

# Notes techniques et réflexions

## Optimisation de l'utilisation des pompes à chaleur en France d'ici 2030

**Auteur : Olivier SIDLER**

**Septembre 2023**

*Consultant en énergétique*

**26160 FELINES S/RIMANDOULE**

*email : [olivier.sidler@posteo.net](mailto:olivier.sidler@posteo.net)*

## Optimisation de l'utilisation des pompes à chaleur en France d'ici 2030

En réponse à la situation créée par la guerre en Ukraine, le gouvernement a présenté le 16 mars 2022 son plan de résilience<sup>1</sup> qui tentait de répondre aux urgences consécutives à l'arrêt des livraisons de pétrole et surtout de gaz russes. On peut lire qu'« Il s'agit notamment de réduire rapidement notre consommation en gaz et notre consommation énergétique, avec une amélioration de l'efficacité des aides pour la rénovation énergétique des logements **pour davantage inciter les ménages les plus modestes à remplacer leur chaudière gaz par une pompe à chaleur (y compris hybrides) ou une chaudière biomasse** ».

Le message était donc clair : la vocation de la pompe à chaleur, en situation d'urgence, va être de se substituer à des chaudières gaz et fioul, parce que cela va vite et que c'est beaucoup moins cher qu'une rénovation. Des aides substantielles étant prévues pour accompagner ces annonces, le risque était donc clair, au printemps 2022, que la France décide de s'engager dans une politique hasardeuse de soutien massif des pompes à chaleur. Car une pompe à chaleur ne fonctionne pas comme une chaudière et vouloir faire l'économie de la réflexion qu'impose cette différence pouvait conduire à de sérieux ennuis.

Au mois d'avril 2022 nous avons donc commencé à élaborer un outil de simulation du parc de logements et des effets de la pénétration des pompes à chaleur dans ce parc. Dès le mois d'août nous avons communiqué sur les conclusions de cette première étude. Il ressortait principalement que :

- **Il était impossible de se borner à remplacer une chaudière par une PAC « classique 55°C » dans un bâtiment datant d'avant 1975**, à cause du niveau de température nécessaire aux émetteurs (plus de 80°C).
- A défaut de rénover préalablement les bâtiments, la mise en œuvre d'une PAC « classique 55°C » supposait de disposer ou de **mettre en place une installation de chauffage complémentaire**. Cela pouvait être des convecteurs électriques, le fonctionnement de la PAC « en relève de la chaudière existante », une PAC hybride (c'est-à-dire une PAC et une chaudière placées sous le même capot). Mais on pouvait aussi utiliser directement une PAC moyenne température, sans rénover, sans pour autant avoir la garantie que cela fonctionne.
- Ces solutions **réduisaient insuffisamment les émissions de GES**, mais surtout elles génèrent de nouvelles consommations d'électricité et des puissances appelées très problématiques par leur importance. Elles ne constituaient donc pas une bonne réponse pour la rénovation des bâtiments, en plus d'être très coûteuses.
- En revanche, si on rénoverait préalablement les bâtiments pour faire en sorte que la température de départ vers les émetteurs en place ne soit plus 80°C mais 45°C, les PAC fonctionnaient alors dans des conditions exceptionnelles conduisant à des émissions de GES, des consommations et des appels de puissance extrêmement faibles (pour les logements de classes F et G chauffés par hydrocarbure, on observait une **division proche de 100 des émissions de GES et de 15 des consommations d'énergie primaire**).

---

<sup>1</sup> [https://www.gouvernement.fr/upload/media/default/0001/01/2022\\_03\\_dossier\\_de\\_presse\\_-\\_plan\\_de\\_resilience\\_economique\\_et\\_sociale\\_-\\_16.03.2022.pdf](https://www.gouvernement.fr/upload/media/default/0001/01/2022_03_dossier_de_presse_-_plan_de_resilience_economique_et_sociale_-_16.03.2022.pdf)

En faisant un bilan sur l'ensemble des logements de classes F & G chauffés au gaz et au fioul dans lesquels on mettrait en place, sans rénovation, une PAC moyenne température, on constatait que la puissance de pointe nécessaire était de 9,4 GWe (l'équivalent de 6 EPR) et que la consommation d'électricité était pratiquement de 20 TWh, ce qui rendait l'opération « délicate ».

