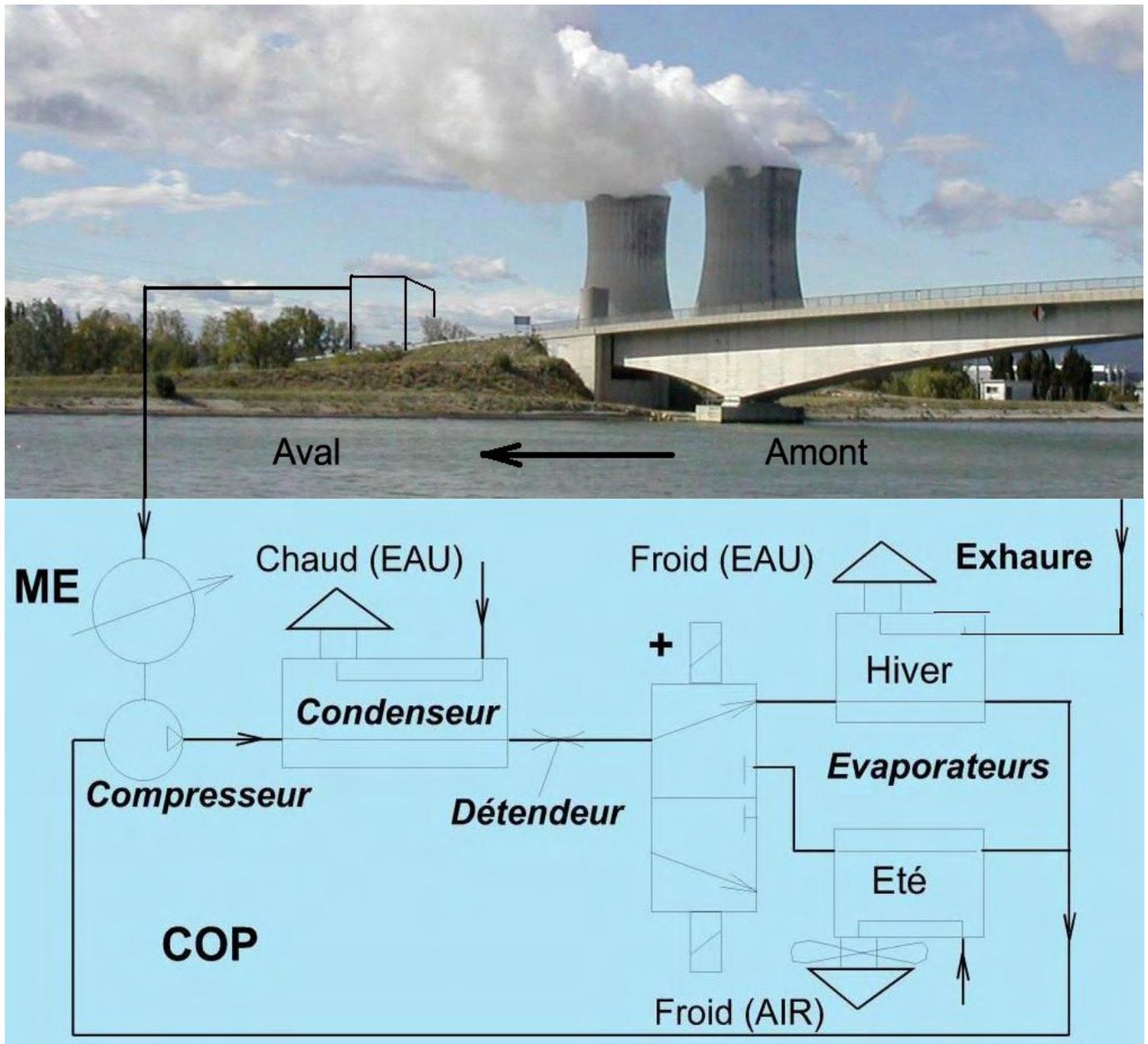


La chaleur renouvelable et la copropriété



L'énergie la plus chère est celle que l'on consomme mal
Balendard, Lutin thermique

Assurée à 75% par le nucléaire, la consommation d'énergie électrique en France, symbolisée par cette photo d'une centrale atomique sur les bords du Rhône est rythmée par le jour et la nuit. La production d'énergie thermique assurant le chauffage urbain dans l'ancien pourrait bien, elle, être assurée au rythme des saisons. L'association de la thermodynamique moderne et de l'hydraulique industrielle devrait en effet permettre prochainement à la pompe à chaleur de prélever son énergie dans l'air pendant l'été lorsque la rivière est à l'étiage, et dans l'eau de la rivière en période hivernale lorsque l'eau est abondante améliorant les performances et facilitant l'entretien de l'exhaure pendant l'été dans le cas du pompage de l'eau dans une nappe libre en liaison avec la rivière. Alors que le prix de l'énergie grimpe inexorablement plus vite que l'inflation en augmentant la précarité, Il devient urgent de reconsidérer la façon dont nous consommons actuellement l'énergie la plus chère : l'électricité. Cette image montre comment il est envisageable de le faire dès à présent. Les pompes à chaleur pourraient ainsi assurer le chauffage urbain dans les villes françaises en prélevant de l'énergie thermique renouvelable dans les fleuves ou les rivières qui les traversent. En attendant que les pouvoirs publics prennent enfin conscience de cette possibilité et alimentent les copropriétés par des réseaux d'eau froide non potable pompée dans le fleuve et circulant dans les égouts des grandes métropoles, il peut être envisagé dans certains cas la combinaison de deux évaporateurs distincts tirant leur énergie dans l'air pendant l'été lorsque la rivière est à l'étiage, et dans la nappe phréatique en liaison avec la rivière en période hivernale lorsque l'eau est abondante. L'amélioration des performances de la pompe à chaleur résultant de la combinaison des PAC à compresseur *air eau* avec celles des PAC à compresseur *eau eau* est parfaitement envisageable. Il suffit d'adjoindre sur le circuit du fluide caloporteur une électrovalve 3 voies orientant le fluide caloporteur suivant la saison. La production d'énergie thermique renouvelable et gratuite assurant le chauffage urbain dans l'ancien serait ainsi assurée au rythme des saisons :

1. En hiver par l'évaporateur *aquathermique* avec pompage de l'eau dans une nappe libre en liaison avec la rivière lorsque la nappe phréatique est au plus haut en améliorant les performances de la pompe à chaleur, le rendement n'étant pas affecté par le dégivrage, inconvénient de la PAC aérothermique en période hivernale,

2. En été par l'évaporateur *aérothermique* lorsque la rivière est à l'étiage avec un risque de manque d'eau.

La maintenance du dispositif de pompage dans la nappe libre (exhaure) serait ainsi faite pendant la saison chaude améliorant la pérennité du chauffage.

La PAC à compresseur arriverait ainsi à maturité avec l'assurance de la performance quel que soit la saison.

Mes remerciements vont à tous ceux qui ont participé directement ou indirectement à cet ouvrage et ou qui se reconnaîtront dans les *Lutins thermiques* :

- Ceux qui ont tenté l'expérience du *chauffage thermodynamique* et qui ont bénéficié de ses avantages pendant de nombreuses années voir plusieurs décennies ou qui au contraire ont tenté l'expérience sans réussir.
- Les nombreux copropriétaires, responsables syndicaux ou amis qui ont compris mes motivations et qui m'ont encouragé.
- Les ingénieurs, polytechniciens ou non, qui, par leur expérience, leurs conseils théoriques ou pratiques ont participé au fond de l'ouvrage.
- Ceux qui m'ont aidé à défendre « l'écosystème rivières » et qui j'espère continuerons à le faire pendant de nombreuses années.
- Aux militants, rédacteurs en chef de revues spécialisées, responsables d'organismes gouvernementaux ou non qui ont tenté de faire avancer le « Schmilblick » en ne se contentant pas de rapporter.
- Aux constructeurs français ou non qui ont enfin compris que l'absence de concurrence est une niche pour ceux qui entreprennent.
- Celui qui m'a porté assistance pour maîtriser cet outil capricieux qu'est un PC.
- A ceux ou celles qui ont participé à la mise en forme de l'ouvrage au niveau de la syntaxe et de l'orthographe.

La Chaleur renouvelable

Généralités

Intégration ou monde poubelle ?	Page 8
Liberté d'expression	Page 12
Le français et l'énergie	Page 15
Le modèle économique	Page 21

Chapitre 1 La rivière source d'énergie

Les Grands barrages	Page 24
Va-t-on réécrire l'histoire?	Page 27
Les microcentrales et les rivières	Page 29
La grande braderie de la houille blanche	Page 31
Les STEP et le stockage de l'énergie électrique	Page 34
Le sous-sol de nos rivières	Page 37
Aquathermie superficielle ou profonde ?	Page 43
Aéro, géo ou aquathermie ?	Page 45
Performance de la pompe à chaleur aquathermique	Page 49
Le dépollueur payeur?	Page 58
Les pompes à chaleur et notre environnement	Page 60
Plaidoyer pour la PAC aquathermique	Page 61
La rivière et la pompe aquathermique	Page 67
Principe de fonctionnement d'une PAC	Page 69
Les composants principaux d'une chaufferie GAZ-PAC	Page 72

Chapitre 2 L'énergie sans la rivière

Le coût de l'énergie thermique	Page 80
Les DJU	Page 85
La logique de la taxe carbone	Page 88
Les voitures électriques	Page 90
Hydrolienne ou éolienne ?	Page 92
La pile à combustible	Page 97
L'énergie solaire	Page 98
Positif ou négatif?	Page 108
Le transport de l'énergie	Page 113
Sécurité et responsabilité	Page 115

Chapitre 3 Les Lutins thermiques et :

La météo et la naissance de Lutins	Page 118
Le Barenton Confiseur	Page 120
Les énergies de base	Page 124
La chaleur spécifique	Page 128
Les déperditions	Page 132
La conservation de l'énergie	Page 139
Les chaînes énergétiques	Page 147
La production d'énergie	Page 153
La cohabitation entre les fluides	Page 158
Les mots clefs	Page 161
Le consensus	Page 164
La croissance	Page 167
La RT 2012 et les deux coefficients	Page 171

Vu par les Lutins

- Les paradigmes	Page 176
- L'Allemagne championne des ENR	Page 180
- L'offre et la demande	Page 185
- Le besoin thermique pas plus	Page 193
- Le chauffage urbain	Page 198
- Les diagnostics de performance DPE	Page 199
- Le rendement de la combustion	Page 203
- Le comptage des ENR thermiques	Page 208
- Le pouvoir d'achat en zone urbaine	Page 211
- Les idées reçues et le chiffre 10	Page 213

Les coups de gueule des Lutins

100% qui dit mieux?	Page 214
Le comptage privatif de l'énergie thermique	Page 220
Areva pompier du nucléaire	Page 225
Le rapport Attali	Page 227
Le coût de l'eau chaude	Page 229
Les 20h sur TF1	Page 239
L'IRENA	Page 242
Quelques idées fausses	Page 246
L'argent du pétrole	Page 250
Les aides et les ENR	Page 252
L'éco prêt et les banquiers	Page 254

Chapitre 4 Complément

Les aides fiscales

On s'y perd	Page 258
Le fond chaleur renouvelable	Page 262

L'avenir m'intéresse (Woody Allen)

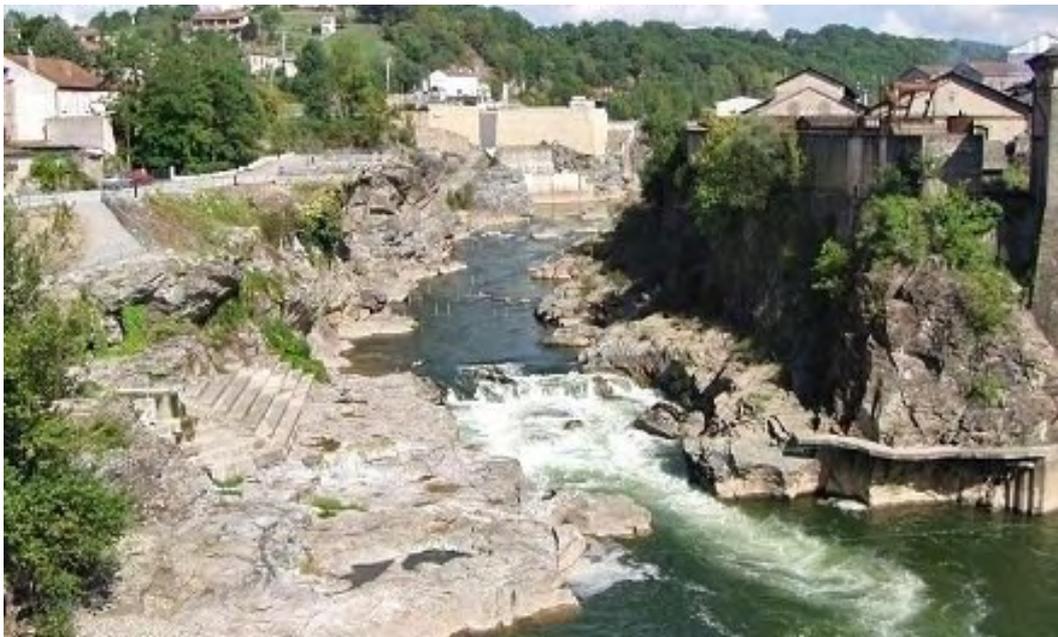
Air, terre ou eau ?	Page 265
Questions / Réponse	Page 297
PAC en substitution de chaudière	Page 303
Economiser sans se priver	Page 307
Les acteurs de la rénovation dans l'ancien	Page 309
Problèmes courants, que faire ?	Page 315
Les charges courantes	Page 319
Généralités sur le projet de rénovation thermique	Page 321
La proposition de rénovation thermique	Page 326
L'audit énergétique UNPI ?	Page 328
Le bilan énergétique simplifié BES	Page 334
Les émetteurs thermiques et l'équilibrage	Page 341
A L'isolation ROI	Page 353
B La génération mixte	Page 371
C La ventilation	Page 397
Bibliographie	Page 398
Les abréviations	

Généralités

Energie et intégration

L'eau

Alors que notre constitution stipule que chacun d'entre nous a le droit de vivre dans un environnement équilibré est-il normal et équitable que l'énergie électrique française dite "verte" soit presque exclusivement assurée par les rivières et leurs centrales hydroélectriques ? Ce qui vient d'arriver à l'un de nos plus beaux fleuves corses le Rizzanese en est bien le plus triste exemple. La mer recèle pourtant en son sein une source d'énergie inépuisable et considérable, les courants maritimes. Pourtant, à part l'usine marémotrice de la Rance, la mer a peu participé en France à la production d'énergie. L'intégration des barrages-voûtes dans le paysage est souvent un échec. A l'étiage, les exemples de vallées ensablées, voire envasées, en amont de ces barrages ne manquent pas et le spectacle est parfois désolant. Les exemples d'intégrations réussies sont rares. Il faut cependant citer l'usine hydroélectrique du Saut-de-Sabo de St Juéry en amont d'Albi. Le resserrement du Tarn a provoqué à cet endroit une chute naturelle de près de 20 mètres et sur cet emplacement, initialement occupé par une usine sidérurgique, l'EDF a construit cette usine hydroélectrique parfaitement intégrée dans la roche. La dépendance à l'énergie des rivières françaises n'est pas la bonne. Les fleuves traversant les grandes métropoles constituent une réserve thermique trop longtemps ignorée. De même, les nappes phréatiques, souvent disponibles pour le chauffage thermodynamique dans les couches de terrains alluvionnaires à proximité des rivières sont trop peu souvent utilisées



Usine hydroélectrique du Saut-de-Sabo sur le Tarn.

L'eau de nos cours d'eau est aussi un formidable véhicule thermique qu'il devient urgent de considérer si nous voulons respecter nos objectifs en termes d'énergie renouvelable

L'atome

L'intégration des centrales nucléaires dans le paysage est-elle acceptable ?

A vous de juger. Période d'été mise à part, les poissons ne semblent pas trop perturbés par le léger réchauffement de la température du fleuve. Ce réchauffement en diminuant la teneur en oxygène dissoute dans l'eau entraîne toutefois une sensible accélération microbienne et affecte légèrement l'écosystème constitué par la rivière. Quant aux "fumées", elles se composent d'une inoffensive vapeur d'eau sans aucun risque pour l'environnement. S'il n'y avait les risques écologiques lors du transport et du stockage des déchets radioactifs ainsi que la nécessité d'un contrôle rigoureux au niveau de la sécurité pour minimiser le risque nucléaire, l'énergie issue de la "fission" nucléaire serait presque parfaite. Reste la remise de la nature à l'identique en fin de vie des anciennes centrales nucléaires dont le coût doit impérativement être inclus dans le prix de l'énergie électrique afin d'éviter la "terre poubelle". Le chemin à parcourir sera long entre les nouvelles générations de centrales nucléaires type surgénérateurs* et la fusion nucléaire utilisée au fin de production d'énergie. Cette dernière n'est pas pour demain. Quant à la pile à combustible, plus proche de nous, elle présente l'avantage de produire électricité et chaleur.



*Alors que les centrales nucléaires réchauffent le cours d'eau,
les pompes à chaleur prélevant leur énergie dans l'eau de la rivière la refroidisse
Il reste à espérer que les surgénérateurs qui commencent à s'implanter en bordure de mer
seront aussi bien intégrés à leur environnement que l'usine hydroélectrique du Saut-de-Sabo.*

Généralités

Le vent

Le paysage est-il affecté ? Pour certains oui. Pour d'autres, qui installent des sentiers de randonnées au pied des éoliennes terrestres, non. Tout au plus le niveau sonore peut être une gêne si l'éolienne est situé trop près de habitations. En Allemagne, il est très fréquent de rencontrer des batteries de 3, 6, 9 voire une cinquantaine d'éoliennes terrestres en fonctionnement sur le même site. Nous sommes très en retard par rapport à nos voisins dans ce domaine. La France qui ne produit que 1% de l'électricité qu'elle consomme à partir de l'éolien contre 23% pour le Danemark championne dans ce domaine, a choisi une autre orientation. Pourtant quelques éoliennes bien disposées pourraient utilement remplacer quelques microcentrales installées sur les parcours touristiques des rivières. Les éoliennes peuvent en effet avoir des puissances importantes qui ne sont malheureusement disponibles que lorsque le vent souffle. L'important programme d'investissement offshore breton situé dans la zone la plus ventée de France va dans ce sens. Le vent génère aussi des énergies de surface importantes qui ne sont pas encore utilisées. Ces énergies de surface comme la houle sont toutefois aussi aléatoires et l'on peut peu presque deviner qui va l'emporter entre le vent et l'eau.



*En Allemagne**

Généralités

Le soleil

L'action solaire sur la couche supérieure de la croûte terrestre va jouer un rôle important pour le chauffage thermodynamique et la production d'énergie thermique. Deux techniques de panneaux solaires se partagent la production d'énergie: les panneaux photovoltaïques qui convertissent ce rayonnement en électricité et les capteurs thermiques qui utilisent directement le rayonnement solaire pour chauffer l'eau. Ces derniers deviennent de plus en plus compétitifs, particulièrement dans le sud de la France. L'apport de puissance est encore malheureusement relativement faible comparativement au besoin thermique du chauffage. Le prélèvement que l'homme arrive à effectuer pour ses besoins par rapport à l'énergie considérable qui nous vient du soleil est extrêmement faible. Toutefois, les progrès techniques, l'intégration des panneaux solaires sur la toiture des bâtiments, il est vrai actuellement controversée, l'aide fiscale accordée pour les nouveaux équipements cumulée au rachat par l'EDF de l'électricité produite à un taux fortement majoré diminue notablement la période d'amortissement. Le soleil fera-t-il de l'ombre au nucléaire? Le besoin insatiable en énergie de l'homme sera-t-il satisfait à long terme par l'atome ou le soleil? Cette question risque de rester sans réponse pendant quelques décennies. L'atome, sous l'impulsion de la France, a marqué actuellement incontestablement des points mais certains experts prévisionnistes en énergie n'hésitent pas à prévoir que la totalité de l'énergie mondiale sera d'origine solaire à l'horizon 2050



L'énergie thermique considérable qui nous provient du soleil par rayonnement est régie par le jour et la nuit.

Photo Jean Luc Grossmann <http://www.photopulse.ch>

Liberté d'expression

Si l'on incitait plus souvent le citoyen à exprimer son opinion cela permettrait parfois d'éviter bien des erreurs. Internet est heureusement un outil puissant qui commence à être utilisé comme une «boîte à idées» gigantesque pour centraliser dans une base de données facilement accessible les idées et les interrogations de chacun d'entre nous. WIKIPEDIA en est le plus bel exemple. Les sujets de réflexion ne manquent pas. Concernant notre environnement, la compilation de toutes ces idées et un peu de réflexion auraient certainement incité le réalisateur des barrages à clapets sur nos rivières à un concept différent de l'existant. La sécurité du touriste nautique s'en serait trouvée améliorée et quelques pêcheurs seraient encore en vie actuellement. Comme l'on sait, ils ont été construits sans concertation préalable avec les usagers de la rivière, on voit le résultat. Il en est de même pour certains modes de chauffage utilisés actuellement. En tout cas, merci au MEDAD** d'avoir permis à un citoyen "Lambda" d'exprimer ses revendications dans le domaine de notre environnement et de l'énergie. La production d'énergie ne doit pas rester un domaine réservé aux initiés dans lequel le particulier n'a pas droit de regard. Concernant l'utilisation des fluides et des combustibles utilisés dans les chaufferies collectives, il va falloir faire cohabiter plusieurs fluides au sein d'une même chaufferie et répondre à cette interrogation dans le cadre du chauffage urbain collectif : *Gaz seul, bois seul, électricité seule, Fioul + bois, gaz + électricité, gaz + bois, bois + électricité ?* C'est en partie par la volonté de chacun d'entre nous que nous arriverons à promouvoir plus rapidement la production d'énergie thermique renouvelable. Cette production déjà rentable à relativement court terme avec les pompes à chaleur permettant d'améliorer notre pouvoir d'achat et à moyen terme avec le solaire devrait se généraliser. Certaines formes de production telles que les piles à combustible, les éoliennes, et peut-être un jour les énergies marémotrices profondes et les puissances considérables qu'elles mettent en jeu se rapprocheront petit à petit du seuil de rentabilité. Nous en sommes encore loin. Les technologies à mettre en œuvre pour rentabiliser une hydrolienne dans le raz Blanchard ne sont pas encore totalement à notre portée et beaucoup de ces sources d'énergies renouvelables ne seront pas rapidement rentables. En attendant, il ne faut pas condamner le nucléaire et Flamanville, ni même la construction en série qui devrait suivre. Il est en effet important de produire une énergie électrique « bas coût » et de consolider notre indépendance énergétique pour réduire notre dette. Certes pour un non initié, cette course en avant vers la manipulation des chaînes atomiques est un peu effrayante.

Généralités

Après la catastrophe de Fukushima la centrale de Flamanville doit-elle être considérée comme une étape vers ITER et sa fusion nucléaire ou comme l'industrialisation logique du premier réacteur expérimental de ce type « super phénix » ? Difficile à dire. Ce que l'on peut affirmer en revanche, c'est que la construction du réacteur de Flamanville laisse la rivière tranquille. Autant le réchauffement de nos rivières par les réacteurs actuels pouvait être préjudiciable à l'activité microbienne étant donné leur milieu confiné, autant le réchauffement local de l'eau de mer n'a pas de conséquence sur l'environnement. En mer rouge, l'eau est chaude, et il y a beaucoup de poissons. Mais il faut raison garder, notre intérêt est, sans attendre plus longtemps, de réduire notre consommation électrique en l'utilisant plus intelligemment et en produisant une énergie thermique plus proche de l'homme et de son environnement. La mise en service d'une pompe à chaleur présente moins de risque et va dans ce sens. Il y a urgence à traquer le CO₂ généré par la combustion des produits fossiles tels que le charbon, le gaz ou le pétrole qui - soit dit en passant - pollue trop souvent la mer. Si l'on continue sur cette lancée, cela va coûter très cher. Il faut en effet se rendre à l'évidence « ***c'est la fin du pétrole facile*** ». Pas pour tout le monde, puisque les réserves du Moyen Orient ne sont pas encore épuisées, notamment en Irak, mais les pays producteurs de pétrole (OPEP) viennent probablement de comprendre qu'à l'échelon d'une génération ce sont eux qui risquent d'être dans le besoin. Leur réaction pourrait être celle des USA il y a une soixantaine d'années. A l'époque les Américains avaient préféré importer ce pétrole facile et bon marché du Moyen Orient plutôt que de commencer à trop exploiter leur réserve. Les pays du Moyen Orient sont donc déjà un peu, comme notre agriculture, « ***malade du pétrole*** »*. Ils se sont rendus compte à juste titre qu'ils risquaient d'être encore plus dépendant que nous, Européens, qui avons la chance de disposer du nucléaire pour assurer notre production d'énergie. Cela explique peut-être leur décision d'augmenter le prix du brut à 110 dollars le baril et l'augmentation du prix du fioul de 38% qui a suivi en France en mars 2008. Il y urgence à ne pas attendre. La fusion nucléaire n'est pas pour demain et l'on ne peut reprocher à nos chercheurs de ne pas trouver. L'énergie se trouve sous nos pieds sans qu'il soit besoin de creuser à 2000 mètres de profondeur ou d'échapper à l'attraction terrestre. Chacun d'entre nous peut être son propre producteur de kWh thermique, voire même pour de petites puissances, son propre producteur de kWh électrique avec le voltaïque. Les solutions de demain et l'équilibre de nos finances se trouvent dans une moindre dépendance vis à vis des énergies conventionnelles issues des combustibles fossiles. Si l'on considère uniquement le kWh thermique, la proximité de nappes aquifères à proximité de nos rivières et le meilleur rendement des pompes à chaleur aquathermiques qui en résulte est un facteur que la France ne devrait pas négliger. Les piles à combustibles qui peuvent fournir à la fois des kWh électrique et thermique seront-elles les championnes de demain ? Difficile à dire. S'il faut du pétrole pour produire l'hydrogène certainement pas. En tout cas, une trop grande dépendance vis à vis du pétrole ou du gaz est néfaste non seulement à notre environnement, elle l'est aussi pour notre portefeuille.

Généralités

Concernant l'électricité on a trop tendance à raisonner en termes de production. Il faut maintenant penser à la façon dont on la consomme. Lorsque la France décide de passer sa production d'électricité nucléaire de 70 à 50% d'ici 2020 on peut douter qu'elle parviendra à le faire en augmentant dans le même temps sa production d'électricité d'origine renouvelable de 20%. Ce n'est pas en tout cas en suivant cette voie qu'elle parviendra à équilibrer ses comptes et à sortir du gouffre financier dans lequel elle s'enfonce. Ce n'est pas non plus en suivant cette voie qu'elle parviendra à aider l'Europe qui importe annuellement environ 450 milliards € en achat de combustibles fossiles soit l'équivalent du salaire de ses quelques 17 millions de chômeurs. Il va devenir urgent pour le français de raisonner en terme de consommation électrique. Il va devenir urgent de réaliser que l'énergie la plus chère, l'électricité, est celle que l'on consomme le plus mal. Il va devenir urgent de réaliser qu'en la consommant mieux on en consomme moins. De réaliser qu'à confort égal et avec un COP de 4, une pompe à chaleur aquathermique permet de réduire la consommation d'électricité de 75% par rapport aux radiateurs électriques.

Balendard

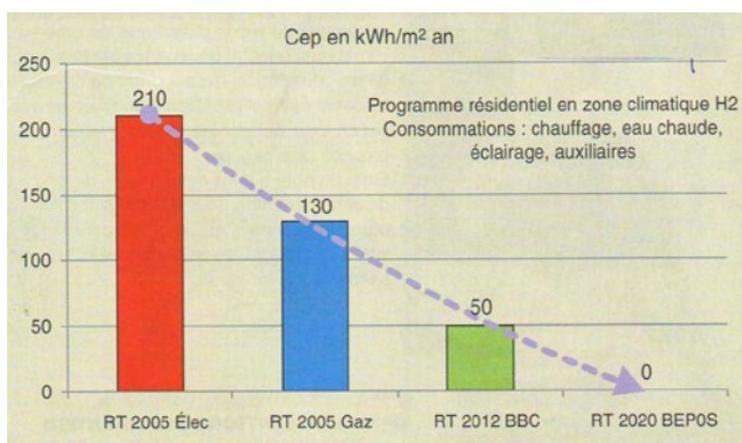
*< La vérité scientifique met parfois beaucoup de temps à être acceptée >
< En France, il est plus facile de briser un atome qu'un préjugé >*

Le français et l'énergie

Pratiquement toutes les formes d'énergie, mécanique, hydraulique, ou thermique sont omniprésentes dans notre environnement. L'énergie potentielle contenue dans la matière qui se trouve dans cet environnement est non seulement disponible et abondante, elle est souvent, cerise sur le gâteau, gratuite et proche de nous. La masse de la matière est omniprésente dans la plupart des formules physiques qui quantifient les différentes formes d'énergies que l'homme a réussi à produire à partir de son transfert ou de sa transformation. Notre passé nous apprend qu'il a d'abord réussi à transformer cette matière en énergie thermique avec la combustion du bois ou des combustibles fossiles et plus récemment des ordures ménagères. Un passé encore récent datant des années 50 nous apprend qu'en manque d'énergie, il a également réussi à transférer l'eau de la retenue des barrages vers l'aval et à transformer son énergie mécanique potentielle en énergie électrique avec une chaîne énergétiques passant par la case hydraulique à l'aide des turbines Pelton ou Kaplan. L'homme n'a jamais su stocker économiquement l'énergie électrique en très grosse quantité. Ni même l'énergie thermique que ce soit grâce à la chaleur spécifique d'une masse de fonte dans un convecteur électrique ou même d'un ballon d'eau chaude sanitaire, sauf à majorer souvent inutilement le coût et l'encombrement d'une chaufferie. La France vient heureusement de découvrir récemment et de mettre au point un dispositif appelé STEP consistant à remonter l'eau dans la retenue supérieure d'un barrage et à utiliser la chute d'eau plusieurs fois. Insatiable énergétivore, la France a été un des premiers pays au monde à se transformer en apprenti sorcier en manipulant les chaînes atomiques de la matière avec la fission et la fusion nucléaire. Les français ont par exemple brillamment réussi, à l'occasion de ces manipulations à la faire « disparaître » en générant de l'énergie électrique après être passé par la case thermique. La célèbre formule $E=mc^2$ reliant la masse de la matière « disparu » et l'énergie est une preuve supplémentaire de l'omniprésence de la matière dans toute forme de production d'énergie. En passant à nouveau par la case thermique et sous réserve d'obtenir un niveau de température suffisamment élevée, la France est également en passe de réussir à produire de l'énergie électrique avec le solaire thermique et la géothermie profonde à plus grande échelle, solutions assurément plus intelligentes et moins destructrices pour notre environnement que celles consistant à utiliser la combustion des combustibles fossiles pour faire tourner des turbines à gaz ou pire encore des moteurs diesels pour générer l'énergie mécanique nécessaire aux alternateurs. Ce qui est surprenant dans les chaînes énergétiques les plus récentes évoqués ci-dessus est le fait que l'on passe à chaque fois par la case thermique pour générer l'énergie électrique, quitte à revenir au thermique pour se chauffer par effet joule malgré la mauvaise efficacité d'un convecteur électrique. Quant à l'énergie électrique fournie par le solaire voltaïque, les éoliennes et les futures hydroliennes,

Généralités

elles ne passent pas par la case thermique, ce qui explique probablement en partie pourquoi le prix de l'électricité qu'elles fournissent est si élevé. Ne représentant pour l'instant en France qu'à peine 2% du total de notre besoin global en énergie, elles ne devraient donc pas trop grever le prix de revient de l'électricité nucléaire et hydroélectrique avec lesquelles elles sont confondues. En validant la réglementation thermique RT 2005 la France a fait une grave erreur en laissant s'implanter le chauffage par effet joule dans les immeubles anciens mal isolés et en tolérant des déperditions thermiques plus importantes avec ce type de chauffage.



La feuille de route des réglementations thermiques (Courtesy CFP)

La France va-t-elle enfin reconnaître le gâchis que représente la réglementation thermique RT 2005 qui tolère plus de déperdition thermique dans les logements équipés chauffés le chauffage électrique par effet joule? Vu les déperditions très faibles tolérées avec la RT 2012 on peut craindre que cette nouvelle réglementation ne soit jamais adaptée à la rénovation.

Vous avez dit enthalpie?

Trop ambitieuse pour être appliquée à la rénovation de l'habitat ancien, les 1400 pages de cette réglementation thermique RT 2012, qui commence à paraître au journal officiel va encore grever le prix de l'habitat neuf et semble trop ambitieuse pour pouvoir être appliquée un jour à l'habitat ancien. Notre pays n'est donc pas sorti du mauvais pas de la rénovation thermique des bâtiments anciens difficiles à isoler après coup. Une faculté trop longtemps ignorée de la matière peut heureusement l'aider à produire une énergie thermique bon marché en grosse quantité. Et ceci paradoxalement avec une petite quantité de matière. Il s'agit cette fois de la faculté de la matière à générer un transfert thermique lorsque qu'elle change d'état en passant de l'état liquide à l'état gazeux et inversement. Cette faculté liée à ce qu'on appelle la chaleur latente de la matière ou **enthalpie** est illustrée par le tableau ci-dessous dans le cas de l'eau.

Généralités

	Sans changement d'état	Avec changement d'état
Constante physique	Chaleur spécifique	Chaleur latente de transformation
Unités	Joules/kg et °C	Joules/kg
Un exemple : l'eau	4180 Joules/kg et °C	2 250 000 Joules/kg
Comparaison	A partir des chiffres ci-dessus on constate qu'il faut 5 fois moins d'énergie pour élever un litre d'eau de 0 à 100°C (à savoir 418 kJ) que pour évaporer cette eau en la maintenant à la température constante de 100°C (à savoir 2250 kJ).	

Sous la surveillance de ses parents, une expérience facile et amusante permet à un enfant de vérifier l'importance relative des chaleurs spécifique et latente de l'eau. Si l'on ne change pas le réglage du gaz sur la table de cuisson, il faut environ 5 fois moins de temps pour porter une petite quantité d'eau de 0 à ébullition (100°C) que pour évaporer cette même quantité d'eau. Une remarque pour éclairer le lecteur, alors que les transferts thermiques dus à la chaleur spécifique s'établissent du fait des variations de température, ceux provoqués par les variations d'enthalpie s'effectuent à température constante.

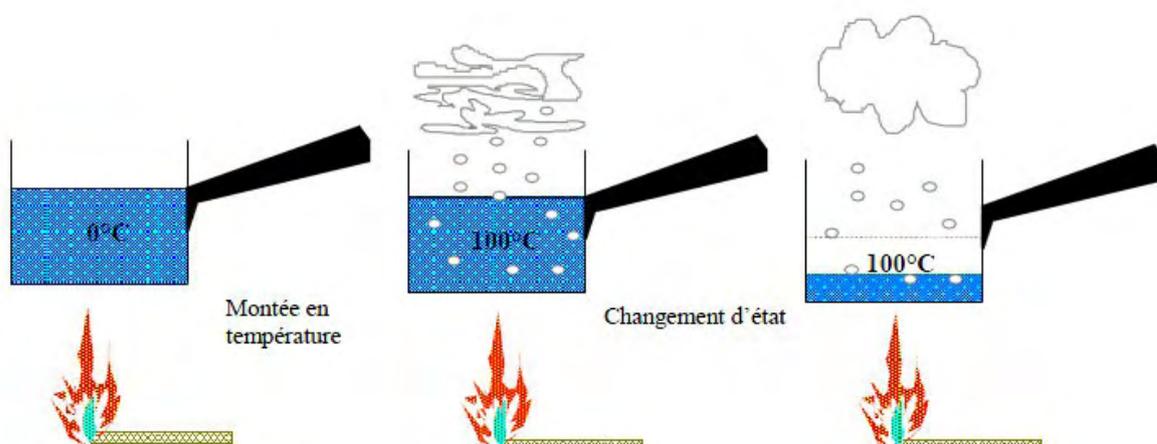


Figure extraite de l'aide-mémoire chauffage de la société Jatech-TM montrant la phase évaporation

Ces transferts d'énergie thermique ne peuvent bien sûr être comparés aux quantités considérables d'énergie thermique pouvant être dissipée par la fission ou la fusion nucléaire de la matière lors de la perte de masse. Cependant, lorsqu'ils sont récupérés lors de la phase condensation et évaporation avec des fluides caloporteurs performants on constate qu'ils peuvent être assez importants pour assurer le chauffage d'un immeuble en raison de l'aspect cyclique de cette transformation. Il y a

Généralités

donc urgence à réaliser que l'énergie thermique contenue dans la matière provenant de cette dernière transformation est une solution particulièrement intéressante pour le chauffage des copropriétés en milieu urbain. La plupart des précurseurs qui ont eu le courage pour leur maison individuelle de s'engager dans cette voie, trop longtemps négligée pour le chauffage collectif, ont été récompensés. Il est temps de réhabiliter l'énergie thermique et de considérer que cela ne fait pas "vieillot" d'en parler. Comment a-t-on pu ignorer si longtemps qu'elle est à la charnière des chaînes énergétiques les plus performantes. Au moment où l'homme se sent responsable du réchauffement climatique*, le principe même de la pompe à chaleur devrait le rassurer puisqu'elle présente à l'inverse des chaînes énergétiques habituelles l'intérêt de refroidir notre environnement. Cerise sur le gâteau elle fournit une énergie thermique propre et gratuite puisque prélevée dans son proche environnement. Ne fournissant pas plus que le besoin énergétique, les nouveaux modes de régulation des PAC à compresseur par variateurs de vitesse présentent l'avantage de ne pas avoir à stocker trop d'énergie thermique, stockage qui, on l'a vu, pose parfois problème.

L'hydraulique est une technique merveilleusement complémentaire au service du génie climatique et du chauffage urbain. Le mot hydraulique est ici pris au sens le plus large puisqu'il englobe non seulement une approche différente de l'hydraulique des rivières et de leur sous-sol irrigué par les nappes libres, mais aussi l'hydraulique industrielle des circuits sous pression, asservis ou non.

Cette association ne manque pas d'intérêt puisqu'elle permet de concilier des impératifs paraissant contradictoires comme ceux de générer du chaud lorsqu'il fait froid, ou du froid lorsqu'il fait chaud, avec l'assurance de la performance au cours des saisons.. Quelle n'a pas été la surprise de l'auteur de constater qu'un réservoir hydraulique et l'huile qu'il contient se comporte sur le plan thermique comme un immeuble et sa chaufferie. Quel n'a pas été son étonnement de constater que l'étude en régime transitoire de ce système est régit par une fonction de transfert linéaire du premier ordre à coefficients constants identique à celle d'une servo pompe alimentant un vérin hydraulique asservis en position et comprimant un ressort. Ces analogies sont intéressantes pour la raison que l'expérience acquise parfois durement par l'auteur lors d'une carrière professionnelle consacrée exclusivement au service des systèmes asservis électro hydrauliques peut être transposée au bénéfice de la production d'une énergie thermique particulièrement économique, abondante et propre. Certes la thermodynamique moderne est plus complexe que la pompe à fioul, le filtre et le gicleur en série du brûleur d'une chaudière. Il s'agit de techniques avancées ou chaque spécialiste à son mot à dire sur la conception du système.

Généralités

- **Le frigoriste** est par exemple concerné par le bon fonctionnement de l'évaporateur. Il sait ou du moins devrait savoir comment tirer le meilleur parti d'un fluide caloporteur. Il sait comment les transferts thermiques s'effectuent dans une pompe à chaleur et comment elle peut prélever son énergie dans l'environnement à partir de l'air, du sol, ou de l'eau.

- **Le spécialiste en hydraulique industrielle conventionnelle**, habitué aux circuits à pression élevée, est au fait de l'étanchéité rigoureuse qui doit être respectée pour éviter toute fuite du fluide caloporteur vers l'extérieur afin de préserver la couche d'ozone. Confronté aux problèmes de niveau sonore de sous-ensembles tournants comme les groupes moto pompe ou les aéro réfrigérants, il sait comment casser les vibrations et diminuer leur niveau sonore.

- **L'électronicien** ayant des connaissances en automatisme sait comment dimensionner le correcteur électronique permettant de supprimer l'erreur statique afin d'assurer une régulation de température stable et performante.

- **L'ingénieur en génie climatique** maîtrise parfaitement la notion de degré jour unifié DJU. Il sait comment remédier aux variations de température imposées par les saisons sans affecter les performances de la pompe à chaleur.

Au moment où l'homme se sent responsable du réchauffement climatique, il a compris l'intérêt de ce type de chauffage qui présente l'avantage de refroidir notre environnement au lieu de le réchauffer

- **L'architecte** ayant des connaissances de thermicien et de mécanique des sols sait comment concilier l'esthétique d'un bâtiment et les déperditions thermiques dans le bâti de celui-ci.

- Reste la nécessité d'un **bon programmeur** maîtrisant un langage de programmation pour finir peu rapide étant donné la constante de temps importante du système formé par l'immeuble et sa chaufferie. Afin de s'adapter au besoin thermique variant selon les saisons et les modes de marche, il devra comprendre les algorithmes établis par le thermodynamicien et élaborer la meilleure structure de programme possible afin d'assurer la liaison entre le système d'exploitation de l'ordinateur et la commande des différents composants constituant la pompe à chaleur.

Bien que chaque spécialiste sache comment appréhender les problèmes spécifiques relevant de son domaine technique et de sa spécialité, une idée commencerait à germer qu'il y aurait un maillon manquant dans les chaînes professionnelles existantes et qu'il pourrait être nécessaire « d'inventer » un nouveau métier afin de fusionner des connaissances qui seraient disparates afin de prévenir des erreurs de conception éventuelles. Les mots « intégrateur » ou « expert » viennent naturellement à l'esprit.

Généralités

La mauvaise cohabitation entre parties communes et privatives, entre chauffage individuel et collectif, la difficulté qu'à un citoyen lambda à appréhender les problèmes en raison du manque de coordination entre le politique et le législateur, entre les acteurs internes et externes à la copropriété, la difficulté que ces acteurs éprouvent à se comprendre les uns les autres, font que de toute évidence, si ce nouveau métier devait être créé les mots "communication" et "médiation" ne peuvent être ignorés plus longtemps. Un bon physicien généraliste compétent en thermodynamique capable de comprendre les experts, d'intégrer les exigences particulières à chaque technique, et ayant en plus la capacité de communiquer avec les intervenants pourrait-il être le chaînon manquant afin que s'établisse un minimum de collaboration entre les responsables de techniques par nature complémentaires ? Pourrait-il, en intégrant mieux la façon dont les paramètres associés à ces systèmes interfèrent les uns avec les autres, être celui qui participe à combler plus rapidement la marge trop importante qui sépare les performances théoriques des performances pratiques obtenues actuellement. Si cela était le cas il ne faut pas attendre plus longtemps pour créer ce nouveau métier.

- **L'utilisateur final**, quant à lui, considère qu'il n'a pas eu suffisamment droit de regard sur les méthodes utilisées pour la production de l'énergie et il estime que ces méthodes ne devraient pas rester un domaine réservé aux initiés. Il regrette cette situation et il considère qu'il est temps de casser cette barrière. Il commence à comprendre que l'énergie est surtout une source de profit pour ceux qui la comprennent. Quant à créer un nouveau métier, il estime que les acteurs déjà en place sont déjà tellement nombreux qu'il est légitimement préoccupé à l'idée d'en rajouter un n^{ième}. Il espère suite à tout ce brouhaha médiatique que l'on va enfin lui proposer un système finalisé et il ne veut plus payer pour être informé. Il redoute les fluctuations brutales des prix sur le pétrole et les déséquilibres qu'elles provoquent et il espère que l'on est au bout du tunnel et que les comportements vont enfin changer.

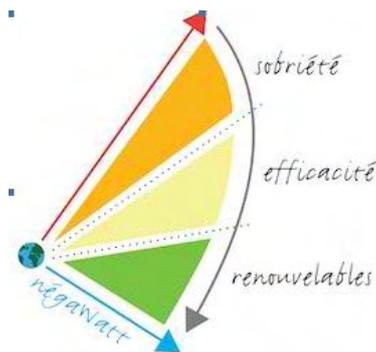
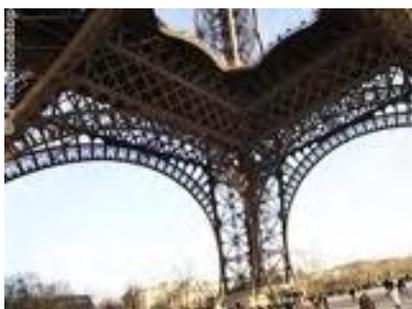
Parfaitement intégré dans son environnement et à l'écosystème constitué par la rivière et son sous-sol une pompe à chaleur aquathermique, peut produire l'énergie thermique nécessaire à notre confort en améliorant notre pouvoir d'achat. Ceci en accélérant l'abandon des combustibles fossiles au profit d'une énergie propre et renouvelable dite « positive ». Le temps est maintenant venu pour se chauffer de concentrer notre action à la conception de composants adaptés au chauffage thermodynamique des immeubles tel qu'un condenseur permettant de récupérer la chaleur de condensation et de réfléchir à leur assemblage plutôt que de tenter d'exploiter le gaz de schiste en détruisant notre environnement.

Le modèle économique

Il en est de la réduction de la dette comme de celle du CO2 : plus l'on attend, plus l'effort à faire sera brutal. Reste à espérer que cette négligence coupable ne nous emmène pas à la catastrophe avant d'avoir pu réagir. D'ores et déjà, chacun d'entre nous devine que pour ne pas être le simple spectateur des changements à venir mais en devenir les acteurs, le maître mot doit être celui d'innovation. Il nous appartient par l'étude et le débat de penser collectivement de nouveaux paradigmes, d'avancer des idées neuves, de formuler des propositions capables de conserver aux valeurs qui nous sont chères leur place dans le monde qui vient. En ce début d'année 2012, l'avenir apparaît incertain à beaucoup de nos concitoyens, français et européens. La colère gronde aussi chez ceux qui « font les frais » d'un système financier qui se montre très profitable pour une minorité et en appauvrit beaucoup d'autres. Des signaux d'alerte nous parviennent de façon récurrente quant à notre environnement et la gestion inconsidérée des ressources naturelles. Face à ces constats qui mobilisent citoyens, gouvernements et O.N.G. un peu partout dans le monde surgit une réalité : le modèle énergétique mondial, basé sur la fuite en avant permanente et sur des cibles de rentabilité de 20% par an est à bout de souffle et n'est plus viable. Tant que nous préférerons ce modèle au développement durable nous irons de crises en crises, de catastrophes en catastrophes et les populations pauvres seront toujours plus malmenées. Les « Lutins thermiques* » reconnaissent que le chauffage thermodynamique est plus complexe que la pompe à fioul, le filtre et le gicleur en série d'un brûleur. Ils adhèrent cependant aux propos de la revue « 60 millions de consommateurs » qui estime qu'une mutation rapide et profonde est indispensable et que le moment est venu de dessiner en France et en Europe le cadre politique du « développement durable ». Ils espèrent qu'il ne sera pas nécessaire de modifier la hiérarchie politique actuelle pour garantir la cohérence du choix de société qui va s'imposer à court terme. Peu importe selon eux que le second personnage de l'état soit nommé Ministre du développement durable et ait autorité ou non sur le Ministre de l'économie, du travail, et de l'écologie. Ce qui est essentiel selon les Lutins thermiques est que les différents responsables de cette hiérarchie soient solidaires dans les décisions à prendre pour garantir la cohérence du choix de société qui va maintenant s'imposer à nous à court terme. Cette solidarité devra prendre en compte une vision commune lors de l'examen des projets de loi et des réglementations. Aucune réglementation ne devrait être votée si elle n'a pas été précédée d'une étude d'impact décrivant et mesurant l'effet attendu de cette réglementation sur chacun des trois piliers du développement durable : *l'économie*, *le social* et *l'environnement*. *L'économie* pour réduire la dette, *le social* pour les injustices sociales et *l'environnement* afin que chacun d'entre nous vive dans un monde équilibré et favorable à sa santé. Cela n'est-il pas d'ailleurs écrit dans notre constitution ? Si un

Généralités

seul des trois piliers fait défaut, c'est l'ensemble du dispositif qui risque de s'écrouler. Les Lutins thermiques pensent comme le Président de « Fondapol », que la France pourrait jouer un rôle de précurseur en demandant que directives, règlements et Lois européennes soient adoptées selon cette même procédure de telle sorte que ce soit la communauté européenne dans son ensemble qui propose et choisisse son nouveau modèle de société. Cette vision commune lors de l'examen des projets de loi et des réglementations pourrait bien être le cadre sans lequel il n'y aura pas de développement durable.



Negawatt le célèbre prévisionniste de l'énergie s'appuie sur 3 piliers pour justifier sa théorie : La sobriété, l'efficacité, le renouvelable. Les Lutins thermiques proposent en quelque sorte une tour Eiffel à 3 pieds qui ne soit pas hyperstatique pour que cette théorie se réalise. Trois pieds qui s'appellent l'économie, le social et l'environnement

En signant conjointement un texte élaboré par Bruxelles et relatif à l'obligation d'effectuer un *audit énergétique collectif* dans les copropriétés, les principaux personnages de l'état à savoir le Premier ministre, le Ministre de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement, le garde des sceaux, le ministre de l'économie des finances et de l'industrie, le secrétaire d'Etat auprès de la ministre de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement, chargé du logement, ont, pour le plus grand bien de tous, pris conscience qu'il était possible de mettre un terme au gâchis énergétique que constitue le chauffage urbain actuel en incitant le citoyen à raisonner collectivement pour le chauffage des immeubles. Il y a urgence. Il reste à espérer que la route ne sera plus trop longue avant que se dessine le « bon scénario » permettant de sortir de l'impasse. Il y aura bien évidemment d'autres paradigmes à imaginer et à mettre en œuvre.

«La ressource qui nous manque le plus n'est pas le pétrole, ni le gaz, ni l'uranium; c'est le temps qu'il nous reste encore pour adapter nos modes de comportement aux exigences et aux limites de notre monde.» Russel Train ("1920), ancien chef de l'Autorité américaine de protection de l'environnement.

- Apprenez quelles sont les objectifs et les convictions des Lutins thermiques en vous reportant à la page 117

Chapitre I

La rivière source d'énergie

Ce chapitre explique comment la rivière pourrait être utilisée pour la production d'énergie mais d'une façon différente de celle utilisée jusqu'à présent avec les barrages hydroélectriques au fil de l'eau. La rivière et son sous-sol alluvionnaire ne forment pas seulement un écosystème qu'il convient de protéger. Ils forment aussi une réserve d'énergie trop souvent méconnue.



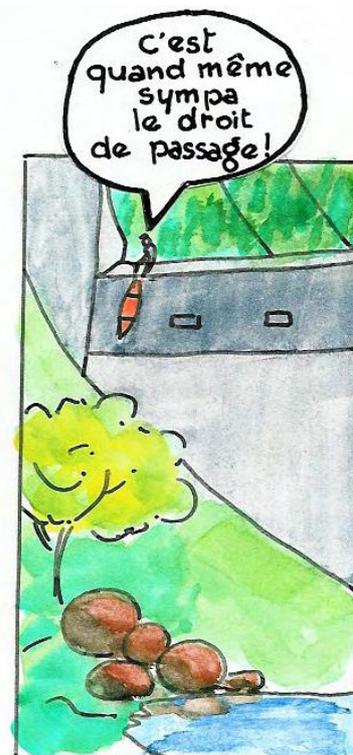
L'eau qui s'écoule lentement par gravité dans les nappes phréatiques libres peu profondes et proches du lit majeur de la rivière est comme cette dernière un formidable véhicule thermique trop souvent ignoré. Produire une énergie thermique propre et bon marché en utilisant l'énergie qui se trouve sous nos pieds en régénérant – cerise sur le gâteau – notre sous-sol qui en a bien besoin est dès à présent à la portée des technologies modernes de chauffage. Associé à une pompe à chaleur aquathermique, l'écosystème constitué par la rivière et son sous-sol peut produire l'énergie thermique nécessaire à notre confort en améliorant notre pouvoir d'achat et la protection de notre environnement. Ceci, en accélérant l'abandon des combustibles fossiles au profit d'une énergie propre et renouvelable dite « positive ». Nos rivières à régime glaciaire peuvent aussi dans certaines conditions être utilisées différemment pour produire l'énergie électrique, mais en conciliant des impératifs qui sont restés jusqu'ici contradictoires tels que la production d'énergie, la sécurité et le plaisir du touriste nautique.

Le site www.infoenergie.eu donne accès à une compilation des notes envoyées par *Balendard* "citoyen Lambda" sur le site du MEDAD. Un exemple de démocratie participative en quelque sorte. Les Lutins thermiques font toutefois observer que dans le domaine de l'énergie, la démocratie participative ne présente un intérêt pour la collectivité que si les élus ont la volonté politique de passer aux actes.

Les grands barrages EDF

Que l'on en condamne le principe ou les résultats, il est un fait que dans les années 50 la France a équipé ses rivières de grands barrages producteurs d'électricité pratiquement tous les sites qui pouvaient l'être. Ces quelques 300 grands barrages, du type voûte ou poids ont parfois noyé des sites pittoresques mais en contrepartie les plans d'eau en amont de ces barrages, lorsqu'ils sont accessibles, sont la plupart du temps offerts pour la pratique de la voile ou du motonautisme.

De plus, des lâchers d'eau permettent parfois de descendre des parcours qui sans eux seraient à sec en été. Certains ont regrettés dans un premier temps qu'il n'y ait que trop rarement un moyen de passage, un lieu de débarquement et de remise à l'eau commode pour franchir ces grands obstacles. L'investissement en regard du coût de l'ouvrage aurait été négligeable. Maintenant tout cela est oublié. Ces barrages et leurs grandes retenues font maintenant partie du paysage et de notre patrimoine. L'énergie potentielle importante qu'ils recèlent, disponible en peu de temps sous forme d'énergie cinétique ce qui constitue un facteur non négligeable de stabilisation du réseau électrique européen. Il n'en va pas de même de la plupart des 150 barrages dit "au fil de l'eau" ou à basse chute. L'énergie potentielle emmagasinée en amont de ces barrages est négligeable en valeur relative. De plus, les rivières françaises sont sensiblement moins en eau que dans le passé.



Dessin Michel Copin

Quoiqu'en certains de nos politiciens, on réalise tardivement que certains d'entre eux, particulièrement sur l'Allier, empêchent la migration des saumons vers l'amont. Leur démolition, qui a été reportée depuis trop longtemps, est devenue maintenant pour certains d'entre eux irrémédiable.

Une source d'énergie propre qui perturbe les rivières

La quasi-totalité de l'énergie renouvelable du pays, plus précisément 90% de celle-ci est assurée par les barrages hydroélectriques. Pourtant ces barrages, construits en France principalement au milieu du siècle dernier assurent à peine plus de 10% de l'électricité nationale. Cette production est à l'évidence faible en regard des conséquences importantes sur l'équilibre écologique des cours d'eau qui en résulte. La construction d'un barrage bloque l'écoulement des sédiments, fait varier brutalement les débits au détriment de la sécurité et empêche ou freine la migration des poissons. En contrepartie, les barrages fournissent une électricité peu chère, mobilisable aisément lors des "pointes" de consommation du matin, du midi et du soir des ménages. De plus, l'eau, source renouvelable et propre ne dégage pas de gaz à effet de serre contrairement aux centrales thermiques auxquelles EDF a parfois recours en période de pointe, en complément du nucléaire.

Actuellement, EDF exploite un peu plus de 500 ouvrages hydrauliques importants. Ces ouvrages représentent l'équivalent de 5 réacteurs nucléaires de 900 mégawatts. Une centaine de concessions attribuées pour 75 ans à EDF viennent à échéance progressivement. La France en accord avec une directive européenne, a l'objectif ambitieux de doubler la part des énergies renouvelables dans sa consommation d'électricité à l'horizon 2010, soit de porter ce pourcentage à 20% en lieu et place des quelques 10% actuels.

Vouloir confier à l'éolien l'essentiel de cette progression du fait de la quasi impossibilité - sauf à créer des catastrophes écologiques locales - de trouver de nouveaux sites pour les grands barrages relève probablement de l'utopie. La meilleure preuve est bien ce qui vient d'arriver à la Hollande. Ce pays a développée à grande échelle la production d'énergie positive basée sur les éoliennes et est classée parmi les pays européens celui ayant l'efficacité la plus mauvaise en termes de production de gaz à effet de serre type dioxyde de carbone. Cette situation paradoxale s'explique par le fait qu'en l'absence de vent ce pays plat, n'ayant pratiquement pas de grand barrage hydroélectrique, n'a actuellement pas d'autre solution que d'assurer sa production électrique par des turbines à gaz lorsque le vent fait défaut ce qui est trop souvent le cas.

Il va devenir urgent d'arrêter de penser uniquement en terme d'hydroélectricité ou d'éolien pour augmenter la part des énergies renouvelables. De même, évoquer le fait que la production d'énergie renouvelable hydroélectrique pourrait diminuer sensiblement si l'on augmente le débit qui doit rester dans la rivière (débit réservé) montre un mépris flagrant pour l'écosystème constitué par la rivière et pour les écologistes. On conçoit que les pêcheurs et les écologistes se soient mobilisés contre

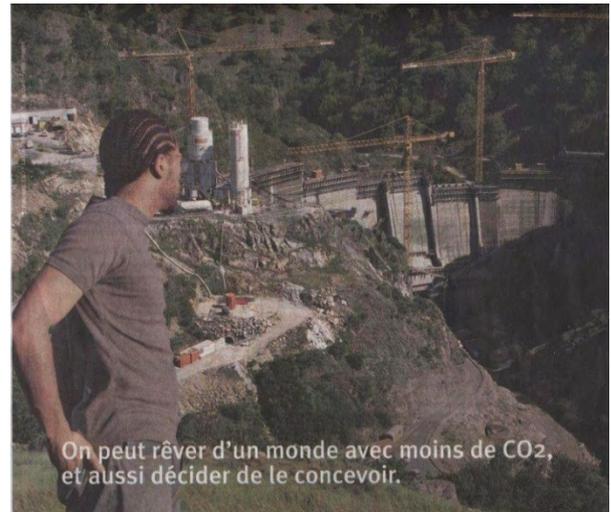
La rivière source d'énergie

l'ultime verrou pour les saumons que constitue le barrage de Poutès-Monistrol sur l'Allier. Il est temps que leur vœux soient exaucés et que ce barrage voûte soit démantelé enfin de rendre à la rivière son caractère naturel et au saumon son lieu de ponte. Cette démolition serait une suite logique à la démolition du barrage Saint-Etienne du Vigan où l'Allier a retrouvé son charme naturel. Encore faut-il que les saumons puissent atteindre les meilleures frayères situées en amont et ces zones de galets où ils se reproduisent. Le saumon a vu ses effectifs fondre de 99% depuis 1890. Il ne se doute pas lorsqu'il choisit la rivière au fleuve en arrivant au Bec d'Allier qu'il va être bloqué en se dirigeant vers ses frayères, une centaine de km en amont par les 17 mètres du barrage de Poutès. Sur une rivière qui coule loin des villes et propre comme l'Allier, les barrages sont clairement identifiés comme la première cause du déclin du saumon devant la pollution. C'était la richesse de la vallée, on venait le pêcher de partout, témoignent les habitants de la région qui rêvent de "pêcher de nouveau le saumon avant d'être au cimetière". Ils sont tout naturellement opposés au renouvellement de la concession du barrage octroyée à l'EDF il y a environ 75 ans et qui est arrivée à échéance en 2007. En supposant que les saumons « passent » un peu au barrage de Poutès en raison des améliorations qui ont été apportées au barrage, soit vers l'amont à l'aide de l'ascenseur à poisson, soit vers l'aval lorsqu'ils utilisent le toboggan lorsqu'ils entament leur voyage vers la mer, l'obstacle constitué par le barrage freine incontestablement sa progression. Même bien équipés, les barrages sont autant d'obstacles qui retardent le jeune saumon dont le temps est compté et qui n'a qu'un mois et demi pour atteindre la mer, avant que la température de l'eau ne s'élève trop et qu'il s'asphyxie en juin dans les estuaires. Evoquer la pollution et la pêche à l'embouchure, le fait que sa démolition priverait la commune de la taxe professionnelle qu'elle retire de son existence relève d'un certain mépris pour la rivière et son écosystème. A chaque barrage, le saumon hésite entre l'eau qui court vers les turbines et le filet d'eau qui l'amènera sain et sauf au toboggan. En final, bien peu des jeunes saumons déversés artificiellement en amont dans les salmonicultures survivent.

Va-t-on réécrire l'histoire ?

Espérons que cette incroyable image du Monde de janvier 2008 ne date pas d'hier. La prodigieuse aventure énergétique du siècle dernier n'appartiendrait-elle pas au passé?

Dans les années cinquante la production électrique était assurée principalement par la production hydroélectrique. Les énergétivores que nous sommes et l'erreur de la réglementation thermique 2005 ont fait que le nucléaire représente maintenant 80% du besoin français en électricité. Notre besoin insatiable en énergie a fait que 50 ans plus tard les barrages hydroélectriques français ne produisent plus maintenant que 10% de nos besoins.



Le bon sens voudrait que l'on ne construise plus en France de grands barrages voûte comme celui représenté sur cette figure. L'énergie potentielle extrêmement importante contenue dans les retenues de ces grands barrages et l'apparition de nouvelles STEP suffisent selon les Lutins largement à l'EDF pour éviter le décrochage du réseau électrique européen. Même si cela se fait au détriment de la sécurité en aval de ces barrages, tant la demande peut être pressante, Les Lutins (nautiques cette fois-ci) sont prêts à accepter ces réalisations et à les considérer comme faisant partie de notre patrimoine. Ils pensaient que tous les sites qui pouvaient l'être étaient déjà équipés et espéraient que nous allions arrêter de dégrader notre environnement. Ce qui est en train de se passer en Corse sur le fleuve Rizzanese montre qu'il n'en est rien. Cette image on peut l'espérer ne sera plus maintenant considérée en France que comme la réclame d'un *"bon produit"* pour les pays émergents, particulièrement ceux ayant des régions montagneuses et qui acceptent de sacrifier quelques-unes de leurs plus grosses rivières et les saumons qui vont avec pour satisfaire leur besoin énergétiques. Cette solution serait à l'évidence préférable pour notre couche d'ozone à une production électrique sur leur territoires assurée par des turbines à gaz ou au charbon. Mais ne nous voilons pas la face, même avec l'apparition probable du chauffage thermodynamique dans l'habitat urbain ancien, la demande française en électricité va encore croître inexorablement. On ne peut raisonnablement demander au nucléaire de tout assurer. Alors que la demande en électricité ne peut qu'augmenter, il est

La rivière source d'énergie

de notre devoir après le drame japonais de Fukushima de tenter de réduire la demande en électricité. Qu'elles sont les solutions pour y parvenir? Telle est la vraie question que nous devons nous poser. Il devient certainement urgent de dissocier les énergies électriques et thermiques. De ne pas convertir la première vers la deuxième si le "rendement" n'est pas bon. Une pompe à chaleur sur nappe qui peut générer 5 voir 6 kWh thermique pour 1 kWh électrique à un bon "rendement". Par contre une résistance électrique qui converti 1 kWh électrique en 1 kWh thermique à un mauvais "rendement". Les solutions ne manquent pour accroître la part d'énergie électrique "verte". Par exemple les puissances disponibles avec la solaire voltaïque saharienne jusqu'à présent quantité négligeable qui commencent à augmenter et à se rapprocher de celles du nucléaire*, les éoliennes** ainsi que les hydroliennes est une autre.

** Pour exemple la puissance de 500 MW de la première centrale solaire marocaine réalisée en partenariat avec l'Allemagne par Desertec (la moitié d'une centrale nucléaire "classique")*

*** Le Journal "le Monde" estime que l'Allemagne, grâce à sa puissance industrielle, devrait être en passe de produire dès 2022 environ 22% de sa consommation électrique avec les éoliennes installées sur son territoire.*

Les microcentrales et les rivières

La rivière nous a-t-elle déjà trop donné? Peut-être. Elle nous permet depuis les années 50 de produire de l'électricité bon marché sans générer les gaz nocifs provenant de la combustion des produits fossiles. C'est la vente de l'électricité produite par les centrales hydroélectrique qui a permis à L'EDF de progresser et de financer la recherche nucléaire où elle excelle maintenant. Elle nous a déjà tellement donné que l'on pourrait douter de ses capacités de continuer à le faire. C'est mal la connaître. Si l'on prend garde de ne pas lui demander plus que ce qu'elle ne peut raisonnablement donner il n'y a pas de souci à se faire. On peut s'émouvoir des quelques projets de grands barrages au fin de production électrique et non de stockage qui reste - quoi qu'on en dise- en suspens, ou pire qui sont en construction actuellement*.

Il faut toutefois se garder de généraliser sur les nuisances provoquées par les micros centrales. L'examen du cas des micros centrales est fait de cas particulier.

Certaines d'entre elles disposées sur le bas cours des fleuves dans des bras de dérivation ne présentent pas d'inconvénient majeur pour l'environnement. Il y a eu aussi beaucoup d'émotion au sujet de l'installation de microcentrales sur les petites rivières à régime glacière telle que le Gyr. En effet, la rivière n'a pas totalement fini de nous surprendre et de nous aider. Ce qui est essentiel dans tous ces problèmes de prélèvement d'une partie du débit de la rivière quel que soit d'ailleurs la motivation du prélèvement *est la part de débit laissée dans la rivière par rapport à son débit naturel*. Quand la rivière est généreuse et augmente son débit naturellement d'une façon importante en fin de journée comme cela est le cas des rivières à régime glacière lors des heures chaudes de la journée et les Lutins nautiques ne voient pas pourquoi on ne profiterait pas momentanément de ses largesses. Il n'y a, dans le cas des rivières à régime glacière que des avantages à prélever une partie de leur débit sous réserve de laisser courir dans son lit un débit qui ne soit jamais inférieur au débit naturel qu'elle avait aux heures les plus froides de la journée. Ces rivières à eaux froides sont souvent dangereuses par haut débit et voilà une façon intelligente de domestiquer la rivière, d'améliorer la sécurité tout en continuant à produire de l'énergie renouvelable bon marché ne provenant pas de la combustion des produits fossiles. Non, sincèrement dans le cas des rivières à régime glacière, aucune polémique basée sur des conflits d'intérêt ou un amour immodéré de la nature ne devrait s'installer. Sous réserve bien sûr que les dérivations ne soient pas apparentes. Le seul problème est de s'assurer qu'il reste toujours dans ces rivières, qu'il s'agisse d'une petite rivière comme le Gyr, ou d'une plus grosse comme l'Isère, heures de navigation ou pas, *un débit au moins égal à celui des heures les plus froides de la journée*, pas de savoir s'il est préférable de prélever seulement 2 m³/s ou 50 m³/s ou de savoir si les gains sont marginaux ou non. Un seul souhait des Lutins : le choix de microcentrale à hauteur de chute suffisante

La rivière source d'énergie

pour limiter le risque que pourrait constituer pour la sécurité cette alternance de haut et de bas débit entre des microcentrales trop rapprochées l'une de l'autre. A la fin du printemps et pendant l'été, lorsque le débit est trop important, les eaux froides d'une rivière comme l'Isère en aval de bourg Saint Maurice sont dangereuses. L'EDF soucieuse ou non d'assurer la sécurité lors des championnats du monde qui se tiennent souvent à cet endroit a souvent eu du mal à limiter le débit dans le lit naturel de la rivière afin d'améliorer la sécurité au bénéfice de la production hydroélectrique. Il faut par contre prendre garde à l'appât du gain et l'obligation de rachat par l'EDF du courant électrique produit par le particulier à des taux attractifs*. Ces pratiques ne doivent pas entraîner des installations non conformes à des règles d'implantation strictes. Ces règles devraient maintenant être dédiées à l'avenir du canoë-kayak et à sa sécurité, au plaisir du touriste nautique et du promeneur pédestres longeant les berges de la rivière. Il faut reconnaître que cette politique de rachat ne présente pas d'inconvénient pour l'environnement dans le cas des cellules photovoltaïques ou des éoliennes. Par contre, ce n'est pas le même constat pour les microcentrales qui subsistent ici ou là sur les rivières à régime pluvial ou pire encore sur les rivières générées par des résurgences. Sur ces rivières à débit souvent plus faible, l'impact sur l'environnement peut être assimilé à une véritable nuisance. Pour produire quelques kWh de plus, le débit prélevé pour alimenter la microcentrale est augmenté par l'exploitant et ce qui reste dans le lit naturel est triste à voir. Ce constat est encore plus affligeant sur les rivières à usage touristique telles que l'Aveyron, le Lot ou la Sorgue. Il est naturellement douloureux pour un propriétaire riverain auquel un droit d'exploitation a été consenti à ses parents de se voir retirer ce droit de son vivant pour ses descendants, mais sur ces rivières particulières, il y va de l'intérêt général.

*<http://www.rivieres.info/patri/rizza.htm>

* Cette pratique commence à être combattue au niveau européen, probablement pour faire échec à cette notion de monopole. C'est tant mieux, parce que, momentanément généreuse, elle introduit une notion de dépendance qui peut se retourner à long terme sur le particulier.

La grande braderie de la houille blanche ?

Dans le feuilleton de l'ouverture à la concurrence de notre marché électrique, et des rentes qu'elle génère pour les actionnaires, l'on oublie souvent d'évoquer le cas des barrages et divers ouvrages hydrauliques qui structurent nos montagnes et nos vallées. Pourtant, ces aménagements vont bientôt, au détour de la parution d'un décret fixant les conditions de renouvellement des concessions hydroélectriques, faire eux aussi le bonheur de quelques heureux investisseurs. Et à quel prix ! Car il s'agit là d'un véritable trésor. Un tas d'or d'autant plus inestimable que la ressource génératrice - l'eau – est stockable, renouvelable et inaliénable, et que la chaîne énergétique, relativement simple par rapport aux autres moyens de production, permet d'obtenir un kWh bon marché avec un taux d'émission de CO₂ proche de zéro. Qui plus est, cette houille blanche est, avec le nucléaire, l'autre grande spécificité de notre parc énergétique : Les 400 ouvrages concessibles d'une puissance de plus de 4,5 MW produisent près de 80 % de notre énergie d'origine renouvelable et constituent un apport d'énergie tout à fait déterminant. Avec un potentiel moyen de 14 % de la production, la France se positionne au huitième rang mondial et au deuxième rang européen derrière la Norvège. L'énergie hydraulique constitue un capital et assure une rentabilité considérable issue du secteur public. Depuis une loi de 1919, l'exploitation de cette énergie renouvelable se fait dans le cadre de concessions, dont les premières ont été octroyées pour une durée moyenne de 75 ans, en contrepartie de l'investissement initial et de contraintes d'aménagement du territoire. Les conditions économiques de la production d'électricité par transformation de la force hydraulique font que l'investissement de départ est important et le retour économique long. Mais une fois l'investissement amorti, les coûts d'exploitation sont faibles et une situation de rente est créée. C'est un exemple très concret d'économie de développement durable où le risque du long terme a été assumé par l'Etat avec des entreprises alors 100 % publiques, dont la principale est EDF. Aujourd'hui, l'essentiel du parc de production français est amorti et génère une richesse considérable appelée à croître, étant communément admis que le prix de vente de l'électricité ne peut qu'augmenter alors que le coût de revient de ce type de production restera stable. Il est aujourd'hui, pour les aménagements conséquents, de l'ordre de 30 % à 40 % du prix de vente du kW, hors redevance. Cela se vérifie déjà avec la concession du Rhône, confiée à la Compagnie nationale du Rhône. Cette entreprise verse une redevance égale à 25 % de son chiffre d'affaires et affiche des résultats - et des profits - mirifiques, y compris lorsque la pluviométrie est faible. Ainsi, pour 2006, l'actionnaire s'est octroyé un dividende égal à 15 % du chiffre d'affaires.

La rivière source d'énergie

Après l'ouverture du marché de l'électricité à la concurrence, le changement du statut d'EDF en société anonyme en 2004 et la suppression en 2006 du droit de préférence dont elle jouissait sur le renouvellement est désormais soumis à une mise en concurrence au moyen d'une procédure d'appel d'offres. Le législateur, au détour de la loi de finances pour 2006, a d'ores et déjà prévu que la redevance due par le concessionnaire à l'Etat et aux collectivités locales ne pourra excéder 25 % des recettes résultant des ventes d'électricité. Il résulte de ce choix que l'essentiel de la rente hydraulique bénéficiera aux nouveaux concessionnaires. Pour les concessions importantes, ce prix maximal permettra aux exploitants choisis de dégager une marge brute d'exploitation de l'ordre de 30 % à 50 % aux conditions actuelles du marché. Pour les meilleures années, celles où la pluviométrie est importante, cette marge peut exploser pour la raison que, hors redevance, les coûts sont fixes et les kWh supplémentaires produits dégagent une marge proche de 75 % du prix de vente. De plus, plafonner la redevance publique est contre-productif puisque le choix portera finalement sur d'autres critères, au risque d'écartier les exploitants les plus compétitifs ou de faire passer au second plan les impératifs en matière de sûreté. Tout cela équivaut à brader un bien public très précieux au détriment de sa valorisation au service de l'intérêt général. Nous disposons d'une ressource qui a longtemps contribué à un prix de vente de l'électricité au client final plutôt favorable comparé à celui des autres pays européens. Mais tout a changé avec l'ouverture du marché de l'électricité : le prix de marché calé sur le prix moyen de production lui-même indexé sur le cours du baril de pétrole, accompagné de l'ouverture du capital des entreprises jusque-là 100 % publiques (EDF, CNR, Société hydroélectrique du midi, SHEM), fait que le consommateur français ne pourra plus bénéficier de cet avantage. Dans ce contexte, l'hydroélectricité doit plus que jamais être valorisée à son juste prix. L'intérêt de la collectivité est de pouvoir disposer d'exploitants performants aptes à valoriser ce capital public, et rétribués en fonction de leur résultat. A la collectivité de définir dans quelles conditions elle entend mettre sur le marché ses concessions hydrauliques (partage des usages, variation des débits, débits réservés, sûreté...), aux prétendants d'offrir le meilleur prix pour l'exploitation de ce bien. A l'inverse, il est prévu de transformer ce formidable potentiel de ressources publiques en dividendes pour les actionnaires des nouveaux concessionnaires. Le manque à gagner sera très important pour la collectivité, alors que le bénéfice tiré de l'investissement public dans l'hydroélectricité pourrait utilement financer les politiques de développement durable. A l'heure où les besoins de financements sont considérables pour répondre aux objectifs de développement de nos énergies renouvelables et de réduction significative de nos émissions de gaz à effet de serre, cette répartition de la rente hydraulique jouera à contre-courant de l'intérêt général. Espérons, à l'occasion des débats sur les lois du Grenelle de l'environnement, que le gouvernement acceptera de renoncer à cette grande braderie de notre parc hydroélectrique.

Cet article du Monde du mardi 15 juillet 2008-07-23 a été écrit par nos deux bienveillants Lutins nautiques :

François Brottes

Député (PS) de l'Isère et coprésident du groupe Energies de l'Assemblée nationale

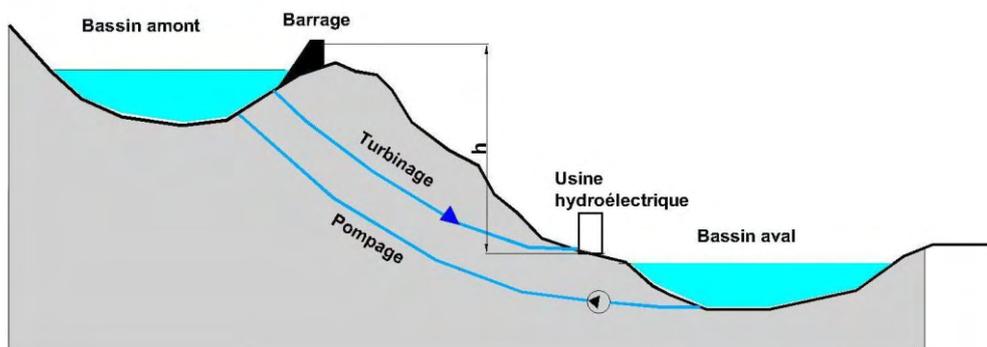
Bernard Revil Salarié chez EDF

L'hydroélectricité doit être valorisée à son juste prix et non concédée pour le plus grand profit des exploitants privés.

Le futur bénéficiaire de la rente de la « houille blanche » doit être le citoyen, grâce à des recettes publiques conséquentes, affectées prioritairement aux politiques décentralisées de développement durable.

Les STEP et le stockage de l'électricité*

Dispositif imaginé par un ingénieur français faisant intervenir les énergies mécanique, hydraulique et électrique la Station de Transfert d'Énergie par Pompage (STEP) est maintenant assez répandu mondialement. L'énergie est très dépendante de *l'offre et de la demande*. La capacité d'une STEP de répondre rapidement à une pointe de consommation, ce que ne peut pas faire une centrale nucléaire à la montée en régime très lente, ou une éolienne à la production imprévisible à moyen terme, constitue un facteur non négligeable de stabilisation du réseau électrique européen. Dans les régions montagneuses on utilise parfois les hauteurs de chute plusieurs fois. Ceci en utilisant des motopompes la nuit lorsque le besoin en l'électricité est moindre et que les prix de l'électricité baissent avec le tarif de nuit*. Les STEP remontent alors l'eau dans la retenue supérieure des barrages ce qui permet d'adapter très rapidement la production d'électricité au besoin en améliorant la rentabilité de la production d'énergie d'origine hydroélectrique. Le rendement d'un tel ensemble voisin de 70%, n'est pas excellent, puisque seulement 3kWh sont récupérés au turbinage pour 4 kWh utile au pompage, pourtant ce dispositif est particulièrement intéressant et rentable dans la mesure où les kWh produits pendant les heures de pointe répondent au besoin sans qu'il soit nécessaire de recourir aux turbines à gaz ou pire encore pour notre environnement aux moteurs diesels au prix de revient élevé (environ 0,5 €/kWh) comme cela s'est produit en Corse lors de la bien triste histoire du Rizzanese. Le prix de revient de l'électricité produite ainsi aux heures de pointes est à peine supérieur à celui de l'électricité nucléaire. La revente à l'utilisateur pouvant se faire à une valeur 10 fois supérieure aux kWh consommés ! Qui plus est, cette solution qui stocke l'eau en haute montagne, met dans une certaine mesure les zones de plaine à l'abri d'une sécheresse éventuelle en assurant un besoin éventuel urgent en eau potable. Les Lutins nautiques et le petit monde du canoë-kayak accueillent avec prudence, mais aussi avec une certaine satisfaction ce type de réalisation qui pourrait être une opportunité de rendre vie à certaines de nos plus belles rivières sur leur cours moyen.

