

DECARBONER LA PRODUCTION DE CHALEUR DANS L'HABITAT PRIVE

Contexte général – Retour d'expérience – Zoom sur les PAC Air/...

22 janvier 2026

Laurent HERLIN – Cerema Hauts-de-France
laurent.herlin@cerema.fr

ÉLÉMENTS DE CONTEXTE



LA DÉMARCHE « CARBONE-ÉNERGIE » APPLIQUÉE À TOUTES ÉTUDES

Prise en compte du changement climatique en plus du cadre réglementaire

(RT Existant, RE2020, Qualité de l'Air Intérieur, Acoustique, confort d'hier et d'été, etc)

Le changement climatique :

- **Le volet atténuation avec la SNBC** : limiter les causes du changement climatique, c'est-à-dire les émissions de GES
 1. **Sobriété** (réduire les consommations en énergie, en matériaux, en terres et en eau)
 2. **Efficacité** (améliorer les performances des systèmes)
 3. **Puits de carbone** (tout ce qui va capter du CO₂)
 4. **Energies renouvelables** (utilisation des ressources renouvelables)
- **Le volet adaptation avec la TRACC** : limiter les effets du changement climatique constitués par :
 - ✓ les pics de chaleur
 - ✓ le phénomène de retrait-gonflement des sols argileux
 - ✓ le risque accru d'inondation, etc.

A ne pas confondre avec :

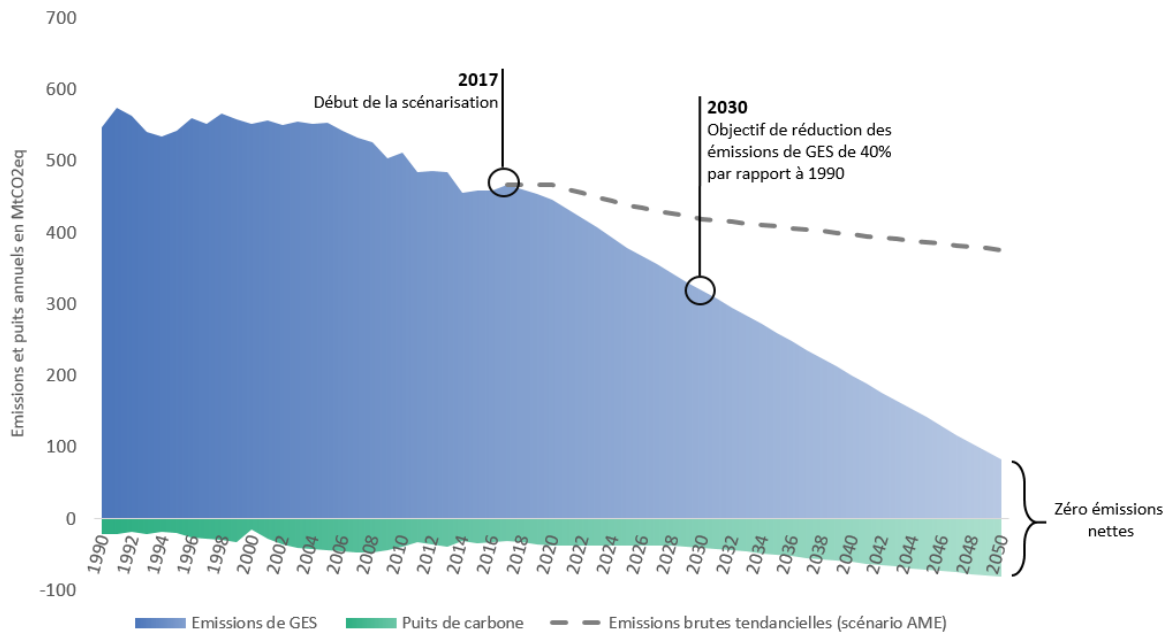
- **La sobriété énergétique** : Limiter les consommations en changeant les comportements
 - Régulation du système de chauffage, etc.
- **L'efficacité énergétique** : Diminuer les consommations à service rendu équivalent
 - Isolation thermique du bâtiment, etc.

Rapport de la Cour
des comptes de mars
2024:

Concilier l'atténuation
et l'adaptation aux
changements
climatiques

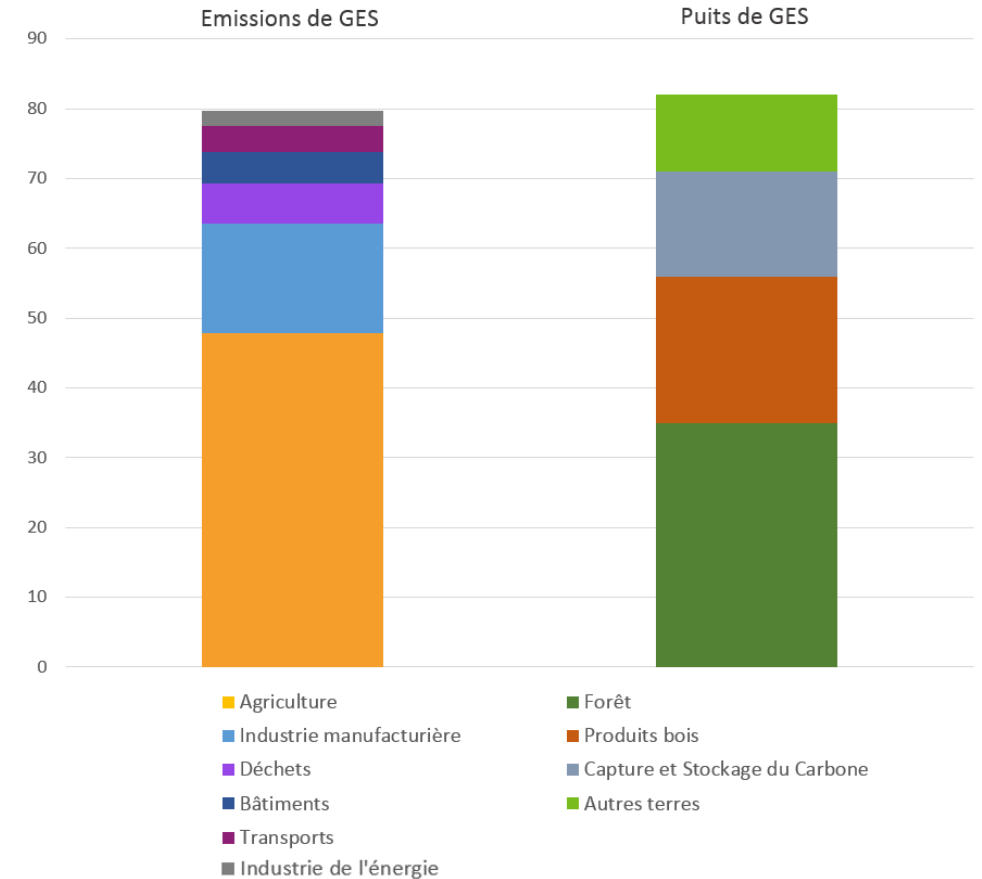
ZOOM SUR LA NEUTRALITÉ CARBONE

La neutralité carbone est l'équilibre entre les émissions de CO₂ et les puits de carbone



Evolution des émissions et des puits de GES sur le territoire national entre 2005 et 2050

Il est important de penser « Energie » et « Carbone » dans tous projets



Puits et émissions de gaz à effet de serre en France en 2050

ZOOM SUR « EQ CO₂ »

Gaz à effet de serre : qu'est-ce que l'« équivalent CO₂ » ?