<b>Bilan pour des PAC air/eau</b>	PAC hybride	PAC moyenne température	Rénovation+PAC classique (55°C)
Puissance pointe [GWe]	0	9,4	1,2
Consommation d'électricité [TWh]	8,6	19,8	1,3
Emissions de GES [M t CO2]	7,2	2,5	0,2
Réduction des GES [%]	48,6%	82,3%	98,8%
Nombre d'équivalents EPR nécessaires	0	5,9	0,725
<b>Impacts du remplacement de toutes les chaudières gaz et fioul des logements de classes F &amp; G par des PAC</b>			

Si on se penchait sur la baisse de la facture de chauffage des différentes solutions, elle était de 12% pour la PAC hybride, de 27 % pour la PAC moyenne température et de 83% pour la PAC classique associée à une rénovation. En d'autres termes, seule cette dernière solution permettait d'éradiquer la précarité énergétique. Elle aurait aussi le mérite d'exiger très peu de puissance électrique supplémentaire (70 % de la puissance d'un EPR) et consommerait moins de 10 % de la production d'un seul EPR.

Le CLER et négaWatt ont alors produit un document abordant tous les aspects de cette politique et ont largement communiqué sur le sujet. Evidemment très critiquée de toute part, que ce soit par l'AFPAC ou par le gouvernement, voire même par EDF, cette communication a néanmoins porté ses fruits, principalement dans les cabinets ministériels et à RTE. Chacun a réalisé que si la PAC était effectivement un élément essentiel de la transition énergétique, cela ne pouvait pas être simplement en la substituant à des chaudières gaz.

Au printemps 2023 le SGPE a publié des documents mettant en avant une approche « Efficacité » et une approche « Performance » construites sur la pénétration des PAC pour la première et sur celle de la rénovation du bâti pour la seconde. Apparaît alors la possibilité d'avoir des **aides dédiées aux changements de PAC seules pour tous les logements sauf passoires (« et peut-être bientôt les classes E »)**. En d'autres termes les PAC seraient réservées aux logements de classes C et D (qui sont un peu isolés), voire éventuellement E, mais plus aux logements de classes F et G (qui ne sont pas isolés). Ce changement de cap témoigne qu'une partie des messages envoyés par notre première étude, à savoir que l'on ne doit pas mettre une PAC dans un logement non rénové, a bien été entendue, mais en revanche cette interprétation pourrait conduire à une situation catastrophique si elle était suivie d'effets.

Nous nous sommes alors légitimement interrogés sur la pertinence de la stratégie des pouvoirs publics privilégiant désormais le remplacement des chaudières gaz et fioul par des PAC moyenne température, sans isolation ou complément d'isolation préalable des logements, et uniquement pour ceux qui étaient situés en classes C à E. Dans une note du 8/6/2023<sup>2</sup>, nous avons estimé que si 7,8 M de PAC étaient mises en place selon ces principes d'ici 2030, **la puissance électrique de pointe supplémentaire serait de 13,6 GWe** (soit l'équivalent de 9 EPR à construire....d'ici 2030), l'augmentation de consommation électrique serait de 35 TWh (soit 4 EPR), la

<sup>2</sup> « Evaluation de la stratégie « Efficacité » du SGPE – Période 2024-2030 » - O.Sidler – 8/6/2023

réduction de GES ne serait que de 18,4 MtCO<sub>2</sub> (soit 28% de la totalité des émissions du parc résidentiel et tertiaire), le coût serait de 157 Md €, soit 22,5 Md €/an, et le coût de la tonne de CO<sub>2</sub> évitée de 571 € alors qu'elle se négocie au mieux à 100 € sur le marché du carbone. Enfin, pour le particulier, la facture de chauffage ne serait réduite que de 27 à 30 % selon la classe énergétique du logement, ce qui ne permettrait pas d'éradiquer la précarité énergétique.

