d'ores et déjà engagée vers le passage à des fluides avec des PRG faibles. En effet, sur la période 2010-2015, les fluides utilisés sur le marché neuf des PAC résidentielles ne sont déjà plus des HCFC mais des HFC : le R410a (PRG de 2 088), le R407c (PRG de 1 774), le R134a (PRG de 1 430) et un peu le R290 (PRG de 20)¹⁵. Pour les CET, le R134a (PRG de 1 430) est le principal fluide utilisé aujourd'hui dans ces équipements.¹⁶ Pour les PAC air/air le passage vers le R32 (PRG de 675) est déjà amorcé et la transition devrait être achevée d'ici quelques années. Pour les PAC air/eau et les CET, le passage aux HFO et aux mélanges HFC/HFO est prévu entre 2020 et 2025. Dans le même temps, les équipements aux hydrocarbures et au CO₂ devraient également se développer¹⁷.

¹⁴ La température critique du CO₂ étant de 31,1°C, en cas de fortes chaleurs, le CO₂ perd son efficacité en tant que FF.

¹⁵ Source : « Inventaire des émissions de fluides frigorigènes, France et DOM COM, année 2015, Rapport final », Février 2017. S. Barrault, D. Clodic.

¹⁶ Ibid.

¹⁷ Source : « Fluide HFC : Quel avenir avec F-Gas ? », Deuxième édition, juin 2018 Uniclîma.

3. Empreinte carbone comparée des PAC et CET

3.1. Méthodologie et hypothèses

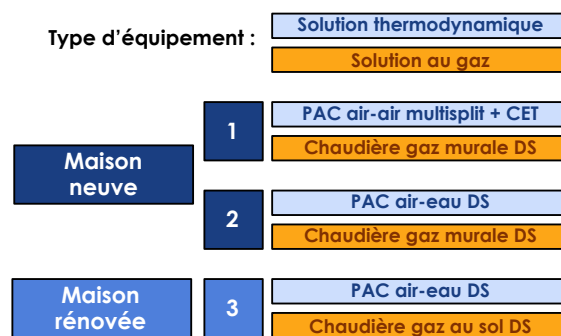
Périmètre de l'étude

L'analyse comparée couvre les principales situations d'installation de PAC et CET en maisons individuelles :

- dans le neuf : soit une PAC air-air avec un CET, soit une PAC air-eau double service (qui assure à la fois le chauffage et la production d'eau chaude) ;
- dans le parc existant : une PAC air-eau double service.

Chacun de ces trois cas d'étude est comparé à une solution au gaz proposant des services analogues :

- dans le neuf, la solution alternative est une chaudière gaz murale double service ;
- dans l'existant, la solution alternative est une chaudière gaz au sol double service.



L'empreinte carbone est évaluée sur le cycle de vie des équipements, en distinguant les émissions selon qu'elles proviennent :

- de la fabrication et la fin de vie des équipements ;
- de la consommation d'énergie lors de l'usage des équipements ;
- des fuites des fluides frigorigènes (pour les équipements qui en contiennent).

Caractéristiques des équipements

Chaque cas est évalué sur la durée de vie des équipements : 17 ans pour chacun des équipements considérés.

Les usages énergétiques étudiés sont le chauffage et l'eau chaude sanitaire (ECS). Le niveau des consommations annuelles est fondé sur l'enquête Phébus¹⁸ pour les maisons individuelles rénovées et sur le niveau de performance de la réglementation RT2012 pour les maisons individuelles neuves.

			Consommation de chauffage kWh _f / an / lgt	Consommation d'ECS kWh _f / an / lgt
Maison neuve	1	PAC air-air multisplit + CET	989	989
		Chaudière gaz murale DS	2 552	2 552

	2	PAC air-eau DS	989	989
		Chaudière gaz murale DS	2 552	2 552

Maison rénovée	3	PAC air-eau DS	4 197	719
		Chaudière gaz au sol DS	12 592	1 856

¹⁸ Source : « Enquête Performance de l'Habitat, Équipements, Besoins et Usages de l'énergie (Phébus) », 2013.