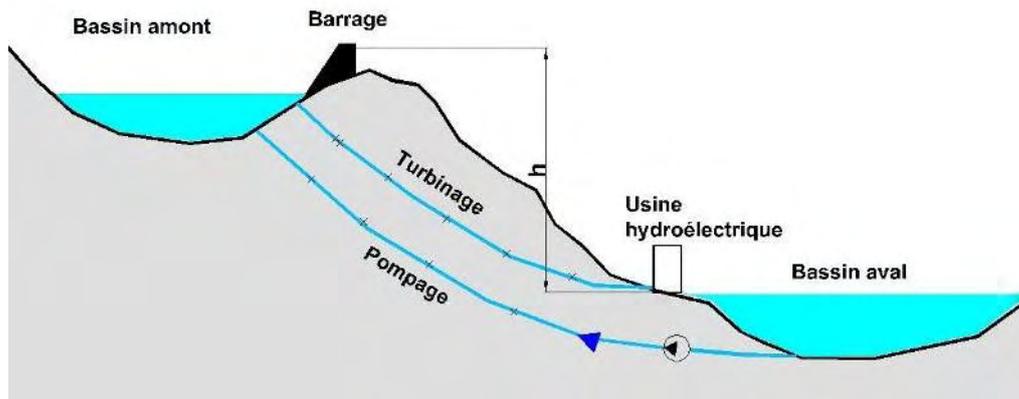


Turbinage

La STEP fournit de l'électricité aux heures de pointe par turbinage en utilisant l'énergie potentielle contenue dans le bassin amont. La turbine Pelton est bien adaptée aux grandes hauteurs de chute h

* Les futures voitures électriques équipées de batteries se chargeront la nuit, permettant ainsi de disposer d'un kWh à un prix intéressant.

La rivière source d'énergie



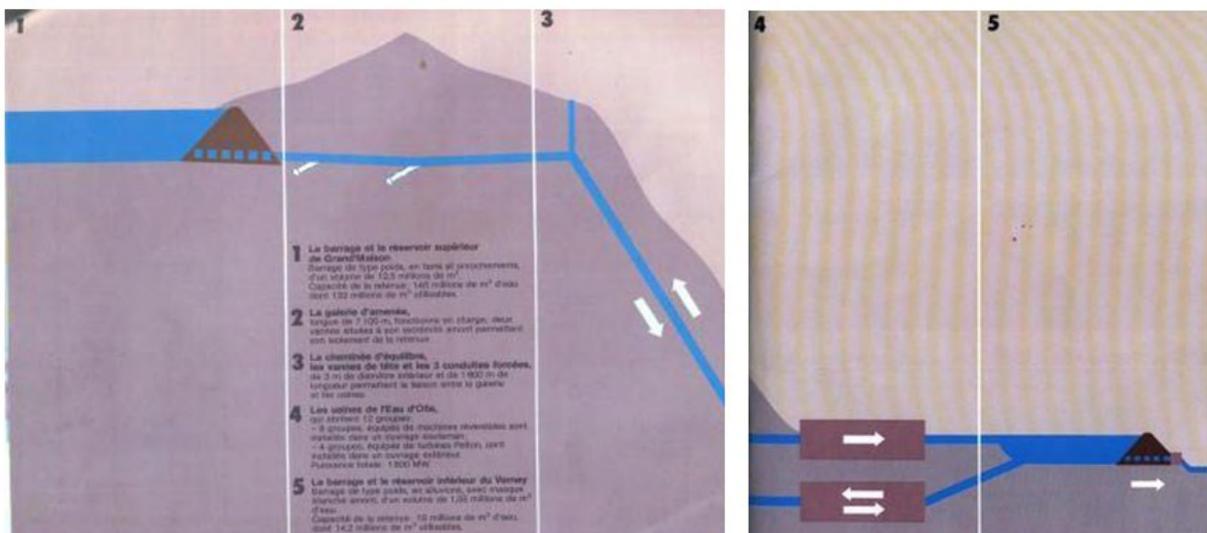
Pompage

Le réseau électrique recharge le bassin supérieur par pompage aux heures creuses

La France pionnière dans ce domaine a équipé le site de groupes réversibles assurant à la fois le pompage et le turbinage

Un exemple : Le barrage de GrandMaison

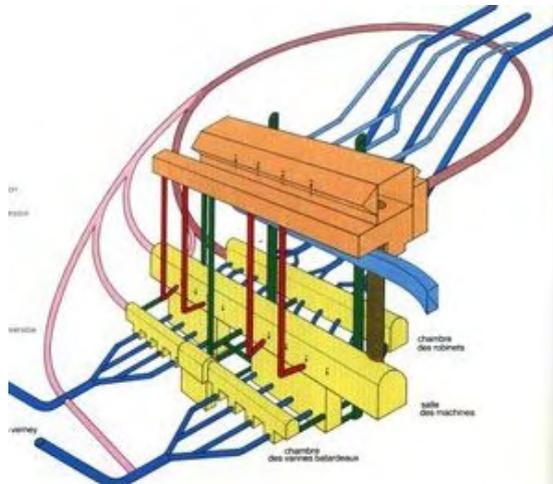
C'est ainsi que sur le petit torrent français Eau d'Olle prenant sa source au col du Glandon à 2000 m d'altitude, les deux barrages de Grand'Maison et du Verney dans la région Rhône Alpes d'une capacité voisine de 130 millions de m³, reliés par des conduits souterrains peuvent restituer une puissance de 1800 Mégawatt voisine de celle d'une grosse centrale nucléaire. et surtout absorber en mode pompage une puissance électrique de 1200 Mégawatt proche de la puissance du futur programme d'éolienne française offshore en mer du nord. Ce procédé à l'abri des risques de sécheresse est intéressant pour stocker l'énergie excédentaire produite pendant la nuit d'origine qu'elle soit d'origine nucléaire ou produite pas les éoliennes. Selon les estimations de l'agence internationale de l'énergie (IEA) près de 100 Gigawatts de STEP sont installés ou en cours de création dans le monde.



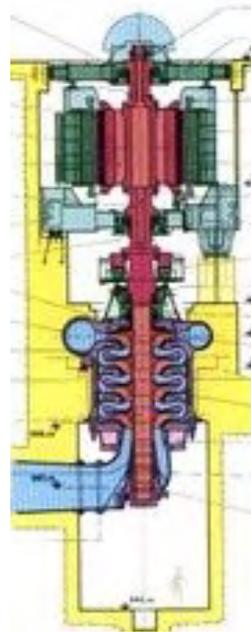
Le barrage de GrandMaison .

La retenue du Verney située dans la plaine d'Allemont 930 m en contrebas

La rivière source d'énergie



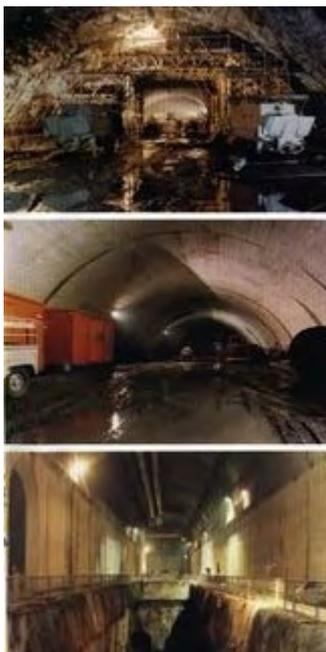
L'usine inférieure au Verney



Les turbines Pelton



Pendant les travaux



*Le perçage des canalisations par tunnelier
Le diamètre important des tuyauteries
autorise des débits impressionnants proches
de 200 m³/s*

Notre sous-sol

La France peine à rattraper son retard concernant le mauvais état de son sous-sol. Condamnée plusieurs fois par la Cour européenne de Justice elle a souvent été en passe de payer une forte amende. La France serait-elle dans ce domaine le plus mauvais élève de l'Europe? Le chemin à parcourir serait-il si important ou le mot pollution synonyme de lenteur? Comment éviter à l'avenir des problèmes comme ceux constatés avec le pyralène sur le Rhône ou les algues vertes bretonnes?

Comment expliquer que notre progression soit si lente ?

Cette lenteur peut s'expliquer par le fait qu'au lieu de renforcer la politique de dépollution - qui coûte de plus en plus cher au contribuable - on devrait plutôt se préoccuper de limiter les sources même de cette pollution. D'autant que certains composants chimiques polluant trop souvent notre sous-sol ont la vie dure. Certains pays l'on compris et c'est tant mieux pour eux. (Avez-vous deviné pourquoi les salades, les radis et en général les légumes coûtent environ 2 à 3 fois moins chères en Allemagne qu'en France ?) Les sociétés industrielles sont l'objet d'inspections régulières et ont obligation de respecter les normes de rejet sinon l'usine est fermée. Sauf accident, elles ne devraient pas être en cause. Il n'y a donc pas grand-chose à redire de ce côté sinon que la police de l'eau peine à faire appliquer des sanctions et que les passages en justice restent peu fréquents. Par contre, on laisse les agriculteurs et surtout les éleveurs de bétail rejeter un peu n'importe quoi!

Il y a sûrement de nombreuses méthodes pour combattre le mal à la source.

Ne pourrait-on pas par exemple améliorer l'usage de béton et ciment (véritablement) poreux dans les régions urbaines facilitant ainsi les infiltrations vers notre sous-sol qui en a bien besoin. Cela présenterait en plus l'avantage de réduire sensiblement les inondations. Comme pour le chauffage urbain, trois mots complémentaires viennent à l'esprit pour résoudre ces problèmes ; < Formation, incitation, répression >

On s'accorde donc à dire qu'une bonne partie de notre sous-sol est gravement polluée par les méthodes utilisées pour la production agricole. L'accumulation d'algues nocives et malodorantes sur les côtes bretonnes, le dépassement des taux de nitrates et de pesticides dans nos plaines agricoles ainsi que les contrôles sanitaires réglementaires le prouvent. Il serait temps de s'apercevoir qu'il est préférable de s'attaquer aux sources même de la pollution plutôt que de financer une dépollution de plus en plus coûteuse. Toujours est-il que ces pratiques, bon gré mal gré, vont bientôt (devoir) cesser. Ce qui est extrêmement grave en cas de pollution locale d'une rivière ou de son sous-sol alluvionnaire est que tout ce qui se trouve en aval du lieu de pollution sera victime à plus ou moins long terme de cette pollution. Lors d'une pollution accidentelle dans la rivière, les poissons meurent par millier sur les lieux de la pollution mais l'eau se régénérant assez rapidement en raison de

La rivière source d'énergie

l'écoulement de la rivière, les poissons réapparaissent petit à petit. Par contre, probablement en raison de stockages irresponsables dans le sol, on se trouve maintenant devant une pollution du sous-sol alluvionnaire par des polluants chimiques lourds à longue durée de vie qui se fixent dans les nappes libres des alluvions et l'on peut légitimement se demander en combien de temps la nature va reprendre ses droits. Compte tenu de leur grande durée de vie, on peut aussi s'inquiéter que les déchets radioactifs provenant des centrales nucléaires situées à proximité des rivières ne soient pas encore enfouis à grandes profondeurs mais stockés provisoirement à proximité des centrales. Qu'en est-il du sous-sol alluvionnaire de nos rivières ? Deux remarques à leur sujet: D'une part, on ne profite pas suffisamment de la présence d'eau dans la nappe phréatique peu profonde. D'autre part l'eau qui circule dans ces nappes aquifères est probablement déjà un peu filtrée et probablement un peu moins polluée que ne l'est l'eau de la rivière.

Ces nappes phréatiques dites "libres" et peu profondes s'écoulent comme la rivière par gravité vers la mer ou vers nos voisins belges et luxembourgeois en suivant sensiblement la même direction que celle-ci. La vitesse d'écoulement est seulement beaucoup plus lente. Lorsque ces zones alluvionnaires sont constituées de craies fissurées, les vitesses peuvent être plus importantes, mais même dans ces cas favorables elles restent naturellement beaucoup plus faibles comparativement à la rivière. Le sous-sol des rivières est plus ou moins perméable. Il peut être très poreux, au point de prélever une partie des eaux du fleuve comme par exemple sur la basse Loire en aval de Gien lorsque le fleuve, en mal d'affluent, voit une partie même de ses eaux s'infiltrer dans le sous-sol pour ne réapparaître beaucoup plus tard et un peu en contrebas à la résurgence du Bouillon (Source du Loiret) avant de continuer à s'écouler à nouveau plus rapidement vers l'océan. Plus rarement la rivière coure sur des terrains imperméables. Dans ce cas la rivière est généralement bien en eau même par temps sec et la pollution est drainée plus rapidement vers l'aval.

Les quantités d'eau ainsi drainées sont loin d'être négligeables. Pour s'en convaincre il suffit d'examiner d'une part, la superficie de notre douce France de 550 000 km² et d'autre part la somme des débits des fleuves français se jetant dans la mer du Nord, la Manche, l'Atlantique et la "Grande Bleue", de 5500 m³/s (Sans prendre en compte le débit de la Meuse, de la Moselle et de l'Escaut qui s'enfoncent en Belgique ou celui du Rhin, qui ne fait qu'effleurer notre pays) Le chiffre de 320 mm/an obtenu par le calcul en divisant le débit moyen rejeté par la surface de la France est très en deçà des hauteurs de précipitations moyennes annuelles en France. Cette hauteur de précipitation donnée par les pluviomètres était, bon an mal an, de l'ordre de 800 mm/an lors des dernières décennies. Cette différence importante s'explique en bonne partie par l'évaporation et par le fait qu'une part importante est absorbée par la végétation. Elle s'explique aussi par les infiltrations dans le sol et l'alimentation des nappes aquifères superficielles puis profondes. Seul, le reste est drainée par les

La rivière source d'énergie

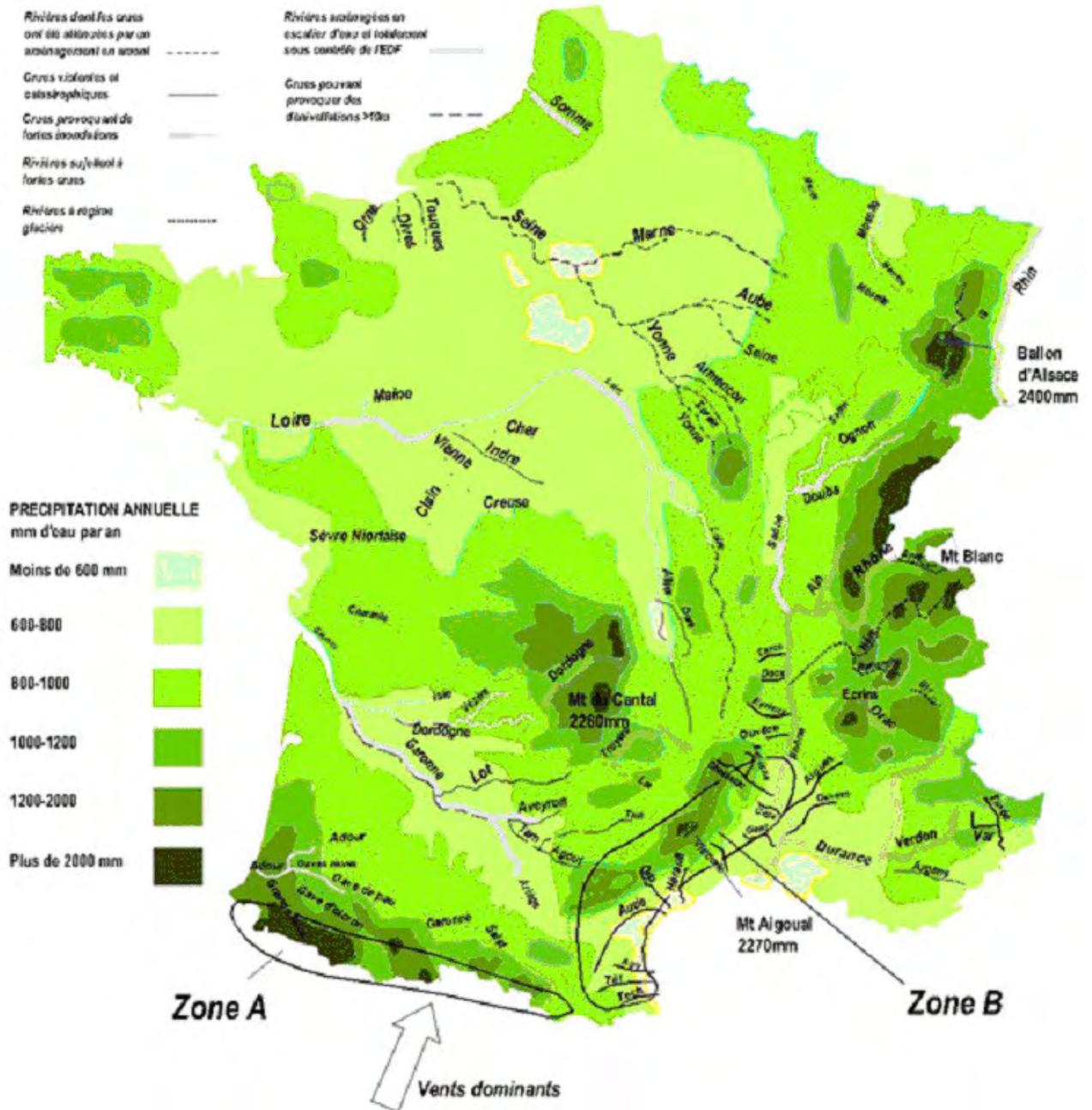
rivières jusqu'au littoral. Il est de toute évidence de notre intérêt d'accroître la part alimentant les nappes aquifères superficielles afin d'accélérer leur renouvellement rendu nécessaire par la pollution.

Où il pleut-il le plus en France?

Un bref coup d'œil sur la carte ci-dessous permet de comprendre qu'il pleut le plus sur les zones montagneuses. Le ballon d'Alsace, le mont Aigoual ainsi que les Monts du Cantal ont longtemps servi de référence pour localiser sur la carte les endroits où il pleut le plus. Dans un récent article du Monde, il est fait état des calculs effectués au MEDD à partir de données communiquées par météo France. Ces travaux sembleraient prouver que les régions de France les plus arrosées sont en train de changer. En effet, les précipitations constatées à la fin de l'année 2005 dans les zones A et B ont été singulièrement élevées par rapport à la moyenne mesurée pendant la même période pour les années allant de 1946 à 2004. Cette différence, très importante pour la zone B (+150 à +800%) est un peu moindre pour la zone A (+125 à 150%). En contrepartie, mis à part la Côte d'Azur, les autres régions de France souffrent d'un déficit de précipitations avec moins d'eau que d'habitude (-30 à -100% suivant les régions). Il semble logique en effet, les vents dominants en France venant du secteur Sud-ouest, que les Pyrénées ainsi que les monts Aigoual ou Lozère, situés en amont, soient un peu plus irrigués que les autres.

Lors de l'été 2003, la sécheresse et la chaleur en France ont été telles que la source de la Moselle s'est tarie fin août. Météo France avait prévu une diminution des précipitations en 2006 alors que l'eau potable est plus rare et coûte de plus en plus cher. Pour ces raisons les chiffres donnés par le MEDD sont inquiétants. Ils montrent en effet que les zones les moins irriguées représentent plus de 90% de la surface de notre territoire alors que, malheureusement pour notre pays, les eaux de la zone B, la plus irriguée, sont drainées très rapidement vers la "Grande Bleu" sans que le sous-sol ne bénéficie pleinement de l'effet purificateur du cycle de l'eau et d'un drainage suffisant. La production d'électricité obtenue en traversant la ligne de partage des eaux dans le sens Atlantique > Méditerranée aggrave encore un peu cette situation ²⁾. On peut penser que la circulation de l'eau en sens inverse c'est-à-dire dans le sens Méditerranée > Atlantique serait plus bénéfique pour le sous-sol de notre territoire, mais est-ce à cause des singularités du relief français, cette inversion ne se fait malheureusement pas. D'autres transferts de rivière à rivière se font en restant sur le même grand bassin versant ³⁾.

La rivière source d'énergie



Le fond de carte, colorié selon la hauteur de précipitation annuelle donne une idée de la façon dont les rivières drainent leurs eaux plus ou moins polluées vers la mer. L'auteur s'en excuse, mais elle ne prend pas encore en compte les récentes constatations de MEDD à partir des données communiquées par Météo France. Toute cette pluie alimente notre sous-sol et génère des aquifères continus peu profonds ou profonds suivant les régions (zones hachurées) sur la majorité de la surface de la France

¹⁾ Chaque particulier français reçoit un relevé annuel l'informant de la qualité de l'eau qui lui est livré au robinet. Il peut, lorsque les limites fixées par Bruxelles sont dépassées, agir

La rivière source d'énergie

auprès des services publics. Chaque citoyen peut aussi se regrouper pour action auprès d'organismes spécialisés. L'institut Pasteur a été saisi de ce dossier. Il est fort probable que l'ingestion de pesticides lorsqu'elle dépasse les valeurs limites réglementaires est nocive pour la santé. Les graves conséquences écologiques à long terme du terrible accident de Bhopal aux Indes dans une usine de fabrication de pesticides sont là pour le rappeler. Un contrôle sanitaire réglementaire de l'eau potable effectué par la DDASS* à partir de 9 échantillons prélevés sur le circuit de distribution et 3 échantillons en production (après traitement) sur de l'eau souterraine provenant d'un puit en nappe calcaire près de Champigny en Seine et Marne a mis en évidence une teneur moyenne en nitrates et en pesticides pour 1 litre d'eau distribué au robinet de respectivement 37,6 mg et 0,17 mg. C'est donc une quantité non négligeable de produits nocifs provenant de notre agriculture qui s'infiltré dans notre sous-sol.

(1mg=10⁻³ g, 1g=10⁶g, une tonne=10⁶g, 1 m³ correspond à 10⁶g d'eau douce. Lentement le temps fait son oeuvre ; 3600 s/heure, 24heure/jour, 365 jours/an)

2) Les mauvais exemples :

- Les eaux du bassin versant de la Haute Loire, heureusement de surface modeste, prélevées dans le lac naturel d'Issarlès et envoyées sous 630 m de chute par la station hydroélectrique de Montpezat vers l'Ardèche toute proche.
- La galerie souterraine sous les monts de Lespinouse à l'usine hydroélectrique de Montahut rejetant les eaux de l'Agout dans le Jaur, affluent RD de l'Orb. Ce transfert, mauvais pour notre sous-sol, fait par contre le bonheur des canoéistes en mal d'eau sur l'Orb.

3) Quelques autres exemples utiles pour notre environnement :

- L'été, lorsque les eaux de la Neste en crue sont prélevées par un canal de dérivation long de 28km rasant avec le relief pour transfuser un débit de près de 8m³/s vers les petites rivières du Lannemezan qui meurent de soif.
- L'utilisation de béton véritablement poreux dans les zones urbaines pour faciliter l'insertion dans le sous-sol des eaux de pluie

** Direction départementale des affaires sanitaires et sociales de Seine-et-Marne*

Concernant la pollution des nappes d'eau souterraines, celui qui est en amont a une lourde responsabilité vis à vis de ceux qui sont en aval. La responsabilité environnementale (LRE) introduit le principe du «pollueur-payeur» dans le droit français qui reconnaît « Pour la première fois, que la biodiversité a un prix et qu'elle rend des services à la collectivité ».

Vitesse d'écoulement de l'eau souterraine

Une approche de calcul utilisant la formule de Darcy permet d'estimer la vitesse d'écoulement de l'eau dans une nappe libre constituant le proche sous-sol d'une rivière. Cette vitesse, fonction de la perméabilité de l'aquifère et du gradient de charge hydraulique liée à la pente est aussi influencée par la granulométrie et les fissurations éventuelles. Les vitesses d'écoulement des nappes souterraines sont variées mais toujours lentes en comparaison de celles des rivières. Pour parcourir 1 km, l'eau souterraine contenue dans le sous-sol alluvionnaire de la rivière peut mettre quelques mois comme quelques siècles. Cette notion est très importante. En cas d'accident nucléaire majeur avec fusion du cœur le risque de contamination de notre environnement par l'eau contenue dans la nappe phréatique est probablement aussi important à considérer que le nuage radioactif. Si la France devait être victime d'un accident nucléaire majeur comme Fukushima, l'eau radioactive se propagerait probablement plus rapidement dans la nappe libre que les résidus provenant de la pollution chimique industrielle, pour la simple raison que la propagation de l'eau radioactive sera probablement plus rapide que celle des polluants chimiques lourds retenus par effet de capillarité sur les sédiments constituant le sous-sol. Consciente du risque, l'autorité de sûreté nucléaire (ASN) vient d'imposer début 2012 à EDF et à juste titre, le renforcement de la dalle en béton située sous le réacteur de la centrale de Fessenheim ainsi que la mise hors eau des déchets radioactifs entreposés dans des piscines. Il s'agit d'investissements lourds qui pourraient conduire à la fermeture de certaines centrales si les frais à engager s'avéraient trop importants pour poursuivre l'exploitation. L'eau est à nouveau un exemple de confrontation brutale entre intérêts économiques et impératifs de protection de l'environnement et de la santé.

Formule de Darcy $v = Q/S = K (H1-H2)L$ avec :

- v vitesse d'écoulement en m/s
 - S section totale offerte à l'écoulement
 - K le coefficient de perméabilité du sous-sol en m/s
 - $(H1-H2)L$ le gradient de charge hydraulique correspondant en pratique sensiblement en zone de plaine à la pente moyenne de la rivière. Cette valeur varie selon la pente moyenne de la rivière ; 0,34^{0/00} pour la rivière la moins pentue de France (la Somme), 0,55^{0/00} pour la Seine à Paris (0,55m de dénivellation par km)
- La pente diminue lorsque l'on se rapproche de l'estuaire ou du confluent. Le coefficient de perméabilité varie selon la granulométrie du sous-sol
(Plus les grains sont petits, plus la perméabilité diminue)
- $K > 10^{-4}$ m/s très bonne perméabilité
 - semi perméabilité $10^{-9} < K < 10^{-4}$
 - Sous-sol considéré comme imperméable $K < 10^{-9}$ m/s

Voir le livre de Jean Lemale "La géothermie" des éditions DUNOD qui donne quelques informations sur ce sujet.

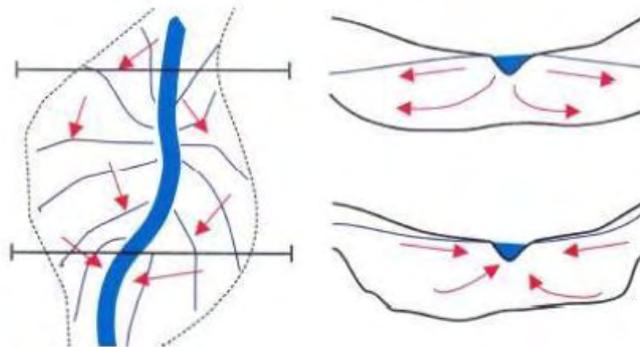
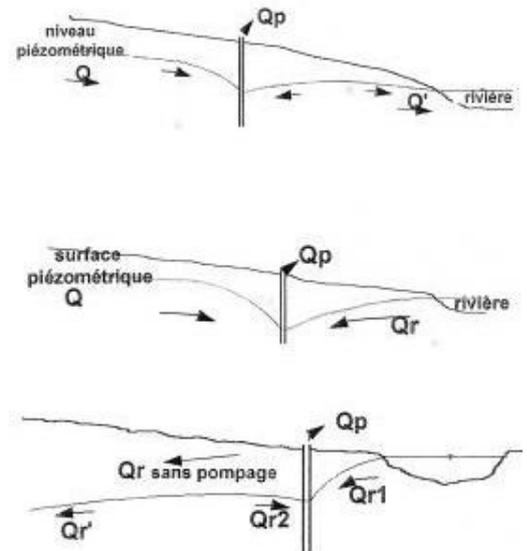
Aquathermie superficielle et profonde

On confond trop souvent la géothermie superficielle et profonde. La première qui bénéficie des apports thermiques de l'énergie solaire est renouvelable alors que la seconde qui ne bénéficie pas de cet apport ne l'est pas ce qui peut nécessiter selon les experts de déplacer le forage

Superficielle

La température des eaux de nappes souterraines peu profondes est voisine de 12°C jusqu'à une profondeur de 100 m. Au-delà de 30 m de profondeur les variations thermiques d'origine solaire deviennent imperceptibles et la température croît graduellement de 3°C par 100m selon un gradient géothermique correspondant aux pertes de chaleur interne par conductivité du globe terrestre.

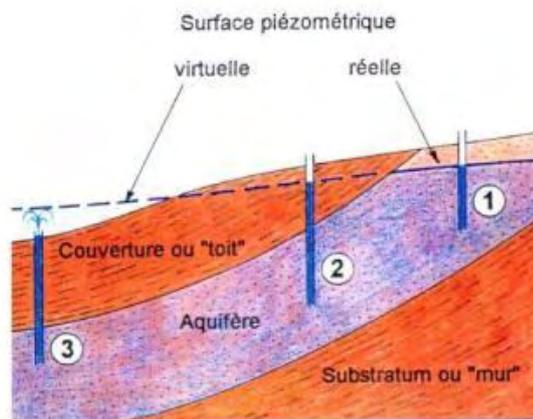
Les aquifères peu profonds des moyennes et grandes vallées alluviales communiquent en général avec les cours d'eau. Le sens de l'écoulement de l'eau souterraine dépend de la position relative de la surface piézométrique par rapport au niveau de l'eau dans la rivière. La rivière peut alimenter la nappe notamment en période de crue. Un pompage dans la nappe libre alimentant une pompe à chaleur aquathermique ou assurant l'irrigation induit un rabattement du niveau piézométrique. S'il est situé à proximité de la rivière, il peut provoquer ou renforcer les apports d'eau à la nappe depuis le cours d'eau. On parle de recharge induite de la nappe considérée. Le débit pompé est alors un mélange d'eau souterraine et d'eau de surface.



Relations nappe - rivière

Profonde

Contrairement à la nappe libre qui s'écoule lentement vers la mer l'eau souterraine emmagasinée dans une nappe captive perméable est emprisonnée entre deux couches imperméables qui se sont constituées dans la formation géologique.



- En ① la nappe est libre,
- en ② elle est captive,
- en ③ elle est captive et artésienne (jaillissante)

De ce fait l'aquifère est mis en pression par la charge hydraulique de l'eau qu'il contient. La charge hydraulique est déterminée par la cote piézométrique dans les parties libres de l'aquifère captif. Lorsqu'un forage atteint une nappe captive l'eau remonte brusquement dans le forage et se stabilise sur le niveau piézométrique. Si le niveau piézométrique se situe au-dessus de la surface du sol, l'eau jaillie naturellement on dit que le forage est artésien. La surface piézométrique informe sur la profondeur à partir de laquelle on peut pomper l'eau dans un forage. On peut considérer deux types de géothermie profonde. Celle consistant à aller chercher l'eau se situant à des profondeurs voisines de 2500 m là où sa température, voisine de 80 à 100 °C, permet de l'utiliser pour le chauffage des habitations à l'aide d'échangeurs à contrecourant ou bien celle consistant à augmenter la profondeur à environ 5000 m, la température de l'eau, voisine de 200°C, devenant suffisante pour être transformée en vapeur ou pour préchauffer un gaz à une température suffisamment élevée pour faire fonctionner une turbine à gaz pouvant produire de l'électricité. L'eau refroidie après usage ayant une température suffisante pour être utilisée au fin du chauffage des habitations avant réinjection dans le sous-sol.

Figures source DRIRE

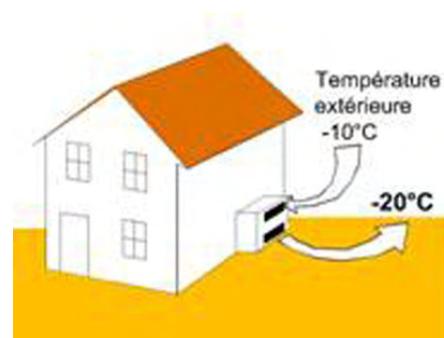
Aérothermie, géothermie ou aquathermie ?

Figures explicatives

Dans les 3 cas de figures ci-dessous, le principe de la conservation de l'énergie permet de comprendre que le système formé par la pompe à chaleur et son dispositif externe envoi du froid vers l'air environnant ou vers le sous-sol. Ce transfert thermique revient à envoyer de la chaleur vers l'habitation. Les performances du dispositif appelé aussi COP est meilleur lorsque la température de la source dite froide (L'air, le sol ou l'eau contenue dans celui-ci) est proche de celle de la source dite chaude (la température à l'intérieur de l'habitation)

Aérothermie Technique de l'air (COP de 2,5*)

Le rendement des pompes à chaleur aérothermiques (dite aussi à air) s'améliorent lorsque la température extérieure est plus clémente. (voir ci-dessous). On peut améliorer le COP de la pompe à chaleur en faisant circuler préalablement l'air externe dans le sol pour le réchauffer. On se demande d'ailleurs pourquoi les techniques telles que le puits canadien ou provençal ne sont pas associées plus souvent aux PAC à air.



Ne pourrait-on pas utiliser l'air chaud et pollué du métro parisien afin d'améliorer de façon significative le COP de la pompe à chaleur tout en régénérant l'air bien pollué qui s'y trouve.

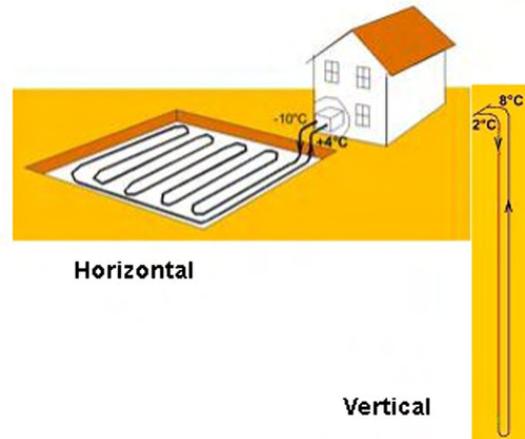


³⁾ PAC air-air de 3,8 kW

Les deux sous-ensembles évaporateur et condenseur, disposés à l'intérieur et à l'extérieur du logement, sont reliés par des flexibles auto-obturant facilitant l'implantation. La puissance thermique en mode climatisation est proche de celle obtenue en mode chauffage (3,3 kW pour 3,8 kW) La puissance électrique installée de 1,5 kW (230 V monophasé) est en rapport avec le COP moyen proche de 3. Malgré un débit d'air assez important (voisin de 500 m³/h) le niveau sonore de l'ensemble est modéré (54 dB(A) pour l'unité extérieure et 45 dB(A) pour l'unité intérieure au logement. Concernant le fluide caloporteur 1,3 kg de R410a suffise à assurer les transferts thermiques. La fabrication en série permet de réduire les prix

Géothermie Technique utilisant le sol (COP de 3,5 à 4)

Dans les villes ou le terrain est rare on peut envisager la solution géothermie superficielle avec forage vertical appelée champs de sonde plutôt que horizontal. Cette solution présente l'avantage d'éviter tout risque de tassement éventuel du sous-sol avec modification de l'assise profonde des édifices pouvant en résulter. L'évaporateur est constitué par le tube vertical assurant les échanges thermiques avec le sol

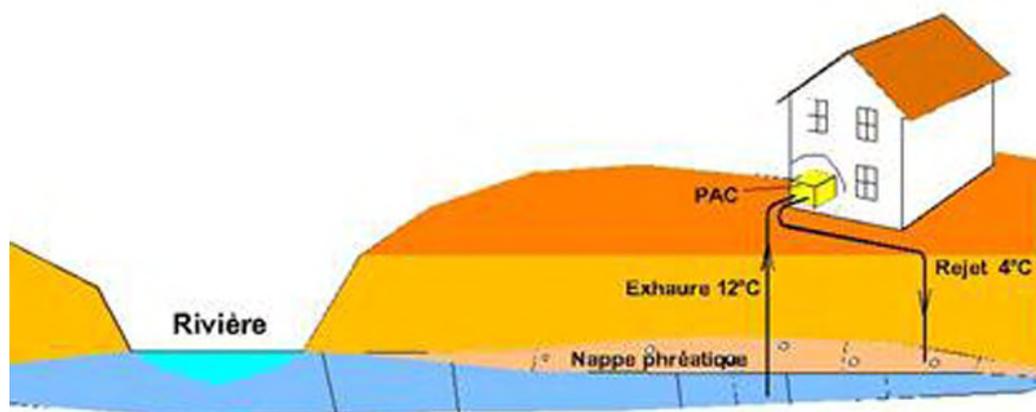


*Valeur du COP indiquée pour une température extérieure voisine de - 10°C.

Alors que la grande conductibilité des métaux est un handicap important pour le transport de l'énergie thermique, elle devient au contraire dans le cas des champs de sondes un avantage important pour augmenter le flux thermique venant du sous-sol et diminuer ainsi le nombre de puits de forage et les frais correspondants. Voir par exemple la capacité très importante du cuivre à transmettre la chaleur (Voir page 132). Pour éviter le gel, du glycol est ajouté à l'eau dans le cas de la géothermie à l'horizontal. La température de la source froide étant plus élevée dans le cas du forage vertical le risque de gel est plus faible et le rendement amélioré par rapport à la disposition horizontale

Aquathermie Technique utilisant l'eau (PAC sur nappe) (COP de 5 à 6)

Le mode de chauffage par pompe à chaleur sur nappe libre, du fait de la grande chaleur spécifique de l'eau et de sa température de l'ordre de 12°C est le mode de chauffage idéal pour réduire les frais d'exploitation. Dans ce cas, l'eau de la nappe phréatique ou de la rivière est pompée directement et renvoyée vers l'évaporateur de la pompe à chaleur avant d'être rejetée dans la nappe ou la rivière. Les habitations situées en bordure de la mer dans les marinas ou proches d'un lac peuvent tirer profit de la présence de l'eau à proximité. On peut aussi tirer avantage de la proximité de son habitation par rapport à la rivière dans les zones de plaines en utilisant ce type de PAC. Particulièrement en ville, lorsque le pompage et le rejet est proche de l'habitation, une étude de faisabilité par un spécialiste en hydrogéologie peut être souhaitable pour rassurer le maître d'œuvre sur le risque éventuel de réduction de la capacité portante du sol à l'aplomb de l'habitation. Très intéressante du fait de son bon rendement, il peut être nécessaire de faire une étude de mécanique des sols tenant compte du rabattement à proximité de l'exhaure ou inversement de la surélévation de celle-ci à l'emplacement du rejet.



Comparatif air/terre/eau

Afin d'assurer les transferts thermiques, les pompes à chaleur utilisent la chaleur spécifique de la matière. Cette matière peut être l'air (aérotherme), le sol (géothermie) venant du grec "géo" désignant le sol, ou enfin l'eau (aquathermie) venant du latin "aqua"

	Type de pompe à chaleur		
Hypothèses	Aérothermie (air)	Géothermie (sol)	Aquathermie (eau)
T_c moyenne source chaude (ϑ condensation)	30 °C (303 K)	40 °C (313 K)	50 °C (323K)
ϑ extrêmes source froide	Température ambiante -10°C abaissée à -20°C	Température de l'eau glycolée départ - 10°C retour + 4°C	θ de l'eau aspirée 11°C supposée rejetée à 3°C dans la nappe phréatique
T_f moyenne source froide (ϑ évaporation)	-15 °C (258 K)	-3 °C (270K)	7 °C (300 K)
Remarques	En hiver, on refroidi l'air ambiant qui est pourtant déjà froid et on le réchauffe encore un peu plus en été pour assurer la climatisation avec les PAC <i>air-air</i>	Des tubes en polyéthylène dans lesquels circule de l'eau glycolée refroidissent le sol par conduction	On refroidi la nappe phréatique en rejetant dans celle-ci une eau plus froide
COP théorique ²⁾	6,7 ¹⁾	7,3	14
Limitations	Utilisation courante pour le chauffage individuel ou (et) la génération ECS avec climatisation en zone H3 et en bordure de l'océan atlantique avec les PAC <i>air-air</i> ³⁾ et en zone H1a avec les PAC <i>air-eau</i> haute température. Commence aussi plus timidement à faire son apparition dans la rénovation pour le chauffage collectif. en relève de la combustion, l'évaporateur étant alors implanté sur la terrasse de l'immeuble.	Zone rurale seulement. pour le chauffage individuel.	Zone rurale et urbaine. Présence d'eau dans le sous-sol nécessaire. Solution appelée à se développer dans les zones urbaine traversées par un fleuve
Inconvénients/ avantages	Dispositif relativement bruyant avec diminution du rendement par temps très froid.. Système réversible en <i>air air</i> (climatisation) et non réversible en air eau pour la fourniture d'eau chaude sanitaire	Terrassement sur une surface de terrain sensiblement égale à deux fois la surface habitable / rendement amélioré par rapport à l'air	Mise en œuvre plus contraignante / Le meilleur dispositif en terme de rendement et de rentabilité

¹⁾ Par exemple COP théorique = $T_c / (T_c - T_f)$ soit avec $T_c = (273 + 30) / [(30 - (-15))] = 303/45 = 3,7$

²⁾ Comme rien n'est parfait sur ce bas monde, pas même les gaz, les COP pratiques sont sensiblement divisés par deux par rapport aux valeurs théoriques

Les performances des pompes à chaleur aquathermiques

Une caractéristique importante des pompes à chaleur sur nappe phréatique (PAC à eau) est d'utiliser l'eau à environ 12 °C provenant d'un pompage à faible profondeur dans un sous-sol alluvionnaire et de rejeter l'eau de cette source dite froide à une température encore plus froide. C'est le cœur même de la PAC dans un cycle thermodynamique presque idéal, utilisant les propriétés enthalpiques de fluides caloporteurs modernes capables d'assurer les transferts thermiques, qui permet d'obtenir ce résultat. Le fonctionnement conventionnel d'une PAC génère un flux thermique capable d'assurer le chauffage des maisons individuelles ou des immeubles. Comme les miracles n'existent pas il faut naturellement apporter de l'énergie pour assurer le cycle thermodynamique du fluide caloporteur. Cette énergie est électrique et a naturellement un coût. Un compresseur, entraîné par un moteur électrique comprime le fluide caloporteur pour assurer le cycle thermodynamique. Il augmente la pression du fluide caloporteur alors qu'il est en phase gazeuse avant qu'il ne passe à l'état liquide dans le condenseur. Ces transferts thermiques sont d'autant plus intéressants et économiques pour l'utilisateur que la différence de température entre la source froide et la source chaude est faible. Cette particularité de la pompe à chaleur est importante pour l'utilisateur car elle conditionne en grande partie son coût d'exploitation. Elle privilégie l'eau par rapport à l'air en tant que fluide utilisé pour la source froide. L'eau, lorsqu'elle est pompée dans le sous-sol a une température sensiblement constante de 12°C et ceci même en hiver. L'air ambiant au contraire peut avoir une température négative ce qui augmente la différence de température entre les sources froide et chaude et affecte le rendement. Avec les pompes à chaleur à eau moderne, la température de rejet de l'eau vers le sous-sol ou dans la rivière est de l'ordre de 4° C, voire même inférieur. (Au Canada les températures de rejets sont même probablement inférieures puisque ces techniques sont utilisées pour consolider le sous-sol par gélification en complément du chauffage) Les débits d'eau mis en jeu ne sont pas importants en regard des débits souvent disponibles dans nos nappes aquifères et très faibles par rapport au débit de la rivière. Les puissances thermiques mise en jeu par contre sont loin d'être négligeables. La puissance thermique générée par un débit d'eau de 4 l/s (15 m³/h) dont la température chute de 8°C est de l'ordre de 130 kW. (Chaleur spécifique de l'eau : 1 calorie/gramme et °C avec l'équivalent mécanique de la calorie de 4,18 joules) Cette puissance est suffisante pour chauffer un gros immeuble correctement isolé avec des coûts d'exploitation réduit par rapport à celui de l'énergie produite à partir de la combustion des produits fossiles. A l'encontre des centrales nucléaires qui se servent de l'eau de la rivière pour refroidir le réacteur et qui rejette de l'eau tiède dans celle-ci, le gros avantage d'une PAC à eau – lorsqu'elle est utilisée pour le chauffage - est l'abaissement de la température de l'eau de la rivière lorsque l'eau sortant de l'évaporateur est rejetée directement dans cette dernière. A l'inverse de la

La rivière source d'énergie

chaleur, le froid diminue en général l'activité microbienne et bactériologique. En diminuant ces activités, il réduit la consommation d'oxygène qui en résulte ce qui conduit à une diminution de la pollution des eaux. On trouve maintenant sur le marché des constructeurs qui proposent des PAC à eau dans des gammes de puissance allant de 20kW à 500 kW couvrant la plupart des besoins individuels et collectifs en chauffage. La raison pour laquelle la technologie des pompes à chaleur sur nappe phréatique ou aspirant plus simplement l'eau de la rivière n'est pas plus développée en France est probablement financière. Le fait que le prix du gaz soit indexé sur le pétrole va conduire à augmenter sensiblement le prix du gaz et être une incitation au développement des PAC à eau en France. L'avance de l'Allemagne sur la France dans ce domaine s'explique probablement par le fait que le gaz est 2 fois plus cher en Allemagne qu'en France. Ces technologies étant relativement nouvelles, l'utilisateur final, qui doit se transformer en Maître d'œuvre pour faire aboutir le projet, était jusqu'à maintenant peu enclin à jouer le rôle de cobaye, l'incitation financière était trop faible. De plus, il ne suffit pas que la technologie d'un produit soit aboutie pour qu'il soit utilisé. Ces pompe à chaleur sur nappe phréatique mériteraient en tout cas à être mieux connus. Claude Allègre n'avait pas tort de dire dans son dernier livre que, en France, la vérité scientifique met beaucoup de temps à être acceptée. On dit souvent que la consommation de produits fossiles en France se partage à part sensiblement égales entre les besoins liés au chauffage des habitations et ceux de la consommation des moteurs thermiques assurant le transport routier. A défaut de fournir de l'énergie mécanique, et a fortiori de l'énergie électrique puisqu'elles en consomment, la capacité des PAC à eau de délivrer économiquement des puissances thermiques importantes adaptées au besoin du chauffage urbain en n'envoyant que très peu de gaz nocifs dans l'atmosphère comparativement à la combustion des produits fossiles est très intéressante pour notre environnement. En complément des principaux avantages tels que le faible coût d'exploitation et une relative indépendance de l'utilisateur sur le plan énergétique, elle présente de petits avantages comme celui de pouvoir arroser gratuitement son jardin avec l'eau de retour de la source froide moins calcaire, plutôt que de payer au prix fort l'eau du robinet. Elle nous donne aussi une opportunité de régénérer notre sous-sol qui en a bien besoin en filtrant éventuellement l'eau avant de la réinjecter dans celui-ci ou de rejeter cette eau dans la rivière. Il pourrait être de notre intérêt de nous rapprocher de pays en avance sur nous dans ce domaine. La Suisse, l'Allemagne et le Canada font partie de ceux-là. Ils sont de plus proches de nous sur le plan affectif. Allons-nous comme Astérix attendre que le ciel nous tombe sur la tête.

Un peu de théorie

La structure générale d'une PAC soumise à deux sources de chaleur (dite ditherme) est donnée ci – dessous. Grâce à l'énergie électrique W_e fournie à ce système, on absorbe à la source froide (qui est à la température T_f) l'énergie thermique W_f et on rejette à la source chaude (à la température $T_c > T_f$) l'énergie thermique W_c .

En isolant le système constitué par la PAC, le bâtiment et son sous-sol, on peut dire en raison du *principe de la conservation de l'énergie* que l'énergie thermique W_c dissipée par l'immeuble est égale à la somme des énergies thermiques provenant du sous-sol W_f majoré de l'énergie électrique W_e d'entraînement du compresseur de la PAC. $W_c = W_f + W_e$ 1)

Le COP de la PAC est par définition le rapport entre l'énergie thermique (gratuite) et l'énergie électrique (payante) W_e d'entraînement du compresseur

$$COP = W_c / W_e \quad 2)$$

En supposant que la machine décrit un cycle thermo dynamiquement idéal (en principe réversible), l'application du second principe¹⁾ au système ditherme, permet d'écrire :

$$W_c / T_c = W_f / T_f \quad (\text{égalité de Clausius})$$

$$\text{ou } W_c / W_f = T_c / T_f \quad 3)$$

En considérant les équations 1) et 3) 2) s'écrit

$$COP = W_c / W_e = (W_f + W_e) / W_e = (W_c / (T_c / T_f) + W_e) / W_e =$$

$$W_c / W_e / (T_c / T_f) + 1 = COP / (T_c / T_f) + 1$$

$$COP - COP / (T_c / T_f) = 1 \quad \text{ou } COP (1 - 1/T_c/T_f) = 1$$

$$\text{ou } COP = 1 / (1 - 1/T_c/T_f) \quad 4)$$

Cette formule importante qui peut se mettre sous la forme $COP = T_c / (T_c - T_f)$ pour mieux comprendre le chapitre sur les chaînes énergétiques page permet de comparer les différents types de pompe à chaleur entre elles suivant que l'eau le sol ou l'air est utilisé en tant que source froide pour les transferts thermique. Elle permet en effet de se faire une idée de la façon dont le rendement de la pompe à chaleur se dégrade lorsque la différence entre la température de la source chaude et celle de la source froide augmente. Bien qu'issue de théories anciennes basées sur le principe de la machine de Carnot et de fluide caloporteur tel que l'eau initialement utilisée pour les locomotives, elle prouve que le rendement d'une pompe à chaleur est amélioré lorsque la température de l'eau pompée augmente ou inversement lorsque la température du circuit de chauffage diminue.

Voir site des élèves et professeurs du lycée Paul Langevin

http://www.infoenergie.eu/riv+ener/complements/liens/Pompe_a_chaleur.pdf

(Voir aussi page 391 les critères de choix des fluides frigorigènes)

Voir également page 73 comment l'énergie thermique W_c délivrée par le condenseur de la pompe à chaleur est utilisée pour chauffer l'habitation.

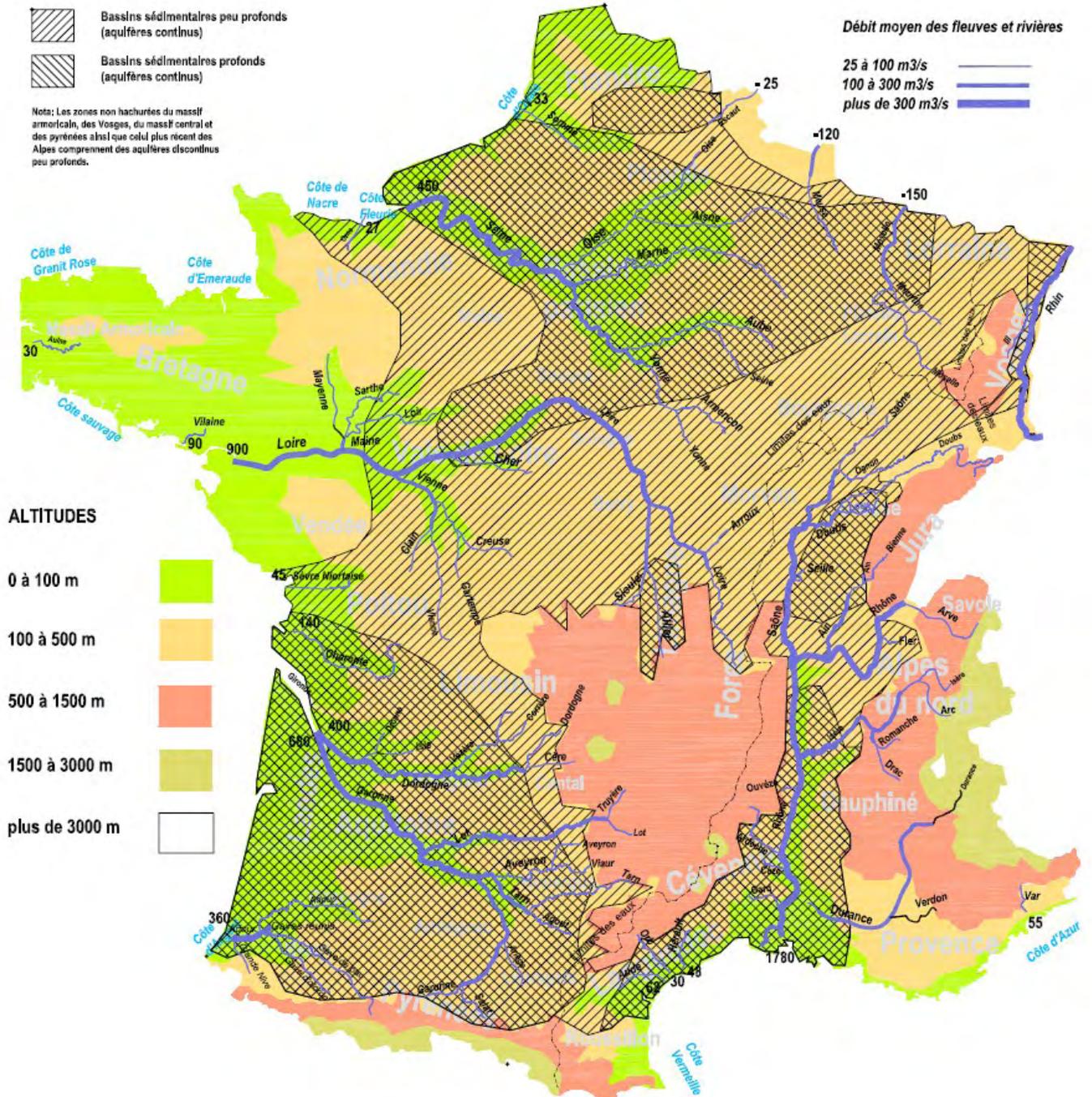
La rivière source d'énergie

Pour cette raison l'utilisation de radiateurs largement dimensionnés ou planchers chauffants basse température est conseillé. Les progrès effectués récemment avec les fluides caloporteurs modernes permettent d'arriver à des COP de 5 (voir 6 pour les PAC aquathermiques de forte puissance) avec un chauffage au sol basse température. La réutilisation des radiateurs muraux des immeubles anciens est également envisageable pour la raison qu'ils étaient largement dimensionnés avant 1975. Le rendement peut être notablement affecté si la température requise à la source chaude est trop élevée. Sur les pompes à chaleur aquathermiques modernes, une température de sortie condensateur de 55°C entraîne un COP qui reste supérieur à la valeur minimum admise de 3. Vu le coût important de l'énergie électrique il est généralement plus intéressant en terme d'amortissement de remplacer les radiateurs en place.

Comprendre ce qu'il faut faire ou forer?

Le débit nécessaire pour assurer les échanges thermiques dans la pompe à chaleur sur nappe libre ne sont pas très importants (environ 2 l/mn par kW thermique restitué). Il y a des régions plus favorables que d'autres pour assurer la pérennité du débit. Les nappes aquifères sont continues dans les zones hachurées de la carte ci-dessous. Elles sont donc plus favorables que les zones non hachurées ou les aquifères peu profonds sont discontinus. La proximité de la rivière apporte une garantie supplémentaire et les débits disponibles sont généralement supérieurs au besoin. Il existe même dans le sud-ouest du bassin aquitain et dans le bassin parisien des zones ayant des aquifères raisonnablement profonds sans discontinuité favorables à la géothermie grande profondeur avec des températures pouvant excéder 70°C.

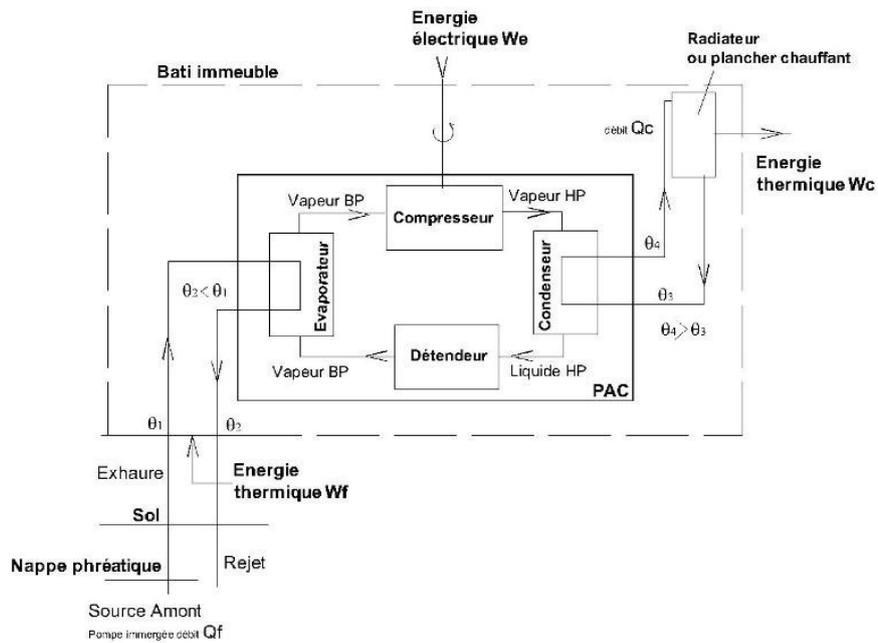
La rivière source d'énergie



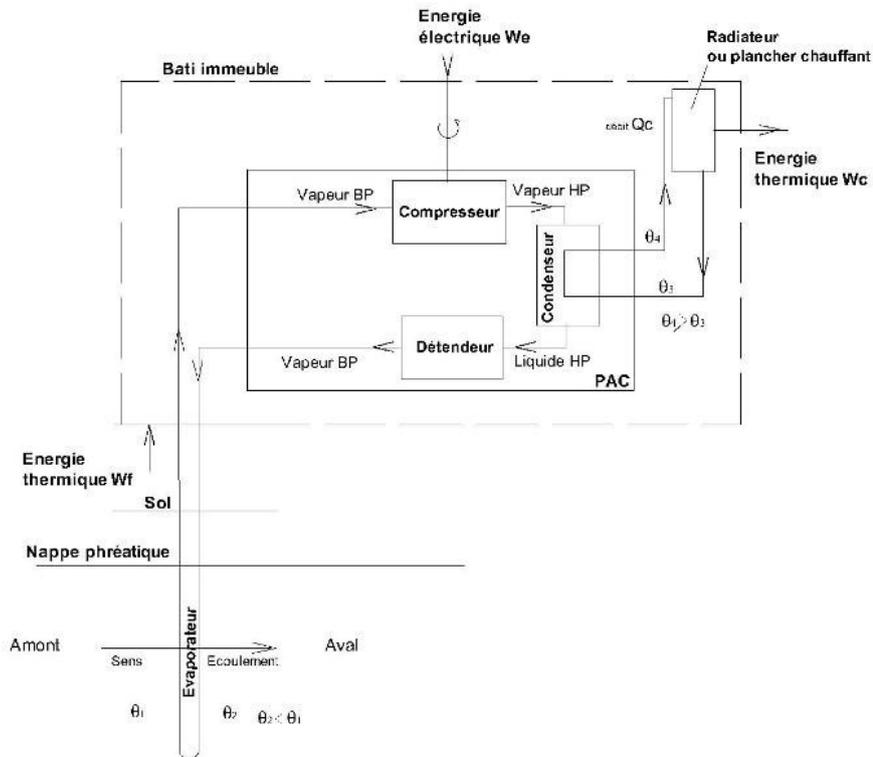
Données Géothermie perspectives

Ce sont surtout les bassins sédimentaires peu profonds en hachure simple qui présentent un intérêt pour la géothermie superficielle et le chauffage thermodynamique utilisant les nappes dites libres. On remarque l'importance des surfaces potentiellement favorables à ce mode de chauffage. Seules les régions montagneuses massif central, alpes, pyrénées et jura ainsi que la Bretagne emblant exclus de ce périmètre.

La rivière source d'énergie



Synoptique simplifié de fonctionnement d'une PAC eau/eau sur nappe libre Evaporateur en chaufferie avec aspiration et rejet dans la nappe libre



Synoptique simplifié de fonctionnement d'une PAC eau/eau sur champ de sondes. Evaporateur dans la nappe libre

Cas des maisons individuelles en zone rurale
(puissance thermique 20 à 50 kw)

1) Ce qu'il ne faut pas faire

Il est important d'une part, de ne pas trop rapprocher le forage de la source chaude (eau aspirée à environ 12 à 14°C alimentant la PAC) et celui de la source froide (eau rejetée dans le sous-sol à environ 4°C); d'autre part le forage de l'eau pompée devra être impérativement en amont du forage de l'eau plus froide rejetée pour les raisons évoquées ci-dessus. D'autant que le niveau de la nappe a tendance à baisser localement autour du point de pompage. (Vortex)

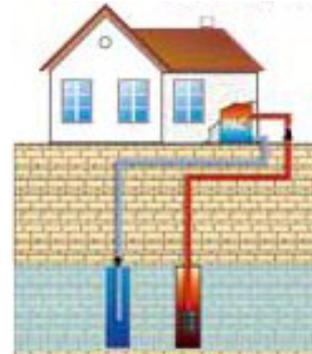


figure 1

2) Ce qu'il est préférable de ne pas faire

Contrairement à la plupart des pays européens, les pompes à chaleur géothermiques vendues en France sont pour l'essentiel à **capteurs enterrés horizontaux**. Est-ce par crainte de ne pas trouver suffisamment d'eau dans le proche sous-sol?, cette solution probablement plus économique à implanter en raison du coût des deux forages verticaux entraîne pourtant des coûts d'exploitation et une consommation électrique plus importante en raison d'un COP plus faible. Elles utilisent de l'eau additionnée de glycol au cas où le sous sol gèlerait et elle ont, toujours pour les raisons évoquées plus haut (formule 4)) un moins bon rendement. De plus elles sont condamnées en zones urbaines où le terrain est rare.



3) Ce qu'il peut être intéressant de faire

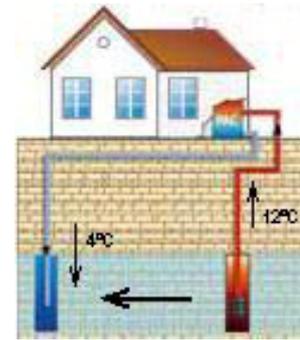
Si l'habitation est à proximité de la rivière l'eau plus froide peut être rejetée directement dans la rivière, le drainage d'un canal ou dans un ruisseau contiguë au terrain ce qui réduit d'autant les frais d'installation. (elle peut aussi servir à arroser économiquement le jardin). On peut aussi utiliser l'eau de la rivière pour faire fonctionner une pompe à chaleur. Selon le débit prélevé par la pompe, le débit d'étiage du cours d'eau et le type de cours d'eau (domanial ou non), cet usage peut être soumis à déclaration ou à autorisation et assujetti à une redevance du domaine public (rivières domaniales). Pour plus de renseignements, se renseigner à la direction départementale de l'agriculture et de la forêt. C'est auprès d'elle que se font les démarches nécessaires. On peut penser que la redevance est symbolique étant donné que la pompe à chaleur en rejetant une eau plus froide dans la rivière participe à la défense de son écosystème



La rivière source d'énergie

4) Ce que l'on peut faire

Pour une grande propriété sur un grand terrain et lorsque la maison est éloignée de la rivière la solution à deux forages verticaux peut être envisagée en raison de l'excellent rendement (COP de 4)



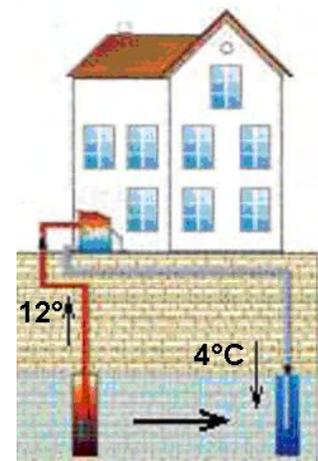
Cas des immeubles en zone urbaine (puissance thermique jusqu'à 500 kW)

5) Ce que l'on pourrait éventuellement faire

En zone urbaine, le terrain est rare. Lorsque la surface l'immeuble est situé sur un jardin, la surface de terrain requise pour les forages verticaux est généralement compatible avec la pompe à chaleur. Le débit utile pour générer une puissance thermique de 300 kW, suffisante pour chauffer un gros immeuble, est de l'ordre de 50 m³/h ¹⁾Le rendement des pompes à chaleur forte puissance est excellent

(Un COP de 5 est envisageable avec les planchers chauffants basse température ou avec les radiateurs des immeubles anciens souvent largement dimensionnés.

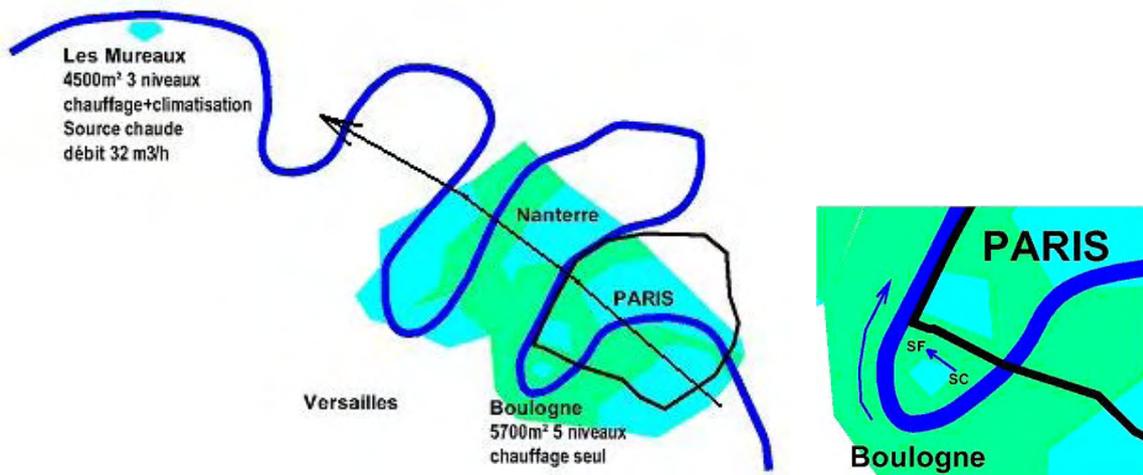
Ce mode de chauffage mériterait d'être plus souvent utilisé en ville



6) Ce que les municipalités devraient entreprendre sous le contrôle d'un organisme accrédité

Aspirer et refouler l'eau dans le fleuve ou la rivière traversant généralement la ville

La rivière source d'énergie



La PAC eau eau des Mureaux

La pesanteur régit la circulation de l'eau souterraine des nappes libres qui s'écoulent lentement vers l'aval par effet gravitaire. Il est raisonnable de penser que le sens d'écoulement des nappes phréatiques suit le profil moyen de la rivière.

Dans le cas de méandres tels par exemple ceux de la basse Seine on peut s'interroger si l'écoulement se fait en suivant le profil moyen de la rivière ou si des écoulements locaux ayant des directions différentes peuvent s'établir.

Ce point est important par le fait que le forage de la source chaude doit être effectué en amont de telle sorte que l'eau plus froide rejetée par la pompe à chaleur ne vienne pas diminuer le rendement de la pompe.

¹⁾. Lors de l'implantation d'un parking sous terrain au lieu dit "Parchamps" à Boulogne Billancourt 92100 dans un méandre de la Seine (voir figure 1 ci-dessus), il a fallu prévoir 4 forages verticaux avec dans chacun d'eux une pompe de 500 m³/h, soit un débit total de 2000 m³/h pour abaisser la nappe phréatique sur une surface de l'ordre de 2500 m² avant injection d'un béton d'étanchéité. (information communiqué par un ingénieur Bouygues)

On ne peut que regretter qu'à l'occasion de telles réalisations, les municipalités ne pensent pas à laisser en place certains de ces forages pour utilisation ultérieure aux fins du chauffage des immeubles situés à proximité.

Le dépollueur payeur ?

Tout ce travail préliminaire effectué par la Drire pour situer la pompe à chaleur sur nappe à la place qu'elle mérite dans le cadre de la production d'énergie renouvelable risque malheureusement d'être inutile pour la simple raison qu'un "détail" risque de stopper net les projets de tout maître d'œuvre consciencieux. Ce "détail" qui risque de tout compromettre est un projet de prélèvement de l'agence de l'eau basé sur le volume d'eau pompé et rejeté. Il est difficile d'imaginer un seul instant qu'un Maître d'œuvre responsable souhaitant installer une pompe à chaleur sur nappe puisse accepter de payer une telle pénalité financière. En effet, comment pourrait-il prendre une décision d'investissement s'il n'a une vue claire de la période d'amortissement de son investissement? On parle souvent du *pollueur payeur* et l'on commence – enfin - à en appliquer le principe. Quant au dépollueur, il est difficile d'envisager de le pénaliser financièrement alors qu'en toute logique il devrait au contraire être rémunéré! Au moment où l'on s'accorde à dire que c'est uniquement la distribution de l'eau et son traitement éventuel qui est payante et non l'eau elle-même, ce prélèvement est d'autant plus inacceptable que le même volume d'eau est renvoyé dans le sous-sol à une température plus froide, bénéfique en terme de dépollution et de régénération de notre sous-sol qui en a bien besoin. L'eau est de plus rejetée plus propre puisqu'elle a été filtrée par le circuit de la PAC. Le pire est que cette intention de facturation de l'eau au pompage et à la restitution est loin d'être négligeable. Tout calcul fait, les Lutins thermiques qui connaissent bien la loi de conservation de l'énergie ont déterminé que le besoin en eau d'une pompe à chaleur assurant le chauffage d'un appartement de 70 m² est sensiblement égal à 0,06 litre/seconde ¹⁾. Ils ont calculés que les frais d'exploitation annuel rien que pour la facturation sur l'eau pompée seraient pratiquement équivalents au coût de l'alimentation électrique du compresseur de la pompe à chaleur!

Et ceci sans compter le prélèvement financier au rejet qui viendrait encore alourdir la note ! La responsabilité environnementale s'impose désormais à tous et faire payer le pollueur semble justice. Par contre, pénaliser financièrement le dépollueur sans lui en expliquer la raison sonne non seulement comme une grave injustice, cela présente le grave inconvénient de condamner un système ayant l'avantage de préserver notre environnement. La copropriété installant une pompe à chaleur pour le chauffage de son immeuble à défaut de toucher une redevance pour participation à la régénération de l'écosystème constitué par le sous-sol alluvionnaire de la rivière pourrait au moins ne pas être pénalisée

La rivière source d'énergie

injustement! Conscient qu'il faut réparer les erreurs passées, le Maître d'ouvrage pourrait être favorable à une imposition concernant l'adjonction d'un filtre arrêtant les PCB sur le circuit exhaure-rejet sous réserve que les cartouches filtrantes soient payées par les pollueurs. Moyennant la surveillance de l'encrassement des cartouches, le Maître d'ouvrage s'engagerait auprès de la Région à ce que l'eau rejetée soit bien régénérée. Cette solution permettrait à la pompe à chaleur sur nappe d'aider la phytoremédiation ²⁾ à régénérer plus activement notre sous-sol superficiel qui en a bien besoin.

¹⁾ En supposant que les 2,1 millions de parisiens utilisent ce mode de chauffage cela correspond sensiblement à un débit global de 60 m³/s qui reste notablement inférieur au débit moyen de la Seine à Paris (300 m³/s) .

Lorsque l'on sait qu'ils consomment actuellement pour leur besoin journalier 260 litres d'eau froide/jour et par personne (soit un débit moyen de 6,3 m³/s), on s'aperçoit que les prélèvements humains sont faibles comparés à la circulation globale incluant le ruissellement souterrain (40%) et les écoulements de surface (60%).

²⁾ Mot à l'étymologie venant à la fois du grec "phyto" qui signifie plante, et du latin "remédium" qui se rapporte au rétablissement de l'équilibre.

Depuis quelques siècles on a découvert les capacités épuratoires des plantes pour le traitement de l'eau superficielle contenue dans notre nappe phréatique.

(Diminution des taux en pesticide et en nitrate)

Les pompes à chaleur et notre environnement

Le bilan est largement positif par le fait que les pompes à chaleur prélèvent dans l'environnement (nappe libre en communication avec la rivière, air ou sol) une énergie thermique *renouvelable* largement excédentaire par rapport à l'énergie électrique consommée positive (en pratique 3 à 4 voire parfois encore plus). Point aussi très important, la pompe à chaleur à eau sur nappe libre participe à l'amélioration de notre environnement pour la raisons que son bilan CO₂ et action sur le climat est très positif:

L'énergie électrique consommée par une pompe à chaleur à compresseur pour alimenter le compresseur provient en France du nucléaire, méthode de production qui génère peu d'effet de gaz à effet de serre. Son action est pratiquement neutre à ce niveau. Avec un COP moyen de 4 pouvant être obtenu sur les PAC modernes, le tableau ci-dessous montre que la pompe à chaleur génère environ 10 fois moins de CO₂ (dioxyde de carbone) que le fioul et 5 fois moins que le gaz.

Curieusement le gaz carbonique provenant de la combustion, et par qui le mal arrive puisqu'il serait la cause du réchauffement climatique, commence à être utilisé comme fluide caloporteur dans la rénovation des chaufferies utilisant le chauffage thermodynamique sans risque pour l'environnement dans la mesure où les précautions de base sont prises

Energie	Charbon	Fioul	Gaz Naturel	Electricité directe	Pompe à chaleur
Grammes de CO ₂ par kWh produit	978	466	242	180*	180/COP*

** Source Ademe et MEDAD (Ce coefficient qui dépend de la chaîne énergétique utilisée pour générer l'électricité diffère selon les pays)*

Concernant la chaleur renouvelable, si Einstein était né France et non en Allemagne, il aurait probablement tourné sa phrase différemment. Au lieu de dire "il est plus facile de briser un atome qu'un préjugé il aurait probablement dit " il est plus difficile de briser un préjugé qu'un atome"

Plaidoyer pour les pompes à chaleur aquathermique en ville

A défaut de fournir de l'énergie mécanique, et a fortiori de l'énergie électrique puisqu'elles en consomment, la capacité des pompes à chaleur aquathermiques de délivrer économiquement des puissances thermiques importantes adaptées au besoin du chauffage urbain est intéressante. Elles n'envoient comme on vient de le dire que très peu de gaz nocifs dans l'atmosphère comparativement à la combustion des produits fossiles, ce qui est très intéressant pour notre environnement. Elles ont de plus de nombreux autres avantages: Coût d'exploitation raisonnable en regard de la réduction de consommation en énergie primaire et relative indépendance de l'utilisateur sur le plan énergétique. Elles présentent aussi de petits avantages comme celui de pouvoir arroser gratuitement son jardin avec l'eau de retour de la source froide moins calcaire plutôt que de payer au prix fort l'eau du robinet. Elle nous donne aussi l'opportunité de régénérer notre sous-sol qui en a parfois bien besoin en filtrant éventuellement l'eau avant de la réinjecter dans le sol ou de la rejeter dans la rivière. Il est certainement de notre intérêt de nous rapprocher de pays en avance sur nous dans ce domaine. Proches de nous sur le plan affectif, la Suisse, l'Allemagne, et bientôt l'Italie pourraient bien faire figure de leader dans ce domaine. Le Canada l'est aussi. Pourtant les solutions retenues dans ce pays ne sont pas toujours bonnes pour l'environnement. Quant à la France, allons-nous comme Astérix attendre que le ciel nous tombe sur la tête ? Beaucoup d'entre nous souhaitent pourtant satisfaire leurs besoins personnels de chauffage ou de production d'eau chaude sanitaire à partir d'une énergie économique, propre, renouvelable et non fossile ne dissipant pas de gaz nocifs nuisible dans notre environnement et n'aggravant pas de ce fait l'effet de serre. La pompe à chaleur aquathermique est un moyen d'y parvenir. Pourtant force est de constater qu'un déséquilibre s'est établi entre le particulier et les collectivités, entre les maisons individuelles en zone rurale et les immeubles en zone urbaine:

- Il y a d'une part une activité industrielle soutenue et les nombreux livres vantant les avantages de cette technique pour le pouvoir d'achat de l'utilisateur dans le cadre des particuliers et de leurs maisons individuelles,
- Il y a d'autre part, un système complètement bloqué avec une littérature technique pratiquement inexistante pour les immeubles et les équipements collectifs anciens. Alors que la construction neuve est en passe d'être encadrée par une réglementation thermique performante, le parc des bâtiments existants, qui constitue pourtant un immense gisement de réduction des émissions de gaz à effet de serre et un marché considérable pour le BTP est laissé pour compte. L'Ademe, organisme gouvernemental qui délivrait avec le concours de la Région des aides pouvant atteindre 50% de l'investissement et qui a toujours été un défenseur fervent de notre environnement s'est dernièrement retiré du processus d'aide pour les copropriétés probablement faute de moyen.

La rivière source d'énergie

Il existe pourtant des sociétés industrielles telles que DAIKIN, CIAT ou WATERKOTTE capables de mettre en œuvre de tels systèmes. Il existe aussi sur le marché des composants, de grosses pompes à chaleur sur nappe ayant des puissances suffisantes pour assurer le chauffage d'un grand immeuble. De plus, le fait que les grandes villes sont la plupart du temps édifiées près des fleuves et des rivières, rend leur sous-sol souvent propice à la fourniture de l'eau, fluide indispensable au fonctionnement de ce type de pompe à chaleur (PAC). Cette dernière profitant de la nappe aquifère dite libre commence à être baptisée pompe à chaleur *aquathermique*, un terme qui mériterait de figurer au Larousse vu la capacité de l'eau à transmettre les flux thermiques. Elle a de plus un meilleur rendement que les PAC *aérothermiques* utilisant l'air ou *géothermiques* utilisant uniquement le sol. Peu utilisée pour les maisons individuelles en raison du coût du forage, elles devraient devenir rentables pour les immeubles. A défaut d'un approvisionnement par un réseau d'alimentation en eau froide non potable à plus de 8°C, température minimum nécessaire, le coût du forage étant réparti sur de nombreux copropriétaires devient acceptable. Il devient urgent et nécessaire de réduire le prix de l'énergie thermique pour les immeubles anciens plus difficiles à isoler après coup que les constructions neuves. On commence également à comprendre que ce type de PAC peut aussi participer à la dépollution du sous-sol alluvionnaire de nos fleuves qui en a bien besoin (voir la pollution au PCB sur le Rhône). Ce mode de chauffage éviterait la livraison des camions de fioul dans les rues bien encombrées de nos villes. Autre point favorable, les radiateurs hydrauliques des immeubles anciens sont la plupart du temps largement dimensionnés, et il est admis, voire prouvé scientifiquement, qu'ils peuvent souvent être réutilisés en l'état avec la pompe à chaleur lorsque l'isolation de l'immeuble est préalablement amélioré*. Enfin les compresseurs utilisés pour les PAC de forte puissance ont un meilleur rendement que les moteurs monophasés parfois utilisés pour les compresseurs faibles puissances des maisons individuelles. Bref, sachant que ce type de PAC s'intègre dans le contexte d'un immeuble ancien, sachant que le remboursement mensuel d'un emprunt à long terme (environ 10 ans) est compensé par l'économie réalisée sur l'achat d'un combustible tel que le fioul, on se demande pourquoi les propriétaires d'appartements ne peuvent bénéficier des mêmes avantages que ceux possédant une maison? C'est pourtant précisément dans les villes où l'air est un peu plus vicié qu'à la campagne que ce genre de réalisation prend tout son sens. Ce n'est plus l'absence d'une description claire du fonctionnement d'une pompe à chaleur qui explique le manque de réalisation dans ce domaine. Notre comportement semble être celui du syndrome de la grenouille dans l'eau tiède d'Al Goore ?

Pourquoi ?

