

Synthèse des postes génération et isolation

Nous arrivons au terme de cette étude de près de 500 pages sur le chauffage collectif de l'habitat urbain existant au travers d'un cas pratique de la rénovation énergétique d'un immeuble équipé de radiateurs hydrauliques et d'une chaufferie fioul. En décidant d'isoler cet immeuble "à minima" et en agissant uniquement dans un premier temps sur l'isolation thermique des parties communes les plus faciles et les plus commodes à isoler telles que les parois opaques des façades sans balcons et les terrasses, il est logique que cela entraîne une réduction des déperditions limitée et supposée égales à quelques 20%. (On verra dans les tableaux finaux que le résultat pourrait être meilleur si l'on isole toute les façades sans balcons plutôt que de se limiter au traitement local des ponts thermiques). L'examen de la température requise dans les radiateurs existant par temps froid qui était de 70°C avant isolation ne sera plus que de 60°C après isolation et la différence de température entre les radiateurs et la pièce ne sera plus que de $60 - 20 = 40^\circ\text{C}$ au lieu de 50°C . Ceci de telle sorte que le radiateur en acier émette lui aussi une puissance réduite de 20% puisque la puissance émise par le radiateur est proportionnelle à la différence de température entre les radiateurs et la pièce. La loi de conservation de l'énergie est ainsi respectée puisqu'il est clair qu'en régime établi la puissance émise par les émetteurs thermiques est équivalente à celle dissipée dans les parois. Ce qu'il est important de comprendre est le fait qu'en réduisant à 60°C au lieu de 70°C la température de la source chaude le coefficient de performance (COP) de la pompe à chaleur est amélioré de 16,6%

Démonstration $\text{COP} = T_c / (T_c - T_f)$ soit

- Avant isolation avec 70°C utile dans les radiateurs

$$\text{COP} = 273 + 70 / (70 - 10) = 343 / 60 = 5,71$$

- Après isolation avec 60°C utile dans les radiateurs

$$\text{COP} = 273 + 60 / (60 - 10) = 333 / 50 = 6,66$$

Cela revient à dire que l'amélioration globale des performances de la chaufferie hybride résultant de l'isolation est de $20 + 16,6 = 36,6\%$ avec une diminution globale des besoins en énergie primaire de la chaufferie elle aussi de 36,6%

L'amélioration des performances de la pompe à chaleur résultant du remplacement des radiateurs en place par des radiateurs basse température est encore plus significative. Si l'on décide en plus de l'isolation d'investir en doublant la surface de chauffe des radiateurs en place, ceux-ci vont transmettre la même puissance pour une différence de température entre les radiateurs et la pièce de 20°C au lieu de 40°C avec une température à la source chaude de 40°C lieu de 60°C . Cette nouvelle réduction de la température de la source chaude améliore à nouveau le coefficient de performance (COP) de la pompe à chaleur de plus de 50% (A noter que cette amélioration n'est pas envisageable avec les planchers chauffants hydrauliques puisque ceux-ci sont déjà dimensionnés pour délivrer le besoin thermique pour une température proche de 40°C)

Démonstration:

- Après isolation et avec radiateurs existants et avec 60°C utile dans les radiateurs

$$\text{COP} = 273 + 60 / (60 - 10) = 333 / 50 = 6,66$$

- Après isolation et radiateurs basse température avec 40°C utile dans les radiateurs

$$\text{COP} = 273 + 40 / (40 - 10) = 313 / 30 = 10,4$$

Soit une nouvelle amélioration des performances de plus de 56%

Cas pratique

La théorie conduit malheureusement à des résultats optimistes qui ne sont pas encore obtenus dans la pratique. Toutefois dans la mesure où les 3 étapes ci-dessus sont réalisées par étapes successives, il est possible en associant le gaz et l'électricité au sein d'une même chaufferie hybride, de diminuer considérablement la consommation d'énergie payante pour le chauffage des bâtiments urbains existants et ceci même si les COP réels obtenus sont deux fois moindre que les CO théoriques. On mesure l'intérêt de telles solutions lorsque l'on a établi que le retour sur investissement n'excède pas 10 ans. Il semble aussi banal de dire que si dans au cours de l'étape 2 on abaisse la consommation de gaz naturel de quelque 75%, on divise par quatre la génération de gaz à effet de serre.

Tableaux comparatifs de consommation en énergie primaire (EP)

Le premier tableau A en améliorant au préalable l'isolation de 20% avant la génération le deuxième B dans l'ordre inverse en améliorant d'abord le rendement de la combustion de 40%. A noter que l'utilisateur peut aussi interpréter l'abréviation **EP** (énergie primaire) comme étant pour lui de l'énergie payante (EP) !

Scénario A :

On procède à l'isolation avant de moderniser la génération

Etape	Description	Consommation(EP) (tep)	EnR (tep)	GES* (tonnes)	Privatif Collectif
0	Fioul avant isolation	100	Néant	559	Action sur partie commune
1	Fioul après isolation C	80	Néant	447	
2	Nouvelle chaufferie gaz avec isolation A	48	Néant	135	
3	Gaz + EnR après isolation P (COP de 4)	21 (12 gaz + 9 elec)	27	52	Action sur le privatif
4**	Après isolation B avec génération EnR et radiateurs basse température (COP de 6)	8 (0 gaz + 8 elec)	40	17	

Scénario B :

On modernise la génération avant l'isolation (commune C puis incorporant le privatif P)

Etape	Description	Consommation (EP) (tep)	EnR (tep)	GES* (tonnes)	Privatif Collectif
0	Fioul avant isolation	100	Néant	559	Action sur partie commune
1	Gaz seul + équilibrage avant isolation	70	Néant	203	
2	Gaz + EnR avant isolation (COP de 3)	34 (21 gaz + 13 elec)	26	88	
3	Gaz + EnR après isolation C (COP de 4)	21 (12 gaz + 9 elec)	27	53	Action sur le privatif
4**	Génération EnR après isolation P avec radiateurs basse température (COP de 6)	7 (0 gaz + 7 elec)	35	15	

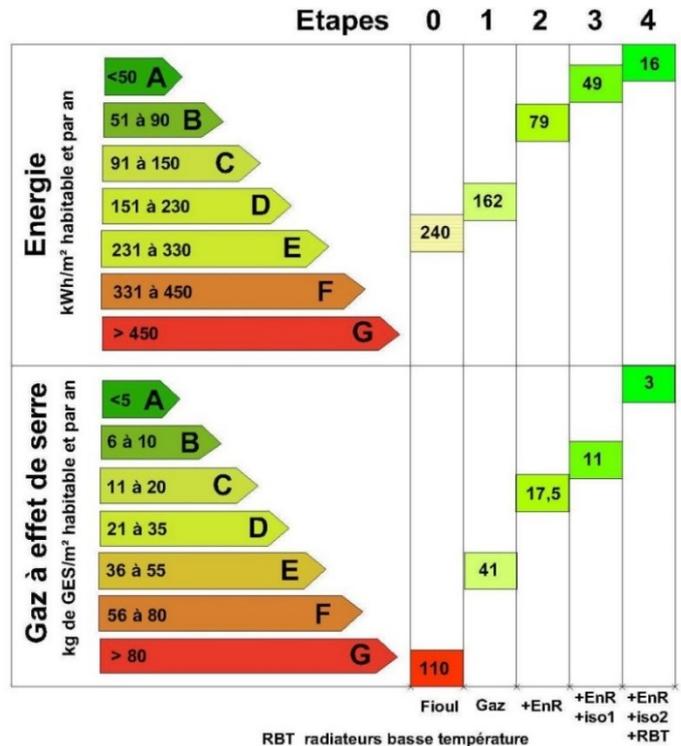
1 tep = 11610 kWh = 10^7 kcal = $4,18 \times 10^4$ Joule \approx 1,20 m³ de fioul (pour PCI=10 kWh/litre)

**Voir page 86 grammes de CO₂ par kWh selon chaîne énergétique*

*** Il est supposé pour les deux tableaux que le nouveau besoin en température de 40°C à la source chaude du fait de la mise en place des radiateurs basse température permet à la PAC de fonctionner en substitution de chaudière à gaz, ce qui signifie que la chaudière n'est plus là qu'en secours.*

Cas pratique

En commençant chronologiquement à investir dans la génération au détriment de l'isolation du bâtiment, à savoir en investissant prioritairement dans la fourniture d'une combustion améliorée (gaz seul) puis dans un deuxième temps gaz avec son complément EnR, on privilégie le ROI du fait de l'amélioration du rendement de la combustion puis des performances de la PAC. On donne aussi, vu l'urgence, la priorité à la réduction des gaz à effet de serre (GES). Lors des étapes 3 et 4, l'amélioration des performances (COP) résultant de la diminution des températures induites par l'isolation, puis par les radiateurs basse température, entraîne une diminution progressive de la consommation en énergie primaire. Il y a tout lieu de penser que la pompe à chaleur pourra fonctionner en substitution de chaudière et non plus en relève lors de la dernière étape.