Les gaz à effet de serre sont :

- le CO₂
- le CH₄ (méthane)
- le NO₂ (dioxyde d'azote)
- et des fluides frigorigènes

Chaque gaz à effet de serre n'a pas le même « impact » de réchauffement climatique

L'« équivalent CO₂ » est une unité créée par GIEC pour comparer les impacts de ces différents gaz à effet de serre en matière de réchauffement climatique et pouvoir cumuler leurs émissions.

Valeurs conventionnelles de gaz à effet de serre en « équivalent CO₂ »

Gaz	PRG, Potentiel de Réchauffement Global (eq CO ₂)	
	sur une période de 20 ans	sur une période de 100 ans
CO ₂ (dioxyde de carbone)	1	1
(CH ₄ méthane)	84	28
N ₂ O (protoxyde d'azote)	264	265
CF ₄ (tétrafluorure de carbone)	4880	6630
HFC-152a (1,1-difluoroéthane)	506	138

Par exemple, le GIEC considère qu'une tonne de méthane (CH₄) a un pouvoir de réchauffement global 28 fois plus élevé en moyenne qu'une tonne de CO₂ sur une période de temps de 100 ans

Source : www.connaissancedesenergies.org

LA TRACC

Trajectoire de réchauffement de Référence pour l'Adaptation au Changement Climatique

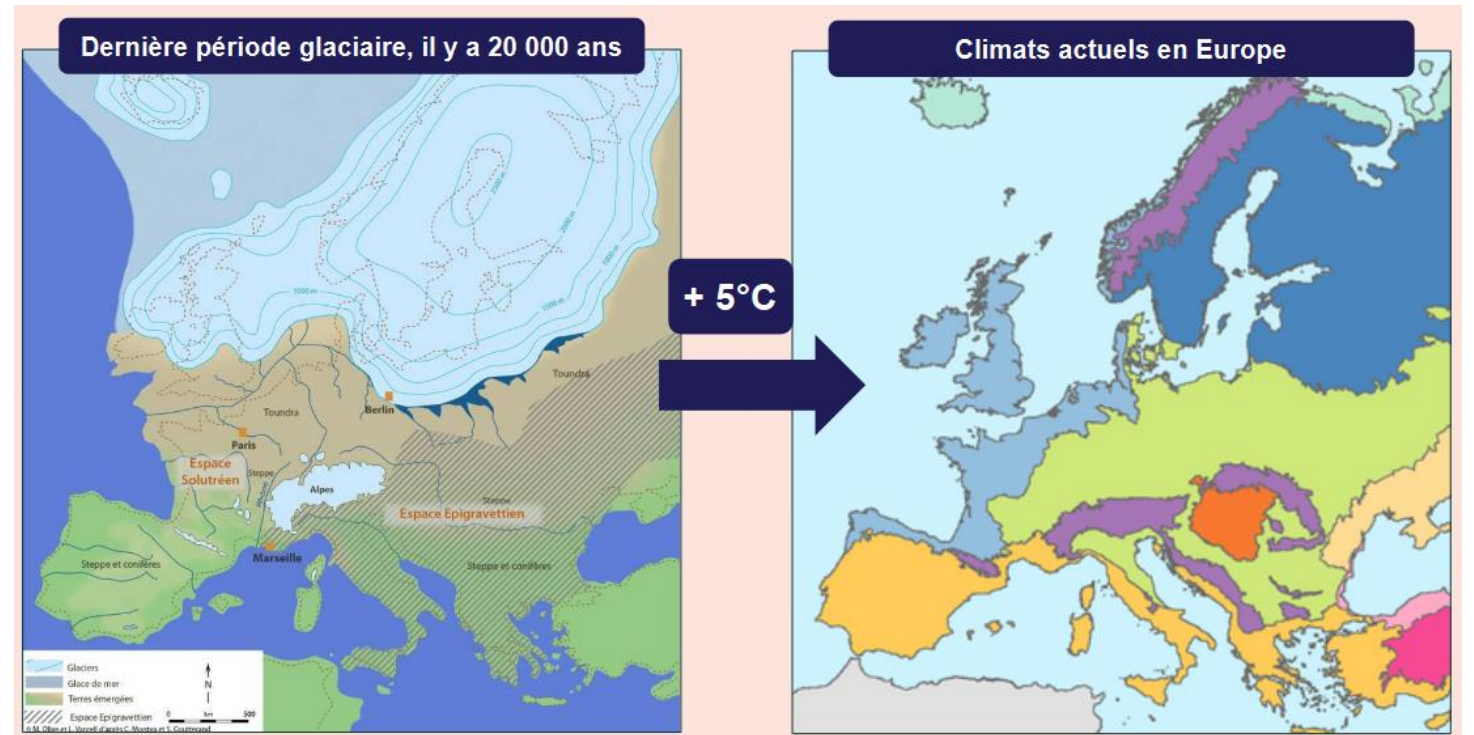
	Niveau de réchauffement pour la France	Niveau de réchauffement pour le monde
2030	+ 2 °C	+ 1,5 °C
2050	+ 2,7°C	+ 2 °C
2100	+ 4°C	+3 °C

Les bâtiments sont soumis aux aléas du changement climatique qui sont :

- Les vagues de chaleurs
- Les sécheresses
- Les fortes pluies
- Les tempêtes et vents extrêmes
- Les épisodes de grêle
- La montée du niveau de la mer et la submersion marine
- Les feux de forêts et les incendies de végétation

Aléas : phénomène résultant de facteurs ou de processus qui échappent, au moins en partie, au contrôle humain

Remarque : +5°C a été un changement entre la dernière période glaciaire et notre climat actuel