Alors que l'on assiste à une pénurie naissante des produits pétroliers et que l'on prend conscience qu'ils génèrent des gaz nocifs pour l'environnement lors de leur combustion, il est intéressant de rechercher les raisons possibles de ce blocage

- Raisons techniques et vulgarisation

L'association française des pompes à chaleur (AFPAC) aurait pu faire plus d'effort pour vulgariser le chauffage urbain thermodynamique au plan national dans le collectif ou à défaut, au moins expliquer, les raisons techniques - en supposant qu'il y en ait - qui interdisent le passage de l'individuel vers le collectif. Cette association s'est pourtant rendu compte que la publicité de bouche à oreilles émanant des applications réussies de ce mode de chauffage dans l'individuel n'a pas suffi pour que la copropriété prenne conscience qu'elle peut diviser sa facture chauffage par 3 voire 4 avec ce mode de chauffage. La publicité de bouche à oreilles émanant des applications réussies de ce mode de chauffage dans l'individuel a heureusement aidée à prendre conscience qu'il y a d'autres solutions pour se chauffer que l'effet joule ou la combustion mais cela n'a malheureusement pas suffi à combler les méconnaissances de ces techniques nouvelles. Pour preuve une revue pourtant sérieuse connue et lue par 60 millions de consommateurs qui explique d'une part à juste titre qu'il faut lutter contre le réchauffement climatique et d'autre part que la pompe à chaleur réchauffe son environnement. La compréhension de ces systèmes s'améliore trop lentement. et les arrières pensées, voire les inquiétudes techniques des Maîtres d'œuvre qui appréhendent de servir de cobaye ne sont de ce fait pas totalement éteintes. Pourtant il serait temps que les bons résultats obtenus jusqu'à présent dans l'individuel en terme d'efficacité énergétique incitent la copropriété à s'engager dans cette voie. Les avantages financiers qu'elle peut retirer d'un tel mode de chauffage en termes d'amélioration de son pouvoir d'achat, l'exemple des systèmes prouvant leur efficacité et de leur fiabilité dans l'individuel, font que la copropriété devrait commencer à percevoir tout l'intérêt qu'elle peut retirer d'un tel mode de chauffage en raisonnant « collectif ». Sera-t-elle prête à reconsidérer le remplacement des radiateurs en place par des radiateurs ayant une plus grande surface de chauffe pour améliorer encore plus le rendement de la pompe à chaleur si on lui prouve qu'un tel investissement est encore plus rentable ? Nous verrons bien, mais étant donné l'urgence de baisser le coût du kWh thermique pour des raisons sociales, on peut l'espérer. Il y a aussi en arrière-plan et parmi les raisons possibles du blocage la mauvaise compréhension des conditions permettant de tirer profit de ce mode de chauffage. Quant aux autres blocages dits « techniques » concernant la qualité de l'eau qui ne doit être ni agressive ni polluée avec un minimum d'alluvion pour satisfaire les constructeurs de pompe à chaleur, il s'agit d'un faux problème qui pourrait être résolu moyennant une motivation politique avec la mise en place de réseaux d'alimentation en eau de surface non potable. La mise en place de ces réseaux solutionnerait le problème du manque de place en ville ainsi que celui de l'approvisionnement de foreuses trop souvent encombrantes et inadaptées vu leur encombrement au forage de l'exhaure à l'abri du gel dans le sous-sol des immeubles.

La rivière source d'énergie

- Raisons administratives ou politiques

Un autre acteur important directement concerné par ce blocage est l'Ademe, établissement public porte-parole du gouvernement pour tout ce qui concerne l'énergie. Cet établissement ne devrait pas se contenter d'expliquer que le chauffage thermodynamique est possible dans le collectif. A défaut de mettre en œuvre les conditions qui favorisent son implantation, cet établissement public aurait dû jouer son rôle social en expliquant au moins qu'il est ainsi possible de réduire drastiquement la douloureuse du copropriétaire. Cet organisme gouvernemental ne s'est véritablement préoccupé que de l'individuel, et s'est trop désintéressé du chauffage thermodynamique collectif alors qu'un pourcentage important de français logent en ville. Voilà bien le fait que le politique n'a pas encore pris conscience du formidable potentiel en énergie thermique renouvelable que constituent les rivières et les fleuves qui traversent pourtant les grandes métropoles. La prise de conscience insuffisante par les municipalités et par nos politiciens des avantages de cette solution se traduit par l'absence de réflexion sur la création de réseaux d'alimentation en eau froide non potable dans les villes, réseaux qui faciliteraient la mise en œuvre du chauffage thermodynamique le plus performant: Celui faisant appel à l'aquathermie et l'eau de la rivière ou du fleuve pour assurer les échanges thermique avec l'environnement. Le fait que le gouvernement ait décidé d'instaurer un « audit énergétique collectif obligatoire » pour les copropriétés est pour l'instant le premier et seul facteur de déblocage. Il ne suffira probablement pas que nos "technocrates bruxellois" imposent cette orientation pour que chacun d'entre nous prenne conscience qu'il va falloir raisonner collectif et non pas privatif compte tenu de l'impérieuse nécessité de baisser le coût du kWh thermique rendu dans les pièces de vie pour des raisons sociales. Il est aussi grand temps que l'état, conformément aux souhaits du Secrétaire générale de l'OCDE favorise une collaboration technique horizontale entre les pays européens indispensable à une meilleure cohabitation entre les énergies primaires (EP) les plus utilisées : Le gaz et l'électricité

- Raisons humaines et formation

Le laissez aller de certains conseils syndicaux, la peur du nouveau, le manque de confiance, une approche trop particulière d'un problème collectif et aussi une mauvaise compréhension des conditions permettant de tirer profit de ce mode de chauffage ne sont évidemment pas étrangers à ce blocage. Une meilleure compréhension par l'état et les copropriétaires de la façon dont les égoïsmes individuels tirent parfois trop profit du chauffage collectif dans un immeuble ancien au détriment de la collectivité non plus. Reste la formation et l'information du copropriétaire et sa Méconnaissances de ces techniques nouvelles ? Les particuliers qui utilisent ce mode de chauffage depuis une trentaine d'année pour le plus grand bien de leur portefeuille n'ont plus besoin de preuves ni de formation coûteuse. Ils ont seulement besoin d'un personnel compétent pour l'entretien de leurs systèmes, rien de plus. Pour les autres, ceux qui douteraient encore de l'utilité du chauffage thermodynamique dans la ville de demain, la lecture des pages du chapitre IV en apporte la démonstration.

Comment sortir de ce blocage et baisser ses charges?

En démystifiant la pompe à chaleur et tout simplement en prenant conscience des raisons pour lesquelles il y a blocage.

Egalement en percevant mieux *les paramètres associés à ces systèmes*, à savoir :

- La conduction
- La chaleur spécifique
- L'enthalpie
- Les énergies de base
- L'abondance des énergies renouvelables
- Comment le chauffage thermodynamique prélève les ENR dans l'environnement

En comprenant *comment ces paramètres interfèrent les uns avec les autres* au niveau :

- De cycle thermodynamique et le diagramme de Carnot
- En comprenant l'avantage des basses températures
- Du fait de la conservation de l'énergie
- Du fluide caloporteur de la pompe à chaleur
- Des chaînes énergétiques

En faisant la liaison avec *l'aspect économique et social* :

- Privatif ou collectif ?
- Le modèle économique
- Le prix de l'énergie thermique
- Les acteurs de la rénovation énergétique

Et aussi :

- En reconnaissant que nous avons eu tort de considérer dans la RT 2005 que l'on pouvait admettre des déperditions thermiques plus importantes sur les bâtiments équipés d'un chauffage électrique.
- En se sentant solidaire et en aidant le politique qui vient de décider d'instituer un audit énergétique collectif obligatoire
- En réalisant qu'en France, l'énergie la plus chère, à savoir l'électricité, est celle que l'on consomme le plus mal.
- En comprenant que la meilleure façon de devenir sobre est de réduire notre consommation en énergie primaire (EP).

Si l'on créait, grâce à cette prise de conscience les conditions permettant à seulement la moitié des immeubles gérés en copropriété équipées de chauffage individuels par radiateurs électriques d'opter pour le chauffage thermodynamique aquathermique, la consommation d'électricité globale serait réduite de 38% à confort équivalent. Ceci en basant le calcul de la consommation en EP sur un COP moyen de 4 relativement facile à obtenir avec ce type de pompe à chaleur. La consommation de 4EP avant passage au chauffage thermodynamique

La rivière source d'énergie

passerait en effet à $2EP + 2EP/4 = 2,5 EP$. Soit $2,5/4 = 0,625$. Une telle orientation permettrait de réduire sensiblement notre parc nucléaire ce qui justifie amplement la mise en place d'un réseau d'alimentation en eau non potable dans les villes pour assurer les transferts thermiques à la source froide de la PAC. Ce réseau, contrairement aux réseaux de chauffage urbain basés sur la combustion serait constitué de tuyauteries non isolées donc moins coûteuses afin d'améliorer les performances de l'ensemble. Pour savoir quel pourrait être le 2ème paradigme permettant de sortir de l'impasse lire la conclusion de « L'hydraulique industrielle assiste le génie climatique »

La concurrence est un alcaloïde ; à dose modérée c'est un excitant, à dose massive un poison. L'absence de concurrence est une plaie pour celui qui attend et une niche pour celui qui entreprend.

L'eau des rivières et les pompes à chaleur aquathermiques

Une caractéristique importante des pompes à chaleur sur nappe phréatique (PAC à eau) est d'utiliser l'eau à environ 12 °C provenant d'un pompage à faible profondeur dans un sous-sol alluvionnaire et de rejeter l'eau de cette source dite froide à une température encore plus froide. C'est le cœur même de la PAC dans un cycle thermodynamique presque idéal, utilisant les propriétés entropiques et enthalpique des fluides caloporteurs modernes capables d'assurer les transferts thermiques, qui permet d'obtenir ce résultat. Le fonctionnement conventionnel d'une PAC génère un flux thermique capable d'assurer le chauffage des maisons individuelles ou des immeubles. Comme les miracles n'existent pas il faut naturellement apporter de l'énergie pour assurer le cycle thermodynamique du fluide caloporteur. Cette énergie est électrique et a naturellement un coût. Un compresseur, entraîné par un moteur électrique comprime le fluide caloporteur pour assurer le cycle thermodynamique. Il augmente la pression du fluide caloporteur alors qu'il est en phase gazeuse avant qu'il ne passe à l'état liquide dans le condenseur. Ces transferts thermiques sont d'autant plus intéressants et économiques pour l'utilisateur que la différence de température entre la source froide et la source chaude est faible. Cette particularité de la pompe à chaleur est importante pour l'utilisateur car elle conditionne en grande partie son coût d'exploitation.

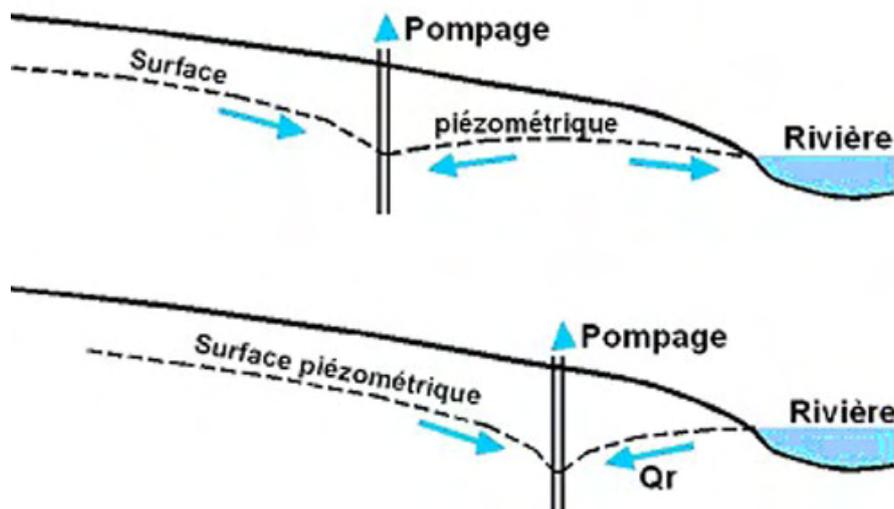
Elle privilégie l'eau par rapport à l'air en tant que fluide utilisé pour la source froide.

L'eau lorsqu'elle est pompée dans le sous-sol a une température sensiblement constante de 12°C et ceci même en hiver alors que l'air ambiant au contraire peut avoir une température négative ce qui augmente la différence de température entre les sources froide et chaude et affecte le rendement de la PAC. Avec les pompes à chaleur à eau moderne, la température de rejet de l'eau vers le sous-sol ou dans la rivière est de l'ordre de 4° C, voir même inférieur. (Au Canada les températures de rejets sont même probablement inférieures puisque ces techniques sont parfois utilisées pour consolider le sous-sol par gélification) Les débits d'eau mis en jeu ne sont pas importants en regard des débits souvent disponibles dans nos nappes aquifères et très faibles par rapport au débit de la rivière. Les puissances thermiques mise en jeu sont loin d'être négligeables. La puissance thermique générée par un débit d'eau de 4,1 l/s (15 m³/h) dont la température chute de 8°C est de 140 kW. (Chaleur spécifique de l'eau: 1 calorie/gramme et °C) Cette puissance est suffisante pour chauffer un gros immeuble correctement isolé avec des coûts d'exploitation réduit par rapport à celui de l'énergie produite à partir de la combustion des produits fossiles. A l'encontre des centrales nucléaires qui se servent de l'eau de la rivière pour refroidir le réacteur et qui rejette de l'eau tiède dans celle-ci, le gros avantage d'une PAC à eau – lorsqu'elle est utilisée pour le chauffage - est l'abaissement de la température de l'eau de la rivière lorsque l'eau sortant de l'évaporateur est rejetée directement dans la rivière. A l'inverse de la chaleur, le froid diminue en effet l'activité microbienne et bactériologique.

La rivière source d'énergie

En diminuant ces activités il réduit la consommation d'oxygène qui en résulte ce qui conduit à une diminution de la pollution des eaux.

On trouve maintenant sur le marché des constructeurs qui proposent des PAC à eau dans des gammes de puissance allant de 20kW à 500 kW couvrant la plupart des besoins individuels et collectifs en chauffage. La raison pour laquelle la technologie des pompes à chaleur sur nappe phréatique ou aspirant plus simplement l'eau de la rivière n'est pas plus développée en France n'est pas que financière. L'indexation du prix du gaz sur le pétrole va être une incitation au développement des PAC à eau en France. L'avance de l'Allemagne sur la France dans ce domaine s'explique probablement par le fait que le gaz est sensiblement 2 fois plus cher en Allemagne qu'en France. Ces technologies étant relativement nouvelles, l'utilisateur final, qui doit se transformer en Maître d'œuvre pour faire aboutir le projet, était jusqu'à maintenant peu enclin à jouer le rôle de cobaye car l'incitation financière était trop faible. De plus, il ne suffit pas que la technologie d'un produit soit aboutie pour qu'il soit utilisé. Claude Allègre n'avait pas tort de dire dans son dernier livre que, en France, la vérité scientifique met beaucoup de temps à être acceptée. On dit souvent que la consommation de produits fossiles en France se partage à part sensiblement égales entre les besoins liés au chauffage des habitations et ceux de la consommation des moteurs thermiques assurant le transport routier. Ces pompes à chaleur sur nappe phréatique mériteraient en tout cas à être mieux connues.



La pompe aquathermique a le meilleur rendement par temps froid pour la raison que la température de l'eau pompée reste sensiblement indépendante de la température extérieure. Une partie du débit pompée à l'exhaure peut provenir de la rivière. L'abaissement de la surface piézométrique à l'emplacement du pompage diminue la teneur en eau à cet endroit.

Principe de fonctionnement d'une pompe à chaleur

Une pompe à chaleur (PAC) est une machine thermodynamique destinée à assurer le chauffage d'un bâtiment à partir d'une source de chaleur externe dont la température est inférieure à celle du bâtiment à chauffer. C'est donc un système de chauffage qui transfère de l'énergie thermique d'un milieu à bas niveau de température pour les restituer à un autre milieu à une température plus élevée. L'écoulement naturel de la chaleur s'effectuant habituellement d'un corps chaud vers un corps froid, on pourrait définir la pompe à chaleur comme un matériel permettant de réaliser l'écoulement de chaleur dans le sens inverse du sens naturel, c'est-à-dire d'un milieu froid vers un milieu chaud. Pour comprendre comment se réalise ce transfert thermique inverse du sens physique habituel qui paraît contraire à la logique physique et qui pourtant ne l'est pas quelques explications complémentaires sont nécessaires. En pratique, pour prendre des calories à un milieu froid, il suffit de le refroidir d'avantage alors que pour restituer ces calories à un milieu chaud, il convient de le réchauffer. Dans une pompe à chaleur, cette opération se fait grâce à un fluide dit « caloporteur » qui présente la particularité de changer d'état (liquide ou gazeux) quand on modifie sa pression ce qui permet de bénéficier de la chaleur latente de transformation ou enthalpie du fluide caloporteur.

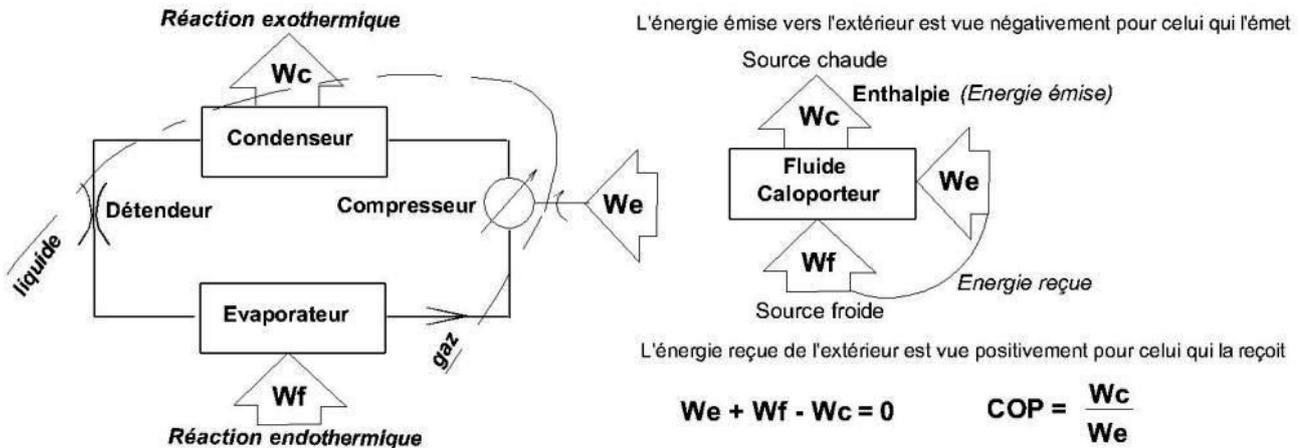
1. Le fluide caloporteur à l'état liquide tend à s'évaporer en sortie de détendeur quand sa pression baisse. Cette évaporation produit un froid intense. On dit que la réaction d'évaporation est *endothermique*.
2. Inversement, le fluide caloporteur à l'état gazeux a tendance à se condenser en se liquéfiant quand on augmente sa pression. Cette condensation s'accompagne d'un fort dégagement de chaleur. On dit que la réaction de condensation est *exothermique*.

L'énergie dépensée pour assurer ces deux réactions dans un cycle répétitif est limitée à l'énergie électrique **We** assurant l'entraînement d'un compresseur qui effectue l'augmentation de la pression du gaz. Une faible quantité d'énergie fournie au compresseur permet de transférer une grande quantité de chaleur **Wf** de la « source froide » vers la « source chaude ». L'utilisateur ne paie donc que l'énergie nécessaire au fonctionnement du compresseur. Qui plus est, l'énergie électrique **We** payante est récupérée intégralement additionnée de celle prélevée gratuitement à la « source froide ». Cette dernière pouvant être *l'air, l'eau ou la terre* selon le type de pompe à chaleur. Le coefficient de performance appelé « COP » est le rapport de l'énergie thermique totale obtenue sous forme de chaleur **Wc** sur l'énergie dépensée **We**.

La performance d'une pompe à chaleur varie notablement en fonction de l'écart de température entre la source froide et la source chaude. Un grand écart de température dégrade la performance (COP = 2 par exemple), inversement, un faible écart permet une excellente performance (COP = 6 par exemple). Remarquons qu'un chauffage électrique par effet joule a un COP de 1.

La rivière source d'énergie

Figure explicative du chauffage thermodynamique



Les deux figures ci-dessus permettent de comprendre comment se font les transferts thermiques du milieu froid vers le milieu chaud. La figure de gauche représente le cycle de fonctionnement d'une pompe à chaleur. Le principe de conservation de l'énergie* permet de dire en isolant le fluide caloporteur et en considérant un cycle complet que l'énergie reçue de l'extérieur est égale à l'énergie émise par ce fluide (Figure de droite). L'intérêt de la pompe à chaleur réside dans le fait que la dépense d'énergie permettant d'obtenir un transfert thermique important du premier milieu appelé « source froide » vers le deuxième appelé « source chaude » est faible en valeur relative par rapport à l'énergie électrique payante permettant d'obtenir ce transfert. Le diagramme de Mollier permet de comprendre que la dépense en énergie électrique payante est d'autant plus faible que la température de la source froide est proche de celle de la source chaude.

* L'énergie est toujours conservée lorsqu'elle change de forme. Ce principe est tellement fort en physique qu'à chaque fois qu'il a paru ne pas être vérifié, cela a conduit à des découvertes importantes telles que la radioactivité, le mouvement des planètes associée au système solaire. Si l'on isole le fluide caloporteur d'une pompe à chaleur, il forme un système fermé qui n'échange pas de matière avec le milieu extérieur. Il reçoit par contre du milieu extérieur deux apports énergétiques:

- l'apport provenant de l'énergie électrique fournie au moteur entraînant le compresseur de la pompe à chaleur, énergie transformée en énergie mécanique, puis en énergie thermique lors de sa compression à l'état de gaz.
 - l'apport thermique provenant de la source froide lorsqu'étant lui-même à l'état gazeux et à très basse température du fait de sa détente il se réchauffe en refroidissant le milieu extérieur
- Il émet enfin vers le milieu extérieur l'énergie thermique importante provenant de sa chaleur latente ou enthalpie lors de son changement d'état dans le condenseur lorsqu'encore à l'état gazeux il se condense sous l'effet de la pression en se transformant en liquide. Lorsqu'il se retrouve après un cycle complet de compression détente dans son état initial le fluide caloporteur, a, du fait de la loi de conservation de l'énergie, reçu de l'extérieur la même quantité d'énergie que celle qu'il a émise vers l'extérieur.

La rivière source d'énergie

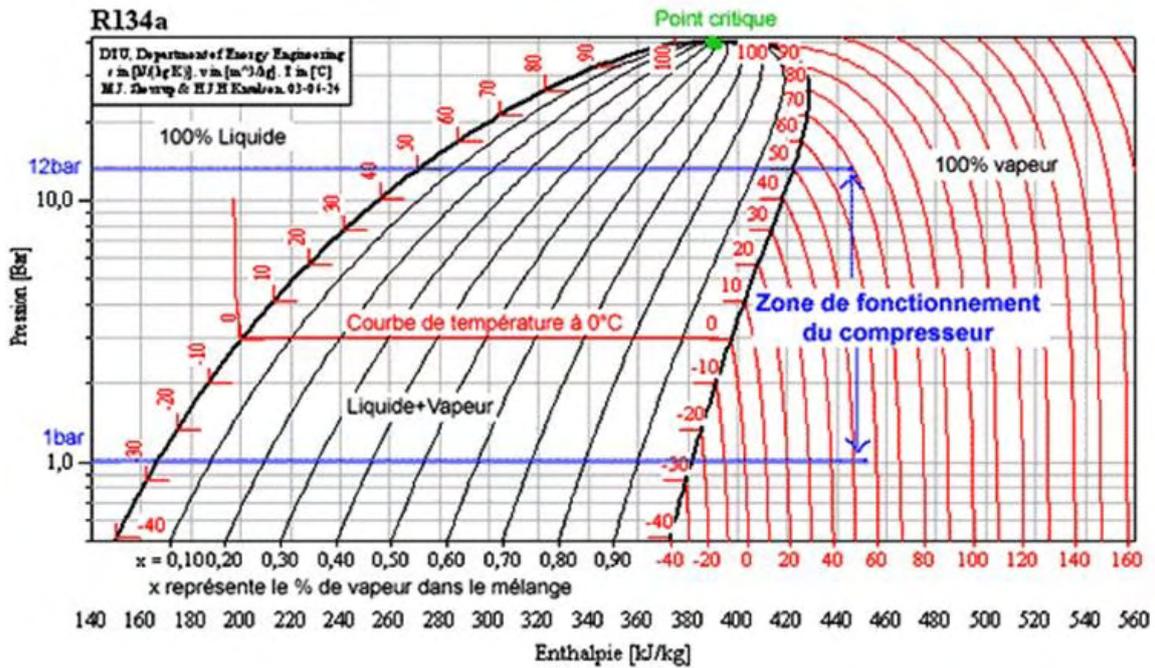
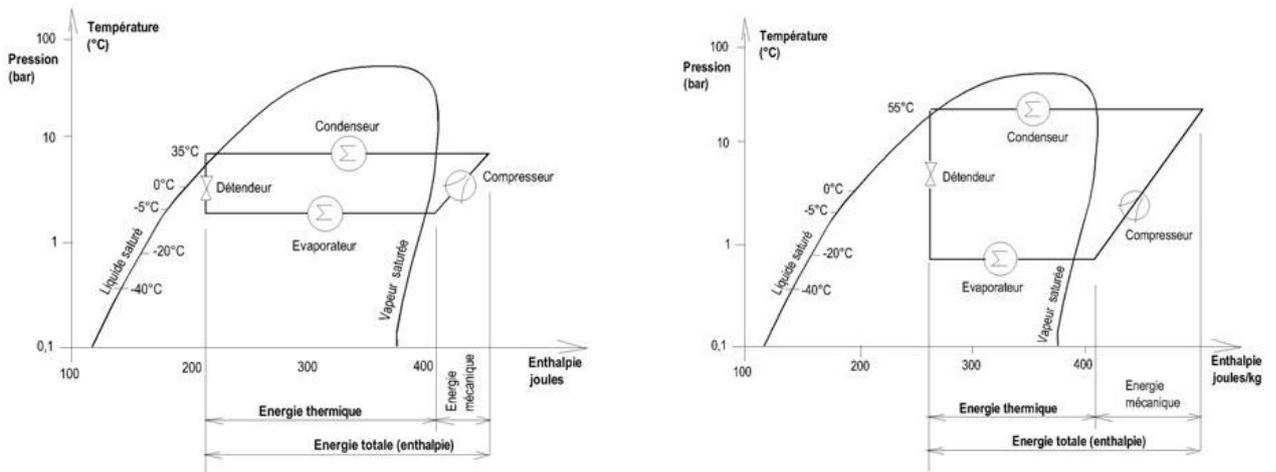


Diagramme thermodynamique du R134a

Il est possible avec ce fluide caloporteur d'augmenter la pression en sortie de compresseur jusqu'à environ 20 bar permettant de disposer de 60°C à la source chaude. Le cycle s'effectue en tournant dans le sens inverse des aiguilles d'une montre



Lorsque la température de la source chaude (condenseur) est proche de la température de la source froide (évaporateur), l'énergie mécanique consommée par le compresseur est plus faible et le COP (énergie totale / énergie mécanique) est plus élevé. En raison du principe de la conservation de l'énergie, l'énergie totale (enthalpie) est égale à la somme des énergies thermique (frigorigène) et mécanique.

On remarque que lorsque la différence entre la température de la source chaude (condenseur) et celle de la source froide (évaporateur) augmente, l'énergie mécanique consommée par le compresseur et délivrée le plus souvent par un moteur électrique augmente également alors que le COP (énergie totale / énergie mécanique) diminue

Principaux équipements d'une chaufferie mixte GAZ-PAC :

La partie GAZ

Mis à part les émetteurs thermiques situés en dehors de la chaufferie les fonctions des principaux composants du circuit de chauffage bien connue des chauffagistes et situés en chaufferie sont les suivantes :

1. *La vanne trois voies de régulation* permet de régler la température (de départ) de l'eau dans le réseau de chauffage en mélangeant l'eau chaude produite par la chaudière avec l'eau tiède de retour du réseau.

2. *Le circulateur* est une pompe basse pression ayant pour rôle de mettre l'eau en circulation dans le réseau de chauffage. Le circulateur peut être simple ou double comme représenté sur la figure. (Une pompe est en fonctionnement, l'autre est en secours ou pour reprendre une terminologie anglo-saxonne souvent employée en stand-by)

3. *Le vase d'expansion* non représenté sur la figure est raccordé sur le réseau de chauffage. Il permet d'absorber la dilatation de l'eau lors de sa montée en température et d'éviter les surpressions dans le réseau.

4. *Un dispositif d'alimentation en eau* du réseau en **A** comprenant un clapet anti-retour (évitant tout retour d'eau du circuit de chauffage vers le réseau d'eau potable et avec obligation de vérification une fois par an par un personnel qualifié) ainsi qu'un compteur d'eau chaude (disposé après le clapet anti-retour permettant de contrôler les appoints d'eau sur le réseau).

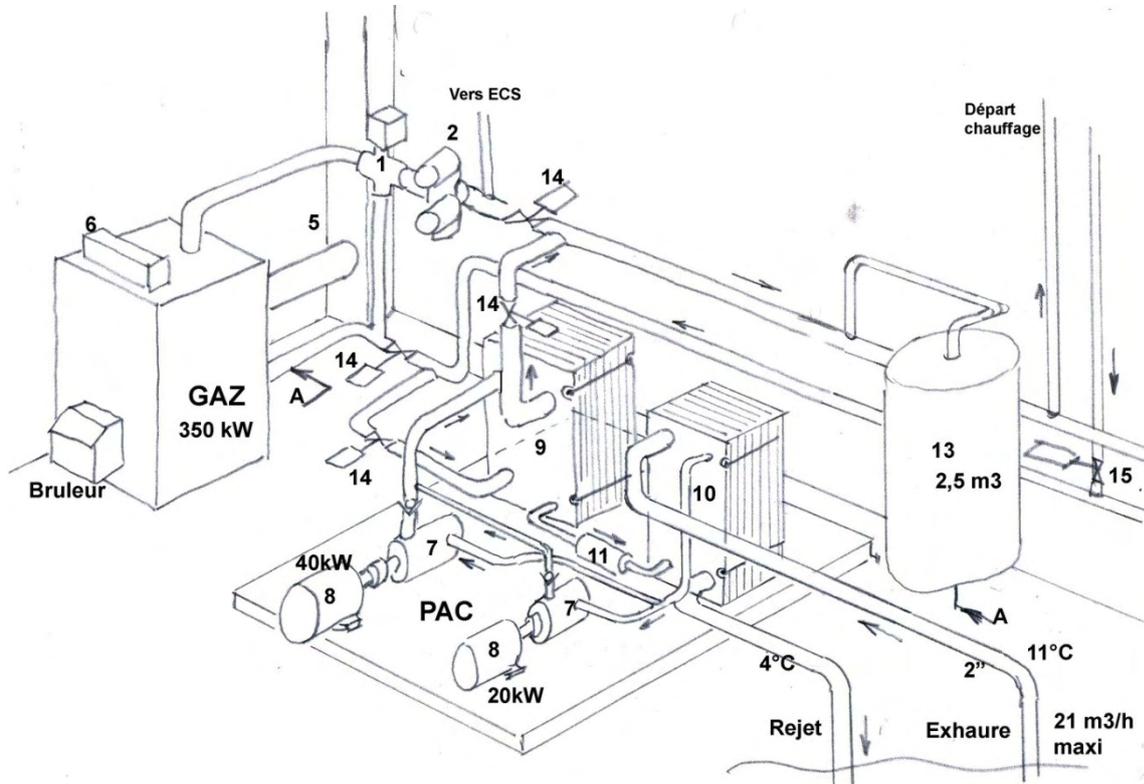
5. *Le conduit de fumée* assurant l'évacuation des gaz de combustion.

6. *Le régulateur de la chaudière à gaz* : Plus il fait froid à l'extérieur, plus la température de l'eau de chauffage alimentant les radiateurs est élevée. Cette fonction est assurée par un régulateur en fonction de la température extérieure. Il est placé dans l'armoire électrique de la chaufferie ou est intégré dans la chaudière. Il est raccordé à:

- une sonde de mesure de température extérieure placée en façade du bâtiment, en paroi nord ou nord-ouest;
- une sonde de mesure de température d'eau au départ du réseau de chauffage.
- Il agit sur la vanne à trois voies de régulation **1** pour mélanger l'eau moins chaude de retour du réseau de chauffage à celle plus élevée du circuit interne de la chaudière pour

La rivière source d'énergie

obtenir de l'eau à la température demandée par le régulateur. Les régulateurs sont également équipés d'une horloge de programmation pour le ralenti du chauffage selon un programme journalier ou hebdomadaire.



Chaufferie mixte GAZ-PAC aquathermique

L'évaporateur des PAC aquathermique repère 10 est implanté dans la chaufferie et ne fait aucun bruit contrairement à l'évaporateur des PAC aérothermique situé le plus souvent sur la terrasse. Pour les grosses pompes à chaleur le constructeur de la PAC peut décider de prévoir trois, voire 4 pompes fonctionnant en //. L'échangeur à plaque rep 9 peut être remplacé par un échangeur multitubulaire (étanchéité) selon le type de fluide caloporteur. Ne sont pas représenté :

- L'isolation thermique des deux échangeurs de température à contre-courant constituant le condenseur et l'évaporateur.
- L'isolation phonique des deux compresseurs et de leur moteur électrique d'entraînement sous forme d'un capot recouvrant l'ensemble du châssis.
- L'armoire électrique de commande des moteurs électriques
- Les vannes deux voies d'isolement éventuel du circuit ECS
- Les auxiliaires tels que le vase d'expansion, le dispositif d'alimentation en eau du réseau en A comprenant un clapet anti-retour, le compteur d'eau chaude permettant de contrôler les appoints d'eau sur le réseau de chauffage
- Le circuit de stockage du fluide frigorigène
- Les auxiliaires de visualisation de l'état du fluide caloporteur

La partie PAC

Elle comprend principalement :

7. Le (Le plus souvent les) compresseur(s).

Le compresseur des pompes à chaleur comprime le fluide caloporteur alors qu'il est en phase gazeuse. Le compresseur est en pratique une pompe à vis, à spirales (scroll) à vis ou à pistons comprimant le fluide frigorigène en phase gazeuse avant qu'il ne pénètre dans le condenseur **9**. Moins sensibles à la présence d'eau que la plupart des autres types de pompes, les compresseurs à spirales scroll sont dits plus robustes. Entraînés par un moteur électrique à vitesse constante situé à l'intérieur de la pompe, ils sont disponibles pour des puissances frigorifiques allant jusqu'à 60 kW. Un dispositif de mise à vide basé sur un petit jeu mécanique latéral permet de régler le débit du fluide caloporteur et de ne fournir ainsi que le besoin thermique. Le clapet AR est intégré au refoulement. Ce sont les compresseurs qui assurent le débit de circulation du fluide frigorigène dans la pompe à chaleur. La variation de débit est assurée par un moteur à électrique à vitesse variable dans le cas des compresseurs à vis. (On parle d'inverter)

8 Les PAC de petite puissance (inférieure à 25 kW thermique) ne comprennent qu'un seul compresseur entraîné par un *moteur électrique à vitesse variable* pouvant tourner jusqu'à 3000 tr/mn maximum. Au-dessus d'une cinquantaine de kW il est préférable de prévoir deux compresseurs branchés en parallèle avec un clapet anti retour au refoulement de chaque pompe. Dans ce cas deux variateurs de vitesse sont nécessaires, un des deux compresseurs pouvant être arrêté sans affecter le fonctionnement du deuxième. Cette disposition peut être plus souple pour couvrir correctement le besoin selon que la PAC fonctionne en hiver, en mi saison ou en arrière-saison

9 Le condenseur. C'est en pratique un échangeur de température à contre-courant. Il doit résister à la pression plus élevée régnant dans le condenseur et pourra être du type multitubulaire. Il reçoit le gaz très chaud sortant des compresseurs. Il doit être correctement isolé. Le fluide frigorigène à l'état gazeux se condense dans cet échangeur en générant une grande quantité de chaleur qui réchauffe l'eau plus froide de retour du circuit de chauffage.

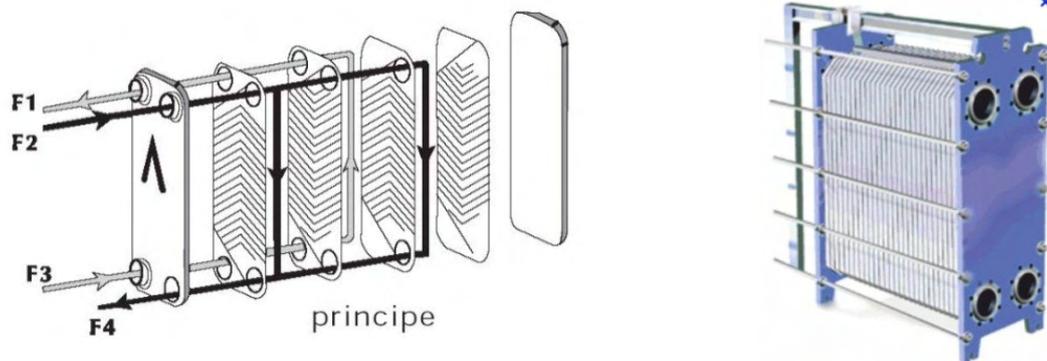
10 L'évaporateur. Il est constitué également par un échangeur de température à contre-courant et à plaque en raison de sa plus grande souplesse d'utilisation. Il reçoit le fluide frigorigène à basse température sortant à l'état liquide du détendeur **11**. Il est raccordé au circuit hydraulique de la pompe d'exhaure et au rejet. Le fluide frigorigène génère un froid intense lors de son évaporation qui a pour effet de faire chuter la température de l'eau venant de l'exhaure (l'eau pompée sous la nappe phréatique arrive à environ 12°C

La rivière source d'énergie

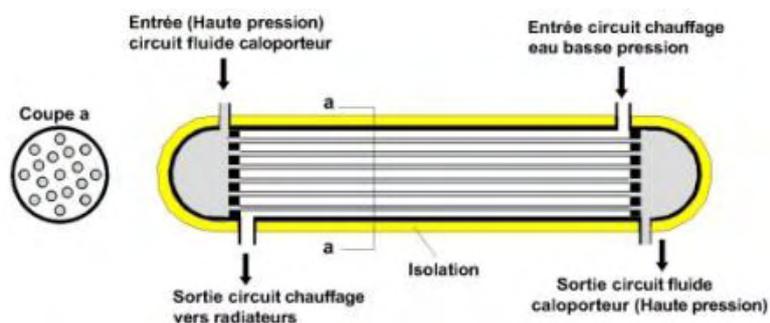
dans l'échangeur et est rejetée à environ 4 à 5 °C). Dans le cas de la pompe à chaleur *air eau*, l'évaporateur est constitué par un radiateur à ailettes disposé en toiture dans lequel un ventilateur propulse l'air ambiant.

Les parties source chaude des PAC *eau eau* et *air eau* sont identiques. Un dispositif de dégivrage automatique complète l'ensemble dans le cas de la PAC *air eau*. Etanche et isolé le condenseur n'est autre qu'un échangeur à contre-courant assurant le transfert thermique provenant de la condensation du fluide caloporteur vers le circuit d'eau chaude des radiateurs ou vers l'échangeur à plaques du circuit ECS.

Les échangeurs de température à contre-courant



Echangeur à plaques



Echangeur tubulaire

L'évaporateur et le condenseur des PAC eau eau sont en pratique des échangeurs à contre-courant isolé de l'extérieur pour améliorer les performances. Les échangeurs à plaque sont préférentiellement utilisés en France lorsque la pression est modérée. Les allemands privilégient souvent tubulaire

Dans le cas de la PAC aquathermique le condenseur repère 9 et l'évaporateur repère 10 sont logés en chaufferie alors que dans le cas de la PAC aérothermique l'évaporateur assurant l'échange thermique avec l'environnement s'effectuant avec l'air est situé généralement en terrasse) l'extérieur du bâtiment.

La rivière source d'énergie

L'évaporateur d'une PAC aérothermique comprend des ventilateurs pulsant l'air environnant dans des radiateurs à ailettes



11 *Le détendeur* est constitué de tubes capillaires de faible diamètre ou d'un orifice à ouverture contrôlée. La détente s'effectue lorsque le fluide caloporteur est à l'état liquide, le fluide frigorigène commence à se refroidir du fait de la chute de pression avant d'alimenter l'évaporateur **10**

12 *Un châssis*

Le plus souvent tubulaire, il supporte tous les matériels ci-dessus. (Voir livre page 55).

Il est livré monté et tuyauté par le constructeur de la pompe à chaleur. Il comprend tous les auxiliaires de visualisation du fluide frigorigène, de mesure du débit venant de l'exhaure (le plus souvent à flotteur), les prises d'informations telles que jauges de température, capteurs de pression, débitmètres. L'armoire électronique de commande du variateur de vitesse éventuel (ou la commande de mise à vide électrique à impulsions de largeur réglable) si l'on souhaite éviter la régulation tout ou rien.

13 *Les ballons tampon.*

Indispensables dans le cas de la régulation « on-off », ils ont pour fonction de stocker l'énergie de chauffage de telle sorte que le cycle de fonctionnement des compresseurs soit correct et qu'ils ne soient pas arrêtés trop souvent ce qui affecte le rendement de la pompe à chaleur et la tenue du compresseur dans le temps. Ils peuvent aussi être utiles pour les copropriétés même dans le cas où le compresseur est entraîné par un variateur de vitesse.

14 *Des vannes deux voies à boisseau sphérique*

Ces valves à commande électrique permettent d'assurer les commutations selon les modes de marche envisagés (Voir figure ci-après)

Elles sont prévues normalement fermées ou normalement ouvertes selon les cas.

15 *Les vannes d'équilibrage* des colonnes montantes ou descendantes du réseau de chauffage

16 Pour les immeubles importants (plus de 70 copropriétaires), nécessitant une grosse pompe à chaleur, un *pupitre de visualisation* du circuit avec synoptique de fonctionnement permettant de visualiser l'état du circuit et l'état des valves sans qu'il soit nécessaire de descendre dans la chaufferie pourrait utilement être prévu dans la loge du gardien d'immeuble. Quant à la *console de programmation* permettant de régler la consigne de température **e**, ou de modifier les modes de marche, elle sera de préférence localisée sur le châssis repère 12. Une centralisation de toutes ces informations par modem est également envisageable voire souhaitable sur les gros équipements. Elle permet au fournisseur de la chaufferie mixte à base d'ENR d'assurer un contrôle à distance de la PAC et de formuler un jugement sur l'emplacement de l'organe défectueux, encrassé ou mal réglé en cas d'incident. Et ceci sans que ce diagnostic ne nécessite le coûteux déplacement d'un ingénieur en génie climatique.

17 Deux auxiliaires importants et économiques sont également utiles pour juger du comportement de la PAC : un thermomètre sur la tuyauterie de départ vers les radiateurs ou les planchers chauffants ainsi qu'un compteur électrique sur l'alimentation de la pompe à chaleur.

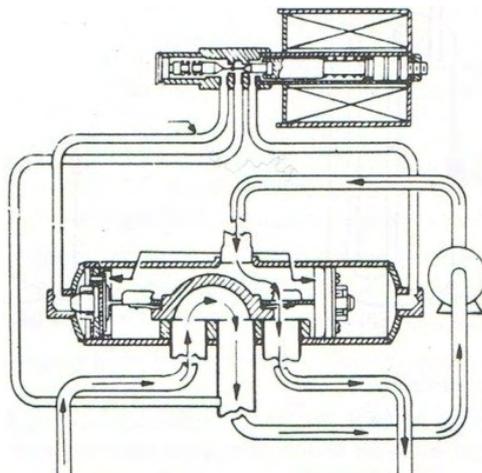
Il doit être prévu un dégagement à l'arrière des deux échangeurs facilitant, après démontage du capot d'insonorisation, leur nettoyage éventuel, ainsi que l'adjonction ou la suppression de plaques pour ajuster l'échange thermique au besoin lors de la mise en route.

Un compteur électrique dédié à la pompe à chaleur permettant de visualiser sa consommation électrique et d'optimiser les performances. Un thermomètre en ligne sur la tuyauterie alimentant les radiateurs ou les planchers chauffants au départ de la PAC est le bienvenu.

Consommation des éléments auxiliaires de la PAC

La consommation des éléments auxiliaires (Pompe de circulation du circuit des radiateurs et de celui de l'ECS, pompe à eau immergée prévue sur l'exhaure affecte légèrement le rendement d'ensemble. Dans une démarche de chasse au gaspillage d'énergie, il pourrait être souhaitable de remplacer les pompes de circulation anciennes dont le rendement est déplorable (moteur asynchrone monophasé avec rotor noyé) par des modernes à haut rendement grâce à leur moteur à aimants permanents piloté électroniquement. Une économie de 60 % est parfois réalisable sur ce poste ! Avec un forage à 20 m de profondeur pour bénéficier de l'apport de la Seine et mieux garantir la pérennité du débit à l'exhaure, la distance entre la pompe de l'exhaure et la PAC est d'environ 60 mètres. Pour un débit maximum de 21 m³/h (350 l/mn), une tuyauterie de 2,5" ou 62 mm de diamètre avec une vitesse fluide sensiblement inférieure à 1,5 m/s entre cette pompe et la PAC est adaptée. La perte de charge en ligne pour de l'eau ayant une viscosité de un centistoke est très faible et voisine de 0,5 bar/m soit avec la hauteur de refoulement de 10 m (profondeur de la nappe) une pression de refoulement de 1,5 bar au total et une puissance de la pompe immergée voisine de 2 kW.

Les vannes hydrauliques



Cette hydro valve 3 voies à commande électrique peut être utilisée à deux fins : soit inverser le sens d'écoulement du fluide caloporteur de telle sorte que les fonctions de l'évaporateur et du condenseur soient inversées afin de faire fonctionner la pompe à chaleur en mode climatisation pendant l'été, soit en orientant au gré des saisons le fluide caloporteur vers l'évaporateur aérothermique ou vers l'évaporateur aquathermique dans le cadre de la commutation air- eau permettant de mieux intégrer la pompe à chaleur dans son environnement. Le pilotage externe de cette hydro vanne est assuré par le fluide caloporteur lui-même.

Chapitre II

L'énergie sans la rivière

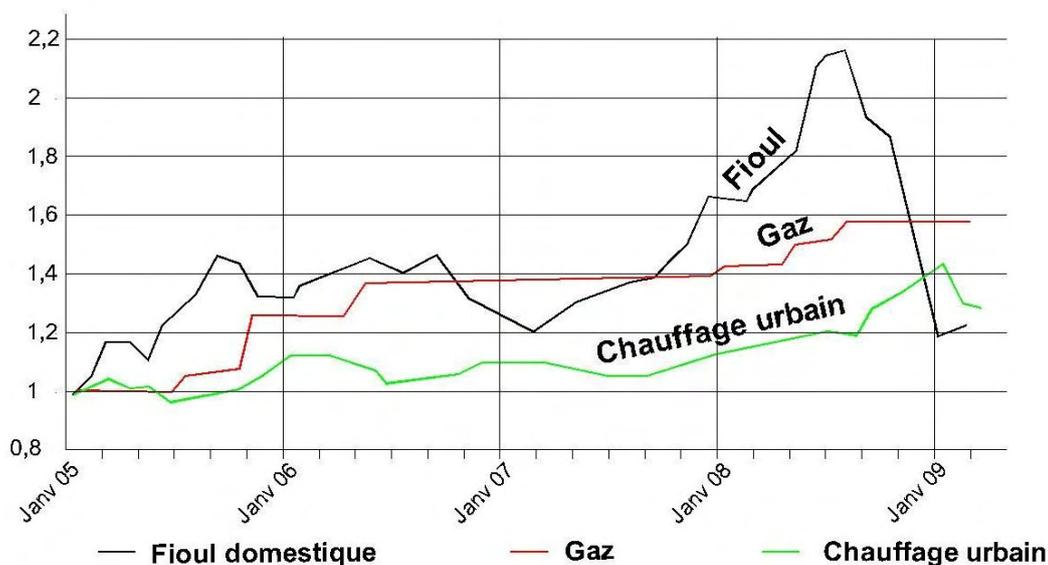
L'eau a coulé sous les ponts depuis les années 50, lorsque la rivière assurait pratiquement à elle seule notre besoin en énergie électrique. Nos besoins en énergie ont tellement augmentés depuis cette époque que la rivière ne produit plus maintenant que 10% de nos besoins en électricité. Pourtant, la dépendance de nos rivières à l'énergie n'a guère changé. Alors que notre constitution stipule que l'on doit vivre dans un environnement équilibré et favorable à sa santé, est-il normal qu'aujourd'hui, après les avoir tronçonnées, meurtries et polluées, elles fournissent encore à elle seule pratiquement toute l'énergie dite propre du pays ? Cette dépendance de la rivière à l'énergie n'est assurément pas la bonne, devrait changer. Il existe en effet d'autres techniques de production d'énergie propre où la rivière serait en dehors du processus, ou presque.

Ce chapitre explique comment il est possible de générer de l'énergie électrique dite "verte" ou du moins peu émettrice de gaz à effet de serre préjudiciables à nos problèmes climatiques à venir sans utiliser les combustibles fossiles. La mer et les courants marins, l'énergie thermique solaire, le vent, l'atome sont autant de moyen d'y parvenir. Tous ceci en redonnant vie à nos rivières. Une trop grande dépendance vis à vis du pétrole ou du gaz est néfaste non seulement à notre environnement, elle l'est aussi pour notre portefeuille. Ce qui devrait surtout guider nos pas est le prélèvement de l'énergie thermique disponible dans notre proche environnement avec le bois et le recyclage des ordures par combustion afin de réduire le coût de l'énergie thermique rendue dans nos habitations.

< La vérité scientifique met parfois beaucoup trop de temps à être acceptée >
Claude Allègre

Le coût de l'énergie thermique

Le prix payé par les français pour le kWh thermique rendu dans leurs pièces de vie diffère selon le type de générateur de chaleur adopté. Ce générateur peut être privatif ou collectif, il peut, au sein d'une même chaufferie tirer son énergie d'un combustible, de l'électricité ou de ces deux sources à la fois. Cette chaufferie peut aussi générer une partie de l'énergie thermique produite en prélevant celle-ci dans son environnement (ENR). Les coûts d'élimination du CO₂, la plus grande rareté du fioul ainsi que l'indexation du prix du gaz sur le fioul vont inévitablement faire monter les prix des énergies primaires basées sur la combustion et particulièrement celle du fioul. Dans le cas où le générateur de chaleur tire son énergie uniquement de l'électricité comme cela est le cas avec les convecteurs électriques (effet Joule) ou avec une pompe à chaleur (PAC) du type compresseur, le prix de revient du kWh thermique est fonction du coût de l'électricité, le fluide le plus noble, mais aussi le plus onéreux). L'évolution erratique des prix du fioul rend l'étude comparative entre le prix de revient de la chaleur avec le fioul et l'électricité difficile à faire.



Attention ! Ces courbes ne permettent pas de comparer le prix de ces énergies entre elles. Pour cela voir le tableau page suivante. Elles comparent seulement l'évolution des prix de chacune de ces 3 énergies à partir de 1997. En pratique bien que le prix de l'électricité n'ait augmentée que d'environ 15% depuis cette date l'énergie électrique reste la plus onéreuse (avec le propane) devant sensiblement le fioul. A noter que le prix de l'électricité est presque confondu avec la courbe du chauffage urbain.

La chaleur d'origine électrique

Le véritable prix de revient du kWh électrique d'origine *nucléaire* en France n'est pas bien connu. Il serait compris entre 2,8 et 4,5 cts d'€ par kWh. Cette fourchette importante s'explique par le fait que le prix de l'électricité à la sortie de la centrale nucléaire devrait couvrir l'ensemble des coûts d'exploitation, d'installation de la centrale, l'achat du combustible nucléaire, (uranium), le gestion des déchets, ainsi que la mise hors service future des réacteurs et leur démantèlement avec remise de la nature à l'identique (facteur qui a à l'évidence été négligé) en passant par les assurances, les amortissements et les intérêts sur le capital. Le prix de revient du kWh électrique d'origine nucléaire en Suisse et divulgué par ce pays tient compte de ces paramètres et serait proche de 3,5 cts d'€ par kWh. Une provision est en effet placée sous la surveillance de la Confédération est constituée pour faire face au démantèlement des centrales nucléaires après usage. Le prix du kWh d'origine *hydroélectrique* serait proche en suisse comme en France de cette fourchette haute de 4,5 cts d'€ par kWh. *L'électricité éolienne* a un prix de revient nettement plus élevé évalué entre 14 et 35 cts d'€ par kWh, tandis que celui de *l'énergie photovoltaïque* avoisine une fourchette comprise entre 45 et 95 cts d'€ par kWh. Seul le rachat par l'EDF de l'énergie photovoltaïque à des taux artificiellement élevés permettant de maintenir cette filière. (Ce taux est voisin de 30 cts d'€ le kWh augmentant si les panneaux son intégré au bâtiment et aussi selon la région). On ne connaît pas encore le prix de revient de l'électricité d'origine marémotrice générée par les *hydroliennes*. On peut espérer avoir un premier retour de l'EDF à ce sujet fin 2012 suite à l'expérimentation du premier parc de 4 hydroliennes de 500 kW installé au large de l'île de Bréat.

Le prix de vente à l'utilisateur français du kWh électrique est fonction des prix de revient respectifs ci-dessus au prorata de leur importance.

Il pouvait atteindre 14 cts d'€ aux heures pleines et 8 cts d'€ la nuit aux heures creuses en 2010 et il va encore augmenter en 2012. Il est influencé par deux facteurs principaux:

- 1) Le coût plus important des *énergies électriques d'origine renouvelables*
- 2) Une prise de conscience que le démantèlement en fin de vie du réacteur et la remise de la nature à l'identique augmente notablement le prix de revient réel de *l'énergie électrique d'origine nucléaire* qui est probablement plus proche de 7 cts d'€ que de 4,5 cts d'€ (Ou ce qui revient au même 45 € le MWh)

Il serait dangereux pour la sécurité de la filière nucléaire qu'une concurrence trop vive s'installe entre les fournisseurs afin de faire baisser les prix au détriment de la qualité des centrales nucléaires.

Coût réel de la chaleur selon la chaîne énergétique utilisée

La pire des chaînes énergétiques en terme de coût est probablement celle consistant à générer de l'électricité par la combustion des combustibles fossiles avec des installations telles que les turbines à gaz ou pire encore les moteurs diesels entraînant un alternateur. Non seulement le rendement de ces chaînes énergétiques est mauvais (proche de 30%,) avec un coût du kWh électrique obtenu élevé voisin de 20 à 30 cts d'€ par kWh, mais il devrait encore augmenter en raison des quantités importantes de CO₂ générées lors de la production qu'il faudra bien éliminer avec un coût de l'élimination voisin de 80 € la tonne de CO₂ stocké. La chaîne énergétique du *chauffage électrique par effet Joule* n'est guère meilleure. Le coût pour l'utilisateur du kWh thermique obtenu avec *l'effet joule* (convecteurs électriques équipé ou non d'un dispositif de stockage d'énergie interne ou soufflantes électriques) qui converti 1 kWh électrique en 1 kWh thermique est celui qui lui est facturé pour l'électricité (14 cts d'€ aux heures pleines et de 8 cts d'€ la nuit aux heures creuses en 2010) et il serait temps que les publicités mensongères cessent à ce sujet et qu'une action sociale soit engagée très rapidement dans le cadre de la précarité énergétique des immeubles anciens mal isolés chauffés par effet Joule. Le coût du kWh thermique obtenu avec le chauffage thermodynamique par *pompe à chaleur à compresseur* est très intéressant pour le portefeuille de l'utilisateur. Il est en grande partie fonction du COP de la pompe à chaleur. L'estimation consistant à diviser le prix de vente à l'utilisateur du kWh électrique par le COP de la pompe à chaleur pour évaluer le prix de revient du kWh thermique obtenu avec cette dernière est proche de la réalité sur le long terme. Par exemple avec un kWh électrique à 12 cts TTC, le kWh thermique avec une pompe à chaleur aquathermique ayant un COP moyen de 4 sera proche de 3 cts pour l'utilisateur. Les économies réalisées avec une PAC aérothermique en relève sont moindres (COP de 3)

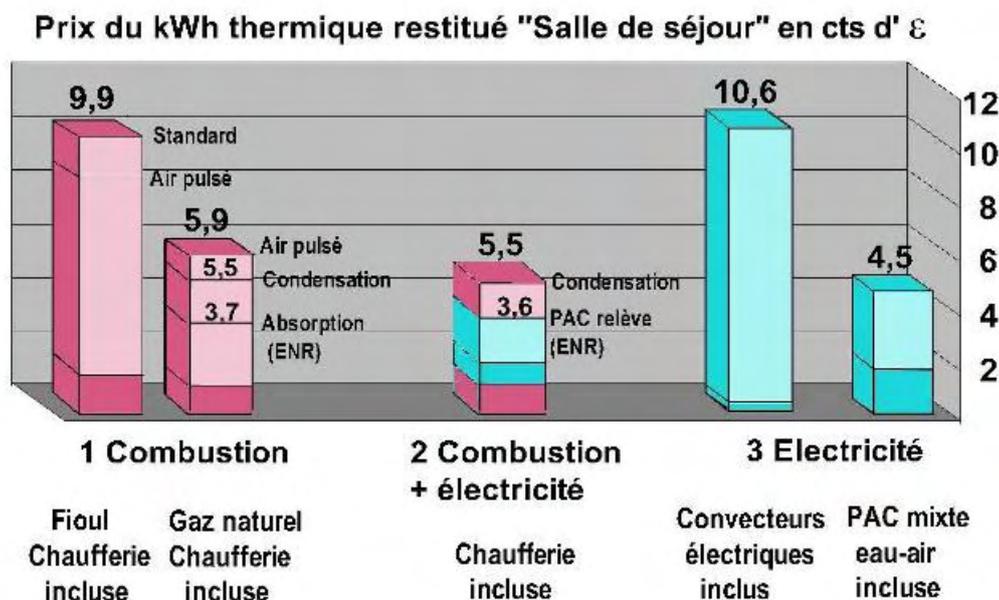
La combustion

Le coût du kWh thermique obtenu par la *combustion* est très élevé avec le *propane* et le *kerdane*. Il avoisine 7 cts d'€ par kWh pour le *gaz naturel*, passe à 9,5 cts d'€ par kWh avec le *fioul* voir plus selon le rendement de la chaudière.

Le coût du kWh thermique obtenu avec le chauffage thermodynamique par *pompe à chaleur à absorption* dans laquelle l'énergie extérieure apportée à la pompe à chaleur n'est plus électrique mais thermique (Par exemple combustion du gaz avec les procédés De Dietrich) est aussi intéressante pour le portefeuille de l'utilisateur. Il est fonction du COP de la pompe à chaleur qui reste relativement modeste avec ce type de PAC (Inférieur à 2 en 2012). Le coût du kWh thermique obtenu avec le *chauffage urbain* avec la combustion des ordures est encore peu répandu en France. Il est inférieur à celui du gaz naturel ce dernier ne servant qu'à entretenir la combustion, environ 65% de l'énergie thermique provenant de la combustion des ordures

Prix du kWh thermique en rénovation dans l'ancien

La figure ci-dessous compare le prix du kWh thermique restitué dans les appartements d'un immeuble ancien selon la technique retenue pour le générateur de chaleur.



La génération d'énergie thermique par le solaire thermique dont 100% est d'origine renouvelable n'a pas été mentionnée dans ce graphique. Ceci pour deux raisons: D'une part elle ne peut pas couvrir le besoin du chauffage en zone urbaine en raison du manque de place et d'autre part les frais d'installation initiaux imputables aux panneaux solaires est trop importante en regard de l'énergie fournie. La production d'énergie thermique obtenue par la géothermie profonde n'a pas été non plus mentionnée pour la raison que son caractère renouvelable à long terme est remis en cause par les experts

Les valeurs indiquées tiennent compte de la part imputable aux frais d'installation initiaux du générateur de chaleur et d'une estimation approximative de sa durée de vie. Ces frais sont indiqués en partie basse des graphiques en couleur plus foncée. On peut ainsi se faire une idée de l'importance relative de ces frais initiaux. La comparaison de prix est faite dans 4 cas différents:

- ✓ *Combustion seule* avec le fioul ou le gaz naturel et avec ou sans condensation. Une option envisageable : production d'ENR avec une PAC à absorption,
- ✓ *Combustion + électricité avec une chaufferie mixte* combinant la combustion GAZ (avec condensation) et la production d'énergie renouvelable par PAC à compression air eau en relève,
- ✓ Exemple du chauffage uniquement par l'électricité en *chauffage individuel par convecteur électrique* avec un investissement de départ faible mais des frais d'exploitation importants. avec un comparatif en partie droite de la figure dans le cas où la PAC air eau à compresseur fonctionne en *substitution de chaudière*..

L'énergie sans la rivière

En raison de l'élimination du CO₂ engendré par la combustion qui n'est pas incluse dans ce comparatif, les prix en rouge correspondant à la combustion sont probablement appelés à augmenter plus rapidement en valeur relative par rapport à l'électricité peu émettrice de GES (Surtout pour le fioul qui émet sensiblement deux fois plus de CO₂ que le gaz)

Prix du kWh thermique

(Par rapport au fioul domestique pris comme référence, 0,1€/kWh début 2012)

		Commentaires
<i>Inadapté en ville</i>		
Bois déchiqueté	0,28	
Bois en bûche	0.52	Encombrement, livraison, et automatisation inenvisageable (sauf chauffage urbain)
Granulé de bois en sac	0.84	
Granulé de bois en vrac	0.68	Non admis en ville
Gaz propane	1,37	Utilisé à la campagne en milieu rural
Kerdane	2,1	Très cher
<i>Adapté en milieu urbain</i>		
Gaz naturel	0.75	Une énergie assez abondante et encore indexée sur le pétrole
Fioul domestique (référence)	1	Une énergie chère et fluctuante qui a augmentée de plus de 20% en 2011
Electricité (chaleur obtenue par effet joule)	1,15	Une énergie qui va augmenter notablement pendant les 15 prochaines années
Electricité (chaleur par effet thermodynamique avec COP de 4)	0,32	Réseau hydraulique d'alimentation en eau froide ou puits + réseau électrique
Combustion des ordures	0,6	Réseau hydraulique d'alimentation en eau chaude

Les degrés jours unifiés (DJU)

Les degrés jours unifiés permettent d'évaluer la sévérité du climat de la région dans laquelle se trouve l'habitation permettant ainsi de mieux évaluer les besoins thermiques de cette habitation pendant la période de chauffe. Pour chaque jour de la période de chauffage qui peut varier d'une région à l'autre (232 jours par exemple en moyenne pour la région parisienne) la différence entre 18 °C et la température extérieure moyenne du jour est notée. L'addition des 232 valeurs obtenues donne le nombre de DJU. Les DJU varient en France d'une façon importante selon l'altitude de la station d'observation et la localisation du département où a été faite la mesure (de 4475 DJU pour *Le Monetier Sestrière* dans les hautes alpes à 2000 m d'altitude à 1126 DJU au Cap Corse à 110 m d'altitude). Ce classement ne donne donc qu'une image de la température extérieure moyenne qui peut varier notablement d'une année sur l'autre en fonction de la rigueur de l'hiver considéré. La France est divisée en 3 zones : La zone H1, au climat plus sévère, située dans les régions nord est incluant le massif central, la zone H2 constituée par la partie sud ouest de la France et la zone H3, la plus favorable comprenant le littoral méditerranéen et la Corse.

Les DJU peuvent aussi varier sensiblement d'une année sur l'autre selon la rigueur de l'hiver et la consommation de combustible qui en résulte aussi. Il est utile avant d'effectuer la rénovation thermique d'un immeuble de récapituler la consommation de fioul ou de gaz sur 5 ans. Cette période est suffisante pour y voir plus clair en raison des modifications des DJU pendant cette période. Lorsque l'ECS et le chauffage est assuré par la même chaufferie, une bonne pratique peut consister à scinder la consommation en deux parties : celle correspondant à la période de chauffe et celle hors période de chauffe lorsque la chaufferie est utilisée uniquement pour la production d'eau chaude sanitaire. La consommation moyenne annuelle kWh/m² est indiqué en fonction de la surface SHON . L'exemple du tableau ci-dessous communiqué par un syndic correspond à un immeuble de 5100m² SHON en région parisienne associé à la station du parc Montsouris.

Année	2004-2005	2005-2006	2006-2007	2007-2008	2008-2009
m3 fioul	143	158	114	113	123
k €	62,5	90	60,8	83	64,8
DJU*	2190	2215	1658	2061	2265
kWh/DJU	0,653	0,713	0,688	0,548	0,543
kWh/m ²	280	310	223	221	241

Il faut prévoir des DJU majorés de 4 à 7% pour les deux autres stations météorologiques de la région parisienne (Le Bourget et Orly)

L'énergie sans la rivière

La connaissance du degré jour unifié (DJU) permet d'évaluer la rigueur d'un hiver. L'augmentation de la consommation pendant l'année 2008 - 2009 par rapport à l'année précédente ne signifie pas nécessairement que la température de consigne a été augmentée par la copropriété ou que le chauffagiste a moins bien réglé la chaudière que l'année précédente : l'hiver considéré peut avoir été plus rigoureux.

Année 2007/2008 113 m3 de FOD 2061 DJU soit 548 kWh par DJU

Année 2008/2009 123 m3 de FOD 2265 DJU soit 543 kWh par DJU

Avec seulement 1°C de moins sur la consigne de température et une période de chauffe de 230 jours, c'est 230 DJU en moins. Soit à raison de 65 litres de FOD par DJU, une consommation annuelle en FOD diminuée de 15 m3.

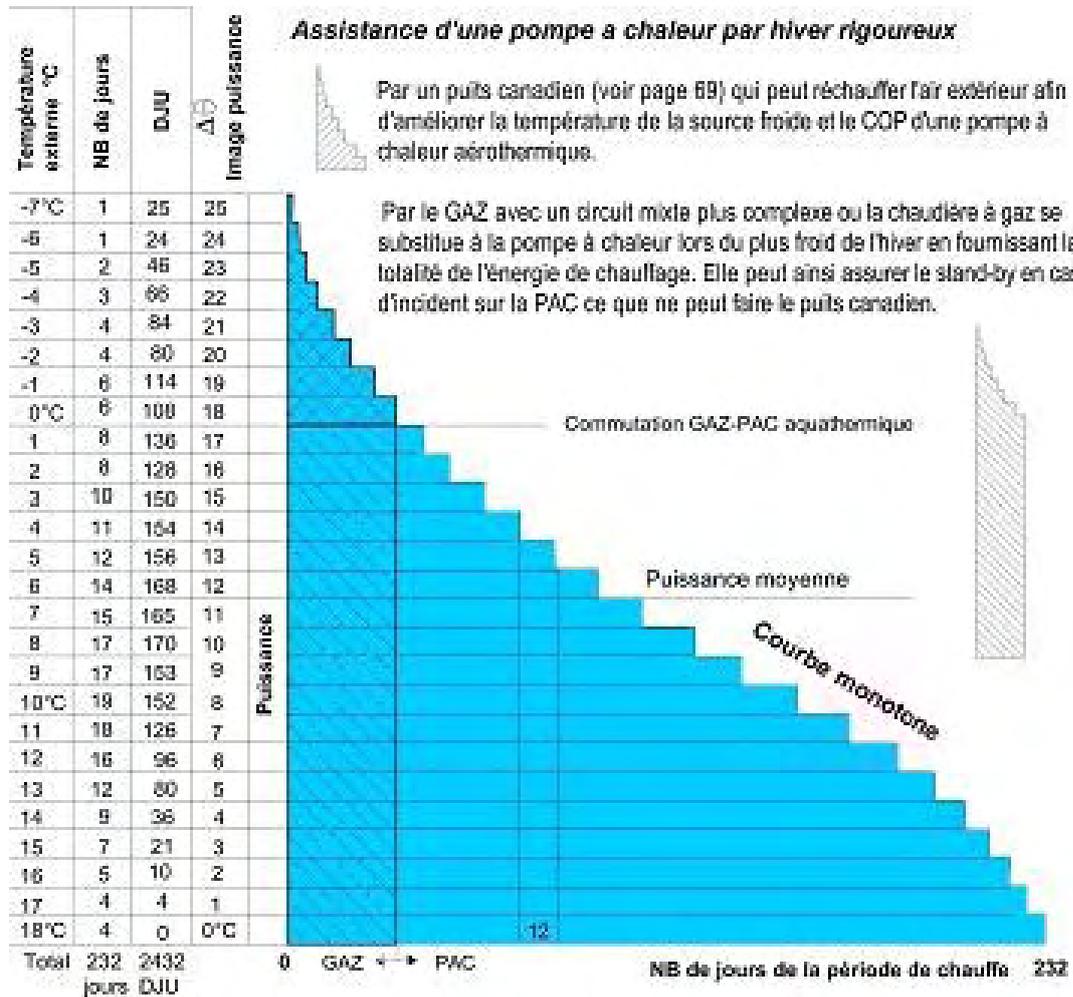
NOTA IMPORTANT

Les DJU s'exprime en °C.

Il est maintenant possible d'obtenir à partir du site de Sofratherm les DJU entre deux dates pour les 3 principales stations de la région parisienne (Monsouris, Orly et le Bourget). Il est aussi possible d'évaluer les DJU annuels moyens pour les autres régions de France à partir du livre « Les pompes à chaleur » de Bruno Beranger et de la carte des températures françaises fonction de l'altitude (Voir page).

Cela aurait simplifié la procédure de calcul bien compliquée de la TR 2012 à partir d'un coefficient qui ne tient pas compte de la température extérieure (Voir page 358)

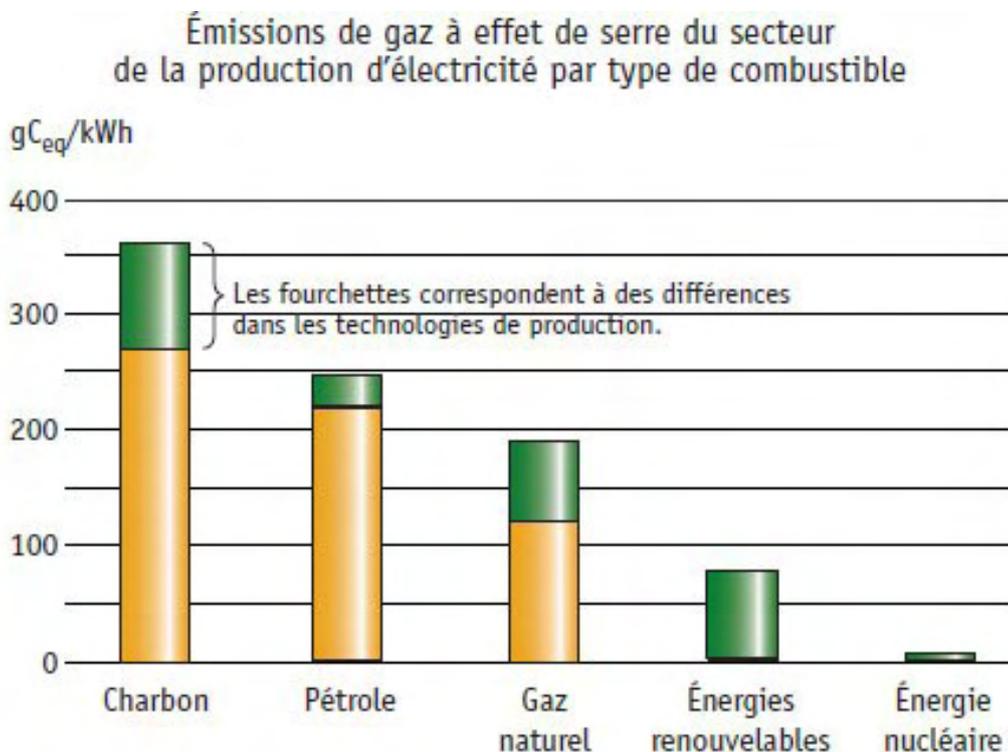
L'énergie sans la rivière



La courbe monotone ci-dessus correspond à un logement situé en région parisienne. La période de chauffe de 232 jours a été tracée pour une température intérieure souhaitée de 18°C. L'addition des DJU journaliers conduit à un DJU pour l'année considérée égal à 2432 °C. Elle permet de mieux préciser la répartition dans le temps des kWh consommés pendant la période de chauffe (hiver et mi saison). La surface bleue représente l'énergie thermique assurant le chauffage. W (Energie) = P (puissance) x T (temps). Si cette énergie correspond à une consommation annuelle de fioul de 150 m³ (1 500 000 kWh) l'immeuble considéré est caractérisé par un coefficient Z de $1500\ 000 / 2432 = 616$ kWh par DJU

La logique de la "taxe carbone"

La planète est engagée dans une crise écologique majeure provoquée par le réchauffement climatique. Ses conséquences pourraient avoir de graves conséquences. Ce réchauffement découle de nos émissions de gaz à effet de serre. Une conclusion s'impose, il nous faut réduire ces émissions liées à la combustion des produits fossiles, à savoir par ordre d'importance décroissante: le charbon, le pétrole et le gaz. Pour y parvenir, il nous faut donc: soit réduire notre consommation d'énergie, soit reconsidérer la façon dont nous la produisons, ou mieux, agir sur ces deux postes simultanément. L'électricité que nous consommons en France provient en grande partie du nucléaire, technique très peu polluante en termes d'émission de gaz à effet de serre. (4g de CO₂ par kWh selon le célèbre institut suisse Paul Scherrer contre 466 g pour le fioul domestique selon l'Ademe. On parle au titre du principe « *pollueur-payeur* » d'une "taxe carbone" qui irait en augmentant en se rapprochant du coût réel de l'élimination du carbone et qui se rapprocherait petit à petit du coût de réduction du CO₂ qui serait voisin de 80€ la tonne de CO₂. Cette taxe, qualifiée de "sociale", serait payée par tous ceux qui polluent en consommant des produits fossiles et ceci sans aucune distinction, c'est à dire entre autres par la grande majorité d'entre nous.



Comparaison du taux d'émission de CO₂ par kWh (Source AIE)
En France l'utilisation du gaz et le fioul pour le chauffage urbain est une des principales causes des émissions de gaz à effet de serre

L'énergie sans la rivière

Au titre du principe dit du "*pollueur payeur*", la France défend en effet l'idée que le pollueur peut être autorisé à polluer s'il accepte de négocier pour avoir l'autorisation de polluer sans faire l'effort financier d'investir afin de ne plus polluer notre environnement. Cela le dispense d'engager les frais de stockage du CO2 plus importants ou d'avoir à payer des amendes importantes. La taxe carbone n'a de sens que si elle donne aux gens les moyens de moderniser leurs équipements, particulièrement les dispositifs de chauffage. La difficulté va être que ne s'instaure une certaine injustice dans la logique de la "*contribution climat énergie*". Ceci dans la mesure où il ne nous a pas encore été proposé d'alternative à nos anciennes chaudières au fioul domestique ou au gaz. Lorsque la taxe carbone sera à 80 € la tonne nous ne pourrons pas nous plaindre en prétextant que nous n'avons pas été prévenus. Bref, il est probablement de notre intérêt de changer nos comportements le plus rapidement possible. Les premiers à le faire seront les mieux servis.

Les voitures électriques

Au moment où l'on commence à réaliser que l'on dépense autant pour alimenter sa voiture que son corps lisez ce qui suit. Cette histoire est incroyable si elle est vraie :

On raconte qu'en 1996, les premières voitures électriques de série, les EV1, fabriquées par *Général Motors*, apparurent sur les routes californiennes. Elles étaient rechargeables dans son garage, silencieuses et nerveuses ; de 0 à 100 km/h en moins de 9 secondes! Elles ne produisaient aucun gaz de combustion et n'avaient d'ailleurs pas de pot d'échappement. Dix ans plus tard, ces voitures du futur avaient complètement disparu! Elles ne pouvaient pas être achetées, mais uniquement louées et les contrats de location ne furent tout simplement pas renouvelés. Général Motors récupéra, de gré ou de force toutes les EV1, malgré l'opposition de nombreux utilisateurs satisfaits et les voitures ... furent détruites !

En 1997, *Nissan* aurait présenté son modèle électrique Hyper mini au salon de Tokyo. La ville californienne de Pasadena l'adopta alors comme véhicule professionnel pour ses employés. Ceux-ci l'apprécient beaucoup, en particulier pour sa maniabilité. En Août 2006, le contrat de location arrive à expiration. La ville de Pasadena essaie de racheter les véhicules mais Nissan refuse, récupère ses voitures et les détruit.

En 2003, *Toyota*, qui est maintenant le 1er constructeur mondial, décide d'arrêter la production de la RAV4-EV. Cette 4X4 électrique est pourtant un bijou technologique très apprécié par les utilisateurs. En 2005, les contrats de location arrivent à terme. Toyota s'apprête à récupérer tous ses véhicules afin de les détruire mais l'association *DontCrush* (NeCassePas) entre en action pour tenter de sauver les RAV4-EV. Cette association met Toyota sous pression pendant 3 mois. Finalement VICTOIRE! Toyota fait marche arrière et autorise les locataires de la RAV4-EV à acheter le véhicule. Curieusement, alors les techniques sont éprouvés, Toyota l'a d'ailleurs prouvé avec la Prius, les modèles électriques sont massacrés en masse et ceux à combustion sont bien protégés: En juin 2001, Jeffrey Luers, 23 ans, activiste américain pour la défense des forêts, en a fait la triste expérience. Il a été condamné à 22 ans et 8 mois de prison pour avoir brûlé 3 SUV (un **SUV**, c'est un camion que l'on fait passer pour une voiture). Il voulait exprimer par ce geste la menace que représente ce monstre ultra polluant pour notre planète. Qu'adviendra-t-il des petites en location « *blue car* »* de la firme **Bolloré** lorsque le contrat arrivera à expiration ? Les 3000 voitures de ce type mise en place sur Paris et sa région sans compter celles mises en place dans 40 villes françaises ? Seront-elles détruites à expiration du contrat ou vendues à quelques heureux propriétaires ? En observant qu'en 2012 il est prévu que l'on ne

L'énergie sans la rivière

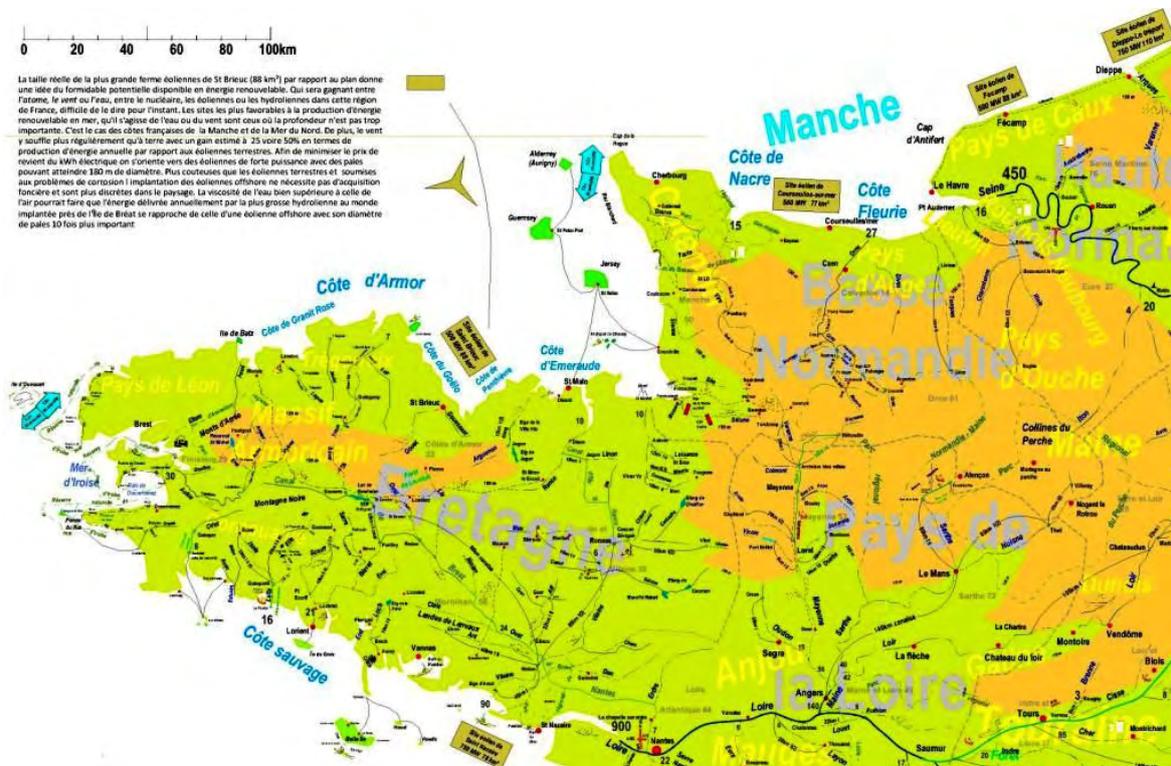
pourra acquérir la petite « Blue car » BOLLLORE qu'en location-vente (300€/mois) on se dit que la vie est un éternel recommencement. Il faut se réjouir en tout cas du succès rencontré par l'application du *dispositif bonus-malus* et de l'application du *principe pollueur payeur* dans le cas de l'automobile. Les pénalités apportées aux grosses voitures polluantes ont été une bonne décision et pourraient être augmentées.