L'énergie consommée est alors uniquement électrique. Le financement de l'étape 2 du deuxième tableau qui initialise la production d'EnR peut être assuré en partie par le « fond chaleur renouvelable, l'autre partie par un prêt PTZ. En procédant dans cet ordre on ajoute le complément EnR avant de procéder à l'isolation, les températures de la source chaude restant inchangées, ce qui explique le COP modeste de 3 obtenu lors l'étape 2. A noter qu'une sensible réduction du besoin en température à la source chaude est à prévoir si l'on inclut l'équilibrage hydraulique dynamique avec le poste génération. Cette baisse a été supposée égale à 3°C (Voir page 442). Il est donc possible sur la base d'une énergie primaire à 10 cts d'€ le kWh de dresser le tableau prévisionnel de financement suivant en prenant comme base de référence les études précédentes (Voir page 406)

Étapes	Montant Investissement €	EP économisée annuellement kWh	Aide fiscale €	PTZ €	ROI ans	Exemple échelonnement
1	235 000	400 000	CEE 20 000	215 000	5,4	2014
2	535 000	660 000	FCR + CEE 109 000	426 000	6,07	2016
3	650 000	790 000	FCR + CEE 109 000	541 000	6,8	2018
4*	340 000	483 000	néant	340 000	7	2020

*Financement possible par surélévation aile ouest du bâtiment (Voir page suivante 650 m² supplémentaire)

CEE Certificat d'économie d'énergie FCR Fond chaleur renouvelable GES gaz à effet de serre

PTZ prêt à taux zéro ROI retour sur investissement ou durée du PTZ EP énergie primaire

Un échelonnement de deux ans entre les étapes laisse de la place pour les votes en AG et permet d'échelonner les dépenses, d'optimiser les réglages entre les étapes et de consolider les calculs par des mesures

L'amélioration des performances dues à l'équilibrage hydraulique est supposée incorporée dès la première ligne du tableau. Le montant de l'équilibrage (25 000 €) est de ce fait incorporé dans le montant de l'investissement. Il n'est supposé aucune aide fiscale pour l'isolation. Malgré cela, on observe que le ROI et la période de remboursement reste nettement inférieur à 10 ans. Une question pourrait intéresser le législateur : Le ROI reste-t-il inférieur à ce plafond de 10 ans avec une pompe à chaleur peu performante, disons un COP de 2 lors de l'étape 2 du deuxième tableau selon scénario B ?

Cas pratique

On se retrouve alors sensiblement dans la configuration suivante :

Etape	Description	Consommation (EP) (tep)	EnR (tep)	GES (tonnes)
2	Gaz + EnR avant isolation (COP de 2)	40 (20 gaz + 20 elec)	20	95

Tout dépend à vrai dire si l'on prend comme référence l'étape 0 fioul ou 1 gaz, le gain annuel en énergie primaire (EP) étant loin d'être le même ! Pour sécuriser le financement de l'investissement et satisfaire les différents acteurs de la transition énergétique, les Lutins thermiques suggèrent que le texte de « *loi sur la transition énergétique* » élaboré pendant l'été 2014 au sénat dans le cadre du chauffage urbain collectif dans l'ancien conduit à une règle de calcul du FCR basée sur les dépenses à engager pour réduire le CO2 (Dépenses qui serait voisines de 80 € la tonne) et ceci en imposant* aux différents prestataires en charge de la rénovation le respect de la formule :

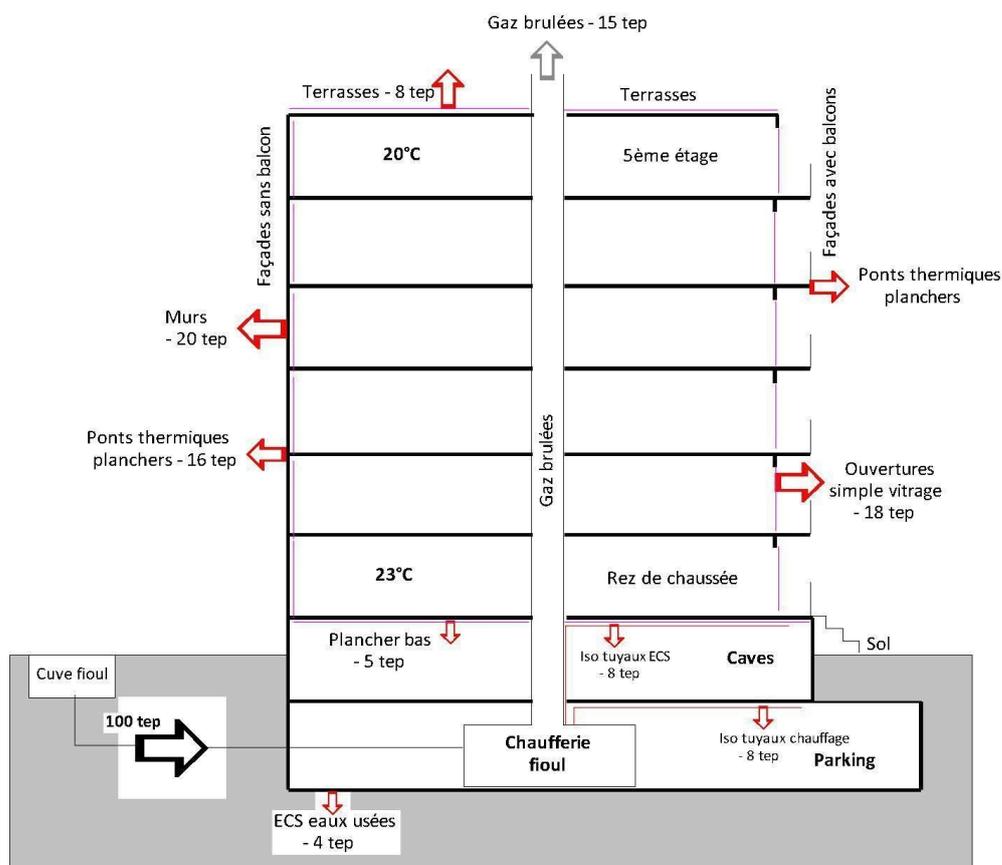
$$\frac{\text{Montant de l'investissement pour le poste génération – Aide fiscale}}{\text{Economie réalisée annuellement sur l'achat des combustibles}} \leq 10$$

Le lecteur aura compris que le numérateur est le montant du PTZ auquel il convient de souscrire et le chiffre 10 le nombre maximum d'années qu'il semble souhaitable d'accorder pour son remboursement dans le cadre d'un investissement socialement responsable. Quant à l'aide fiscale l'idée qu'elle soit accordée ou non au titre d'une *éco conditionnalité* de résultat semble une bonne idée. Soucieux de comprendre les modalités de l'aide fiscale consenti au titre du « fond chaleur renouvelable », (FCR) il peut se reporter à la page 298 et à la méthode proposée par les Lutins thermiques pour une production annuelle d'EnR donnée. Elle conduit à une aide de 89 000 € pour une quantité d'EnR produite annuellement de 20 tep. Vu le COP d'une PAC aquathermique, probablement plus proche de 4 que de 2, on observe qu'il y a de la marge pour respecter la proposition de loi ci-dessus. Ce COP est en effet proche de 5 pour l'application dans la boucle de la Marne décrite précédemment en page 334. Et ceci pour un équipement de maison individuelle n'ayant pas bénéficié d'une structure de conseils bien étoffée. Pour une meilleure compréhension du lecteur, les étapes 0 à 4 sont reprises ci-après dans le cadre du deuxième tableau dans lequel la génération est traitée en priorité. L'auteur fait observer au lecteur que la consommation en énergie primaire de l'état initial de 100 tep correspond sensiblement à la consommation annuelle en fioul de l'immeuble (120 m³) objet du cas pratique évoqué dans ce livre. Il est ainsi possible de raisonner comparativement en pourcentage sans avoir besoin d'utiliser la règle de trois. Si l'on observe la consommation en énergie primaire de l'étape ultime 4, la dernière consommation en énergie primaire voisine de 7 tep, une fois toutes les étapes franchies, correspond à 7% de la consommation initiale en énergie primaire! Et ceci avec une isolation relativement sommaire ! Au travers de cet exemple on mesure l'importance relative de la génération par rapport à l'isolation.