RETOUR D'EXPÉRIENCE



LES DIFFÉRENTS SYSTÈMES DE CHAUFFAGE / VECTEURS ÉNERGÉTIQUES ÉTUDIÉS D'UN POINT DE VUE CARBONE

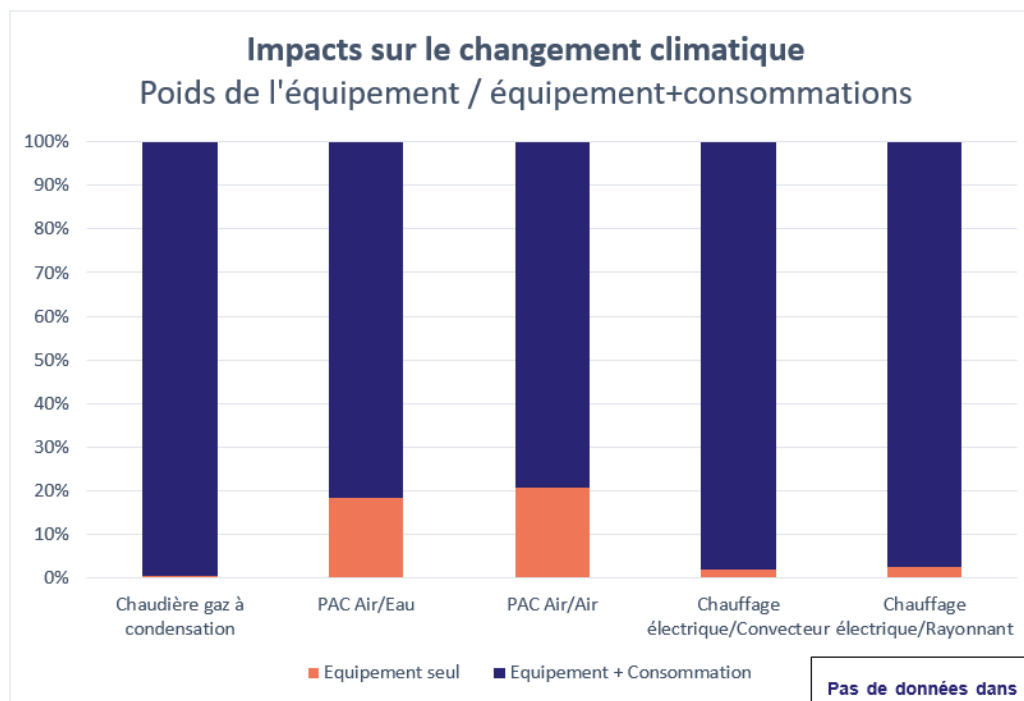
Les différents systèmes de chauffage étudiés sont :

- La chaudière à condensation
- Le chauffage urbain
- Le chauffage par pompe à chaleur (PAC)
- Le chauffage par convecteur et panneau rayonnant
- Le chauffage au bois (poêle à bûches et poêle à granulés)

Les vecteurs énergétiques associés :

- Le gaz
- Le réseau de chaleur urbain
- Le chauffage électrique (PAC)
- Le chauffage électrique
- Le chauffage biomasse

1ÈRE APPROCHE : IMPACT SUR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE DES ÉQUIPEMENTS SEULS, ET EN INCLUANT LA CONSOMMATION



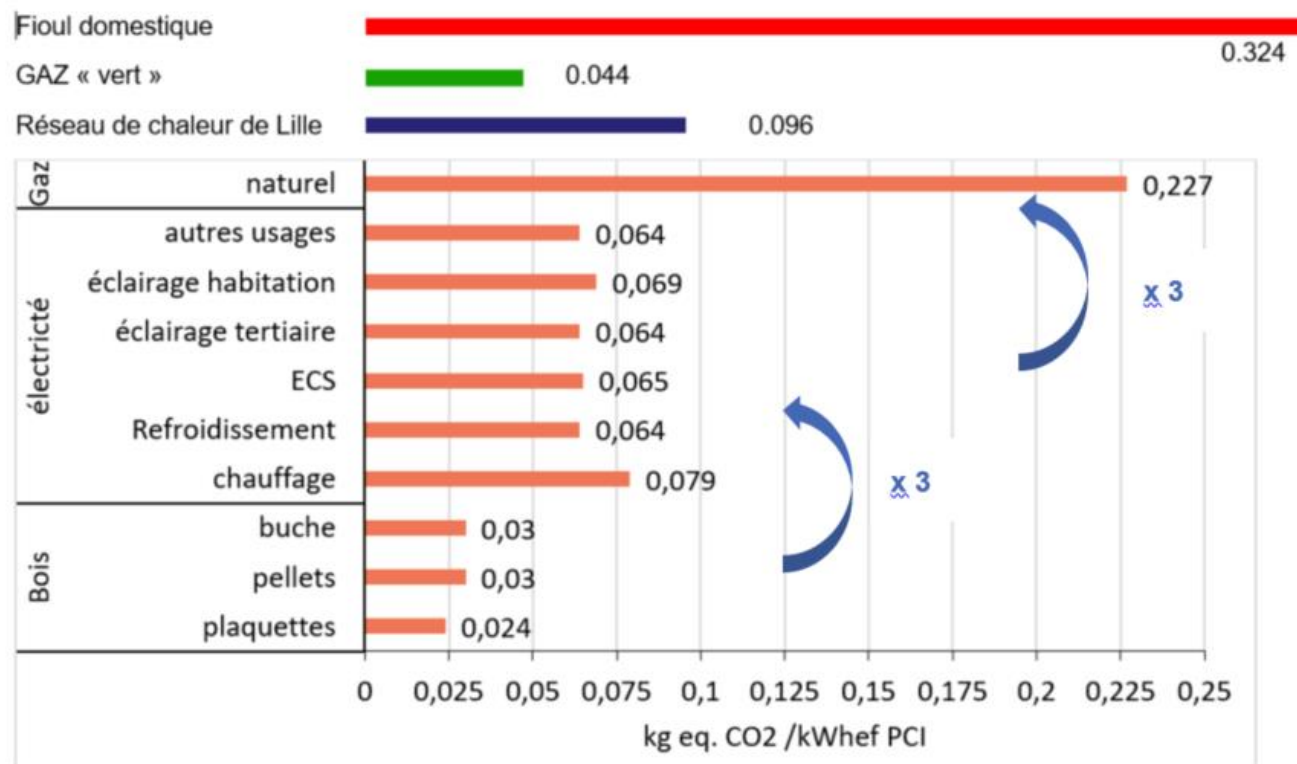
Données issues de la base **INIES** qui est la base de données environnementales et sanitaires de référence

Pas de données dans la base INIES pour le chauffage biomasse

C'est la consommation du fluide énergétique, sur 50 ans, qui est prépondérante concernant l'impact sur le changement climatique.
Changer d'équipement ou avoir plusieurs équipements a peu d'impact, sur 50 ans sur le changement climatique.