* Moyennant un abonnement il est possible de louer pour la somme de 5 € la ½ heure la petite « Blue car » BOLLLORE à motorisation électrique de 4 places et de 3,65 m de long sur les quelques 1000 stations installées dans de nombreuses villes françaises. Cette voiture qui se recharge en 4h, a une autonomie de 250 km et une vitesse maximum de 130 km/h supérieure au besoin dans les villes

Hydroliennes ou éoliennes ?

Quand on navigue à la voile en mer d'Iroise au large de Brest ou sur le Raz Blanchard près de Cherbourg, on constate que les côtes françaises sont parcourues par des marées puissantes et régulières. Le Service hydrographique et océanographique de la marine (SHOM) est capable d'en prédire les fluctuations cent ans à l'avance. Les marées et les courants maritimes qu'elles engendrent, sont connus avec une grande précision. Rien à voir avec le vent dont les changements de direction et de force ne peuvent être anticipés au mieux que de quatre à cinq jours et encore avec une précision très approximative. Les puissances des plus grosses éoliennes sont loin d'être négligeables mais force est de constater que lorsqu'il n'y a pas de vent, il n'y a plus de production d'électricité et quand il y en a trop, ça risque de casser. Pour éviter la casse l'éolienne est constamment orientée par une couronne d'orientation de telle sorte que le nez de l'éolienne soit face au vent, l'exploitation étant arrêtée lorsque la force du vent dépasse 100 km/h. Contrairement aux éoliennes, l'énergie générée par les hydroliennes peut être parfaitement planifiée. La vitesse des courants au large des côtes bretonnes ou normandes, souvent supérieure à 12 km/h, met en jeu une énergie considérable pouvant être équivalente à celle produite par un réacteur nucléaire. Il s'agit là en effet d'une source d'énergie *propre, extrêmement abondante, renouvelable, parfaitement prédictible, et qui ne défigure pas le paysage.*



Après la réalisation réussie des turbines de basse chute de la Rance on a du mal à expliquer le manque de réalisation en France dans ce domaine.

L'énergie sans la rivière

Dans le calme relatif des profondeurs, la perturbation due à la houle n'est plus un phénomène perceptible et des projets de turbines électriques sous-marines voient le jour un peu partout à l'étranger, sauf en France. Les contacts techniques de l'EDF avec le Royaume-Uni va dans le sens d'une réduction des frais de recherche de même que la participation de Total avec une société écossaise - peut-être un peu tardive compte tenu de l'urgence - est une prise de conscience du grand pétrolier de l'imminence de l'après pétrole. Seule une petite société bretonne s'est lancée dans les "hydroliennes". Elle n'a semble-t-il pas été suffisamment subventionnée afin de permettre la construction d'un prototype à échelle réduite. Créée en 2000 à Quimper, elle projetait de construire des hélices activées par la marée d'une puissance de 1,2 mégawatt chacune, l'équivalent d'une grosse éolienne. Faute d'avoir su éveiller l'intérêt de l'Etat et d'EDF, les investissements de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe) pour ce projet d'hydroliennes se sont limités à 250 000 € sur 7 ans afin de payer les ingénieurs qui ont étudiés ce projet. On peut regretter que les régions bretonne et normande n'aient pas encore réalisées l'importance de l'enjeu. La région a enfin décidé de construire deux prototypes sous la forme d'une maquette à échelle réduite d'une puissance limitée à 15kW¹). De telles réalisations pourraient se faire en liaison avec la nouvelle agence nationale de la recherche. Une innovation technique de ce type engendre en effet inévitablement la résolution de problèmes techniques nouveaux. Le fondateur de cette société bretonne expliquait que l'installation d'hydroliennes sur les littoraux breton et normand permettrait de fournir une puissance moyenne de 3 gigawatts (GW) avec des pointes à 6 GW pendant les périodes de vives eaux soit l'équivalent de trois réacteurs nucléaires. Les courants marins pourraient donc fournir autant sinon plus que l'énergie hydraulique fournie par les barrages (12 % de l'électricité nécessaire à la France)! Vouloir confier uniquement à l'éolien la progression des énergies renouvelables de 10 à 20% dans l'espoir de limiter la génération de gaz à effet de serre relève probablement de l'utopie. La meilleure preuve est bien le Danemark qui a développé à grande échelle la production d'énergie positive basée sur les éoliennes et est, de tous les pays européens, le plus mauvais élève en terme de production de gaz à effet de serre type dioxyde de carbone. Cette situation paradoxale s'explique par le fait qu'en l'absence de vent ce pays plat, sans grand barrage hydroélectrique, n'a actuellement pas d'autre solution que d'assurer sa production électrique par des turbines à gaz lorsque le vent fait défaut ce qui est trop souvent le cas. Il devient indispensable et urgent d'arrêter de penser uniquement en terme d'hydroélectricité ou d'éolien pour augmenter la part des énergies renouvelables. L'ambitieux et coûteux programme d'éoliennes offshore qui vient d'être lancé par le Président de la république ne changera probablement pas le système en profondeur et va majorer sensiblement le prix de l'électricité pour l'utilisateur. Il prouve en tout cas le dynamisme industriel de la filière éolienne. Les

L'énergie sans la rivière

affirmations de l'ancien président directeur général d'EDF, Pierre Gadonneix, qui, à propos des hydroliennes, avait parlé il y a quelques années de cette source d'électricité comme étant «*sûre et inépuisable, susceptible de contribuer à répondre aux besoins grandissants en énergie des populations* », vont bientôt être vérifiés suite à l'annonce par le groupe EDF d'une tentative audacieuse d'industrialisation et la construction de trois à six hydroliennes d'une puissance significative (4 à 6 MW) près de Paimpol, dans les Côtes d'Armor. L'immersion au large de l'île de Bréhat de la première de ces grosses hydroliennes posée sur les fonds marins par 35 mètres de fond va être effectuée début septembre 2011. Ceci pour une période d'essais de 2 mois afin de tester l'efficacité et la technologie du dispositif. Elle devrait ensuite être raccordée au réseau l'année prochaine ce qui constituerait une première mondiale et une très bonne nouvelle : Le tirant d'eau lors des grandes marées basses restera voisin de 10 mètres malgré de diamètre imposant de l'hydrolienne (16 mètres de diamètre soit la hauteur d'un immeuble de 5 étages). La vitesse de rotation assez lente (environ 10 tr/mn) de cette hydrolienne munie probablement de paliers fluides de guidage sur sa périphérie ne devrait pas menacer les poissons et les mammifères marins qui pourront passer dans le trou ménagé en son centre.



Avant immersion à Paimpol

Ce projet de 40 M € sera financé par EDF et on peut l'espérer pas uniquement dans l'espoir de remporter le marché d'une centrale à gaz de 450 MW une centaine de fois plus puissante en baie de Brest. Les pièces maîtresses de l'hydrolienne, sous-traitées à la firme irlandaise Open Hydro ont été assemblées à Brest. Le projet a été mené en concertation avec les pêcheurs de crustacés et les ostréiculteurs locaux "en douceur". Dans un premier temps, le prix du kWh développé par cet engin innovant sera

L'énergie sans la rivière

inévitavelmente plus élevé que l'éolien terrestre (environ 10 fois plus selon le journal Ouest France). Ils devraient ensuite baisser rapidement si le traitement antifouling des pales s'avère efficace et ne nécessite pas un ragréage trop fréquent. La gigantesque machine relevée mi-janvier 2012 est en bon état et va être améliorée au niveau de l'étanchéité et des connexions électriques pendant une campagne de 6 mois pour être raccordé au réseau on l'espère fin 2012. Le directeur de production EDF Xavier Ursat espère diviser les coûts par trois assez rapidement



Le rotor de l'hydrolienne et son trou central

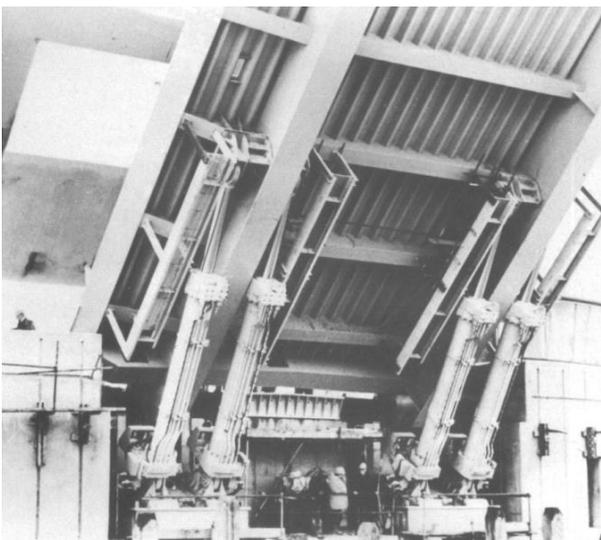
Les éoliennes de grande puissance (plus de 2000 kW)

Une vingtaine de constructeurs d'éoliennes de plus de 2000 kW se partagent actuellement le marché mondial de ces machines impressionnantes dont la hauteur peut atteindre 160m pour les plus hautes avec de diamètres de pales allant jusqu'à 130m. Ce sont les allemands avec celle de Druiberg (6 MW) et les français avec les futures éoliennes offshore Alstom d'une puissance comparable qui construisent actuellement les plus puissantes éoliennes au monde. Reste à savoir pour quelle vitesse de vent ces grosses éoliennes produisent une telle puissance. En pratique, la puissance produite par une éolienne est très dépendante de la vitesse du vent. La puissance varie en effet sensiblement avec le cube de la vitesse du vent. (Une éolienne dans un vent 2 fois plus élevé produira donc 8 fois plus de puissance). La *Danish wind industry association* apporte des précisions intéressantes sur la puissance nominale d'une éolienne. Une éolienne ayant une puissance nominale de 1000 kW qui produit 1000

L'énergie sans la rivière

kilowattheures en une heure atteint cette performance maximale par vents forts supérieur à quelque 15 m/s. Contrairement aux capteurs solaires voltaïques qui délivrent du courant continu et qui nécessitent un onduleur, les éoliennes produisent directement du courant alternatif. La régulation de ces grosses machines est complexe. Il est vraisemblable que l'on fait varier l'incidence des pales lorsque la vitesse du vent change pour faire tourner les pales à vitesse constante afin de respecter la fréquence du réseau de 50hz. (60 hz aux USA).

Pour éviter la casse de ces grosses éoliennes dans les zones cycloniques ou pour les faire disparaître du paysage dans les zones sensibles les constructeurs commencent à prévoir un dispositif d'effacement par vérins hydrauliques ce qui vient encore aggraver le coût du kWh produit (Le surcoût par rapport au mat fixe est de l'ordre de 35%) Sauf astuce de conception, la réalisation offshore comme celles du Danemark sont semble-t-il plus sensibles à la casse en cas de tempête. On imagine difficilement la somme d'expérience qu'il faut acquérir pour basculer un tel ensemble dont la hauteur est voisine d'une 1/2 tour Eiffel. Peu de société dans le monde sont capables de relever un tel défi.



Exemple de motorisation comparable réalisée pour un pont levis de 50 m de long

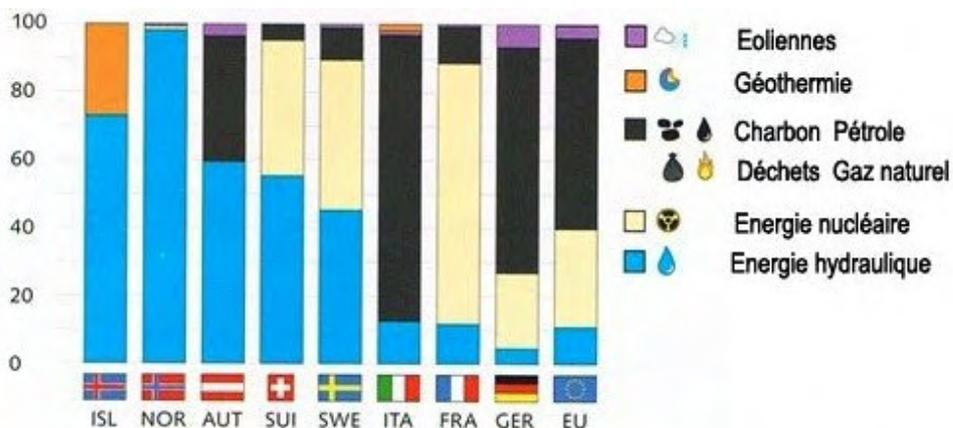
La rivière se sent tout d'un coup un peu moins seule.

La pile à combustible

La pile à combustible est un dispositif qui utilise le déplacement des électrons dans une réaction chimique ce qui produit du courant électrique et de la chaleur. C'est sur ce principe que fut conçue la première pile à combustible hydrogène/oxygène. Elle était constituée d'une cuve à trois compartiments: un compartiment central contenant un électrolyte (de la potasse KOH), séparé par deux parois poreuses servant d'électrode des volumes servant à l'arrivée des Gaz. L'oxygène et l'hydrogène arrivent respectivement dans ces compartiments permettant l'alimentation de la réaction par les deux combustibles; dans cette pile, le processus de combustion - oxydoréduction - se produit ainsi en deux zones simultanément, une oxydation à l'anode produisant des électrons (-) coté hydrogène combustible, et une réduction à la cathode (+) coté oxygène comburant. En reliant les deux électrodes par un conducteur, un courant électrique s'établit. Ce procédé fut imaginé par un chimiste anglais en 1839. On peut dire qu'il resta pendant plus de cent ans sans application. Il fut repris dans les années 1930 par une équipe de chercheurs britanniques. La première utilisation pratique fut l'installation d'une pile de ce type pour les programmes spatiaux dans les années 1950. L'hydrogène étant un gaz difficile à conserver et à manipuler, il apparut préférable de l'amener sur le lieu d'utilisation sous une forme combinée, comme de l'hydrazine, du méthane, ou même du méthanol. Ces techniques utilisent alors des catalyseurs, souvent placés sur les électrodes poreuses. Dans le but de réduire le prix de revient et d'améliorer la durée de vie de ces équipements, des chercheurs américains ont réussi à remplacer le platine qui sert parfois de catalyseur par un composé moins coûteux (cobalt+polypyrrole). Ces procédés évoluent beaucoup en ce moment où l'on cherche des substituts à l'énergie issue des hydrocarbures fossiles. Les progrès sont tels que l'on envisage d'utiliser la production électrique des piles à combustibles pour faire fonctionner des voitures. On envisage aussi de construire de grands générateurs produisant de l'énergie thermique par cogénération. Destinés à la consommation urbaine, ils permettront de chauffer près de 200 foyers en produisant des puissances thermiques de l'ordre de 250 KW. Enfin, il faut cependant préciser que ces piles sont dans les faits des instruments complexes. La pile à combustible ne produit pas que de l'électricité. Environ la moitié de l'énergie produite par la pile à combustible dans ces réactions chimiques est de l'énergie calorifique tout à fait récupérable. On sait grâce à l'hydrolyse produire de l'hydrogène avec de l'électricité non nucléaire sans faire appel au pétrole. Pour cette raison, la pile à combustible pourrait être un moyen d'avenir grâce à son caractère non polluant. On a aussi remarqué que si l'homme et les animaux ne tirent pas encore suffisamment profit de l'énergie solaire, ce n'est pas le cas des végétaux qui fabriquent leur glucose à l'aide de la photosynthèse. Des recherches pures sont à ce sujet en cours pour inventer des photosynthèses artificielles capables de produire de l'hydrogène. L'avenir des piles à combustibles dépend en effet des performances globales de la chaîne énergétique globale à savoir le rapport entre l'énergie nécessaire pour produire l'hydrogène et l'énergie restituée sous ses deux formes par la pile à combustible. L'équivalent du COP d'une PAC en quelque sorte.

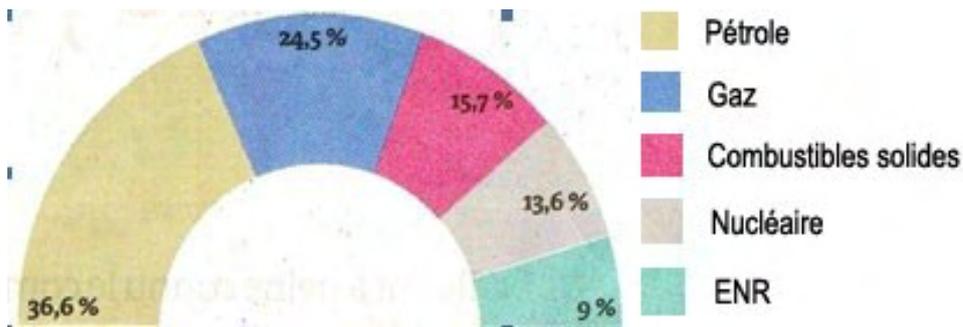
L'énergie solaire

Compte tenu de la distance de l'orbite qui nous sépare du soleil et de la puissance de son rayonnement, la terre reçoit à chaque instant une puissance moyenne de 1365 watts/m². Après son passage dans l'atmosphère environ la moitié de cette énergie nous parvient, ce qui correspond, compte tenu des dimensions de notre planète, à une puissance incroyable de $7,7 \times 10^{14}$ KW, l'équivalent de quelques 320 millions de centrales nucléaires de 1000 MW¹⁾. Il n'est même pas besoin d'aller chercher cette énergie : elle arrive toute seule. Dommage que la surface manque dans les villes. Il existe deux types de panneaux solaires : Les panneaux solaires photovoltaïques générant de l'électricité et les cellules thermo solaire générant de l'énergie thermique. Ces dernières peuvent délivrer de l'eau chaude pour le sanitaire avec un meilleur rendement que les cellules photovoltaïques. En pratique ces deux systèmes sont donc fondamentalement différents. Lorsque l'on compare la surface du Sahara, le plus grand désert du monde, (8 millions de km²), à celle de la terre on s'aperçoit qu'il couvre environ 3% de la surface totale de celle-ci avec un coefficient d'ensoleillement incomparable. Il reçoit une puissance solaire considérable pouvant être transformée en énergie électrique en générant de la vapeur d'eau à des températures voisines de 400°C, température compatible à l'entraînement de turbines productrice d'électricité.. La puissance électrique qui pourrait être ainsi récupérée correspond, compte tenu du niveau technique actuel (en 2011) et à l'excellent coefficient d'ensoleillement à plusieurs millions de centrales nucléaires de 1000 Mégawatt ! Le projet *Desertec* et les accords d'exploitation entre l'Algérie et l'Allemagne signés en 2008²⁾ ont dans un premier temps l'intention de se limiter à la fourniture de 15% des besoins européens ce qui est déjà considérable compte tenu des problèmes posés et notamment celui du transport de l'énergie vers l'Europe. L'Espagne, pour éviter le transport de l'énergie électrique sur de grande distance a installée près de Séville la plus grande centrale solaire au monde (11 + 20 mégawatt) 5 autres centrales étant prévues à proximité qui devraient alimenter 200 000 foyers à la fin de la décennie si l'Espagne en pleine crise peut maintenir ces investissements.

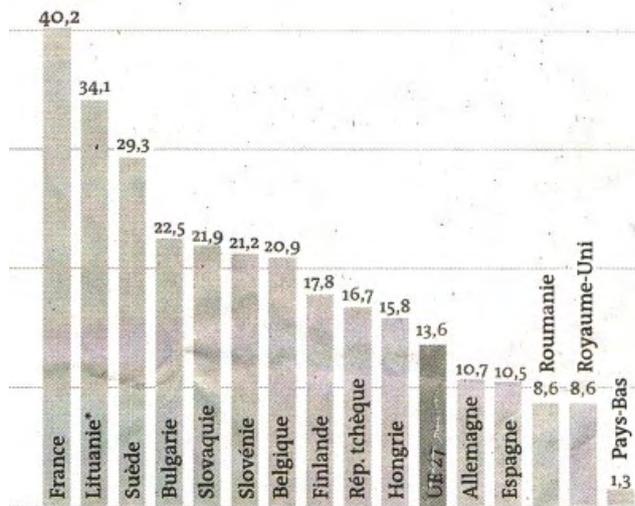


Structure actuelle (2007) de production électrique de quelques pays exprimé en %
(Source OFE statistiques suisse de l'énergie)

L'énergie sans la rivière



Source d'énergie dans l'union européenne exprimée en % de la consommation brute



Importance du nucléaire par pays producteur en % de la consommation brute

Les deux figures ci-dessus (Source Journal le Monde de novembre 2011) sont un état des lieux en 2009 de la situation de l'énergie dans les pays européens. Elles montrent que :

- Le **pétrole** reste encore la principale source d'énergie en Europe (37%).
- La part des **ENR** (énergies renouvelables représentés par l'éolien, l'hydroélectricité, la biomasse, la géothermie et le solaire) ne représente encore que 9% du total bien que ce poste ait doublé en 10 ans avec la plus forte augmentation pour le Danemark, la Suède et l'Allemagne avec une augmentation prévisible de cette croissance suite à Fukushima en mars 2011.
- Sur les 27 états membres seules 14 produisent de **l'énergie nucléaire** avec un total de 147 réacteurs en activités. Alors que 3 pays la Suisse, l'Allemagne et la Belgique envisage de sortir du nucléaire le débat se poursuit dans notre pays, incontestable leader dans ce domaine en terme de puissance de production. Les pays envisageant d'abandonner le nucléaire comme l'Allemagne ou la Suisse devront modifier leurs habitudes. Soit importer l'électricité nucléaire française, soit développer encore plus les ENR soit subventionner des centrales au gaz ou au charbon plus polluantes.

L'énergie sans la rivière



Vue aérienne Google Earth de la centrale solaire espagnole de Sanlucar

Comparativement au Sahara les coefficients d'ensoleillement en France sont toutefois nettement moindres. Ils entraînent de frais d'installation pour les cellules voltaïques qui restent encore élevés (environ 50€/watt) avec des retours économiques encore incertains et voisins de 20 ans. Quoiqu'il en soit, l'électricité d'origine nucléaire a compris qu'elle ne serait pas la seule à l'avenir et qu'il fallait compter avec le voltaïque. Le soleil va incontestablement faire de l'ombre au nucléaire ²⁾. Après le terrible incident japonais de Fukushima des experts en prospective affirment que le soleil fournira 100% de nos besoins énergétiques avant 2050 (Ray Kurzweil pense même en 2030 ! en pronostiquant le développement des nanotechnologies et une croissance exponentielle de la production électrique solaire)



*Exemple de cellules thermo solaire en terrasse.
On remarque les tuyauteries hydrauliques (purgeur)*

²⁾ En matière d'énergie solaire, l'Allemagne et l'Algérie ont signé en 2008 un projet de coopération novateur consistant à relier la ville algérienne d'Adrar et la ville allemande d'Aix la Chapelle par un câble électrique de 3000 km baptisé "clean power from desert". Le solaire va commencer à faire un peu d'ombre au nucléaire.

Solaire : Photovoltaïque ou thermique?

Est-il préférable d'installer des panneaux solaires thermiques ou des panneaux photovoltaïques ? Chaque système possède ses propres avantages et inconvénients. Afin d'y voir plus clair, voici un petit comparatif des deux technologies. L'exemple pour le solaire thermique concerne un immeuble disposant de terrasses horizontales. Celui pour le voltaïque une maison individuelle avec une toiture inclinée à 45° orientée sud

Le solaire photovoltaïque:

L'utilité des panneaux solaires voltaïques qui ne produisent aucun courant la nuit lorsque que l'on a besoin de s'éclairer pourraient être remise en cause s'ils n'offraient la possibilité de réinjecter sur le réseau l'électricité qu'ils produisent. Plus complexe à mettre en œuvre que les panneaux thermiques, les panneaux solaires voltaïques us sont en fait de gros composants électroniques qui transforment les rayonnements solaires directement en courant électrique continu. Ce courant continu pourrait être utilisé en l'état pour les sites isolés mais la panoplie des solutions existantes est orientée vers le plus grand nombre : Ceux qui sont déjà raccordés. C'est ainsi qu'on le converti en courant alternatif par un dispositif électronique appelé onduleur permettant d'éviter de stocker l'énergie dans des batteries encore très polluantes. Cette conversion continu-alternatif permet de le renvoyer vers le réseau. Pour ne pas affecter le rendement cet onduleur ne doit pas être surdimensionné et les liaisons électriques ne doivent pas être sous dimensionnées. Il existe deux grandes familles de cellules photovoltaïques : Les cellules à technologie mono ou poly cristalline, les plus répandues dans le monde ayant le meilleur rendement mais les plus chères et celles en silicium amorphe à couche mince à rendement moindre mais moins onéreuses. Les performances des cellules cristallines qui pourrait avoisiner une capacité de production proche de 30 kWh par an et par m² de panneau pourraient encore être améliorés mais au détriment – dans l'état actuel de la technique – au prix d'une évolution vers des matériaux pour l'instant moins neutres écologiquement parlant. Il n'est pas impossible que l'amélioration des rendements en nécessitant moins de surface au sol fassent que les cellules photovoltaïques soient appelés à se développer plus rapidement en ville où la surface est limitée.

6 Résultat de votre étude



La simulation ci-dessus datant de 2011 faite probablement avec des cellules à base de silicium est basée sur une étude des services compétents (Ademe, centre des impôts, et organismes experts en la matière) Elle est faite sur Boulogne (92100) en zone H1a supposé représentatif de l'ensoleillement moyen en Fr

Elle met en évidence

1. Une production annuelle voisine de 1 500 kWh (pour une surface de panneaux de 120 m²) bien faible comparativement au besoin thermique du logement
2. Un coût pour l'investissement initial de 16 000 €.
3. Un retour sur investissement (ROI) de 22 ans qui ne sera respecté qu'à la condition que la simulation soit contractuelle (l'est-elle vraiment ?) et que la durée de vie du panneau solaire soit notablement supérieure à 20 ans (cela sera-t-il le cas ?)
4. Une surface panneau de 120 m² trop importante pour Paris intramuros bien à l'étroit mais pouvant se concevoir pour la province et la grande banlieue
5. Une production électrique solaire pour 60 millions d'habitants supposés équipés d'un tel système de (1380 x 60 000 000)/4 = 2 x 10¹⁰ kWh (Foyers fiscaux constitué de 4 personnes), ce qui représente tout de même environ 5% de la consommation électrique française (environ 450 TWh) ce qui n'est pas tout à fait négligeable.

L'énergie sans la rivière

On constate donc un système qui semble assez peu intéressant financièrement dans l'état actuel de la technique pour l'utilisateur. Si un accord pouvait être trouvé au niveau du contrat pour que la totalité de la production électrique des panneaux voltaïques soit réinjectée sur le réseau et non consommé sur place avec des panneaux considérés comme « intégrés » à la toiture et non « rapportés » et si le prix des panneaux équipés de cellule cristalline se rapprochait des cellules en silicium (on peut toujours rêver), une production annuelle améliorée voisine de 7200 kWh (120 m² de panneaux à 30 kWh/m²) obtenue grâce au rendement trois fois supérieur des cellules cristallines rendrait le système intéressant. Ceci compte tenu du fait que le produit de la vente à l'EDF du kWh électrique au taux préférentiel de 30 cts d'€ des panneaux intégrés (Environ 3 fois supérieur à ceux qui ne sont pas !) pendant les 20 ans d'exploitation devient très intéressant puisque son montant proche de 40 000 € est très supérieur à l'investissement de départ. Un emprunt PTZ à la banque sur dix ans correspondant à la moitié de cette somme suffirait à financer l'investissement de départ. Le remboursement de cet emprunt serait assuré par le produit de la vente de l'électricité à EDF au prix fort sans que le pouvoir d'achat de l'investisseur soit modifié pendant la première décennie avec une amélioration du pouvoir d'achat la décennie suivante.

En procédant ainsi on rentabilise sa toiture ou à un degré moindre les terrasses non utilisées d'un immeuble

Quoiqu'il en soit, il y a beaucoup de « si » dans le raisonnement ci-dessus et l'on peut penser que le retour sur investissement (ROI) d'un tel système reste trop élevé et n'a rien à voir avec celui du chauffage thermodynamique dont le ROI se situe grossièrement entre 10 et 5 ans selon qu'il est privatif (maison) ou collectif (immeuble)

Le solaire thermique:

Dans ces panneaux, un liquide est réchauffé par les rayonnements solaires. Ce liquide dit "caloporteur" transporte cette chaleur vers un échangeur de température réchauffant l'eau avant que celle-ci ne soit envoyée dans un ballon du type chauffe-eau. En général, on considère qu'une installation comprenant 4m² de panneaux couvre (en région Ile de France) entre 60 et 70% des besoins annuels en eau sanitaire d'une famille de 4 personnes, grâce à un rendement global tournant aux environs des 70% à 80%. Une telle installation revient à environ 3000 à 3500 €, mais en faisant jouer le crédit d'impôt, on peut arriver à se faire rembourser une bonne partie du prix de l'installation. La rentabilité est assurée en 5 à 7 ans, en considérant que les prix du pétrole restent stables.



Un panneau noir absorbant le rayonnement solaire, une tuyauterie en cuivre, métal bon conducteur dans lequel circule le plus souvent de l'eau avec en couche arrière un isolant tel est pour l'essentiel la constitution d'un panneau solaire thermique

L'énergie sans la rivière

Exemple dans le collectif en région parisienne

Données météo												
mois	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
T° extérieure	4.1	5.8	8.3	10.1	14.3	17.3	19.1	20.1	15.6	12.2	7.2	4.7
T° de l'eau	7.8	8.7	9.9	10.8	12.9	14.4	15.3	15.8	13.6	11.9	9.4	8.1

Installation		
Capteurs		Stockage
Surface	92.0	m ²
Inclinaison	45	°/Horiz
Orientation	0	°/Sud
Coefficient B	0.82	
Coefficient K	3.90	W/m ² .°C
Situation	Intérieur (18 °C)	
Température ECS	60 °C	
Volume de stockage	5000 Litres	
Cste de refroidissement	0.0364 Wh/L.j.°C	
Type d'installation	Circulation forcée, échangeur séparé	

	Irradiation capteurs (Wh/m ² .jour)	Besoins (kWh/mois)	Apports (kWh/mois)	Apports (kWh/jour)	Taux (%)	Volume (litres)
janvier	1265	12692	1919	61.9	15.1	6750
février	2172	11275	2937	104.9	26.0	6750
mars	3244	12179	4829	155.8	39.6	6750
avril	4267	11574	6047	201.6	52.2	6750
mai	4484	11449	6630	213.9	57.9	6750
juin	4810	10726	6789	226.3	63.3	6750
juillet	5162	10865	7337	236.7	67.5	6750
août	4778	10743	6895	222.4	64.2	6750
septembre	3884	10927	5566	185.5	50.9	6750
octobre	2771	11707	4164	134.3	35.6	6750
novembre	1753	11918	2535	84.5	21.3	6750
décembre	1019	12619	1567	50.6	12.4	6750

Taux couverture solaire	41.3	%	Apport solaire annuel	57216	kWh/an
Besoin annuel	138673	kWh/an	Productivité annuelle	622	kWh/m ² .an

calcul réalisé sur www.tecsol.fr

L'énergie sans la rivière

Le tableau de la page précédente concerne une étude effectuée pour un petit immeuble d'une vingtaine de 2 pièces de 50m² habitable soit 1000 m² habitable au total consommant annuellement environ 1500 m³ d'eau froide. Sur la base de 2 occupants par logement les occupants de cet immeuble relativement économe ne consomment que 100 litres d'eau froide/jour soit compte tenu du fait que le besoin en eau chaude sanitaire est environ le tiers du besoin en eau froide une consommation pour l'ensemble de l'immeuble de 1400 litres d'eau chaude à 60°C par jour (500 m³ /an). Etant donné qu'il faut en moyenne 50 kWh pour élever 1 m³ d'eau froide à 60°C et que le rendement global n'est guère supérieur à 50% vu les pertes d'énergie dans les tuyauteries de distribution c'est un besoin thermique journalier moyen de $2 \times 50 \times 1,4 = 140$ kWh soit un besoin annuel de 51 000 kWh qu'il faut prévoir pour assurer la production de l'ECS dans cet immeuble. L'étude correspondant au tableau ci-dessus montre que 92 m² de panneaux implantés sur la terrasse horizontale de cet immeuble situé en région parisienne lorsqu'ils sont orientés plein sud et inclinés à 45° peuvent délivrer annuellement 57 200 kWh quantité d'énergie suffisante pour assurer le besoin moyen. Selon la saison on constate toutefois que le besoin journalier largement assuré en été ne l'est pas en saison froide (seulement 50 kWh en décembre pour un besoin presque trois fois supérieur. Le ballon de 5 m³ prévu suffisant pour assurer un manque de soleil une petite semaine ne permet pas d'assurer le relais entre les saisons un apport d'énergie autre que le solaire étant nécessaire pour assurer le besoin en hiver (Ceci malgré les déperditions journalières relativement faibles du ballon de 8 kWh/jour). On peut considérer avec le dimensionnement ci-dessus qu'il faudra un apport électrique dans le ballon correspondant sensiblement à la moitié du besoin thermique de 140 kWh pendant les 4 mois de la saison froide soit environ 8000 kWh (16% du besoin global). Envisageable dans du neuf sur le pourtour méditerranéen il est peu probable que ce type d'implantation se fasse en région parisienne en rénovation dans l'ancien avec des flux thermiques arrivant actuellement par le bas alors qu'ils arrivent par le haut avec ce nouveau dispositif. De plus sur la base de 1000 €/m² de panneau solaire thermique un investissement de 92 000 € soit 4600 € par logement est loin d'être négligeable

Alors que choisir ?

On comprend maintenant qu'il est difficile de comparer deux choses radicalement différentes. Compte tenu de leur capacité à fournir environ deux fois plus d'énergie que les cellules cristallines les cellules thermiques paraissent plus intéressantes. Un avantage important en termes de stockage de l'énergie est toutefois le fait que l'énergie électrique produite par les cellules photoélectrique peut être revendue ce qui n'est pas le cas de l'énergie thermique produite par les cellules thermiques. Le prix de vente à l'EDF du kWh électrique au taux préférentiel de 30 cts d'€ le kWh,

L'énergie sans la rivière

soit pour un montant sensiblement deux fois plus élevé que l'électricité domestique taxe comprise (environ 14 cts le kWh) suffira-t-elle à faire évoluer les solutions retenues pour le chauffage ? On peut en douter. En effet, l'énergie produite par le solaire ne représente qu'une part négligeable des besoins en énergie du chauffage. Ce ne sont pas les 2700 kWh d'électricité qui pourraient être générés annuellement dans l'exemple de l'immeuble ci-dessus par le remplacement des 92 m² de panneaux thermiques en panneaux voltaïques technologie cristalline qui permettront de solutionner le problème du chauffage. Il suffit pour cela de prendre conscience que même pas en divisant par deux les 240 kWh/m² moyenne de déperdition dans l'ancien au prix d'une isolation onéreuse le besoin thermique annuel de 120 000 kWh pour le chauffage de cet immeuble de 1000 m² habitable resterait très élevé. Ceci même si l'on considère que l'argent récolté lors de la vente de 2700 kWh d'électricité équivaut à la dépense de 5400 kWh à un prix deux fois moindre. Espérer utiliser le chauffage thermodynamique en faisant fonctionner la meilleure des pompes à chaleur aquathermique avec cette quantité d'énergie, eut-elle un COP de 6 ne permet de disposer que de 32 400 kWh soit 27% du besoin thermique. Comme on le voit, on est loin du compte dans l'ancien ! On observe toutefois à l'occasion de cette comparaison entre les cellules électriques et thermiques que cela pourrait changer dans l'après RT2012 avec un coefficient de déperdition amélioré de 25 kWh/m² au lieu de 50. Une PAC aquathermique ayant un COP de 5 serait alors parfaitement envisageable permettant d'éviter le « tout gaz » qui commence à poindre dans l'habitat neuf. La pompe à chaleur pourrait alors fonctionner en substitution de chaudière à gaz cette dernière étant totalement arrêtée et ne jouant plus qu'un rôle de secours en cas d'incident sur la PAC. Cette évolution techniquement envisageable d'un chauffage urbain plus économique et moins destructeur de l'environnement serait une première étape conduisant à la validation du scénario Négawatt qui prédit un abandon complet des énergies primaires à l'horizon 2050. Reste qu'il faut disposer d'un budget conséquent pour installer de panneaux solaires fussent-ils thermiques. Si le budget est limité, il semble plutôt préférable d'installer des panneaux solaires thermiques pour son eau sanitaire dans le sud de la France plus ensoleillé, en prévoyant un surplus du budget qui serait utilisé à compléter des petits investissements en vue de réduire les consommations: Ampoules économiques ou à LED, blocs de prises à interrupteur pour ne pas laisser d'appareil en veille, achat d'électroménager performant etc.....

Positif ou négatif ?

Le "Grenelle de l'environnement" s'est fixé pour objectif de favoriser la construction - et même la rénovation- des bâtiments à énergie dite « *positive* ». Il s'agit d'un objectif ambitieux puisque selon WIKIPÉDIA un bâtiment à énergie *positive* est un bâtiment produisant plus d'énergie (électricité, chaleur) qu'il n'en consomme pour son fonctionnement. Pour parvenir à cet objectif le Grenelle a mis en place une réglementation thermique RT 2012 extrêmement exigeante pour les bâtiments neufs en précisant qu'ils devront tous être à énergie positive pour le chauffage en 2020. On peut légitimement se demander comment un bâtiment dit à < *énergie positive* > peut, pour assurer le confort de ses occupants, produire plus d'énergie qu'il n'en reçoit. En pratique c'est en prélevant dans son environnement naturel immédiat une quantité d'énergie thermique ou voltaïque plus importante que la quantité d'énergie primaire, électricité du réseau, gaz, fioul ou charbon qu'il a consommé que bâtiment obtient ce résultat. Cela revient à dire qu'un bâtiment utilisant un chauffage thermodynamique ayant un COP plus que modeste et à peine supérieur à 2 peut déjà être considéré comme un bâtiment à " *énergie positive*" puisque l'énergie thermique qu'il produit pour compenser les déperditions dans le bâti est déjà supérieure à l'énergie primaire gaz ou électricité du réseau qu'il a consommé. Il existe maintenant sur le marché des PAC à compresseur *air eau* fonctionnant en substitution de chaudière ayant un COP moyen de 4 deux fois supérieures (Voir DAIKIN). Sensiblement en avance sur leur temps, ces pompes à chaleur peuvent maintenant être implantées en région parisienne dans des habitations individuelles ayant une classe d'isolation notablement inférieures aux exigences de la RT 2012 et équipées de radiateurs hydrauliques conventionnels correctement dimensionnés. Ce type de réalisation ne peut évidemment être comparé à la réalisation, cette fois très en avance sur leur temps des maisons dite « passives » dont la consommation énergétique est totalement compensée par les apports solaires provenant de panneaux situés en toiture et les apports internes (chaleur dégagée par le corps et l'électroménager). Pour exemple celui de la maison ZEN totalement indépendante du réseau électrique conventionnel et équipée d'une pompe à chaleur à compresseur *eau eau* délivrant de l'eau chaude à des radiateurs type ventilo-convecteurs. Cette réalisation exemplaire a été rendue possible au prix d'une isolation poussée deux fois supérieures aux exigences de la RT 2012 (25 kWh/m²) et par le COP plus élevé d'une PAC *aquathermique* alimentée en énergie électrique par des panneaux solaires photovoltaïques. Le niveau très faible en besoin électrique a ainsi pu être satisfait par l'implantation de ces panneaux solaires largement dimensionnés en toiture. Comme on le voit, en raison des nouvelles classes d'isolation et de l'amélioration des

L'énergie sans la rivière

performances du chauffage thermodynamique, l'idée selon laquelle il faudra toujours un minimum d'énergie « payante » pour assurer le chauffage et la fourniture de l'eau chaude sanitaire risque de devenir fautive avec les bâtiments dits "zéro énergie" (Passivhaus).

Mais plutôt que de considérer le vaste système constitué par l'habitation et sa chaufferie dans son environnement, considérons maintenant chaque forme d'énergie prise isolément d'une façon plus restrictive. Les notions de « *positif* » ou de « *néгатif* » moins scientifiques deviennent alors parfois plus subjectives.

Le négatif

L'énergie thermique que le bâtiment *reçoit* est le plus souvent d'origine électrique (Assurée à environ 75% par le nucléaire en France) ou d'origine fossile avec la combustion. Elle provient donc actuellement pour l'essentiel du nucléaire ou de la combustion des produits fossiles tels que le charbon, le pétrole, ou le gaz, combustibles dits "non renouvelables". Chacun de ces combustibles a une équivalence thermique qui permet de quantifier la part d'énergie « dite *néгатive* ». L'équivalent thermique d'un litre de fioul ou de 1 m³ de gaz naturel est de l'ordre de 10 kWh. Avec l'effet Joule, l'équivalent thermique de 1 kWh électrique est de 1 kWh thermique. Contrairement à une idée encore répandue, les combustibles fossiles ne devraient plus maintenant être considérés comme indispensables pour produire l'énergie thermique nécessaire à notre confort quotidien. Heureusement d'ailleurs puisque la combustion de ces produits génère des gaz nocifs nuisibles à notre environnement, qu'ils sont sales (le transport du pétrole en mer pollue trop souvent celle-ci) parfois dangereux (le gaz peut exploser lorsque les règles relatives à la distribution ne sont pas respectées). Difficiles à transporter, plus rares et par voie de conséquence plus difficile à exploiter, ils deviennent petit à petit de plus en plus chers ce qui diminue de ce fait notre pouvoir d'achat. Seul le bois considéré en tant que combustible bénéficie encore d'une connotation écologique. Il n'est pourtant pas à l'abri de tout reproche. En tant que combustible, sa combustion génère aussi des gaz nocifs peu compatibles avec l'air un peu trop vicié de nos villes. Son utilisation à grande échelle pourrait conduire à moyen terme à une certaine déforestation incompatible avec l'élimination du CO₂ souhaitée par les défenseurs de l'effet de serre. De plus sa livraison dans les rues déjà trop encombrées de nos quartiers poserait problème. Sont considérés aussi comme *néгатives* les dérives du nucléaire civil vers le militaire. Est également considéré comme *néгатive* la « mauvaise guerre de l'uranium » que l'on pourrait classer dans la catégorie des combustibles. Ceux qui

L'énergie sans la rivière

considèrent l'énergie nucléaire comme "nuisible" sont guidés dans leur jugement par la dangerosité d'un réacteur nucléaire et l'existence de déchets radioactifs. Ces déchets devraient heureusement aller en décroissant au fur et à mesure que les technologies évoluent.

Le positif

L'énergie renouvelable prélevée dans l'environnement d'un bâtiment équipé d'une chaufferie moderne est positive. Par exemple l'énergie solaire - qu'elle soit électrique avec le photovoltaïque ou thermique avec le thermo solaire - est une « *énergie positive* ». De même, l'énergie thermique prélevée par une pompe à chaleur dans son environnement, que cette énergie provienne de l'air environnant, du sous-sol ou de l'eau contenue dans celui-ci est *positive*. L'énergie thermique procurée par la géothermie profonde parfois produite par la commune est également, *positive*, mais n'étant pas alimentée en calorie par le rayonnement solaire qui n'est plus opérant au-delà de -10m, elle ne peut être associée au terme *renouvelable*. De même l'énergie électrique produite par les éoliennes, les hydroliennes ou par les turbines à eau de nos barrages hydroélectriques est considérée comme une énergie « propre ». Intégrée au même réseau que celui de l'électricité produite par le nucléaire ou par les turbines à gaz, elle n'est probablement pas pour cette raison suffisamment perçue comme "*positive*". Cette notion de signe donnée à l'énergie est on le voit plutôt subjective et complique le chiffrage permettant de savoir si le bâtiment est globalement *positif* ou *néгатif*. Prenons par exemple le cas d'une pompe à chaleur et de son bâtiment. L'énergie générée par la pompe à chaleur est exclusivement thermique. Pour produire cette énergie thermique nécessaire au chauffage de nos maisons et de nos immeubles, les pompes à chaleur ont besoin d'un complément d'énergie primaire qui peut être du gaz avec la PAC à absorption ou électrique avec les PAC conventionnelles à compresseur. Ce complément d'énergie primaire payante est heureusement assez faible en valeur relative puisque que 1 kW (électrique ou gaz) payant peut produire à moindre frais 3 kWh thermique avec les pompes aérothermique et jusqu'à 6 kWh avec les pompes aquathermiques. Certains pays européens commencent à assimiler l'énergie électrique provenant du nucléaire comme la future énergie « verte » en Europe en lui donnant une connotation *positive* au motif que cette forme d'énergie ne pollue pas l'air ambiant et ne rejette dans l'atmosphère que de la vapeur d'eau. C'est du moins l'opinion de pays comme la Grande Bretagne, la Pologne et la France qui refusent de classer le nucléaire dans le "*néгатif*" ou qui la considère au pire comme un mal nécessaire. Il n'empêche que beaucoup d'entre nous estiment que le kWh électrique provenant du nucléaire

L'énergie sans la rivière

"*néгатif*" de même qu'ils estiment "*néгатif*" le gaz consommé dans le cas de la PAC à absorption.

Quant à la pile à combustible, elle n'a pour tort que son nom et peut-être sa complexité. C'est pourtant moins une combustion qu'une réaction chimique mettant en jeu l'hydrogène et des catalyseurs qui permettent à la pile à combustible de produire à la fois du courant électrique et de la chaleur. Si la production d'hydrogène nécessaire à son fonctionnement ne consomme pas de combustible fossile, alors, elle pourrait être considérée comme un moyen d'avenir et être classée globalement "*positive*" en raison de son excellent rendement énergétique et son caractère non polluant.

Bien que le bilan « *positif-négatif* » de la pompe à chaleur soit intéressant, le complément en énergie primaire même faible en valeur relative par rapport à l'effet joule, est loin d'être négligeable en valeur absolue et l'idée selon laquelle les PAC à compresseur pourraient augmenter notre dépendance au nucléaire si elles devaient être les seules à se développer n'est pas totalement inexacte. Cette idée est en tout cas fautive si l'on ne considère que les bâtiments anciens mal isolés lorsqu'ils sont équipés de chauffage électrique individuel à effet Joule. Leur conversion vers le chauffage thermodynamique collectif en remplacement de ces fameux radiateurs électriques individuels si coûteux à l'usage divisant le besoin en électricité au prorata du COP de la pompe à chaleur.

Pour résumer, l'énergie thermique naturelle (ENR) que le bâtiment produit en la prélevant dans son proche environnement peut être considérée comme "*positive*", alors que l'énergie qu'il perd par conduction au travers du bâti comme "*negative*". La part de l'énergie permettant d'obtenir ce résultat ayant un signe laissé à l'appréciation de chacun.

Le + ou le – scientifique

La notion de « *positif* » ou de « *néгатif* » souvent subjective si l'on considère séparément chaque forme d'énergie isolément, peut être associée à plus de rigueur scientifique si l'on considère les interactions de différentes formes d'énergies entre elles au sein d'un même système. Ceci par exemple dans le contexte du principe de la conservation de l'énergie lorsque l'on considère les interactions des différentes formes d'énergies entre elles au sein d'un système limité au bâtiment et à sa chaufferie. Où mieux lorsque l'on considère le système formé par le fluide caloporteur de la pompe à chaleur et les différents flux thermiques reçus ou émis par celui-ci au cours d'un cycle. Dans ce cas, la notion de « *positif* » ou de « *néгатif* » peut irréfutablement devenir uniquement scientifique. Le principe de la conservation de

L'énergie sans la rivière

l'énergie, qui ne saurait être remise en cause, permet en effet de dire que lors d'un cycle les flux thermiques « rentrant » et « sortant » du fluide caloporteur s'équilibrent. Ils s'équilibrent en ce sens que l'énergie thermique émise vers l'extérieur par ce fluide à la source chaude lors de la réaction exothermique dans le condenseur est vue négativement par le fluide caloporteur alors que les deux formes d'énergie qu'il reçoit de l'extérieur, à savoir l'apport l'énergie primaire payante entretenant le fonctionnement de la pompe à chaleur et l'apport thermique provenant de la source froide lors de la réaction endothermique dans l'évaporateur sont vue positivement par ce même fluide caloporteur. Ce qui est vue négativement par le fluide caloporteur équilibrant ce qui est vu négativement au titre de la loi sur la conservation de l'énergie. On peut en conséquence dire qu'avec un dispositif de chauffage thermodynamique ayant un COP de 4, le fluide caloporteur émet 4 kWh d'énergie thermique alors qu'il ne reçoit que 1 kWh d'énergie primaire payante majoré de 3 kWh du fait de l'apport thermique gratuit provenant de la source froide divisant par quatre les frais d'approvisionnement en énergie primaire.

Il n'est pas déraisonnable d'espérer pour cette raison que les logements anciens qui représentent - et de loin - le plus gros potentiel d'économie d'énergie - ne seront pas laissés pour compte à l'occasion de la réglementation 2012 il faut bien le dire un peu trop dédiée au neuf.

Voir le principe de fonctionnement d'une pompe à chaleur modifié par l'auteur sur Wikipédia

Le transport de l'énergie

Le transport des combustibles

La consommation mondiale de pétrole est estimée à 30 milliards de barils par an, soit puisque 1 baril=159 litres et la densité du pétrole de 0,8 une masse de pétrole de quelque $3,8 \cdot 10^{12}$ kg. Cette masse correspond à la capacité de quelques 15 000 supertankers d'une capacité moyenne actuelle de 250 000 tonnes. Les 8000 supertankers qui sillonnent les mers pour l'approvisionnement du monde en pétrole effectuent donc approximativement entre 4 et 5 allers retours par an. La consommation optimum d'un moteur thermique avoisinant 200 g/kWh, cette masse de pétrole représente une énergie considérable de $46,4 \cdot 10^{12}$ kWh. Les gazoducs qui assurent le transport du gaz sont aussi du domaine de la démesure. La longueur totale des gazoducs dans le monde est estimé en effet à plus de 1 million de km soit 25 fois la circonférence terrestre. Leur vulnérabilité aux actes de sabotage dans les zones de conflits ainsi que les trop grandes distances entre les gisements et les zones de consommation ont conduit à développer un mode de transport sous forme liquide. C'est ainsi que le gaz naturel liquéfié (GNL) moins volumineux qu'à l'état gazeux est transporté à -160°C et à la pression atmosphérique par les navires méthaniers.

Le transport des énergies

S'il n'y avait les pollutions extrêmement graves en cas d'accident, un avantage du transport des combustibles par voie maritime semble tenir au fait qu'il s'effectue sans pertes d'énergie importantes. Ce n'est pas le cas du transport de l'énergie. L'énergie, qu'elle soit *électrique*, *hydraulique* ou *thermique* n'échappe pas aux pertes de puissance en ligne. Même les circuits Haute tension (90 000 Volts) voire très haute tension des liaisons internationales (400 000 Volts) dans lesquelles circulent une intensité électrique moins importante n'échappent pas à ces pertes égales à

$W = R I^2 t$ pour une puissance transportée P watt = U volt x I ampère. Seule l'apparition des supraconducteurs permettrait de les supprimer.

- Elles sont toutefois raisonnables et le transport de l'énergie *électrique* sur de grande distance est envisageable ¹⁾

- On peut aussi transporter dans de bonnes conditions l'énergie *hydraulique* dans des canalisations. L'eau a en effet une faible viscosité cinématique (1 centistoke) qui confère à l'écoulement dans la tuyauterie des pertes de charges très raisonnables ²⁾

- En raison de sa chaleur spécifique élevée, l'eau est également un excellent véhicule *thermique*. La puissance thermique pouvant être délivrée par la même conduite d'eau est importante ³⁾ et a pour valeur $P = Q T c$, T étant la température en degré Kelvin et Q le débit de fluide circulant dans cette tuyauterie (c étant la chaleur spécifique de l'eau). Les tuyauteries métalliques ne sont toutefois pas bien adaptées au transport de l'énergie thermique en raison des déperditions thermiques qui peuvent être redoutablement élevées si l'on néglige l'isolation de la tuyauterie

Type d'énergie	¹⁾ Electrique	²⁾ Hydraulique	³⁾ Thermique
Puissance P Watt	$P=U I$	$P= Q p /360$	$P = Q T c$
Unités	P en watt avec - Tension U en volts - Courant I en Ampère	$P = Q p$ avec P en watt Q débit en m ³ /s p pression en N/m ²	P en kW avec - Débit Q en kg/s - Température T (° Kelvin) - c chaleur spécifique du fluide $c = 4,18$ kJ/kg et °C
Pertes de puissance	$\Delta P= I (U_1 - U_2)$ $U = R I$ effet joule	$\Delta P= Q (p_1 - p_2)$	$\Delta P= Q (T_e - T_s) c$
Remarque	Chute de tension en ligne $U_1 - U_2$	Pertes de charge en ligne ¹⁾ $p_1 - p_2$	Chute de température en ligne $T_e - T_s$

Les formules du tableau sont indiquées dans le système international (SI) en pratique dans le cas de l'hydraulique on a P en kW = $Q p /360$ avec le débit Q en l/mn et la pression p en bar

Les tuyaux

Incontournables pour le transport des énergies hydraulique et thermique, ils sont soumis à de nombreuses contraintes. En premier lieu la corrosion interne ou externe lorsqu'ils sont en acier étiré à froid avec ou sans soudure. En deuxième lieu aux contraintes mécaniques dues à la pression intérieure qui est parfois très importante. Heureusement l'homme maîtrise bien cette dernière contrainte ²⁾. La plus grave contrainte lorsqu'ils véhiculent le combustible sur de très grandes distances et ceci qu'il s'agisse des gazoducs ou des oléoducs est le coût très élevé engendré par leur longueur et leur vulnérabilité aux actes de sabotage qui se répercute inévitablement sur le prix de l'énergie sur le lieu d'utilisation.

4) <http://www.infoenergie.eu/oces/pertes/pertelin1.htm>

5) <http://www.infoenergie.eu/oces/divers/contrainte.htm>

Sécurité et responsabilité

Les opposants et les partisans des centrales nucléaires produisant l'électricité débattent souvent de façon très violente. Ces tensions ont l'avantage de maintenir constamment à l'esprit de l'exploitant les questions relatives à la sécurité et au stockage des déchets radioactifs. Les sommes couvertes par les assurances au titre de la responsabilité civile de telles installations, même si elles sont de l'ordre du milliard d'€, ne sont probablement pas à la hauteur du risque, heureusement extrêmement faible, que le cœur du réacteur soit l'objet d'une fusion. Ce risque est le plus grave accident qui puisse survenir à ce genre d'équipement pendant son exploitation. En cas d'accident de ce type, il n'est pas totalement garanti, même sur les nouvelles installations de «troisième génération» qu'il n'y ait aucune libération de radioactivité». Des coûts complémentaires, non couverts par l'assurance seraient en fin de compte probablement supportés par la collectivité. L'élimination des déchets radioactifs* est le deuxième problème de l'énergie nucléaire. Depuis qu'elle est utilisée dans le secteur civil, l'énergie nucléaire a produit à travers le monde 300 000 tonnes de matériaux hautement radioactifs auxquels 10 000 tonnes s'ajoutent chaque année. La durée de vie des déchets radioactifs pouvant s'étaler sur une période d'un million d'années, il semble incroyable qu'aucun dépôt en couches géologiques profondes, probablement en milieu argileux étanche, ne soit pas encore exploité pour stocker les déchets radioactifs de par le monde. L'objectif des gouvernements n'est de construire ces dépôts finaux pour les déchets à radioactivité faible et modérée qu'en 2030 voire même seulement en 2040 pour les déchets hautement radioactifs. Le stockage des déchets radioactifs issus des centrales nucléaires est actuellement effectué dans des «dépôts intermédiaires» à proximité des réacteurs et par la même à proximité des rivières augmentant le risque de propagation de l'irradiation dans le sous-sol alluvionnaire de celle-ci.

* Le nouvel inventaire de l'ANDRA (Agence nationale de gestion des déchets radioactifs), estime que l'on peut classer les déchets radioactifs selon 5 catégories :

- 1) Ceux à très faible activité (l'activité indique la dangerosité)
- 2) Ceux à moyenne et faible activité à vie courte (ils ne sont pas dangereux longtemps)
- 3) Ceux à faible activité à vie longue (pas très dangereux mais très longtemps)
- 4) Ceux de moyenne activité à vie longue (dangereux très longtemps)
- 5) Ceux de haute activité issus des centrales nucléaires.

Ces derniers, extrêmement dangereux, ne représentent en France que 0,2% (2300 m³) du volume total des déchets radioactifs alors qu'ils comptent pour 95% de la radioactivité totale. Dans l'attente des prévisions de stockage à grande profondeur, ils sont stockés en surface sur le site de la Hague (Manche). Une solution est à l'étude à -500m sous terre dans une couche géologique favorable près de Bune dans la Meuse à l'horizon 2025. Ces déchets ne perdent leur dangerosité que très lentement (milliers d'années voire plus)

Notes personnelles

Chapitre III

Les lutins thermiques

Etres bienfaisants, les lutins thermiques n'ont rien de virtuels. A la fois médiateurs, bons physiciens, mathématiciens lorsque cela est nécessaire, ils symbolisent les associations, les groupes d'études privés ou non, les constructeurs, qui par leurs actions cherchent à *favoriser le passage progressif des énergies fossiles vers celles qui ne le sont pas*. Ils savent que ce passage est nécessaire, qu'il sera lent et difficile, qu'il nécessitera une cohabitation entre les différentes techniques de production d'énergie. Ils ont pris conscience de l'importance qu'il faut donner à la complémentarité des techniques, à la vérité scientifique, et à la performance des chaînes énergétiques. Ils ont compris tout ce que le mot « cohabitation » renferme comme obligation pour eux. Pragmatiques, ils savent combien ce mot sous-entend - qu'on le veuille ou non – source de conflits. Défenseurs de notre environnement et amoureux de la nature, ils se sont donc fixés pour tâche essentielle d'être présent chaque fois qu'un conflit commence à naître pour expliquer ce qu'il convient de faire, ou de ne pas faire, pour respecter l'objectif qu'ils se sont fixé. Lorsque je les ai informé que je souhaitais m'impliquer dans l'installation d'une chaufferie moderne à base d'énergie renouvelable en remplacement de deux vieilles chaudières au fioul dans un immeuble ancien situé en région parisienne, ils m'ont dit :

"Votre projet n'est pas simple mais nous ne vous considérons pas comme un rêveur. Nous vous aiderons pour la raison qu'il y a des solutions et que votre cas représente, avec le transport routier et l'industrie, le plus gros potentiel d'économie de gaz à effet de serre et se situe loin devant l'habitat neuf. Nous nous sommes fixés pour tâche d'améliorer le pouvoir d'achat de ceux qui en ont le plus besoin et en solutionnant votre problème nous participons à coordonner les politiques publiques sur au moins trois des cinq points évoqués par le secrétaire général de l'OCDE : Le climat, la pauvreté, et la dette. De plus, en raison de son avance technologique dans les techniques de l'atome nous pensons que dans le domaine du chauffage urbain, la France a intérêt à faire partie de ceux qui élaborent les règles plutôt que d'être parmi ceux qui font le choix de les adopter". Pour cela il faut améliorer la justice sociale en organisant rapidement les règles de la redistribution des prélèvements fiscaux sur les combustibles fossiles. Un Lutin éclairé a perçu toute la dangerosité de la croissance sur le long terme et à chercher à savoir ce qu'il adviendra du monde si aucune règle n'est adoptée.*

L'avenir m'intéresse, c'est là où j'ai l'intention de passer mes prochaines années (Woody Allen)

** Pour coordonner les politiques publiques il faut, selon le secrétaire général de l'OCDE, mettre la priorité sur 5 points décisifs : Le climat, la pauvreté, la dette, les monnaies et la mesure du progrès.*

La météo et la naissance des Lutins

J'habite un immeuble ancien en région parisienne. La consommation en fuel pour assurer le chauffage de cet immeuble devenant une charge de plus en plus lourde pour nous (notre copropriété consommait bon an mal an 150 m³ de fuel par an), je me suis aperçu que nous pouvions améliorer l'isolation et surtout la génération d'énergie de cet immeuble pour réduire la note. Curieusement, c'est la responsable du conseil syndical de mon immeuble qui a déclenché cette prise de conscience d'un problème. Cette charmante dame, très économe par nécessité, est heureuse de m'apprendre que la consommation de fioul a diminuée cette année. Comme elle s'occupe de la chaufferie elle était légitimement en droit de penser que notre chauffagiste avait « encore » amélioré les réglages sur nos deux braves chaudières au fioul âgées de 30 ans. De mon côté je lui fais observer que cette "bonne nouvelle" pourrait aussi être la conséquence d'un hiver plus chaud que les précédents. En écoutant sa réponse j'ai rapidement compris que prisonnière de son soucis de réduire nos charges à court terme, elle allait bientôt m'expliquer que le réchauffement climatique est une aubaine puisque cela nous permet de faire des économies de chauffage ! Bref nos idées divergeant sur ce sujet, je me suis donc aperçu que les coefficients d'évaluation thermique actuels qui s'expriment en kWh (annuel) par m² habitable ne faisaient pas intervenir le paramètre température¹⁾

Notre immeuble de 6000 m² qui était plutôt mauvais les années précédentes avec une consommation de 150 m³ de fioul et un coefficient ²⁾ de 250 kWh /m² s'était donc amélioré du fait du travail bienfaiteur de nos braves Lutins thermiques avec un nouveau coefficient de 190 kWh /m². Et ceci sans qu'aucun travail d'isolation complémentaire ne soit effectué !

Trop souvent l'évaluation du bilan thermique d'un bâtiment n'est abordée que sous l'aspect des déperditions thermiques des parois sans tenir compte de la chaleur spécifique de l'air et des murs. Parfois même, c'est uniquement cette dernière notion de chaleur spécifique qui est évoquée dans l'étude thermique alors que les deux notions sont intimement corrélatives lorsque l'on fait intervenir le principe de conservation de l'énergie. J'ai donc demandé aux Lutins thermiques d'examiner notre différent et de me faire savoir qui a raison entre la responsable du conseil syndical et son serviteur. Heureusement, les Lutins thermiques sont bons mathématiciens. Au moment où l'on explique qu'il est aussi important d'économiser l'énergie que de la produire intelligemment, cette participation des lutins thermiques à l'étude thermique d'une habitation, basée sur le principe de la conservation de l'énergie est la bienvenue. Leur étude serait un bon sujet d'examen à un baccalauréat scientifique. Elle devrait donner d'excellents résultats proches du comportement thermique des habitations. D'autre part, un simple enregistrement des températures en fonction du temps et en

Les Lutins thermiques

régime transitoire lorsque l'on arrête la chaudière, serait aussi très instructif et permettrait, en liaison avec la théorie, d'avoir une vue plus précise sur la qualité de l'isolation thermique du bâtiment. La comparaison des courbes avant et après travaux d'isolation permettrait en plus de juger de l'efficacité des travaux d'isolation effectués. Cette comparaison permettrait ainsi de mieux maîtriser notre consommation énergétique et d'éviter les gaspillages actuels. Ces mesures expérimentales permettraient aussi de mettre d'accord les fabricants d'isolants minces avec les fabricants d'isolants épais conventionnels et d'éviter des combats stériles.

Enfin, pour conclure cette petite histoire, si l'on faisait intervenir la température à l'extérieur du bâtiment, les coefficients utilisés pour évaluer la qualité thermique de ce dernier seraient assurément plus représentatifs de ses réelles qualités d'isolation. Malheureusement pour chaque utilisateur aucune base de données gratuite ne permet actuellement de savoir quelles ont été les variations de température pendant un hiver donné. Météo France qui stock ces informations ne les communique que contre dédommagement. Je ne suis pas de ceux qui vont aux manifs, mais je me rappelle d'une pancarte qui avait retenu mon attention :

"Nous ne voulons plus payer pour être informé"

1) Deux bâtiments de même surface habitable et ayant le même coefficient D exprimé en kWh /m² habitable par exemple 300 kWh /m² , l'un construit à Nice en région clémente, l'autre à Mulhouse dans une région froide de la France ne présentent pas la même qualité d'isolation. Un nouveau coefficient G exprimé en watt/m³ et °C faisant intervenir le volume du bâtiment plutôt que sa surface habitable est mieux représentatif de la classe d'isolation. Il prouve que le premier bâtiment construit à Nice est plutôt mal isolé alors que celui construit à Mulhouse a une classe d'isolation un peu supérieure à la moyenne. L'étiquette énergie affiché dans les agences immobilières et désormais obligatoire n'est pas un reflet bien précis de la classe d'isolation du bâtiment et n'a de valeur que pour comparer la qualité de l'isolation de deux bâtiments situés à proximité l'un de l'autre. Un nouveau coefficient plus représentatif est en train de naître et permet de

2) La différence entre les déperditions thermiques d'une habitation construite par un architecte incompetent avec des matériaux constitués uniquement de béton et de vitrage simple, eut-il le plus bon goût, et une habitation respectant les nouvelles normes environnementales pour les habitations neuves est considérable. La première peut entraîner une consommation annuelle de fioul voisine de 60 litres/m²(correspondant à 600 kWh par m² habitable) alors que les déperditions thermiques de la seconde respectant la réglementation thermique 2012 et comprenant une isolation particulièrement performante entraîneront une consommation annuelle limitée à 5 litres de fioul /m²

Quelques propos des Lutins thermiques

Les Lutins apôtres de Auguste Detoef et de Pascal définissent ainsi le Chef, l'intellectuel et le théoricien

Le chef

Il est assis. Seul l'esprit bouge. Ainsi est Dieu le Père. Il est le centre, autour de lui, des hommes, des intérêts, des espoirs gravitent. Lui ne bouge pas, il pense. Il s'est fait, comme Jéhovah un univers dont il règle les lois. Cet univers grandit sans cesse. Il reçoit des papiers et des hommes. Il aime mieux les papiers. Ce qui est écrit demeure et peut être reproché. Il sait que, hormis lui, les hommes sont par nature imprécis et que tout ce qu'ils disent à plusieurs sens. Comme l'ingénieur conseil qui tient à sa situation; il déconseille. Théoricien à ses heures, il préfère les formules littérales et ne fait pas d'application numériques. Il ne prend pas ainsi le risque de faire des erreurs de calculs. Il n'aime pas la vérité lorsqu'elle dérange sa tranquillité d'esprit et l'ordre établi. Il est homme courtois et lorsque l'on entre chez lui, il se lève et fait trois pas vers son visiteur. S'étant rassis, il sait que ce qu'il a concédé à la vie sociale lui assure maintenant le droit d'être brutal si cela lui semble utile. Sa pensée pourtant n'est pas brutale, elle est fine, modelée, teintée de nuances et ne heurte que par nécessité. Il inspire la confiance. Sa foi en l'homme est telle qu'il lui arrive de s'endormir pendant une demi-génération. Malheureusement lorsqu'il se réveille, il constate que l'homme n'honore pas toujours cette confiance. Si dans la rencontre avec un autre univers il faut manœuvrer, persuader, emporter une conviction, alors que d'adresse, que de finesse dans la pensée, que d'exactitude dans les termes, que de force dans la conclusion. Il a alors une telle vigueur de pensée, il est à ce point maître de la vérité et fait preuve d'une telle autorité que chacun le respecte. Il est le chef.

Voir Auguste Detoef « Propos de O.L. Barenton confiseur » édition du Tambourinaire

Le théoricien

Individu qui n'est pas de votre avis

L'intellectuel.

Il est celui qui traque, démystifie, révèle les raisons cachées des choses et qui est décidé à le dire, quoiqu'il lui en coûte pour influencer sur les destinées du Monde. Celui à qui il arrive parfois de démontrer que les plus petites "raisons" ont parfois de grands "effets". Celui qui, refusant les doctrines peu établies, les idées préconçues, les étiquettes, n'admet rien sans avoir été convaincu au préalable par sa propre raison. Il est celui qui doit dire la vérité quoiqu'il lui en coûte et qui ne respecte rien hormis la vérité de la pensée. Il est celui qui est prêt à mourir plutôt qu'à mentir, qui est prêt à s'opposer aux règles établies s'il les juge irrecevables, qui n'hésite pas à affronter le pouvoir en place s'il est confié à des gens qui selon lui ne le méritent pas. Il sait que face à la vérité la violence ne peut rien. Il sait reconnaître ses propres erreurs et admet que l'on puisse ne pas être de son avis et que tout point de vue mérite considération. Prudent, il admet qu'il n'y a pas de vérité absolue et que l'on peut sortir d'une erreur pour tomber dans une autre. *Voir Blaise Pascal ou " Le génie français" de Jacques Attali.*

Et aussi les idées des Lutins sur le commerce, la concurrence, la pub, la technique et le mensonge, la copropriété le droit et la justice.

Le commerce

On appelle, en FRANCE date contractuelle de livraison, une date déterminée de telle sorte que le client soit certain de n'être pas encore en mesure de recevoir la marchandise et que le fournisseur soit assuré de n'être pas encore, à ce moment, en mesure de la livrer. Chacun espère par cette méthode, être prêt en même temps que l'autre. Cette espérance se réalise parfois.

On oublie le prix d'achat d'une chose; on oublie le temps pendant lequel on l'a impatientement attendue*, mais on se souvient des services qu'elle vous a rendus ou refusés. En effet, le prix ne se paie qu'une fois; la livraison n'a lieu qu'une fois; mais l'usage est de tous les jours.

Ne vous plaignez jamais du client à caractère difficile, il est la cause de vos progrès. Traitez les autres mieux encore, ils sont la raison de vos bénéfices.

Un marché fondé sur l'idée que le partenaire ne sera pas en mesure de tenir ses engagements est un mauvais marché.

Pensez toujours que l'homme avec qui vous discutez est plus intelligent que vous mais qu'il a moins de volonté.

Il n'est d'industrie durable que celle qui vend de la bonne qualité

La concurrence

Pour conserver une avance sur votre concurrent, comptez plus sur votre travail que sur le secret de vos méthodes.

La concurrence est un alcaloïde ; à dose modérée c'est un excitant, à dose massive un poison. L'absence de concurrence est une plaie pour celui qui attend et une niche pour celui qui entreprend*.

La publicité

Une mauvaise publicité pour vendre un bon produit : de l'argent gâché.

Une bonne publicité pour vendre un mauvais produit : de l'argent fichu

La technique

Un ingénieur conseil qui tient à sa situation ne conseille pas : il déconseille.

La véritable expérience est secrète. Elle naît des petits incidents de tous les jours, des petites erreurs répétées, des petits succès renouvelés qui, par leur nombre, marque les lois auxquelles se soumet l'habitude. Elle n'est pas pensée, mais vécue.

J'ai souvent vu des *techniciens* avoir des avis contraires, je n'en ai jamais vu avoir tort.

Le mensonge

En affaires, mentir n'est jamais nécessaire, rarement utile, toujours dangereux.

La copropriété

Au royaume des aveugles les borgnes sont roi (sic)

Toute obligation est une entrave qui répugne à la liberté individuelle.

* Lire le livre de deux étudiants à l'INSEAD " *Blue océan strategy*" de W.Chan Kim et Renée Mauborgne, Editeur Harward business school press

Les Lutins thermiques

L'amitié et la copropriété

L'amitié ne s'évalue pas, elle s'accorde. Pour cette raison elle ne se mesure pas au respect ou non par l'autre des règles communautaires. Il serait dommage que le non-respect des règles communautaires par certains d'entre nous affecte l'amitié que l'on peut avoir pour eux. Il semble donc souhaitable de respecter les règles communautaires.

Le droit et la justice

Consulter : Façon respectueuse de demander à quelqu'un d'être de votre avis

Secrétaire de direction Toujours le bras droit du patron et quelquefois sa main gauche

Un prévenu est cuit quand son avocat n'est pas cru.

et quelques vérités.

Les hommes aujourd'hui ne se soumettent plus à un homme mais à une œuvre.

On est tous pareils, alors acceptons nos différences

Chamfort prétendait

« En France celui qui a raison 24 heures avant les autres passe pour un fou »

Les énergies fondamentales

Selon les Lutins, on ne changera pas l'énergie, elle restera mécanique, hydraulique, électrique, thermique ou magnétique. Ce qui changera selon eux est la façon dont on ces formes d'énergies seront converti entre elles en intégrant mieux les saisons, en profitant des propriétés de la matière et en tenant compte des lois de la conservation de l'énergie ainsi que des équivalences entre les paramètres du système d'unité internationale SI. (Voir deux exemples ci-dessous)

Type d'énergie	Electrique	Thermique	Hydraulique	Mécanique
<i>Puissance P</i>				
Formules	P = UI	P = QTc = Qe	P = Q p	P = Fv = C ω
Unités de P en watt	Avec Tension U en volts Courant I en Ampère P en watt avec loi d'ohm $U = R I$ R résistance électrique (ohms)	Avec - Débit Q en g/s - Température T °K - c chaleur spécifique du fluide en joule/g et °C - e enthalpie du fluide en joule/g	Avec Débit Q m ³ /s et pression p en N/m ² ou P = 2,77 Q p avec Débit Q en l/mn et pression p en bar (1 bar = 105 N/m ²)	Avec en linéaire - Effort F en newton - Vitesse V en m/s Ou en rotation - Couple C en m N**(newton) - ω rd/s
Pertes de puissance	$\Delta P = I (U_1 - U_2) = R I^2$	$\Delta P = Q(T_e - T_s)c$	$\Delta P = Q(p_1 - p_2)$	Dû au frottement f
Remarque	Effet joule Chute de tension en ligne par effet joule U ₁ - U ₂	Chute de température en ligne Te-Ts	Pertes de charge en ligne P ₁ - P ₂	Le frottement s'oppose au mouvement
<i>Energie = Puissance x temps W = P t* avec W (joule), P (watt), t (secondes)</i>				
Formules W en joule 1 joule/s = 1 watt	W = R i² t	W = m (T₁- T₂) c	W = Q (p₁- p₂) t	W = f d (pertes) W = mgh (potentielle) W = 1/2 mv² (cinétique)

Les Lutins thermiques

<i>Transport</i>				
Commodité	Assez bon rendement Grande distance	Mauvais rendement (pertes) Distance moyenne	Assez bon	Bon rendement Petite distance coûteux
Remarques	On diminue les pertes en ligne par effet joule en augmentant la tension U	L'eau est généralement le fluide qui transmet la puissance. On diminue les pertes en ligne par calorifugeage des tuyaux	On diminue les pertes de charge en ligne en augmentant le diamètre des tuyaux	
<i>Stockage</i>				
Appréciations	<p><i>Electrique</i> L'électricité est difficile à stocker avec les piles, cependant il faut citer que dans le cadre du stockage de l'énergie développée par les éoliennes, la société américaine <i>ZincAirinc</i> basée dans le Montana vient de développer une technologie de batteries "vertes" capables de restituer une puissance instantanée de 1000 kW pendant près de 19 heures</p> <p><i>Thermique</i> Le stockage thermique possible grâce à la chaleur spécifique des corps commence à être utilisé à grande échelle en liaison avec les centrales solaires électriques afin qu'elles puissent continuer à produire de l'électricité lorsque le temps est couvert ou la nuit. L'Espagne va exploiter prochainement sa 3ème et gigantesque CST <i>Andasol 3</i> fonctionnant sur ce principe</p> <p><i>Hydraulique</i> - Les STEP qui permettent de stocker sous forme potentielle des quantités d'énergie considérables proche du milliard de kWh, - Les accumulateurs hydrauliques qui peuvent restituer des puissances très importantes mais pendant des temps relativement courts</p> <p><i>Mécanique</i> La société américaine <i>Beacon Power</i> a annoncé en 2011 le fonctionnement à pleine puissance d'un volant d'inertie mécanique capable de développer une puissance mécanique de 20 000 kW sous la forme d'une énergie mécanique cinétique cet puissance étant destinée à stabiliser le réseau électrique de New York mais la aussi pendant des temps relativement courts</p>			

Equivalences et correspondances

Il y a quelques équivalences entre les énergies :

- L'équivalence entre les énergies thermique et mécanique (1 cal = 4,18 joules) une calorie étant par définition la quantité de chaleur nécessaire pour élever un gramme d'eau de un °C

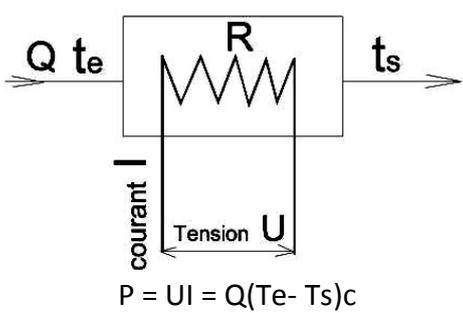
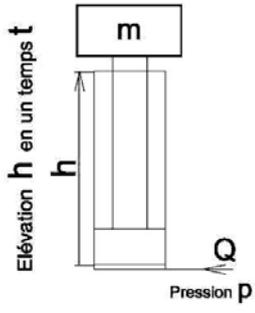
- Les deux équivalences entre l'énergie thermique et la masse de la matière à savoir:

- Celle relative à l'enthalpie du fluide caloporteur avec le chauffage thermodynamique qui s'exprime en kilojoule/kg
- Celle relative à la fusion nucléaire qui peut être assimilée à une énergie cinétique convertie en chaleur avec diminution de la masse selon la célèbre formule d'Einstein $W = mc^2$, formule valable selon Wikipédia dans le système international d'unités SI, soit W en joules si m est exprimé en kg et la vitesse de la lumière c en m/s ($c = 300\,000\,000$ m/s). Lorsque l'on observe cette formule formulée - et non démontrée - par Poincaré dans ses études sur l'électromagnétisme et par Einstein 5 ans plus tard on ne peut que faire le rapprochement avec la formule facile à démontrer de l'énergie cinétique mécanique dans notre champ gravitationnelle conventionnel $W = 1/2 mv^2$. Reste ce rapport de 1/2 qui différencie les deux formules et qui pourrait avoir trouvé une suite dans le moteur surnuméraire à dégravitation de Léon Raoul Hatem et dans les travaux de G. Romeiro et Rubtsov, en rapprochant l'infiniment grand et l'infiniment petit l'un de l'autre en quelque sorte.