Désignation	Classes	C		D		E		Total	Unités
	Energie	Gaz	Fioul	Gaz	Fioul	Gaz	Fioul		
Réduction conso gaz(TWh/an)		16,13	0	26,68	0	38,11	0	80,93	TWh/an
Réduction conso fioul (TWh/an)		0	0,28	0	2,05	0	11,22	13,55	TWh/an
Conso supplémentaire élec (TWh/an)		6,05	0,10	10,01	0,73	14,29	3,97	35,15	TWh/an
Puissance de pointe supplémentaire (GWe)		2,44	0,04	3,86	0,30	5,36	1,58	13,57	GWe
Réduction des EGES (M t CO <sub>2</sub> /an)		2,91	0,08	4,81	0,57	6,86	3,14	18,37	M t CO <sub>2</sub> /an
Coût d'investissement total (Md €)		45,4	0,8	44,1	3,4	49,2	14,5	157,38	Md €
Coût de la tonne de CO <sub>2</sub> économisée (€)		1 042	671	612	394	478	308	Globale : 571	€

***Evaluation d'une stratégie de mise en place d'une PAC MT dans tous les logements de classes C à E chauffés au gaz ou au fioul (juin 2023)***

Mais comme le SGPE propose de développer à la fois la rénovation des logements et le développement des PAC sans faire de lien entre les deux, **nous avons repris fin juillet 2023 les hypothèses présentées par le SGPE** le 22 mai 2023 lors du Conseil national de la transition écologique afin de voir à quoi pourrait conduire une stratégie cohérente associant rénovation et développement des PAC. Selon le SGPE, l'objectif est d'atteindre dans le secteur résidentiel une réduction des émissions de GES entre 2022 et 2030 d'environ 20 à 21 MtCO<sub>2</sub>. Pour cela il est prévu :

- 1 913 500 rénovations « Performance ambitieux » dont nous avons supposé qu'elles conduisaient à une réduction des besoins d'un facteur 3 ou 4 et à une température dans les émetteurs de 45°C permettant de les associer à des PAC classiques 55°C,
- 1 975 500 rénovations « Performance prudent » dont nous avons supposé qu'elles conduisaient à une réduction d'un facteur 2 des puissances et des consommations de chauffage, sans pour autant permettre d'atteindre des températures d'émission inférieures à 55°C, ce qui impliquait l'usage de PAC moyenne température (PAC MT).
- d'équiper, d'ici 2030, 7 869 000 logements de PAC, sans préciser la nature de celles-ci.

De nombreux scénarios sont possibles à partir de ces éléments. Selon les options choisies on peut tendre vers un résultat minimisant la pointe électrique ou maximisant la réduction des émissions de GES.

**1-Scénario maximisant la réduction des GES**

Ce scénario n'utilise volontairement qu'un seul vecteur : les PAC. Tous les autres vecteurs émettant des GES, la PAC est privilégiée afin de maximiser la réduction des GES. En fonction de leur technologie, celles-ci sont destinées à trois usages :

- les PAC classiques (55°C), relativement bon marché, sont associées aux logements de classes F & G fortement rénovés (rénovations « Performance ambitieux »),

- les PAC moyenne température sont associées aux logements de classes F & G moyennement rénovés (rénovations « Performance prudence »), et aux logements de classes C & D chauffés au gaz et au fioul mais pas rénovés,
- les PAC air/air, pourtant plus subventionnées par l'Etat (car elles servent essentiellement à faire de la climatisation), sont utilisées pour remplacer les convecteurs électriques dans les logements qui en sont dotés. Ceci nécessite de mettre en place une installation de chauffage dans chaque logement comprenant un ventilo-convecteur fonctionnant en détente directe dans chaque pièce dimensionné largement afin de permettre l'utilisation d'une température de 45°C conduisant à une valeur plus élevée du COP.