2ÈME APPROCHE : ANALYSE GLOBALE DES SYSTÈMES ÉNERGÉTIQUES (FACTEUR D'ÉMISSION DES FLUIDES ET RENDEMENT DES ÉQUIPEMENTS)

Le facteur d'émission des fluides



Le Pouvoir Calorifique Inférieur ou **PCI** est la quantité totale de chaleur dégagée par la combustion

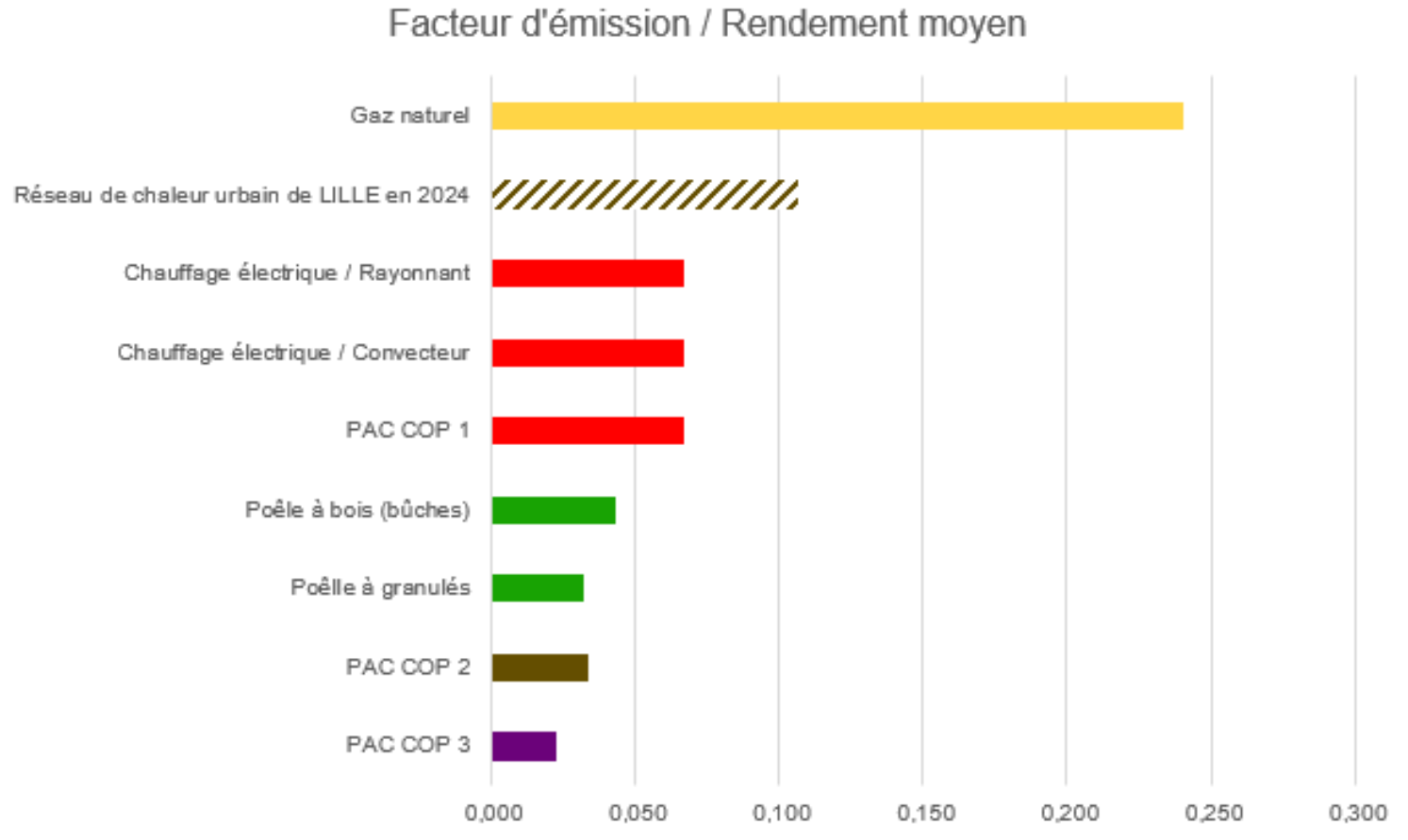
Les rendements moyens

- Le réseau de chaleur urbain de Lille : 90%
- Chaudière à condensation : 107%
- La PAC : 300% pour un COP de 3
- Chauffage électrique : 100%
- Poêles à granulés : 87%
- Poêles à bois (bûches) : 65%

Important : le RCU de Lille va se « verdir » dans les années à venir. Son impact carbone va donc diminuer.

Le seuil maximal réglementaire pour l'installation d'équipements neufs pour le chauffage ou la production d'eau chaude sanitaire dans les bâtiments d'habitation ou à usage professionnel est de **300 gCO₂eq/KWh PCI** (décret n°2022-8 du 5 janvier 2022)