- Il y a aussi les correspondances en rapport avec la combustion des combustibles fossiles :

La combustion de 1 litre de fioul ou de 1 m³ de gaz naturel génère une énergie thermique sensiblement égale à 10 kWh (36 000 kilojoules)

Les Lutins thermiques

Type d'énergie	Electrique	Thermique	Hydraulique	Mécanique
<i>Systeme d'unités internationale SI distance m, surface m², volume m³</i>				
Puissance P en watt Energie W en joules j Temps t en secondes s Distance h mètre m Masse m en kg	Tension U volts Intensité I Amp. Résistance électrique R (ohms)	Débit massique Q en kg/s Chaleurspécifique c fluide joule/g et °C Enthalpie e du fluide en joule/g	Débit volumique Q en m ³ /s Pression p en N/m ²	Effort F en Newton N**** - Vitesse linéaire V en m/s - Vitesse angulaire ω en rd/s 1 rd = 57,2°
<i>Applications pratiques</i>				
	Chauffe-eau instantané sans ballon	Elévateur hydraulique		
	 <p style="text-align: center;">$P = UI = Q(T_e - T_s)c$</p>	 <p style="text-align: center;">Energie $W = mgh$ Puissance $P = UI = mgh/t$</p>		

- * Une puissance de 1 kW développée pendant une heure fournit une énergie de 1 kWh
- ** Le couple développé par une éolienne est proportionnelle au carré de la vitesse du vent. La puissance d'une éolienne est donc proportionnelle au cube de la vitesse du vent.
- *** v vitesse de la lumière
- **** Un Newton N est l'effort agissant sur une masse de 1 kg située dans le champ gravitationnel de la pesanteur g de $9,81 \text{ m/s}^2$

Autre exemple faisant intervenir les énergies mécanique, hydraulique et électrique : La STEP (Voir page). Autre exemple passionnant , (Voir lien) faisant intervenir deux unités de base non décrites ci-dessus (Le candela pour l'intensité lumineuse et le Mole pour la combustion des ordures) prouvant qu'il est possible de concevoir un dispositif totalement autonome en gérant électroniquement les flux énergétiques rentrant et sortant de différentes natures et en choisissant la source la plus intéressante : Ensoleillement, vent, eau, combustion des ordures, (solaire thermique et photovoltaïque, éolien, hydroélectrique, et électromagnétisme pour l'amplification de puissance).

Chaleur spécifique

Il est possible de calculer la quantité de chaleur Q contenu dans de la matière. Il faut toutefois prendre garde que si l'on essaie d'augmenter la température d'une même masse de matière par exemple 1 kg d'eau, 1 kg d'air ou de 1 kg de béton de 1°C, on constate qu'il ne faut pas la même quantité d'énergie selon la matière considérée. La quantité de chaleur nécessaire pour augmenter la température ne dépend donc pas seulement de la masse, mais aussi de la capacité de stockage de la chaleur de la matière. La connaissance de la chaleur spécifique c de la matière permet de calculer l'énergie qu'il est nécessaire de fournir pour élever de 1°C une masse de 1 kg de cette matière. Elle est toujours basée sur 1 kg de matière et 1 °C (ou K), et a comme unité [J/kg °C] dans le système d'unité international SI.

Matière	Chaleur spécifique C en kJ/kg et °C	Densité
Eau	4.18	1 (1 litre > 1kg)
Air	1.0	0,00125 (1 m ³ > 1,25 kg)
Huiles, fioul	2.00	0,8 (1 litre > 0,8 kg)
Béton	0,84	2,4 (2400 kg/m ³)

On remarque que l'eau a la capacité calorifique la plus élevée de toutes les matières envisagées ci-dessus. Il faut donc bien plus d'énergie calorifique pour amener l'eau à une température plus élevée que pour d'autres substances. L'huile a une chaleur spécifique deux fois inférieure à l'eau. Lors de calculs avec les quantités de chaleur, nous sommes donc intéressés par la masse, la chaleur spécifique c et la différence de température °C avant et après le chauffage. La raison en est que ces critères déterminent de manière décisive quelle quantité de chaleur nous devons apporter à la matière. Si nous procédons à l'inverse et plaçons un corps chauffé dans un environnement plus froid, alors à partir de sa masse, de sa chaleur spécifique et de la diminution de température entre le corps et son environnement, nous pouvons calculer la quantité de chaleur que ce corps a libéré. La connaissance de ces notions permet par exemple de trouver de trouver la température du mélange de deux volumes d'eau identiques de température différente.

Les Lutins thermiques

Dans le cadre de la chaleur spécifique de l'eau associée à l'eau chaude sanitaire, les Lutins ont posé la question suivante à Balendard :

Les Lutins thermiques

Si l'on ajoute à un volume d'eau chaude à 60 °C le même volume d'eau froide à 10 °C quelle est la température du mélange en supposant qu'il n'y ait pas de déperdition thermique?

Balendard

Étant donné que les deux volumes d'eau froide et d'eau chaude sont identiques je pense que la réponse à votre question est 35 °C puisque cette température est à mi-chemin entre 60 °C et 10 °C.

Les Lutins thermiques

Lapalisse en aurait dit autant en affirmant que si l'on ajoute à un volume d'eau froide à 10°C le même volume d'eau chaude à 60 °C on obtient de l'eau tiède à 35 °C, température bien agréable pour se doucher. Et si je vous demandais de me dire quelle est la température d'un mélange d'eau constitué de 10 m³ à 5 °C et de 1,5 m³ à 85°C ?

Balendard

Je serais bien incapable de vous donner une réponse exacte

Les Lutins thermiques

Je vais vous aider en reprenant le premier exemple. Il suffit d'écrire en principe de la loi sur la conservation de l'énergie que la quantité d'énergie Q_m contenue dans le mélange est égale à la somme des quantités d'énergie contenue dans l'eau froide (Q_{ef}) et dans l'eau chaude (Q_{ec}).

Ceci en prenant comme référence la température absolue – 273 °C

Puisque en vertu de cette loi $Q_m = Q_{ec} + Q_{ef}$

on peut écrire m étant la masse de l'eau froide ou de l'eau chaude et X la température du mélange :

$$2mc(X - 273) = mc(283 - 273) + mc(333 - 273) = mc(10 + 60)$$

$$\text{Soit } 2(X - 273) = 70 \text{ et } X = 273 + 35 = 308 \text{ °K ou } X = 308 - 273 = 35 \text{ °C}$$

On retrouve bien la valeur de 35°C que vous aviez devinée intuitivement mais l'intérêt du calcul ci-dessus est qu'il est possible de généraliser. Ce qui peut rendre service dans le cas où il est difficile de faire appel à son intuition.

Balendard

Je connaissais la loi de conservation de l'énergie mais je ne comprends pas que l'eau froide puisse apporter de l'énergie au mélange. Je constate que votre approche plus scientifique et moins intuitive que la mienne conduit au même résultat et présente l'intérêt de pouvoir être généralisée. Au moment

Les Lutins thermiques

où la hausse de la température du Rhône inquiète élus et scientifiques je me demandais quelle pouvait être l'accroissement de la température du Rhône provoquée par les 3734 Mw de la centrale nucléaire de Saint-Alban en amont de Lyon puis la diminution de sa température en aval de cette grande ville après que ses quelques 1000 m³/s soient cette fois refroidis par une généralisation du chauffage thermodynamique par PAC aquathermique dans la 2^{ème} zone urbaine française

Les Lutins

Pour avoir la réponse à vos deux questions il vous suffit d'appliquer le principe de la conservation de l'énergie en écrivant que l'accroissement puis la diminution de la puissance véhiculée par le Rhône est égal respectivement à l'apport de puissance de la centrale de Saint-Alban puis au prélèvement de puissance provoqué par la généralisation du chauffage thermodynamique dans la grande cité phocéenne. Vu le rendement modeste voisin de 30% des centrales nucléaires il est probable que l'augmentation de la température du Rhône provoqué par Saint-Alban est plus important que le refroidissement et ceci même si les 2 millions d'habitants prélevaient l'eau du Rhône pour alimenter leur pompe à chaleur aquathermique. Cette énergie n'est cependant pas négligeable. Je vous renvoie à ce sujet aux chaînes énergétiques et à la formule $v^2_{moy} = 3kT$ faisant intervenir la constante de Boltzmann k . Cette formule prouve que la température est bien représentative de l'énergie et liée à la vitesse des molécules. Le terme QT_c (voir page) qui représente la puissance thermique potentielle véhiculée par l'eau froide du Rhône est considérable par rapport à l'action humaine. Alors que la vitesse des molécules est nulle à la température absolue de -273°C , elle reste considérable à la température de 10°C (-263°K) Sachez que je connais et respecte votre opinion sur la formidable réserve d'énergie thermique renouvelable que constituent nos rivières.

Balendard

Je tiens à vous remercier pour vos bons conseils. Grâce à vous, je commence à mieux comprendre les fondements de la chaleur spécifique. Voilà qui pourrait être un problème de robinets intéressant à introduire par notre futur ministre de l'éducation au baccalauréat technique.

Si T_1 est la température amont et T_2 la température aval et Q le débit du Rhône, on peut écrire si P est la puissance émise ou prélevée par l'homme $T_1 - T_2 = P/Qc$

Avec $Q=1000 \times 10\text{m}^3/\text{s}$ et $c= 4180$ joules/ $^\circ\text{C}$ comme chaleur spécifique de l'eau on trouve ;

Pour l'accroissement provoqué par les 7400 Mw d'apport thermique du nucléaire $T_1 - T_2 = +2^\circ\text{C}$

Pour la diminution provoquée par les - 4000 Mw de prélèvement thermique des PAC $T_1 - T_2 = -1^\circ\text{C}$*

**Sur la base de 40 m² habitable par habitant et de 200 kWh/m²*

La quantité de chaleur Q

La formule suivante s'applique : $Q = m c d\vartheta$ avec :

m masse du produit en kg

c chaleur spécifique du produit en joule/kg et °C

$d\vartheta$ élévation ou diminution de la température du produit en °C

L'unité de la quantité de chaleur est le joule ou 1000 J = 1 kJ (kilojoule). 1

calorie = 4,18 joules

Cas de l'eau

Par exemple dans un système de chauffage, si nous souhaitons augmenter la température de 20 m³ (20 000 kg) d'eau de 30 °C en faisant passer ce volume d'eau de 10 à 40°C, nous avons besoin d'une énergie égale

$$\dot{Q} = V c_e (\vartheta_1 - \vartheta_2) = 20\,000 \times 4,18 \times (40 - 10) = 2\,500\,000 \text{ kilojoules}$$

Soit puisque 1 kWh = 3,6 10³ kilojoules **Q = 695 kWh**

C'est sensiblement l'énergie que nous consommons le matin pour nous laver

Cas de l'air

Le volume d'air de nos appartements est estimé à $V = 15\,600 \text{ m}^3$ (hauteur de plafond 2,6m) et une surface totale habitables de 6000 m²

(grosso modo 100 appartements de 60m²)

Compte tenu de la densité de l'air sec 1 m³ correspond à 1,25 kg soit une masse m de l'air contenu dans notre immeuble à l'intérieur de l'enveloppe de $15\,600 \times 1,25 = 19\,500 \text{ kg}$

Si l'on souhaite assurer le renouvellement de cet air le matin pour des questions d'hygiène de vie alors que la température extérieure est de 0°C il faut fournir une quantité de chaleur pour réchauffer cet air à 20°C température courant dans nos appartements de

$$Q = V c_a (\vartheta_1 - \vartheta_2) = 19\,500 \times 1 \times 20 = 390\,000 \text{ kilojoules}$$

Soit puisque 1 kWh = 3,6 10³ kilojoules **Q = 110 kWh**

Cas du béton

Nos quelques 2000 m² de murs en béton de 20cm d'épaisseur entraîne un volume de béton total de 400 m³ soit avec une masse correspondante m de $400 \times 2,4 = 960 \text{ tonnes}$

L'inertie thermique du béton étant de 0,84 kJ/kg la quantité d'énergie stockée dans nos murs avec 20°C dans les appartements le béton à 10°C

(voir figure 1 page 20 avec une isolation par l'extérieur bien faite) et avec une température extérieure de 0°C est de :

$$Q = m c_b (\vartheta_1 - \vartheta_2) = 960\,000 \times 0,84 \times 10 = 8\,128\,000 \text{ kilojoules}$$

Soit puisque 1 kWh = 3,6 10³ kilojoules **Q = 2240 kWh**

En chutant d'une température de 5°C nos murs restituent une énergie égale à 1150 kWh

Déperditions dans les parois

L'énergie la moins chère est celle que l'on ne consomme pas

Selon les Lutins thermiques, la différence entre les déperditions thermiques d'une habitation construite par un architecte incompetent avec des matériaux constitués uniquement de béton et de vitrage simple, eut-il le meilleur goût, et une habitation respectant les nouvelles normes environnementales pour les habitations neuves est considérable. La première peut entraîner une consommation annuelle de fioul voisine de 60 litres/m² (correspondant à 600 kWh par m² habitable) alors que les déperditions thermiques de la seconde comprenant une isolation particulièrement performante respectant la *réglementation thermique* RT 2012 entraînera une consommation annuelle limitée à 5 litres de fioul /m². La conception d'un immeuble neuf, respectant des normes environnementales aussi sévère¹⁾ est naturellement totalement différente de celle d'un immeuble ancien.

Matière	Coefficient λ des parois * watt/m et °C	Coefficient ζ de déperdition des parois watt/m ² °C
<i>Parois transparentes</i>		
Air	0,024	
Vitrage simple	Verre	5,7
Double vitrage		1 à 1,4 selon solution
Le vide		Extrêmement faible
<i>Parois opaques</i>		
Béton plein	2	10 (pour 20 cm d'épaisseur)
Polystyrène	0,036 à 0,058 (selon type)	Valeur moyenne 0,88 (pour 5 cm d'épaisseur)
Polyuréthane	0,035	Valeur moyenne 0,44 (pour 8 cm d'épaisseur)
Panneaux isolants sous vide (PIV) ²⁾		Valeur moyenne 0,008 (Pour une épaisseur voisine de 2 cm)
Bois	0,2	
PVC	0,17	
<i>Métal</i>		
Aluminium	230	En comparant les coefficients λ entre le PVC et le bois on comprend pourquoi une rupture du pont thermique est indispensable avec les fenêtres coulissantes en aluminium
Cuivre	386	Très important

Les Lutins thermiques

* Sous-entendu pour 1m d'épaisseur et pour une unité de surface soit 1m² dans le système SI.

Un immeuble est un quelque sorte une enveloppe (une boîte appelée **bâti** dans les revues spécialisées) chauffée de l'intérieur en hiver et de l'extérieur en été. Evaluer le besoin thermique réel d'une habitation n'est pas simple. Les Lutins thermiques constatent que la *thermographie* ne permet pas encore en 2011 d'évaluer avec une précision suffisante le Coefficient de déperdition des parois et ils espèrent que cette technologie deviendra rapidement quantitative en complément de son utilité comparative actuelle. Une mauvaise interprétation des deux coefficients λ et ζ entraîne parfois des erreurs dans le calcul des pertes thermiques dans les parois. Il est possible de trouver ζ connaissant λ on a en effet $\zeta \lambda e$ e étant l'épaisseur de l'isolant.

Exemple 1 20 cm de béton $\zeta_b 2 / 20,2 = 10 \text{ watt/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$

Exemple 2 5 cm de (bon) Polystyrène $\zeta_{ps} 0,04 / 5,05 = 0,8 \text{ watt/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$
en d'autre terme le béton est une passoire

Pour déterminer la puissance instantanée traversant la paroi la formule suivante s'applique : $W = S \zeta d\theta$ avec :

S Surface de la paroi en m²

ζ Coefficient ζ de déperdition des parois en watt/m² et °C

$d\theta$ Différence de température de part et d'autre de la paroi °C

On parle aussi de la résistance $R = 1/\zeta$ de la paroi en m² et °C/watt. Si l'on met deux couches isolante de résistance R_1 et R_2 l'une sur l'autre la résistance de l'ensemble est égale $R_1 + R_2$. Par exemple si l'on met une vêtue ayant le même coefficient de déperdition que la couche de polystyrène actuelle de 0,8 watt/m² et °C on a une résistance globale double $R = 1/0,8 + 1/0,8 = 2,5$ soit un nouveau coefficient de déperdition globale $\zeta = 1/R = 0,4$ watt/m² et °C et l'on perd deux fois moins d'énergie.

La difficulté dans l'isolation d'un bâtiment est d'investir un minimum en regard des économies d'énergie réalisées. Investir dans la pose d'un isolant 1,5 € par kWh économisé annuellement avec un prix de revient de l'énergie primaire à 0,1 €/kWh conduit à un temps de retour économique hors aide fiscale de 15 ans soit environ 8 ans avec une aide fiscale de 50%. Si le Maître d'ouvrage en accord avec le syndicat des copropriétaires juge qu'un tel retour économique est trop long, la faculté des chaufferies modernes de s'adapter au besoin thermique beaucoup mieux que ne le faisait les anciennes chaudières autorise de limiter l'investissement à la modernisation de la chaufferie. Dans ce cas l'aide fiscale est plus faible et limitée au crédit d'impôt fonction du prix du matériel hors MO. Cette aide fiscale assez faible ne peut être comparée à celle consenti au titre d'un « bouquet de travaux » associant l'isolation du bâtiment et la modernisation de la chaufferie. On bénéficie dans ce dernier cas non seulement de l'amélioration du rendement chaufferie diminuant le prix de revient du kWh thermique (Chaudières nouvelle génération équipées de la condensation ou mieux d'une génération d'ENR) mais aussi d'une aide fiscale pouvant atteindre 50% de l'investissement global ce qui réduit significativement le temps de retour économique.

Exemple

*Calcul de retour économique en région parisienne DJU = 2400 °C
avec période de chauffe de 240 jours*

Cas du vitrage

Estimation de retour économique pour pose de double vitrage en remplacement d'un simple vitrage ($\Delta T = 1$ watt/m² et °C au lieu de 5). Pour une différence de température moyenne de 10 °C, la puissance thermique moyenne perdue en moins est de 40 watt/m². Le gain annuel en énergie thermique est donc $0,04 \times 365 \times 24 = 350$ kWh par m² (Energie = puissance x temps). En supposant que les frais d'implantation des fenêtres avec double vitrage soit de 500€/m² posé l'investissement de départ est de $500/350 = 1,42$ € par kWh économisé annuellement. A raison d'une énergie fioul à 0,09€/KWh (correspondant sensiblement à 0,9 € le litre de fioul) le temps de retour économique est important, $1,42/0,09 = 16$ ans*

*** Nota**

On peut s'interroger des raisons pour lesquelles le retour sur investissement est si long. Certes la pose d'un double vitrage avec le cadre demande du travail mais avec un prix moyen de 500€/m² posé les prix français malgré une énorme concurrence sont 2 à 3 fois plus élevés que les prix allemands. A titre d'information, à l'occasion de la rénovation thermique d'un immeuble à Berlin comprenant la fourniture de triple vitrage sur 4 Fenêtres identiques en PVC blanc inter / couleur bois exter avec ouverture deux axes couvrant une surface totale de 7,8 m², le prix total comprenant la fourniture et la pose avec l'évacuation des anciennes fenêtres a été de 1900 € taxes comprises soit 243 €/m² alors qu'en France pour un prix de 500€/m² il s'agit la plupart du temps de double vitrage. Plusieurs raisons peuvent expliquer les raisons pour lesquelles les prix de vente pratiqués en France pour les doubles ou triple vitrages sont trop élevés :

La position de monopole de St Gobain* aggravée par le salaire mensuel de son principal dirigeant (JL Beffa 850 000 €). Il est logique qu'avec un tel salaire les dirigeants de Saint Gobain perdent toute notion de la valeur des choses. Ils feraient bien de lire le livre de "Blue ocean strategy" dans lequel les deux étudiants de l'INSEAD W.Chan Kim et Renée Mauborgne abordent avec beaucoup de bon sens la notion de « prix marché ». Avec des prix aussi élevés, la rénovation thermique des doubles et triples vitrages dans les bâtiments anciens français est par la force des choses ralentie. Le dynamisme des vendeurs et le besoin thermique engendré par l'augmentation prévisible du prix des énergies fossiles sont tels que l'activité n'est pas totalement au point mort. Elle perdure grâce à la vente au " K par K " qui augmente les marges du vendeur avec pour conséquence la difficulté pour le Maître d'œuvre d'obtenir un prix de rénovation globale permettant de baisser les prix et d'accélérer la rénovation thermique des immeubles. Le coût d'une rénovation dans la

Les Lutins thermiques

foulée de toutes les fenêtres d'un immeuble à la saison chaude permet non seulement d'obtenir un prix quantitatif pour le matériel mais également un prix plus faible pour la main d'œuvre par le fait qu'avec l'habitude, les ouvriers mettent moins de temps pour la pose ce qui réduit les frais. Le rôle passif du syndic qui laisse faire et attend qu'un consensus se dessine au sein des copropriétaires, l'endormissement du législateur qui s'obstine à considérer que les fenêtres sont privatives pour la rénovation ainsi qu'un nombre d'intermédiaires trop importants, la société assurant la pose n'étant pas nécessairement le constructeur de la fenêtre n'accélère pas le mouvement.



Autre exemple de pont thermique : celui constitué par les pièces en aluminium constituant le dormant d'une fenêtre (l'absence de rupture de pont thermique constitué par les pièces grisées en PVC ou en polyamide chargé de verre augmente les déperditions, la valeur de Ug de l'ensemble vitre dormant pouvant doubler par rapport au Ug du double vitrage)

- Triple vitrage pour les surfaces vitrées.
- Ventilation mécanique contrôlée avec récupération de chaleur.

On réfléchit en France sur la méthodologie à adopter pour espérer atteindre un tel niveau dans un immeuble ancien se situant sensiblement au milieu de la fourchette disons 300 kWh/m² habitable.

An advertisement for RORO window frames. It features a cross-section of the window frame and lists several benefits in German. The price is prominently displayed as 'ab 236,99'.

RORO
TÜREN · FENESTER

IHRE VORTEILE

- 3-fach Wärmeschutzverglasung (Ug 0,7)
- 2-fache Dichtung, weiß
- 6-Kammer-Profil (80 mm Bautiefe)
- besser als die Anforderung der Energieeinsparverordnung (EnEV)
- inkl. Stahlkern

ENERGIESPAREND

5
JAHRE
GARANTIE

ab **236,99**

QUALITÄTS-ENERGIESPARFENSTER ***
6-Kammer-Profilsystem, flächenversetzt, Profiltiefe 80 mm, optimale Stabilität durch wabenförmige Kammeraussteifung, Stahlverstärkung im Blendrahmen und Flügel, Marken-Dreh-/Kippbeschlag mit Schließteilen aus gehärtetem Stahl, z. B. 88,5 x 88,5 cm **236,99**

L'utilisation de profil en PVC permet de réduire les déperditions :

Exemple d'une fenêtre triple vitrage de 0,8 m² en PVC de construction allemande, ayant un Ug de 0,7 watt/m² et °C pour un prix de vente de 300 €/m²

Parois opaques verticales

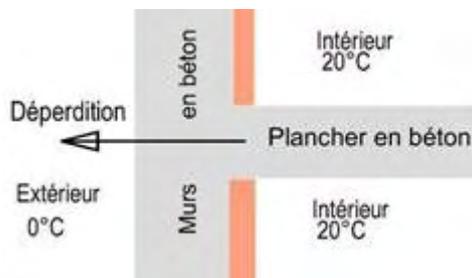
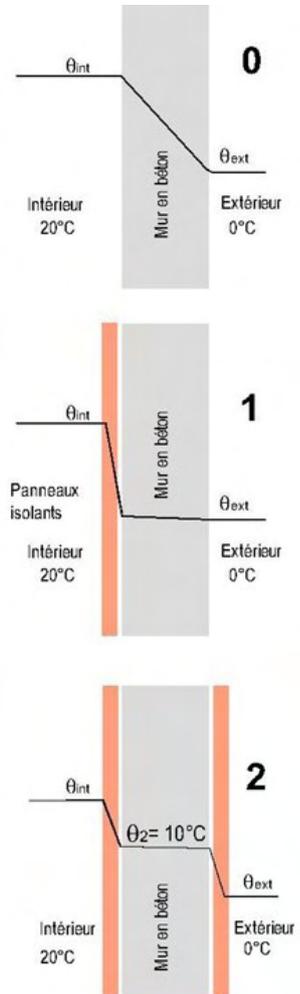
Cas 1

Pour pose d'un panneau isolant sous vide (PIV) sur un mur en béton de 20cm non isolé ($\zeta = 10 \text{ watt/m}^2 \text{ et } ^\circ\text{C}$)

Pour un bâtiment en région parisienne DJU = 2400 °C avec une période de chauffe de 240 jours la différence de température moyenne de température entre l'extérieur et l'intérieur est de 10°C. Avec une puissance thermique moyenne perdue de $10 \times 10 = 100 \text{ watt/m}^2$, l'énergie perdue en moins annuellement grâce au PIV est donc de $0,1 \times 365 \times 24 = 876 \text{ kWh}$ par m^2 (energie = puissance x temps). En supposant que les frais d'implantation de ce PIV ne soit que de 100€/m² posé (Fourniture de l'isolant de 60€ /m² + pose à 40 € /m² on investit dans la pose de cet isolant $100 / 876 = 0,114 \text{ €}$ par kWh économisé annuellement. A raison d'une énergie fioul à 0,09€/kWh (correspondant sensiblement à 0,9 € le litre de fioul) on peut estimer un retour économique inférieur à 2 ans avec un tel isolant. (1,26 an)

Cas 2

et pose d'un panneau isolant sous vide (PIV) sur un mur en béton de 20cm déjà isolé de l'intérieur de 5 cm de polystyrène le R initial est $R = 1/0,88 + 1/10 = 1,13 + 0,1 = 1,23$ soit un nouveau coefficient de déperdition globale $\zeta = 1/R = 0,8 \text{ watt/m}^2 \text{ et } ^\circ\text{C}$ et un temps de retour économique de 2,5 années



Ponts thermiques

Les Lutins thermiques



Il n'est pas possible avec une isolation par l'intérieur d'éviter les déperditions thermiques au niveau des planchers en béton

Type paroi	Prix isolant posé €/m ²	Prix isolant posé exprimé en € / kWh économisé annuellement	Coût de l'énergie primaire € / kWh (FOD) (janvier 2012)	Retour économique Années
Vitrage	500	1,42	0,9 € / kWh	16ans
PIV sur mur béton non isolé	60	0,068	0,9 € / kWh	2 ans
PIV sur mur béton isolé inter	60	pratiquement équivalent au mur avec 5 cm polystyrène	0,9 € / kWh	environ 2 ans 1/2
Pont thermique	60	0,14	0,9 € / kWh	3 ans

¹⁾ Parmi ces différences on peut citer dans le cas d'un immeuble avec une distribution hydraulique de l'énergie (fioul, gaz, PAC ou géothermie profonde) :

- Tuyauteries du circuit de chauffage et d'eau chaude sanitaire à l'intérieure de l'enveloppe.
- Isolation des tuyauteries d'eau chaude sanitaires dans les gaines verticales.
 - Isolation du bâtiment par l'extérieur pour éviter les ponts thermiques au niveau des planchers.

Les Lutins thermiques

2)

Le panneau isolant sous vide (**PIV**) nouvelle génération, offre des capacités thermiques exceptionnelles. Son coefficient de conductivité thermique λ se situe en effet entre 0,0042 et 0,0050 W/m.K. Concrètement, 2 cm de **PIV** est équivalent à 12 cm de polystyrène expansé ou 18 cm de laine minérale. Produit en quantité moindre et encore rare sur le marché par rapport aux laines minérales, le PIV est un isolant cher : entre 40 et 60 € le m². Le **PIV** a surtout été utilisé jusqu'à présent par les frigoristes dans la filière de l'emballage. Leur conductivité thermique est, à épaisseur égale, environ 8 fois moins importante que les meilleurs isolants traditionnels tels que la mousse de polyuréthane. Ils commencent à être utilisés pour les isolation par l'intérieur (**ITI**) des petits studios et appartements de 2 pièces en raison du gain de place. Ils pourraient prochainement améliorer les conditions de mise en œuvre des façades et des toitures où ils sont en passe d'être utilisés dans le bâtiment pour les isolations par l'extérieur (**ITE**). Il est en effet souhaitable à l'occasion du ravalement d'une façade d'immeuble de procéder à la mise en place d'une isolation qui affecte le moins possible le volume initial de la construction pour ne pas trop modifier la disposition des huisseries ou de la couverture. Les allemands, en pointe dans ce domaine sont en passe de commercialiser des panneaux PIV multicouches plus faciles et moins coûteux à produire. Dans le processus de fabrication testé de manière industrielle par les chercheurs, de la silice amorphe nano poreuse pyrogénée est enveloppée de deux films d'aluminium et mise sous vide. Le produit final, meilleur et moins cher que les PIV actuels utilisées dans l'emballage devra résister 50 ans une fois posés en façade et subit actuellement des tests à long terme. Les conditions de mise en œuvre doivent tenir compte du fait qu'en cas de percement de la couche d'alu, les propriétés d'isolation thermique du panneau sont notablement affectées. On peut raisonnablement espérer avec de telles techniques une économie importante en combustible.

Les Lutins et la conservation de l'énergie

Le site Wikipédia sur la loi de conservation de l'énergie évoque les multiples aspects de cette loi fondamentale. Les Lutins thermiques l'abordent ici dans le cadre de la consommation d'énergie des logements en étudiant le système formé par un immeuble et sa chaufferie en régime transitoire puis en régime établi. Ils envisagent d'introduire ces notions non évoquées sur le site de Wikipédia en incluant la dernière image de cette page importante selon eux pour quantifier les ENR pouvant être produite par le chauffage thermodynamique.

A) En régime transitoire

Trop souvent les études thermiques effectuées ne sont que partielles et ne font intervenir que la chaleur spécifique ou les effets de paroi. En régime transitoire la puissance de la chaudière est principalement utilisée pour réchauffer l'air ambiant à l'intérieur de l'immeuble. Au fur et à mesure que cet air se réchauffe une partie d'autant plus grande de la puissance consommée est dissipée vers l'extérieur par conduction au travers des murs, des fenêtres, et des plafonds terrasses. Lorsque l'on atteint le régime permanent la température de l'air ambiant n'augmente plus et la puissance fournie par la chaudière est entièrement dissipée vers l'extérieur. *Le principe de la conservation de l'énergie* permet d'écrire que pendant un temps dt l'énergie fournie par la chaudière a été utilisée à deux fins:

- La première a servi à élever de $d\theta$ la température du volume d'air V soit $V_a c_a d\theta$
 c_a étant la chaleur spécifique de l'air exprimée en joule/m³ et °C sensiblement égale à 10⁴ joule/m³ et °C
- La deuxième a été rayonnée vers l'extérieur et a pour valeur $\zeta S \theta dt$
 (ζ étant le coefficient de déperdition des parois exprimé en Watt/m² °C et S la surface des parois)

On a donc P étant la puissance de la chaudière en watt $Pdt = Vc_a d\theta + \zeta S \theta dt$ 1)

En divisant par dt on a : $P = Vc_a d\theta/dt + \zeta S \theta$ soit en utilisant la transformée de Laplace p

$$P = Vc_a p \theta + \zeta S \theta \quad \text{et} \quad \theta/P = 1/(\zeta S (1 + \tau p)) \quad 2)$$

Avec une constante de temps

$$\tau = Vc_a / \zeta S \quad 3)$$

Le comportement thermique de notre immeuble en fonction du temps est donc régi par une fonction linéaire du premier ordre. Si l'on coupe la chaudière en hiver alors qu'il fait une température extérieure de 0°C (échelon de Dirac) on peut donc savoir qu'elle est la variation de la température de l'air dans les appartements en fonction du temps $\theta = f(t)$.

La fonction est exponentielle :

- Variation de la température dans les appartements lorsqu'on arrête la chaudière $\theta = \theta_0 e^{-At}$ avec $A = 1/\tau$
- Temps nécessaire pour élever la température de θ $t = -\tau \ln(1 - (4,18 \zeta S \theta / P))$

En pratique la constante de temps donnée par la formule 3) est considérablement majorée en raison de la quantité d'énergie très importante contenue dans les planchers en béton.

L'isolation du bâtiment, qu'elle soit prévue par l'extérieur ou par l'intérieur n'a que peu d'influence sur la constante de temps.

L'équation 1) devient $P = (V_a c_a + m_b c_b) p \dot{\theta} + \zeta S \dot{\theta}$

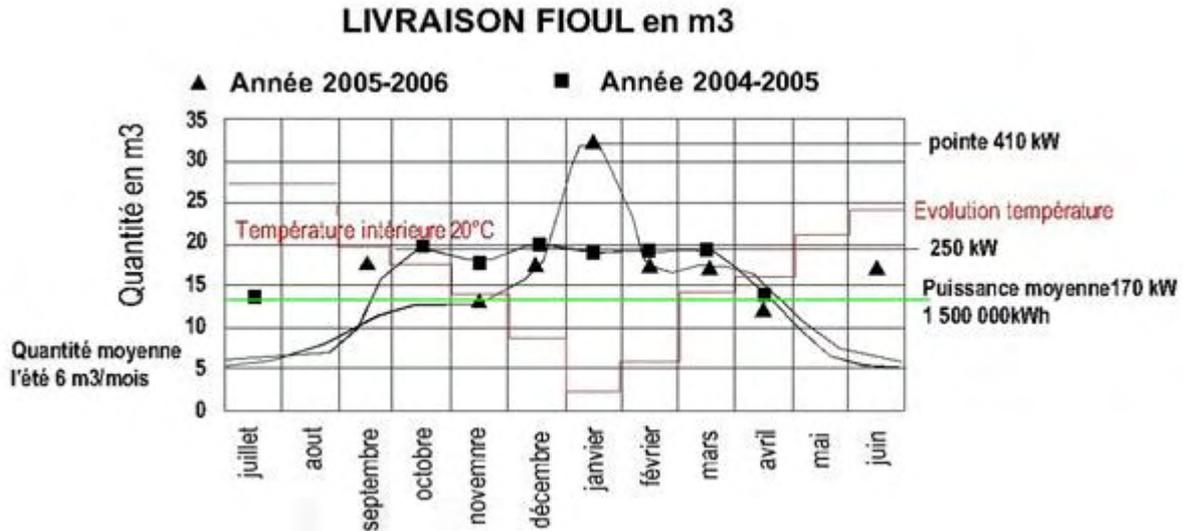
m_b étant la masse des planchers en béton avec une nouvelle constante de temps² nettement plus importante. $\tau = (V_a c_a + m_b c_b) / \zeta S$ 4)

Application numérique simplifiée sans isolation préalable

Hypothèses

Prenons à titre d'exemple un grand immeuble datant de 1968 été assez bien isolé pour l'époque mais est très en retard par rapport aux normes actuelles.

Il consomme bon an mal an 150 m³ de fioul par an soit sur la base de l'équivalent calorifique de un litre de fuel (10 kWh) 1 500 000 kWh par an. Pour simplifier disons qu'il comprend une centaine de petits appartements de 60m² soit une surface habitable totale approximative de 6 000 m². Cet immeuble, pourtant correctement isolé pour l'époque a donc un coefficient moyen de déperdition annuel par m² habitable de l'ordre de 250 kWh, nettement supérieur aux normes actuelles (80 kWh en 2000 et évoluant vers 50 en 2015). Ces coefficients ne tiennent pas compte de la température extérieure et n'ont qu'une valeur indicative. La consommation au titre du sanitaire a été estimée à environ 40% et semble difficilement compressible. Par contre il semble acquis au travers de cette application numérique qu'une économie préliminaire de l'ordre de 35% sur le chauffage soit possible. Soit une économie voisine de 320 000 kWh par an et une nouvelle consommation effective de l'ordre de 110 m³ au lieu de 150 sur la base d'une température extérieure sensiblement équivalente. L'examen des courbes de consommation en fioul de l'hiver 2004-2005 serait encore plus instructif avec la courbe de l'évolution des températures extérieures pendant cet hiver particulier.



Courbes de consommation en fioul de l'immeuble (Puissances calculées sur la base de l'équivalent calorifique de un litre de fioul (10 kWh). Le comptable du syndic détient généralement ces informations

Il faut savoir que Météo France garde dans ses bases de données ce type d'information. Il faut donc payer. Je ne vais pas aux manifs mais je me rappelle d'une pancarte qui avait retenu mon attention ; *"Nous ne voulons plus payer pour être informé"*. Il faut dire que la dépense n'est pas très élevée en regard de l'importance de l'information (coût 43 €) En supposant que la température entre novembre 2004 et mars 2005 ait été de 0°C et que la puissance moyenne affectée au chauffage n'ait été que de 60% de notre consommation totale soit 150 kW cela conduit à une consommation en kWh sur 5 mois de $150 \times 5 \times 30 \times 24 = 540\,000$ kWh et à une déperdition moyenne ζ en Watt/m² et °C de $150\,000 / (4500 \times 20) = 1,66$ watt* / m² et °C compte tenu de la surface totale des parois (terrasses, murs, surfaces vitrées et sous sol).

S en m² estimé de l'ordre de 4500 m² ce qui n'est pas trop mauvais. En l'absence du relevé Météo France l'incertitude sur ζ est importante :

- * Fourchette basse avec une température extérieure de -5°C : 1,3 watt / m² et °C
- Fourchette haute avec une température extérieure de +5°C : 2,1 watt / m² et °C

1) Gradient maximum de montée en température en régime transitoire.

Pour l'obtenir, il suffit d'écrire que l'énergie fournie par la chaudière au début de la chauffe part uniquement en élévation de la température de l'air (température dans les appartements suffisamment proche de la température extérieure pour que la déperdition par les murs soit négligeable). Soit $P dt = V c d\theta$ ou $d\theta / dt = P / Vc = 150 \cdot 10^3 / 15\,600 \times 1250 = 0,0077$ °C/s (**0,46 °C/mn**)

soit une constante de temps du transitoire τ_1 égale à $20/0,0077 = 2600$ s.

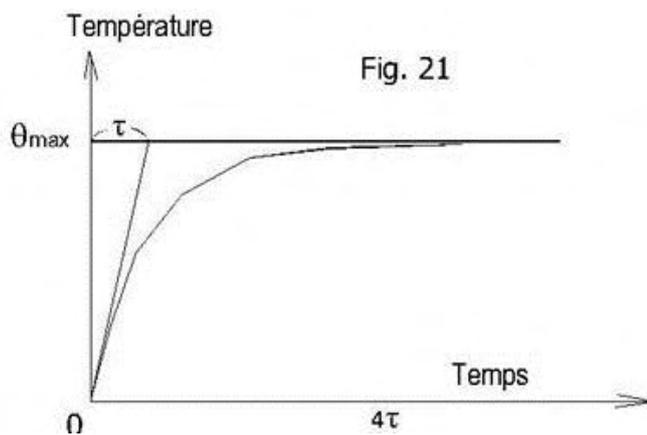
Si la chaudière est mise en marche alors que la température dans les appartements est égale à la température extérieure de 0°C la température maximum de 20°C dans les appartements est sensiblement atteinte après un temps de montée en température de $4 \tau_1$ soit après environ 3h.

La connaissance de la constante de temps du transitoire $\tau = Vc^* / \zeta S = 2600$ s permet de recalculer le coefficient de déperdition moyen des parois

$$\zeta_1 = Vc / \tau S = (15\,600 \times 1250) / (2600 \times 4700) \approx 1,6 \text{ watt / m}^2 \text{ et } ^\circ\text{C}$$

* Pour information :

Densité de l'air sec à la pression atmosphérique : environ $1,25 \text{ kg/m}^3$



2) Gradient maximum de chute de température lorsque l'on arrête la chaudière (régime transitoire)

En tenant compte uniquement de la chaleur spécifique de l'air

Pour l'obtenir il suffit d'écrire que lorsque l'on coupe la chaudière alors que l'on avait atteint la température maximum de stabilisation $\theta_{\max}=20^\circ\text{C}$ dans les appartements, l'énergie dissipée par les murs continue à être égale momentanément à celle qui était fournie par la chaudière avant la coupure. Soit en faisant $P = 0$ dans la formule 1).

$$Vc \, d\vartheta + \zeta S \vartheta_{\max} \, dt = 0 \text{ soit}$$

$$d\vartheta / dt = - \zeta S \vartheta_{\max} / Vc = - 1,6 \times 4700 \times 20 / 15600 \times 1250 = - 0,0077 \text{ } ^\circ\text{C/s.}$$

On retrouve (en valeur absolue) le même gradient maximum au début du refroidissement. Ce résultat est d'ailleurs conforme aux deux formules 2) et 3), la

Les Lutins thermiques

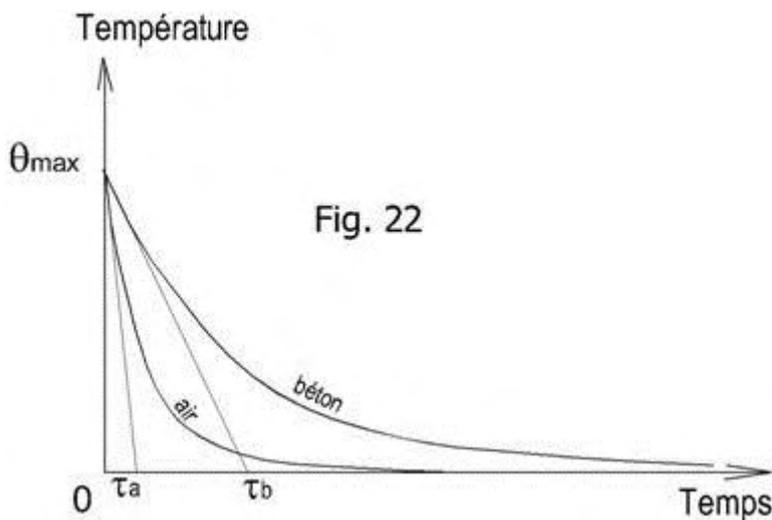
constante de temps du transitoire étant la même que l'on soit en phase de réchauffement ou de refroidissement. Au bout d'un temps $t = \tau$ soit en moins d'une heure, la température dans les appartements aurait chuté de plus de 10°C ce qui laisserait bien peu de temps pour réparer la chaudière !

En pratique l'inertie thermique des planchers en béton et à degré moindre des murs augmentent beaucoup ce temps. Pour l'obtenir il suffit d'écrire que lorsque l'on coupe la chaudière alors que l'on avait atteint la température maximum de stabilisation $\vartheta_{max}=20^{\circ}\text{C}$ dans les appartements, l'énergie dissipée par les murs continue à être égale momentanément à celle qui était fournie par la chaudière avant la coupure. Soit en faisant $P = 0$ dans la formule 1).

$$Vc \, d\vartheta + \zeta S \vartheta_{max} \, dt = 0 \text{ soit}$$

$$d\vartheta / dt = - \zeta S \vartheta_{max} / Vc = - 1,6 \times 4700 \times 20 / 15600 \times 1250 = - 0,0077 \text{ }^{\circ}\text{C/s.}$$

On retrouve (en valeur absolue) le même gradient maximum au début du refroidissement. Ce résultat est d'ailleurs conforme aux deux formules 2) et 3), la constante de temps du transitoire étant la même que l'on soit en phase de réchauffement ou de refroidissement. Au bout d'un temps $t = \tau$ soit en moins d'une heure, la température dans les appartements aurait chuté de plus de 10°C ce qui laisserait bien peu de temps pour réparer la chaudière ! En pratique l'inertie thermique des planchers en béton et à degré moindre beaucoup ce temps.



En tenant compte de la chaleur spécifique des planchers en béton

La constante de temps tenant compte de l'inertie thermique du béton s'obtient à partir de la formule 4) $\tau = (V_a c_a + m_b c_b) / \zeta S = \tau_1 + \tau_2$

Les Lutins thermiques

Elle montre que la constante de temps avant isolation de τ_a de 2600 s avant isolation est majorée de $\tau_b = m_b c_b / \zeta S$

Soit $\zeta_b = (2\,880\,000 \times 840) / (1,6 \times 4700) = 321\,000$ secondes La nouvelle constante de temps de l'ordre de 90 heures est beaucoup plus confortable.

Nota : Le temps mis pour que la température chute de 3°C dans les appartements avec les mêmes conditions de température extérieure et intérieure lorsque l'on arrête la chaudière devient égal à :

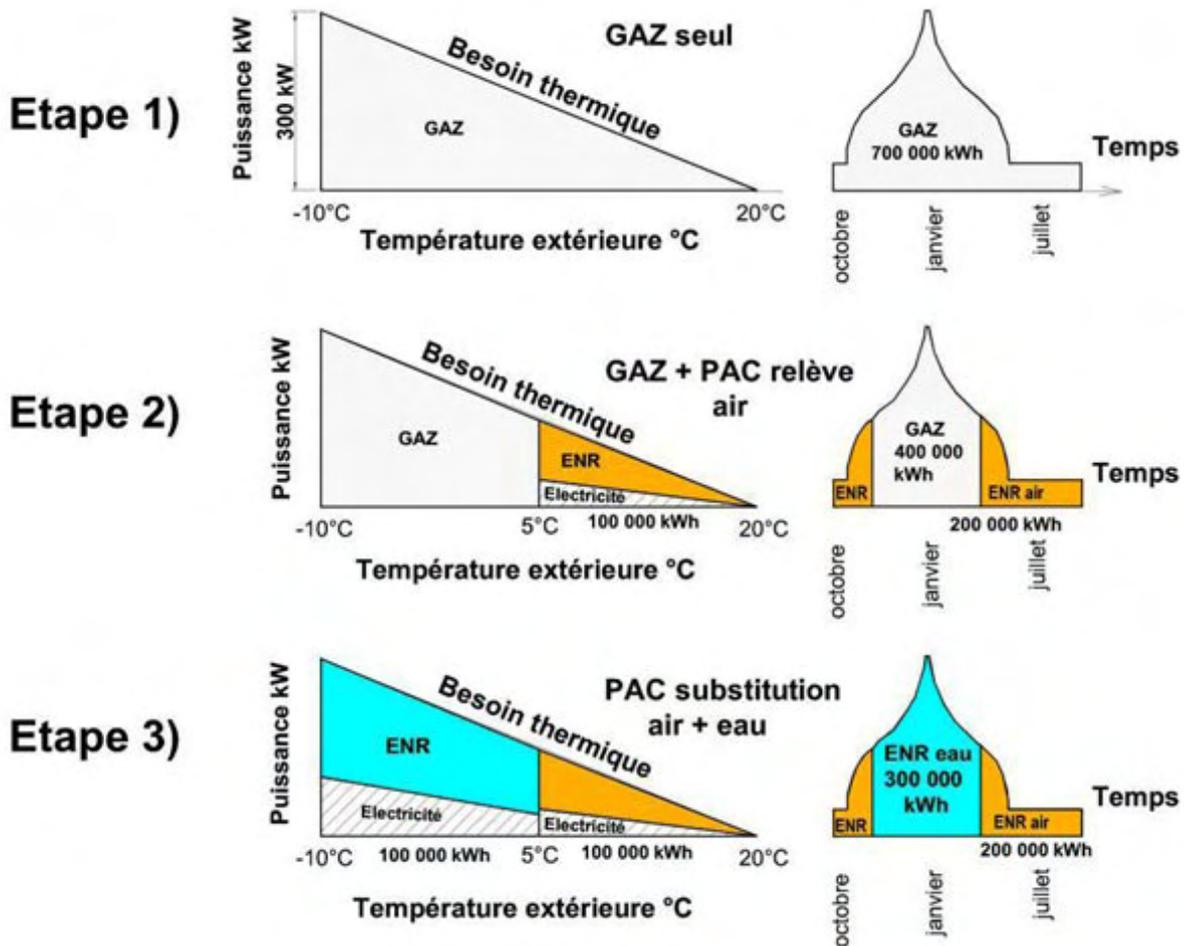
$$(321\,000 \times 3) / 20 = 48\,150 \text{ secondes soit environ } \mathbf{13 \text{ h}}$$

La constante de temps thermique d'une habitation est influencée par le type d'isolation prévue pour les murs. Lorsque l'on isole l'habitation par l'intérieur, l'influence de l'inertie thermique des murs est négligeable, ceux-ci étant en effet pratiquement à la même température que la température extérieure. Si l'on procède à une double isolation inter/exter de qualité équivalente pour chacune d'elle on comprend intuitivement que le béton se trouve à la moitié de la température de la pièce. Lorsque l'on coupe la chaudière on profite alors de l'inertie thermique du béton et la constante de temps de l'immeuble augmente encore. Lorsque l'immeuble n'est pas isolé les murs emmagasinent sensiblement la même quantité d'énergie que dans le cas de l'isolation double.

Avec une isolation par l'extérieur, les murs en béton sont pratiquement à la température de la pièce et ils emmagasinent une quantité de chaleur plus importante. L'inertie thermique des murs joue alors un rôle plus important sur le comportement thermique de l'habitation et lorsque la chaudière s'arrête, la température dans les pièces chute un peu moins rapidement. La plupart du temps, les planchers haut (terrasses) et bas (plafonds des caves) peuvent être considérés comme des murs ayant une isolation par l'extérieur du type **3**).

B) En régime établi

La loi de conservation de l'énergie peut aussi être utilisée pour définir la répartition des énergies positives et négatives générées annuellement par ce même système en régime établi. Dans un système dit fermé n'échangeant pas de matière avec le milieu extérieur, ce que perd le système est compté négativement et ce qu'il reçoit, l'énergie électrique d'entraînement du compresseur ainsi que celle provenant de l'environnement est compté positivement. Prenons l'exemple d'un immeuble consommant bon an mal an 100 m³ de fioul par an pour assurer le chauffage et la fourniture d'eau chaude sanitaire. En passant au chauffage gaz et en évoluant vers la condensation avec des gaz brûlés ayant une température plus proche de 40°C que de 150°C les performances sont déjà améliorées de 10% (Ceci avec des gaz brûlés à 150°C avec le fioul et 1% d'amélioration par 15°C de baisse de température sur ces gaz)



Pour un besoin thermique pendant la période de chauffe de 700 000 kWh

Les Lutins thermiques

Etape 1) L'énergie perdue par déperdition dans les parois (0,7 MWh) est égale à l'énergie thermique produite par la chaufferie du fait de la combustion

Etape 2) L'énergie perdue par déperdition dans les parois (0,7MW) est égale à l'énergie thermique produite par la chaufferie du fait de la combustion pendant la période de chauffe (0,4 MWh) majorée de l'énergie produite par le complément thermodynamique (COP 3) générée en mi - saison, ce complément comprenant deux termes:

- l'énergie électrique d'entraînement du compresseur transformée en chaleur lors de la compression du fluide frigorigène (0,1 MWh)

- l'énergie prélevée dans l'air environnant et obtenue en le refroidissant (0,2 MWh)

On retrouve bien $0,4 + 0,2 + 0,1 - 0,7 = 0$

Etape 3) L'énergie perdue par déperdition dans les parois (0,7MW) est égale à la somme des énergies prélevées dans l'environnement :

- dans l'eau de la nappe libre ou dans la rivière pendant la période de chauffe (0,3MWh)

- dans l'air environnant hors période de chauffe (0,2MWh), majorée de la somme des énergies électrique d'entraînement du compresseur transformée en chaleur lors de la compression du fluide frigorigène pendant la période de chauffe (0,1 MWh) majorée de celle nécessaire à l'entraînement de ce même compresseur en mi saison (0,1 MWh)

On retrouve bien $0,3 + 0,2 + 0,1 + 0,1 - 0,7 = 0$

Ceci avec un COP de 4 pendant la période de chauffe avec l'eau et le même COP de 3 en mi saison avec l'air

Les Lutins thermiques et les chaînes énergétiques

J'ai fait part dernièrement aux Lutins de mon intérêt pour les principales chaînes alimentaires des espèces vivantes dans les cours d'eau ¹⁾ et dans la mer ²⁾. Je leur ai expliqué que la nuit, le zooplancton, se rapprochait de la surface de la mer pour se nourrir de phytoplancton qui a besoin de la lumière du soleil en raison de son origine végétale (photosynthèse). Lorsque je leur ai dit que j'étais fasciné de savoir que le jour, il migrerait vers les profondeurs pour échapper à ses prédateurs, ils en ont profité pour évoquer l'énergie et la présence de plusieurs chaînes énergétiques. Ils ont insisté sur le fait que certaines chaînes énergétiques préservaient plus notre environnement que d'autres. Ils m'ont assuré aussi que certaines d'entre elles risquaient d'affecter dangereusement notre environnement, de rompre les chaînes alimentaires nécessaires à notre survie et d'affecter dangereusement notre pouvoir d'achat. *"On ne changera pas l'énergie"* ont-ils dits, *"elle restera mécanique, hydraulique, électrique, thermique, ce qui changera c'est la façon dont l'homme converti ces différentes formes d'énergie entre elles en profitant des propriétés de la matière"*.

Les Lutins sont mathématiciens par obligation, et pour me convaincre, ils ont attirés mon attention sur une formule

$$\left[\frac{(T_c - T_f)}{T_c} \right] \times \left[\frac{T_c}{(T_c - T_f)} \right] = 1$$

4) 5)

Ils n'ont pas eu de mal à me convaincre qu'elle était exacte algébriquement. J'ai compris en visualisant le cycle de Carnot dans le cas d'une machine thermique telle qu'une locomotive à vapeur, une turbine à gaz ou un moteur à combustion fournissant de l'énergie mécanique, j'ai réalisé, en faisant appel à mes vieux souvenirs sur l'équation des gaz parfaits $PV = nRT$ que le premier terme $(T_c - T_f)/T_c$ correspondait à l'efficacité de ces machines. En effet d'après l'équation des gaz parfaits, T_c correspond bien à l'énergie consommée puisque $P_c V_c = nRT_c$, et $T_c - T_f$ à l'énergie mécanique produite. Cette dernière étant égale, d'après la loi de conservation de l'énergie, à l'énergie consommée diminuée de ce qui est malheureusement perdue dans la nature et qui est loin d'être négligeable, soit $P_c V_c - P_f V_f = nR (T_c - T_f)$. En observant le deuxième terme $T_c/(T_c - T_f)$, j'ai compris que celui-ci représentait l'efficacité de la pompe à chaleur fonction des températures des sources chaude et froide aussi appelé COP*, le cycle de Carnot se faisant dans le sens inverse de celui d'une pompe à chaleur et le système recevant de l'énergie mécanique au lieu d'en fournir.

Lorsque je leur ai dit après cette intense réflexion que leur formule me faisait donc penser à deux machines thermiques ayant les mêmes températures aux sources

Les Lutins thermiques

chaude T_c et froide T_f , la première fournissant de l'énergie mécanique (style turbine à gaz) l'autre en recevant (style pompe à chaleur) ils m'ont dit que j'avais raison. Lorsque j'ai comparé l'efficacité de ces deux machines par le calcul en leur communiquant les résultats de mon calcul ³⁾ ils m'ont encore donné raison en attirant mon attention sur le fait que l'efficacité de chacune de ces deux machines thermiques devait se calculer indépendamment et qu'il n'était pas nécessaire de connaître l'une pour calculer l'autre. Rien ne prouve m'ont-ils dit, que l'on puisse créer une machine thermique fournissant de l'énergie mécanique ayant les mêmes températures T_f et T_c aux sources froide et chaude que celles d'une pompe à chaleur. Ils m'ont confirmé que la température était bien représentative de l'énergie et liée à la vitesse des molécules d'après la formule $v_{\text{moy}}^2 = 3kT$ avec : k = constante de Boltzmann = constante des gaz parfaits R / nb d'Avogadro = $1.38 \cdot 10^{-23}$ Joules/K. Dans la machine thermique fournissant de l'énergie mécanique on élève la température à la source chaude pour accélérer les molécules et récupérer un peu plus d'énergie mécanique alors que dans la pompe à chaleur on abaisse au contraire la température de la source chaude pour diminuer l'énergie mécanique que l'on doit payer.

Du point de vue physiologique c'est la température qui est importante m'ont-ils dit et un peu d'énergie mécanique c'est souvent beaucoup trop de température. Pour les êtres vivants une variation de quelques degrés centigrades est extrêmement importante. Les Lutins thermiques ont pour finir insisté sur le fait qu'il fallait se méfier de deux types de chaînes énergétiques : Celles produisant de l'énergie mécanique ou pire de l'énergie électrique à partir de la combustion des produits fossiles en raison de leur effet néfaste sur le réchauffement climatique.



Image Michel Copin

Et surtout et celle peut-être moins préoccupante à ce niveau mais grave socialement produisant de l'énergie thermique à partir de l'énergie électrique avec l'effet Joule compte tenu de son "rendement" illusoire de 100%. Exception faite du chauffage thermodynamique en raison de ses bonnes "performances".

Lorsque l'on se chauffe, les procédés ⁴⁾ qui utilisent la combustion et ⁵⁾ le chauffage thermodynamique sont fondamentalement différents pour la raison suivante : Dans le procédé ⁴⁾ on réchauffe notre environnement en perdant de l'énergie alors que dans le ⁵⁾ on le refroidit en récupérant de l'énergie dans celui-ci.

Les Lutins thermiques

Au moment où l'homme s'inquiète d'être la cause du réchauffement climatique, cette constatation mérite réflexion. Il ferait aussi bien de s'inquiéter du fait que la dissipation considérable de CO₂ dans l'atmosphère par la combustion risque aussi d'acidifier la couche supérieure des océans et en affectant la photosynthèse de nuire à la reproduction du phytoplancton, maillon indispensable de la chaîne alimentaire dans les océans: Le gaz carbonique n'est-il pas plus lourd que l'air?

C'est ainsi que la thermodynamique nous apprend :

- Qu'en faisant passer de la chaleur d'une source chaude à une source froide, on peut récupérer de l'énergie mécanique en perdant malheureusement dans l'environnement une grande quantité de chaleur. C'est le principe des moteurs thermiques à vapeur, à explosion ou à combustion avec une source chaude à environ 200°C. C'est aussi celui des centrales atomiques avec il est vrai un rendement sensiblement amélioré en raison de l'élévation de la température à la source chaude jusqu'à environ 350°C.



L'inconvénient du principe tient dans le fait que l'on perd sous forme de chaleur une énergie légèrement supérieure à l'énergie électrique produite. La Suède s'est interrogée sérieusement sur la mise en place de centrales nucléaires calogènes capables de récupérer cette énergie thermique au fin de chauffage urbain mais a abandonné probablement pour des raisons sécuritaires. Avec de la vapeur d'eau saturée et pressurisée à 150 bars et une température de 350 °C à la source chaude pour 80°C à la source "froide", température suffisante pour le chauffage urbain on trouve bien un rendement théorique de $r = (350-80) / (350+273) = 43\%$. 57% de l'énergie étant récupérable sous forme de chaleur pour le chauffage urbain.

- Qu'en fournissant inversement de l'énergie mécanique, on peut faire passer de la chaleur d'une source froide à une source chaude. C'est le principe du réfrigérateur ou de la pompe à chaleur. Cette dernière méthode permet d'apporter de la chaleur dans les maisons (source chaude) en la puisant dans des volumes d'eau, d'air ou dans le sol (source froide). Ces volumes d'eau (nappe phréatique, lacs, fleuve, océan), air (atmosphère) ainsi que le sol sont très importants devant les volumes à chauffer de telle sorte qu'ils restent à température sensiblement constante. L'intérêt du principe

Les Lutins thermiques

tient dans le fait qu'une faible quantité d'énergie mécanique permet de transférer une grande quantité de chaleur de la « source froide » vers la « source chaude ». La France ferait bien de s'engager comme la Suisse dans de tels procédés Voir aussi : Centrales nucléaires calogènes ou chauffage thermodynamique aquathermique

* Coefficient de performance

(COP = énergie thermique utilisée localement que divise l'énergie mécanique consommée)

- 1) *En rivière* : Diatomée ► Daphnie ► Trichoptère ► Truite ► Loutre ou
Phytoplancton ► Zooplancton ► Insecte ► Poisson ► Mammifère
- 2) *Dans la mer* Phytoplancton ► Zooplancton ► Méduse, hareng, baleine.
- 3) Résultat du calcul effectué à titre d'exemple pour
 $T_c = 70^\circ\text{C}$ (343K) et $T_f = 10^\circ\text{C}$ (283K)

- Une machine thermique recevant de l'énergie mécanique du type pompe à chaleur a une efficacité de $\text{COP} = 343 / (343 - 283) = 5,7$.

- La machine thermique délivrant de l'énergie mécanique a une efficacité de $1/\text{COP} = 0,175$ cette machine étant grosso modo 30 fois moins efficace que la deuxième (5,7/0,175). On améliore en pratique l'efficacité de cette dernière machine en augmentant la température de la source chaude (gaz surchauffés par exemple à 150°C (423K) avec un $\text{COP} = (423-283)/323 = 0,33$ au lieu de 0,175. C'est donc tout de même environ 66% (1- 0,33) de l'énergie latente contenue dans les combustibles fossiles qui réchauffe notre environnement avec des machines thermiques de ce type.

Il y a plus de 40 ans mon professeur de thermodynamique avait d'ailleurs attiré mon attention sur le fait que les moteurs à combustion type moteur diesel ne pourront guère fournir une énergie mécanique supérieure à 4 kWh par litre de carburant.

(150 grammes/cheval.heure). Force est de constater que les événements lui ont donné raison. Si l'on compare cette énergie mécanique au 10 kWh d'énergie thermique contenu dans ce même litre de gasoil, c'est bien sensiblement 60% de l'énergie totale qui est dissipée en pure perte vers l'atmosphère par un moteur thermique. Pour éviter leur destruction, les moteurs comprennent d'ailleurs un système de refroidissement qui évacue nécessairement cette énergie thermique vers notre environnement.

Au travers de ces chiffres l'origine humaine du réchauffement climatique - même si elle est très faible comparativement aux grands cycles de réchauffement et de refroidissement planétaire - ne semble pas faire de doute. Claude Allègre faisait justement remarquer dans son livre que 80% de notre électricité est aujourd'hui nucléaire et que si nous devons produire la même quantité d'électricité avec des centrales thermiques brûlant du pétrole nous devrions dépenser chaque année 20 milliards d'Euros supplémentaires soit le double du budget annuel de la France pour son enseignement supérieur.

Les Lutins thermiques

- 4) Combustion (charbon, fioul, gaz) ► Turbine ou moteur à combustion ► Energie électrique
► Chauffage par effet joule (COP global $0,33 \times 1 = 0,33$).

Cette chaîne énergétique est probablement la pire de toutes. L'énergie mécanique nécessaire à l'entraînement des turbines ou des alternateurs est produite avec un rendement très modeste et ensuite l'énergie électrique sert à alimenter des convecteurs électriques aux performances plus que limitées. Le pire est qu'une partie de l'électricité alimentant le convecteur électrique est parfois d'origine renouvelable majorant encore le prix du kWh thermique pour l'utilisateur final. Comment a-t-on pu se laisser entraîner vers cette solution très onéreuse pour l'utilisateur pour le chauffage urbain dans l'ancien ? (Voir page).

Concernant la partie gauche de cette chaîne énergétique les réalisations dans le nord de l'Alsace, à Soultz-sous-Forêts avec la géothermie profonde (-5000 m) permet maintenant de produire de l'électricité avec des turbines à gaz en utilisant l'eau chaude présente dans le sous-sol à ces profondeurs. L'eau à 200°C sert à préchauffer un gaz (l'isobutane) à 160°C, température suffisante pour faire fonctionner les turbines à gaz. Il aurait pu être utilisé des turbines à vapeur mais probablement pour améliorer le rendement le constructeur a prévu un gaz intermédiaire.

- 5) Energie électrique ► PAC ► Chauffage (COP global 3 à 6 selon type de PAC)

Energie électrique d'origine fossile

La chaîne énergétique assurant la production d'énergie électrique à partir de la combustion des combustibles d'origine fossile est peut-être la pire :

Combustion > chaleur > énergie mécanique > énergie électrique

Les performances de cette chaîne qui incorpore encore majoritairement la combustion du charbon dans un grand pays comme la Chine sont mauvaises.

Elle est encore assurée en France avec la combustion du gaz et du gasoil. Ceci bien que la performance de cette chaîne énergétique soit particulièrement médiocre en raison du rendement modeste des organes qui la constituent. En augmentant la température des gaz on arrive à améliorer les performances d'une machine thermique du type turbine à gaz avec des roues à aubes étagées mais le rendement reste modeste et ne dépasse guère 60%. Le moteur diesel à combustion interne, composant de cette chaîne capable de délivrer de l'énergie mécanique afin d'entraîner un alternateur est encore moins efficace. Il y a environ 40 ans, à l'issue d'une thèse sur un moteur diesel 6 cylindres à plats, mon professeur de thermodynamique avait attiré mon attention sur le fait que les moteurs à combustion ne pourront guère fournir une énergie mécanique supérieure à 4 kWh par litre de carburant. (150 grammes/cheval. heure). Force est de constater que les événements lui ont donné raison. Si l'on compare cette énergie mécanique au 10 kWh d'énergie thermique contenue dans ce même litre de gasoil, c'est cette fois sensiblement 60 % de l'énergie totale qui est dissipée sous forme thermique et trop souvent en pure perte vers l'atmosphère par un moteur thermique. Pour éviter leur destruction, les moteurs comprennent d'ailleurs un système de refroidissement qui doit évacuer impérativement cette énergie thermique vers notre environnement. En l'absence de ce dispositif de refroidissement c'est la surchauffe du moteur et sa destruction! Malgré le piètre rendement de cette chaîne énergétique, guère supérieure à 40% et son efficacité plus que modeste c'est pourtant encore environ 10% de l'électricité, soit 50 TWh qui est ainsi produite ainsi en France pendant la période la plus froide de l'hiver pour alimenter les radiateurs électriques entraînant une surcharge du réseau. En estimant le rendement moyen de cette chaîne énergétique à 50% tout combustible fossile confondu charbon compris, c'est donc une énergie thermique équivalente à l'énergie électrique produite soit 50 TWh qui est dissipée le plus souvent en pure perte annuellement en France soit 750 kWh par habitant (Compte tenu de la population française de 65 millions d'habitants). Ce chiffre, extrêmement faible par rapport à l'énergie qui nous provient du soleil représente tout de même près de 2 % des 55 000 kWh consommé annuellement par chaque membre des pays de l'OCDE.

Les Lutins thermiques et la production d'énergie

Les Lutins thermiques ont récemment demandés à Balendard, citoyen lambda, ce qu'il pensait de cette phrase souvent prononcée :

« *L'énergie est notre avenir* ».

Voilà la nature de leur conversation :

Balendard

Selon moi cette phrase est lourde de sens. Lourde de sens quant à la qualité de cet avenir. Au moment où l'énergie est au cœur de nos préoccupations environnementales, nous devrions selon moi nous interroger sur le bien-fondé de continuer à utiliser la combustion des produits fossiles dits "non renouvelables" tels que le charbon, le pétrole ou le gaz pour produire l'énergie indispensable à notre confort quotidien. On s'accorde en effet à penser que ces produits génère des gaz nocifs nuisibles à notre environnement ¹⁾, qu'ils sont sales ou dangereux, difficiles à transporter, qu'ils deviennent petit à petit plus rares et donc plus chères, ce qui diminue de ce fait notre pouvoir d'achat. Il est de plus légitime que beaucoup d'entre nous s'inquiètent des déchets radioactifs et de la complexité des dispositifs de sécurité des centrales nucléaires. Alors qu'une énergie propre et sûre se trouve au-dessus de nos têtes et sous nos pieds, pouvez-vous me dire la raison pour laquelle nous ne les avons pas encore totalement abandonnés ?.

Les Lutins thermiques

Ce retard n'est pas dû à la lenteur des progrès de la science et il n'est pas question ici de reprocher à un chercheur de ne pas trouver. Il n'est pas dû non plus à la difficulté de trouver des solutions nouvelles. Rien de tout cela. En fait la réponse à votre question tient en deux mots : L'argent et le profit.

En raison de la masse monétaire considérable engendrée par la commercialisation des combustibles fossiles, la guerre des énergies continue trop souvent au prix d'une atteinte à l'environnement. Les profits engendrés par leur vente au particulier, la fiscalité appliquée sur ces produits est telle que l'équilibre du budget national en dépend. A force d'attendre nous sommes devenus tellement dépendants de ces produits que nous ne pourrions plus les abandonner brutalement. Pour cette raison, la mutation vers les énergies renouvelables, par nature moins polluantes, ne pourra se faire maintenant que progressivement.

Balendard

Ne pensez-vous pas que notre seule chance de sortir de cette terrible impasse est de profiter de la complémentarité des techniques ?

Les Lutins thermiques

C'est en partie exact mais ne perdez pas de vue que les techniques telles que les pompes à chaleur ou les voitures électriques sont maintenant suffisamment abouties. En pratique notre dépendance à l'or noir et ses dérivées est telle que c'est probablement une fiscalité encore accrue sur ces mêmes produits qui financeront les investissements lourds qui nous permettront de sortir de l'ornière. Au cœur de cet immense commerce de l'énergie, les principaux protagonistes, se donnent une connotation écologique pour mieux défendre leurs intérêts économiques en choisissant un partenaire « bio » ou « vert » de petite taille complémentaire à leur propre technique.

Balendard

Oui vous avez raison. Bien que les techniques de production d'électricité du *nucléaire* basées sur la manipulation des chaînes atomiques, pourtant extrêmement difficiles à mettre en œuvre, soient maintenant bien maîtrisées et se suffisent à elles-mêmes on constate par exemple que l'électricité nucléaire, inquiète de son avenir écologique, a choisi un valet de toute petite taille : *le voltaïque*. Sûr de ses bons services, elle le dédommage - pour l'instant - largement.

Les Lutins thermiques

Largement effectivement mais notre opinion est que cette rémunération va lentement diminuer pour la raison que petit à petit « Le soleil va faire de l'ombre au nucléaire »

Balendard

Les canoéistes que nous sommes se réjouissent de ces évolutions et s'inquiètent moins des nouvelles centrales nucléaires. Installées maintenant sur le littoral et non en bordure des fleuves, elles ne réchauffent plus la rivière et risquent moins de polluer les nappes phréatiques en liaison avec cette dernière. Reste les déchets radioactifs avez-vous des inquiétudes à ce sujet ?

Les Lutins thermiques

Nous sommes effectivement préoccupés par ce sujet mais nous avons confiance dans l'autorité de sûreté nucléaire (ASN). Notre opinion est que si la France souhaite continuer à développer cette technologie où elle excelle, elle a tout intérêt à respecter leurs recommandations. Le risque nucléaire sera toujours là, mais il sera considérablement amoindri. Nous insistons sur le fait que cette forme d'énergie présente l'intérêt majeur de ne pas polluer l'atmosphère et d'être "pratiquement" renouvelable ou du moins en passe de le devenir. Les autres pays ont peut-être tort de nous considérer comme « la grenouille qui voudrait se faire plus grosse que le bœuf ». Nous avons besoin de cette forme d'énergie pour nous éclairer et surtout pour générer l'énergie mécanique dans de bonnes conditions économiques avec les moteurs

Les Lutins thermiques

électriques. Notre erreur a été de vouloir se chauffer avec les radiateurs électriques. Mais si vous le voulez bien, revenons à cette connotation écologique que se donnent les différents protagonistes de l'énergie pour mieux défendre leurs intérêts économiques.

Balendard

Oui, en vous écoutant je pensais au gaz en réalisant que ce dernier avait à ce sujet un problème et qu'il hésitait. Comment faire, parfois propane, parfois butane, parfois gaz naturel (pour 90% du méthane), il se sentait fort de sa puissance et pourrait se suffire largement à lui-même pendant deux à trois décennies, mais il lui fallait aussi, pour son prestige, un partenaire de petite taille qui lui donne une connotation écologique sans trop nuire à ses intérêts. Lequel choisir, l'électricité d'origine nucléaire l'a pris de cours en choisissant le solaire voltaïque. Que choisir d'autre, *le bois* ? Non, il faut qu'il surveille ses fréquentations, il sait que la déforestation conduit à éliminer moins bien le CO₂ qu'il génère lui-même lors de sa combustion. Alors le biogaz

Qu'en pensez-vous ?

Les Lutins thermiques

Pour se donner une connotation écologique, le gaz naturel pourrait décider de se mélanger au « biogaz » mais conscient qu'il s'agit d'une duperie, il est plutôt probable qu'il fera lui aussi confiance comme partenaire « vert » au « Roi Soleil » et qu'il va privilégier pour une fois l'énergie thermique. Notre opinion est donc que ce partenaire sera le solaire thermique, qui a – on l'ignore trop souvent - un rendement pas si mauvais que ça.

Quant au pétrole il restera selon nous célibataire. Inquiet, il commence à vieillir et à douter sérieusement de la pérennité de sa puissance. Il sait qu'il génère trop de gaz à effet de serre lors de sa combustion et il choisirait bien un partenaire, mais lequel ? Inadapté dans nos villes trop encombrées et trop polluées, il sent qu'il est déjà trop tard.

Livraison de fioul dans les rues encombrées de nos villes



Balendard

Je souhaiterais formuler mon jugement au sujet de la *pompe à chaleur*. Sa capacité d'adaptation lui permettrait de cohabiter avec son voisin célibataire, mais elle ne l'aime pas. Propre par nature, elle considère qu'il est décidément trop sale. Par contre, cela ne

la dérange pas d'être dépendante de l'électricité qu'elle considère avec respect pour sa propreté. Sûre de son avenir, elle a cependant un problème immédiat : Les habitations anciennes sont parfois difficiles à isoler après coup et lorsqu'il fait très froid, elle a parfois encore un peu de mal à délivrer l'énergie thermique en quantité suffisante. C'est pour cette seule raison qu'elle a, elle aussi, choisi un partenaire sur lequel elle puisse s'appuyer temporairement. Ce sera probablement avec le gaz s'il s'agit d'un logement ancien en zone froide. Par contre en zone plus chaude, par exemple du type méditerranéen, elle se suffit déjà à elle-même en assurant même dans certains cas la climatisation des locaux

Note prospective des Lutins

Fin 2011, soit quatre ans après la libéralisation de l'énergie, 2 français sur 3 ignorent encore qu'EDF et GDF Suez sont des entreprises rivales qui ont engagé une guerre commerciale. Sur un total de 30 millions d'abonnés, 5% ont par exemple quitté EDF au bénéfice de GDF Suez qui vend aussi de l'électricité. Pour compenser des pratiques commerciales douteuses ces abonnés peuvent depuis fin 2010 réintégrer EDF sans mesure de rétorsion. Pour l'instant, le consommateur n'a malheureusement pas bénéficié de cette mise en concurrence, les tarifs pratiqués par les différents opérateurs restant élevés avec des différences de prix généralement inférieures à 10%.

Les découvertes de gisement de pétrole au large de la Guyane et celles annoncées par Elixir Petroleum en septembre 2011 (qui aurait découvert de gigantesques réserves d'hydrocarbures non-conventionnels en Lorraine sur les quatre départements de la Meurthe-et-Moselle, de la Meuse, de la Moselle et des Vosges) vont-elles changer la donne? Peu probable, en effet cette annonce est accueillie avec scepticisme par nos géologues qui estiment qu'il est peu probable que nous soyons restés jusqu'ici à ce point ignorant de la nature de notre sous-sol. Selon Elixir Petroleum, une part importante de ces réserves concerne les d'hydrocarbures non conventionnels qu'il semble impossible d'extraire actuellement sans recourir à la fracturation hydraulique, technique interdite en France à juste titre depuis juillet 2011. Malgré le scepticisme du ministère de l'énergie, il est probable que cette société va par contre entreprendre de forer dans cette région dès 2012 suite à la découverte conjointe cette fois d'hydrocarbures conventionnels dans une réserve estimée à 2 milliards de barils de pétrole. Le résultat ne sera confirmé qu'après forage pour la raison que selon l'AFP, en matière d'hydrocarbure, "le seul juge de paix, c'est le forage. Quoiqu'il en soit, avant de laisser la place aux ENR, le gaz pourrait bien devenir le fluide le plus utilisé en France dans les prochaines années

Les Lutins thermiques

1) Le tableau ci-dessous donnent un ordre d'idée des **quantités de gaz à effet de serre émises annuellement** d'un immeuble ancien avec sa chaudière au fioul (avant isolation dans la première colonne avec une consommation annuelle 150 m³ de fioul) et après isolation pour un besoin énergétique après isolation de 1 M kWh au lieu de 1,5 dans les autres colonnes)

Fioul	Gaz	Gaz + solaire	Electricité	PAC + gaz	PAC seule	Géothermie
700 ¹⁾	242 ²⁾	210 ²⁾	180 ²⁾	61 ²⁾	180/COP ²⁾	Pas de GES

¹⁾ exprimé en tonnes de GES ²⁾ Après isolation

L'Allemagne figure parmi les pays européen produisant la plus grande part d'énergies renouvelables

2) **Energie thermique produite par la combustion des principaux combustibles:**

		Pouvoir Calorifique		
		Densité en kg/m ³	Unités	Valeur (PCI)
Gazeux	Naturel	0.55	kWh/m ³	9,5 à 12,8*
	Propane	1.52		27
	Butane	2.10		38
Liquide	Fioul	840	kWh/kg	12
Solide	Pellets	650		4,7

* Lors de sa combustion, le gaz naturel génère de la vapeur d'eau qui est évacuée par la cheminée. La chaleur latente d'évaporation contenue dans cette vapeur peut être récupérée dans les chaudières modernes à condensation. L'énergie ainsi récupérée représenterait environ 10 % de l'énergie totale disponible dans le gaz naturel. On parle de PCI (pouvoir calorifique inférieur) lorsque l'on ne récupère pas cette énergie et de PCS (pouvoir calorifique supérieur) lorsqu'on la récupère. Le gaz naturel est composé en grande partie de méthane (CH₄). Le pouvoir calorifique du gaz naturel variant en France selon la source d'approvisionnement, les factures sont établis en €/kWh. Le butane qui se liquéfie à basse température (-9°C), doit être stocké à l'intérieur de locaux chauffés. Le propane par contre peut être stocké en cuve à l'extérieur.

*< Quand le dernier arbre aura été coupé,
quand la dernière rivière aura été empoisonnée,
quand le dernier poisson aura été attrapé, seulement alors,
l'homme de rendra compte que l'argent ne se mange pas >.*

Les Lutins thermiques et la cohabitation entre les fluides

1) Pas de cohabitation (on met tous les œufs dans le même panier)

Avantages / Inconvénient :

- La combustion est un système reconnu plus simple et en tout cas mieux connu que le chauffage thermodynamique. Cela explique en partie la raison pour laquelle il est peu probable que les pompes à chaleur fonctionnant en substitution de chaudière se généralisent dans la prochaine décennie bien que cela soit possible techniquement ne serait-ce que parce que cela se pratique maintenant pour la maison individuelle.

(voir page)

- On ne profite pas de la complémentarité des techniques, de ce fait les frais d'exploitation peuvent être affectés par une augmentation du prix de l'énergie primaire choisie.

2) On choisit la cohabitation avec une solution mixte

Avantages / Inconvénient :

On peut dans une certaine mesure profiter des avantages complémentaires de deux techniques différentes en privilégiant le combustible le plus compétitif selon la saison et les fluctuations de son prix d'achat. Une des deux techniques peut se substituer à l'autre en cas de défaillance.(notion de stand-by).