Les **principales caractéristiques des équipements** analysés sont la **puissance de l'équipement** et le **fluide frigorigène utilisé** (pour les équipements qui en contiennent). Le fluide frigorigène modélisé pour chaque équipement a été choisi pour rendre compte au mieux de la réalité : pour la PAC air-eau et le CET, le FF choisi est celui le plus utilisé sur le marché actuellement¹⁹, pour la PAC air-air le fluide choisi est celui qui va devenir dominant sur le marché dans les années à venir (voir partie 2.4.).

Les émissions de fabrication et de fin de vie des équipements correspondent aux valeurs utilisées dans le cadre du référentiel E+C-, qui prépare la future réglementation de performance environnementale du bâtiment neuf. Ces valeurs sont issues de la Base INIES²⁰. Pour les chaudières gaz, les PAC air/eau et le CET les données environnementales par défaut les plus proches de l'équipement considéré ont été prises. Pour la PAC air/air, la valeur de la PAC air/eau a été reproduite par analogie entre les équipements, avec une majoration de +50%, faute de donnée disponible.

		Commentaires	Puissance kW	Fluide frigorigène utilisé	Émissions de fabrication et fin de vie (ordres de grandeur) en t CO ₂ éq.
Maison neuve	PAC air-air multisplit	4 unités extérieures	6	R-32	1,4
	PAC air-eau DS	Monobloc sur air ext. Ballon 250 l	6	R-410a	0,9
	CET		2	R-134a	1,0
	Chaudière gaz murale DS		25	∅	0,3
Maison rénovée	PAC air-eau DS		12	R-410a	0,9
	Chaudière gaz au sol DS		25	∅	1,3

Hypothèses d'émissions de GES

Les **facteurs d'émissions de l'énergie utilisés** sont les **valeurs par usage de la Base Carbone®** de l'ADEME pour l'année 2016 (243 g CO₂ éq. / kWh pour le gaz indépendamment de l'usage, 169 g CO₂ éq. / kWh pour le chauffage électrique et 59 g CO₂ éq. / kWh pour l'ECS électrique).

Les **émissions liées aux FF** peuvent être divisées entre les émissions de fabrication et de fin de vie des FF et les émissions liées à l'utilisation des FF.

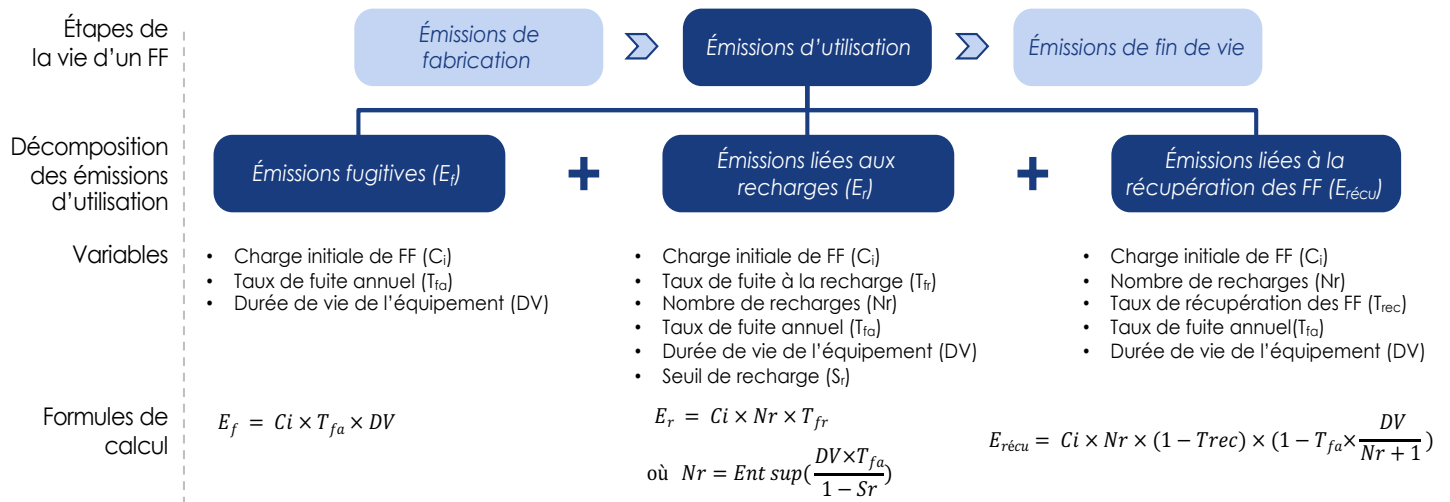
Les **émissions de fabrication** des FF prennent en compte les émissions de production des FF et les émissions à la charge de l'équipement. Les **émissions de fin de vie** incluent les émissions liées aux traitements des FF récupérés (régénération ou incinération). Les émissions de fabrication et de fin de vie des FF sont incluses dans les données d'émissions de fabrication et de fin de vie des équipements concernés.