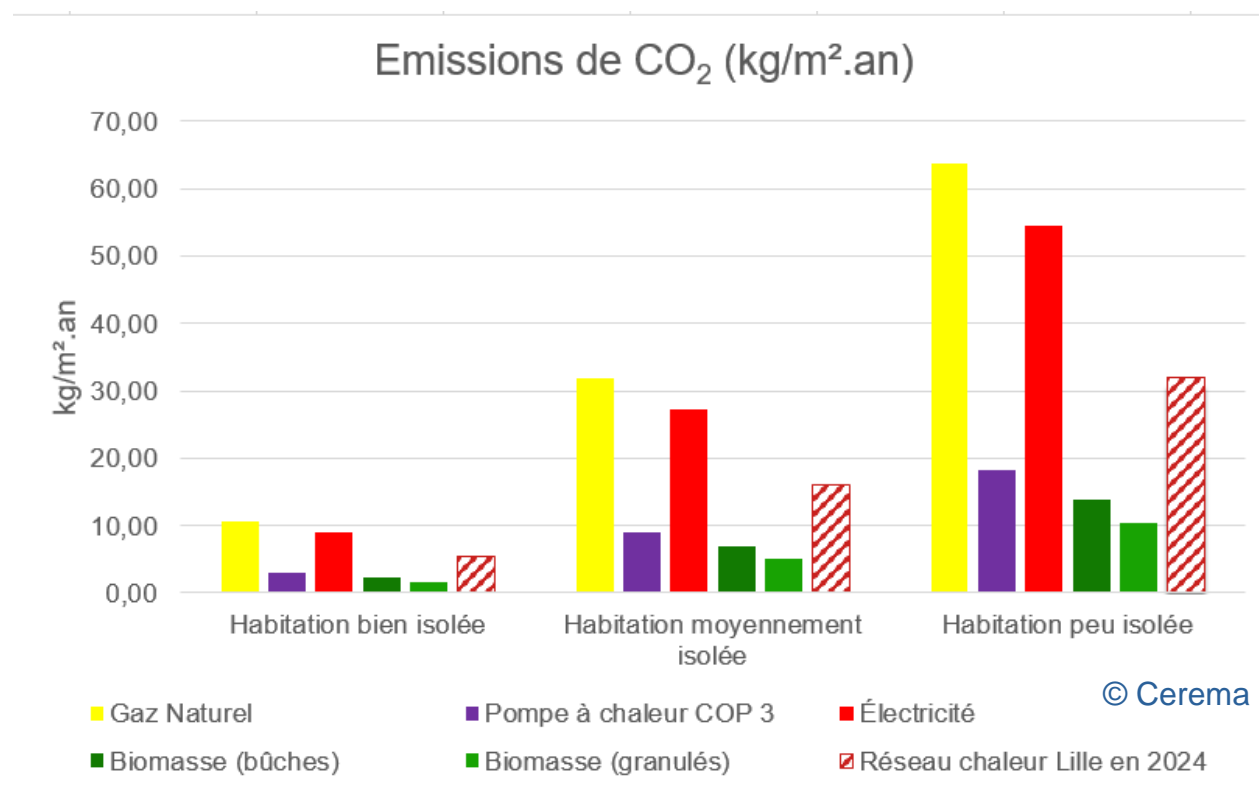
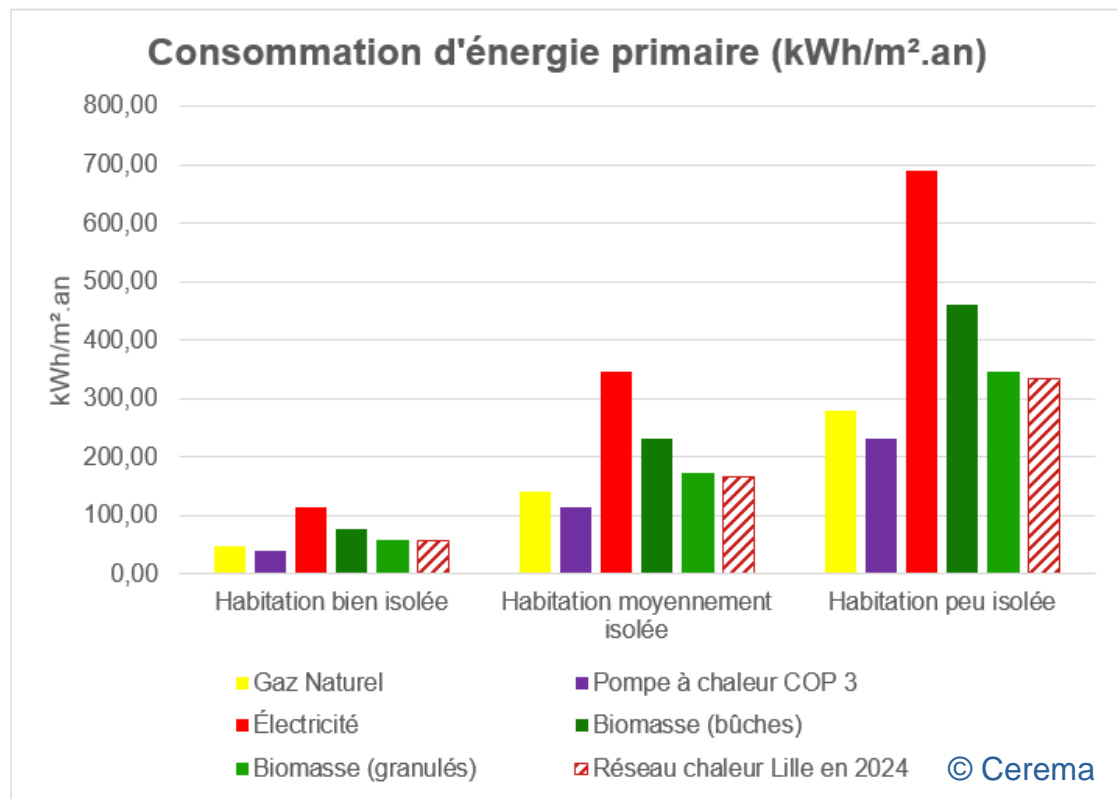
2^{ÈME} APPROCHE : ANALYSE GLOBALE DES SYSTÈMES ÉNERGÉTIQUES (FACTEUR D'ÉMISSION DES FLUIDES ET RENDEMENT DES ÉQUIPEMENTS)



- Le facteur d'émission du fluide comme le rendement de l'équipement est à prendre en compte

- Le niveau d'isolation du bâti est à prendre en compte puisque l'impact du fluide énergétique est proportionnel au besoin énergétique de l'habitation

3ÈME APPROCHE : ÉTIQUETTE ÉNERGÉTIQUE ET D'ÉMISSION DE GES, EN FONCTION DE L'ISOLATION DE L'HABITATION, ET DU VECTEUR ÉNERGÉTIQUE



Besoin de chauffage des habitations étudiés :

- Habitation isolée : 50 kWh/m².an de besoins.
- Habitation moyennement isolée : 150 kWh/m².an de besoins.
- Habitation peu isolée : 300 kWh/m².an de besoins.

CONCLUSION

Pour décarboner les systèmes de production de chaleur, il faut avant tout :

- **D'abord baisser les besoins**
 - ✓ En limitant les surfaces d'usage
 - ✓ En améliorant la performance de l'enveloppe
 - ❖ En utilisant si possible des isolants biosourcés posés selon les règles de l'art
 - ✓ En améliorant la performance des systèmes
- **Ensuite choisir les vecteurs énergétiques les moins carbonés**
 - ✓ Bois (en prenant en compte les enjeux qualité de l'air et disponibilité de la ressource)
 - ✓ Électricité

QUELQUES ÉLÉMENTS CLÉS

- **L'isolation est le facteur déterminant**
- **C'est la consommation du fluide, sur 50 ans, qui est prépondérante** concernant l'impact sur le changement climatique par rapport à l'équipement
- **Changer d'équipement ou avoir plusieurs équipements a peu d'impact, sur 50 ans sur le changement climatique.**
- Le facteur d'émission du fluide comme le rendement de l'équipement est à prendre en compte. Néanmoins, il reste toujours essentiel de baisser les besoins, c'est-à-dire d'isoler l'habitation
- **Un habitat bien isolée permet d'obtenir de meilleures performances (DPE logement), quelle que soit la solution de chauffage choisie.**
- **Le chauffage au bois pose d'autres enjeux : l'impact sur la qualité de l'air et la disponibilité de la ressource.**

ZOOM SUR LES PAC AIR/...