* *Le mille-feuille français viendrait-il enfin au secours de la société et du projet de loi proposé par les Lutins thermiques ? Toujours est-il que Batiactu, fidèle vitrine vers l'innovation, stipule le 22/10/2014 que la Cour de cassation vient de prendre un arrêt indiquant qu'une installation de pompe à chaleur, qu'elle soit du type air-eau ou eau-eau via un forage dans la nappe phréatique, et ce quelle que soit l'importance des bâtiments, est considérée comme un « ouvrage » et doit à ce titre faire l'objet d'une garantie décennale ce qui rend le constructeur responsable des dommages qui pourraient compromettre la solidité de l'ouvrage ou le rendre impropre à sa destination. Cet arrêt serait-il le point de départ d'une salutaire prise de conscience ? Une reconnaissance du fait que le prélèvement d'énergie thermique renouvelable dans l'environnement doit être considéré comme est une capacité de production ? Reconnaissance revenant en quelque sorte à reconsidérer notre modèle économique. Reste le deuxième volet stipulant que l'investissement devra être remboursé par les économies sur les combustibles à expiration de la première décennie. A ce sujet l'auteur estime que les constructeurs ont tout intérêt à s'engouffrer dans la niche qui leur est proposée et il est confiant dans le fait qu'en continuant à assurer un entretien correct des fluides caloporteurs, le Maître d'ouvrage peut rassurer les propriétaires occupants sur le fait que leur pouvoir d'achat s'améliorera les dix années suivantes.*

Cas pratique

0 Etat initial chaudières fioul avec brûleur tout ou rien



L'apport d'énergie primaire

Combustion de 120 m³ de fioul (100 tonnes avec PCI de 10 kWh/litre : **+ 100 tep**)

Les déperditions

Hors période de chauffe

Consommation fioul 110 l/jour pendant 5 mois - 16,5 tep
(Voir page 258) Rendement environ 50%

Pendant la période de chauffe

Par les murs	- 20 tep
Par les ponts thermiques	- 16 tep
Par le plancher bas (avec pertes défaut de calorifugeage tuyaux)	- 5 tep
Les eaux usées ECS	- 2 tep
Par les simples vitrages (avec volets roulants)	- 18 tep
Par les terrasses	- 8 tep
Par les gaz brûlés	- 14,5 tep

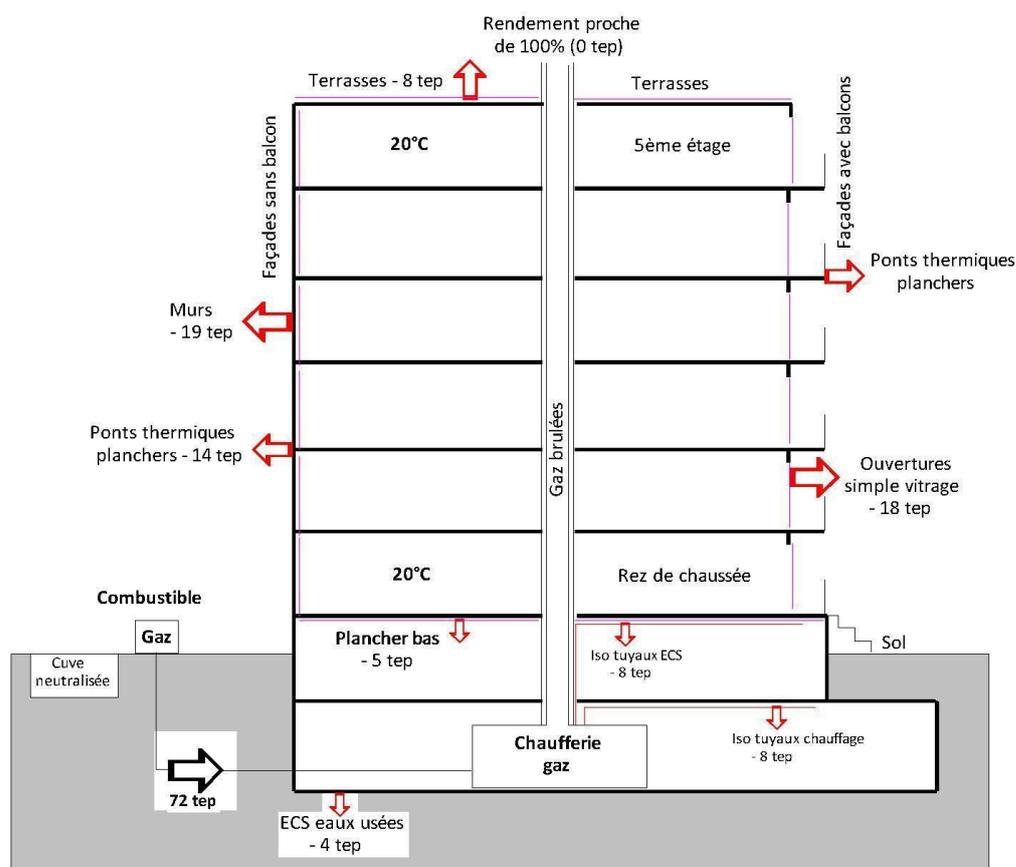
Total déperditions - 100 tep

Estimation de la température de retour des émetteurs thermiques 75°C par -10°C
(Soit départ chaudières environ 85 °C)

Nota On retrouve bien la débauche d'énergie engendrée par le faible rendement des chaudières fioul en mi saison et pendant l'été. Il y a d'une part l'énergie utile pour obtenir l'eau chaude à partir de l'eau froide (5 tep) et d'autre part l'énergie réellement consommée pour obtenir ce résultat (15 tep + 5 tep) du fait de l'énergie perdue dans les gaz brûlés !

Cas pratique

Etape 1 Chaudières gaz naturel à condensation avec équilibrage



L'apport d'énergie primaire

Environ 800 000 kWh de GN PCI de 10 kWh/m³ : **+72 tep**

Les déperditions

Hors période de chauffe

Consommation gaz pendant 5 mois (Rendement environ 100%) - 8 tep

Pendant la période de chauffe

Par les murs -19 tep

Par les ponts thermiques -14 tep

Par le plancher bas (avec pertes défaut de calorifugeage tuyaux) -5 tep

Les eaux usées ECS -4 tep

Par les simples vitrages -18 tep

Par les terrasses -8 tep

Par les gaz brulés (rendement environ 100%) -

Total déperditions - 72 tep

Nota La moindre consommation en combustible s'explique principalement par le rendement des chaudières gaz à condensation. Bien qu'aucune modification n'ait été effectuée sur l'isolation, les déperditions dans le bâti sont légèrement améliorées du fait d'un meilleur équilibrage des températures de haut en bas procuré par l'équilibrage hydraulique avec compensation de pression.

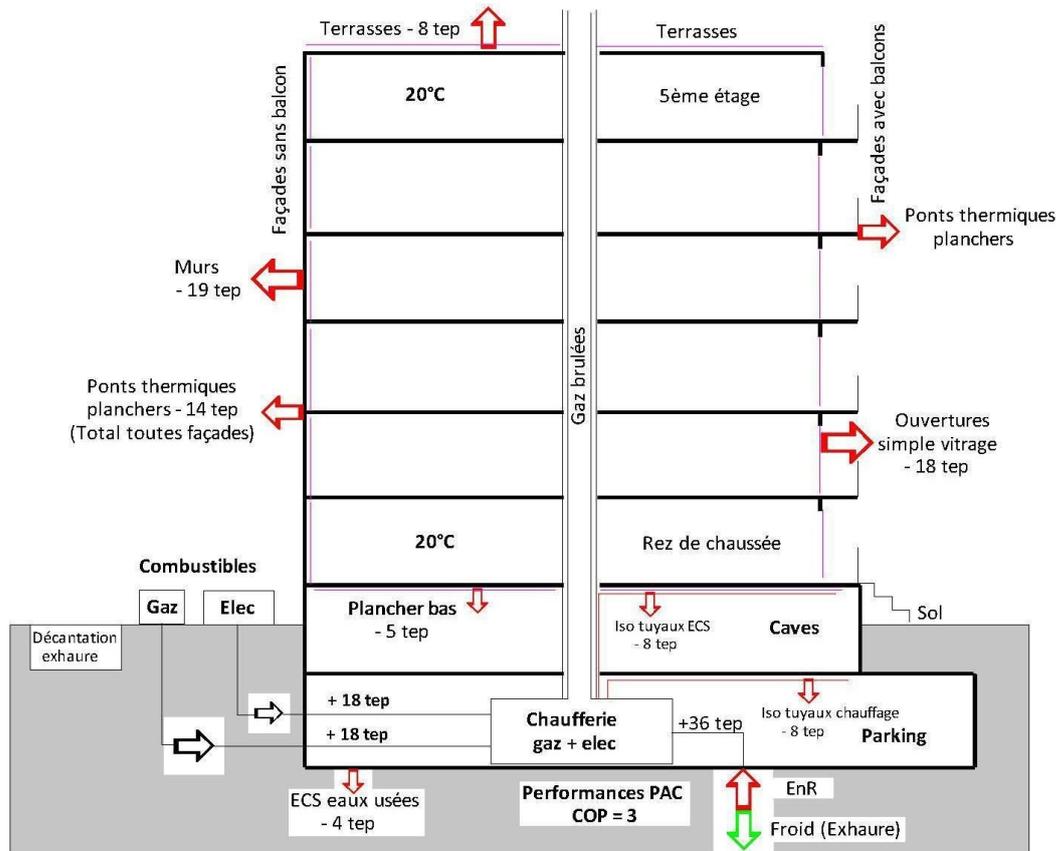
(Voir pages 387 à 389)

La température de retour des émetteurs thermiques peut être estimée à 70°C par -10°C extérieur

(Soit départ chaudières gaz 80 °C pour ΔT 10°C)

Cas pratique

Etape 2 Chaufferie hybride gaz naturel + électricité



L'apport d'énergie primaire

Environ 200 000 kWh de GN PCI de 10 kWh/m³ : 18 tep
 185 000 kWh électricité : 18 tep
Total + 36 tep

L'apport EnR (COP 3)

370 000 kWh : + 36 tep
Total apports +72 tep

Les déperditions

Hors période de chauffe

Consommation gaz pendant 5 mois (Par la PAC) : - 8 tep

Pendant la période de chauffe

Par les murs : -19 tep
 Par les ponts thermiques : - 14 tep
 Par le plancher bas (avec pertes défaut de calorifugeage tuyaux) : - 5 tep
 Les eaux usées ECS : - 4 tep
 Par les simples vitrages : - 18 tep
 Par les terrasses : - 8 tep
Total déperditions - 72 tep

Nota La consommation de gaz est divisée sensiblement par 4 (Voir page 414).