Seules les **émissions ayant lieu lors de l'utilisation** de l'équipement étudié font l'objet d'un calcul séparé sur la base des formules reproduites ci-dessous. Elles reprennent le formalisme des Règles Spécifiques (PSR) aux PAC²¹ du programme PEP ecopassport®.

¹⁹ Source : « Inventaire des émissions de fluides frigorigènes, France et DOM COM, année 2015, Rapport final », Février 2017. S. Barrault, D. Clodic.

²⁰ La base INIES est la base de données nationale de référence sur les données environnementales et sanitaires des produits et équipement de la construction. Un PEP ou Profil Environnemental Produit est une déclaration environnementale d'un équipement électrique, électronique ou de génie climatique qui se base sur les résultats de son analyse de cycle de vie. En cas d'absence de PEP, des données environnementales par défaut ont été développées par les services de l'État : ce sont les MGED (Module de Données Environnementales Génériques par Défaut).

²¹ Source : PEP ecopassport®, PSR-0013-ed1.0-FR-2018 04 06, « Règles spécifiques aux générateurs thermodynamiques à compression électrique assurant le chauffage et/ou le refroidissement des locaux et/ou la production ».



Pour le **choix des paramètres de fuites**, Carbone 4 s'est fondé sur les valeurs issues d'une revue bibliographique, qui a permis d'aboutir à un **bouquet d'hypothèses moyennes**. Dans un certain nombre de cas, les taux de fuites peuvent être bien plus élevés alors que dans d'autres cas il n'est pas observé de fuites. Ces hypothèses se veulent donc être **représentatives de la moyenne des cas** :

- Les hypothèses de charge, de fuites à la charge, à la recharge et de fuites annuelles sont issues d'un **rapport sur les taux de fuite réalisé par la VDKF²²** et des **retours des équipes de maintenance d'un fabricant français** ;
- Le **seuil de recharge et le taux de récupération sont des hypothèses normatives correspondant aux obligations légales des opérateurs de la filière** :
 - Le seuil de recharge est de 90% (i.e. une recharge est effectuée dès que le niveau de FF atteint 90% de la charge initiale) ;
 - Le taux de récupération des FF, un paramètre déterminant pour les résultats d'émissions, a été retenu à 90%, ce qui reflète un seuil de récupération technique que la norme oblige les récupérateurs de respecter.