Les résultats sont les suivants :

Solutions	Nombre de logements	Eco GES MtCO2	Pointe GWe	E finale TWh
Rénos Perf Ambitieux + PAC BT ds logts F&G gaz et fioul	1 913 500	9,25	0,78	0,89
Rénos Perf Prudent + PAC MT ds logts F&G gaz et fioul	954 573	4,23	1,57	3,52
Rénos Perf Prudent + PAC air/air tous logts chauffés Joule	1 020 927	0,30	-1,65	-2,4
PAC sans réno ds logts C et D fioul	275 048	0,86	0,52	1,09
PAC sans réno ds logts C et D gaz	3 704 952	6,41	6,25	13,34
<b>Totaux</b>	<b>7 869 000</b>	<b>21,05</b>	<b>7,47</b>	<b>16,43</b>
Nombre de PAC basse température	1 913 500			
Nbre PAC moyenne température	4 934 573			
Nbre de PAC air/air	1 020 927			
Total PAC	7 869 000			
Réno Performance ambition	1 913 500			
Réno Performance prudence	1 975 500			
Nombre de logts au fioul supprimés	1 555 809	62,0%		
Nombre de logts au gaz supprimés	5 292 264	49,3%		

**Tableau récapitulatif du scénario « Forte réduction des GES » à partir des hypothèses du SGPE**

Sur la période allant jusqu'en 2030, ce scénario se caractérise par :

- la rénovation des logements de classes F & G chauffés au gaz et au fioul qui absorbent la totalité des rénovations « Ambition » (1 913 500) équipées de PAC classiques (55°C), le reste bénéficiant des rénovations « Prudence » (954 573) équipées de PAC MT,
- le solde des rénovations « Prudence » (1 975 500 – 954 573 = 1 020 927) étant consacré aux logements chauffés par convecteurs électriques qui sont ensuite équipés de PAC air/air,
- le solde des PAC (7 869 000 - 1 923 500 – 1 020 927 = 4 934 573) est enfin destiné à la totalité des logements de classes C et D chauffés au fioul, le reste (3 704 952) étant placé sur une partie des logements de classes C & D chauffés au gaz.

Cette répartition est évidemment théorique et la réalité amènera quelques nuances dans la mise en œuvre de ce plan....

La réduction des émissions de GES de ce scénario est de **21 Mt CO2**, soit légèrement plus que les objectifs du SGPE. Mais il conduit aussi à une pointe électrique de **7,5 GWe**. On observe

également que, pour les logements de classes C & D chauffés au gaz et ne bénéficiant que de la mise en place d'une PAC (sans rénovation du bâti), la consommation d'électricité est considérable puisqu'elle s'élève à 13,3 TWh sur un total de 16,4 TWh. **Associer une rénovation au développement des PAC apparaît vraiment comme la seule stratégie efficace.** Sous couvert d'être moins chères, toutes les autres solutions conduiront à des coûts beaucoup plus élevés si on envisage l'ensemble des dépenses et des investissements, notamment de la production d'électricité, et n'apporteront aucune réponse à la question essentielle de la précarité énergétique.

Il est à noter qu'on aurait pu privilégier l'équipement de PAC (sans rénovation) dans des logements de classe E plutôt que de classes C & D ce qui aurait conduit à augmenter encore la réduction des émissions de GES, mais cela aurait très lourdement pénalisé la pointe et la consommation électriques. Or la pointe nous paraît le maillon faible.

## 2-Scénario maximisant la réduction de la puissance de pointe

Ce scénario utilise tous les vecteurs envisageables, à savoir les réseaux de chaleur urbains, le biogaz, le bois, et bien sûr les PAC, les technologies de celles-ci étant les mêmes que précédemment. Mais la différence avec le scénario précédent repose essentiellement sur un usage beaucoup plus important des PAC air/air destinées à remplacer les convecteurs à effet Joule dans le but de récupérer de la puissance électrique, ce qui conduit, à effectif constant de logements chauffés par PAC, à réduire le nombre de PAC installées dans les logements de classes C & D chauffés au fioul et au gaz. La conséquence de ces choix est évidemment de moins réduire les émissions de GES.