1) Pas de cohabitation

Solutions	Remarques - Avantages/inconvénients
Bois seul	Combustible bon marché permettant d'obtenir un kWh thermique économique sur le long terme. Une chaufferie bois peut fonctionner en automatique avec une autonomie de fonctionnement comparable à une chaufferie conventionnelle fioul ou gaz avec un intérêt écologique du fait du recyclage des cendres et d'une moindre émission en CO ₂ .
Fioul seul	Fluide trop cher en raison des frais engendrés par la réduction du CO ₂ et de l'évolution probable du prix du fioul qui va résulter de sa raréfaction
GAZ seul	<p>Solution envisageable à moyen terme mais coûteuse à long terme à cause du prix du combustible (indexé sur le fioul).</p> <p>Pour les gros immeubles, une solution avec 2 chaudières est à privilégier pour les raisons suivantes :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Meilleure répartition de la puissance pouvant faciliter la dissociation sanitaire/chauffage. 2. La notion de stand-by est assurée ce qui est rassurant en cas de panne sur une chaudière, d'autant qu'il est envisageable d'assurer un dépannage du sanitaire et du chauffage à partir d'une seule chaudière. (inertie thermique de l'immeuble) 3. La génération d'ENR en mi-saison peut se faire pour le chauffage des immeubles avec les PAC <i>air eau</i> à absorption (Procédé DE Dietrich)
Electricité seule	<p>Bilan CO₂ excellent et amélioration de notre indépendance énergétique</p> <p>Solution inenvisageable en PAC <i>air eau</i> en zone* H1 (la région la plus froide de France) pour les raisons suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Formation de glace dans le cas de la PAC <i>air eau</i> (givrage) - Absence de stand-by en cas de panne - Rendement moins bon par hiver rigoureux (sauf avec PAC <i>eau eau</i>) <p><i>Solution envisageable :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - en zone H3 (Région méditerranéenne) avec la pompe aérothermique. - en zone H 2 (Région sud-ouest de la France) avec la pompe aquathermique.

Nota Certaines chaufferies fournissent l'eau chaude du sanitaire en instantanée. Cette solution ne conduit pas nécessairement à un surdimensionnement de la chaufferie. La solution avec ballons d'eau chaude sanitaire et production en semi instantanée est le plus souvent adoptée en raison de ses avantages.

2) Avec cohabitation

Fluides utilisés	Remarques - Avantages/inconvénients	
Fioul + électricité	<i>Solution à éviter.</i> La régulation d'une chaudière à gaz moderne avec des prises d'informations sur machine moderne est mieux adaptée à l'implantation ultérieure d'une pompe à chaleur à la technique avancée que l'est une ancienne chaudière au fioul.	
GAZ + électricité	Ce type de chaufferie peut assurer à la fois le chauffage et la production de l'ECS. La PAC à compresseur et la combustion du gaz sont utilisés conjointement ce qui améliore le rendement global de l'installation. On réduit ainsi le prix du kWh thermique en commutant d'un fluide sur l'autre en fonction de la courbe monotone et du niveau de température nécessaire pour assurer le besoin thermique.	<p><i>Avantages :</i> Bilan CO₂ intéressant. Economies importantes sur l'achat de combustible.</p> <p>On choisit le mode de marche le plus intéressant selon la saison. On minimise autant que faire se peut le coût que représente le complément gaz. La chaudière à gaz sert de secours en cas d'incident sur la PAC (standby)</p> <p><i>Inconvénients :</i> Les systèmes mettant en jeu une PAC sont plus complexes et demandent des connaissances pluridisciplinaires. Ils entraînent une dépendance partielle vis-à-vis de l'électricité. Circuit hydraulique est plus compliqué.</p>
Chauffage Urbain	<p>Le chauffage urbain peut être assuré de plusieurs façons :</p> <p>1) Avec un bilan CO₂ moyen en utilisant deux combustibles complémentaires l'un de l'autre: les ordures ménagères et un combustible fossile (gaz ou fioul), la plus grande partie de l'énergie, environ 65%, étant fournie par la combustion des ordures,</p> <p>2) Avec un bilan CO₂ excellent en utilisant la géothermie profonde. (cette solution nécessite une chaudière gaz en stand-by)</p>	<p><i>Avantages :</i> Circuit hydraulique plus simple que la solution PAC + GAZ ci-dessus. Meilleure séparation des réseaux chauffage et ECS et garantie de résultats assurés par l'exploitant, le maître d'ouvrage étant dégagé de toute responsabilité. (l'exploitant garantie la livraison de l'eau chaude et l'entretien de la chaufferie)</p> <p><i>Inconvénients :</i> La dépendance de l'utilisateur concernant la tarification de l'exploitant</p> <p>(Par exemple une société telle que la CPCU ou compagnie parisienne de chauffage urbain).</p>

Les mots clef selon les Lutins thermiques

On dit que la copropriété est en quelque sorte l'école de la démocratie. C'est en tout cas une école confrontée à l'art difficile de vivre ensemble afin de régler les problèmes concrets, une école où la démocratie se pratique hâtivement et trop souvent dans l'escalier sans concertation préalable et est parfois source de conflits. L'absence de connaissances ou de dialogue entre les copropriétaires, fait que ceux-ci ont parfois bien du mal à s'entendre sur les solutions techniques à adopter lorsque les problèmes surviennent. Dans ce cas, le système n'est pas complètement bloqué et la copropriété continue à vivoter dans le court terme par le fait que ce petit monde est alors régit tant bien que mal par le syndic et le « *règlement de copropriété* ». Il est pourtant certains cas où une concertation préalable entre les copropriétaires est indispensable pour que les choses avancent valablement. Lorsque les copropriétaires d'un immeuble commencent par exemple à percevoir les avantages d'investir dans le « durable » et de s'impliquer dans la rénovation thermique de leur immeuble pour alléger leurs charges, ils se rendent vite compte que la notion de bien « *collectif* » ou « *privatif* » freine dans un premier temps les prises de décision. Les contraintes et les réglementations qui régissent l'habitat neuf sont différentes de celles de l'ancien. Toujours est-il que les copropriétaires d'un immeuble ancien, difficile à isoler, ne réalisent pas toujours que leur intérêt est de raisonner « collectivement » plutôt que « privativement » lorsqu'il s'agit de l'évolution des modes de chauffage de leur immeuble. Bien évidemment, d'autres mots clefs interviennent et sont repris ci-après.

Mode de chauffage	Electrique	Combustion
Tout électrique individuel	1,5 MWh	-
Combustion collective	-	1,5 MWh
Tout électrique collectif par PAC (COP 3)	0,5 MWh	-

Tableau des consommations énergétiques hors éclairage et électroménager mais incluant l'ECS d'un immeuble de 100 appartements de 50 m² mal isolé (D = 300 kWh/m² et par an) consommant annuellement pour chacun d'eux 15 000 kWh. La connaissance du prix de l'énergie primaire permet de calculer aisément le montant des charges. Bien que le kWh électrique soit plus élevé comparativement au fioul et bien sûr par rapport au gaz, la dernière solution est particulièrement intéressante. Reste que localement la puissance des transformateurs électriques en place peut être insuffisante

L'évolution des modes de chauffage dans le domaine de la copropriété et des immeubles sera différente selon qu'il s'agit d'une construction neuve ou d'une rénovation dans l'ancien.

Dans le neuf avec le chauffage individuel ou collectif

Lorsque les appartements sont correctement isolés les uns par rapport aux autres dès l'origine de la construction le chauffage individuel est une façon drastique de diminuer le gaspillage et de l'affecter en totalité à celui qui en est la cause. Cela serait aussi l'occasion d'établir plus d'équité dans la façon dont les tantièmes fixes ou variables de chauffage sont établis dans les règlements de copropriété pour définir la consommation individuelle de chaleur. L'objectif de limiter à 50 kWh/m² la déperdition moyenne annuelle des logements neufs d'ici 2012 peut, s'il est respecté, provoquer une modification des modes de chauffage dans la construction neuve.

Les isolants minces¹⁾ pourraient faire leur apparition et assurer l'isolation intérieure de chaque logement sans trop affecter la surface habitable. Des coefficients aussi bas pourraient entraîner la réapparition du chauffage électrique individuel dans le neuf. Par contre, bien qu'économique à l'achat ce mode de chauffage restera inévitablement trop coûteux à l'usage dans l'ancien. Comment pourrait-il en être autrement avec un coefficient moyen de déperdition de 300 kWh/m². L'ancien est plus difficile à isoler, les ponts thermiques, la difficulté d'isoler l'immeuble en partie basse, la gêne qui résulterait pour l'occupant de la pose d'une isolation par l'intérieur après coup, sont autant de raisons qui condamnent cette solution. Ce ne sont pas les 38% d'économie d'énergie dans l'ancien que l'on peut raisonnablement espérer qui vont changer la donne, ni même la modification de la loi sur les copropriétés par les pouvoirs publics qui pourrait tenter de modifier les quotas de vote pour remplacer le chauffage collectif par un chauffage individuel. Ni même un effort considérable des fournisseurs européens sur l'atome qui pourrait être entrepris pour briser leur dépendance aux pays producteurs de gaz et de fioul. Avec un coefficient amélioré de 150 kWh/m² le chauffage individuel électrique dans l'ancien restera inexorablement sensiblement 3 à 5 fois plus cher à l'usage qu'une pompe à chaleur et son COP minimum de 3. Reste que le chauffage thermodynamique dans le neuf en divisant par 3 voire 4 la consommation électrique est un exemple qui pourrait faciliter l'émergence de ce mode de chauffage dans l'ancien

Dans l'ancien avec le chauffage collectif

Lorsque la majorité des copropriétaires d'un immeuble ancien manifeste par vote sa volonté de profiter des avantages d'une chaufferie à base d'énergie renouvelable style solaire thermique ou par chauffage thermodynamique, les solutions techniques adoptées concernant l'isolation et les travaux en chaufferie ne peuvent être que collectives. Cela signifie que la mise en œuvre d'une telle solution ne peut se faire que si la notion de "partie privative" est bannie du vocabulaire et s'efface devant l'intérêt de la collectivité. Que les fenêtres et portes fenêtres soit considérées comme privatives pour leur entretien rien à redire. Elles devraient par contre comme dans beaucoup de pays européens ne plus être considérées comme privatives lorsqu'une décision de passage au double vitrage doit être prise pour améliorer l'isolation thermique d'un immeuble. Choisir un mode chauffage du type pompe à chaleur pour bénéficier de ses avantages signifie que certains

Les Lutins thermiques

comportements nouveaux devraient être expliqués dans l'intérêt commun par le conseil syndical lors d'une assemblée générale en présence du syndic. Qu'il s'agisse d'un chauffage individuel par radiateur électrique dans le neuf ou d'un chauffage collectif par pompe à chaleur aquathermique dans l'ancien, profiter de la négociabilité des tarifs de l'électricité engendrée par la libre concurrence de l'énergie est une bonne chose. Pourquoi ne pas confier aux Syndics, qui sont souvent en charge de nombreux immeubles, la tâche de regrouper leurs achats d'électricité comme ils le font d'ailleurs probablement pour le fioul. Ils pourraient obtenir des rabais importants. Les compteurs pourraient être relevés par une personne mandatée par le Syndic.

<i>Type d'habitation</i>	
Le neuf	L'ancien
Zone urbaine	Zone rurale
<i>Estimations et devis</i>	
Composants	Système
Matériels	Main d'œuvre
<i>Aspect thermique</i>	
<i>Chaufferie</i>	
Individuelle	Collective
Sanitaire	Chauffage
Combustion	Electrique
<i>Régulation</i>	
Proportionnelle	Tout ou rien
Hiver	Eté
<i>isolation</i>	
Intérieure	Extérieure
<i>Aspect administratif</i>	
Réglementation	Labels
<i>Acteurs</i>	
Intérieurs	Extérieurs
<i>Aides*</i>	
Fiscales	Régionales
Faisable	Recevable

* Lorsque la mise en place d'un nouveau système de chauffage est jugé « faisable », les aides éventuelles consentis par l'état ou la région devraient être plus importantes pour les systèmes jugés « recevable » sur le long terme.

Les lutins et le consensus *

On pourrait penser que les mots clefs évoqués précédemment pourraient servir de base à une stratégie envisageable pour qu'un syndicat de copropriétaires puisse finir par régler l'épineuse question de l'isolation et de la modernisation du mode de chauffage dans un immeuble ancien. Elle consisterait tout d'abord à énumérer et étudier toutes les solutions réalistes combinant l'amélioration de l'isolation et les technologies de chauffage. Une fois ces solutions soigneusement sélectionnées en tenant compte des conditions locales de l'immeuble telles que son DJU, la présence ou non d'eau, l'ensoleillement, la distribution ou non en gaz naturel, l'existence ou non d'un terrain autant de facteurs qui influent sur la liste des solutions recevables. Elle consisterait ensuite à présenter pour chacune d'elle une estimation du montant global de l'investissement de départ en déterminant pour chacune de ces solutions envisageables techniquement la période de remboursement envisagée pour trois allures d'augmentation du prix des combustibles : faible, modérée et forte en sachant l'évolution risque plutôt d'être forte que faible. Fort de tout ce travail qui prendrait quelques années, on présenterait l'étude et les tableaux de dépenses lors d'une assemblée générale extraordinaire. Laisser ensuite pendant un an, le temps aux Copropriétaires de prendre connaissance de cette étude et d'en parler entre eux afin qu'ils se fassent une opinion personnelle au fin de voter en connaissance de cause la solution idéale pour eux lors de l'assemblée générale ordinaire de l'année suivante. Comme on le voit cela prend nécessairement du temps. Celui qui souhaite investir pourrait craindre que la solution retenue ne soit pas le résultat d'un *consensus* mais celle imposée par une majorité fortuite de copropriétaires, favorisant, en fonction de son cas personnel, soit un investissement faible à période courte soit un investissement plus important avec une période plus longue d'échelonnement des dépenses. Moyennant un peu de bon sens on peut raisonnablement espérer que ce scénario est peu probable. Un conseil syndical pourrait établir un planning prenant comme ligne directrice de changer l'appareil de chauffe un an avant la date de fin de vie théorique des anciennes chaudières. Dans le cas où la mise en place d'une chaufferie à base d'énergie renouvelable pourrait être envisagée, en laissant par prudence passer un hiver après la première phase d'isolation pour effectuer quelques mesures de consolidation des calculs thermiques.

Malheureusement entre ceux qui ne veulent rien faire et ceux qui veulent tout casser il y a un monde. Les premiers sont prêts à tout pour cela, rétention de clefs, "petits" mensonges, Les deuxième excédés par cet immobilisme n'hésiterons pas à tenter un procès aux premiers. Pourtant, l'abandon de technologies telles que d'anciennes chaudières à fioul émettrices de gaz nocifs entraîne un coût d'investissement contrebalancé par des dépenses annuelles plus faibles. Ces attitudes sont d'autant plus incompréhensibles que les technologies modernes, telles que les pompes à chaleur entraînent des dépenses annuelles fortement diminuées et n'imposent pas

Les Lutins thermiques

une isolation poussée de l'immeuble. Laisser trop de temps au temps avant de prendre une décision d'investissement peut aussi coûter cher. En laissant 5 années passer c'est au bas mot la moitié de l'investissement le plus coûteux que la copropriété va dépenser en achat de combustible. Pas nécessairement en pure perte cependant, si le temps de la réflexion permet de retenir la solution la mieux adaptée aux conditions locales du logement concerné. (Voir page les propos des lutins sur le commerce)

Lorsque j'ai interrogé les Lutins thermiques sur la solution la meilleure, selon eux, pour la nouvelle chaufferie de notre immeuble voilà quelle a été leur réponse :

La difficulté dans votre immeuble consiste à mettre en avant la solution qui semble la plus recevable parmi toutes les solutions réalistes envisageables. Lorsque l'on a la chance d'être à l'intérieur du méandre d'un fleuve où l'eau abonde, il serait dommage de ne pas profiter de la présence de l'eau dans le sous-sol pour générer la majeure partie de l'énergie nécessaire au chauffage et à la production de l'ECS par la plus performante des pompes à chaleur: Celle tirant son énergie de l'eau qui se trouve à l'aplomb de votre terrain. Votre intérêt est de ne pas attendre trop longtemps pour la raison qu'un corps de chauffe de chaudière ancienne ne peut pas toujours être reconditionné. La mise en place d'une chaudière à fioul neuve en urgence et la conservation de la cuve actuelle, suivit de l'installation d'une nouvelle cuve à double paroi respectant les nouvelles normes, serait la pire des solutions en termes de dépense. Ne perdez pas de vue la notion de stand-by en cas d'incident temporaire sur la pompe à chaleur, et ne mettez pas tous les œufs dans le même panier. Compte tenu de la localisation géographique de votre immeuble, et des pertes thermiques en ligne dans les tuyauteries ECS, un apport thermique comme le solaire thermique est inadapté car insuffisant. De même un chauffe-eau électrique collectif de forte puissance simplifie l'installation mais ne résout pas le problème dans son ensemble. Pour assurer un dépannage temporaire éventuel, seule une chaudière à gaz moderne sensiblement plus puissante que la PAC, équipée éventuellement d'un condenseur récupérateur de la chaleur des fumées est de notre point de vue la bonne solution. Concernant l'isolation, il n'est pas indispensable avec cet apport thermique de prévoir les solutions les plus avancées, donc les plus onéreuses telles que par exemple les triples vitrages. Encore un point important, les bienfaits des réservoirs tampons devront être pris en compte et correctement dimensionnés. Quant au chauffage individuel, parfois envisageable dans le cas d'un immeuble neuf bien isolé, avec certaines techniques de chauffage, il est déconseillé dans votre cas et ceci pour les raisons suivantes : Les pompes à chaleur aérothermiques ne sont pas adaptées à votre situation géographique au nord de la Loire, les radiateurs électriques dans un immeuble ancien, difficile à isoler, ne sont pas adaptés, enfin l'implantation après coup de chaudières au gaz individuelles entraîne une gêne importante pour chaque

Les Lutins thermiques

copropriétaire et une perte de surface habitable. Reste le cas où votre municipalité ferait preuve de dynamisme et envisagerait l'implantation d'un réseau de chauffage urbain (voir la cohabitation page) ou de géothermie profonde parfois envisageable en Ile de France. Si vous aviez cette chance, votre installation serait notablement simplifiée et cette opportunité mériterait à coup sûr un examen approfondi de votre part. Vous ne seriez plus dépendant d'une alimentation électrique, mais n'étant plus votre propre producteur d'énergie, vous deviendriez dépendant d'un approvisionnement en eau chaude et des frais correspondant.

* Un consensus est un accord général (tacite ou manifeste) parmi les membres d'un groupe, pouvant permettre de prendre une décision sans vote préalable.

Les lutins et la croissance

J'ai fait part dernièrement aux Lutins de mon inquiétude au sujet de la croissance. à l'occasion d'une réunion du Conseil Supérieur des Lutins Thermiques (CSLT). Voilà la nature de notre conversation :

Balendard

« La théorie d'une croissance économique continue et son indicateur actuel le PIB qui ne s'arrête jamais n'est pas viable selon moi. J'ai acquis cette conviction en observant les courbes de la croissance dans le monde depuis le début de l'urbanisation, instant de l'histoire où cette dernière a véritablement commencé, il y a seulement une cinquantaine d'années*. Pendant une aussi courte période le PIB a été multiplié par 5, ce qui correspond sensiblement en moyenne à un taux de croissance annuel de 2 % et je m'inquiète de savoir à quel niveau nous serons au début de l'an 3000.

Les Lutins

« Vous avez raison de raisonner sur le long terme pour la raison que c'est en effet avec le temps qui passe que l'on constate qu'une croissance économique et de son indicateur actuel le PIB qui ne s'arrête jamais n'est pas fiable.

La croissance a en effet été multipliée par cinq entre les années 1950 et l'an 2000 avec un taux de croissance moyen voisin de celui que vous évoquez et vous avez raison de vous inquiéter. Pour savoir quel sera le Monde en l'an 3000 s'il devait continuer avec un tel taux, qui n'a pourtant rien à voir avec les taux de croissance annuels actuels en Chine de 10%, il suffit de trouver le nombre $1,02^{1000}$ ou de multiplier 1000 fois par lui-même le nombre 1,02 ce qui revient en définitive au même. Le résultat, voisin de 400 millions, prouve bien qu'il y a quelque chose qui cloche dans le système actuel »

Balendard

Mais alors que faut-il faire? Tout le monde explique que sans croissance, c'est le chômage, une société à l'arrêt et sans avenir etc. etc.

Les Lutins

Le problème est complexe et je préfère me reporter aux propos récents évoqués par le secrétaire général de l'OCDE. Il considère qu'il faut absolument construire une coordination des politiques publiques basée entre autres sur le fait que :

- La mesure du progrès avec les indicateurs classiques tels que le PIB ou l'inflation ne suffisent plus*
- Il faut lutter contre la pauvreté*

Le progrès technique a joué un rôle primordial jusqu'à présent dans la croissance mais il faut le reconsidérer. Il doit être maintenant au service du progrès et surtout de la lutte contre la pauvreté et non plus engendrer une augmentation débridée et irréfléchie de la consommation. Nous ne devons plus regarder la courbe de la croissance française comme nous regardons un électroencéphalogramme plat annonciateur d'une mort certaine. Nous allons vers un autre monde où la croissance ne sera plus synonyme de progrès. Pour sortir de la spirale infernale de la croissance, d'ailleurs à l'évidence liée au réchauffement climatique, une meilleure exploitation des énergies renouvelables est une voie prometteuse qui pourrait nous aider à franchir cette mauvaise passe. Nous en avons les moyens, mais saurons nous le faire ? Une prise de conscience collective est nécessaire mais la réponse à cette question est probablement au plus profond de nous-même.

Un Lutin a écrit ce qui suit lors de l'année 2006

Devons-nous nous préparer à la fin du monde ?

Une de mes petites-filles est en Math-Spé et calcule volontiers des logarithmes népériens par approximation : $\ln(1+\varepsilon) \approx \varepsilon$

Je ne sais pourquoi mais l'autre jour, après une discussion avec elle, l'idée saugrenue m'est venue de calculer à quel facteur multiplicatif conduirait un taux de croissance de 3% par an pendant 1000 ans (1.03^{1000}) Oh horreur ! Le calcul approximatif donne mille milliards ; un calcul plus exact est pire : les valeurs sont multipliées par 6874 milliards. Il n'y a donc **aucune chance** qu'avec les taux de croissance actuels de la population et de l'économie, l'humanité dure encore 1000 ans ! On peut se dire que 1000 ans c'est beaucoup, mais en fait c'est très peu : des hommes remarquablement cultivés et instruits, les Egyptiens, les Grecs, les Romains et bien d'autres vivaient sur

Les Lutins thermiques

la terre il y a plus de 2000 ans. Nous admirons encore leur philosophie et nous lisons leurs écrits ; y aura-t-il encore quelqu'un dans 1000 ans qui lise les nôtres ? Si nous ne faisons rien, c'est peu probable. Pourtant , certains semblent de soucier de ce qui se passera à cette époque : j'ai entendu récemment un éminent spécialiste de la séquestration du carbone qui disait qu'il fallait trouver des sites d'enfouissement qui restent étanches pendant mille ans ; très bien , mais si l'on ne prend pas des mesures beaucoup plus drastiques , à l'échelle de l'humanité , ça ne sert à rien . Ca ne protégera que les cafards ou les fourmis qui auront remplacé homo sapiens en 3006. Plus pessimiste encore :si la terre est capable de supporter un rythme de consommation annuel des ressources dix fois supérieur au rythme actuel , ce qui est optimiste, le taux de croissance actuel laisse à l'humanité 78 ansOn peut donc penser, d'ici là, à quitter la terre et à aller ailleurs : « Sic itur ad Astra ! » A cette date de 2084, ce n'est pas seulement sur la planète Mars qu'il faudrait être prêt à déménager, mais sur plusieurs autres. A l'échelle de 1000 ans ce n'est plus de planètes qu'il faut parler, mais de galaxies. Une galaxie comme la nôtre contient en gros 100 milliards d'étoiles. En supposant, de façon très optimiste, que chacune d'entre elles abrite en orbite une planète habitable ce n'est pas une galaxie qu'il faudrait conquérir mais plusieurs dizaines. Or notre voisine la plus proche, faisant partie de ce qu'on appelle le groupe local, est Andromède, qui est tout de même à 2 millions d'années-lumière. L'amas de la Vierge, lui, est à 58 millions d'années-lumière. Il ne semble pas qu'il y ait le plus petit espoir d'atteindre un tel objectif. Si donc homo sapiens doit rester sur la terre, il faut de toute urgence **arrêter la croissance** de la population d'abord, de l'économie ensuite ce qui est complètement opposé aux habitudes naturelles, aux désirs bien compréhensibles des hommes et aux messages que martèlent les chefs religieux et politiques. Le « Croissez et Multipliez ! » qui était valable il y a 2000 ans, avec une population de la terre estimée, je crois, à 300 millions d'habitants, est aujourd'hui catastrophique. Si l'on n'est pas capable de réagir, les seuls espoirs de survie de l'humanité sont hélas les catastrophes : la fin du pétrole qui est peut-être un moindre mal, les guerres et les révolutions, une gigantesque épidémie de sida ou de grippe aviaire, la collision avec une météorite détruisant des milliards d'hommes.C'est peu réjouissant.

Comment gérer la décroissance ?

Donc, il n'y a pas le moindre doute, la croissance s'arrêtera; c'est connu depuis que les mathématiciens ont formalisé la fonction exponentielle ; la question est de savoir comment car décroître n'est pas agréable : on est heureux quand les choses s'améliorent, on est malheureux quand elles se dégradent. Une autre difficulté sérieuse est que nos systèmes économiques –aussi bien le capitalisme que l'économie planifiée productiviste- ne fonctionnent pas sans croissance.

L'exemple des vieillards.

Tout le monde, à la fin de sa vie, est soumis à la décroissance : on a des performances physiques de moins en moins bonnes, on a de moins en moins de mémoire, on voit de moins en moins bien ...etc. Comme on ne peut pas faire autrement, on arrive à prendre du plaisir à décroître moins vite : la dérivée première est négative mais la dérivée seconde est positive. A la fin même, quand la décroissance s'accélère, on passe à la dérivée troisième : on est relativement content si ça s'accélère moins vite !

La méthode de Machiavel

Dans « Le Prince », si je me souviens bien, Machiavel critiquant Louis XII, dit qu'il faut faire le mal tout d'un coup et le bien petit à petit. C'est la méthode des guerres, on brûle tout, on détruit tout, tout le monde est misérable puis pendant 10 ou 20 ans on rétablit petit à petit la situation antérieure et pendant cette période d'amélioration même relativement modeste, tout le monde est heureux. Malheureusement, cette « méthode » n'apporte rien à la protection de l'environnement. C'est aussi la situation de convalescence après une grave maladie.

* Lire le livre de Angus Maddison édité par l'OCDE en 2001 "L'économie mondiale, une perspective millénaire". L'extraordinaire travail accompli par Angus Maddison dans cet ouvrage de 380 pages qui couvre le développement économique du monde sur 2000 ans est prémonitoire des problèmes qui nous attendent pour le 3ème millénaire.

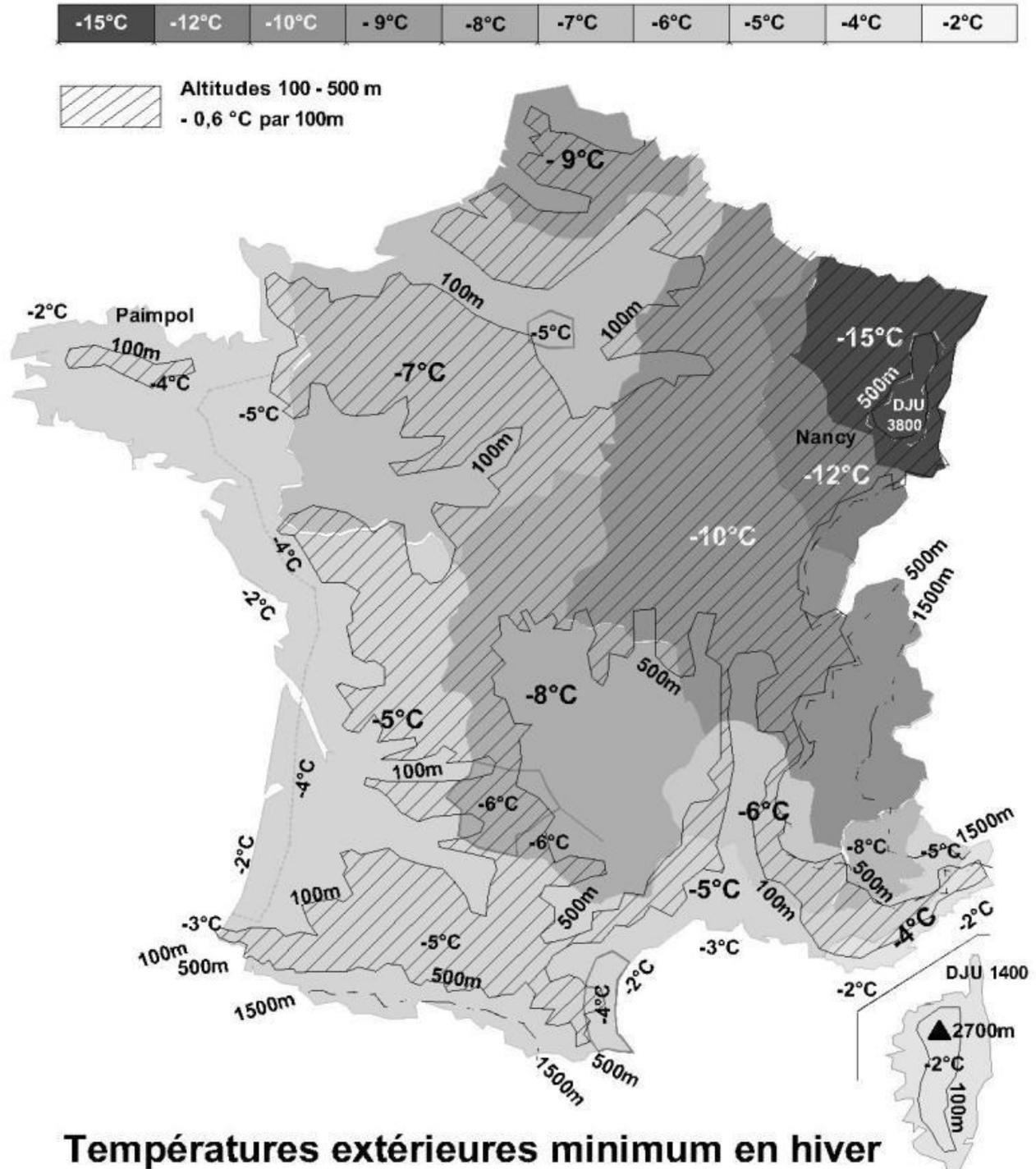
(Voir surtout courbes page 44)

Les Lutins et la RT 2012

Pour l'instant la nouvelle réglementation RT 2012 parue au journal officiel est trop ambitieuse pour pouvoir être appliquée à la rénovation de l'habitat ancien. Une première et heureuse conséquence des quelques 1400 pages qui la compose et du début de son application dans les logements neufs est la disparition progressive du chauffage électrique individuelle au bénéfice du chauffage collectif gaz. Alors que sous l'effet de la réglementation RT2005 près de 70% des logements neufs étaient équipés d'un chauffage électrique pour seulement 30% en chauffage gaz entre les années 2004 et 2008; la tendance s'est brusquement inversée sous l'effet de la RT2012 avec 70% des logements neufs équipés en chauffage gaz en 2011. L'objectif le plus important mais aussi le plus difficile à atteindre de la nouvelle réglementation est de diviser par trois les consommations en améliorant l'isolation. Cet objectif, réalisable dans le neuf on peut espérer sans grever encore un peu plus le prix de l'habitat neuf, est malheureusement hors de portée en termes de retour économique dans la rénovation de l'ancien difficile à isoler après coup.

Alors que les approvisionnements en gaz pèse en 2012 pour 13 milliards d'€ dans le déficit commercial français et que la combustion du gaz est loin d'être irréprochable en termes d'émission de gaz à effet de serre, il est probable que miser cette fois sur le "*tout gaz*" n'est pas la solution. Les retombées de la RT2012 dans l'ancien pourraient être l'apparition du chauffage thermodynamique collectif au titre de la rénovation thermique des immeubles équipés de chauffage électrique individuel. Avec un COP modeste de 3, la rénovation de ces immeubles vers le chauffage thermodynamique permettrait de diviser par trois leur consommation électrique permettant d'obtenir un résultat comparable aux logements neufs en jouant cette fois sur la génération au lieu de jouer sur l'isolation. Cette deuxième orientation permettrait de diminuer significativement les dépenses de chauffage dans l'habitat ancien. Elle permettrait aussi à notre pays de sortir du mauvais pas de la RT 2005 et des conséquences désastreuses du "*tout électrique*" pour notre environnement. L'investissement de départ certes plus élevé serait rapidement amorti par la diminution des frais d'exploitation, diminution des frais qui répond de plus à une urgence sociale.

Les Lutins thermiques



La température minimum constatée en hiver et les degrés jour unifiés (DJU exprimé en °C) variant en France suivant la région considérée, la France a été découpé en zones climatiques (voir carte ci-dessous)

Les Lutins thermiques



*Zones climatiques La France comprend 3 zones climatiques **H1**, **H2**, et **H3***

***H1** : La zone la plus froide située au nord-est et composée de 3 régions **a**, **b**, **c** la région **b** centrale étant un peu plus froide que les deux autres*

***H2** : Une zone plutôt tempérée comprenant 4 régions **a**, **b** et **c** situées à l'ouest coté atlantique bénéficiant du rôle régulateur de l'océan avec une région **d** bénéficiant encore du climat méditerranéen*

***H3** : Une zone plutôt chaude en bordure de la méditerranée et la Corse*

Les Lutins thermiques

Le tableau ci-dessous compare les avancées de la nouvelle réglementation thermique française par rapport à l'ancienne.

*Dans ce tableau les coefficients de déperdition thermique de l'habitation sont exprimés en kWh par m² habitable et par an. La valeur moyenne de 50 devra être respectée pour la construction des locaux d'habitations neufs à partir de 2013. Plafonnée actuellement au titre de la RT 2005 à 130 kWh/m² en moyenne annuelle avec le chauffage gaz et à 250 kWh/m² quand le chauffage est électrique, la consommation maximale moyenne annuelle sera limitée à 50 kWh/m² dans le neuf quel que soit le combustible cette valeur étant pondérée en fonction de la localisation géographique, de l'altitude, du type d'usage du bâtiment, de sa surface, et des émissions de gaz à effet de serre des équipements. Le m² dont il s'agit ici est le m² SHON et le kWh étant un kWh d'énergie primaire. Plutôt que d'utiliser un coefficient tenant compte de la température extérieure et de raisonner en volume * ce qui aurait peut-être été plus pratique, le CSTB a reçu pour mission de fixer des coefficients pondérateurs tenant compte des variations de la température moyenne extérieure selon la zone climatique et l'altitude de telle sorte que le coefficient de 50 kWh/m² soit modulé en fonction du secteur géographique de l'altitude, de l'usage qui sera fait du bâtiment, ceci en tolérant probablement des déperditions plus importantes pour les habitations situées dans zones les plus froides de telle sorte que le coût de la construction reste dans des proportions raisonnables. Un immeuble ancien modérément énergivore situé en région parisienne (Zone climatique H1a) ayant un coefficient annuel moyen de déperdition de 200 kWh/m² consommera environ 4 fois plus d'énergie que ces futures constructions neuves respectant les nouvelles normes RT 2012. Faut-il le redire, un chauffage thermodynamique collectif ayant un COP de 4 permet de limiter les charges chauffage de cet immeuble modérément énergivore à celles d'un immeuble neuf respectant ces nouvelles normes et ceci sans qu'il soit besoin de financer une isolation trop coûteuse.*

** (voir page)*

Zones climatiques	RT 2005		RT 2012
	Chauffage par combustibles fossiles	Chauffage électrique (Effet joule et pompes à chaleur)	Valeur moyenne
H1	130	250	50
H2	110	190	
H3	80	130	

Les coefficients d'évaluation du besoin thermique

Le coefficient de déperdition volumique G^* d'une habitation exprimé en Watt/m³ et °C permet d'évaluer avec plus de rigueur que ne le fait l'ancien coefficient D exprimé en kWh/m² prenant en compte la déperdition thermique annuelle par m² habitable. Il fait en effet intervenir la température extérieure qui a une importante prépondérance dans les déperditions d'énergie puisque la puissance perdue est directement proportionnelle à la différence entre la température intérieure de confort et celle régnant à l'extérieur qui évolue selon la région. La carte de France des températures minimum de l'air facilite le dimensionnement de l'isolation à prévoir ou celui de la génération selon la région française considérée. Le coefficient D ne tient pas compte de cette notion importante. De plus on comprend que la hauteur sous plafond a elle aussi une certaine importance la déperdition augmentant avec cette dernière. Le coefficient G peut varier de 0,5 à 1,5 Watt/m³ et °C et même au-delà (0,4 habitation bioclimatique, 1,2 moyenne, 2,2 très mauvaise)

Relation* entre l'ancien et le nouveau coefficient

*(Pour DJU = 2300 °C, période de chauffe de 230 jours
et hauteur sous plafond de 2,55 mètres)*

	D kWh/m²	G watt/m³ et °C
RT 2020	0	0,00
RT 2012	50	0,35
BBC rénovation 2009	104	0,74
RT 2005 gaz	130	0,92
HPE rénovation 2009	195	1,38
RT 2005 elec	210	1,5
Ancien mal isolé	250	1,77
Ancien très mal isolé	350	2,5

En gris clair la consommation annuelle moyenne du parc immobilier français se situerait aux alentours de 240 kWh/m²

$$G = D / (0,024 \times DJU \times H_p)$$

Avec :

- Nouveau coefficient **G** en Watt/m³ et °C et ancien coefficient **D** en kWh/m² et par an,
- **DJU** degré jour unifiés de la région
- **H_p** hauteur sous plafond en m

La connaissance de **G** permet de trouver la puissance utile en hiver.

Exemple Un immeuble de 5000 m² habitable situé en région parisienne (DJU = 2300) consommant 80 m³ de fioul annuellement pour le chauffage et ayant une hauteur sous plafond H_p de 2,55m a un coefficient D de 160 kWh/m² (Inférieur à la valeur moyenne dans l'habitat urbain ancien de 240) on trouve $G = 1,13$. L'avantage du coefficient G est qu'il est possible de calculer rapidement la puissance utile en hiver (432 kW dans les cas présent avec -10°C dehors et +20 dedans)

Vu par les Lutins

Paradigmes

A l'occasion d'un voyage en Allemagne avec sa femme, Balendard citoyen lambda et le responsable des Lutins thermiques ont échangé quelques propos sur la nature des premiers entretiens entre la Chancelière allemande et notre nouveau Président

Balendard

Je me demande comment vont se dérouler les entretiens de la mi-mai entre la chancelière allemande et notre nouveau Président. L'une considérant la grave situation grecque va probablement vouloir défendre la réduction de la dette, l'autre ne pouvant désavouer ses électeurs à propos des problèmes sociaux en France aura bien du mal à réduire la fiscalité en raison de la crise. Quelle est selon vous la meilleure approche pour améliorer nos conditions d'existence en conservant la maîtrise de nos comptes?

Le responsable des Lutins

En décidant de bloquer le prix des produits pétroliers notre nouveau Président sait que ce n'est pas ainsi qu'il va maîtriser l'équilibre de nos comptes à long terme mais il met l'énergie au cœur de ses préoccupations tout en sachant que ce n'est pas ainsi qu'il va relancer la croissance. Sur le court terme, il n'aura pas trop de mal à convaincre la Chancelière du bienfondé de sa décision. En effet, en proposant d'écouler au prix fort du marché actuel des stocks de produits pétroliers acquis à bas coût lorsque le prix du baril de pétrole était au plus bas, la France stoppe temporairement ses coûteux approvisionnements venant de l'OPEP. Elle va ainsi réduire momentanément sa dette pendant 2 à 3 mois économisant environ 10 milliards d'€ représentant environ 25% de la dépense annuelle en produits pétroliers, dépensé qui serait voisine de 40M€.

Balendard

Mais ensuite que va-t-il se passer? Ne craignez-vous pas que la ressource mondiale en produits pétroliers s'amenuisant régulièrement, le prix du baril de pétrole ne flambe à nouveau lorsque les stocks seront épuisés et que l'augmentation de la dette n'en fasse autant ?

Le responsable des Lutins

Je partage votre crainte. Notre Président n'est d'ailleurs pas dupe à ce sujet. Il sait que ce n'est pas en spéculant lui aussi sur le prix du pétrole qu'il va résoudre le problème de fond du grave problème de l'approvisionnement en énergie primaire de l'Europe mais il a besoin d'une pose pour mettre en place sa nouvelle équipe et sa stratégie. Pour convaincre, il compte sur le fait que cette mesure est intéressante sur le court terme non seulement pour la France, mais aussi pour les pays européens qui décident de ne pas pratiquer la même politique que celle qu'il propose. Il sait en effet que ces pays seront eux aussi indirectement bénéficiaires de cette mesure puisque la demande mondiale devenant temporairement plus faible que l'offre, les prix pratiqués par l'OPEP vont diminuer. Il veut aussi adresser un signal fort au monde et montrer combien cette réserve est dérisoire devant les problèmes qui nous attendent. Dans 3 mois, lorsque la réserve des pays européens pratiquant la même politique que la France sera épuisée, il sait que la demande d'approvisionnement vers l'OPEP s'accroissant à nouveau les prix vont faire de même et le cycle infernal en dents de scie des prix du pétrole repartir de plus belle.

Balendard

Si je comprends bien nous nous sommes enfoncés petit à petit dans un cul de sac. Ce n'est évidemment pas en rendant momentanément abordable à chacun d'entre nous ce qui va bientôt n'être accessible qu'à une minorité fortunée qu'il solutionne les problèmes sociaux et les désordres infligés à notre économie par le problème de l'approvisionnement en énergie? Vous m'aviez pourtant dit que l'énergie était notre avenir

Le responsable des Lutins

C'est exact je vous l'ai dit, mais je vous ai dit aussi qu'il nous appartenait de construire cet avenir. Il est de l'intérêt de l'Europe de relancer la croissance et pour y parvenir le nouveau gouvernement français n'a pas d'autre solution que de formuler de nouveaux paradigmes en accord avec l'Allemagne. Dans l'optique de la chaleur renouvelable et du chauffage urbain deux paradigmes complémentaires du 1er élaboré récemment par le gouvernement français précédent et relatif à « l'audit énergétique obligatoire » sont envisageables :

- *Alimenter les immeubles de nos cités en eau non potable*
- *Mettre en place une collaboration européenne abrogeant la guerre de l'énergie et tendant à favoriser une cohabitation entre l'électricité et le gaz plus intelligente que celle consistant à produire l'une avec l'autre en dévastant nos écosystèmes*

Balendard

Oui après l'erreur du « tout électrique » il ne faudrait pas que nous fassions celle du « tout gaz ». De plus il faut mettre les bouchées doubles , il y a autant urgence à réduire la dette que nos émissions de CO2. Le chauffage thermodynamique est un moyen d'y parvenir. En divisant par 3 voire 4 le besoin en électricité pour se chauffer, il prouve que l'énergie la plus chère est celle que l'on consomme le plus mal. Dans la mesure où cette cohabitation ne condamne pas la concurrence, je partage vos propositions

Le responsable des Lutins

Rassurez-vous, l'absence de concurrence qui est une plaie pour celui qui attend depuis trop longtemps va devenir prochainement une niche pour celui qui entreprend. De plus, la concurrence s'établira naturellement plus tard s'il y a une volonté politique forte associée au souhait d'aborder sérieusement à l'échelle industrielle le chauffage thermodynamique. Ce mode de chauffage nous réserve bien des surprises, je devrais dire de "bien agréables " surprises. Mon opinion est que le rédacteur en chef de la revue "Chaud Froid Performance" a raison de dire qu'il y a quelque chose de merveilleux dans le chauffage thermodynamique. D'ailleurs ne l'avez-vous pas vous-même prouvé scientifiquement dans l'étude de votre chaufferie mixte GAZ-PAC lorsqu'en mi saison la température de la source froide se rapproche de celle de la source chaude ?

Balendard

Oui en quelque sorte, mais il y a quelque chose de troublant pour un physicien lorsque la théorie semble prouver que dans cette configuration la puissance thermique développée par la pompe à chaleur est infinie alors que son compresseur est pratiquement à l'arrêt ($COP = T_c / (T_c - T_f)$ avec $T_c - T_f = 0$). C'est pourtant la situation dans laquelle nous nous trouvons lorsque la source chaude à réchauffer est l'eau du sanitaire à 10°C alors que la source froide que l'on refroidit pour prélever de l'énergie dans notre environnements est l'eau de la rivière également à 10°C.

Le responsable des Lutins

Ne remettez pas en cause la loi des gaz parfaits et le diagramme de Carnot au prétexte que la théorie froisserait la pratique. Lorsque l'on divise un NB fini par zéro, il convient de valider l'évidence des chiffres. Considérez plutôt que ce qui vous trouble aujourd'hui vous permettra demain d'obtenir ce que vous escompter -à savoir chauffer votre eau froide économiquement sans devoir pour y parvenir déchaîner simultanément la pleine puissance de deux chaudières au fioul fonctionnant à plein régime

Balendard

Je constate que vous savez être mathématicien quand cela est nécessaire. Pouvoir disposer d'une eau chaude sanitaire au prix de l'eau froide cela m'intéresse. Êtes-vous sûr du résultat?

Le responsable des Lutins

Je pourrais répondre à votre question en vous disant que pour préparer les concepts de demain et avant de pouvoir les généraliser, il faut les élaborer dans la minutie, consulter les acteurs, expérimenter les idées, estimer et améliorer les résultats dans une stratégie d'ensemble à la fois souple et ferme, et aussi savoir s'adapter au fil du temps avec des évaluations régulières.

Balendard

En quelque sorte et comme le pense je crois ce Mr Eric Le Boucher "tout ce que les français ne savent pas faire"

Le responsable des Lutins

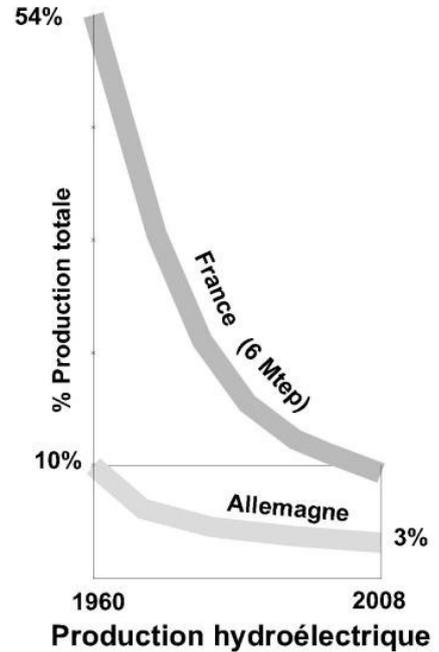
Ils ne seraient pas capables de le faire seul, mais une fois mise en place cette collaboration abrogeant la guerre de l'énergie avec leurs partenaires européens dont je viens de vous parler tout devient possible. Mais est-il bien besoin d'associer rigueur scientifique et discipline budgétaire alors que ces systèmes ont fait leur preuve de faisabilité et de rentabilité pour ceux qui les exploitent depuis plus de 30 ans

L'Allemagne championne des énergies propres

La chancelière allemande a tranché, l'Allemagne sera la première grande puissance industrielle à sortir du nucléaire, d'ici 2021, 14 de ses 17 réacteurs seront mis hors service. Les plus récents au nombre de 3 continuant à fonctionner jusqu'à la fin de 2022. Dès à présent, les 7 réacteurs les plus anciens ne seront pas réactivés. Seul l'un d'entre eux sera maintenu « en veille » en cas de pic de demande et pour pallier toute demande en plein hiver. La part du nucléaire dans la production électrique allemande (26,1% fin 2009) comparée à celle de la France (75,2% fin 2009) n'est pas étrangère au choix politique des allemands. Avec une telle différence, il est facile de comprendre pourquoi la France ne pourrait en aucun cas suivre le même rythme que son voisin. La décision de la Chancelière n'est pas une décision prise à la légère, en effet, les productions de l'électricité en Allemagne sont depuis longtemps plus diversifiées et déjà nettement plus orientées vers les ENR qu'en France selon le fondateur de l'Ademe: 3 fois plus de biomasse, 5,8 fois plus d'éolien, et déjà 33 fois plus de photovoltaïque actuellement. Consciente de l'enjeu, elle apporte depuis longtemps un soutien massif en faveur de la recherche sur ces techniques nouvelles en y consacrant 1% de son PIB. Quasi inexistantes il y a une quinzaine d'années, les ENR représentaient déjà sensiblement en Allemagne 15 % de l'approvisionnement en électricité en 2008. L'Allemagne se veut être un modèle en matière d'énergies propres et se positionne donc début 2011 à l'avant-garde du développement des énergies renouvelables. Elle va d'une part, chercher à réduire de 10% sa consommation d'électricité d'ici à 2020 et est en passe de trouver une solution pour produire les 22% de ses besoins en électricité jusqu'ici couverts par les centrales nucléaires sans avoir recours à la combustion des produits fossiles. Comme la France l'Allemagne a des vues sur l'éolien offshore en complément de son important parc terrestre et il n'est pas déraisonnable de penser au travers de la comparaison faite ci-dessous entre nos deux pays qu'elle est en passe d'y parvenir sans avoir recours à la construction de centrales conventionnelles, type charbon ou gaz et peut-être même sans profiter d'une importation d'électricité nucléaire française. La réaction de la France face à cette décision allemande ne s'est pas fait attendre. La majorité des français, en opposition avec leur gouvernement pro nucléaire actuel, donnerait raison à l'Allemagne sur sa vision énergétique à long terme. Notre Premier ministre de son déclarait, depuis Strasbourg, que la France « *respectait la décision allemande* » de renoncer au nucléaire, mais qu'elle n'avait « *pas le choix* » considérant que l'énergie nucléaire constitue une « *solution d'avenir** ». De son côté, la présidente d'Areva, estime que la décision allemande " *Est une décision totalement politique qui n'est pas le reflet de l'opinion publique allemande, même si les sondages montrent l'émotion des Allemands après la catastrophe japonaise* » Les chiffres et le jugement d'un ancien directeur de l'Ademe semblent prouver que sa vision qui consiste à mettre en doute le caractère « *irréversible* » de la décision allemande est fausse.

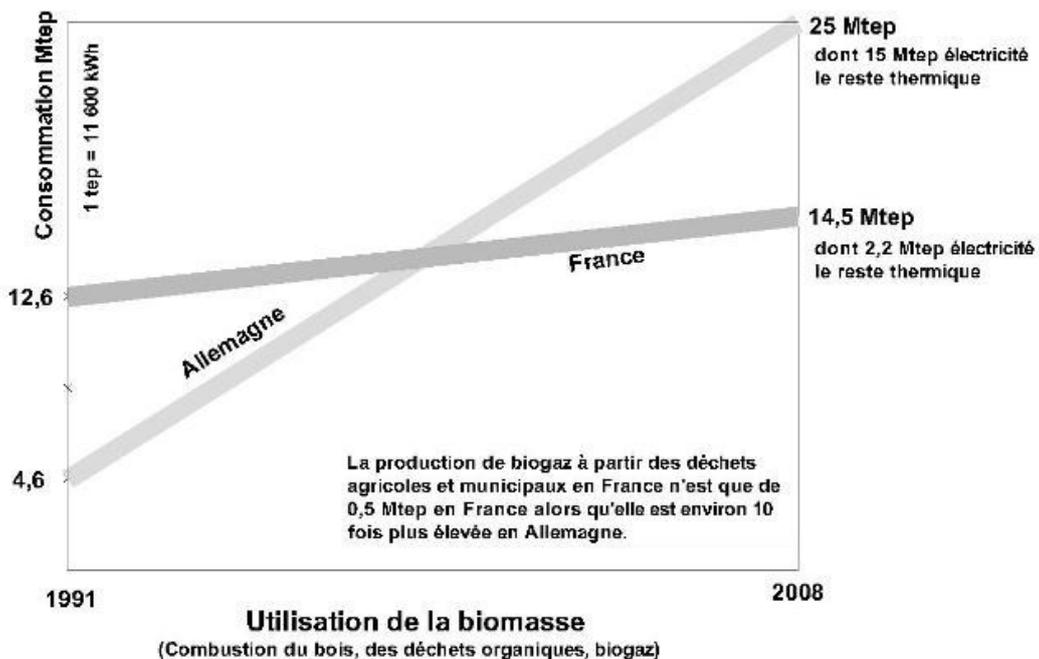
Comparaison des politiques énergétiques françaises et allemandes

En 1960, environ une dizaine d'années après le boom de la création de tous les barrages hydroélectriques français, notre production hydroélectrique représentait plus de 50% de notre consommation électrique. Après 50 ans de bons services et une production sensiblement constante quantitativement jusqu'à nos jours (voisine de 6 Mtep ou 70 TWh) elle ne représente plus maintenant que 10% de notre consommation totale en électricité. Si l'on inclut l'énergie du bois comme source d'ENR, elle représente sensiblement la moitié de l'énergie « verte » française pour seulement 3% en Allemagne.



Quatre pays européens la Norvège, l'Islande, l'Autriche et la Suisse produisent encore plus de la moitié de leur électricité grâce à l'hydraulique.

Malgré sa faible production hydroélectrique (3%), l'Allemagne produit dès à présent 16% de ses besoins électriques grâce aux ENR (solaire et éolien).



En retard sur la France avant l'an 2000, l'Allemagne a su s'imposer beaucoup plus rapidement et dépasse largement la France aujourd'hui dans l'utilisation de la biomasse.

Limeil hanté par son mont d'ordures

● Cinq jours après l'annonce d'une procédure d'urgence pour sécuriser le site, la montagne de déchets pollue toujours en silence la commune du Val-de-Marne
 ● La mairie souhaite que l'Etat intervienne pour mettre fin à ce scandale écologique

Le "volcan de Limeil", comme l'ont baptisé les riverains, semble éteint. Après plusieurs jours de pluie, les fumeroles ne sont plus visibles à la surface de ce mont d'ordures de 150 000 tonnes, 25 mètres de haut et 200 mètres de long, survolé par des corbeaux. De temps à autre, des relents de déchets brûlés viennent cependant rappeler qu'au plus profond de cette montagne, déchetterie de l'entreprise LGD placée en liquidation judiciaire, la température atteint toujours de 300 à 400 degrés. "Je n'ai jamais vu un truc pareil, lance le conducteur d'un bulldozer embauché pour tailler une 'voie' dans le tas afin de faciliter l'accès des pompiers vers le sommet. Quand je suis arrivé ce matin, j'ai cru qu'on voulait me faire tout enlever !"

"Selon les jours et le sens du vent, on sent l'odeur de la fumée, notamment le matin. On ne sait pas combien de temps ça va durer. Juste en face du tas d'ordures, il y a un nouvel écoquartier en construction qui attend ses habitants pour 2012." JACQUES, RIVERAIN DU SUD-OUEST

on peut s'interroger sur sa volonté réelle d'agir vite." Pour l'instant, l'Etat ne semble pas disposé à assumer le coût du déplacement, évalué à 9 millions d'euros, qui incombe, selon la loi, à l'entreprise LGD. Combien de temps les riverains devront-ils attendre si une procédure est lancée ? "Pendant ce temps, nous, nous trions nos déchets, s'insurge Bernard, qui habite à quelques centaines de mètres du site. Il est hors de question qu'on paye pour eux des autres." La société LGD est convoquée au tribunal de grande instance de Creteil le 28 juin. Quel qu'il arrive, la dépollution pourrait durer de six mois à deux ans.

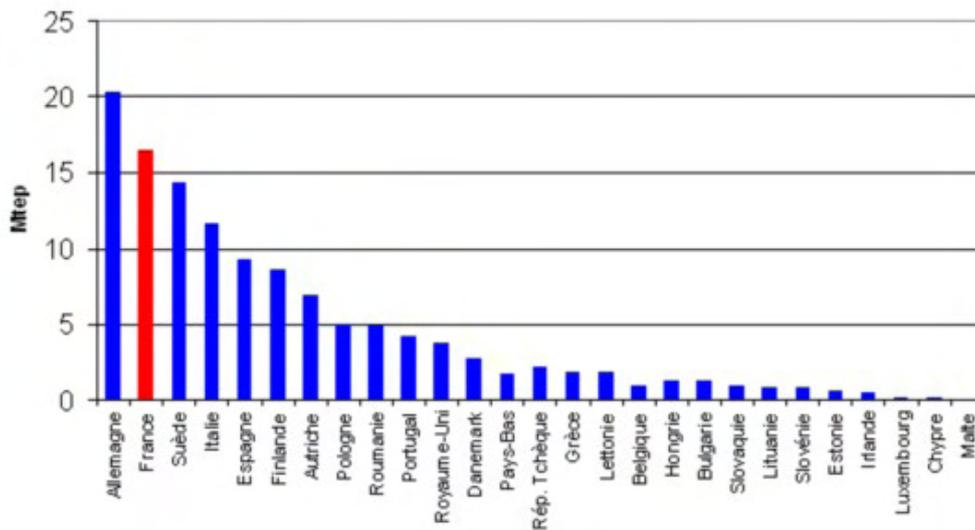
VINCENT MICHELON
 WWW.NETTOYERPARIS.COM

Les centres d'enfouissement technique (CET) ou en d'autre terme le scandale des décharges à ciel ouvert telles que celle de la glacière et la pollution qu'elle entraîne dans la vallée du bas Loup ou celle de Limeil ainsi que la lourdeur des décisions dans ce domaine expliquent pourquoi la production allemande d'énergie à partir des déchets est 20 fois supérieure à la nôtre.



Installations de traitement thermique des déchets en Allemagne en mai 2000 (en vert achevé) en bleu (planifiés)

Production d'énergies renouvelables dans l'Union européenne en 2006 (Mtep)



La France occupe une position encore correcte en raison de son hydroélectricité qui représente encore pratiquement la totalité des ENR produites en France combustion du bois exclus, ceci en totale contradiction avec notre constitution qui stipule que « chacun a le droit de vivre dans un environnement équilibré » Le petit monde du canoë-kayak peut légitimement se plaindre et demander réparation

Ce qu'en pensent les Lutins

Les Lutins thermiques estiment que les orientations françaises et allemandes pourraient bien être complémentaires. La décision de la fédération allemande de produire 100% de leur électricité à partir des énergies renouvelables dès 2050 ne sera selon eux pas trop difficile à tenir quoiqu'en pense certains experts prévisionnistes en énergie. Ceci pour la raison que l'Allemagne se donne actuellement les moyens de repenser les techniques de production et aussi son mode de vie en ne consommant pas nécessairement moins mais différemment. L'apparition d'un chauffage thermodynamique ayant des COP pratique de 7 se rapprochant petit à petit des COP théoriques font qu'il sera dorénavant possible d'être sobre sans se priver en consommant beaucoup moins d'énergie primaire sans affecter son confort de vie. Ils estiment qu'en conséquence pour de multiples raisons ils n'auront pas trop de mal à respecter leur objectif même s'il leur faut importer temporairement de l'électricité nucléaire française peu émettrice de CO₂ le temps que les choses se mettent en place.

Ils seront peut-être contraint de le faire afin d'éviter de construire des centrales utilisant les combustibles fossiles générant les gaz à effet de serre les empêchant de respecter leur engagements européens. Ils pensent que la majorité des français, de leur côté craignent la construction d'un nombre trop important de centrales nucléaires sur leur sol. La densité de la population française a beau être relativement faible comparativement aux autres pays européens* (112 habitants/km²) et celle de ses plus proches voisins** on peut comprendre l'inquiétude d'une ville comme Dieppe qui pourrait être à une cinquantaine de km d'un futur réacteur EPR. Les Lutins estiment qu'une somme de contraintes va alimenter les réflexions de nos deux pays autour des énergies alternatives dans les années à venir et qu'il va se passer beaucoup de choses » d'ici 2022. Pour concilier deux tendances politiques moins contradictoires selon eux qu'on pourrait le penser, les Lutins thermiques proposent de soumettre à l'opinion publique française un objectif à long terme raisonnable pour notre pays et nos voisins: Celui de prévoir une répartition 50/50. A savoir limiter en France à environ 50% la production d'électricité d'origine nucléaire avec 50% d'ENR à l'horizon 2050.

La production électrique à partir des centrales utilisant les combustibles fossiles pourraient selon eux être totalement abandonnée à cette date et remplacée par les ENR d'origine éolienne, solaire, et on l'espère hydroliennes et surtout thermodynamique. Selon eux le temps est venu d'arrêter en France les consommations électriques exagérées en hiver avec le chauffage urbain à effet joule des radiateurs électriques conventionnels. La France profiterait ainsi de son avance technologique dans le domaine de l'atome pendant quelques décennies et nos voisins respecteraient leurs engagements de limitation des GES. Concernant le nucléaire les Lutins estiment que nous n'avons pas le droit à l'erreur et qu'il nous faudra concevoir les dispositifs assurant la sécurité de marche du réacteur d'une grande qualité. Ceci

Les Lutins thermiques

quitte à majorer le prix de l'électricité et à reculer encore la mise en service des nouveaux EPR. : La mise en service de celui de Flamanville prévue en 2012 et reculée en 2014 n'est selon eux pas une mauvaise nouvelle si cela est pour accroître la sécurité de marche du réacteur.

1. D'une grande qualité au niveau des dispositifs permettant de refroidir l'intérieur de l'enceinte de confinement pour éviter la fusion du cœur du réacteur en cas d'incident (inondation ou tremblement de terre). La France pourrait par exemple tenter d'être leader en ce qui concerne les normes de protection aux corps étrangers et à l'eau de mer des groupes motopompes (GMP) en développant des normes draconiennes assurant un fonctionnement correct des GMP en cas l'immersion prolongée dans l'eau de mer.
2. Respectant des normes plus sévères sur la granulométrie du sable et de qualité du béton des enceintes de confinement des réacteurs (et non le colmatage des fuites)
3. Une prise de conscience de la nécessité de mieux gérer le stockage des déchets radioactifs

* Dans cette optique et même s'il est jugé plus sûre que les réacteurs ancienne génération, les Lutins estiment que l'autorité de sureté nucléaire (ASN) devrait prendre la décision de suspendre définitivement le projet de construction du 2^{ème} réacteur nucléaire EPR de Penly situé à moins de 20 km d'un ville de 35 000 habitants (Dieppe). Celui de Flamanville commencé en 2007 et pratiquement achevé étant naturellement finalisé. Les Lutins estiment aussi qu'il est déraisonnable d'entreprendre la construction d'un 3ème réacteur nucléaire EPR avant que les deux premiers réacteurs de ce type soient totalement finalisés et aient donné satisfaction.

** - Monaco 16 000 (habitants/km²)

- Belgique 360

- Allemagne 231

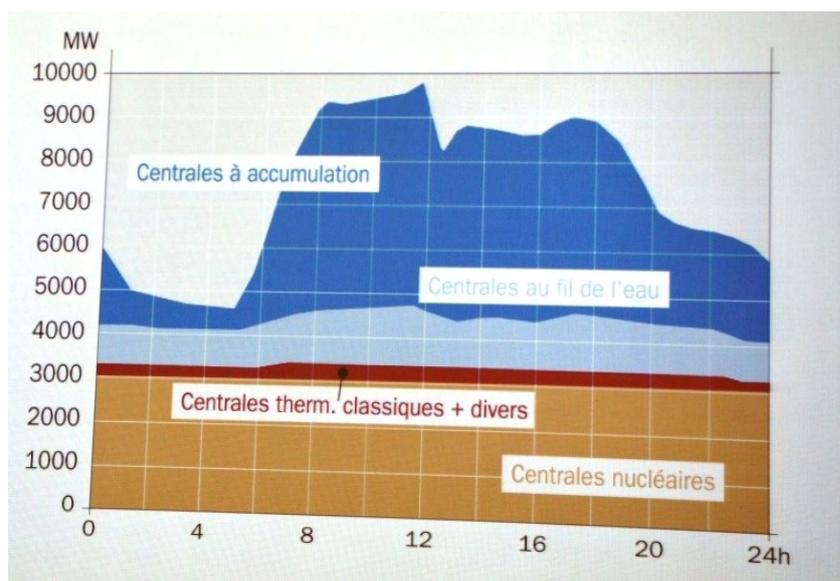
- Suisse 181

- Seule l'Espagne avec 86 habitants an km² est inférieure à la France

L'offre et la demande vue par les Lutins thermiques

Le domaine de l'énergie est selon les lutins thermiques très dépendant de l'offre et de la demande. Cette dépendance s'exerce selon eux de deux façons différentes qui peuvent avoir de graves conséquences pour le consommateur.

Tout d'abord dans le cadre du réseau électrique qui devient dangereusement instable dès lors que le besoin se rapproche des capacités de production. L'opinion encore assez répandue selon laquelle il n'est pas possible de stocker l'énergie électrique en grosse quantité est devenu fausse depuis l'apparition des STEP. La capacité d'une STEP comme celle de Grandmaison sur un petit affluent de l'Isère le torrent Eau d'Olle de remonter un volume d'eau voisin de 100 millions de m³ sur une dénivellation de 1000 mètres permet de convertir l'énergie potentielle correspondante de 10¹⁵ Joules (environ 0,278 GWh) en énergie électrique à la demande et avec un rendement correct. Cette énergie correspond à titre de comparaison à la consommation électrique annuelle d'une ville de 100 000 habitants. Bien que le métro de Paris consomme annuellement une quantité d'énergie électrique sensiblement 3 fois supérieure, la puissance disponible en pointe de 1800 MW à partir d'une STEP comme celle de Grandmaison est nettement supérieure à celle nécessaire pour le métro parisien aux heures de pointe (260 MW). L'énergie potentielle importante que recèlent les grands barrages hydroélectriques à retenue permet donc de disposer en peu de temps d'une énergie cinétique qui est convertie instantanément en courant électrique par des turbines. Cette capacité de répondre rapidement à une pointe de consommation constitue un facteur non négligeable de stabilisation du réseau électrique européen et permettrait de satisfaire les problèmes posés sur notre territoire par l'offre et la demande en électricité.



Cette figure représente la variation de la demande et donc de la production d'électricité en cours de journée en suisse (Source Association de entreprises électrique suisse)

La deuxième façon dont cette dépendance s'exerce est les prix. La crise fait baisser la consommation et l'offre devenant supérieur à la demande, les prix baissent. L'OPEP réduit sa production pour que la demande excède l'offre et que les prix remontent. La demande a été telle sur le plan mondial en raison de pays à forte croissance de plus en plus demandeurs tels que la Chine et l'Inde qu'un décalage de quelques % entre la demande et l'offre aggravé par un marché monétaire instable a suffi à provoquer la spéculation et une envolée momentanée des prix début 2008.

Les centrales à accumulation (barrages à lac) ainsi que les STEP permettent à la production de suivre une variation assez brutale de la demande. Au-delà de ces calculs il y a une certitude, le pétrole devenant plus rare, il va devenir petit à petit plus cher.

L'évaluation du surdimensionnement

Les principaux inconvénients du surdimensionnement des vieilles chaufferies sont dans l'ordre d'importance les suivants:

1. Une chaufferie surdimensionnée est plus chère et moins facile à mettre en place
2. Une chaufferie surdimensionnée a un moins bon rendement
3. Une chaufferie surdimensionnée donne une mauvaise image du besoin

Selon les Lutins, l'inconvénient 1 est le moins grave pour la raison que la chaufferie ne se paye qu'une fois, la mise en place également alors que le surcout qui résulte en achat de combustible du moins bon rendement est de tous les ans et a pour conséquence d'alourdir inutilement année après années la douloureuse. Mais le troisième inconvénient est de l'avis des Lutins assurément le plus sournois et a fait beaucoup de tort à l'origine du chauffage thermodynamique dans les années 70. L'idée du "*Qui peut le plus peut le moins*" est certainement à ce sujet la pire idée qui soit et a eu de graves conséquences sur le devenir de la pompe à chaleur. Les avantages de l'inverter ont il est vrai diminué l'inconvénient 3 mais pourquoi ne pas profiter des avantages d'un dimensionnement adapté au besoin avec une réserve de puissance raisonnable.

Il y a au moins 3 méthodes pour savoir quelle est la puissance réellement utilisée sur une vieille chaufferie au fioul : Celle qui permet de la calculer lorsque l'on connaît les DJU, la période de chauffe et la consommation annuelle de fioul. Appelons la *méthode 1*

Celles qui permettent de la définir par la mesure:

- la *méthode 2* - la plus simple - ne nécessitant pas de matériel particulier si ce n'est une montre pour chronométrer le facteur de marche de la chaudière qui fonctionne sur ces vieilles chaufferies en tout ou rien et un thermomètre pour évaluer la différence de température entre l'extérieur et l'intérieur de l'habitation.

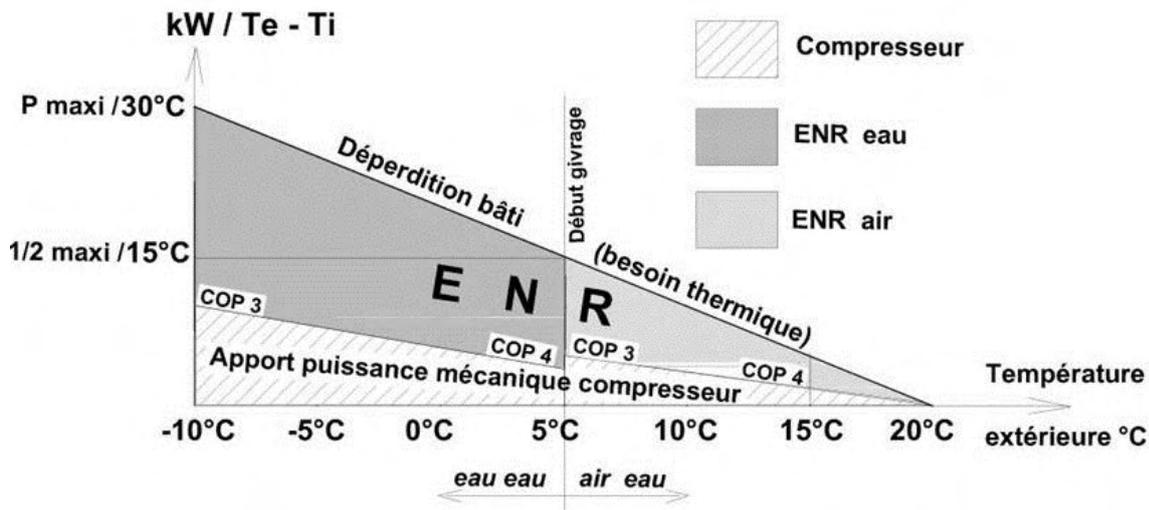
- la *méthode 3* basée sur l'hydraulique qui nécessite de connaître la courbe débit/pression de la pompe centrifuge alimentant le circuit chauffage ainsi que deux thermomètres contact 20/100°C à coller à fixer en chaufferie sur les tuyauteries de départ et de retour radiateur.

Lorsque deux méthodes donnent sensiblement le même résultat le juge de paix pourrait bien être d'effectuer la troisième.

Satisfaire le besoin thermique

Le problème du surdimensionnement

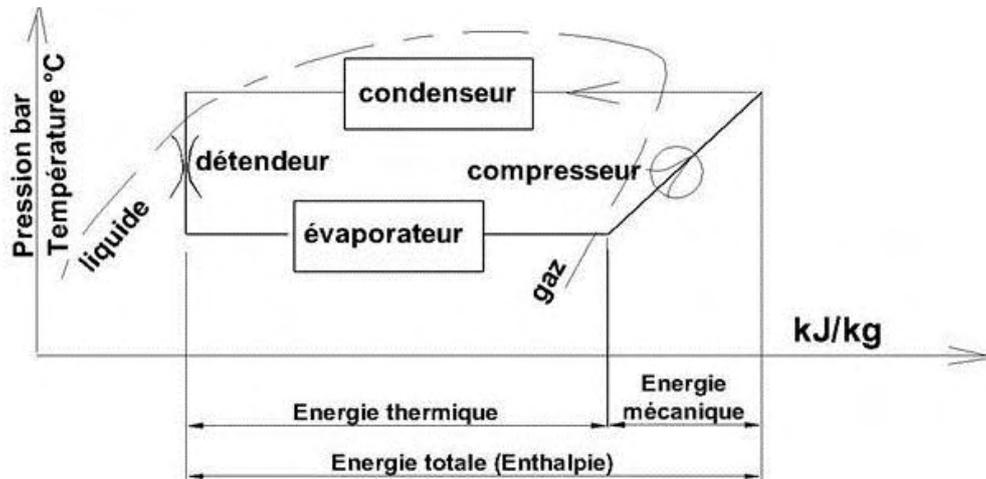
Le surdimensionnement fréquent des chaufferies qui trouve son origine dans le fait que les chauffagistes ou les bureaux d'étude avaient dans les années 60 pour habitude de prendre des "marges" pour "être sûrs" a indiscutablement fait du tort à la filière du chauffage thermodynamique qui doit être dimensionné pour le besoin guère plus. Pour cette raison les anciennes chaudières fonctionnent trop souvent à charge partielle avec un rendement dégradé. Par habitude, lorsque le chauffage thermodynamique a fait son apparition, les bureaux d'étude ont continué à surdimensionner les équipements avec les conséquences désastreuses qui en ont résulté pour la régulation des pompes à chaleur.



La puissance thermique dissipée par le bâti d'un bâtiment à chauffer (Besoin thermique) est directement proportionnelle à la différence de température entre la température intérieure (Exemple pour $20^{\circ}C$) et la température extérieure. Le principe de conservation de l'énergie appliqué au fluide caloporteur d'une pompe à chaleur permet d'écrire que cette puissance perdue dans le bâti est égale à la puissance prélevée dans l'environnement (ENR) indiquée en gris (En gris clair avec un prélèvement dans l'air pour les températures supérieures à $5^{\circ}C$ et en gris foncé avec un prélèvement dans l'eau pour les températures inférieures) majorée de la puissance électrique utile au compresseur (hachures). Cette puissance électrique est convertie en énergie mécanique par le moteur électrique d'entraînement du compresseur avant d'être transformée en chaleur lors de la compression du fluide caloporteur à l'état gazeux. A noter que cette consommation électrique payée par l'utilisateur est fournie directement sous forme thermique par la combustion du gaz dans le cas des pompes à chaleur à absorption. Ces dernières, en raison d'un COP inférieur à celui des PAC à compresseur, prélèvent un peu moins d'énergie dans l'environnement (ENR). Elles sont aussi moins intéressantes en termes d'émission de gaz à effet de serre que les PAC à compresseur qui tirent leur apport d'énergie extérieur de l'électricité moins génératrice de gaz à effet de serre que la combustion.

Il convient donc de *dimensionner au plus juste les installations*. Avec le chauffage thermodynamique, la puissance de la PAC a tendance à devenir supérieure au besoin lorsque la température extérieure diminue et ceci particulièrement lorsque l'échange thermique se fait avec l'air ambiant. La régulation des PAC à compresseur doit en tenir compte de telle sorte que l'on ne prélève dans l'environnement que le besoin, ni plus, ni moins. On améliore ainsi l'efficacité de la PAC et le facteur de marche de la pompe à chaleur.

Pour obtenir ce résultat deux solutions ayant pour vocation de modifier à volonté le débit du fluide caloporteur sont envisageables. Le compresseur de la PAC peut être entraîné à vitesse variable ou équipé d'un dispositif de mise à vide séquentiel permettant de l'entraîner à vitesse constante. Avant de décrire plus en détail ces deux solutions, il convient de parler du fluide caloporteur. On sait que des transferts thermiques peuvent s'effectuer en raison de la *chaleur spécifique* de la matière lorsque celle-ci est soumise à des variations de température. Des transferts thermiques peuvent aussi s'effectuer à température et à pression constante lorsque le corps change d'état en passant de la phase liquide à la phase gazeuse ou inversement*. Ces transferts thermiques peuvent être quantifiés lorsque l'on connaît la chaleur latente massique d'un corps pur, appelée *enthalpie massique* de transition. L'énergie mise en jeu lors d'une réaction qui génère du froid et absorbe de la chaleur est dite *endothermique* et est considérée comme positive pour le système qui la reçoit. A l'inverse une réaction exothermique est celle qui dégage de la chaleur. L'enthalpie est en quelque sorte de la chaleur emmagasinée à l'intérieur d'une unité de masse de matière, quantité de chaleur se libérant lors du changement d'état de cette matière. Ainsi, après avoir été comprimé sous forme gazeuse dans le compresseur, le fluide caloporteur se liquéfie lors de sa condensation et transmet une grande quantité de chaleur dans le primaire de l'échangeur à plaque constituant le condenseur. Lors de ce changement de phase à pression sensiblement constante, le système échange avec l'extérieur une quantité de chaleur par kilogramme de corps pur, appelée : « *chaleur latente (massique) de transformation* ». Chaque corps a une chaleur latente différente. Celle de l'eau ($2,25 \cdot 10^6$ Joule/kg) est différente de celle des fluides caloporteurs tels que le R410a, le R134a et le R744 (en pratique du gaz carbonique) utilisés dans les pompes à chaleur modernes. La variation d'enthalpie du fluide caloporteur s'exprime en Joule/kg. *L'enthalpie massique* est la quantité d'énergie thermique nécessaire pour réaliser, de façon *réversible*, à température et pression constantes, la transition de phase de l'unité de masse d'un corps.



Le diagramme de Mollier ci-dessus illustre bien les transferts d'énergie générés à pression et à température sensiblement constante par la chaleur latente ou enthalpie de transition de phase du fluide caloporteur

Modélisation du système pompe à chaleur - immeuble

On a vu au titre de la « conservation de l'énergie » qu'un immeuble se comporte sur le plan thermique comme une fonction linéaire du premier ordre avec

$$\vartheta_a/P = 1/\zeta S (1+\tau p) \quad 1)$$

et une constante de temps $\tau = (V_a c_a + m_b c_b)/\zeta S \quad 2)$

L'air contenu dans les appartements a peu d'influence sur l'inertie thermique de l'immeuble. C'est surtout la chaleur spécifique c_b des planchers en béton et à un degré moindre celle des murs qui conditionne la constante de temps d'un immeuble isolé par l'intérieur. Les transferts thermiques qui s'effectuent dans les deux échangeurs à plaques constituant le condenseur et l'évaporateur d'une pompe à chaleur eau eau* sont fonction du débit du fluide caloporteur véhiculé par le compresseur de cette dernière.

La connaissance de la « chaleur latente (massique) de transformation » appelée aussi l'enthalpie du fluide caloporteur e_f exprimé en kJ/kg et de son débit massique Q_f en kg/s permet de trouver la puissance P en kW développée au primaire de l'échangeur à plaque du condenseur $P = e_f Q_f = c_e Q_e \Delta\vartheta_e \quad 3)$

Cette puissance est proportionnelle à la chute de température $\Delta\vartheta_e$ de l'eau dans le primaire de cet échangeur

$$\Delta\vartheta_e = T_e - T_s, \text{ (Voir « le transport de l'énergie » page)}$$

On obtient en remplaçant P venant de l'enthalpie dans 1) :

$$\text{Echangeur à eau} \quad \vartheta_a/Q_e = c_e \Delta\vartheta_e / [\zeta S / (1+\tau p)] \quad 4)$$

$$\text{Ou Enthalpie} \quad \vartheta_a/Q_f = c_f / [\zeta S / (1+\tau p)] \quad 5)$$

* L'évaporateur de la PAC air eau étant remplacé par un radiateur à ailette comparable aux radiateurs de refroidissement des moteurs à combustion interne sur les voitures.