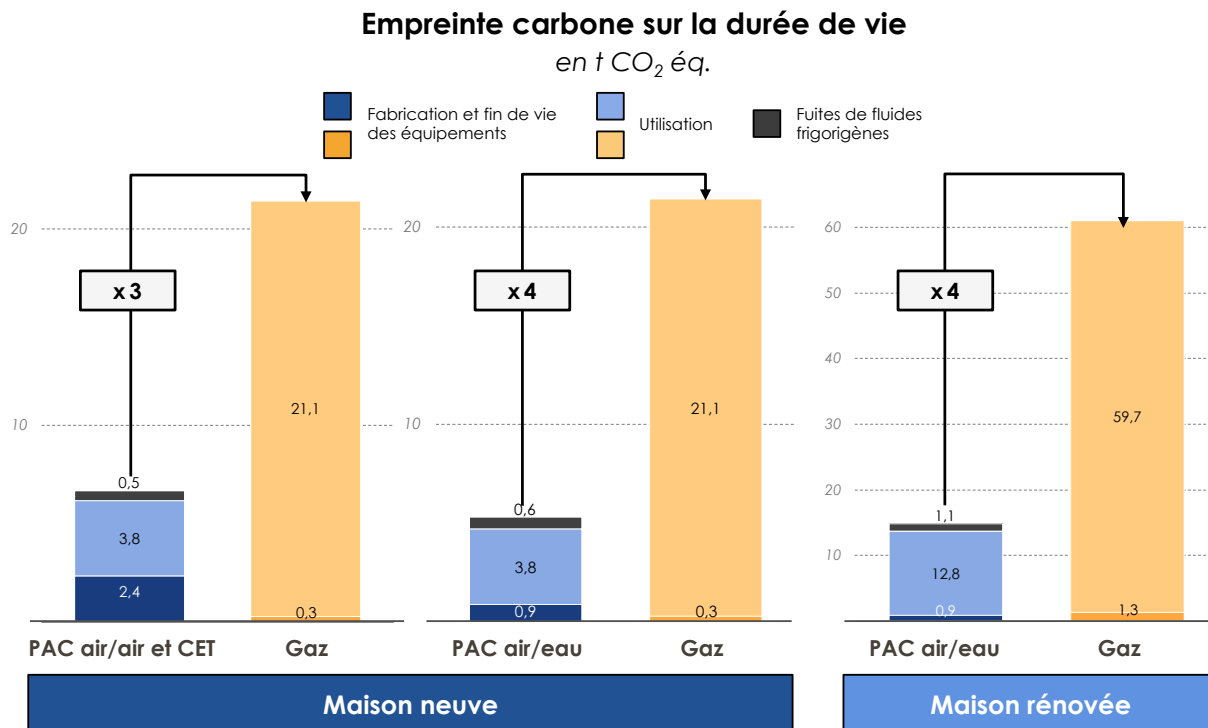
	Unité	PAC air/air (MI neuve)	PAC air/eau (MI neuve)	CET	PAC air/eau (MI rénovée)
Charge initiale de FF	kg	2	1,3	0,875	2,55
Taux de fuite à la charge (fuites amont)	%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%
Taux de fuite annuel	%	1,09%	0,67%	0%	0,67%
Taux de fuite à la recharge	%	0,5%	0,5%		0,5%

²² Source : « Information Kälte Klima Innovative Gebäudetechnik, G12498, 26. Jahrgang, Heft 9-10 », Septembre-Octobre 2015, Verband Deutscher Kälte Klima-Fachbetriebe e.V. (VDKF).

3.2. Résultats et conclusions

L'analyse comparée de l'empreinte carbone en cycle de vie des solutions PAC et CET face à des solutions alternatives au gaz montre un **avantage très significatif des solutions thermodynamiques : d'un facteur 2 pour la PAC air/air avec un CET (en maison neuve) ou d'un facteur 4 pour les PAC air/eau (maison neuve ou rénovée)**.

Avec ces paramètres moyens de fuites, les émissions dues aux FF restent faibles. Ce résultat est sensible notamment aux hypothèses de taux de fuite annuel et de taux de récupération, sans que cela ne remette en question l'important avantage des solutions PAC et CET face aux solutions au gaz.



4. Impact économique d'une taxe HFC pour les PAC et CET

4.1. Méthodologie et hypothèses

Périmètre de l'étude

Pour l'analyse économique en coûts comparés les solutions étudiées sont **les mêmes trois cas d'étude** que pour l'empreinte carbone (voir partie 3.1.).