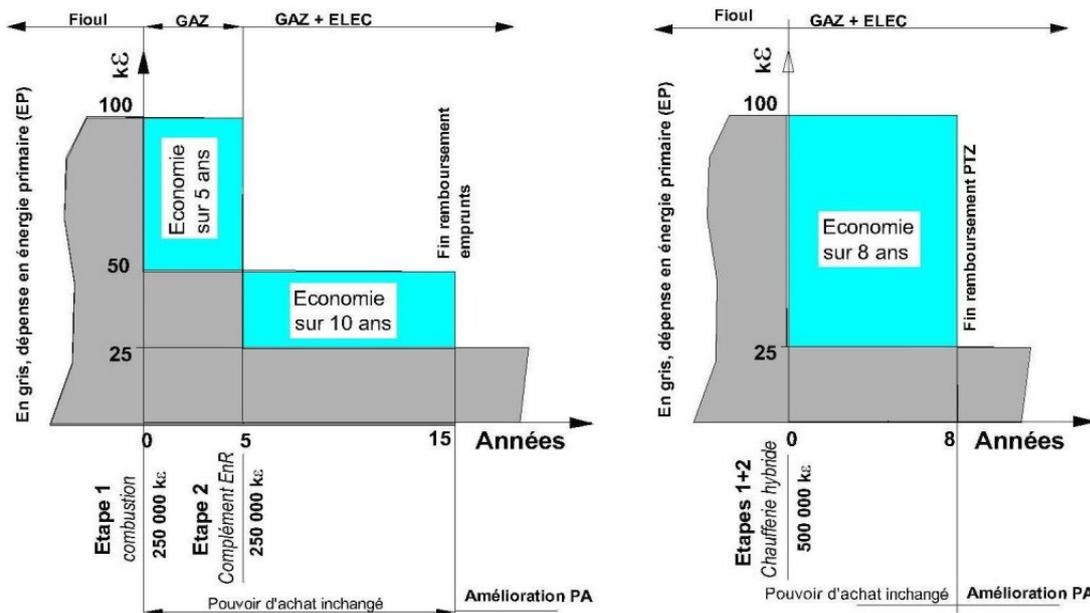
Le complément de 16 + 32= 48 tep est assuré par la pompe à chaleur avec un COP modeste voisin de 3.

La température de retour des radiateurs pour 0°C extérieur peut être estimée (pente 1,66) à 70 – 16,6 = 53,4°C
 Estimation de la température de départ condenseur 63, 5°C (ΔT radiateur voisin de 40°C)

Cas pratique

Le financement de la chaufferie hybride par les économies de combustible

Arrivée à ce stade se pose pour le Maître d'ouvrage la question de savoir si son intérêt financier est de prévoir directement l'implantation de la chaufferie hybride *combustion + chauffage thermodynamique* dans son intégralité ou d'installer dans un premier temps uniquement la partie combustion en ménageant l'espace disponible en chaufferie pour implantation ultérieure du complément EnR (Voir photo page 422). Cette comparaison, qui suppose une bonne compréhension des différents modes de marche est difficile à faire. La figure ci-dessous donne cependant une idée du temps de retour économique (ROI) dans chacun de ces deux cas. Elle prend pour exemple le « cas pratique » en partant du fait que le coût d'implantation de chacun des deux postes constituant la chaufferie hybride à savoir la combustion et le chauffage thermodynamique est comparable (environ 250 k€)



Le remboursement de l'emprunt peut être assuré les économies réalisées sur l'approvisionnement en combustibles primaires, mais la copropriété a un choix à faire : son intérêt financier est-il de procéder en deux étapes successives comme indiqué sur la figure de gauche ou au contraire de procéder en une seule étape comme indiqué sur la figure de droite ? Bien que la somme à investir au départ soit environ doublée, il semble bien que son intérêt soit de choisir cette deuxième option quitte à augmenter le montant de l'emprunt. Paradoxalement en choisissant cette option, la durée du remboursement est raccourcie et la période à partir de laquelle son pouvoir d'achat va augmenter avancée.

Basée sur un financement de l'investissement de départ par les économies d'approvisionnement en énergie primaires *fioul, gaz naturel et électricité* réalisées par rapport à l'étape précédente, ce temps de retour économique (ROI) est évidemment fonction du prix pratiqué par les fournisseurs pour chacune de ces énergies. Celui-ci étant par nature fluctuant, particulièrement pour le fioul, le lecteur comprendra que pour tenter de donner une réponse à cette question, le coût des énergies primaires a été supposé égal à 10 cts d'euro le kWh pour chacun de ces 3 fluides*. Ce coût du kWh était récemment conforme aux prix pratiqués pour le fioul, alors qu'il est sensiblement trop important pour le *gaz naturel* et inférieur à la réalité pour l'électricité. Compte tenu du fait que les deux technologies *combustion + chauffage thermodynamique* sont maintenant abouties et que la commutation d'un mode de marche à l'autre est favorisée par la constante de temps thermique importante d'un immeuble, il est probable que dans les quelques décennies qui viennent, la cohabitation entre ces

* Avec un prix du gaz naturel plus élevé que le nôtre, les allemands ont compris avant nous qu'il était souhaitable d'équilibrer dans la mesure du possible le coût des énergies primaires.

Cas pratique

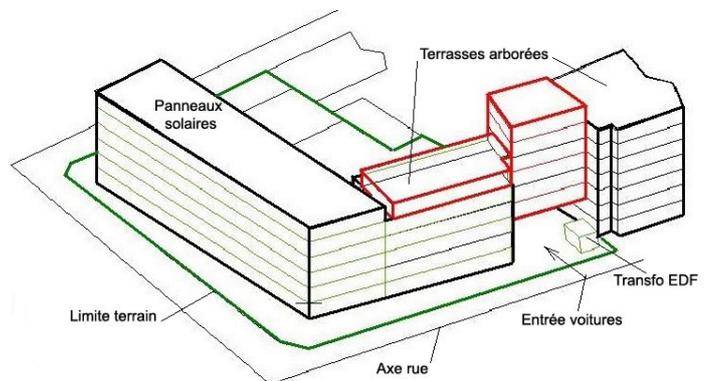
techniques va petit à petit prendre place compte tenu des avantages financiers qui en résulte pour la copropriété. Si ce n'est parfois l'espace disponible en chaufferie, rien ne devrait donc s'opposer à ce que la copropriété implante des chaufferies hybrides associant la combustion et l'*enthalpie*. La copropriété n'a pas besoin de faire preuve de beaucoup de courage pour installer une chaufferie hybride dans laquelle la pompe à chaleur fonctionne pour finir en relève de chaudière avec la pérennité du chauffage et la sécurité procurée par la dualité des fluides. Il lui en faut en tout cas beaucoup moins que le propriétaire d'une maison individuelle lorsqu'il prend la décision de riblonner la chaudière et de la remplacer par une pompe à chaleur à compresseur. (Voir page 331 et 338)

Le financement de la rénovation énergétique par la surélévation

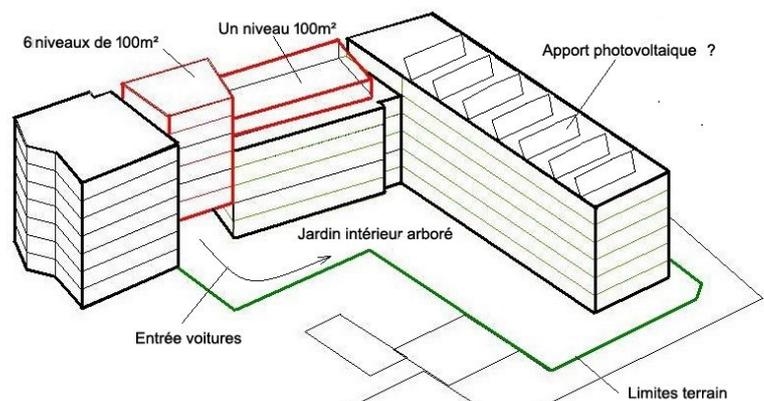
Les pouvoirs publics sont favorables* à la surélévation qui répond à la pénurie du foncier dans les villes et qui réduit l'étalement urbain. Elle permet aussi d'autofinancer les travaux de rénovation énergétique. Les économies engendrées par la chaufferie hybride du fait de la réduction de la consommation en énergie primaire, suffisantes pour financer la chaufferie hybride, ne sont pas suffisantes pour assurer la pérennité financière d'une opération lourde de rénovation énergétique englobant l'isolation du bâti.