Les Lutins thermiques

Les fonctions de transfert 4) et 5) n'ayant pas d'intégrateur, il est nécessaire de prévoir un correcteur du type intégrateur pour supprimer l'erreur statique et obtenir une régulation de température correcte. Un correcteur PID type intégrateur ayant la même constante de temps $\tau = (V_a c_{a+} m_b c_b) / \zeta S = RC^*$ que celle de l'immeuble avec ses planchers en béton et ayant la fonction de transfert suivante $(1+\tau p) / \tau p$ est parfaitement adapté. La fonction de transfert globale du système immeuble + correcteur en boucle ouverte obtenue avec ce correcteur :

$\vartheta_a / Q_f = c_f / [\zeta S / (1+\tau p)] \times (1+\tau p) / \tau p = c_f / \zeta S \tau p$ correspond à un système stable qui déphase de 90° à toutes les fréquences.

En remplaçant p par $j\omega$ on a : $\vartheta_a / Q_f = c_f / \zeta S \tau \omega j$ représentatif du système global en amplitude et en phase. En multipliant haut et bas par le nombre

imaginaire j on obtient : $\vartheta_a / Q_f = - [c_f / \zeta S \tau \omega] j$ ($j^2 = -1$). Pour $\omega = 1/\tau$ le module de ce nombre imaginaire est égal à : $\vartheta_a / Q_f = c_f / \zeta S$ 6)

La formule est bien homogène puisque les deux termes $c_f Q_f$ et $\zeta S \vartheta_a$ sont bien égaux et représentatifs de la puissance émise par la PAC pour le premier terme et dissipée par déperdition dans les parois de l'immeuble pour le deuxième terme.

Les compresseurs d'une pompe à chaleur à compression fonctionnent avec un fluide à l'état gazeux et sont montés en parallèle. Leur conception change selon la puissance : Les compresseurs à spirale type Scroll jusqu'à environ 15 kW, peuvent être à pistons ou à vis pour les puissances supérieures.

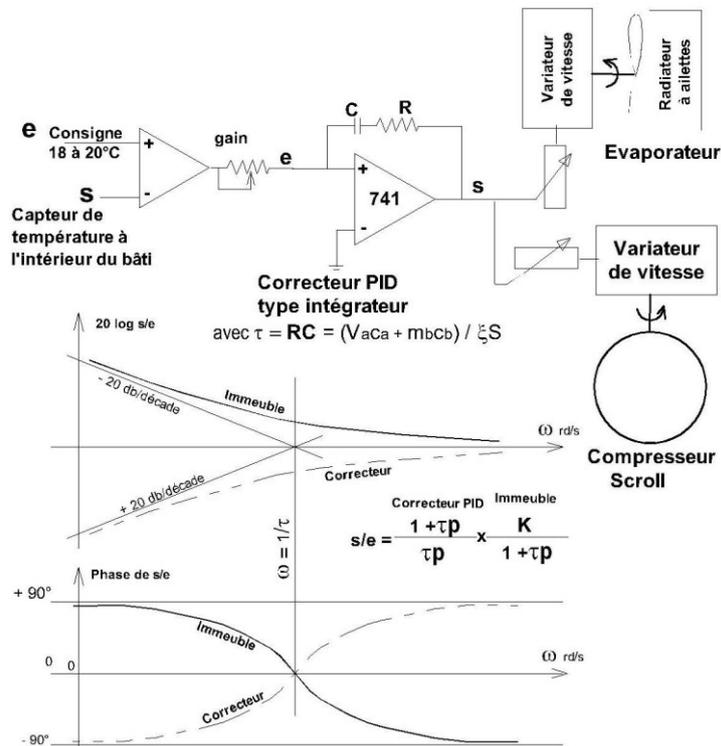
Notations

c_b Chaleur spécifique des planchers et des murs	kJ/kg et °C
c_a Chaleur spécifique de l'air du logement	kJ/kg et °C
c_f Chaleur latente du fluide caloporteur	kJ/kg
P Puissance développée par la PAC	kW
ζ Coefficient de déperdition moyen du bâti	kW/m ² et °C
S Surface de déperdition	m ²
ϑ_a Température de l'air à l'intérieur du bâti	°C
T_e Temp. au primaire de l'échangeur à plaque(EP) du condenseur	°C
T_s Température du retour	°C
Q_f Débit du fluide caloporteur	kg/s
Q_e Débit d'eau dans le primaire de l'EP du condenseur	kg/s

Nota concernant le chauffage urbain

Alors que la température T_e à l'entrée de l'échangeur à plaque peut atteindre 100 °C dans le cas du chauffage urbain, elle est limitée à environ 60°C dans le cas de la PAC (Voire moins pour améliorer le COP) ou de la géothermie profonde. (Pour ne pas affecter le rendement dans le premier cas et diminuer la profondeur donc le coût du forage dans le deuxième cas. Un correcteur PID associé à une valve proportionnelle 3 voies alimentant le primaire d'un échangeur à plaque peut également rentrer dans la chaîne de régulation du chauffage urbain.

Les Lutins thermiques



Pour le lecteur qui peine à assimiler l'aspect théorique, l'utilité du correcteur type intégrateur se comprend intuitivement : Lorsque la consigne de température est égale au retour qui vient du capteur de température installé à l'intérieur du bâti, l'erreur de température est nulle. Cela ne signifie pas pour autant que la vitesse du compresseur doit l'être aussi puisque celle-ci dépend essentiellement de la puissance qui doit être fournie pour maintenir la température dans l'habitation à la température souhaitée. On comprend donc l'importance d'un tel PID qui intègre la différence entre la consigne et la rétroaction en augmentant la vitesse d'entraînement du compresseur en conséquence. La constante de temps τ de l'immeuble est principalement fonction de l'épaisseur des planchers en béton. La consigne e proche de 20°C est gérée par une décision du conseil syndical en accord avec tous les copropriétaires. Ceci dit, chaque copropriétaire devrait avoir le pouvoir de moduler légèrement la température dans son appartement de quelques degrés de part et d'autre de e . Concernant ces réglages privés, la société allemande Stieble aurait l'expérience de la régulation des pompes à chaleur à compression dans le contexte d'une copropriété. Cette régulation permettrait à chaque copropriétaire, sous réserve de disposer d'un réseau de chauffage propre et bien filtré et d'un immeuble correctement équilibré thermiquement, de régler simplement la température dans son appartement de part et d'autre de la température moyenne de 20°C avec une commande centralisée. Pour obtenir cette fonction, la société DANFOSS expérimente des soupapes thermostatiques nouvelle génération et la société EMAP commercialise des ventilo-convecteurs hydrauliques améliorant la convection du radiateur.

Correcteur intégrateur exemple de calcul.

On trouve des composants standards (capacité, ampli opérationnel et résistance) compatibles avec la constante de temps τ importante. Pour $\tau = 300\,000$ s et $C = 100$ microfarads R a pour valeur $R = \tau/C = 300\,000 / (100 \times 10^{-6}) = 3000$ M Ω . Un correcteur numérique peut être prévu à défaut d'un correcteur analogique.

Les compresseurs à vitesse variable

Les pompes à pistons* ou à vis sont avantageusement entraînées par des moteurs électriques équipés d'un variateur de vitesse électronique (on parle d'inverter), les anciennes régulations du type on-off ayant un moins bon rendement. La variation de vitesse procure en effet une amélioration notable des performances, la modulation de la puissance pouvant se faire entre 20 et 115% de la valeur nominale de la pompe à chaleur. L'adaptation de cette puissance en fonction des besoins se modifiant selon la saison permet d'importantes économies d'énergie par rapport aux solutions avec régulation tout ou rien (économie d'énergie primaire allant jusqu'à 30% selon le manuel coédité par l'Ademe et le BRGM). La régulation de température moyenne dans l'immeuble peut être assurée en combinant un régulateur PID et un variateur de vitesse électronique. Le correcteur PID, de type intégrateur est on vient de le voir, indispensable. Calé correctement en fréquence par rapport à la constante de temps τ de l'immeuble, il supprime l'erreur statique pouvant être importante et améliore la précision de la régulation,

Les compresseurs type "digital scroll" à vitesse constante

Les plus grosses pompes type Scroll peuvent être avantageusement entraînées par des moteurs électriques asynchrones triphasés standards et bon marché. Elles sont mieux lubrifiées du fait de la vitesse constante et ont de ce fait une plus grande longévité. La modification et le réglage du débit du fluide caloporteur est alors obtenue mécaniquement par la conception du compresseur. Cette conception consiste en un jeu mécanique de l'ordre du mm pouvant être supprimé en rendant étanche les spirales du compresseur scroll ou non. Le rendement est amélioré par rapport à l'ancienne régulation du type on-off décrite dans le livre, la puissance délivrée par la pompe à chaleur pouvant varier de la puissance nominale à 10% de cette dernière. La suppression ou l'obtention du jeu est assuré par des impulsions électriques de largeur calibrée avec une période de l'ordre de 30 secondes.

Le seul inconvénient est la fuite de gaz qui s'établit temporairement. Cette fuite a pour conséquence de diminuer le rendement qui est cependant amélioré par rapport à la solution avec régulation tout ou rien. La disposition avec le montage tandem, les compresseurs étant disposés en parallèle et un fonctionnement en cascade diminue la puissance des moteurs asynchrones qui sont le plus souvent entraînés à 3000 tr/mn.

Produire l'énergie thermique plus intelligemment en dosant le prélèvement de cette dernière dans notre environnement, tel est le challenge des pompes à chaleur à compresseur modernes.

Le chauffage urbain

Le tableau ci-après permet de comparer quatre modes de chauffage urbain envisageables en ville pour la réhabilitation ou la rénovation des bâtiments existants. Chacune de ces quatre solutions ont le point commun d'utiliser l'eau comme véhicule thermique à la source chaude et de distribuer l'eau jusqu'aux immeubles par des réseaux de tuyauteries. Ces quatre solutions peuvent assurer le chauffage urbain à un coût du kWh thermique moindre pour l'utilisateur que les solutions actuelles. Ceci sans recourir à des solutions aussi catastrophiques sur le plan environnemental que celles envisagées avec le gaz de schiste risquant de polluer dangereusement nos nappes libres et les rivières en communication avec elles. La ville de Zurich prise pour exemple dans les deux colonnes de gauche de ce tableau assure partiellement son chauffage urbain par deux centrales thermiques d'une puissance de 40 MW unitaire basées sur la combustion du bois* pour l'une et des ordures ménagères pour l'autre. Celle utilisant la combustion des ordures présente un avantage par rapport aux centrales de la compagnie parisienne de chauffage urbain (CPCU) notamment de la centrale d'Issy les Moulineaux: Elle n'a pas besoin d'un apport de gaz pour assurer la combustion du fait de l'air pulsé à la partie inférieure du foyer. Le principe utilisé pour le chauffage des locaux dans la troisième colonne utilise directement les réserves thermiques naturelles du sous-sol grâce à un forage profond. Quant au chauffage thermodynamique de la dernière colonne c'est d'une façon indirecte et avec l'aide de l'électricité que la pompe à chaleur à compresseur est capable de prélever dans son proche environnement une énergie thermique renouvelable abondante et gratuite



Centrale de 40 MW assurant le chauffage urbain par la combustion des ordures dans la proche banlieue de Zurich

*Les réserves de bois bon marché en France sont importantes (Forêt landaises) et sont probablement d'une qualité suffisante.

Les Lutins thermiques

Mode	Combustion		<u>Géothermie profonde</u> ¹⁾	<u>Thermodynamique</u>
Energie primaire	Du bois	Des ordures (entretien de la combustion avec de l'air pulsée sans apport de gaz)	Eau chaude de la nappe captive	Electricité + eau froide de la rivière (Plutôt que celle de la nappe libre en communication avec elle ²⁾)
Energie secondaire (production)	Sensiblement le même pour des deux modes, à savoir : Electricité (35%) et chaleur (75%)		Chaleur uniquement. (La température exigée pour la production d'énergie électrique est souvent trop élevée)	Chaleur uniquement
Aspect environnementale	Traitement des gaz brûlés		Energie propre totalement décarbonée	Energie totalement propre si électricité d'origine éolienne, hydrolienne ou hydroélectrique sinon légère production de GES de l'énergie électrique nucléaire
Rentabilité et continuité de fonctionnement	Seulement l'hiver (non rentable l'été)	Envisageable toute l'année	Toute l'année	Toute l'année
Renouvelable ?	Oui		Non (la nappe captive se refroidi progressivement au fil des années)	Oui
Aspect quantitatif	.Le bois coupé n'absorbe plus le CO2	Les 700 kg d'ordure ³⁾ annuel par habitant ne permettent pas d'assurer la totalité du besoin thermique de la ville	La puissance disponible est considérable mais limitée dans le temps pour la raison ci-dessus	Eau : Le débit des fleuves traversant les villes est suffisant pour assurer le besoin global
Difficulté de mise en œuvre	Système connu	Tri des ordures, traitement de l'air, évacuation des imbrulés	Forage et corrosion	Choix fluide caloporteur, système multi-techniques
Réseau de tuyauterie	Calorifugé (La température au départ la centrale ou de la nappe captive pouvant être sensiblement supérieure à 90 °C)			Non calorifugé (La température de départ étant celle du fleuve)
Chaufferie de chaque immeuble	Elle très simple et pratiquement inexistante avec un investissement de départ très faible (Principalement compteur d'évaluation des quantités d'eau chaude livrées, échangeurs de température à contre-courant éventuels et valve 3 voies)			Pompe à chaleur eau-eau (aquathermique)
Facturation de l'eau (l'eau étant en elle-même gratuite)	Basée sur l'amortissement du réseau de tuyauteries et sur la quantité d'énergie thermique contenue dans l'eau chaude livrée pour l'ECS et le chauffage.			Basée uniquement sur l'amortissement du réseau de tuyauteries d'eau froide non potable ⁴⁾

Les Lutins thermiques

1) Chacun sait que le centre de la terre est constitué de roches en fusion. L'élévation de température en fonction de la profondeur n'est pas très importante (3 à 4°C par 100 m). Ceci explique pourquoi il fait si chaud au fond des puits de mines qui sont pourtant encore bien loin de la roche en fusion. L'homme a toujours cherché à récupérer cette chaleur. Cette récupération a souvent été facilitée par l'eau qui favorise les échanges thermiques. L'eau souterraine emmagasinée dans une nappe captive perméable est emprisonnée entre deux couches imperméables qui se sont constituées dans la formation géologique. De ce fait l'aquifère est mis en pression par la charge hydraulique de l'eau qu'il contient. La charge hydraulique est déterminée par la cote piézométrique dans les parties libres de l'aquifère captif. Lorsqu'un forage atteint une nappe captive l'eau remonte brusquement dans le forage et se stabilise sur le niveau piézométrique. Si le niveau piézométrique se situe au dessus de la surface du sol, l'eau jaillie naturellement on dit que le forage est artésien. La surface piézométrique informe sur la profondeur à partir de laquelle on peut pomper l'eau dans un forage. Avec la géothermie profonde on a depuis longtemps réussi à récupérer la chaleur en faisant passer directement de l'eau froide à contre-courant de l'eau chaude pompée dans un échangeur de chaleur. L'expérience des forages encore plus profonds de 4 à 5000 m acquise dans le cadre de la recherche pétrolière par des précurseurs tels que les frères Schlumberger permet d'aller chercher l'eau là où sa température, voisine de 200 °C, rend possible le fonctionnement de turbine à vapeur productrice d'électricité.

En complément des difficultés dues au forage le calorifugeage de l'exhaure doit être effectué avec soin. Sur ce genre d'équipement, certaines zones sont plus chaudes que d'autres, particulièrement les zones volcaniques. L'Islande par exemple est particulièrement favorisée avec ses nombreux geysers et de nombreuses piscines à l'air libre y sont chauffées par ce procédé très bon marché.

En France des veines d'eau chaude stagnent dans des régions de terrains sédimentaires comme le Jura, le bassin aquitain ou le bassin parisien. Une infime partie de ce véritable « trésor énergétique » est aujourd'hui exploitée. Le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) attire depuis longtemps l'attention sur le fait que la région Ile-de-France recèle des bassins sédimentaires aquifères ayant des ressources d'eau chaude. C'est certainement sur leurs conseils et recommandations qu'après les deux chocs pétroliers de 1973 et 1979, l'état a incité les collectivités d'Ile-de-France à se lancer dans des opérations de géothermie profonde au début des années 1980. Quelques municipalités notamment en Ile-de-France ont été maîtres d'ouvrage d'une cinquantaine d'opérations. Quarante-cinq réseaux de chaleur seront ainsi installés. La chute du cours du pétrole en 1986 a stoppée net le développement de la filière et n'a pas incité les pouvoirs publics à soutenir la maintenance des exploitations existantes. Il faut dire que les difficultés techniques rencontrées en raison de la corrosion des tubes métalliques ont affectées le développement de ces procédés. Cependant, malgré ces difficultés et grâce à la région qui a soutenu l'exploitation des réseaux existants, près des 2/3 des puits géothermiques construits à cette époque sont encore en exploitation les 1/3 restant étant tout simplement laissé à l'abandon. Le captage de l'eau de ces aquifères nécessite la mise en place de forages profonds et des investissements importants. Alors que l'aquathermie superficielle et la mise en place d'une pompe à chaleur sur nappe libre est à l'échelle d'un immeuble comprenant une centaine d'appartements, il n'en est pas de même de l'aquathermie profonde qui ne peut se justifier que pour un minimum de 4 000 à 5 000 logements en raison des forages profonds et des travaux coûteux qu'elle nécessite. Avec un prix du baril qui a frôlé les 150 dollars et des prévisions à la hausse les temps changent et de telles réalisations seront probablement mise en œuvre par des municipalités dynamiques. Les installations encore en fonctionnement prouvent en effet qu'avec un prix de revient inférieur au gaz, l'aquathermie profonde est autant intéressante pour l'exploitant que pour l'utilisateur. Se pose malheureusement le coût élevé des forages où la concurrence entre les nombreuses entreprises compétentes n'est pas suffisante au détriment de la baisse des prix du développement technique.

Les Lutins thermiques

²⁾ *Il est important de ne pas confondre la géothermie profonde haute température qui utilise directement l'eau comme véhicule thermique et le chauffage thermodynamique basé sur l'aquathermie superficielle basse température qui nécessite une pompe à chaleur (colonne de droite). La géothermie profonde est comparable pour l'utilisateur au chauffage urbain généré par les centrales à combustion puisqu'elle consiste à faire circuler dans un échangeur de température de l'eau chaude à contre-courant de l'eau alimentant les radiateurs ou les planchers chauffants (voire dans certain cas à alimenter directement ces émetteurs thermiques par l'eau chaude provenant de la centrale). Alors que l'utilisateur est son propre producteur d'énergie dans le cas de la thermodynamique (géothermie superficielle), il dépend d'un exploitant dans le cas de la géothermie profonde ou du chauffage urbain obtenu par la combustion. A noter que la France est sensiblement en retard pour le chauffage urbain par rapport à la Suisse en avance dans ce domaine. Comme pour la pompe à chaleur sur nappe superficielle, se pose le problème de la pérennité du débit et le risque de ne pas obtenir, lors d'un forage, une ressource en eau présentant des caractéristiques de débit et de température suffisantes pour assurer la rentabilité de l'opération projetée. Dans le cas de la pompe à chaleur sur nappe, la présence de la rivière à proximité de l'habitation est une garantie de pérennité.*

³⁾ *Dont 350 kg de déchets ménagers, 170 kg de papier carton, 120 kg de plantes en provenance des jardins, 45 kg de verre, 15 kg d'appareils électroniques et plastiques et enfin 6 kg de textiles.*

⁴⁾ *Majoré éventuellement des dispositifs thermiques permettant d'augmenter la température de l'eau avant l'évaporateur ceci pour améliorer le COP de la pompe à chaleur*

Au moment où l'exploitation éventuelle du gaz de schiste fait débat, il est important de dire que les chaînes énergétiques décrites dans le tableau ci-dessus sont assurément plus intelligentes pour le chauffage urbain que la combustion du pétrole ou du gaz. Ceci pour au moins 3 raisons :

- Les forages nécessités par la géothermie profonde sont moins complexes que ceux nécessités par l'exploitation du gaz de schiste du fait des pressions très élevées et de la partie forée horizontalement
- Le risque de pollution des nappes d'eau, qu'elles soient *captives et profondes* ou bien *libres et superficielles* sont inexistantes ce qui est loin d'être le cas avec la fracturation rocheuse nécessitée par l'exploration du gaz de schiste.
- On ne voit pas comment la France pourrait respecter ses engagements européens de réduction des gaz à effet de serre (GES) en continuant à utiliser la combustion du gaz même s'il est reconnu que la combustion du gaz naturel génère sensiblement moins de GES que le charbon ou le fioul

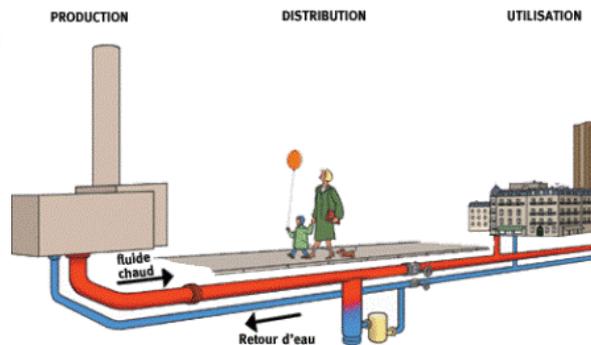
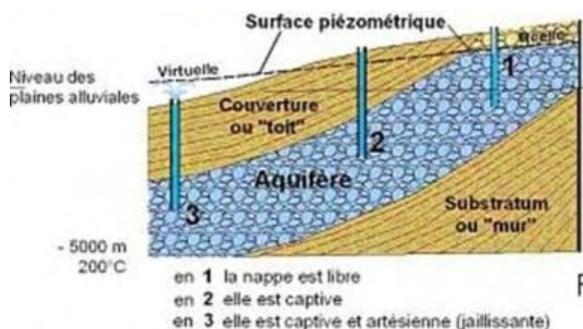
De tous les modes de chauffage la géothermie profonde est incontestablement la championne pour notre environnement et la qualité de l'air puisqu'elle ne génère ni gaz à effet de serre et ne nécessite pas de traitement de l'air indispensable avec les gaz brûlés de la combustion. Le tableau ci-dessous compare les qualités environnementales de chacune des solutions envisageables pour le chauffage urbain.

Les Lutins thermiques

Energie	Combustion				Géothermie profonde	Effet Joule	Thermo dynamique
	Houille	FOD	GN	Ordures**	Prélevée dans l'eau chaude des nappes captives	Electricité directe	Pompe à chaleur
Grammes de CO ₂ par kWh produit	1075	466	242	170	Pas de GES	180*	180/COP

* Source Ademe et MEDAD. pour la France. Ce coefficient, variable selon les pays, dépend de la chaîne énergétique utilisée pour générer l'électricité. Le célèbre institut suisse Paul Scherrer a déterminé que les émissions de gaz à effet de serre n'étaient que de 8g deCO₂ par kWh pour la production électrique d'origine nucléaire alors qu'elles monteraient à 17g/kWh pour l'électricité d'origine éolienne et à 78 g/kWh pour l'électricité d'origine voltaïque.

** Valeur valable en France où seulement 60% à 70% de l'énergie est obtenue par la combustion des ordures, le complément étant assuré par le gaz ou le fioul pour entretenir la combustion



Les forages 1 au niveau des plaines alluviales sont du domaine de l'aquathermie superficielle. Ils mettent en jeu des pompes à chaleur destinées à une maison ou un immeuble. Dans les villes où la surface manque, ils pourraient être évités en prélevant l'eau directement dans le fleuve ou la rivière. Dans le cas de la géothermie profonde 2 (eau chaude) ou très profonde 3 (vapeur d'eau surchauffée) un seul forage suffit à alimenter un quartier entier comprenant de nombreux immeubles.

Avec le chauffage urbain utilisant la combustion des ordures ménagères tel que cela se pratique par exemple en région parisienne (CPCU) et en Suisse l'eau chaude alimentant les immeubles est générée par une centrale de production. Sa distribution est assurée par un réseau de tuyauteries particulièrement bien isolées thermiquement (similaire à celui prévu pour la géothermie profonde)

Selon les singularités du sous-sol, il arrive parfois comme à Chaudes-Aigues que la présence d'eau qui stagne à 2000m dans les couches profondes de notre sol se rapproche de la surface. Ainsi la région Ile-de-France, du fait de sa grande densité de population et de l'existence d'une importante ressource d'eau chaude dans son sous-sol, semble la plus à même d'investir dans la géothermie. Selon les propos de Guy Simenot, de l'Ademe, « l'Ile-de-France est la terre de la géothermie ». Le conseil régional y consacra, avec l'Ademe, environ 22 millions d'euros sur la période 2008-2013 répartis sur douze opérations comprenant six réhabilitations et six nouveaux chantiers qui permettront de raccorder au minimum l'équivalent de 30 000 nouveaux logements.

Les Lutins thermiques

Point important

Alors que le chauffage thermodynamique (aquathermie superficielle) refroidi notre l'écosystème constitué par la rivière, l'aquathermie profonde risque de le réchauffer. Le rejet de l'aquathermie profonde pourrait toutefois assuré dans la nappe libre sans trop perturber « l'écosystème rivière » bien que qu'une température de rejet trop élevée dans les couches superficielles entraîne en effet inévitablement une teneur en oxygène dans l'eau rejetée trop faible et une accélération microbienne non négligeable.

Les circuits hydrauliques de la géothermie profonde et du chauffage urbain sont comparables et plus simple pour la copropriété que ceux de la combustion ou du chauffage thermodynamique.

L'avis des Lutins thermiques

Ils estiment que nous sommes en retard techniquement par rapport à nos voisins suisses pour le chauffage urbain lorsque les centrales utilisent la combustion.

Nos capacités d'innovation sont aussi selon eux trop lentes selon eux lorsqu'il s'agit de techniques pourtant connues telles que le chauffage thermodynamique. Si l'on conserve ceux qui sont aux commandes, ils estiment que - sauf à reconsidérer complètement les critères de progression - ce n'est pas en rebaptisant l'AFPAC en INPAC que l'on va faire progresser ces techniques où nous pourrions avoir une place de leader.

" Il vaut mieux faire partie de ceux qui établissent les règles plutôt que d'être parmi ceux qui font le choix de les adopter".

Phrase du secrétaire général de l'OCDE:

Les deux diagnostics de performance énergétique (DPE)

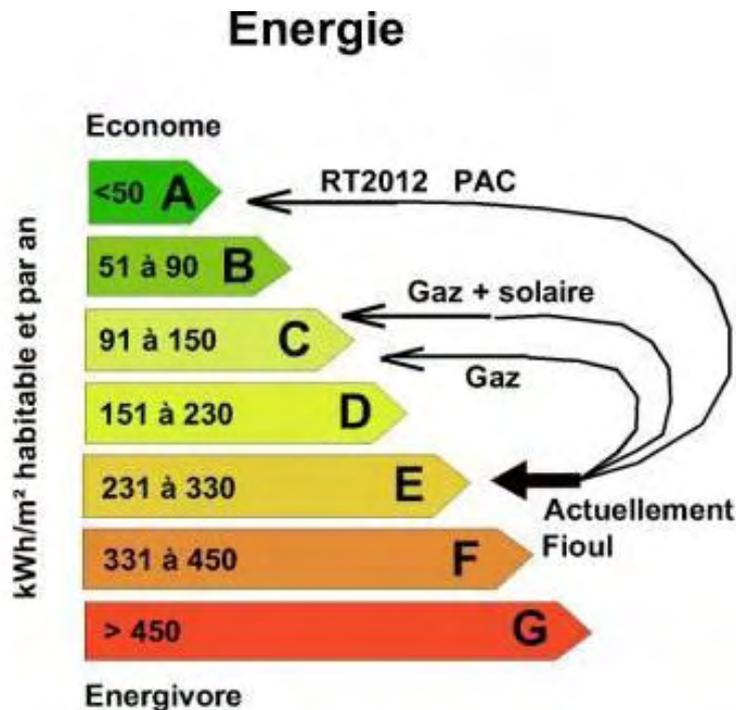
L'affichage de ces diagnostics de performance obligatoires pour la vente d'un appartement commence à porter ses fruits. Les propriétaires, bailleurs ou occupants commencent à réaliser qu'il est de leur intérêt que leur patrimoine soit estimé à sa juste valeur. Ils prennent conscience que ce patrimoine ne doit pas se dévaloriser et qu'il peut être de leur intérêt d'éviter que le fossé ne se creuse trop entre la valeur de leur immeuble ancien et les constructions nouvelles. Les lutins thermiques estiment qu'il est judicieux qu'à l'occasion de la vente et même de la location d'une maison ou d'un appartement, l'agent immobilier soit tenu d'afficher une appréciation du classement énergétique du bien. Ils demandent plus de transparence et ils espèrent que la base de données mise en place par l'Ademe à partir de la compilation des diagnostics permettra à cet organisme gouvernemental de mettre au point un logiciel de simulation simple d'utilisation et accessible gratuitement sur internet. Selon qu'il s'agit d'une vente ou d'une location, ce sont le vendeur ou le bailleur qui finance ce diagnostic de performance qui donne deux informations importantes:

Malgré l'affichage obligé de ces DPE depuis le début 2011, déjà obligatoire depuis le 1er novembre 2006 pour les ventes de logements et le 1er juillet 2007 pour les locations mais peu diffusé par les notaires, force est de constater que les immeubles existants sont encore mal isolés et que la grande majorité des logements français présente un Diagnostic de Performance Energétique (DPE) les classant dans les catégories D à F, soit parmi les plus basses. Les logements classés en A ou B, c'est-à-dire les plus vertueux, restent une exception. Il est pourtant possible de réduire la consommation énergétique des bâtiments existants dans des proportions acceptables, disons 30% en améliorant l'isolation. Le retour économique reste toutefois encore trop long en raison des investissements de départ trop élevés et aussi d'une réglementation thermique RT 2012 inadaptée à l'ancien pour l'existant. D'autre part les copropriétaires, s'ils sont intéressés par la diminution de la consommation thermique de leur immeuble afin de réduire leur charges* sont moins sensibles au fait que les émissions de GES seront réduites dans les mêmes proportions. Ceci malgré les efforts de sensibilisation de l'état dans ce domaine.

Selon une étude du réseau Ex'im basée sur 100 000 logements français, la consommation annuelle moyenne du parc immobilier français se situerait aux alentours de 240 Kwh/m²)

Le premier diagnostic

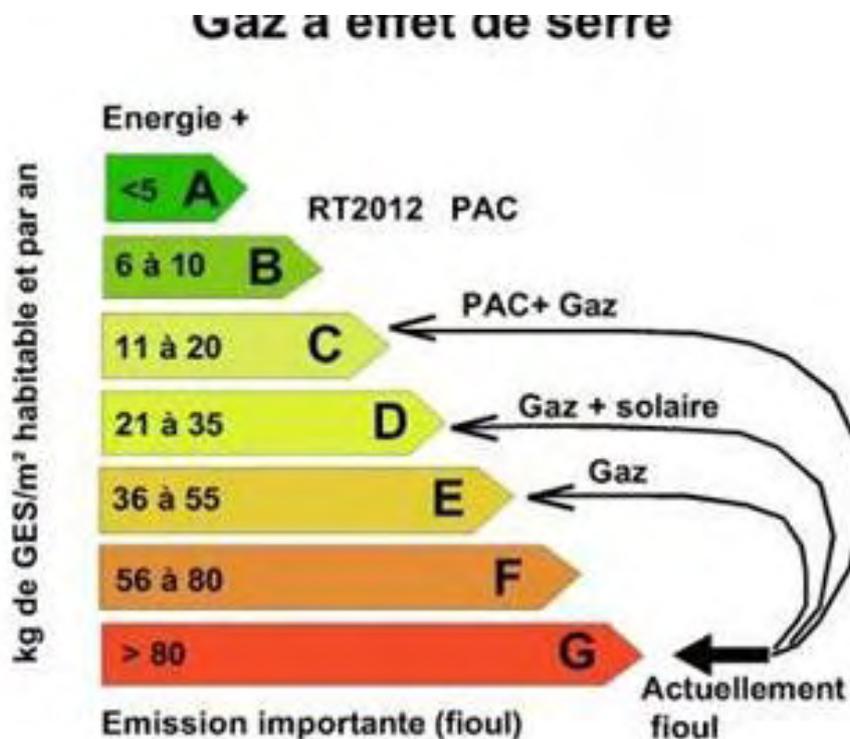
Appelée aussi *l'étiquette énergie* il concerne la **consommation énergétique** de l'habitation pour assurer le chauffage, la production d'eau chaude sanitaire et assurer éventuellement la climatisation. Cette information est essentielle pour *l'acheteur ou le locataire* puisqu'elle l'informe des dépenses qu'il va devoir engager après l'achat du bien pour assurer son confort. Ces dépenses peuvent en effet varier d'une façon très importante selon que le logement est économe en énergie et bien isolé ou au contraire mal isolé et énergivore. L'échelle de qualité thermique du logement va de **A**, pour le logement le plus économe, consommant moins de 50 kWh par m² habitable et par an, à **G** pour un logement très mal isolé et énergivore consommant plus de 450 kWh par m² habitable et par an. Selon les lutins thermiques, ce classement ne donne toutefois qu'une consommation indicative moyenne qu'il convient d'interpréter en fonction des DJU (degré-jours-unifiés) de la région où se trouve le logement. Ils m'ont aussi expliqué que la consommation réelle peut varier notablement d'une année sur l'autre en fonction de la rigueur de l'hiver considéré.



Exemple de calcul : Compte tenu de l'équivalent calorifique de 1 litre de fioul (10 kWh), un immeuble de 5700 m² habitable brûlant 150 m³ de fioul par an consomme $1\,500\,000 / 5700 = 263$ kWh/m² et par an et est classé **E**

Le deuxième diagnostic

Il concerne les **émissions de gaz à effet de serre (GES)** de l'habitation compte tenu de son mode de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire d'une climatisation éventuelle. L'échelle de qualité du logement va également de **A** à **G**. **A** pour le logement à énergie positive émettant moins de 5 kg de dioxyde de carbone (CO₂) par m² habitable et par an, à **G** pour un logement émettant plus de 80 kg de dioxyde de carbone (CO₂) par m² habitable et par an tel que le chauffage au gaz et surtout au fioul particulièrement polluants.



Exemple de calcul Sur la base d'une génération de 0,466 kg de CO₂ par kWh avec le fioul, le même immeuble génère 699 tonnes de CO₂ par an ou $699\ 000 / 5700 = 122$ kg de GES par m² habitable et par an. Il est classé en **G** et génère une quantité de gaz à effet de serre très importante.

Les Lutins thermiques

* IMPORTANT :

En passant de la classe E (Par exemple 240 kWh/m²/an) à la classe C (par exemple 120 kWh/m²/an) la dépense annuelle pour l'achat des combustibles d'une copropriété est réduite de 50 %.(ce qui correspond sensiblement à une diminution des charges courantes assez importante (voisine de 20%). Malheureusement, les frais à engager pour l'isolation afin d'obtenir ce résultat sont assez importants et peuvent être plus intéressants pour la copropriété d'améliorer dans un premier temps le dispositif assurant la génération d'énergie.

Un chauffage thermodynamique prélevant 50% de l'énergie dans l'environnement permet de réduire les charges dans les mêmes proportions pour un investissement pouvant être inférieur avec un avantage complémentaire significatif: Celui de réduire dans des proportions plus importantes les émissions de GES de la chaufferie :

En passant à une chaufferie gaz et sur la base d'une génération de 0,242 kg de CO₂ par kWh avec le gaz naturel, l'émission de GES passe à $0,242 \times 900\,000 \times 0,001 = 218$ tonnes de CO₂ par an au lieu de 699 tonnes avec le fioul soit $218\,000/5700 = 38$ kg de GES par m² habitable et par an. (classe **E**)

En passant à une chaufferie du genre pompe à chaleur sur nappe et sur la base d'une génération de 0,180 kg de CO₂ par kWh électrique (données Ademe), l'émission de GES passe à $0,18 \times 900\,000 / \text{COP} \times 0,001$ tonnes de CO₂ par an soit avec un COP global de 4 pouvant facilement être obtenu avec ce type de PAC ayant un excellent rendement, une émission de GES réduite à 40,5 tonnes ou $40\,500/5700 = 7,1$ kg de GES par m² habitable et par an. et un passage en classe **B**

Le rendement de la combustion

Les chaufferies des immeubles équipés d'un chauffage collectif par chaudières fioul lorsqu'elles sont rénovées vers le gaz naturel comprennent le plus souvent deux voire un nombre plus important de chaudières à condensation de même puissance. Cette disposition assure la pérennité du chauffage en cas d'incident sur une des chaudières et permet de fournir le besoin en cas d'hiver exceptionnellement froid avec un fonctionnement des chaudières en cascade.

Les 4 facteurs principaux qui améliorent le rendement de la génération thermique sont :

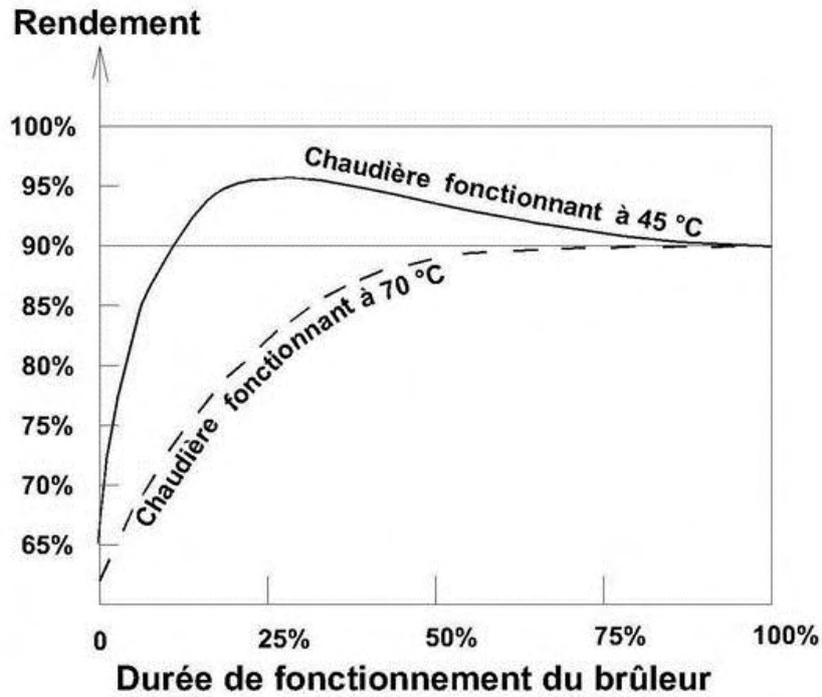
1. Les variateurs de débit sur l'air de combustion et sur le combustible (gaz ou fioul),
2. Une basse température sur les gaz brûlés
3. La condensation de l'eau contenue dans ces gaz rendue possible par la basse température
4. Le préchauffage de l'air de combustion

Fournir le besoin pas plus

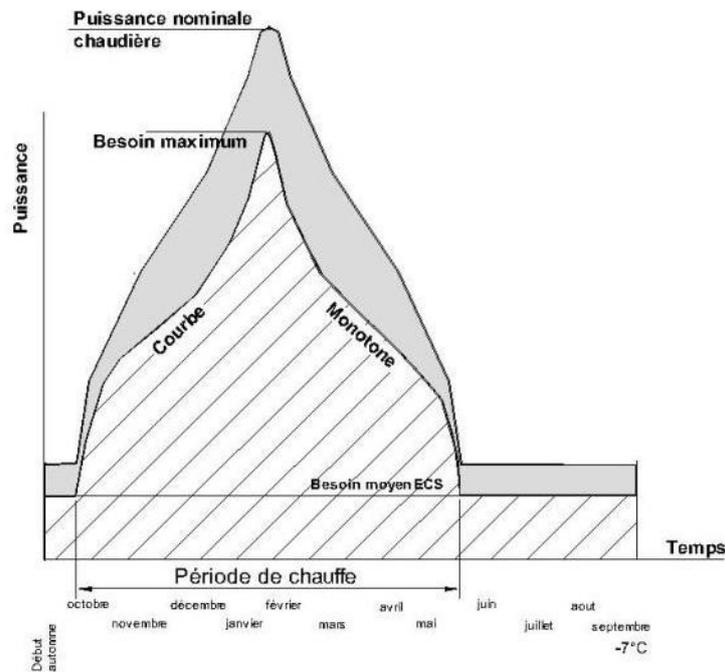
Le besoin en puissance pour assurer une température constante dans le logement varie selon la saison comme l'indique la courbe monotone ci-dessous. Cette puissance est en effet proportionnelle à la différence entre la température extérieure et la température de confort à l'intérieur du logement. Le cycle *tout ou rien* des chaudières anciennes génération particulièrement lorsqu'elles sont surdimensionnées entraîne des temps de fonctionnement très court avec des temps d'arrêt trop importants particulièrement en mi-saison entraînant une surconsommation inutile. La combustion est moins bonne, les rejets d'imbrûlés augmentent et le rendement diminue. Les deux figures ci-dessous permettent d'évaluer les pertes de puissance avec ces anciennes chaudières. L'ademe attire l'attention sur les pertes d'énergie inutiles qui résulte du surdimensionnement de la génération.

L'implantation d'un variateur de vitesse permettant de contrôler le débit d'air de combustion à l'entrée du brûleur ainsi que le débit de gaz naturel présente l'avantage fournir un fonctionnement en continu de la chaudière avec une plage importante allant de 20 à 100% de la puissance de chauffe maximum. Il est ainsi possible de mieux satisfaire le besoin thermique variant suivant la saison. Le rendement est grandement amélioré par rapport au fonctionnement tout ou rien d'un brûleur. Comme l'indique les figures ci-dessous

Fonctionnement en tout ou rien selon le taux de charge



Rendement d'une chaudière ancienne génération fonctionnant en tout ou rien (D'où l'intérêt des radiateurs basse température)



Les pertes d'énergie correspondantes pendant une année (en gris)

Les surfaces étant proportionnelle à l'énergie, on peut estimer une perte de rendement globale annuelle voisine de 25 à 30%



Le brûleur d'une chaudière moderne

Figure montrant le variateur de vitesse sur l'arrivée d'air de combustion et de gaz naturel d'un brûleur de chaudière moderne (Courtesy De Dietrich)

La possibilité de moduler la puissance de 20 à 100% en faisant varier les débits d'air et de gaz permet d'obtenir un fonctionnement à charge réduite avec une perte de rendement beaucoup plus faible par rapport au fonctionnement tout ou rien d'un brûleur



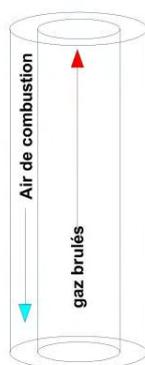
Le condensat

Figure montrant la tuyauterie de récupération des eaux du condensat. L'autorisation est donnée de rejeter le condensat dans les eaux usées mais seulement après traitement. Le non-respect de la réglementation peut entraîner deux ans d'emprisonnement et 75 000 € d'amende. Le condensat est en effet acide pour la raison que le gaz carbonique CO_2 soluble dans l'eau H_2O , forme un acide carbonique CH_2O_3 très acide ayant un pH voisin de quatre dans le cas de la condensation avec le gaz alors que le rejet doit avoir un pH supérieur à 6,5. Le passage du condensat acide dans du charbon actif élimine tout d'abord les traces éventuelles de combustible dans le cas du fioul. On le fait ensuite traverser un lit de graviers calcaires ce qui suffit à "neutraliser" l'acidité avant le rejet. A noter que le condensat non traité attaque les métaux. (cette attaque éventuelle ne concerne que la tuyauterie de couleur bleu). La fonte d'aluminium au silicium, le cuivre, et l'acier inoxydable sont les métaux qui résistent le mieux à cet acide. Les fournisseurs de chaudières travaillent en collaboration avec des sociétés assurant la fourniture des tuyauteries d'évacuation des gaz brûlés. Celles-ci sont prévues en inox pour les chaudières de forte puissance alors que pour l'individuel, ces tuyauteries sont parfois prévues en PVC. Ce sont ces mêmes sociétés qui traitent le condensat avant rejet.

Chaudière basse température :

Considérons une chaudière fonctionnant avec une température extérieure de 0°C et une température des gaz brûlés dans le conduit d'évacuation de 200°C valeur malheureusement encore trop courante avec les chaudières anciennes génération. Un chimiste a établi qu'il fallait 10 m³ d'air pour brûler correctement un litre de fioul domestique. Compte tenu de la densité de l'air sec (1 m³ correspond à sensiblement à une masse m d'air de 1,25 kg), de la chaleur spécifique de l'air sec (de 1 kJ/m³ et °C) et de l'équivalent thermique de un litre de fioul voisin de 10 kWh, la quantité de chaleur perdue par litre de fioul consommé est de $W = 1,3 \times 200 \times 10 = 2600 \text{ kJ}$ ou 0,72 kWh. Soit une perte de rendement voisine de 7%.

Avec une chaudière basse température évacuant ses gaz brûlés à 30 °C au lieu de 200 l'amélioration du rendement est de l'ordre de 6%. Il est donc intéressant de récupérer la chaleur contenue dans les gaz brûlés.

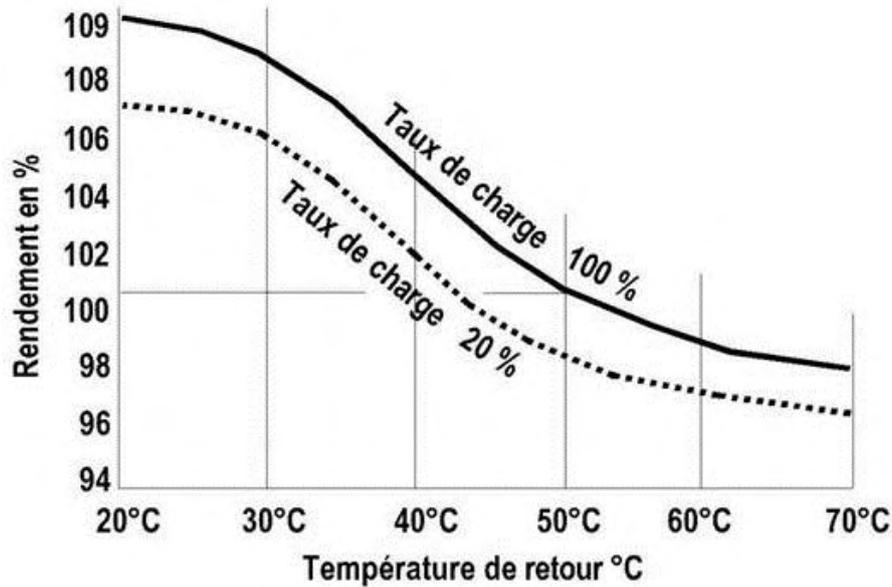


Une solution pour y parvenir est par exemple de faire fonctionner le conduit d'évacuation des gaz brûlés comme un échangeur à contre-courant. L'air froid de combustion circulant dans l'anneau extérieur de deux tubes concentriques refroidi les gaz brûlés à haute température circulant dans le tube central avant leur rejet dans l'atmosphère. L'air de combustion arrive plus chaud dans la chambre de combustion améliorant le rendement

Chaudière à condensation

		Point de rosé selon température ambiante °C					
Ambiance °C		-7	4	16	27	38	49
Humidité relative %	90%	-8	3	14	25	36	47
	80%	-9	1	12	23	34	43
	70%	-11	-1	10	20	31	41
	60%	-12	-3	7	18	28	38
	50%	-14	-5	4	15	25	34
	40%	-17	-8	2	11	21	31
	30%	-21	-11	-2	7	16	25

Les gaz brûlés contiennent de la vapeur d'eau. En observant le tableau ci-dessus on remarque qu'en abaissant la température des gaz brûlés à des températures de 30 à 40°C, on peut condenser cette vapeur d'eau. La chaleur latente de condensation de l'eau, voisine de 2250 kJ par kg d'eau condensé peut ainsi être récupérée. Cette chaleur est loin d'être négligeable. Pour un litre d'eau condensée par litre de fioul consommé, valeur souvent retenue par les sociétés assurant la fumisterie (Installation des tuyauteries d'évacuation des gaz brûlés et le traitement du condensat), c'est donc une énergie thermique de 0,6 kWh qui peut être récupérée soit nouvelle amélioration de 6% compte tenu de l'équivalent thermique de un litre de fioul voisin de 10 kWh. Le lecteur comprendra aussi l'utilité de ce tableau pour le phénomène de givrage des PAC air eau en relève (partie gauche du tableau) qui limite leur fonctionnement lorsque les températures extérieures sont trop basses



Conclusion

Une chaufferie moderne équipée de chaudière à condensation avec variateur de débit sur l'air de combustion peut voir son rendement global s'améliorer de 30 à 35 % diminuant dans les mêmes proportions les frais d'exploitation de la chaufferie. Pour encourager l'utilisateur l'état accorde un crédit d'impôt symbolique pour la chaudière basse température avec une légère amélioration du crédit d'impôt pour la condensation.

L'avis des Lutins

Paradoxalement les Lutins font observer qu'il n'est pas fait mention dans les aides fiscales éventuelles du contrôle des débits d'admission alors que c'est cette option qui est la plus intéressante en termes d'amélioration du rendement. Plutôt que de faire miroiter des aides telles que la CEE, de parler de prime à la casse plutôt qu'à la cuve, Les Lutins thermiques font observer qu'il serait probablement préférable d'interdire purement et simplement la vente de ces chaudières ancienne génération fonctionnant en tout ou rien. Un point négatif de la combustion seule est la génération de gaz à effet de serre et le fait qu'aucune énergie gratuite n'est prélevée dans l'environnement. En conséquence, même avec ces améliorations ci-dessus, le coût des frais d'exploitation de la combustion coût des combustibles inclus reste plus élevé qu'une chaufferie ENR.

Le comptage des ENR

Afin d'éviter les arnaques aux aides fiscales et tous les problèmes financiers qui peuvent en découler, les Lutins thermiques estiment qu'il sera nécessaire d'imposer un dispositif de contrôle des ENR produites par les chaufferies nouvelle génération utilisant le chauffage thermodynamique. Compte tenu des avantages du chauffage thermodynamique utilisant des pompes à chaleur à compresseur ils ne comprennent pas pourquoi l'Ademe ne propose pas quelques solutions ou orientations qui permettraient de comprendre comment faire ce comptage.

Si la copropriété ne change pas ses habitudes de vie et décide dans un premier temps de ne pas investir dans l'isolation mais uniquement dans la génération avec un complément ENR ce qui est parfois possible et pourrait se comprendre compte tenu des frais importants à engager notamment pour les doubles vitrages, ils estiment qu'il est alors facile de faire cette évaluation. Ceci pour la simple raison qu'en ne changeant qu'un seul paramètre à la fois la comparaison avant - après est plus facile à faire. Deux cas peuvent se présenter :

1. Celui d'une PAC à compresseur sur nappe fonctionnant en *substitution de chaudière* (c'est-à-dire se substituant complètement à la combustion) et fournissant donc en conséquence la totalité de l'énergie thermique consommée par l'utilisateur*. Il est alors possible selon eux d'estimer la quantité d'ENR produite par la nouvelle chaufferie à partir de la différence entre la consommation de combustible (ou du moins de son équivalent thermique) avant la modification et la consommation électrique pour alimenter les compresseurs de la PAC après celle-ci.
2. Celui où la copropriété décide d'installer une PAC *air eau* moins performante en relève de chaudière. L'opinion des Lutins est qu'il peut alors être intéressant de différer l'implantation du complément ENR d'une année voire plus. Il est en effet alors possible de comparer la quantité de combustible consommé la première année (ou du moins son équivalent thermique) avant l'implantation du complément de chaufferie ENR, avec la quantité de combustible consommée l'année suivant implantation du complément de chaufferie ENR.

La différence entre ces deux quantités étant l'énergie fournie par la PAC *air eau*, il est alors facile de définir la quantité d'ENR fournie par le système à partir de la consommation électrique des compresseurs de la PAC. Cette solution présente d'autre part l'avantage d'échelonner les dépenses. Cette méthode suppose toutefois que les relevés de l'EDF et de Gaz de France soient bien en rapport avec l'énergie

Les Lutins thermiques

réellement consommée ce qui ne semble pas être toujours le cas. (Voir ce cas pratique non communiqué au médiateur de l'énergie faute de temps).

Dans le cas où la copropriété décide d'investir à la fois dans l'isolation et dans la génération en modifiant deux paramètres à la fois, il est selon eux plus difficile d'évaluer la quantité d'ENR produite par la chaufferie. En effet les déperditions thermiques du bâti ont diminuées et doivent réévaluées. La thermographie n'étant pas encore quantitative, l'expérience acquise dans le chauffage urbain avec les méthodes de comptage basées sur la mesure des quantités d'eau et les différences de températures départ-retour peuvent être utilisée au bénéfice de la copropriété sous réserve que ces méthodes soient accessibles financièrement à une petite structure comme la copropriété. La notion de temps intervient alors et il est nécessaire d'intégrer en permanence le débit et la différence de température. (Puissance thermique = $Q \times (T_d - T_r)$)

L'évaluation théorique

D'après la formule de conservation de l'énergie $W_c = W_f + W_m$ 1)

Par définition le COP est égal au rapport entre le flux thermique développé à la source chaude que divise l'énergie mécanique d'entraînement du compresseur.

soit $W_c / W_m = \text{COP}$ soit en remplaçant $W_c = \text{COP} \times W_m$ par sa valeur dans 1) on trouve $\text{COP} \times W_m = W_f + W_m$ et

$$W_f = W_m (\text{COP} - 1)$$

W_f est représentatif de l'énergie ENR prélevée dans l'environnement

- Avec un COP de 3 on a $W_f = W_m (3 - 1) = 2 W_m$ et l'on constate que la production d'ENR est deux fois supérieure à l'énergie électrique consommée soit 66% d'ENR.
- Avec un COP de 4 on a $W_f = W_m (4 - 1) = 3 W_m$ et l'on constate que la production d'ENR est trois fois supérieure à l'énergie électrique consommée soit 75% d'ENR.

Selon que la PAC fonctionne seulement une partie du temps en relève d'une chaudière à combustion ou en substitution de cette dernière avec un fonctionnement en continu le % d'ENR est naturellement modifié. A titre d'information on peut estimer qu'une PAC *air eau* en relève bien conçue et dimensionnée pour une région ayant un DJU de 2300 °C avec une commutation du

Les Lutins thermiques

fonctionnement en mode combustion vers le mode PAC pour une température extérieure voisine de 6°C (pour éviter le givrage), voit sa production d'ENR limitée à environ 30% au lieu de 66%.. Par contre, avec une PAC *eau eau* ayant un COP moyen de 4 et fonctionnant en substitution de chaudière (c'est-à-dire remplaçant purement et simplement celle-ci avec un fonctionnement en continu* pendant toute l'année) on peut estimer une production ENR de 75% (L'énergie prélevée gratuitement dans la rivière est trois fois supérieure à l'énergie électrique payée par la copropriété)
L'étude de la modélisation du système formé par l'immeuble et sa pompe à chaleur permet d'évaluer la part d'ENR prélevée dans l'environnement.
(Voir page)

* Il est possible d'améliorer la pérennité du fonctionnement et d'améliorer les conditions d'entretien de l'exhaure en limitant le risque d'un dysfonctionnement éventuel avec un double prélèvement dans l'air et dans l'eau le prélèvement de l'énergie ENR se faisant dans l'air hors saison de chauffe pour l'ECS (Voir page)

¹⁾ Les puissances de 10

10^{18}	10^{15}	10^{12}	10^9	10^6	10^3	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}
Exa (E)	Péta (P)	Téra (T)	Giga (G)	Méga (M)	Kilo (k)	milli	micro	Nano (n)	Pico (p)

Le pouvoir d'achat en zone urbaine

Lorsque l'on examine les charges courantes d'une copropriété on s'aperçoit que la fourniture de l'énergie nécessaire au chauffage et à la production de l'eau chaude sanitaire atteint tous frais confondus dans les cas les plus défavorables la moitié des dépenses. Particulièrement dans le cas d'un chauffage collectif au fioul ou d'un chauffage électrique individuel. Il y a de nombreuses méthodes pour réduire les dépenses :

1. **Résoudre les problèmes courants.** On peut ainsi améliorer le rendement en nettoyant le réseau de chauffage avec le désembouage, réparant les calorifugeages défectueux des canalisations d'eau chaude, évitant le fonctionnement en surchauffe, en purgeant convenablement le circuit, en intervenant auprès du chauffagiste pour qu'il améliore le réglage et l'entretien des chaudières quitte à modifier le contrat d'entretien, en mettant une de chaudière en veilleuse si l'équipement est surdimensionné ce qui est souvent le cas.
(Voir page)
2. **Isoler le bâti.** Une deuxième méthode pour réduire ces charges trop importantes est naturellement de diminuer la quantité d'énergie consommée en améliorant l'isolation du bâti de l'immeuble puisque comme chacun sait l'énergie la moins chère est celle que l'on ne consomme pas. Le seul problème est que le coût des dépenses à engager pour assurer l'isolation dans l'habitat urbain ancien est trop souvent trop important en regard des économies réalisées sur l'achat des combustibles, particulièrement si l'on souhaite que la diminution d'énergie soit significative.
(Voir page)
3. Une autre méthode proposée par Nicolas Hulot parfois controversée est de **baisser les températures** de chauffage. Les économies qui peuvent en résulter peuvent être importantes. Il est parfois possible de le faire sans nuire à son confort, parfois même en l'améliorant. Les apports d'énergie externes tels que le soleil ou internes avec les appareils ménagers, les canalisations d'eau chaude sanitaire situées à l'intérieur du bâti permettent de couper le chauffage plus souvent sans nuire au confort lorsque l'habitation est bien isolée.
(Voir page)

4. Une dernière méthode plus efficace et malheureusement moins connue améliore le pouvoir d'achat plus rapidement que précédentes sans qu'il soit besoin de se priver. Cette méthode parfaitement envisageable est celle qui consiste à **réduire le prix de l'énergie** en la prélevant localement dans l'environnement avec une combustion moins consommatrice de produits fossiles. Des techniques avancées pour y parvenir telles que le chauffage thermodynamique sont maintenant au point et à notre portée et il y a un début de prise de conscience européenne de quelques acteurs à ce sujet. Cette prise de conscience est malheureusement insuffisante. Alors que les ressources en pétrole et en gaz s'épuisent en raison de l'appétit des pays émergents, alors que le coût de la vie augmente pour les plus pauvres, alors que l'argent du pétrole est la plupart du temps aussi sale que le pétrole lui-même, nous n'aurons à moyen terme pas d'autre choix que d'évoluer vers ces nouvelles technologies propres nous assurant un avenir décarboné. Les investissements ne sont pas aussi colossaux que certains le prétendent. Il faut surtout une volonté politique et la volonté d'aller à l'essentiel : Faire du chaud quand il fait froid rien de plus.

(Voir page)

Les idées reçues et le chiffre 10

Selon les Lutins les idées reçues ci-dessous sont difficiles à démontrer.

Du moins ils n'ont pas les connaissances pour en faire la démonstration.

- ✓ La première est maintenant admise et sert quoiqu'on en dise de base à l'ingénieur thermicien lorsqu'il aborde le dossier technique de la rénovation thermique d'un logement.
- ✓ La deuxième concerne la convection et la dissipation thermique dans l'air. Si vous demandez aux Lutins de vous expliquer pourquoi cette valeur leur semble exacte, ils ne sauront vous répondre mais ils vous diront qu'à l'occasion d'applications numériques comparatives utilisant les logiciels disponibles sur internet incluant celui qu'ils ont créé pour les besoins de l'hydraulique industrielle ou utilisant les tableaux de valeurs diffusés par la revue chaud froid performances (CFP) les résultats sont sensiblement identiques.

1^{ère} idée reçue

La combustion de un m³ de gaz naturel ou de un litre de fioul génère une énergie thermique de **10 kWh**

Exemple

Un foyer fiscal qui consomme 2 m³ de fioul dans l'année pour son chauffage (de juin à juin) utilise pour ses besoins thermiques une énergie de
 $2000 \times 10 = 20\,000 \text{ kWh}$

2^{ème} idée reçue

Une surface en acier transmet à l'air environnant une puissance thermique de **10* watt/m² et °C**

Exemple

Un radiateur hydraulique en acier à 50°C ayant une surface de chauffe de 2m² dans un air environnant à 20°C transmet une puissance thermique de
 $P = 10 \times 2 \times (50 - 20) = 600 \text{ watt}$

**Nota :* Ce coefficient augmente sensiblement avec les émetteurs thermiques type ventilo-convecteur du fait de l'amélioration de la convection

Les coups de gueule des Lutins

100% qui dit mieux ?

A la suite de quelques articles sur l'énergie rédigés sur le site du MEDAD par Balendard, citoyen lambda, le responsable des Lutins thermiques a accepté une dernière interview sur le sujet du « rendement ». Voilà pour l'essentiel la nature de la conversation sur le thème : Un rendement de 100% qui dit mieux ? :

Le responsable des Lutins thermiques

« Un rendement de 100%, cela me fait penser aux convecteurs électriques à l'effet Joule : on paye au prix fort un kWh électrique et on reçoit en échange un kWh thermique.... un peu moins même, mais en tout cas, pas plus ».

Balendard

Ce rendement de 100%, me fait plutôt penser au travail à la chaîne, à la condition humaine et à cette comédie dramatique de Charlie Chaplin « Les temps modernes ». Sur le fond, rien d'important à rajouter à vos propos, si ce n'est que certains constructeurs de convecteurs électriques font preuve d'ingéniosité. Ils se sont rendu compte que la production de l'électricité étant rythmée par le jour et la nuit, ils pouvaient utiliser la chaleur spécifique de la matière pour accumuler dans celle-ci, et pendant la nuit, une petite quantité d'énergie pour assurer une partie du besoin thermique pendant le jour. Ceci avec un coût du kWh électrique sensiblement deux fois moins cher en raison de la diminution de la demande aux heures creuses.

Le responsable des Lutins thermiques

Oui vous avez raison, il est normal que l'énergie profite à ceux qui font l'effort de la comprendre. Mais ne perdez pas de vue que cette quantité d'énergie stockée est bien faible par rapport à celle qui est accumulée dans vos planchers en béton. De plus, la chaleur générée par l'effet joule provient malheureusement uniquement de l'énergie primaire la plus difficile à produire : donc la plus onéreuse : l'électricité. Cette dernière est pour l'instant trop dépendante de l'uranium ou du vent et cette dépendance persistera, je le crains, encore longtemps. Je considère la publicité des constructeurs qui vantent les convecteurs électriques et les associent aux énergies renouvelables comme une publicité mensongère. Pour la rénovation dans l'ancien, je préfère encore cette

publicité relative à la condensation et à son rendement supérieur à 100%. On n'estime que la combustion de 1 m³ de gaz naturel ou de 1 litre de fioul produit grosso modo 10 kWh thermiques si on laisse les gaz brûlés s'échapper librement dans l'atmosphère. Par contre si l'on abaisse la température de ces gaz en récupérant au passage l'énergie thermique qu'ils contiennent en récupérant par condensation la chaleur latente de l'eau contenue dans ceux-ci, alors, on obtient des rendements de 106%, voire même notablement supérieurs » et l'utilisateur y retrouve son compte ».

Balendard

Je suis tout de même étonné de vous voir valider un rendement supérieur à 100%. Je ne peux m'empêcher de penser au mouvement perpétuel qui ne peut durer indéfiniment sans apport d'énergie extérieure. Mais il me revient à l'esprit ma première expérience consistant à faire bouillir de l'eau dans une casserole qui m'avait permis de valider la chaleur latente de l'eau de 2250 kJ/kg.

Compte tenu de l'équivalence entre le kJ et le kWh*, c'est environ 0,6 kWh que l'on récupère par litre d'eau condensé. A raison de un litre d'eau récupéré par litre de fioul consommé le rendement est bien amélioré de 6% puisqu'il est reconnu que la combustion de un litre de fioul produit environ 10 kWh. Rien de bien extraordinaire pour finir à tout cela. Vous avez raison, il faut se réjouir que cette technique soit maintenant mature et permette de produire l'énergie thermique à un coût moindre. Ce qui m'inquiète est la qualité de l'eau récupérée par condensation qui doit être chargée de résidus pétrolier ou gazeux, rejette-t-on cette eau directement dans la rivière ? Peut-être connaissez-vous des techniques de chauffage encore plus intéressantes?

Le responsable des Lutins thermiques

Vous me posez deux questions à la fois. Je vais tenter d'y répondre.

« Oui, vous avez raison, la condensation est mature, mais concernant le condensat, il est effectivement acide. Il est indispensable de réduire cette acidité du condensat et de contrôler son pH avant de le rejeter dans le réseau d'eaux usées. Le non-respect de cette règle peut conduire à deux ans d'emprisonnement et à 75 000 € d'amende. Les dispositifs de chauffage par condensation se doivent de ne pas augmenter l'acidité du fleuve et de la mer dans laquelle il se jette. Concernant le rendement supérieur à 100% vous avez raison, il n'y a pour finir rien de bien extraordinaire à tout cela. « Par contre, un rendement de 300%, voire de 500% ça fait rêver. C'est tellement énorme que malheureusement personne n'y croit. Au moment où tout le monde se plaint de son pouvoir d'achat c'est vraiment dommage, mais que voulez-vous, au royaume des aveugles les borgnes sont rois. Je me réjouis toutefois de voir apparaître dans le domaine du chauffage thermodynamique la notion de « performance » qui est mieux perçue que celle maintenant un peu vieillotte du « rendement ».

Balendard

En vous écoutant parler il me vient à l'esprit le logo d'une société américaine spécialisée dans l'hydraulique industrielle « *L'assurance de la performance* ». Vous avez raison, le mot *performance* rassure. L'idée selon laquelle le chauffage thermodynamique utilisant les pompes à chaleur à compresseur est un chauffage électrique moderne et performant comparé à l'effet joule, commence à être mieux perçue par le citoyen pour le plus grand bien de son portefeuille. Il commence aussi à comprendre qu'avec les coefficients de performance (COP) de 3, il peut récupérer 2 kWh thermique gratuitement pour 1 kWh électrique payant, et c'est tant mieux. Moins dépendant des énergies primaires, il protège ainsi son environnement en y prélevant une chaleur renouvelable et gratuite. Cependant j'ai entendu dire que ces systèmes refroidissent notre environnement. Ne craignez-vous pas que le résultat soit contraire au but recherché ?

Le responsable des Lutins thermiques

Non rassurez-vous, mais si le but recherché de chauffer le logement est respecté c'est précisément par le fait que le chauffage thermodynamique refroidit notre environnement. Plus modérément toutefois que ne le réchauffaient les gaz brûlés de la combustion. Paris intramuros a une densité de population 200 fois supérieure à la moyenne nationale et ses habitants ne vivent pas encore en enfer que je sache ! Non seulement son action sur l'environnement sera moindre, mais elle sera même le plus souvent bénéfique. Par exemple, le flux endothermique d'une pompe à chaleur aquathermique en refroidissant légèrement la rivière augmentera sa teneur en oxygène et la vie qui y règne encore un peu. Même si tous les parisiens se chauffaient à partir d'une PAC aquathermique la Seine ne risquerait pas de geler en aval de Paris ! Pour s'en convaincre il suffit de comparer le débit moyen de la Seine dans Paris de 300 m³/s au débit d'eau voisin de 5 litres/seconde nécessaire à l'alimentation d'une PAC de ce type capable de chauffer un immeuble relativement mal isolé d'une centaine de petits appartements. On arrive à plus de 6 millions d'habitants alors que Paris intramuros est peuplé de 2 millions d'habitants. Comme vous le voyez, il y a de la marge. On ne pourra continuer à ignorer le formidable réservoir thermique renouvelable que constituent les fleuves qui traversent les grandes métropoles pour assurer le chauffage urbain. Quant à la pompe à chaleur aérothermique, elle refroidira localement légèrement l'air ambiant des villes, je vous l'accorde, mais il n'y a assurément pas lieu d'être inquiet à ce sujet. Le flux exothermique de la pompe à chaleur qui réchauffe votre immeuble repartira encore dans l'atmosphère en le réchauffant. Je vous rappelle que conformément à la loi de conservation de l'énergie le flux exothermique d'une pompe à chaleur est égal à la somme de son flux endothermique majoré de l'énergie développée par le moteur électrique entraînant le compresseur. C'est en bonne partie en modifiant la chaîne énergétique pour produire l'énergie thermique dans les villes que l'homme à une petite

Les Lutins thermiques

chance de diminuer légèrement le réchauffement climatique. Au moment où une organisation mondiale présidée par le Maire de Paris et comprenant 70 métropoles vient de signer le pacte de Mexico afin de lutter contre le réchauffement ne croyez-vous pas qu'il va falloir agir ? Mais assez de climatologie, puisque notre entretien concerne le rendement, j'aimerais savoir pourquoi vous semblez plutôt recommander dans votre étude préliminaire d'échanger l'énergie avec l'air plutôt qu'avec l'eau alors que les performances sont notablement améliorées avec ce dernier fluide ?

Balendard

Je crains pour l'assise de notre immeuble et celle des bâtiments voisins. L'essai Proctor en mécanique des sols m'a appris que la compacité d'un sol s'améliore pour une teneur en eau optimum et je crains que l'augmentation de la teneur en eau à l'aplomb du rejet ou sa diminution à l'emplacement de l'exhaure, n'affecte l'équilibre de l'ensemble et n'aggrave les fissures de notre immeuble. N'avez-vous pas remarqué en marchant sur une plage que le sol est plus ferme si l'on se rapproche du rivage et du sable humide qu'il ne l'est si l'on marche sur du sable sec ?

Le responsable des Lutins thermiques

Le risque est semble-t-il moindre que vous ne l'imaginez. Entre l'hiver et l'été, la nappe phréatique monte et descend de quelques mètres sans que votre immeuble en souffre, mais je respecte votre inquiétude et la gêne temporaire que pourrait imposer vos deux forages localisés. Je vais voir ce que je peux faire, c'est un problème grave de prise de conscience du politique. J'ai appris que le chauffage urbain ne pouvait pas arriver jusqu'à vous en raison de ses tuyauteries d'eau chaude et de l'éloignement de la centrale thermique par rapport à votre immeuble mais je ne vois pas à priori ce qui interdirait l'alimentation en eau froide non potable des immeubles dans les grandes villes françaises alors qu'elles sont la plupart du temps traversées par un fleuve ou une rivière.

Balendard

Je vous remercie de ce que vous pourrez faire. C'est incontestablement la fin du « pétrole facile » et il est probable que notre nouvelle chaudière à gaz avec sa durée de vie voisine de 30 ans sera encore dans la force de l'âge alors qu'il nous faudra subir le début du « gaz difficile ». Même si les réserves de gaz sont considérables, la surproduction actuelle de gaz annoncée par l'Agence internationale de l'énergie va concentrer la consommation de combustible primaire sur le gaz et accélérer la baisse de ses réserves. Ne croyez-vous pas que l'électricité va maintenant plutôt être produite dans les prochaines décennies à un prix moindre par les centrales thermiques fossiles générant du CO₂ que par l'électricité du nucléaire et des éoliennes gourmande en capitaux ?

Le responsable des Lutins thermiques

La transition vers les énergies nouvelles se fera probablement comme vous venez de le décrire. Le prix de l'électricité va augmenter en raison des investissements lourds du nucléaire et des énergies du vent. Ne perdez pas de vue que la France a promis de générer 23% d'énergie renouvelable d'ici à 2020. Ce n'est pas la puissance de 3.000 mégawatts qui sera, on peut l'espérer, délivrée par les 600 éoliennes offshores installées dans la Manche qui nous permettront de respecter cet objectif. Représentant l'équivalent de deux centrales nucléaires lorsqu'il y a du vent, alors que la France en possède environ 50, elles ne représenteront tout au plus qu'environ 4% de notre production d'électricité. Un nombre respectable de % manquent à l'appel, particulièrement si l'on veut rendre vie à nos rivières. Le passage au 23% d'énergie renouvelable ne pourra se faire que si l'on prend conscience de l'importance du chauffage thermodynamique en zone urbaine. Les investissements nécessaires à leur implantation seront probablement financés en partie par les « malus » de ceux que l'on autorise à polluer en produisant de l'électricité à plus bas coût avec la combustion du gaz. Le vrai problème est aussi la rénovation énergétique des bâtiments existants et son financement. Nous ne pouvons plus prendre de retard dans ce domaine et nous devons préparer dès à présent les investissements de demain. Au lieu d'être victime de la tyrannie du court terme, il convient de donner plus de valeur au long terme en s'orientant vers une chaleur différente de celle obtenue par la combustion ou pire encore par l'effet Joule. Je suis heureux d'avoir discuté avec vous des performances peu connues du chauffage thermodynamique, malheureusement pour la démocratie, lorsque trop peu de gens tentent de sensibiliser l'opinion publique pour défendre la juste cause, lorsque ceux qui savent craignent de ne pas être crus et se taisent trop longtemps par paresse, intérêt, ou irresponsabilité, alors, un jour ou l'autre, l'égoïsme économique l'emporte et les désastres écologiques surviennent. Il est temps de réaliser que le chauffage thermodynamique est notre avenir. Les énergies vertes ne doivent pas rester un rêve alors que les techniques sont à notre portée ?

Balendard

Oui, vous avez raison, d'autant que le transformateur EDF est sur notre terrain et que la Seine n'est pas bien loin. Recevoir 4 kW, voire 5, en améliorant notre environnement et en n'en payant qu'un seul cela mérite réflexion.

* 1 kWh = 3600 kJ

En effet: il y a 3600 secondes dans une heure et 1 kJ/s correspond à une puissance de 1 kW

Ecologie Hervé Kempf Cancon, pas Cancun

Les cancon bobo sur Cancun ont tout du concon : les commentaires entourant l'ouverture de la conférence sur le climat dans la station balnéaire mexicaine ont dénoncé la stagnation des négociations et rappelé les Etats à leur devoir. Faut-il voir là l'expression d'une écologie Bisounours toujours en pleine forme ?

La diplomatie n'est jamais autonome : elle forme l'écho des forces sous-jacentes qui meuvent l'histoire. Celles-ci franchissent parfois des points de rupture. Eclate alors en pleine lumière le nouvel ordonnancement des puissances. Les traités sont, parmi d'autres événements, ces jours de lumière.

Dans le cas du climat, le système de forces est double. D'une part, un jeu géostratégique classique de puissances – Chine, Etats-Unis, Europe, Russie, Inde, etc. – illustrant une tension Nord-Sud.

D'autre part, du fait de l'originalité historique de la crise écologique, un jeu planétaire, se déclinant dans chaque société, d'opposition entre deux modes de développement économique et de répartition des richesses.

La négociation climatique est engluée dans la tension géostratégique du bipôle Etats-Unis et Chine, l'Europe ayant abandonné son ambition en ne séparant pas son destin de celui des Etats-Unis.

Il reste l'autre opposition, toujours tue par l'écologie Bisounours : celle confrontant une croissance économique assise sur une inégalité sociale, à une économie écologique dont la sobriété suppose la justice sociale. Cela constitue l'autre blocage de la négociation : presque

tous les Etats importants sont engagés dans un modèle de croissance matérielle – rebaptisée « verte » – visant à conserver l'ordre social inégal. Et le développement écologique et juste est en fait défendu par ce qu'on appelle la « société civile ». Son expression est bornée par l'oligarchie et par les médias qu'elle contrôle. Mais c'est en fait de la force, de l'énergie, et de la capacité de persuasion de ces forces populaires que dépend l'évolution des choses.

La conférence de Copenhague a été un tournant, parce que, pour la pre-

.....
Si un traité sur le climat est nécessaire, il ne pourra s'écrire que sous la pression populaire
.....

mière fois, dans l'arène du climat y a émergé la société civile, sous le slogan de « justice climatique ». Si un traité sur le climat est nécessaire, il ne pourra s'écrire que sous la pression populaire. C'est pour quoi, plutôt qu'à Cancun, où les diplomates ne feront que sauver les apparences, c'est dans les mouvements de protestation et de proposition qu'il faut chercher l'énergie de l'avenir. En France, c'est à Cancon (Lot-et-Garonne) qu'il faudra être le 4 décembre. Sur le Net, <http://blog.cancon2010.org>. S'y feront entendre ceux qui veulent « changer le système, pas le climat ». ■

.....
Courriel : kemnf@lemonde.fr

La ressource qui nous manque le plus, ce n'est pas le pétrole, ni le gaz, ni l'uranium ; C'est le temps qu'il nous reste encore pour adapter nos modes de vie aux exigences et aux limites de notre monde.

Russel Train ancien chef de l'autorité américaine de protection de l'environnement (1920)

Dit "c'est cancon fait quek chose?"

Le comptage privatif de l'énergie thermique

Un arrêté français du mois d'aout 2012 essaye d'introduire des règles d'individualisation des charges chauffage en collectif de telle sorte que dans les immeubles collectifs à usage d'habitation la répartition des frais de chauffage soit fonction de la consommation de chaque logement. Balendard citoyen lambda et en même temps conseiller syndical dans quelques copropriétés s'est trouvé confronté à la dure réalité du terrain.

Balendard

Je n'y arriverais pas. Sur les groupes d'immeubles qui me concerne un seul peut satisfaire cette nouvelle règle, je devrais dire satisfait déjà cette nouvelle règle: celui où les appartements sont équipés de radiateurs électriques si chers à l'usage avec compteurs individuels. Mais je regrette de le dire, sans pour autant que s'établisse dans cet immeuble une plus grande justice sociale. Les occupants de l'appartement du 2^{ème} étage qui sont un peu dans le besoin se sont aperçus qu'ils étaient tributaires de leurs voisins de l'étage au-dessus du leur et de ceux du 1^{er} étage en ce qui concerne la douloureuse EDF. Et ceci particulièrement l'hiver au moment où les consommations sont les plus importantes et que ses voisins plus fortunés partent au ski en hiver alors qu'il n'en a pas les moyens. Sur les autres groupes d'immeubles équipés d'un chauffage collectif avec radiateur ou plancher chauffant hydrauliques l'application de cette règle lorsqu'elle est envisageable techniquement entraîne une mise en œuvre extrêmement couteuse et complexe.

Les LT

Les occupants de l'appartement B ont raison de se plaindre. Si les planchers en béton sont bien utiles pour le cycle de nuit du fait de leur inertie thermique un de leur principal défaut est d'être de véritable passoire thermique. Il faudrait pour que ces dispositifs de comptage soient recevable que l'isolation des appartements soit réalisée par l'intérieur les planchers étant compris dans cette isolation. Ce qui est réalisable dans le neuf ne l'est assurément pas dans l'ancien. Et ceci particulièrement en zone urbaine où l'espace est compté. Mais parlez-moi de ces autres groupes d'immeubles équipés d'un chauffage collectif avec radiateur ou plancher chauffant hydrauliques et dont vous avez la charge. Vous semblez dire que l'application de cette règle est parfois inenvisageable ?