Les coûts étudiés prennent en compte le **coût de l'équipement posé**, les **coûts de maintenance annuelle**, ainsi que les **coûts énergétiques** (abonnements et consommations d'électricité ou de gaz) sur la base d'une consommation annuelle fixe et d'une dérive des prix unitaires des énergies. **Les coûts sont exprimés en monnaie constante**, c'est-à-dire après correction de l'inflation, et du point de vue du ménage, c'est-à-dire **en tenant compte des taxes et des éventuelles aides à l'installation** (CITE dans la rénovation).

Coûts des équipements

Le **prix des équipements comprend la fourniture et la pose** et correspondent à des prix moyens constatés par les installateurs de ces solutions. Un **coût de maintenance de 150 € par an** pour chacun des cas étudiés est ajouté dans les coûts d'utilisation.

		Prix fourni posé € TTC
Maison neuve	PAC air-air multisplit	7 200 €
	PAC air-eau DS	7 200 €
	CET	2 600 €
	Chaudière gaz murale DS	3 200 €
Maison rénovée	PAC air-eau DS	12 000 €
	Chaudière gaz au sol DS	4 800 €

Par ailleurs, pour bien refléter l'appréciation des coûts par les ménages, un **calcul des coûts en raisonnant en « reste à charge »** a été adopté, en tenant compte des aides pour la rénovation²³.

Coûts de l'énergie

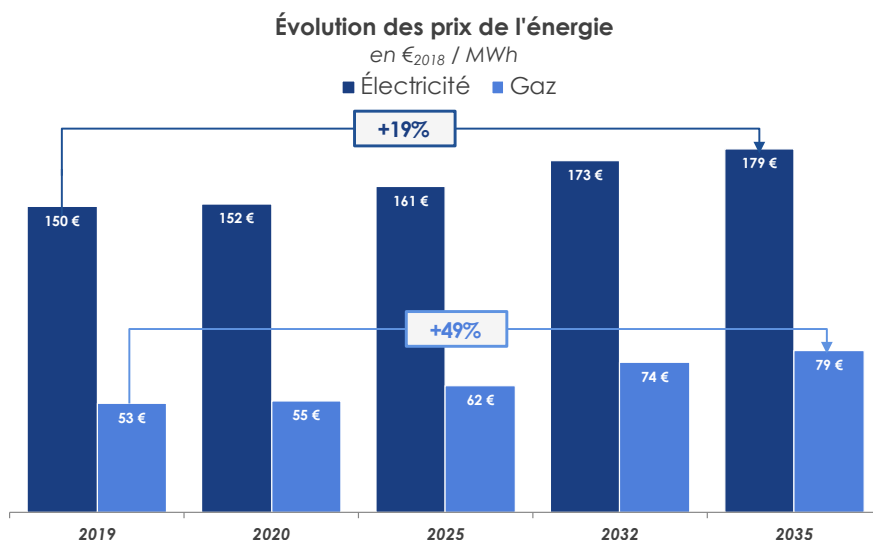
Les coûts de l'énergie se divisent entre le **prix des abonnements de l'électricité ou du gaz** et le prix unitaire de ces énergies. Pour les solutions au gaz un prix d'abonnement de 235 € par an a été choisi et correspond à la classe de consommation B1. Pour l'électricité, il est pris en compte un surenchérissement de l'abonnement électrique dans le cas d'installation d'une PAC (correspondant au besoin d'une puissance de souscription supérieure) : dans le neuf ce surenchérissement est de 16 € par an (9 kVA au lieu de 6 kVA), dans l'existant le surenchérissement est de 60 € par an (12 kVA au lieu de 6 kVA)²⁴.

Les **prix unitaires de l'énergie** sont fondés sur les **prix de l'énergie en 2017 et sur une augmentation du prix TTC en euros constants de 1,1% par an pour l'électricité et de 2,5% par an pour le gaz**. Les principaux déterminants de ces évolutions sont l'augmentation du prix des combustibles et du marché des quotas CO₂ (scénario de référence 2030 de la Commission européenne) ainsi que l'évolution supposée jusqu'en 2030 de la contribution climat énergie (jusqu'à 112 €₂₀₁₇ / t CO₂ éq. en 2030²⁵).