Les deux figures ci-contre représentent ce qu'il est envisageable de faire dans le contexte de l'immeuble objet du « cas pratique » étudié dans ce livre.

La partie rouge est constituée de deux parties : Une surélévation sur un seul niveau pour ne pas surcharger le bâtiment existant de 5000 m² ainsi qu'une extension sur 6 niveaux ménageant le passage des voitures vers le grand parking souterrain existant. A noter que ce grand parking occupe une bonne partie de la surface du terrain délimité en vert. Cette extension qui implique deux syndics est envisageable par le fait que les séparations entre deux copropriétés sont constituées de murs borgnes sans ouvertures vitrées.



Face nord



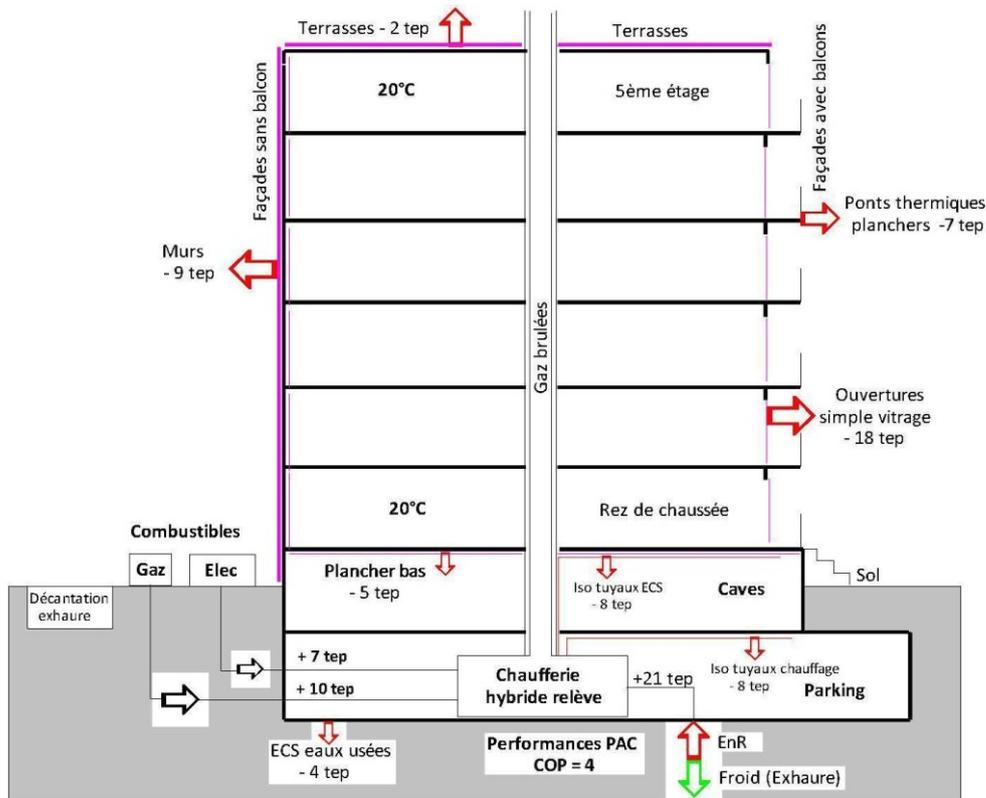
Face sud

(Voir la surface en pleine terre pour le forage de l'exhaure et le rejet de la PAC aquathermique page 418). L'amélioration de l'isolation du bâtiment existant de 5000 m² et la réserve de puissance de la chaufferie en place fait que celle-ci est suffisante pour assurer le complément de chauffage utile à l'extension. Le besoin thermique annuel de cette dernière, réalisée conformément à la RT 2012 sur la base d'une déperdition de 50 kWh/m² représente 35 000 kWh compte tenu de l'augmentation de la surface habitable totale voisine de 700 m², soit une augmentation de la surface habitable existante limitée à 15%.

**La surélévation en copropriété fait l'objet de cours de formation abordant de nombreuses notions : surélévation directe par le syndicat de copropriétaires ou indirecte par le promoteur acheteur du droit de surélévation, défiscalisation, modification des tantièmes de charges, problèmes d'urbanisme (POS, PLU, RGU), droit de préemption, rôle des bailleurs sociaux, stabilité des sols, droit des voisins.*

Cas pratique

Etape 3 Chaufferie hybride gaz naturel + électricité après isolation parties communes



L'apport d'énergie primaire

110 000 kWh de GN PCI de 10 kWh/m³ :
81 000 kWh électricité

+ 11 tep
+ 8,5 tep
Total + 19,5 tep

L'apport EnR (COP 4)

243 000 kWh

+ 25,5 tep
Total apports + 45 tep

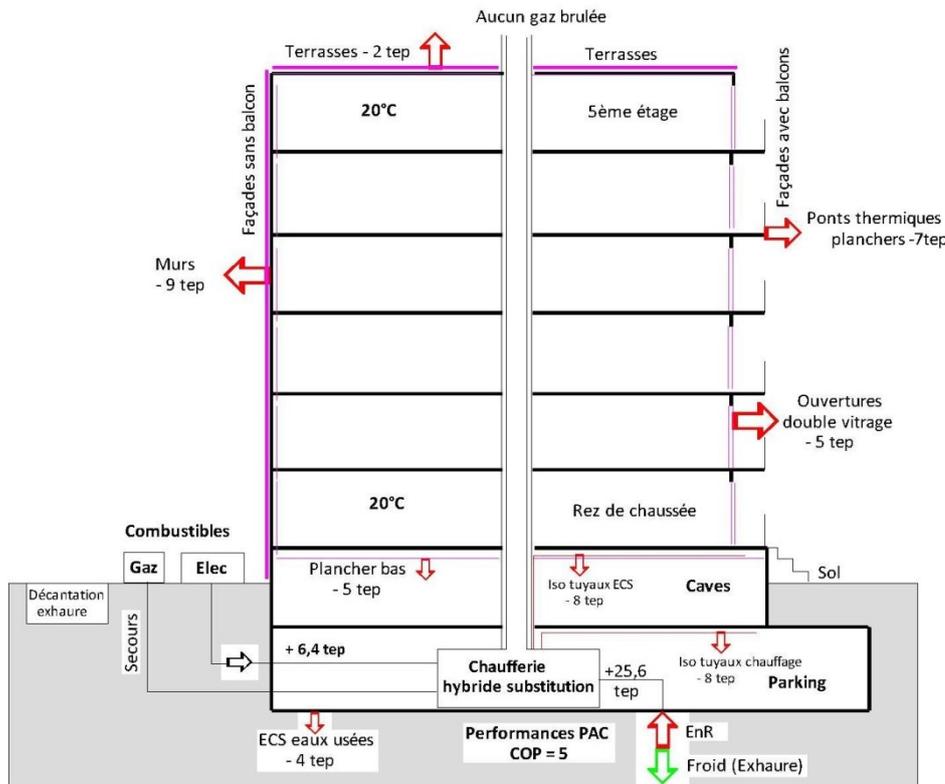
Les déperditions

Par les murs	- 9 tep
Par les ponts thermiques plancher des balcons	- 7 tep
Par le plancher bas (avec pertes défaut de calorifugeage tuyaux)	- 5 tep
Les eaux usées ECS	- 4 tep
Par les simples vitrages	- 18 tep
Par les terrasses	- 2 tep
Par les gaz brûlés (rendement environ 100%)	-
Total déperditions	- 45 tep

Nota La moindre consommation en gaz s'explique cette fois par principalement par le rendement des chaudières gaz à condensation. Bien qu'aucune modification n'ait été effectuée sur l'isolation, les déperditions Commutation Gaz PAC pour 0 °C extérieur
ΔT radiateur 32°C (40 x 48/60) Estimation de la température de départ condenseur 52°C

Cas pratique

Etape 4 Chaufferie hybride gaz naturel + électricité avec radiateurs basse température et isolation des parties communes et privatives



L'apport d'énergie primaire

74 000 kWh électricité + 6,4 tep

L'apport EnR (COP 5)

300 000 kWh + 25,6 tep

Total apports + 32 tep

Les déperditions

Par les murs - 9 tep

Pertes ponts thermiques planchers des balcons - 7 tep

Par le plancher bas (avec pertes défaut de calorifugeage tuyaux) - 5 tep

Les eaux usées ECS - 4 tep

Par les doubles vitrages - 5 tep

Par les terrasses - 2 tep

Total déperditions - 32 tep

Nota

On aborde dans cette dernière étape les actions sur les parties privatives. Souvent les plus difficiles et les plus longues à mettre en œuvre dans leur intégralité. Ceci pour deux raisons principales : d'une part le législateur français considère toujours les fenêtres comme privatives, les économies d'énergies induites par le passage au double, voire au triple vitrage, sont faibles en regard des prix élevés pratiqués en France ce qui conduit à des retours sur investissements trop longs. La politique qui concerne à baisser progressivement la température de l'eau au départ vers les radiateurs jusqu'à ce qu'un occupant se plaigne peut être utile si la motivation est de progresser sur l'équilibrage. Si elle est réalisée avec la finalité de contraindre celui ou ceux qui ne sont pas passés au double vitrage à le faire, cela est socialement inacceptable. Encore plus inacceptable si cela les