Les résultats sont les suivants :

Solutions	Nombre de logements	Eco GES MtCO2	Pointe GWe	E finale TWh
Rénos Perf Ambitieux + PAC BT ds logts F&G gaz et fioul (60%)	1 148 100	5,55	0,47	0,53
Rénos Perf Ambitieux + Chaud. Bois ds logts F&G gaz et fioul (20%)	382 700	1,85	0,00	0,83
Rénos Perf Ambitieux + Chauff urbain ds logts F&G gaz et fioul (15%)	287 025	1,34	0,00	0,53
Rénos Perf Ambitieux + Biogaz ds logts F&G gaz et fioul (5%)	95 675	0,46	0,00	0,20
Rénos Perf Prudent + PAC MT ds logts F&G gaz et fioul (60%)	572 744	2,54	0,94	2,11
Rénos Perf Prudent + Chaud. Bois ds logts F&G gaz et fioul (20%)	190 915	0,83	0,00	3,31
Rénos Perf Prudent + Chauff urbain ds logts F&G gaz et fioul (15%)	143 186	0,45	0,00	2,11
Rénos Perf Prudent + Biogaz ds logts F&G gaz et fioul (5%)	47 729	0,20	0,00	0,78
Rénos Perf Prudent + PAC air/air tous logts chauffés Joule	1 020 927	0,30	-1,65	-2,40
PAC air/air sans réno tous logts chauffés Joule	2 400 000	0,64	-3,68	-5,12
PAC sans réno ds logts C et D fioul	275 048	0,86	0,52	1,09
PAC sans réno ds logts C et D gaz	2 452 181	4,24	4,14	8,83
<b>Totaux</b>	<b>9 016 229</b>	<b>19,26</b>	<b>0,74</b>	<b>12,81</b>
Nombre de PAC basse température	1 148 100		dont :	TWhef
Nbre PAC moyenne température	3 299 973		Elec :	<b>5,04</b>
Nbre de PAC air/air	3 420 927		CU :	2,64
Total PAC	7 869 000		Bois :	4,15
Réno Performance ambition	1 913 500		Biogaz :	0,98
Réno Performance prudence	1 975 500			
Nombre de logts au fioul supprimés	1 555 809	62,0%		
Nombre de logts au gaz supprimés	4 039 493	37,6%		

**Tableau récapitulatif du scénario « Forte réduction de la pointe » à partir des hypothèses du SGPE**

Sur la période allant jusqu'en 2030, ce scénario se caractérise par :

- la rénovation des logements de classes F & G chauffés au gaz et au fioul qui absorbent la totalité des rénovations « Ambition » (1 913 500), le reste bénéficiant des rénovations « Prudence » (954 573),

- ces logements de classes F & G une fois rénovés ne sont pas tous équipés de PAC (60%) et bénéficient des autres vecteurs énergétiques : bois (20%), chauffage urbain (15%), biogaz (5%).

- le solde des rénovations « Prudence » ( $1\,975\,500 - 954\,573 = 1\,020\,927$ ) étant consacré aux logements chauffés par convecteurs électriques qui sont ensuite équipés de PAC air/air,

- le solde des PAC ( $7\,869\,000 - 1\,148\,100 - 572\,744 - 1\,020\,927 = 5\,127\,229$ ) est destiné :

- pour 2 400 000 (PAC air/air) à des logements chauffés par convecteurs électriques (qui ne seront pas préalablement rénovés thermiquement),

- puis, pour 275 048 (PAC MT) sur la totalité des logements de classes C et D chauffés au fioul et non rénovés,

- le reste, 2 452 181 (PAC MT) étant placé sur une partie des logements de classes C & D chauffés au gaz et non rénovés.

La réduction des émissions de GES de ce scénario ne sont plus que de **19,3 Mt CO<sub>2</sub>**, soit très légèrement moins que les objectifs du SGPE. Mais il efface presque totalement la pointe électrique (**0,74 GWe**), ce qui est sa principale vertu, et il occasionne une consommation d'électricité assez réduite de **5 TWh/an**. Ce scénario est donc paré de beaucoup de vertus. A noter qu'avec un recours au biogaz d'un seul TWh on dispose encore là d'une marge de manœuvre considérable puisque la profession considère qu'en 2030 elle serait en capacité d'en produire 60. Un recours accru à celui-ci rendrait encore beaucoup plus facile l'accès aux objectifs d'émissions, de puissance et de consommation électriques en 2030.