²³ Le Crédit d'Impôt pour la Transition Énergétique (CITE) prévoit une aide pour la rénovation de 30% sur le coût de l'équipement pour une PAC, un CET ou une chaudière performante.

²⁴ Source : Base de données Pégase des prix et tarifs de l'énergie. Chiffres 2017.

²⁵ Valeur supposée en ligne avec la valeur tutélaire du carbone en 2030 évaluée par la commission Quinet de 2008, soit 100 €₂₀₀₈ / tonne CO₂, et reprise dans la Loi de Transition Énergétique pour la Croissance Verte. Il convient de noter que cette valeur tutélaire est en train d'être réévaluée et que cette actualisation conduira à une hausse significative.



Taxe HFC

La **taxe sur les HFC telle qu'exposée dans l'amendement** au PLF 2019 (Amendement n°I-CD137) publié le 1^{er} octobre 2018) prévoit un **barème évoluant de 15 € en 2021 jusqu'à atteindre 45 € par t CO₂ éq. en 2024**. Il s'applique aux producteurs et importateurs de HFC mis pour la première fois sur le marché. La taxe **ne s'applique donc pas aux FF et équipements exportés hors du territoire, ni aux HFC recyclés**.

Afin d'évaluer l'impact de la montée progressive du montant de la taxe, les évaluations sont faites pour des achats d'équipements en 2022. Afin d'évaluer l'impact d'un barème de la taxe pouvant évoluer fortement, un deuxième taux à 70 € la t CO₂ éq. a été pris en compte (barème maximal retenu dans un amendement déposé en 2017 et similaire à celui de 2018). La taxe pouvant s'appliquer également lors de l'acte de recharge de l'équipement (s'il a lieu), il est nécessaire de définir un barème à moyen terme, au-delà de 2022. Il a été considéré un **taux de 112 € par t CO₂ éq. en 2030**, correspondant à la valeur de la contribution climat énergie à 2030 dans la modélisation des prix de l'énergie.

Le montant de la taxe à la charge initiale correspond au **barème initial de la taxe** (pour notre analyse **22 € la t CO₂ éq.** ou **70 € la t CO₂ éq.**) appliqué à la charge initiale de fluide et aux fuites à la charge²⁶ multiplié par le PRG du FF considéré. Le montant aux recharges est calculé de la même façon en prenant le barème défini pour 2030, soit 112 € la t CO₂ éq. Si elle est calculée sur l'intégralité de la charge de l'équipement et non pas sur le volume ayant fui, cela provient des modalités de recharge : en effet, du fait de l'impossibilité de mesurer *a priori* la part de fluide manquante sur un équipement, la recharge d'une PAC s'effectue nécessairement par une vidange complète de l'équipement et par le remplissage de l'équipement par un nouveau fluide.

À ce stade, il est fait l'hypothèse que **la part des HFC recyclés dans les équipements est non-significative** : elle est aujourd'hui bien inférieure à 1% du volume mis sur le marché en Europe²⁷.

Entre la taxe appliquée à la mise en vente d'un FF et le ménage qui installe l'équipement, il est introduit un **facteur multiplicatif de 1,7 censé rendre compte des marges** successives dans le circuit de distribution et d'installation des équipements. Par ailleurs, un **taux de TVA de 20% s'applique en sus de la fiscalité HFC et de la fiscalité carbone sur l'énergie**.

²⁶ La somme de la charge initiale et des « fuites à la charge » correspond à la charge totale de fluide nécessaire pour une charge ou une recharge.