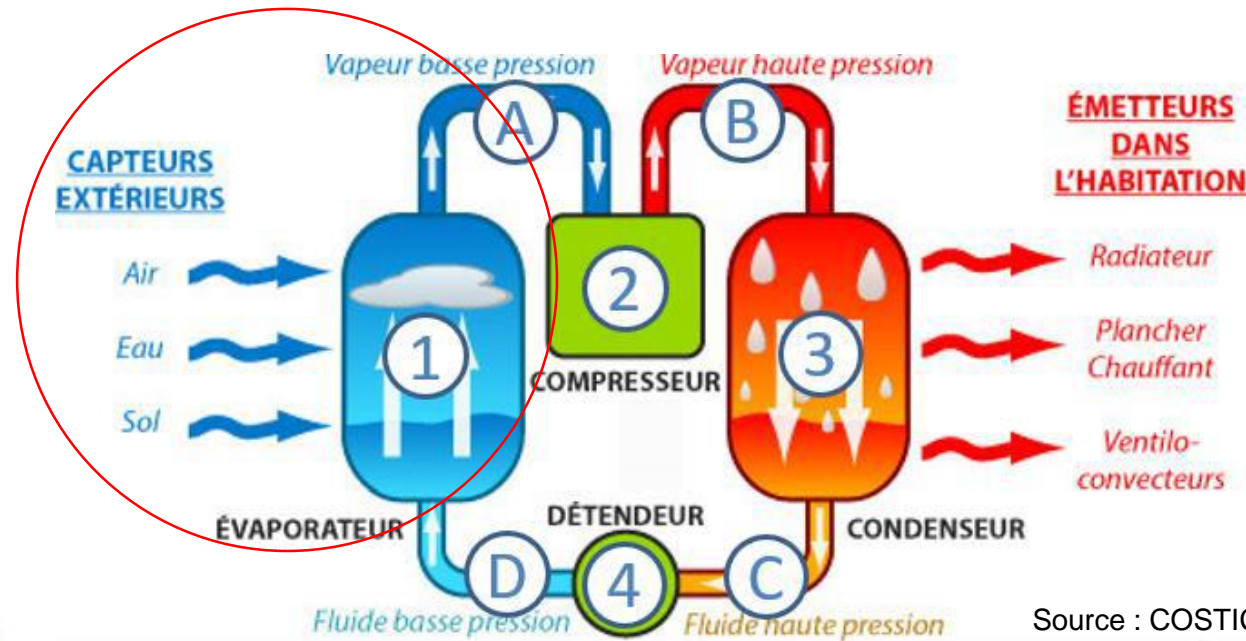


ZOOM SUR LES POMPES A CHALEURS AIR/...

Principes thermiques

- L'énergie thermique circule toujours de l'objet le plus chaud vers l'objet le plus froid, jusqu'à atteindre l'équilibre thermique
- La température d'ébullition des fluides frigorigènes est en dessous de -20°C (pour l'eau, elle est de 100°C)

Cela explique que l'on peut récupérer des calories dans l'air extérieur quand « il fait froid »



Source : COSTIC

ZOOM SUR LES POMPES A CHALEURS AIR/...

Les performances énergétiques des PAC, comme tout équipement, sont régis par des normes

Le coefficient de performance (COP) des PAC, rapport entre l'énergie thermique restitué (chaleur produite dans un habitat) et l'énergie électrique consommée par la machine pour la produire, est mesuré dans des conditions fixes définis dans [la norme NF EN 14511](#) :

En mode chauffage, la température extérieure d'entrée est de +7°C pour une température intérieure donnée de 20°C (PAC Air/Air), ou une température de l'eau de 35°C (PAC Air/Eau basse température) ou de 55°C (PAC Air/Eau haute température).

Le COP « vendu » ou COP « constructeur » est donc optimum en intersaison. Ce qui explique que les performances des PAC diminuent lorsque la température extérieure diminue.

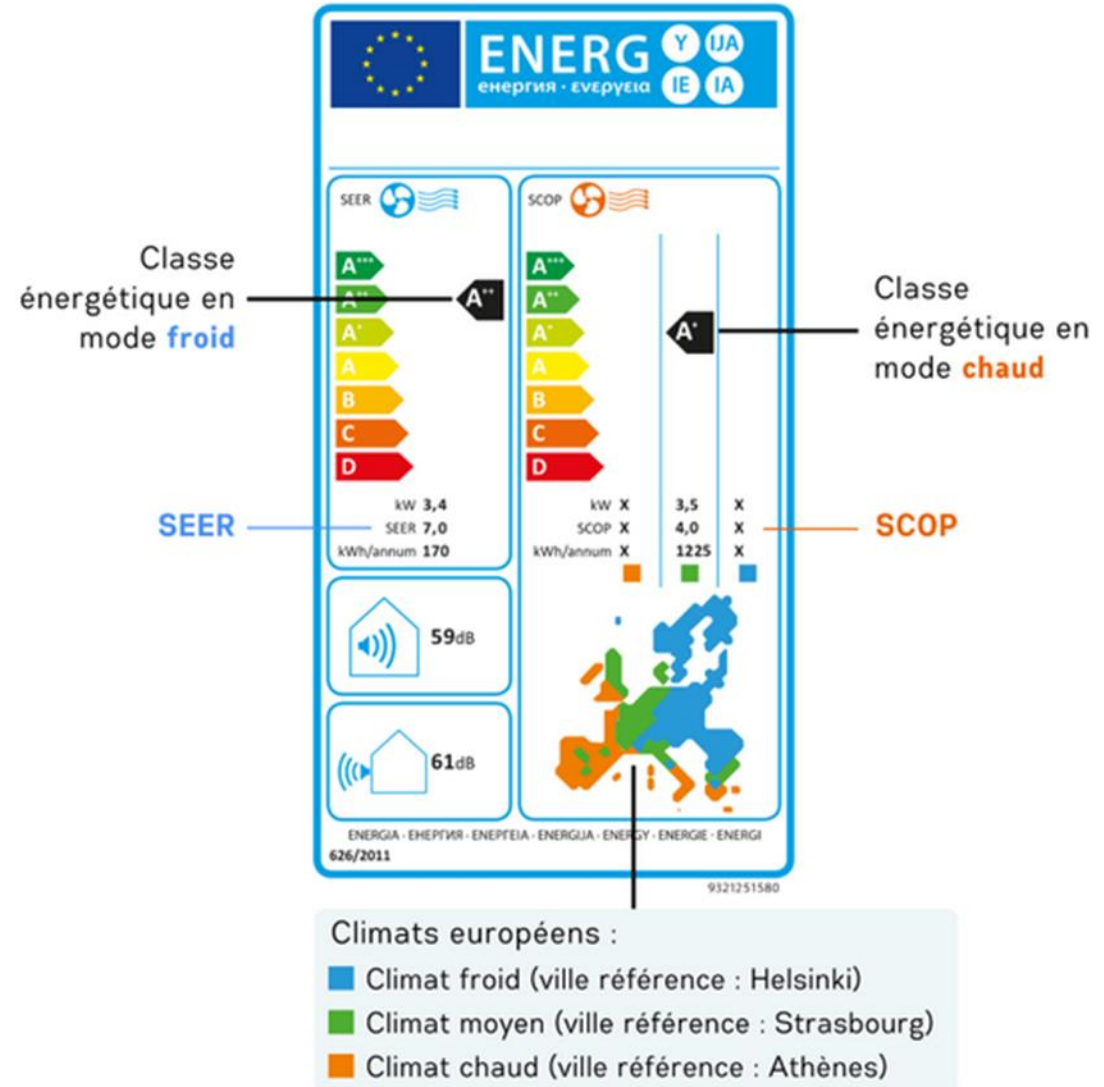
ZOOM SUR LES POMPES A CHALEURS AIR/...