Rappelons que ces deux scénarios figurent en Annexe 2 du dossier remis le 29 juillet 2023 par l'association négaWatt dans le cadre de la concertation organisée par le gouvernement sur « Accélérer la décarbonation du secteur du bâtiment ».

On retiendra des analyses qui précèdent qu'il existe de nombreux paramètres permettant d'optimiser la pointe électrique et les émissions de GES mais que cela suppose d'utiliser tous les vecteurs énergétiques disponibles, de rénover les logements avant mise en place des PAC et de mettre l'accent sur la rénovation des logements chauffés par convecteurs qui seront équipés de PAC air/air, ce qui « libère » de la puissance électrique. Mais on peut aussi suggérer que la notion de rénovation « prudence » devrait être utilisée de façon minimaliste afin de laisser la place à des rénovations très performantes qui sont la vraie clé sur tous les plans (social, technique, économique, etc) de la transition écologique.

## Comparaison avec les conclusions du rapport d'activité 2023 de RTE publié fin septembre 2023

Lors des études faites pour ce rapport, RTE avait eu connaissance des différents scénarios présentés dans ce qui précède.

Sur le fond, le rapport de RTE rejoint exactement toutes nos conclusions. Voici quelques citations qui le prouvent :

- « *En combinant une accélération progressive de la rénovation thermique du bâti, un rythme de remplacement prudent des convecteurs électriques par des PAC (de l'ordre de 100 000 logements/an), ainsi qu'un niveau de sobriété analogue à celui de l'hiver 2022-2023, la consommation d'électricité pour le chauffage n'augmenterait que marginalement à l'horizon 2030 (de l'ordre de + 3 TWh par rapport à 2019). [...]. Dans toutes les configurations testées, **la consommation n'augmente pas de plus de 13 TWh en 2030 par rapport à 2019** ».*
- « **Au-delà de la question de la consommation moyenne d'électricité attendue, celle des pointes de consommation apparaît plus cruciale**, et fait l'objet de débats parfois tranchés.[...]. Dans la trajectoire de référence, la pointe de consommation du chauffage électrique **augmente d'environ 6 GW en 2030**.[...]. Ce résultat doit être restitué dans le cadre de l'ensemble des variantes testées, qui peuvent conduire à des évolutions infimes de la pointe dans les cas les plus favorables, mais très significatives dans d'autres où les facteurs défavorables seraient cumulés : **l'effet sur la pointe peut s'échelonner entre zéro et une quinzaines de GWe**. Ces variantes permettent d'expliquer l'ensemble des valeurs récemment diffusées par différentes organisations dans le débat public, par des différences considérables dans les hypothèses retenues ».
- Dans les recommandations on peut lire que « l'étude identifie plusieurs facteurs de modération (nota : de la hausse de la pointe) :
  - o *Agir davantage sur l'isolation du bâti pour les logements peu performants basculant vers les PAC,*
  - o *Maintenir ou accélérer le rythme de remplacement des convecteurs électriques par les pompes à chaleur ».*

Enfin le rapport semble plus que dubitatif sur le recours aux PAC hybrides précisant que « *les PAC hybrides conduisent en revanche à des émissions supplémentaires liées à l'utilisation du gaz lors des périodes de pointe, qui sont supérieures ou égales aux émissions évitées sur le système électriques lors de ces périodes* ». Il y voit même une barrière du point de vue économique « *l'intérêt économique du développement des PAC hybrides peut exister mais sera conditionné par des coûts d'installation inférieurs à ceux des PAC classiques* ». Comme une PAC hybride c'est une PAC + une chaudière, on voit mal comment cet ensemble pourrait coûter moins cher qu'une PAC seule. En clair il n'y a qu'un avenir de niches pour les PAC hybrides, ce qu'on affirme depuis toujours.

La publication de ce rapport n'aurait pas dû conduire certains médias à créer une polémique avec nos travaux puisque ce document est pleinement en accord avec ce que nous affirmons, ses chiffrages étant à peu de chose près les mêmes que les nôtres. Nous avons juste le mérite de les avoir publiés avant RTE et d'avoir réussi à faire passer l'idée forte de mettre des PAC air/air en remplacement des convecteurs électriques.