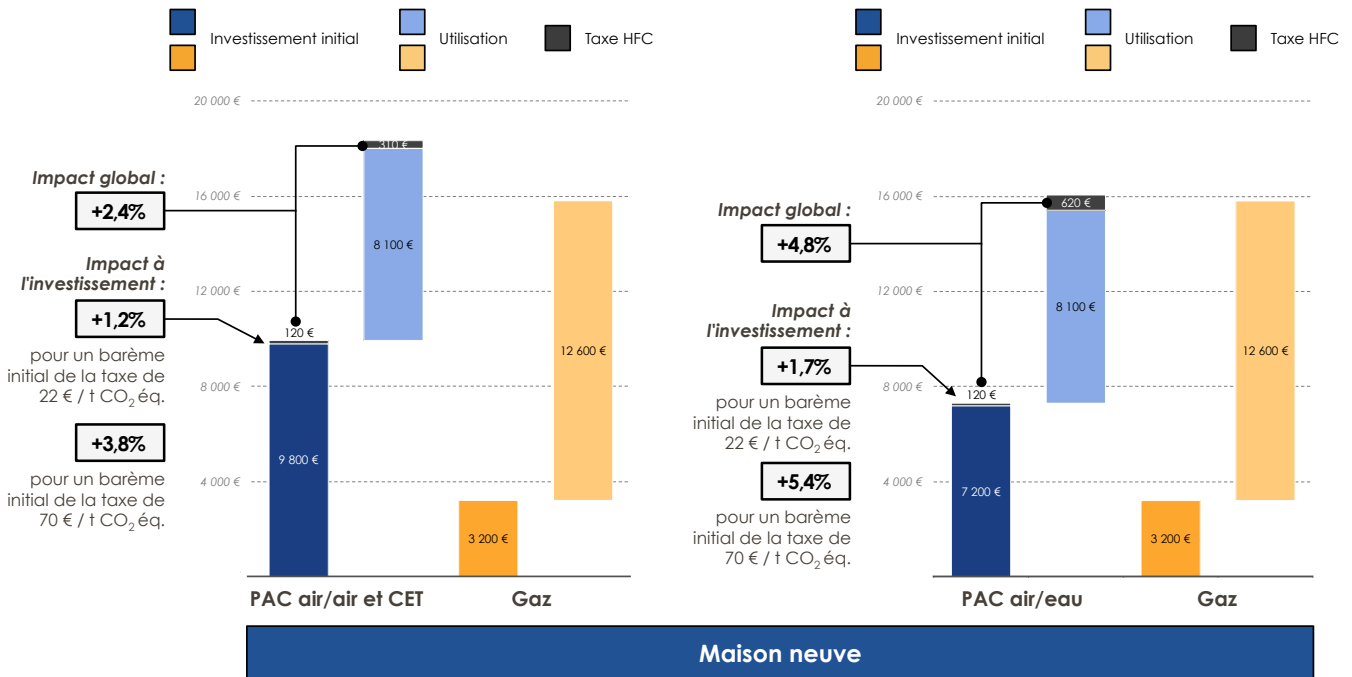
²⁷ Source : ADEME, « Rapport annuel de l'observatoire des gaz fluorés », 2018, page 41.

4.2. Résultats et conclusions

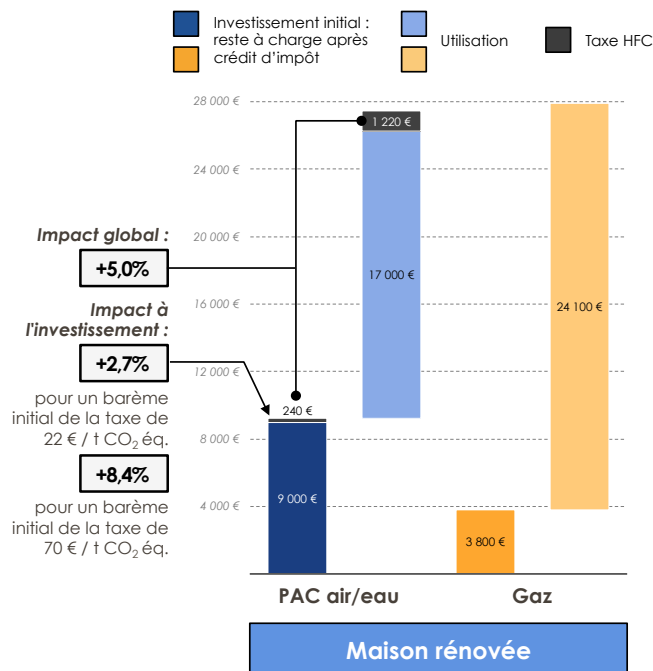
L'analyse comparée en coûts globaux montre un **coût comparable (bien qu'un peu plus élevé) des solutions PAC et CET face aux solutions au gaz**. Toutefois, le **surcoût à l'investissement des solutions thermodynamiques est important** : aux alentours de facteurs 2 à 3.