Pour avoir une représentation de la performance d'une PAC sur une saison de chauffage complète, il faut se référer au **SCOP** (Seasonal Coefficient of Performance), régit par la norme **NF EN 14825**

Cette norme prend comme températures extérieures d'essais -7°C , $+2^{\circ}\text{C}$, $+7^{\circ}\text{C}$ et $+12^{\circ}\text{C}$. Cette norme prend trois climats de référence pour toute l'Europe :

- Strasbourg en France pour le climat tempéré,
- Helsinki en Finlande pour le climat froid
- et Athènes en Grèce pour le climat chaud.

Le SCOP n'étant qu'une moyenne sur la saison de chauffe, elle permet avant tout de comparer les équipements entre-eux.



ZOOM SUR LES POMPES A CHALEURS AIR/... PRECONISATIONS

Etat des lieux du bâti et des systèmes (*valable pour tous systèmes*)

- Toujours associer la performance de l'enveloppe du bâtiment avec la performance du système de chauffage ou de refroidissement
- Etat du **bâti** (isolation)
- Etat des systèmes / **Emetteurs**
 - ✓ *Emetteurs à basse ou à haute température (est-ce compatible avec la PAC?)*
 - ✓ *Vétusté*
 - ✓ *Désembouage à réaliser?*
- Phasage de travaux
 - ✓ *Attention au sur-dimensionnement : surcoût d'investissement, mauvais fonctionnement de l'équipement avec une baisse des performances et de la durée de vie (valable pour tout équipement).*

ZOOM SUR LES POMPES A CHALEURS AIR/... PRECONISATIONS

Dimensionnement de la PAC / PAC Hybride

- Etude thermique/simulation thermique dynamique (STD) à réaliser
- Plusieurs critères de choix possibles:
 - ❖ Coût global,
 - ❖ Taux de couverture (pourcentage de déperditions),
 - ❖ Facture énergétique,
 - ❖ Décarbonation.
- Dimensionnement des émetteurs (nombres et surfaces en fonction de la température de l'eau qui circule)

ZOOM SUR LES POMPES A CHALEURS AIR/... PRECONISATIONS

Volet visuel / Intégration paysagère

- Acceptabilité visuelle
- Contraintes d'urbanisme
- Périmètre classé

Volet acoustique

- Etude acoustique à réaliser (coût)
- Surcoûts liés à la protection acoustique

Installation de la PAC (contrat d'installation)

- Les PAC sont des équipements « plus délicats » que d'autres équipements comme les chaudières
- **Plusieurs réglages de la PAC sont nécessaires sur site (6 mois à 1 an de suivi)**
- Importance du contrat d'installation (*ce qu'il contient / ex: réglage de la loi d'eau*)

Entretien de la PAC

- Importance du contrat d'entretien (*ce qu'il contient / ex: recherche de fuite, loi d'eau*)



POUR ALLER PLUS LOIN...



POUR ALLER PLUS LOIN...

S'assurer de la performance réelle des travaux + équipements

- Commissionnement
- Contrat de performance énergétique (CPE)
- Marché Globaux de Performance (MGP) associent l'exploitation ou la maintenance à la réalisation de prestations pour atteindre des objectifs de performance mesurables (*cf partie II.5.3) de la stratégie achat sur les PAC*)
- Marché Globaux de Performance Energétique à Paiement Différé (MGPEPD)

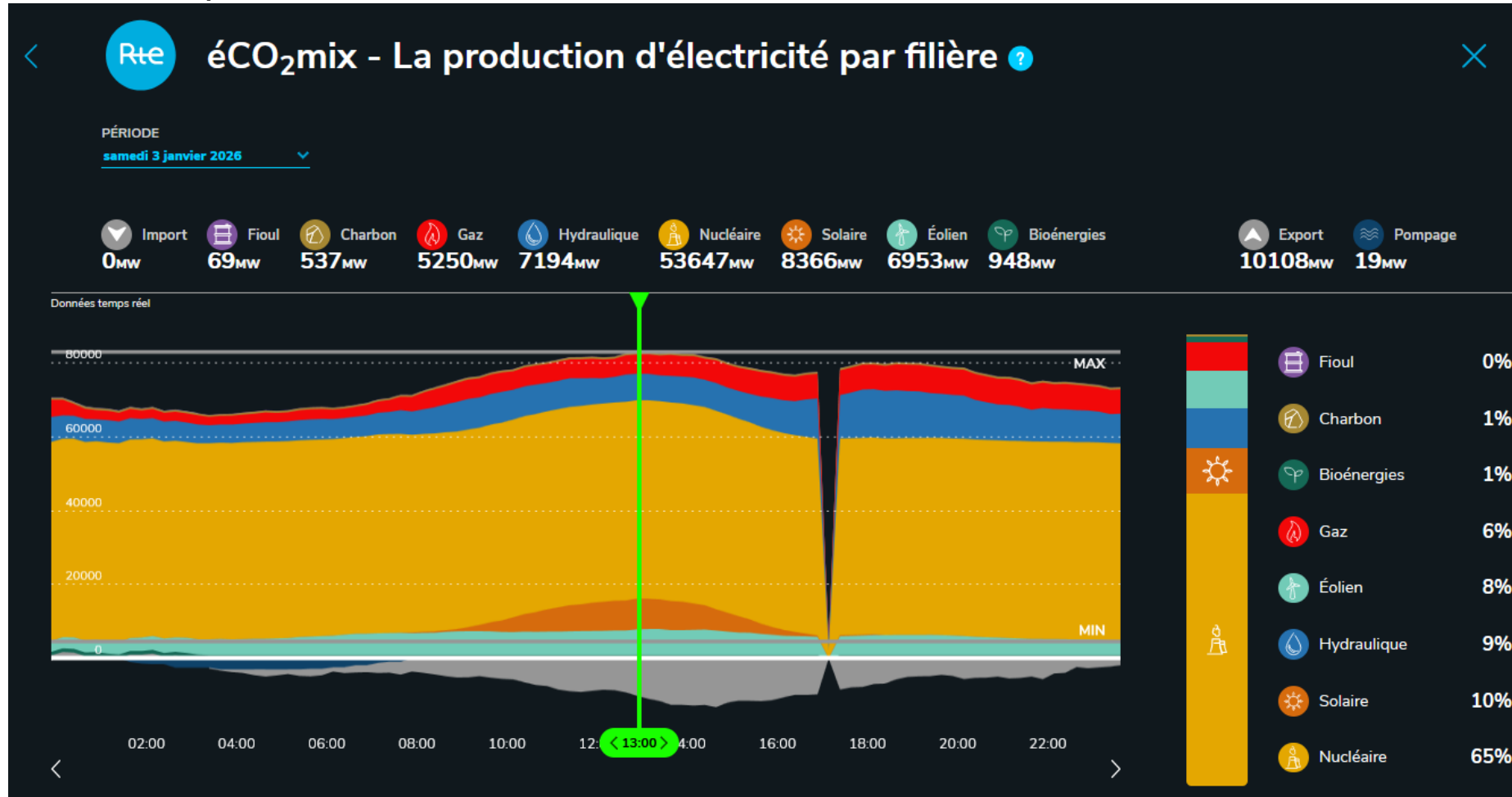
Systeme hybride :

- « L'hybridation de plusieurs équipements » engendre :
 - plus de coût d'investissement,
 - plus de coût d'abonnement,
 - plus de coût de maintenance et d'entretien,
 - et plus de technologies à gérer.