Cas pratique

obligent à laisser à demeure un chauffage électrique style grille-pain en appoint. Concernant la génération et les émetteurs thermiques remplaçables tels que les radiateurs, il sera par contre nécessaire que la législation évolue afin que les radiateurs soient considérés comme faisant partie de la collectivité. Ceci par le fait que c'est l'ensemble des radiateurs qui devra être changé lors d'un été à l'occasion de cette dernière étape alors que la mise en place des doubles ou triple vitrage peut à la rigueur continuer à s'échelonner sur plusieurs années selon les capacités financières des propriétaires et les efforts qui seront effectués pour mettre à niveau les prix pratiqués en France par rapport à ceux de nos voisins à défaut d'obtenir une aide suffisante. Au travers de l'étude qui précède les Lutins thermiques estiment que les réglementations thermiques se doivent de prendre conscience qu'il n'y a pas que l'investissement passif sur le bâti et la domotique malheureusement absente de cet ouvrage qui permet d'économiser l'énergie. Les performances et l'efficacité énergétique de la *génération* est un domaine qui doit maintenant être mis en œuvre en urgence pour des raisons sociales et économiques. Deux facteurs conjugués expliquent la raison du gain en énergie primaire de $17 - 5,8 = 11,2$ tep : l'isolation des ouvertures et l'amélioration du COP de la pompe à chaleur du fait de la diminution de la température requise dans les nouveaux radiateurs. On observe qu'au fil des étapes la consommation d'énergie primaire est passée de 100 à moins de 7 tep ! Avec un coefficient D de 71 kWh/m² on est certes encore éloigné des habitations dites « Passives » telles par exemple les logements sociaux en « presque tout bois » de Montreuil et leur coefficient **D** deux fois plus faible. Il faut dire qu'avant d'arriver à ce résultat l'ancien bâtiment a dû être complètement démolit et le nouvel immeuble d'habitation en structure bois totalement reconstruit ! Quand on observe les résultats ci-dessus on comprend pourquoi on commence à parler de guerre fratricide entre le gaz et l'électricité. Comment peut-il se faire que l'on n'ait pas encore compris qu'en combinant ces deux fluides au sein d'une même chaufferie et en procédant par étapes on pouvait réduire progressivement et de façon plus que significative la consommation en énergie primaire ? Comment peut-il se faire que la réduction de cette consommation tant souhaitable pour notre ÉCONOMIE et notre devenir énergétique n'ait pas été perçue plus tôt alors qu'elle allège la « *douloureuse chauffage* » des fins de mois et qu'elle résout le problème crucial de la précarité énergétique et les problèmes sociaux qu'elle va engendrer. Et ceci pour longtemps vu que grâce au soleil, la nature est généreuse puisque la rivière et son sous-sol phréatique recèle en leurs seins suffisamment d'énergie thermique renouvelable pour assurer le besoin thermique d'un habitat urbain ancien relativement difficile et onéreux à isoler après coup. Aux avantages ci-dessus s'ajoute le fait que la consommation en électricité et en gaz se répartie à parts sensiblement égales lors du fonctionnement de ce type de chaufferie. Quand l'on connaît les erreurs passées du "*tout électrique par effet joule*" et celle qui commencent à naître avec le "*tout gaz*" on mesure tout l'intérêt de ces solutions qui ont pour avantage supplémentaire de diviser par 4, voire plus, les émissions de gaz à effet de serre, notion curieusement absente de la RT 2012. Omission regrettable condamnée par des personnalités prestigieuses qui estiment la RT2012 est un frein à l'innovation par le fait qu'elle ne donne pas sa chance aux solutions techniques innovantes permettant de limiter l'impact environnemental. L'ancien ministre du budget chargé d'une mission de simplification des normes dans le cadre de la modernisation de l'action publique, est encore plus critique à ce sujet puisqu'il estime que la RT2012 est le symbole d'un échec par la démesure dans la rédaction. Cette réglementation présente selon lui une absence d'intelligibilité du droit et une complication de mise en œuvre. Il regrette que cette réglementation ne mentionne pas la nécessité de réduire les émissions de CO₂, ne prend en compte les territoires non reliés au réseau de distribution gazier en oubliant d'intégrer les singularités climatiques de ces mêmes territoires. Quand l'on sait que le climat est sensiblement deux fois plus rigoureux à Nancy qu'à Marseille les Lutins thermiques omniprésents dans ce site, s'étonnent de constater que le coefficient de la RT 2012, qui se fixe pour objectif d'évaluer les déperditions thermiques de l'habitation, ne fasse pas

Cas pratique

Intervenir la température à l'extérieur du bâtiment. Selon eux, les coefficients utilisés pour évaluer les qualités thermiques d'un bâtiment seraient assurément plus représentatifs de ses réelles qualités d'isolation si l'on tenait compte des conditions de températures locales. Ils estiment aussi à juste titre que tenir compte des conditions hivernales locales de température permettrait de mieux apprécier le besoin en puissance des nouvelles chaufferies. D'aucun estime également que le texte de la RT 2012 ne respecte pas l'esprit de la loi ce qui rend l'application du droit illisible et tyrannique. "Elever au rang de la loi des recommandations techniques est une erreur si le modèle choisi n'est pas satisfaisant" estime l'ancien ministre du budget qui considère aussi que les orientations données peuvent être un frein au progrès scientifique et technique dans la mesure où elles compliquent inutilement le droit français déjà des plus complexes. Difficilement applicable dans la pratique en raison du "développement insensé dans les menus détails", le texte des quelques 1400 pages qui composent la RT2012 relèverait, plutôt selon lui, d'un état de l'art des techniques. De là à mettre en cause cette réglementation thermique pour expliquer le coût exorbitant des logements neufs en France et le recul de la construction neuve en terme quantitatif il n'y a qu'un pas par le fait que les constructions neuves doivent se plier aux exigences de la RT 2012. L'objectif 500.000, qui prévoit annuellement la rénovation thermique de 500.000 logements est loin d'être atteint dans l'ancien puisque l'on peine à dépasser la barre des 80.000. Compte tenu de ce qui précède on peut se réjouir que la rénovation thermique de l'ancien n'ait pas à se plier globalement aux exigences de la RT 2012. Ceci dit on peut malgré tout espérer que l'on pourra tirer profit de quelques bonnes idées de cette RT pour la rénovation. Quoiqu'il en soit, il apparaît qu'il est possible d'assurer le chauffage des bâtiments existants en zone urbaine et de satisfaire dans de bonnes conditions de confort nos besoins thermiques en consommant globalement moins de combustible et d'électricité. Ceci sans se plier à la trop grande exigence de la RT 2012 et en améliorant dans le même temps la pérennité du chauffage par rapport aux solutions actuelles. En effet le gaz peut se substituer à la pompe à chaleur lors de son entretien et l'électricité au gaz en cas d'incident sur le réseau d'alimentation*. On peut ainsi parvenir à résoudre la rénovation énergétique dans l'ancien en zone urbaine dans ce sens en agissant sur 3 postes complémentaires les uns des autres:

1. En améliorant le RENDEMENT et les PERFORMANCES de la génération thermique. Ceci à l'aide de chaufferies hybrides "gaz électricité" combinant ces deux fluides au sein d'une même chaufferie par le fait que:
 - On améliore sensiblement le RENDEMENT de la combustion en ne fournissant que le besoin thermique avec des brûleurs modulants adaptant la puissance émise au besoin
 - On améliore nettement les PERFORMANCES de la chaufferie en abaissant les températures requises dans les émetteurs thermiques ce qui privilégie le chauffage thermodynamique.
 - On divise les consommations électriques par le COP de la pompe à chaleur en remplaçant les radiateurs électriques à effet joule par des pompes à chaleur à compresseur

* Mail envoyé aux services du Maire de Boulogne Billancourt

Bonjour Monsieur le Maire

Je réside à Boulogne Billancourt. Suite aux soucis que vous avez rencontrés fin juin 2013 rue Gutenberg lors de la rupture d'une canalisation d'alimentation en gaz j'ai pensé qu'il fallait que je vous informe de notre projet de Chaufferie hybride. Nous avons eu de la chance que cet incident survienne pendant l'été et l'on imagine les conséquences en ce qui concerne la pérennité du chauffage pour ces immeubles si celui-ci était survenu pendant l'hiver. Une chaufferie hybride qui peut tirer son énergie du gaz ou de l'électricité permettrait d'assurer la pérennité du chauffage en cas d'incident de cette nature. Elle présente d'autres parts de nombreux avantages qui sont décrits dans le livre et dans les documents joints en annexe. Voilà plus de cinq ans que je travaille sur ce sujet et que j'espère, dans l'intérêt de tous, le faire aboutir. Bien cordialement à vous.