La **taxe HFC induit un surcoût significatif à l'investissement, jusqu'à 8,4% de coût d'investissement supplémentaire** en reste à charge pour une PAC air/eau dans l'existant en 2022. Compte tenu de la montée en puissance du barème de la taxe, le **surcoût global est lui aussi de l'ordre de 2 à 7 %, notamment en cas de recharge**.

Coûts comparés sur la durée de vie pour une maison neuve en € TTC (monnaie constante)



Coûts comparés sur la durée de vie pour une maison rénovée en € TTC (monnaie constante) | Raisonnement en reste à charge



5. Conclusion

		Barème de la taxe €/t CO ₂ éq.		Surcoût à l'investissement		Surcoût en coûts globaux		Réduction d'empreinte carbone
		22 €	70 €			22 €	70 €	
Maison neuve	1	PAC air-air multisplit +CET		+1,2%	+3,8%	+2,4%	+3,8%	Facteur 3
		Chaudière gaz murale DS						
Maison neuve	2	PAC air-eau DS		+1,7%	+5,4%	+4,8%	+6,6%	Facteur 4
		Chaudière gaz murale DS						
Maison rénovée	3	PAC air-eau DS		+2,7%	+8,4%	+5,0%	+6,8%	Facteur 4
		Chaudière gaz au sol DS						

Les solutions PAC et CET sont les meilleures pour le climat

Le calcul de l'empreinte carbone des solutions PAC et CET est sans équivoque, même en tenant compte des fuites de FF avec des hypothèses réalistes : **les solutions PAC et CET ont un impact bien plus faible que les solutions équivalentes au gaz, elles permettent une réduction importante des émissions, d'un facteur 3 à 4.**

Incidence d'une taxe HFC pour les PAC et CET

Selon les modalités envisagées, **les surcoûts associés à une taxe HFC, tant à l'investissement qu'en coûts globaux, sont significatifs (de +2,4% à +6,8% en coûts globaux), elle dégrade ainsi la compétitivité des solutions PAC et CET face aux solutions gaz** (qui sont comparables si l'on considère les coûts sur la durée de vie des équipements).

Perspectives

Il n'est pas évident que la taxe HFC puisse avoir une influence majeure sur l'accélération du passage à des FF alternatifs (il s'agit pourtant de l'objet même d'une telle taxe) : en effet, une politique à l'échelle européenne est déjà engagée pour réduire les émissions des HFC. Du fait de cette politique de quotas d'émissions, un enchérissement des FF est déjà constaté et la transition vers de nouveaux fluides est en cours. Ainsi une taxe HFC, qui a le même objet que la politique européenne de quotas, ne ferait que renchérir les coûts des solutions PAC et CET alors que la transition des PAC et CET vers des fluides frigorigènes moins émissifs est déjà engagée.

Si cette étude ne permet pas de se prononcer sur l'opportunité d'une taxe HFC dans sa globalité (car les PAC et CET ne représentent qu'une faible part des émissions dues aux HFC), **elle démontre qu'une taxe HFC viendrait dégrader significativement les coûts des solutions PAC et CET face aux solutions gaz alors que les PAC et CET ont un impact bien meilleur en termes d'émissions de GES.**