Mais les systèmes hybrides sont intéressants pour effacer les périodes de demande de pointe en électricité qui est, dans certaines périodes, en partie carbonnée.

POUR ALLER PLUS LOIN...

Le site www.rte-france.com dont la partie « éCO2mix » nous donne toutes les données de l'électricité en temps réel :



ZOOM SUR LES FLUIDES FRIGORIGÈNES



ZOOM SUR LES FLUIDES FRIGORIGÈNES

Les fluides frigorigènes classiquement utilisés dans les climatiseurs et pompes à chaleur sont de très puissants gaz à effet de serre : **leur impact peut être de plusieurs centaines ou milliers de fois supérieur à la quantité équivalente de CO₂.**

		Logement	Tertiaire	Total
Taux de climatisation 2020		25 %	40 %	
Consommations énergétiques (TWh - 2020)		4,9 TWh	10,6 TWh	15,5 TWh
Emissions de CO ₂ (Millions de tonnes)	Associées aux consommations énergétiques	0,3 Mteq CO ₂	0,6 Mteq CO ₂	0,9 Mteq CO ₂
	Associées aux gaz frigorigènes	1,8 Mteq CO ₂	1,7 Mteq CO ₂	3,5 Mteq CO ₂
	Totales	2,1 Mteq CO ₂	2,3 Mteq CO ₂	4,4 Mteq CO ₂

80%

Tableau 1: Diffusion de la climatisation et son impact climatique en 2020

Source : Enquête et modélisation – ADEME – CODA Stratégies

Nota : le taux de climatisation pour le tertiaire correspond aux taux des différents secteurs, pondérés par leur surface respective

C'est pourquoi la réglementation interdit au fur et à mesure (2025, 2027 et 2030) certains fluides frigorigènes.

ZOOM SUR LES FLUIDES FRIGORIGÈNES

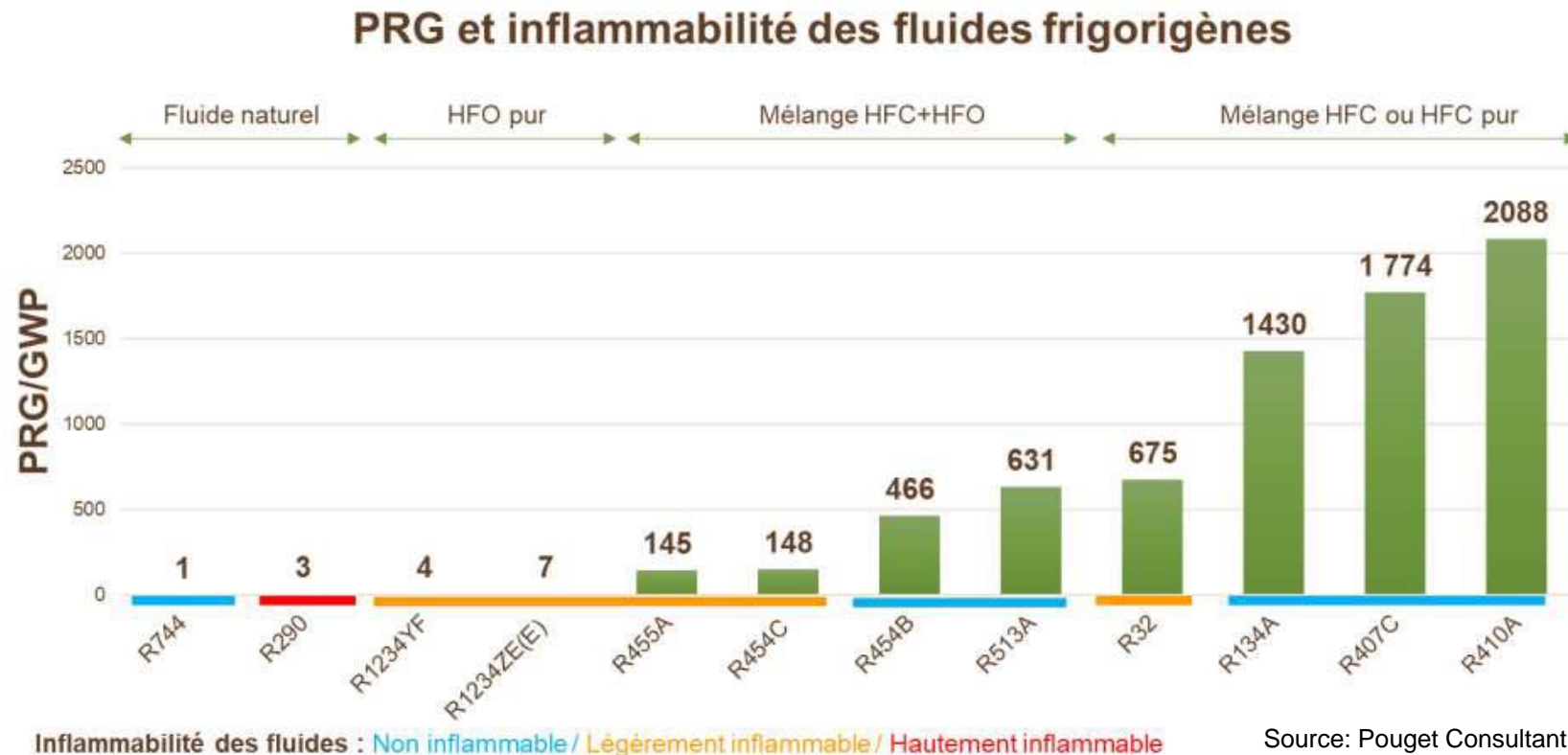
Le classement des fluides frigorigènes:

Environnemental:

- Potentiel de réchauffement global (GES comparé au CO₂)
- Potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone

Sécurité:

- Toxicité
- Inflammabilité



Source: Pouget Consultant

EN CONCLUSION

- **Prise en compte pour tous projets :**

- ❖ le changement climatique (atténuation et adaptation au changement climatique) en plus du cadre réglementaire. *C'est donc penser « énergie » et « carbone ».*

- **Sur le bâti:**

- ❖ Réduire et optimiser les besoins de chauffage, de climatisation, d'éclairage par la conception du bâtiment ou la rénovation
- ❖ Utilisation de matériaux biosourcés

- **Sur les équipements:**

- ❖ Choisir des équipements et des systèmes performants et adaptés
- ❖ Introduire des énergies renouvelables de manière optimisée

- **Sur l'usages:**

- ❖ Utiliser et gérer de manière optimale les équipements et systèmes mis en place



Merci de votre attention