Balendard

Cas pratique

2. En améliorant l'équilibrage thermique des immeubles équipés de radiateurs, voire des planchers chauffants hydrauliques on baisse les températures à la source chaude en minimisant les différences de température à l'intérieur de l'immeuble d'habitation et les dépenses engendrées par le risque de surchauffe du bâtiment qui en résulte.

3. En améliorant l'isolation des parties communes telles que les terrasses ou les murs opaques puis des parties privatives telles que les ouvertures vitrées on profite de deux avantages:

- On réduit sensiblement le besoin en énergie en diminuant les pertes thermiques du bâtiment par les parois. On dit souvent à ce sujet que *"l'énergie la moins chère est celle que l'on ne consomme pas"*.

- On améliore les performances du chauffage thermodynamique en diminuant le besoin en température dans les émetteurs thermiques. A ce sujet on commence enfin à percevoir l'importance de cette deuxième notion grâce à l'apparition sur le marché des radiateurs basse température. Celle-ci est essentielle puisqu'en améliorant le confort, elle conduit à une économie conséquente sur l'énergie primaire consommée. On pourrait dire à ce sujet que *"l'énergie la plus chère et la plus noble - l'électricité - est celle que l'on a consommé jusqu'à présent le plus mal pour le chauffage des habitations"*

On dit aussi souvent que la restauration énergétique des bâtiments existants est faite de cas particuliers. Certes, mais il y a une approche commune: cette restauration doit se faire étape par étapes. Il y a tellement de paramètres qui interfèrent les uns avec les autres qu'il n'y a semble-t-il pas d'autre méthode pour évaluer les avantages procurés par l'étape précédente avant de franchir la suivante. Dans le cas présent et probablement pour la plupart des rénovations thermiques des immeubles, il semble donc préférable d'agir dans un premier temps uniquement sur la génération pour un même besoin thermique. Ceci en n'agissant qu'ultérieurement sur l'isolation des parties communes puis sur les parties privatives du bâtiment telles que les ouvertures vitrées et les radiateurs basse température. L'idéal est bien évidemment d'agir sur ces trois postes pour profiter de leurs avantages respectifs mais plutôt que de tout regrouper dans une même action, les échelonner permet non seulement de mieux comprendre leurs avantages respectifs mais également de faire ce qui est le plus urgent et le moins contraignant financièrement en premier. Ceci en laissant passer une année, voire plusieurs années s'il le faut entre deux étapes pour mieux optimiser les performances et échelonner la dépense. Ceci aussi en veillant à ce que le temps de retour de la dépense (ROI) reste dans des limites raisonnables. Cette remarque on l'a vu est particulièrement valable pour l'isolation des ouvertures vitrées dans l'ancien qui peut affecter dangereusement le ROI. Plutôt que d'inciter le Maître d'ouvrage par des promesses d'aides fiscales accrues à tout faire d'un coup dans le cadre d'un *"bouquet de travaux"* nous ferions bien de revoir notre copie à ce sujet. En cette période de vaches maigres et de DÉFICITS PUBLICS il devient urgent de créer les conditions qui rendent dans la mesure du possible l'aide inutile. Tenter de rendre l'aide inutile en ce qui concerne l'isolation du bâti c'est trouver des solutions qui soient telles que le retour de la dépense résultant d'une amélioration de l'isolation des parties privatives du bâti, à savoir les coûteuses baies vitrées, s'évalue plutôt en années qu'en décennies ! Reste que tout n'est cependant pas perdu pour les copropriétés qui ont malgré tout choisi le scénario consistant à investir prioritairement dans l'isolation. Il y a en effet cette notion de température ressentie et cette sensation de paroi froide qui fait que l'on se sent incontestablement mieux lorsque la température intérieure de la paroi vitrée se rapproche de la température de la pièce de vie. Il ne s'agit plus seulement ici, chacun l'aura compris, de rentabiliser un investissement mais d'améliorer son bien-être. On peut donc comprendre que si les caisses de ne sont pas totalement vides on peut se laisser tenter. Ne serait-ce aussi que pour améliorer la valeur de son patrimoine ou le prix de revente du logement. Il y a aussi une contrepartie qui peut rassurer ceux qui se sont orienté dans cette voie. Cette contrepartie est

Cas pratique

intéressante par le fait qu'il est possible de rentabiliser après coup l'investissement de départ. Mais il y a à cela une condition, une condition qui relève du type de chaîne énergétique utilisée pour assurer la délivrance du nouveau flux thermique nécessaire au confort. C'est seulement dans la mesure où un emplacement permettant de loger le *complément EnR* aura été prévu en chaufferie que les copropriétés pourront bénéficier d'un meilleur retour de leur dépense lorsque la priorité a été donnée à l'isolation. Cela par le fait que l'énergie thermique renouvelable prélevée dans leur proche environnement étant gratuite elles pourront retrouver un peu de pouvoir d'achat moyennant assistance fiscale. Ceci aussi par le fait que la température requise à la source chaude étant moindre, les performances du chauffage thermodynamique s'amélioreront d'autant diminuant à nouveau la consommation en énergie primaire et les frais d'exploitation qui en résulte. Pour l'essentiel, ce livre a prouvé que si l'on choisit le bon scénario et si l'on prend comme état de référence la consommation du *"tout combustion fossile"* ou du *"tout électrique effet joule"*, il est possible de réduire significativement la consommation d'énergie primaire pour le chauffage des bâtiments existants avec un retour sur investissement n'excédant pas 10 ans. Ceci à condition de faire le bon choix dans la chronologie des actions prises. Voilà ce que pourrait être dans un premier temps la transition énergétique tant attendue du chauffage de l'habitat collectif existant dans les villes. Pour assimiler comment l'on peut parvenir à ce résultat, il ne suffira pas de comprendre comment l'on peut, en isolant un système, lui appliquer le principe de la conservation de l'énergie et tirer des conclusions sur le principe de fonctionnement des pompes à chaleur. Il ne suffira pas que certains aient des notions de thermicien et comprennent les notions suivantes :

- Un radiateur hydraulique conventionnel parcouru par de l'eau chaude émet une puissance thermique proportionnelle à sa surface et à la différence de température ΔT entre la pièce et celle du radiateur. Cette puissance émise est voisine de $10 \text{ watt/m}^2 \text{ et } ^\circ\text{C de } \Delta T$ pour les radiateurs en acier.
- Le pétrole est à ce point ancré dans la mesure de l'énergie consommée que l'on a défini une unité qui relie la masse du pétrole à l'énergie qu'elle recèle (La tonne équivalent pétrole ou tep). Ainsi est apparue la notion de pouvoir calorifique qui permet d'associer le débit de gaz en m^3/h ou celui du fioul circulant dans le gicleur d'un brûleur et la puissance qu'il délivre (On parle du pouvoir calorifique inférieur (PCI) du fioul lors de la combustion. Celui-ci est voisin de 10 kWh/litre . C'est ainsi que la puissance délivrée par un brûleur consommant 1 litre de fioul par heure est de 10 kW .
- *La plupart des radiateurs équipant les anciens immeubles étaient dimensionnés pour fonctionner à environ $70 \text{ }^\circ\text{C}$, voire même à température plus élevée lorsqu'il fait froid de telle sorte que la température entre l'eau chaude circulant dans les radiateurs et l'ambiance de 20°C qui règne dans les pièces à chauffer était parfois supérieure à 50°C .*
- *Un radiateur électrique à effet joule a un COP de 1 ce qui signifie que la puissance thermique qu'il délivre est égale à la puissance électrique qu'il consomme. Une pompe à chaleur a un COP annuel moyen généralement compris entre 2 et 6 (selon les types de pompes à chaleur et la différence de température entre les sources chaude et froide). Cela signifie que la puissance thermique qu'elle délivre est deux à six fois plus importante que la puissance électrique qu'elle consomme. Une pompe à chaleur à compresseur est donc à minima deux fois plus performante qu'un radiateur électrique.*

La connaissance de ces notions ne suffira pas et le chemin sera encore long. Il faudra coordonner toutes ces actions en tenant compte du manque de place dans les grandes villes. Il faudra probablement accentuer notre effort dans la recherche et l'enseignement. On se rappelle qu'un responsable de l'ARC se demandait s'il n'y aurait pas chaînon manquant ou une profession à créer pour débloquer le système. Pourquoi effectivement ne pas créer en liaison étroite avec l'Allemagne une chaire d'automatisme industrielle européenne associée à un « conservatoire des arts et des techniques » ? une chaire d'automatisme qui soit contiguë avec des laboratoires, une chaire capable de faire évoluer progressivement la *chaufferie hybride* vers son optimum en facilitant le

Cas pratique

travail du programmeur. L'enjeu est pour la France un chauffage de l'existant performant pour près de 30 millions de logements. Probablement le plus gros potentiel d'économie d'énergie et de réduction de GES dans notre pays. Il y a urgence si l'on considère qu'au rythme annuel de 100 000 rénovations c'est plus de trois siècles qui seront nécessaires pour rénover le parc existant, voire plus. Il y a urgence alors que les caisses étant vides, la copropriété est tentée de repousser l'isolation ralentissant le mouvement. En donnant une vision des étapes à franchir pour résoudre le problème du chauffage urbain dans l'ancien, l'auteur espère favoriser la demande, première étape avant d'aborder la politique de l'offre qui reste à inventer selon certains analystes responsables du pacte de responsabilité voulu par notre gouvernement. Il devient urgent que nous soit proposée une alternative claire à nos chaudières au fioul domestique ou au gaz nous permettant à la fois d'améliorer la qualité de l'air dans nos cités et de résoudre nos problèmes climatiques. Notre intérêt est de créer un climat politique encourageant le développement de ces nouvelles techniques peu émettrices en GES. Mais mettre en place une politique de l'offre sous-entend qu'il y ait une demande conforme au besoin. Une demande qui soit formulée dans des termes clairs et compréhensibles pour ceux qui seront en charge de faire le travail. Ceci pour la simple raison qu'un problème bien posé est mieux compris et est comme l'on sait "à moitié résolu". Dans le cadre de l'ordre de mission appelé (*PREH*) qui a été assigné au Préfet par nos ministres on peut légitimement se demander comment le Préfet, pourrait, au titre de cette politique OFFRE-DEMANDE et de l'étude de faisabilité, administrer et financer une structure de conseil associée à un dispositif de relance. Pourquoi ne mettrait-il pas en place une campagne publicitaire mettant en valeur le chauffage thermodynamique aquathermique, campagne publicitaire qui n'a pu être jusqu'ici financée par des organismes tels que l'AFPAC faute de crédit ? Le rôle du Préfet ne devrait-il pas être plutôt celui de proposer que d'interdire ? Le lecteur jugera peut-être que ce livre remplace cette campagne publicitaire, l'avenir le dira. Quoiqu'il en soit, les responsables de cette chaire d'automatisme industrielle européenne proposée par les Lutins, sorte de « conservatoire des arts et des techniques » contiguë avec des laboratoires pourrait bien être le chaînon manquant pour franchir plus rapidement le long chemin qui mène à la transition énergétique. Une chaire capable de mettre en place tous les algorithmes de contrôle et de les concrétiser dans un système cohérent fixant les règles permettant de conseiller tous les acteurs de telle sorte que la chaufferie hybride évolue progressivement vers son optimum. Une fois cette structure mise en place, les constructeurs et les prestataires n'ayant pas encore toute l'expérience requise à ce genre de réalisation pourraient alors en s'appuyant sur cette structure s'impliquer dans l'étude de faisabilité et dans la mise en œuvre. Il s'agira alors de l'expérience nécessaire à la mise en place de l'importante *source froide* puisque c'est elle qui prélève les *EnR* dans l'environnement. Pour résoudre le problème social du chauffage, chacun d'entre nous accepterait probablement de franchir le premier pas et de *changer ses comportements* si on lui proposait en échange des solutions recevables pour son confort et son portemonnaie. Il l'accepterait d'autant mieux que ces nouvelles solutions améliorent la pérennité de fonctionnement de la chaufferie en cas d'incident sur le réseau gaz. Chacun d'entre nous l'accepterait aussi s'il a l'assurance qu'il ne sera un « *cobaye* » pressurisé par une fiscalité effrénée. Il estime en tout cas que vouloir comptabiliser l'énergie que consomme un appartement pour son chauffage au prétexte que l'on doit payer ce que l'on consomme est une erreur dans l'habitat ancien. Ceci pour la simple raison que l'énergie thermique circule librement à l'intérieur du bâti entre des appartements urbains aux surfaces habitables le plus souvent bien faibles interdisant de les isoler par l'intérieur. Il reste à espérer que le texte de loi qui sera adopté en final au parlement respectera la cohérence du choix de société qui va maintenant s'imposer à court terme et qu'il s'appuiera sur les 3 piliers que sont *l'économie* afin de réduire la dette, *le social* pour faire baisser de la pauvreté et *l'environnement* afin que chacun d'entre nous vive dans un monde équilibré et favorable à sa santé comme le stipule

Cas pratique

d'ailleurs notre constitution. L'auteur estime que le projet de loi proposé sous la forme d'une formule au début de cette synthèse *isolation-génération* va dans ce sens. Le citoyen commence à voir d'un mauvais œil la lenteur avec laquelle les groupes de pression, qu'ils soient industriels, BE, entreprises plus ou moins spécialisées évoluent vers ces techniques nouvelles. Il est temps qu'une nouvelle loi favorise l'éclosion puis la généralisation du chauffage thermodynamique en finançant de grands projets d'infrastructures tels que l'alimentation en eau non potable des immeubles. Vu *l'effondrement temporaire des prix du Brent* pourquoi l'état n'imposerait-il pas d'utiliser pour un temps les ressources de la fiscalité sur les produits fossiles afin de solutionner ce problème d'alimentation en eau afin d'éviter les forages souvent difficiles à réaliser en milieu urbain.

Diagramme de Mollier avec le fluide caloporteur HFO1234ze

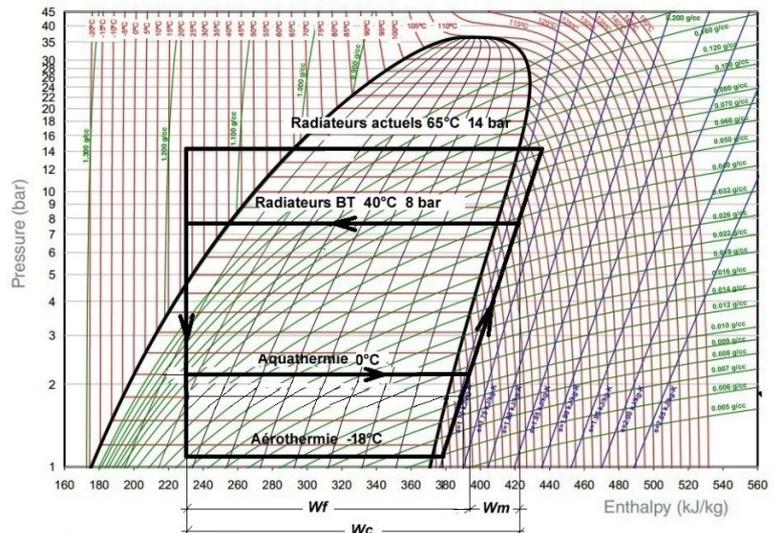
La durée de vie d'une pompe à chaleur étant estimée à une vingtaine d'année voire plus si elle est bien entretenue, il a semblé intéressant à l'auteur de faire l'étude *enthalpique* avec examen des niveaux de température et de pression supportés par les composants principaux de la pompe à chaleur (Compresseur, condenseur, détendeur et évaporateur) avec un fluide caloporteur autre que le R134a dont le GWP de 1340 a pour finir été jugé trop important lors du protocole de Kyoto pour pouvoir être considéré comme cela avait été imaginé à l'origine comme un fluide définitivement admis. Cette étude a été faite avec le HFO1234ze fabriqué par Honeywell, fluide caloporteur ayant un GWP de 6. Outre son innocuité pratiquement totale vis-à-vis de l'effet de serre, il présente l'avantage d'explorer les températures jusqu'à 90°C avec un niveau de pression plus faible que les HFC tels que le R410a

Le fonctionnement avec les radiateurs basse température et l'aquathermie présente un avantage important qui viennent en complément de ceux décrits page 76 : La pression est plus faible dans le condenseur ce qui réduit le risque de fuite et diminue la sollicitation mécanique de l'échangeur de température à contre-courant constituant ce condenseur (8 à 14 bar selon température).

(Voir température requise page 384)

On peut évaluer le coefficient de performance en mesurant les longueurs sur la figure. On trouve pour 65°C à la source chaude avec les radiateurs actuels $COP = Wc/Wm \cong 4,5$ Avec

HFO1234ze Pression-Température-Enthalpie



$EnR = Wf = Wm (COP - 1) = 3,5 Wm$ soit une production d'EnR gratuite sensiblement 3,5 fois supérieure à la consommation électrique payante. On observe sur le diagramme de Mollier du HFO1234ze que chaque kg de fluide caloporteur traversant le condenseur génère une énergie sensiblement égale à $430 - 230 = 200$ kJ. La puissance thermique délivrée par le condenseur est proportionnelle au débit massique du fluide caloporteur. Un débit massique de 1 kg/s délivrant une puissance de 200 kJ/s = 200 kW. Pour que cette puissance soit bien transmise au dispositif de chauffage la surface d'échange de l'échangeur à contre-courant constituant le condenseur un compromis doit être trouvé par le constructeur de la PAC entre la différence de température des deux fluides circulant dans le primaire et le secondaire de l'échangeur à plaques et la surface d'échange. Même remarque pour le transfert de puissance avec la réaction endothermique de l'évaporateur. Avec de l'eau à 12°C à l'entrée de l'évaporateur et un fluide caloporteur à 0°C pour éviter le gel la différence de température de quelques 10°C conduit à des surfaces d'échange thermique raisonnable et un encombrement de l'évaporateur particulièrement compact par rapport aux PAC aérothermique. Une fois le besoin en puissance établi, le volume de fluide caloporteur et le temps de cycle qui lui est associé est laissé à l'appréciation du constructeur de la pompe à chaleur.