Balendard

Dans un de ces immeubles équipé d'une chaufferie collective alimentant des planchers chauffant hydraulique, il n'y a qu'une seule valve d'équilibrage de prévu pour alimenter les planchers chauffants de chaque étage composé de deux petits appartement contigus. De telle sorte qu'il n'est pas possible de régler individuellement les flux thermiques dans chacun de ces appartements pour la raison que l'on ne peut accéder aux tuyauteries hydrauliques qui sont coulés dans les dalles en béton. On ne sait même pas si le raccordement est assuré en // ou en série. On ne va tout de même pas tout casser pour respecter cette réglementation.

Les LT

Oui effectivement et d'ailleurs le fait de savoir s'ils sont raccordés en // ou en série ne change rien à l'affaire. Vous avez raison, cette réglementation est parfois techniquement envisageable, par exemple lorsque les tuyauteries sont accessibles ce qui est le cas avec des émetteurs thermiques type radiateurs ou ventilo-convecteur hydrauliques. Ce qui est grave est que bien qu'inutile elle soit parfois envisagée malgré sa mise en œuvre complexe et couteuse pour satisfaire certains égoïsme individuels. Dans l'ancien isolé « collectivement » au niveau du bâti ce comptage individuel ne présente aucun intérêt dans la mesure où elle accroît les injustices sociales. Mais vous avez parlé de groupe d'immeuble et il y a un cas où cette mesure pourrait présenter un intérêt : Celui où les immeubles étant alimentés par une seule et même chaufferie la copropriété pourrait décider « d'individualiser » la consommation de chacun des bâtiments dans la mesure où ceux-ci pourraient à juste titre exiger une comptabilité distincte (Logements d'habitation associée à une école ou à une société). Dans ce cas les méthodes de comptage et de facturation de l'énergie utilisées pour le chauffage urbain est parfaitement au point (Voir page)

Pour résumer je voudrais vous dire que s'il est parfois indispensable de compter l'énergie : Par exemple compter l'énergie électrique servant à alimenter le compresseur d'une pompe à chaleur pour vérifier ses performances, il est d'autres cas où le législateur devrait être moins éloigné de la réalité du terrain afin d'éviter les conflits que risque d'engendrer une réglementation inutile et néfaste source d'injustice sociale

La copropriété et le chauffage des locaux.

A) Avec les modes de chauffage collectifs conventionnels

Le chauffage collectif et les tantièmes fixes :

Un système discutable (voire inadapté) imaginé par les pouvoirs publics :

Supposons que :

- l'immeuble consomme Q kWh et que la dépense correspondante est D €
- Je suis un Copropriétaire ayant 2% des tantièmes.

Selon mon comportement personnel :

1. J'essaie d'être plus économe que mes voisins. Par exemple, j'ai remplacé mes anciennes fenêtres à simple vitrage par des doubles vitrages et je ferme le radiateur de la chambre quitte à ajouter une couverture la nuit pour dormir. Je réduis ainsi la dépense de l'immeuble de X €.

Je ne bénéficie que de 2% de l'économie réalisée

2. Je suis négligent, je n'ai pas encore remplacé mes fenêtres simple vitrage, j'ouvre celles-ci en hiver pour ventiler mon appartement en oubliant de fermer mes volets roulant la nuit pendant l'hiver alors que j'impose une température de 23 °C dans mon appartement. J'augmente la dépense de l'immeuble de X €.

Je ne supporte que 2% du gaspillage.

Le résultat est clair : l'ignorance, l'égoïsme, la négligence ou l'imprévoyance de l'individu augmente les charges globales de la copropriété

B) Avec le chauffage individuel : Un système par nature injuste :

1. J'ai la chance de posséder un appartement situé dans un étage intermédiaire orienté côté sud avec double vitrage et des voisins aux étages supérieurs et inférieurs ainsi que sur la périphérie occupant perpétuellement leur logement et ne s'absentant qu'au mois d'août pour les vacances d'été. Bénéficiant de cet environnement favorable mes radiateurs électriques sont pratiquement toujours éteints (ou ma chaudière individuelle à gaz à l'arrêt).

Ma dépense chauffage est très faible.

2. J'ai la malchance de louer un appartement de surface comparable mais orienté vers le nord équipé de simple vitrage avec des voisins aux étages supérieurs et inférieurs ainsi que sur la périphérie souvent absent et coupant leur chauffage individuel pendant leur absence.

Ma dépense chauffage est très importante.

Les Lutins thermiques

Le résultat est clair, bien que l'on ne dépense que ce que l'on consomme, ce qui de prime abord semble juste, une copropriété avec chauffage individuel peut engendrer en réalité des injustices importantes fonction des circonstances, de son environnement immédiat ainsi que du mode d'occupation

C) Avec un chauffage collectif par PAC aquathermique

Pour tirer avantage de l'implantation éventuelle d'une pompe à chaleur aquathermique dédiée au chauffage collectif dans un immeuble neuf ou ancien à usage d'habitation et réaliser des économies conséquentes, il est nécessaire de se plier à certaines règles lors de la *conception* du système ainsi que pendant son *utilisation*. Son utilisation ne peut être valable que si la notion de "partie privative" est bannie du vocabulaire et s'efface devant l'intérêt de la collectivité. La preuve en est le meilleur résultat obtenu sur les HLM comparativement aux copropriétés en termes de déperdition thermique. Gérés collégialement avec une plus grande centralisation de l'exécutif, la décision de poser des doubles vitrages, 1ère étape pratiquement incontournable du processus de modernisation est prise plus facilement. En Allemagne les fenêtres et porte fenêtres sont gérées comme un bien commun, seul leur entretien étant considéré comme privatif ce qui facilite la mise en œuvre de telles systèmes dans les copropriétés.

Conception

Contrairement aux chaudières à gaz, au fioul ou au bois, qui peuvent être surdimensionnées sans conséquence, la pompe à chaleur doit être dimensionnée au plus juste avec une faible surpuissance par rapport aux besoins énergétiques (de 10 % à 20 % maximum) et il est de ce fait nécessaire d'effectuer l'estimation des déperditions thermiques de l'habitation avec une meilleure approximation que dans le passé. Une chaudière au fioul peut en effet fonctionner avec un facteur de marche réduit (temps de fonctionnement du brûleur faible par rapport au temps d'arrêt de celui-ci) alors que la pompe à chaleur doit au contraire fonctionner le plus longtemps possible avant d'être éventuellement arrêtée pour les besoins de la régulation. Le temps du cycle ne devra pas être inférieur à 30 minutes (Par exemple deux démarrages par heure avec un temps d'arrêt de 10 minutes) ce qui revient à dire que le compresseur d'une pompe à chaleur doit fonctionner au moins un $\frac{1}{4}$ d'heure avant d'être arrêté pour la raison qu'il faut un temps non négligeable, pouvant aller de plusieurs dizaines de secondes à quelques minutes dans le cas des grosses pompes à chaleur ayant une quantité plus importante de fluide caloporteur, pour que les pressions de fonctionnement s'établissent et que le détendeur régule correctement le débit de réfrigérant. Pendant cette phase transitoire, le COP est inférieur à celui du régime établi. Si le thermicien prend trop de marge, il peut en résulter un fonctionnement de la pompe à chaleur avec des temps de marche trop courts préjudiciables à son rendement. L'idéal serait que le compresseur fonctionne en permanence sans période d'arrêt avec une puissance s'adaptant exactement au besoin. Dans l'état actuel de la technique, cette solution qui permet d'envisager une plage de puissance variable de 10 à 100% bien que peu répandue semble souhaitable. Elle est réalisable en utilisant des moteurs électriques à vitesse variable pour entraîner le compresseur et éventuellement la pompe immergée de l'exhaure. Elle présente l'avantage de supprimer les phases d'arrêt du

Les Lutins thermiques

compresseur, d'améliorer en conséquence le rendement. Elle permet de supprimer le ballon tampon indispensable avec la régulation "on - off". Avec ce type de régulation, ce ballon tampon a pour fonction d'augmenter l'inertie thermique du circuit de chauffe et d'assurer un temps de fonctionnement suffisamment long du compresseur. Moyennant l'adjonction de ce ballon, on observe que si la pompe à chaleur n'est pas surdimensionnée, les montées en température sont lentes, la régulation de la température aisée, et le confort meilleur avec des dépassements de consignes faibles. Afin d'améliorer le rendement d'ensemble et compte tenu de la difficulté d'isoler dans l'ancien « après coup », il peut être souhaitable en cas d'hiver très froid de prévoir une relève de la PAC par le gaz avec une chaufferie mixte GAZ-PAC.

Si la pompe à chaleur ne parvient pas à elle seule à chauffer correctement l'immeuble et que la température ambiante plafonne par exemple vers 17°C dès qu'il fait très froid dehors, il convient de ne pas confondre puissance et température :

- Soit cette pompe à chaleur n'est pas assez puissante, ce qui ne lui permet pas d'atteindre une température d'eau suffisante, dans ce cas, elle ne s'arrête jamais de fonctionner.
- Soit le débit d'eau dans le circuit de chauffage est insuffisant, dans ce cas, la machine s'arrête régulièrement et la température de départ du condenseur est maximale pour la raison que les radiateurs ou les planchers chauffants, n'étant pas correctement alimentés, n'arrivent pas à extraire la puissance fournie par la pompe à chaleur.

Autre possibilité, les radiateurs sont trop petits et auraient besoin d'une température d'eau supérieure à celle que la pompe à chaleur ne peut fournir dans de bonne condition de rendement.

Utilisation

Dans l'intérêt commun, des comportements nouveaux pourraient être utilement recommandés par le conseil syndical aux copropriétaires souvent ignorants des techniques nouvelles. Il est en effet de l'intérêt de la copropriété de respecter certaines règles.

Ces nouveaux comportements n'affectent heureusement pas le mode de vie et le confort des copropriétaires :

D'une façon générale, et quel que soit le mode de chauffage, la demande de chauffage d'un bâtiment est déterminée principalement par son enveloppe, son volume, et son environnement. Cette remarque est particulièrement importante dans le cas de la pompe sur nappe. Le fait de ne pas chauffer certains appartements n'apporte aucun avantage. Cela réagit même négativement sur la consommation et le comportement de la pompe à chaleur. Si par exemple 50% des copropriétaires sont absents et ferment les robinets à l'entrée de leurs radiateurs cela ne conduit pas à diviser par deux les frais de chauffage. Au contraire, les dépenses d'énergie pour la pompe à chaleur vont augmenter pour la raison que les pertes thermiques du bâtiment devront être couvertes avec la moitié de la surface de chauffe donc avec une température d'eau dans les radiateurs plus élevée ce qui est préjudiciable au rendement de la pompe à chaleur. De plus, en cas d'humidité dans un immeuble, l'humidité du bâtiment passe des locaux chauffés vers ceux qui ne le sont pas. La conséquence est la formation de moisissures sur les murs des pièces non chauffées près des fenêtres.

Les dépenses de combustible qui représentent environ 30% à 50% des charges courantes d'une copropriété pourraient être plus faibles et distribué plus équitablement.

Areva pompier du nucléaire

Le puissant groupe industriel français Areva spécialisé dans les métiers de l'énergie nucléaire depuis 2001 va tenter d'assister le Japon après la catastrophe de Fukushima. Son rôle, devrait consister à traiter les quelques 100 000 m³ d'eau de mer fortement radioactives utilisés jusqu'ici pour tenter de refroidir le cœur des réacteurs en fusion.

C'est lors d'une réunion du CLST (Conseil Supérieur des Lutins thermiques) que c'est tenu un colloque sur ce sujet. Voilà la nature de leurs échanges de vues.

Balendard

Ce qui est triste dans cette situation dramatique provoquée par un violent séisme et le terrible tsunami qu'elle a engendrée est qu'il semble maintenant trop tard pour que le pompier soit missionné pour éteindre le foyer en fusion.

Difficile et curieuse mission d'un pompier qui n'a donc pas pour tâche d'éteindre l'incendie mais seulement de limiter ses conséquences sur l'environnement.

Le responsable des Lutins thermiques

Oui, il est maintenant trop tard. Les mal fonctions qui conduisent à cette catastrophe peuvent être maîtrisés par de bons techniciens tels que ceux d'AREVA, mais en cas d'évènements anormaux conduisant à mettre la réaction nucléaire hors de contrôle, le réacteur nucléaire, pour reprendre les termes de Bernard Laponche à l'origine de la création de l'Ademe, « fabrique en lui-même le moyen de se détruire ». Faudra-t-il des quantités d'eau de mer encore plus considérables pour assurer le refroidissement des réacteurs ? Une fois que la société Areva aura montré comment traiter de tels volumes d'eau en abaissant sa radioactivité à un niveau raisonnable, en supposant qu'elle y parvienne, faudra-t-il que le Japon continue à arroser les réacteurs et à effectuer ce traitement jusqu'à l'arrêt de la fusion ? Au contraire faudra-t-il impuissant laisser le cœur des réacteurs s'enfoncer dans le sol jusqu'à ce qu'ils retrouvent le magma ? Je suis désolé de vous dire que nous sommes incapables de répondre pour l'instant à ces questions.

Balendard

Novice et inexpérimenté en la matière, ne comptez pas sur moi pour y répondre. Je pensais simplement qu'en stoppant l'arrivée de combustible, à savoir l'uranium ou le plutonium on stoppait du même coup la génération de chaleur. Quand il n'y a plus de bois, le feu s'éteint. Mais cela n'est semble-t-il pas si simple.....

Le responsable des Lutins thermiques

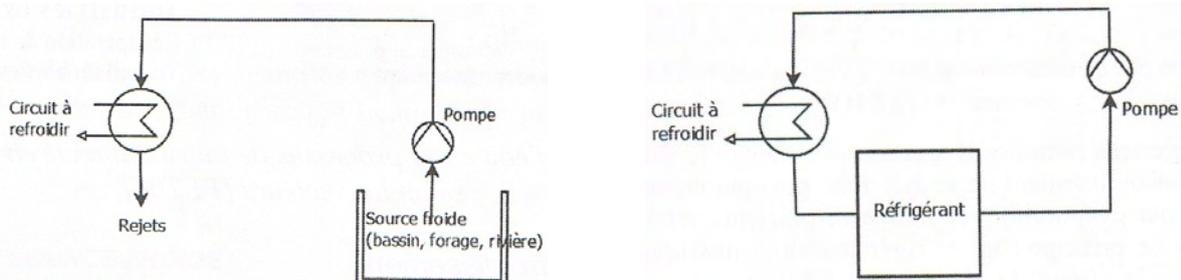
Oui, cela n'est pas si simple. Entre le comportement d'un réacteur nucléaire ancienne génération tel que celui de Fukushima ou l'on n'arrive pas à stopper la fusion et celui d'un réacteur expérimental tel qu'ITER ou l'on a du mal à l'entretenir, il y a encore beaucoup d'incertitude. Il me revient à l'esprit que le responsable du CNRS avait donné sa démission à l'origine du projet ITER trop éloigné selon lui de ses connaissances en physique. La fusion nucléaire nous inquiète lorsque nous pensons à ce qui arriverait si, à nouveau, il était impossible de la contrôler et de la stopper.

Balendard

En attendant que nos chercheurs aient une réponse à ces incertitudes, ne croyez-vous pas qu'il serait peut-être temps de réduire enfin notre consommation électrique en commençant à utiliser les procédés qui permettent, en améliorant l'efficacité énergétique, de mieux consommer l'électricité en prélevant une énergie renouvelable gratuite dans notre environnement sans le perturber, voire même en le régénérant.

Le responsable des Lutins thermiques

Assurément, je rejoins en cela, l'opinion de Mr Mandil ancien responsable de l'énergie à l'OCDE. Il nous faut prendre la mesure des conséquences gravissimes du drame japonais sur l'environnement. Il faudra éviter à tout prix la dispersion de la radioactivité, même en cas le cas d'un tsunami aussi redoutable que celui de Fukushima. Pour cela il sera entre autres nécessaire de revoir la qualité des dispositifs ayant pour fonction d'assurer le refroidissement du réacteur en boucle fermée afin d'éviter la fusion du réacteur.



Courtesy Gille Guerassimoff et Nadia Maïzi

Les deux figures ci-dessus extraites du livre "Eau et énergie destins croisés" montrent deux circuits de refroidissement. Celui de gauche dit "ouvert" utilisé par les japonais et mettant en jeu d'importantes quantités d'eau pour refroidir le cœur des réacteurs en polluants les nappes phréatiques. Celui de droite dit "fermé", n'utilisant qu'un petit volume d'eau en circuit fermé qui aurait dû fonctionner. Avec ce circuit, l'eau de refroidissement est certes radioactive mais elle circule cette fois-ci en circuit fermé sans contaminer l'environnement. C'est la détérioration de ce deuxième circuit par le tsunami qui a conduit les japonais à utiliser le circuit dit "ouvert" augmentant la radioactivité des nappes phréatique et augmentant de ce fait les risques de contamination du riz ou autre culture dans la région de Fukushima.

Les lutins thermiques et le rapport Attali.

Les lutins thermiques ont pris connaissance des propositions du rapport de Jacques Attali à propos des opportunités du développement durable. Ils sont d'accord sur l'objectif fixé par cette commission de promouvoir une politique énergétique moins dépendante et plus durable. Bien que favorable au nucléaire et d'accord avec la résolution 85, ils ont été impressionné par les douloureux évènements japonais et ils pensent que la production d'électricité en France est trop centralisée sur le nucléaire. Il pourrait être selon eux utile pour notre pays de diversifier la production d'énergie électrique « propre et renouvelable » avec l'éolien*, le voltaïque, la filière hydrogène et les piles à combustible. Ils sont déçus du manque d'intérêt manifesté par la commission concernant une l'énergie thermique bon marché favorisant un bon climat social. Ils ont particulièrement évoqué le solaire thermique, les pompes à chaleur aérothermiques, géothermiques et surtout aquathermiques** au rendement excellent. Ils m'ont expliqué que ces générateurs thermiques, parfaitement adaptés au chauffage des habitations neuves ou anciennes sont pourtant majeures et en phase finale de développement. Ils m'ont expliqué que 1 kWh électrique peut produire 1kWh thermique avec un radiateur électrique à effet Joule ou une chaudière ionisante***, pas plus, alors qu'une pompe à chaleur aquathermique bien conçue peut développer 5 voire 6 kWh thermique gratuit pour 1 kWh électrique payant. Ils ne rejettent pas la résolution concernant le captage et le stockage du CO₂. Ayant trop attendu il est selon eux maintenant trop tard pour l'éviter. Ils ne comprennent pas pourquoi ce rapport ne fait pas mention de l'effort indispensable qu'il est nécessaire de faire pour promouvoir et faciliter la mise en place de technologies capables de produire une *énergie thermique bon marché ne générant pas de CO₂*. Ils pensent avec force qu'il est préférable pour notre porte-monnaie de supprimer les causes de la pollution et ils regrettent que l'on soit obligé d'investir dans la mise en œuvre d'une dépollution coûteuse. Ils ont aussi insisté sur le fait que des techniques de production d'énergie thermique n'utilisant pas la combustion de produits fossiles comme le charbon le fioul ou le charbon, condamné à juste titre par les défenseurs de l'effet de serre, existent pourtant et ils sont déçus de l'absence de réflexion à ce sujet concernant l'énergie.

* Le projet important d'éolienne offshore françaises ne suffira pas à combler notre retard dans la production des ENR.

** Ce mot n'est pas encore au dictionnaire..... Dommage

*** Les chaudières ioniques issus de l'industrie aérospatiale commercialisées par des sociétés comme Galion-Galan ont semble-t-il des performances comparables à celles de l'effet Joule. Il suffit pour s'en convaincre de comparer l'énergie électrique consommée par un four micro-ondes pour élever la température d'un litre d'eau froide à celle correspondant à l'énergie thermique emmagasinée dans ce même litre d'eau compte tenu de sa chaleur spécifique

Les Lutins thermiques

Ils estiment qu'il manque une 301^{ème} décision dans le rapport Attali pour changer la France. Celle nous incitant à situer l'énergie thermique à la place qui lui revient. En créant des commissions d'experts, les hommes politiques espèrent en retour un rapport leur donnant une vision à long terme des actions qu'ils vont devoir prendre. Lorsque ces rapports sont sujets à ces vides redoutables on voit ce qu'il en résulte : Les malentendus de la RT 2012, des chaînes énergétiques coûteuses, des coefficients de déperdition thermique inadaptés (Voir page 181 le « bon » et le « mauvais » coefficient. Les Lutins demandent à nos hommes politiques de méditer ce qui suit prennent à nouveau exemple sur l'Allemagne et...

	France	Allemagne
Gouvernement	1 Président de la République 1 Premier Ministre 25 Ministres 9 Secrétaires d'état TOTAL : 36	1 Chancelier(e) + 8 ministres TOTAL : 9
le soir après le " boulot "	A Paris, le 1er Ministre se détend dans son logis de fonction (310m ²) à Matignon tandis que ses collègues regagnent en limousines les hôtels particuliers que la République met généreusement à leur disposition	Angela MERCKEL rentre dans son appartement, dont elle paie le loyer, les factures d'eau et d'électricité. Comme chacun de ses 8 ministres
Personnel	906 personnes travaillent à la Présidence de la République	A peu près 300 personnes en Allemagne
Parc auto	Élysée : 121 véhicules	Chancellerie : 37 véhicules
Déplacements	1 « Airbus A330-200 » 2 « Falcon 7X » 2 « Falcon 900 » 2 « Falcon 50 » 3 Hélicoptères « Super Puma » etc.	Systematiquement en train ou sur des lignes aériennes régulières
Salaire	Président de la République 21 026 €€	Angela MERKEL 15 830 €€
Budget	Élysée culmine à 113 000 000 €.	Chancellerie 36 400 000 €

Les techniques de chauffage thermodynamique étant nettement moins dépendantes quantitativement de l'électricité que l'effet Joule, il nous va falloir reconsidérer la façon dont nous produisons actuellement l'énergie thermique en France. Alors que le monde s'inquiète du pouvoir d'achat et du réchauffement climatique ce qui doit nous guider dans nos actions futures est clair : Améliorer le climat social du fait des retours économiques de ces solutions et planétaire en participant à atténuer le réchauffement climatique.

Les Lutins et le coût de l'eau chaude

Le prix de l'eau chaude est souvent sujet à débat. L'échange de vue entre Balendard citoyen lambda et conseiller syndical avec son syndic le prouve.

Balendard

Mon syndic persiste à considérer que le prix de l'eau chaude peut être évalué à 6 €/m³. Je crains que ce montant ne soit nettement plus élevé que pourrais-je faire pour essayer de la convaincre que cette évaluation est très inférieure à la réalité ?

Les LT

La convaincre dans un premier temps par les chiffres que cela est impossible. Etant donné que l'eau froide est à 4€/m³ et qu'il faut 50 kWh à environ 0,1 €/kWh pour élever la température de ce m³ d'eau froide on arrive à 9€/m³ puisque de l'eau chaude c'est tout d'abord de l'eau froide que l'on a réchauffée.

Balendard

Ayant des notions sur la chaleur spécifique de l'eau je comprends votre raisonnement mais je crains de ne pas pouvoir la convaincre ainsi

Les LT

Dans ce cas demandez à votre syndic de vérifier avec son comptable le volume de fioul consommé en été au moment où cette consommation fioul est à imputer uniquement à la fourniture d'eau chaude. S'il ne fait pas d'erreur de calcul il devrait être convaincu.

Le prix réel de l'eau chaude

Les gestionnaires de copropriétés sous estiment parfois le coût réel de l'eau chaude lorsque la génération d'eau chaude est collective et non privative. Le syndic, au courant de la comptabilité de la copropriété, puisque c'est lui qui l'établi ¹⁾, devrait mieux sensibiliser les copropriétaires sur le coût réel de l'eau chaude qu'il ne le fait. Il a parfois tendance à minimiser son cout. Peut-être parce qu'il facture séparément l'eau chaude et le combustible qui a servi à la chauffer. Il lui est pourtant facile d'expliquer en termes simples que ses "dépenses" constituées par le coût des combustibles doivent équilibrer ses "recettes" constituées par le paiement des chargés courantes. Il ne le fait généralement pas, ce qui entraîne parfois des conflits avec les copropriétaires. Il a pourtant connaissance, au travers de sa comptabilité, de la consommation de FOD ou de gaz naturel en été à partir des relevés GDF ce qui lui permet lorsque la production de l'eau chaude est assurée par les mêmes

Les Lutins thermiques

chaudières que le chauffage d'évaluer le coût réel de l'eau chaude sanitaire. Cette évaluation est possible que la consommation soit indiquée en litres de fioul ou en m³ de gaz naturel souvent converti en kWh puisqu'il a connaissance des relevés et des tarifs pratiqués. L'essentiel est que les chiffres soient exacts, qu'ils permettent une comparaison avec les DJU et qu'ils ne correspondent pas à des prévisions de consommation mais à une consommation réelle.

Ayant une vue de la consommation globale en termes de kWh ainsi que sur le volume d'eau chaude consommé, le syndic peut aussi le faire lorsque la génération collective est électrique. Il pourrait ainsi prouver que les estimations faites par des "professionnels" sur les anciens équipements sont la plupart du temps sous estimées. Malheureusement il ne le fait pas. Ainsi, force est de constater que le tandem formé par un syndic et la société assurant la maintenance d'une chaufferie dans une copropriété entretiennent par manque de concertation, ignorance ou indifférence un flou technique desservant les intérêts de la copropriété au lieu de les préserver. Ce tandem pense pouvoir définir uniquement le coût de l'eau chaude en prenant comme base le prix de l'eau froide qui la compose (4€ le m³) et les frais de relevé et d'entretien des compteurs lorsqu'ils existent en ajoutant le coût de l'énergie thermique qu'il a fallu fournir pour élever sa température compte tenu de sa chaleur spécifique (un kWh par degré centigrade et par m³). On arrive ainsi à un prix approximatif du m³ d'eau chaude à 60 degrés compris entre 6 et 8 €/m³ selon que son mode de chauffage est électrique avec ou sans dispositif heures creuses heures pleines, ou provient de la combustion. En pratique le coût réel de l'eau chaude est parfois le double voire le triple et peut atteindre 25 € le m³. Cette différence importante provient du fait que l'on maîtrise mal:

1. Les déperditions thermiques dans les tuyauteries de distribution ECS qui sont parfois très longues dans les immeubles. Ces déperditions souvent très importantes sont aggravées en raison de la boucle d'eau chaude. Elles proviennent des pertes calorifiques en ligne par défaut de calorifugeage. Souvent négligées, ces pertes peuvent être évaluées à l'aide de nombreux programmes* suivant que les tuyauteries soient isolées ou non et éventuellement en prenant comme base le coefficient de déperdition de 10 watt/m² et °C lorsqu'elles ne le sont pas. Ces pertes peuvent atteindre plus de 3 fois l'énergie utile qu'il est nécessaire pour chauffer l'eau (52 kWh/m³). Ces pertes dilapidées l'été participent heureusement au chauffage des locaux pendant la période de chauffe soit pendant environ 240 jours environ. (voir à titre d'exemple le bilan thermique d'un immeuble avec chaudière collective assurant l'ECS en page)

Les Lutins thermiques

2. Les pertes engendrées par une mauvaise combustion pendant la saison chaude lorsque la ou les chaudière(s) surpuissantes n'assurent que la production d'eau chaude sanitaire. Ces pertes sont parfois aggravées sur les anciens brûleurs des chaudières individuelles lorsque le chauffagiste n'entretient pas correctement les trappes télécommandés qui obturent l'arrivée d'air froid de combustion pendant les temps mort, ces trappes étant même parfois démontées.

Pour conclure, on sous-estime trop souvent le coût réel de l'eau chaude. Les syndicats facturent l'eau chaude en prenant comme base le relevé des compteurs individuels. Cette facture partielle qui néglige souvent les pertes ci-dessus ne comprend généralement que le coût de l'eau froide majoré de l'énergie théorique ayant servi à la réchauffer et des frais fixes d'entretien et de relevé des compteurs. Ce qui semble à priori logique conduit souvent à une grave erreur d'appréciation. La dépense réelle engendrée par les déperditions thermiques dans les tuyauteries de distribution majorées des pertes éventuelles provoquées par une mauvaise combustion pendant la saison chaude pouvant parfois doubler voire tripler si ce n'est plus la dépense réelle par rapport à la facture partielle du syndic ne tenant pas compte de ces pertes. Il n'en demeure pas moins que ces celles-ci restent à la charge des copropriétaires. Et ceci que l'on soit dans le cas de la combustion (du fait d'une facturation séparée des combustibles) ou dans le cas d'une génération électrique collective (les déperditions par défaut de calorifugeage étant incluses dans les relevés des compteurs EDF).

Sur demande à GDF le syndic peut obtenir le relevé mensuel des consommations de gaz directement en kWh (figure ci-après). Bien que les tableaux GDF ne soient pas réalisés selon l'année thermique de fin juin à début juillet ce qui faciliterait le travail du BE en charge la mise en œuvre de la rénovation thermique, la connaissance de la consommation en gaz pendant l'été permet de définir le besoin thermique pour l'ECS seul. Il est ainsi possible à partir d'un besoin moyen mensuel voisin qui peut être évalué à 12 000 kWh de mai à septembre pour assurer l'eau chaude sanitaire de cet immeuble comprenant 48 petits lots de 25 m² et d'une surface habitable totale de 1200 m² de définir le coût de l'eau chaude sanitaire. Ceci à partir de sa consommation annuelle d'eau froide de 3 000 m³ (soit statistiquement environ 1000 m³ d'eau chaude par an). On arrive à 14 €/m³ (sur la base d'un prix du kWh gaz relativement bon marché voisin de 7 cts d'€, d'une consommation mensuelle en EC de 83 m³ avec un prix de l'eau froide à 4€/m³).

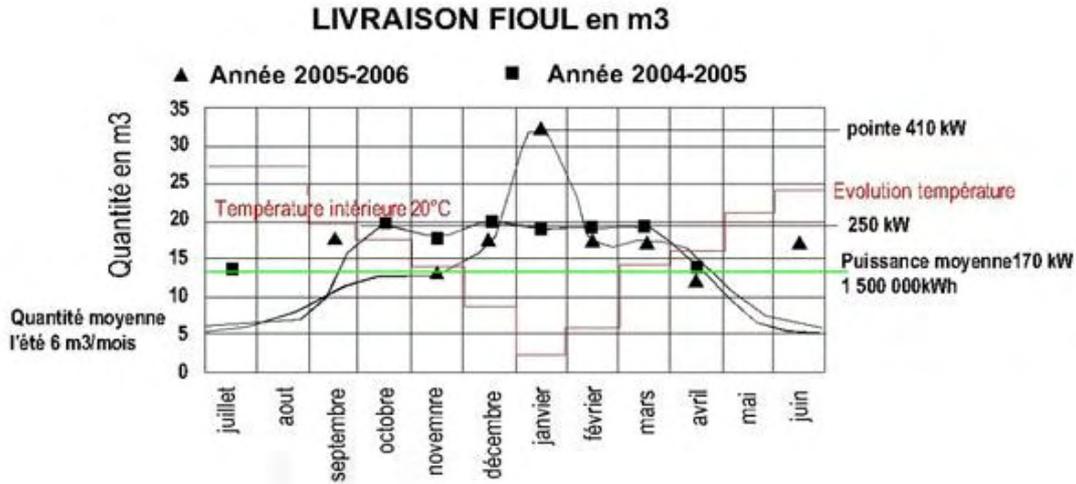
Les Lutins thermiques

	Consommation Totale (kWh)	Consommation Hiver (kWh)	Consommation Eté (kWh)	Dont quantités en deuxième tranche	Débit maximum
JAN	83 808	83 808	0	0	4 055
FÉV	70 453	70 453	0	0	3 774
MAR	62 058	62 058	0	0	3 103
AVR	39 325	7 150	32 175	0	1 788
MAI	14 390	0	14 390	0	771
JUN	12 905	0	12 905	0	645
JUI	9 415	0	9 415	0	415
AOÛ	12 336	0	12 336	0	638
SEP	11 298	0	11 298	0	565
OCT	22 030	0	22 030	0	1 066
NOV	55 193	0	9 516	0	2 855
DÉC	72 895	72 895	0	0	3 645
CUMUL	466 106	296 364	124 065	0	4 055

La consommation énergétique pour le gaz naturel s'exprime directement en Wh

Concernant le fioul, (figure ci-après) il suffit au comptable de tenir une comptabilité à jour en notant la date de chacune des livraisons ponctuelles la conversion en kWh se faisant sur la base de 10kWh pour un litre de FOD. Cet exemple correspond à un grand immeuble de 68 lots consommant environ 4 m³ d'eau chaude par jour ce qui entraîne compte tenu de la consommation supérieure à 100 litres de fioul pendant l'été à un prix de l'eau chaude supérieure à 30 € le m³ sur la base d'une énergie primaire à 0,1€/kWh (1€ le litre de FOD. Dans le cas plus simple où l'eau chaude collective est préparée électriquement il suffit de prévoir un compteur dédié au dispositif assurant le chauffage pour connaître les dépenses ECS. Afin de mettre le syndic devant ses responsabilités, l'idée de créer un « ordre des syndics » comme cela a été le cas pour les médecins fait petit à petit son chemin. Les syndics qui sauront se mettre au service de leur client en établissant une comptabilité plus analytique et moins obscure et qui communiqueront les documents relatifs à la consommation d'énergie primaire au conseil syndical éviteront alors les reproches de leur hiérarchie. Espérer faire le relevé de toutes les consommations individuelle sur les compteurs privatifs en entretenant ceux-ci et en payant le personnel faisant les relevés pour plus de justice relève de l'utopie lorsque le taux de facturation est plus de 5 fois inférieur au coût réel. Il y a heureusement une solution à ce difficile problème réduire le coût de l'énergie thermique dans le même rapport avec le chauffage thermodynamique et un COP de 5.

Les Lutins thermiques



Le syndic au courant de la comptabilité de la copropriété puisque c'est lui qui l'établi devrait expliquer pourquoi il est obligé de facturer l'eau chaude à son coût réel. Il ne le fait généralement pas, ce qui entraîne des conflits alors qu'il lui est pourtant facile d'expliquer que les "recettes" doivent équilibrer les "dépenses".

Exemple pour une maison individuelle avec chaudière

Avec une chaudière assurant à la fois le chauffage et la fourniture de l'eau chaude sanitaire le besoin chauffage est nul lorsque l'on est en mi saison et en été période pendant laquelle la chaudière n'assure que la fourniture de l'ECS. Si pendant cette période, une chaudière de 30 kW se remet en marche une fois par heure alors que le besoin en eau chaude est nul et si elle met à cette occasion 10 minutes pour remettre le ballon d'eau chaude en température, l'énergie fournie par la chaudière en une heure, à savoir $W = P \times t = 30 \times (10/60) = 5$ kWh est perdue, ce qui correspond si le besoin ECS est nul pendant une journée entière à une perte de 120 kWh. Quand on sait qu'il faut 50 kWh pour fournir un m3 d'eau chaude soit environ 5 kWh pour fournir 100 litres d'eau chaude quantité suffisante pour assurer 3 douches confortables on mesure tout l'intérêt qu'il peut y avoir en mi saison de couper l'alimentation électrique du brûleur en ne remettant en marche la chaudière qu'une dizaine de minutes avant de prendre les douches. Ceci quitte à imposer de prendre les douches dans un ou deux créneaux horaire en prévoyant un programmateur sur l'alimentation électrique du brûleur coupant cette alimentation pendant les heures de non utilisation de l'ECS. Par exemple de 9h du soir à 5h du matin et de 9 heures du matin à 5h de l'après-midi soit au total les 2/3 du temps (2 fois 8h). Les économies réalisées sur les bases de fonctionnement ci-dessus peuvent être importantes :

- 14 000 kWh pour un coefficient d'occupation de 100% et une période de chauffe de 240 jours
- 3 600 kWh pour une occupation en été limitée à un mois

Pour la petite histoire

Je lisais dernièrement un article technique sur un petit guide technique à usage des responsables de copropriétés et des syndicats. Ce guide intitulé "Le bilan énergétique simplifié" est édité sous la signature conjointe de l'ARC (association des responsables de copropriété), de l'Ademe et de l'Anah, du conseil régional de l'Île de France, et d'un agent immobilier : Le groupe Foncia. Il est question dans cet article de l'avantage que l'on peut tirer d'un circuit dit « bouclé » pour éviter qu'une personne n'ait à soutirer toute une colonne d'eau froide avant d'avoir de l'eau chaude. C'est un peu le cas dans notre immeuble, bien que le problème soit inversé : nos tuyauteries d'eau chaude sanitaire et d'eau froide sont parfois dans la même gaine isolante - ce qui vous en conviendrez n'est pas très intelligent - et cela nous oblige parfois à perdre pas mal d'eau chaude avant de pouvoir disposer d'eau froide bonne à boire. Bref cet article concernant les pertes thermiques sur le circuit d'eau sanitaire m'a intéressé pour la raison que nous dépensions grosso modo 200 litres de fioul - Dieu nous pardonne - pour produire quelque 1000 litres d'eau chaude à 60°C pendant la période estivale lorsque l'immeuble se vide et que tout le monde, ou presque, est vacances. Je n'avais pas très bien compris en quoi consistait ce circuit « bouclé » J'ai donc communiqué à mes amis les lutins thermiques la copie de la page 21 de ce manuel pour en savoir plus (Article intitulé "Pour aller plus loin")

Pour aller plus loin :

Si vous êtes très pointilleux et voulez appliquer la méthode la plus juste, lisez cet encart.

La quantité de combustible nécessaire pour la production d'un mètre cube d'eau chaude sanitaire peut se calculer de la manière suivante, si la température de départ d'eau chaude sanitaire est connue :

$$P = (T - 11) \times 0,86 \times 3\,600 / 1\,000$$

P est la quantité d'énergie en kWh (pour l'obtenir en MWh, remplacez le chiffre 1 000 de l'équation par 1 000 000)

T est la température de production d'eau chaude sanitaire en degré Celsius.

11 est la température moyenne de l'eau froide distribuée en degré Celsius sur l'année.

0,86 est le coefficient de transformation de calories en watts.

3 600 est le coefficient de transformation de secondes en heures (1 heure fait 3 600 secondes).

Les Lutins thermiques

Leur réaction a été très vive, ils m'ont dit qu'il convenait de renommer l'article en « Pour aller moins loin ». Qu'en confondant puissance et énergie, en ignorant la chaleur spécifique de l'eau de 1 calorie/g et °C, base du calcul, et l'équivalent mécanique de la calorie de 4,18 joules, on arrivait inexorablement à un résultat faux. On peut se tromper de 10 à 20% m'ont-ils dit mais de 300% cela fait beaucoup. Ils ont vaguement évoqué l'affront fait à James Prescott Joule et aux anglais. Bref ils étaient furieux. « Ils feraient bien de retourner à l'école » m'ont-ils dit. Ils ont fait observer que « Ce n'est pas avec de tels articles que l'on allait apaiser les relations déjà bien difficiles entre les copropriétés et les syndicats ». Ils ont donc écrit à l'ARC

A l'attention de la rédaction

Madame, Monsieur

Je viens de recevoir votre petite revue "Le bilan énergétique simplifié" à usage des responsables de copropriétés et des syndicats. Je vous en remercie. Je tiens à vous signaler qu'une grossière erreur s'est glissée dans la rédaction de ce petit manuel à la page 21. Le rédacteur de cet article confond puissance et énergie, oublie de mentionner la chaleur spécifique de l'eau de 1 calorie/gramme et °C qui est la base du calcul, il oublie aussi de mentionner l'équivalent mécanique de la calorie de 4,18 joules et il arrive en conséquence à un résultat faux. Le résultat est 3 fois supérieures à la réalité (151 kWh au lieu de 56 kWh) ce qui n'est pas rien. Je ne pense pas que c'est ainsi que vous allez apaiser les relations entre les syndicats et les conseils syndicaux qui ont déjà bien du mal à se comprendre.

A votre disposition

Conseil supérieur des Lutins thermiques

Encore moins loin ?

Il s'agit toujours du calcul de l'énergie nécessaire pour réchauffer 1 m³ d'eau froide. Suite à la lettre du conseil supérieur des Lutins thermique l'ARC avait pourtant promis de corriger ses erreurs. Comme il ne l'a pas fait, et que l'erreur persiste, les Lutins thermiques, m'ont demandé d'intervenir ce que je fais ci-après.

BON A SAVOIR

La méthode la plus simple est d'appliquer un forfait global moyen annuel par m³ :

L'énergie dépensée pour produire 1 m³ d'eau chaude à 60°C sera de l'ordre 120 kWh PCI, correspondant approximativement aux quantités facturées suivantes :

- 12 litres de fioul domestique
- 131 kWh PCS (118 kWh PCI) de gaz
- 0,14 tonnes de vapeur CPCU(1) (96 kWh PCI)

Le nouveau guide de l'ARC

Les Lutins thermiques

Exemple correspondant à notre immeuble

Nous souhaitons réchauffer 4 m³ d'eau froide en une heure.

Question : quelle est la puissance nécessaire ?

Réponse *Energie nécessaire : 4 x 52,25 = 209 kWh. Soit pour fournir cette énergie en une heure, une puissance de 209 kW et non de 480 kW !*

Les Lutins thermiques savent que l'association des responsables de copropriété (ARC) est au service des copropriétés et cherche à défendre leurs intérêts. Etant donné qu'il faut rajouter au prix de l'eau froide le prix de l'énergie nécessaire pour la réchauffer afin d'obtenir celui de l'eau chaude, ils craignent que les chiffres de l'ARC ne servent de base de facturation par les syndicats ! C'est pour cette raison qu'ils m'ont demandé de faire passer le message :

Je crois me rappeler que c'est l'eau qui a servi de base de réflexion pour établir la chaleur spécifique de la matière. Elle est pour l'eau de 1 calorie/g/°C, ou, compte tenu de l'équivalent mécanique de la calorie de 4,18 joules /g/°C (Puisque 1 calorie = 4,18 joules selon Prescott)

Ce qui revient à dire que 1 kcal = 4,18 kJ

Compte tenu de la densité de l'eau égale à 1, un m³ d'eau pèse 1000 kg,

- Pour élever 1 m³ d'eau de un degré il faut donc 1000 x 4,18 = 4180 kJ

- Pour l'élever de 10 à 55 °C soit de 45°C, il en faut 4180 x 45 = 188 100 kJ

Les kWh et les kJ sont des énergies (W = P x t ou énergie = puissance x temps)

Un kWh est l'énergie produite par une puissance de un kW pendant une heure ou l'énergie produite par un kW pendant 3600 secondes

- Une puissance de 1 joule/s correspond à un watt*
- Une puissance de 1 kJ/s correspond à 1000 joule/s ou à 1 kW*
- L'énergie produite par 1 kW pendant une seconde est donc de 1 kJ*
- L'énergie produite par 1 kW pendant une heure est de 3600 kJ*
- **1 kWh correspond donc à 3600 kJ***

Pour réchauffer 1 m³ d'eau froide il faut donc : 188 100 / 3600 = 52,25 kWh et non 120 kWh

Réponse de l'ARC

Vous avez raison, il est très important de connaître précisément l'énergie nécessaire au réchauffage de l'eau. Vous avez également raison, dans des conditions idéales il faut 52,25 kWh pour chauffer un m³ d'ECS à 55°C. Mais, et vous l'auriez compris si vous aviez lu l'annexe 5 du guide jusqu'au bout, il faut prendre en compte le rendement globale de l'installation d'ECS. C'est-à-dire rendement de la production et le rendement de distribution est en moyenne de 50%, ceci est en grande partie du au bouclage. C'est pour cela que nous arrivons à un ratio moyen de 120 kWh/m³. Nous avons bien conscience que ce chiffre peut varier, mais dans un bilan énergétique SIMPLIFIÉ, on ne va pas expliquer comment estimer les pertes en lignes

Les pertes d'énergie thermiques dans les réseaux ECS

Pour un immeuble de six étages comprenant 66 appartements il y a pour simplifier 11 appartements par étage. Sauf petit studio rarissime comme celui d'un gardien, ou cuisine proche de la salle de bain, l'architecte prévoit deux colonnes montantes par appartement. La cuisine et la salle de bain trop éloignée l'une de l'autre sont alors alimentées par deux réseaux différents. Les tuyauteries d'alimentation des salles de bain ont le diamètres le plus important, souvent 2 pouces (**50 mm**) avec une surface par mètre de longueur de tuyauterie voisine de 0,157 m², alors que pour la cuisine le diamètre n'est que de 1 pouce (**25 mm**) avec une surface par mètre de longueur de tuyauterie limitée à 0,08 m². Dans chacune de ces deux colonnes montantes un circuit de bouclage de petit diamètre, 1/2 pouce (**15 mm**) de surface 0,047 m² /m linéaire assure la fonction préchauffage (explication ici)

Avec 2,5 m de hauteur de plafond et 25 cm de plancher en béton on arrive à une longueur pour chaque colonne de $6 \times 2,8 = 16,8$ m. Compte tenu du nombre de colonnes, la surface totale d'échange dans les gaines verticales de $185 \times (0,157 + 0,08) + 370 \times 0,047 = 61$ m²

Avec un coefficient moyen de déperdition dans les tuyauteries ECS en acier de faible épaisseur non isolées voisin de 10 watts/m² et °C. (Voir aussi programme), c'est une déperdition de : $P = 10 \times 61 \times (55 - 20) = 21\,350$ watts, soit un peu plus de **20 kW** avec de l'eau sanitaire à 55 °C et une température de 20°C dans les appartements. Cette puissance est perdue en permanence dans le réseau ECS. Et ceci uniquement en raison des déperditions dans les tuyauteries verticales non isolés sans compter les déperditions dans les tuyauteries horizontales hors bâti ! Rien que pour les tuyauteries verticales, la déperdition annuelle en énergie thermique du réseau ECS non isolé est de l'ordre de **175 000 kWh** pour un immeuble consommant 110 m³ de fioul/an Ceci alors que le besoin réel n'est que de l'ordre de $1500 \times 52 = 78\,000$ kWh ! (Consommation annuelle d'eau chaude de l'ordre de 1500 m³ alors qu'il faut 52 kWh/m³ pour réchauffer l'eau froide)

Cette puissance n'est heureusement pas totalement perdue l'hiver dans la mesure où les gaines verticales participent au chauffage locaux. Par contre, elle est totalement perdue l'été en augmentant inutilement la température dans les pièces de vie et en diminuant notre confort.

Les Lutins thermiques

Tableau 1. Pertes de chaleur dans les tuyauteries

Coefficients d'émission de chaleur k des tubes nus et calorifugés

Diam. ext. tube nu (mm)	k tube nu (w/m.K)	Épaisseur de calorifuge 25 mm		Épaisseur de calorifuge 50 mm		Perte de chaleur Q (W/m) pour un écart moyen des températures de 50 K*		
		k tube calorifugé (w/m.K)	Coefficient de réduction de chaleur	k tube calorifugé (w/m.K)	Coefficient de réduction de chaleur	Tube nu	Épaisseur calorifuge 25 mm	Épaisseur calorifuge 50 mm
10	0,48	0,15	0,31	0,11	0,23	24,0	7,5	5,5
20	0,86	0,20	0,23	0,15	0,17	43,0	10,0	7,5
30	1,22	0,26	0,21	0,18	0,15	61,0	13,0	9,0
40	1,56	0,31	0,20	0,21	0,13	78,0	15,5	10,5
50	1,89	0,36	0,19	0,24	0,13	94,5	18,0	12,0
60	2,22	0,41	0,18	0,27	0,12	111,0	20,5	13,5
70	2,53	0,46	0,18	0,30	0,12	126,5	23,0	15,0
80	2,85	0,51	0,18	0,33	0,12	142,5	25,5	16,5
90	3,16	0,56	0,18	0,36	0,11	158,0	28,0	18,0
100	3,46	0,61	0,18	0,38	0,11	173,0	30,5	19,0

*Écart moyen des températures entre l'eau qui circule dans le tube et l'ambiance autour du tube. Pour un écart moyen différent, l'émission par mètre de tube est proportionnelle au rapport des écarts de température.

Référence des calculs : formules proposées par le CSTB dans le cadre de la RT 2000.

Le tableau ci-dessus extrait de la revue Chaud Froid Performance N° 750 de novembre 2011 conduit sensiblement au même résultat

Salle de bains 50 mm $11 \times 17m \times 94,5 \text{ W/m} \times 35/50 = 12\ 300 \text{ watts}$

Cuisines 25 mm $11 \times 17 \times 50 \times 35/50 = 6\ 500 \text{ watt}$

Bouclage 15 mm $11 \times 17 \times 43 \times 35/50 = 5\ 600 \text{ watt}$

Total 24,5 kW

Les 20 h sur TF1

Je n'écoutais pas beaucoup TF1 jusqu'à présent mais cela va changer, on y apprend des choses très intéressantes. Mais attention, il faut assurément avoir la tête solide pour assimiler tout ce qu'on nous y enseigne.

Coup de gueule des ingénieurs responsables EDF

Les informations des responsables d'une société soumise à une forte concurrence comme va l'être l'EDF du fait de la libéralisation de l'énergie sont de plus en plus contradictoires et incompréhensibles. Pour exemple ce qui suit :

Un premier illuminé nous a donné une série de leçons sur les économies d'énergie. Nous prenant pour des débiles mentaux profonds ou des séniles précoces, il nous a expliqué qu'en coupant toutes les veilleuses de nos appareils électriques, nous pouvions économiser 15% de notre consommation. « *Même si l'on peut estimer que l'économie sera limitée à environ 2 à 3%, ma femme qui rouspète quand j'oublie d'étendre la veilleuse de mon PC le soir en me couchant, a certainement raison et le propos mérite examen* ».

Le même illuminé nous a expliqué qu'en remplaçant nos lampes traditionnelles par des lampes à économie d'énergie, nous pouvions économiser 30 à 35% d'énergie « *Quiconque peut en douter puisqu'il semblerait que ce soit plutôt 5 % que l'on que l'on peut économiser* ». Il semble en effet évident que si la maison est équipée comme celle de l'arrière Grand Père, c'est à dire juste de lampes sans frigo, micro-onde, lave-linge, lave-vaisselle, sèche-linge, congélateur et pourquoi pas une petite "clim" dévoreuse d'énergie, la consommation des lampes c'est "peau de balle".

Un deuxième illuminé se plaignait du manque à gagner que représente la mévente des kWh d'énergie électrique économisés par ces petits systèmes maintenant disponibles qui permettent au particulier de mieux gérer sa consommation individuelle. Même si cette économie n'est pas considérable, vu le prix qui est facturé à l'utilisateur, elle me semble utile mais mon opinion est que l'EDF ferait peut-être mieux de considérer les profits qu'elle pourrait engendrer de la vente de l'énergie électrique nécessaire à l'entraînement du compresseur des pompes à chaleur. Elle assurerait ainsi certainement mieux le développement de sa filière nucléaire où elle excelle. De plus, je croyais qu'à défaut de produire l'énergie plus intelligemment on estimait au moins nécessaire de la consommer avec modération.

Quand les journalistes s'en mêlent en prenant la parole derrière le responsable

Pour couronner le tout, une brillante journaliste de TF1 a pris le relais et fait le total des économies pouvant être réalisées selon les critères éclairés : 15 % sur les veilles + 35% sur les lampes = 50% d'économie d'énergie !. Elle n'est pas allé jusqu'à le dire, mais voulait-elle nous faire comprendre à nous qui sommes particulièrement débiles, que demain, si nous suivions scrupuleusement ces instructions, on pouvait arrêter la moitié des centrales nucléaires !...

Nous avons failli mourir idiots, mais pourquoi ne nous a-t-on pas expliqué tout ça avant ! Pour continuer dans la débilité profonde, la TF1 girl's nous a ensuite précisé que pour les 50% restants, on pouvait les alimenter avec des panneaux solaires qui produisent de l'électricité 'verte', en illustrant son propos d'une photo, une belle maison avec un petit panneau solaire de 1 m² à l'arrière de celle-ci. Franchement, je encore jamais entendu un tel niveau de désinformation pareil et une absurdité aussi monumentale. Comment pourrait-on produire ces 50 % restants ainsi !

Il semble clair pourtant que si l'on se base sur une consommation moyenne de 6 Kw (un abonnement classique sans chauffage électrique), il faudrait que chaque maison possède environ 50 m² de panneaux solaires pour un coût de 30 000 €. Calculez le retour sur investissement. J'ai failli chercher une arme. Heureusement, un petit Lutin thermique était à mes côtés.

Dans le chapitre « *c'est bon pour la planète* », il convient d'ajouter que les panneaux solaires, on ne sait qu'en faire quand ils arrivent en fin de vie. Ils contiennent en effet plein de silicium et autres métaux lourds très polluants. Passe encore de disposer de panneaux solaire au Sahara loin des agglomérations, polluer une région déserte après tout, pourquoi pas. Les Lutins ne sont pas contre les économies d'énergies ou la génération d'énergies "propres", surtout quand elles sont réalistes, mais de grâce pas d'intoxication de ce type en pleine heure d'écoute. En ville, où la surface manque, les 50 m² par foyer fiscal où les trouver ? Tout cela ça frise l'indécence, pire, la malveillance.

Pour continuer dans l'intox, connaissez-vous Biville sur mer en Seine-Maritime ? C'est un petit village du littoral près de Dieppe, où 6 éoliennes sont récemment sorties de terre. Six engins de dernière génération qui occupent 4 km de notre littoral normand et dont les pales culminent à 85 m de hauteur. Chaque éolienne a une puissance maxi de 2 mégawatts. Quand le vent souffle fort. Ce n'est pas grand-chose comparé au 2600 mégawatts qui sortent en permanence de la centrale nucléaire voisine, mais c'est toujours ça, surtout quand il fait très froid. Dommage quand même que cette énergie renouvelable soit si chère et non maîtrisable (4 fois plus chère que celle de l'atome), mais ce n'est pas grave puisqu'EDF a obligation de la racheter à bon prix. Mais revenons à nos 6 éoliennes ; depuis quelques jours il n'y a qu'une seule éolienne qui tourne, les 5 autres seraient elles privées de vent ? Que nenni, du vent il n'y en a pas depuis plusieurs jours, ce qui est généralement le cas quand il fait très froid (lors que l'on a

Les Lutins thermiques

besoin d'énergie pour se chauffer), ou très chaud (alors que l'on pourrait légitimement avoir besoin d'énergie pour une clim). C'est la nature, l'homme ne lui dicte pas encore sa loi. Mais alors, s'il n'y a pas de vent comment expliquer qu'une et une seule des éoliennes tourne ?

Voudrait-on nous faire croire à fond aux énergies renouvelables en trichant pour en cacher le mauvais côté. Ben oui, ça ne ferait pas bien pour les habitants de la région qui n'ont pas encore accepté ça dans leur paysage, que de voir toutes les éoliennes à l'arrêt alors qu'il fait - 4 degrés. Alors, tout simplement, n'en ferait-on pas tourner une ...en moteur (oui c'est naturellement possible, en lui donnant du courant !). Ça consomme un peu d'électricité, mais ça fait croire que ça produit de l'énergie.

Il est temps d'arrêter de nous rabâcher tous les soirs à la météo « c'est bon pour la planète », parce que là, on sait plus trop ou est le bien et le mal, et on va finir par penser que ceux qui donnent des conseils sont, non seulement malhonnêtes et incompetents mais en plus dangereux. Dans mon entourage, je ne connais personne qui lave du linge propre, Ou qui met en route son lave-vaisselle vide... Alors il est grand temps que les médias et leurs gilets à rayures qui nous desservent, arrêtent de nous prendre pour des demeurés, avec des reportages orientés, tronqués et des leçons de civisme qui ne tiennent pas la route.

Ah oui, j'allais l'oublier : j'ai même entendu après la page météo, *"qu'il ne faut pas mettre trop de chauffage dans la voiture car ça consomme du carburant et "ce n'est pas bon pour la planète"*. Quiconque a pris des cours de mécanique, ce qui n'est probablement pas le cas de cette brillante journaliste, sait que le chauffage de la voiture récupère la chaleur de l'eau du circuit de refroidissement du moteur. Cette eau chaude, il faut absolument la refroidir en la faisant passer soit dans le radiateur principal (celui qui se trouve derrière la calandre), soit dans le radiateur du chauffage de l'habitacle, sinon c'est la mort du moteur ! Si cette eau n'est pas assez refroidie par le ventilateur du circuit de refroidissement qui doit s'en charger, bonjour les dégâts!

On pourrait aussi évoquer les biocarburants, présentés comme carburants "verts" alors que s'engager dans cette voie, est un désastre écologique et humain à brève échéance : flairant l'aubaine, de grands groupes agro-alimentaires, défrichent en ce moment des forêts entières et remplacent des cultures destinées à l'alimentation humaine par ces plantations destinées à la production de carburant "vert" (C'est 50% de la production de maïs que les USA auront détourné cette année pour cette production, d'ou la famine au Mexique, premier acheteur de ce maïs). Vous doutiez de cet effet pervers du biocarburant ? Je n'ai pas oublié que dans les anciens livres d'école on enseignait que la végétation absorbe les gaz à effet de serre. Mais c'est un autre débat et j'ai déjà des palpitations rien que d'y penser.

Signé Un Lutin thermique

L'IRENA agence internationale pour les énergies renouvelables

La mission de l'IRENA est de promouvoir la diffusion des énergies renouvelable en proposant des solutions pratiques. C'est en 2007 à l'initiative de l'Allemagne du Danemark et de l'Espagne que l'agence internationale pour les énergies renouvelables (*International Agency for Renewable Energy*) regroupant environ 75 pays a été créée le 26 janvier 2009 à Bonn. Son siège localisé à Abou Dhabi sera transférée vers 2020 dans la future cité écologique de Masdar dans les émirats arabe Unis, pays qui comme chacun sait regorge encore de pétrole. Environ 75 pays sont signataires du projet. Ces pays sont entre autres: la France, l'Allemagne, l'Autriche, le Chili, la Colombie, le Danemark, l'Egypte, l'Espagne, le Ghana, l'Inde, l'Islande, la Jordanie, le Kenya, la Lituanie, le Mali, le Maroc, le Nigeria, la Norvège, les Pays-Bas, le Pakistan, les Philippines, la Pologne, la Roumanie, la Serbie, la Slovaquie, la Suède, la Syrie, la Turquie, mais aussi les Emirats arabes unis. La Chine, le Japon ou le Brésil ne s'associeront pas dans l'immédiat au projet. Bien que les négociations se tiennent en anglais, les Etats-Unis ne figuraient pas à l'origine du projet parmi les signataires. La France placé en bonne position à l'origine de la création de l'agence avec la nomination d'une française Hélène Pelosse au poste de directrice générale de cette agence prend un peu de recul dans la mesure où l'ancienne directrice adjointe du ministère de l'écologie a quitté son poste et est remplacée par un nouveau directeur par intérim détaché probablement par l'Emirat. Le problème est qu'avant de parvenir à cet objectif, il faut combler le déficit de regroupement des connaissances impressionnant dans ce domaine en établissant des bases de données qui recense tout de qui marche. Prévoir l'avenir est un exercice périlleux mais il est raisonnable de prévoir que l'IRENA est un organisme appelé à se développer compte tenu du potentiel très important des énergies renouvelables (ENR). Des groupes d'experts émanant des pays les plus en avance dans ce domaine vont probablement être sollicités. On peut l'espérer qu'ils seront à l'abri des conflits d'intérêt, et certainement choisi en fonction de leur équité. Ce qui est à craindre, c'est qu'ils ne prennent aucune décision sur le choix des solutions mais se contentent d'évoquer des scénarios envisageables selon eux en fonction des succès, des mi succès ou des échecs qui auront été essuyés par ceux qui auront fait l'effort de servir de cobaye pour faire avancer ces solutions nouvelles. Le problème pourrait être que ce sont les copropriétés qui auront le courage de prendre la décision de s'orienter vers ces nouvelles solutions avec le chauffage urbain qui risquent d'en faire les frais au bénéfice de ceux qui récoltent les informations. La rétention et la déformation des informations est de plus à craindre compte tenu de l'éloignement de l'IRENA par rapport à la France.

Le potentiel physique des énergies renouvelables (ENR)

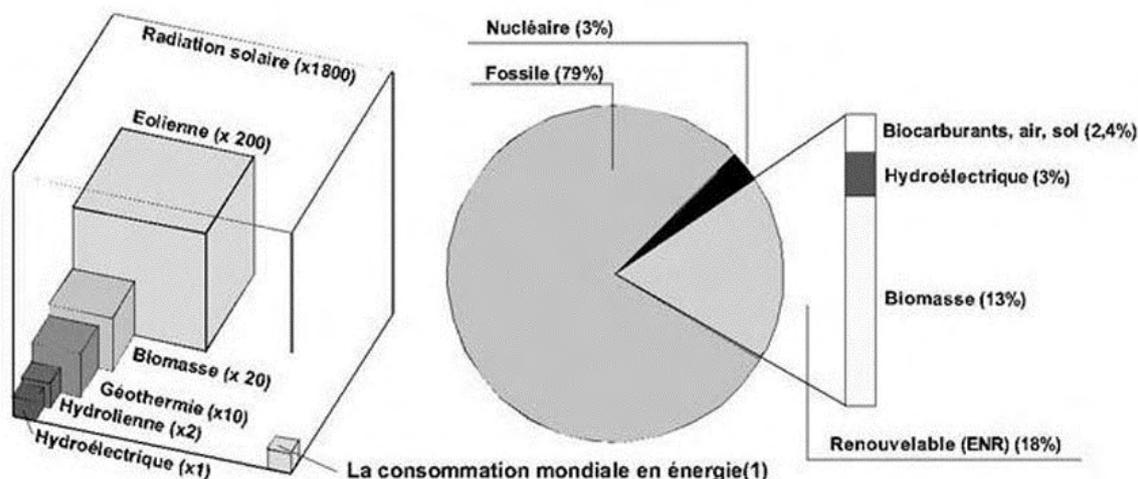


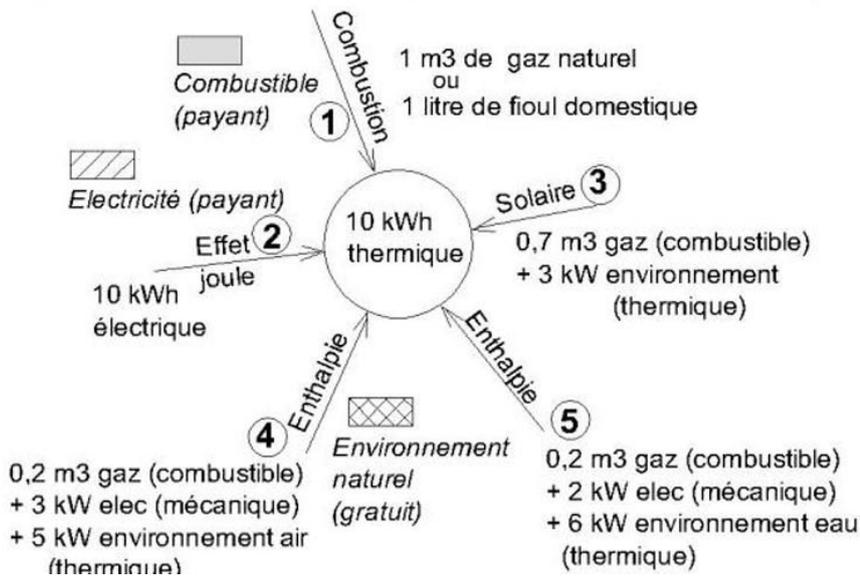
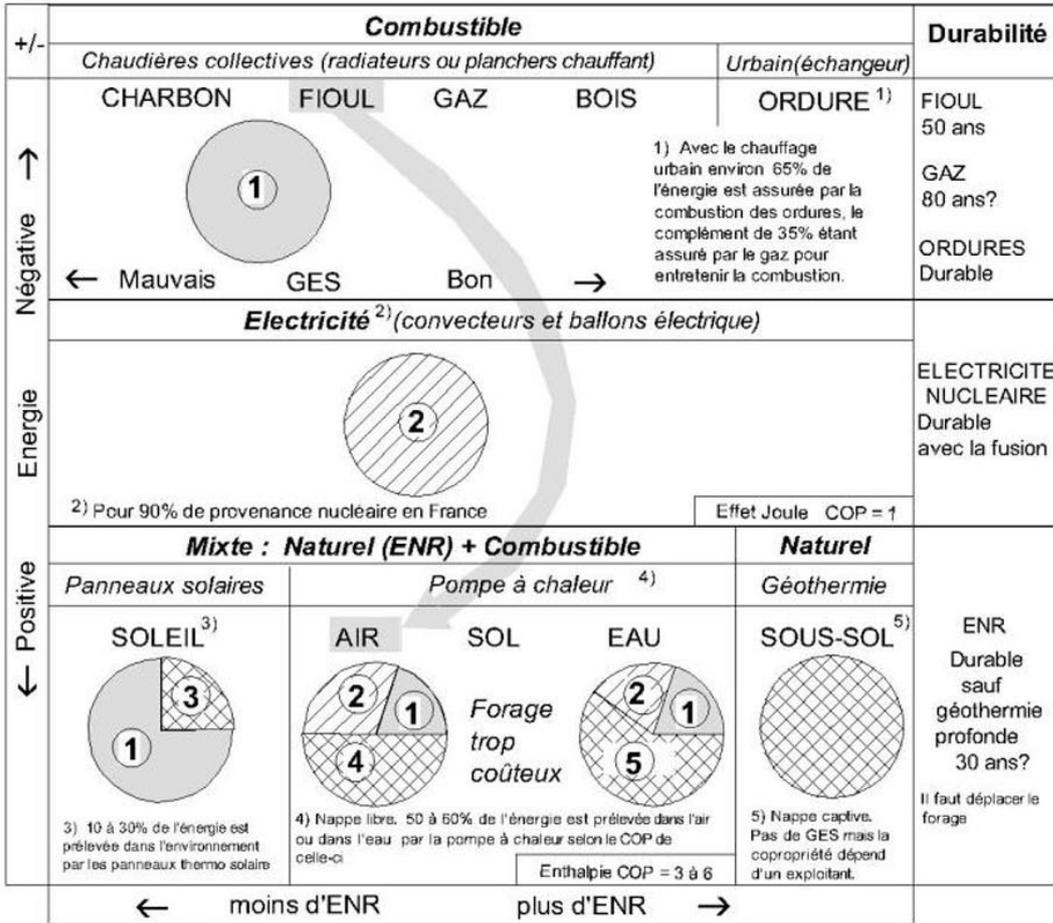
Figure 1 Valeurs IRENA*

Le cube de la figure de gauche représente le potentiel ENR, avec à l'intérieur de ce gros cube et en partie basse un petit cube représentant le besoin mondial en énergie. La satisfaction de ce besoin en 2006 est détaillée sur la figure de droite (Energie primaire avec une petite ouverture vers les ENR)

Les réserves en énergie renouvelable sont considérables.

Rien que la radiation solaire représente selon l'IRENA environ 1800 fois la consommation mondiale en énergie primaire de notre planète. Dommage que l'homme ne sache pas encore prélever des quantités significatives d'énergie directement à partir de ce rayonnement. L'IRENA constate que mondialement la consommation d'énergie primaire progresse plus vite que la démographie. Constatation d'autant plus grave que la population que la population mondiale sur la planète est en effet passée de 3,8 milliard d'habitants en 1971 à 6,4 milliard en 2005, soit une augmentation de 73 %, ceci alors que la consommation globale d'énergie primaire a plus que doublée pendant la même période en passant de 232 à 479 exajoule (un exajoule = 10^{18} joule). Ces chiffres correspondaient pour 2005 à une consommation énergétique moyenne par habitant sur notre terre de $75 \cdot 10^6$ kilojoules (ou environ 20 800 kWh compte tenu de l'équivalence entre le joule et le kWh). Cette consommation annuelle par habitant est très inégale selon les pays puisque pour cette même année, elle s'échelonnait entre 55 000 kWh pour la moyenne des pays de l'OCDE et 6400 kWh pour l'Inde. Selon l'IRENA, la consommation mondiale en énergie primaire sur la terre provient pour 79% de la combustion des produits fossiles (charbon, pétrole et gaz) alors que la production d'énergie nucléaire dans le monde est équivalente à la production d'énergie hydroélectrique (3%). La France occupe une position singulière : sa production d'énergie électrique d'origine nucléaire est environ 9 fois plus importante que sa production hydroélectrique alors que cette dernière est environ trois fois plus importante que la moyenne mondiale.

Les Lutins thermiques



Les ENR d'origine solaire, aérothermique, aquathermique et géothermique dans le chauffage urbain en remplacement de la combustion. La partie inférieure du tableau quantifie la part d'ENR pouvant être prélevée dans l'environnement avec le chauffage thermodynamique. Ceci selon que l'on prélève l'énergie à la source froide dans l'air, l'eau, ou le sol: Ces différentes solutions sont envisageables techniquement.

Les Lutins thermiques

- **Dans l'air** (flèche grise), solution pérenne seulement en relève mais peu performante

- **Dans l'eau** avec la pompe à chaleur aquathermique.

Solution performante envisageable en substitution moins pérenne seulement avec la combustion en stand-by.

- **Dans le sol** : La géothermie profonde avec forages verticaux profonds et coûteux a moins de chance d'évoluer favorablement en zone urbaine. Selon les experts, elle manque en effet de pérennité et nécessite le déplacement du forage

Plus de 50% des habitants de notre planète vivant dans les villes et près de 50% de l'énergie consommée dans le monde étant d'origine thermique les Lutins thermiques considère que le chauffage urbain va jouer un rôle important dans le développement des ENR. La transition des énergies thermiques primaires obtenues à partir de la combustion des produits fossiles vers les ENR va se faire selon eux progressivement. Afin d'accélérer la transition vers les ENR notre pays a certainement intérêt à privilégier le chauffage thermodynamique des bâtiments existants dans les villes d'autant que 75% de l'énergie électrique est d'origine nucléaire en France. Ils estiment qu'une étude approfondie devrait être faite en Europe pour comparer les avantages respectifs des "petites" centrale nucléaires calogènes (voir les chaînes énergétiques) et du chauffage thermodynamique. Quel que soit la nature de cette transition, ils estiment que celle-ci sera lente et passera dans un premier temps par des chaufferies mixtes utilisant à la fois le gaz et l'électricité comme combustible. Ceci non pas parce que la pompe à chaleur n'est pas capable d'assurer le besoin thermique à elle toute seule mais pour des raisons financières et aussi en raison de l'évolution trop lente des mentalités. Ils pensent que l'énergie solaire photovoltaïque est inadaptée en ville en raison du manque de surface et de la puissance importante nécessaire pour le chauffage urbain.

Les Lutins thermiques estiment que l'IRENA a :

- Considérablement sous-estimé les énergies marémotrices dans ses prospectives énergétiques

- Mélangé ce qui est renouvelable (la géothermie superficielle en ne la mentionnant même pas) et ce qui n'est pas renouvelable selon les experts (la géothermie profonde)

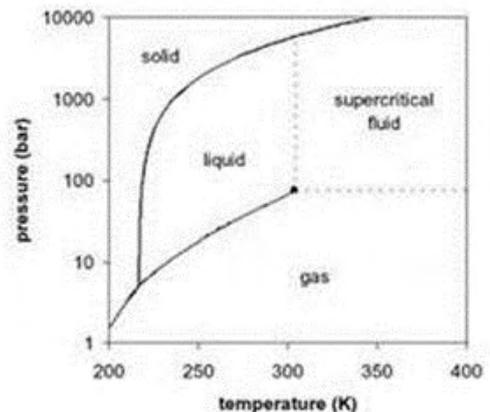
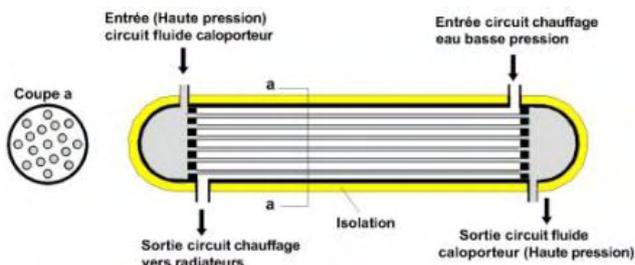
* Pour développer les ENR avant les autres, la France a probablement intérêt à faire évoluer le chauffage urbain vers la thermodynamique. Ceci pour la raison qu'étant en avance sur les autres pays pour la production d'énergie nucléaire elle pourrait ainsi diminuer sa dépendance aux produits fossiles évitant ainsi de ravager notre nature comme beaucoup de prospecteurs envisagent de le faire sur les Plateaux du Larzac. La mise en œuvre d'une telle orientation nécessite évidemment une motivation politique et la prise de conscience que les fleuves, la plupart du temps proches des plus grandes métropoles peuvent jouer un grand rôle important.

Quelques idées fausses

- 1 L'idée selon laquelle les radiateurs électriques peuvent être considérés comme un mode de chauffage performant et économique est une idée fausse. Les pompes à chaleur (PAC) à compresseur peuvent par contre être considérées comme un chauffage électrique performant diminuant quantitativement la dépendance à l'électricité dans un rapport proportionnel à leur COP (coefficient de performance). Certes l'énergie renouvelable produite par les pompes à chaleur (PAC) à compresseur est encore trop dépendante de l'énergie nucléaire mais l'électricité nucléaire française restera probablement un mal nécessaire pendant longtemps. Un jour peut-être, lorsque les bâtiments seront correctement isolés, le chauffage thermodynamique sera alimenté par de l'électricité verte (Provenant pour l'essentiel de l'électricité solaire avec un complément fourni par les hydroliennes ou les éoliennes offshore). La chaîne énergétique sera alors parfaite.
- 2 Concernant les planchers chauffants, les Lutins thermiques renvoient sur les idées reçus de l'excellent site de « COTE MAISON »
- 3 L'idée pourtant répandue selon laquelle le stockage de l'énergie électrique est difficile à assurer en grosse quantité est une idée fausse. Cette idée valable si l'on souhaite assurer ce stockage avec des batteries dont le poids et le prix deviennent rapidement démesurés, devient fausse avec les dispositifs hydroélectriques baptisés STEP. En rechargeant seulement 4 fois dans l'année son réservoir supérieur, la STEP de Grandmaison permet d'alimenter en électricité pendant un an une ville de 350 000 habitants comme Nice ou le métro de Paris pendant une année entière (1,4 milliard de kWh). L'énergie électrique excédentaire provenant par exemple des éoliennes lorsque le vent souffle en abondance pourrait ainsi être stockée utilement. De même que l'électricité solaire, rythmée par le jour et la nuit, pourrait être stockée utilement pour restitution lorsque le soleil fait défaut.

Les Lutins thermiques

- 4 L'idée selon laquelle les pompes à chaleur risquent de contribuer massivement au réchauffement climatique à cause des fluides frigorigènes qu'elles utilisent est une idée fautive. Le circuit frigorigère fermé d'une pompe à chaleur à compresseur bien conçue est un circuit rigoureusement étanche où le fluide frigorigère n'est jamais en contact avec l'atmosphère. De plus le choix des fluides caloporteurs modernes s'oriente vers des fluides présentant un pouvoir de nuisance en termes de gaz à effet de serre nettement moindre. Pour éviter les fuites, la sélection des échangeurs de température à contre-courant assurant les transferts thermiques dans l'évaporateur (réaction endothermique à basse pression) et particulièrement dans le condenseur (réaction exothermique à plus haute pression) doit être effectuée soigneusement.



Avec un fluide caloporteur tel que le gaz carbonique (R744) permettant d'augmenter la température sur le circuit de chauffage au-delà de 70°C, la pression dans le condenseur parcouru par le fluide caloporteur est plus élevée (Voisine d'une centaine de bar selon le diagramme pression température du CO₂ ci-dessus).

Pour résister à ces pressions, les condenseurs seront probablement des échangeurs à tubes (Figure de gauche). Lors de la mise au rebut de la PAC la vidange de ce circuit doit respecter des règles strictes pour éviter des incidents, non pas vers la nappe phréatique comme ceux constatés avec les vieux transformateurs électriques et le pyralène (PCB) mais cette fois vers l'atmosphère et la couche d'ozone (Réchauffement climatique).

5 L'idée selon laquelle laisser refroidir une pièce pour la réchauffer ensuite demande plus d'énergie que de la maintenir à température est une idée fautive. Heureusement d'ailleurs pour la raison que cela reviendrait à condamner le cycle de nuit utilisée par les thermiciens pour réaliser des économies d'énergie en solutionnant par la même occasion le problème de la génération de l'eau chaude sanitaire. Aidés en cela par l'inertie thermique du bâtiment, ils le font sans risque de retrouver son salon à 8 °C. Il est en effet important de comprendre qu'à l'occasion de l'arrêt et de la remise en marche du chauffage, les flux thermiques des éléments situés à l'intérieur du bâti tels que les planchers s'inversent, ralentissant la chute de température lors de l'arrêt du chauffage et l'augmentant à sa remise en marche.

Explication

Chauffer un bâtiment c'est compenser la somme des déperditions thermiques du bâtiment au travers des parois constituant le bâti. La puissance thermique perdue au travers de ces parois est la somme des déperditions élémentaires de chacune de ces parois $P = U \times S \times dT$ où U coefficient de déperdition de la paroi exprimé en watt/m² et °C et S la surface de cette paroi en m² *sont des constantes* et où dT différence de température entre l'intérieur et l'extérieur en °C et P la puissance thermique en watt traversant la paroi *sont des variables*

Cette formule utilisée couramment par les thermiciens permet de comprendre que plus la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur est grande, plus les déperditions énergétiques sont importantes. Un bâtiment qui se refroidit aura donc moins de déperditions que s'il est maintenu à température d'origine puisque la différence de température dT est plus faible. Il est donc toujours plus économique de laisser la température chuter que de la maintenir constamment à un niveau prédéfini. Pour éviter d'influer négativement sur le rendement de la chaufferie, il est préférable de majorer légèrement la température avant l'arrêt du chauffage plutôt que de trop solliciter le chauffage après le cycle de nuit. Ceci d'ailleurs que le chauffage soit constituée par des chaudières à condensation ou d'un chauffage thermodynamique. Avec les chaudières à condensation pour la raison que le rendement de ces chaudières ne peut s'améliorer de quelques 10% qu'à la condition de récupérer la chaleur contenue dans les fumées d'évacuation ce qui ne peut se faire que si les températures de l'eau de retour ne sont pas trop élevées. Avec le chauffage thermodynamique pour la raison que le coefficient de performance(COP) de la pompe à chaleur diminue avec l'augmentation de la température à la source chaud.

- 6 L'idée selon laquelle le prix de l'eau chaude distribuée collectivement dans un immeuble ancien n'est que de 2 à 3 fois le prix de l'eau froide pour valable qu'elle soit avec une génération individuelle est une idée fautive avec une génération collective. Si 28 litres de fioul à un € le litre ou ce qui revient au même 280 kWh (Gaz ou électrique) sont nécessaires pour obtenir un mètre cube d'eau chaude sanitaire, celle-ci est 8 fois plus élevée que celle de l'eau froide avec le fioul, légèrement moins cher avec le gaz mais encore plus élevée avec l'électricité. Lorsque l'on sait qu'il faut grosso modo 50 kWh à 10 cts d'€ le kWh pour transformer un m³ d'eau froide en un m³ d'eau chaude, on comprend pourquoi cette idée, conséquence d'un raisonnement individuel, est fautive dans le collectif compte tenu de l'éloignement entre la génération et l'utilisation et les déperditions thermiques dans les tuyauteries qui en résulte. Les Lutins thermique observent toutefois que ces déperditions sont en partie récupérées pendant l'hiver.

Prix actuel de l'eau froide 4€/m³

L'argent du pétrole



La visualisation des images de Laurent Fabre a été le catalyseur d'une réflexion entre Balendard et les Lutins thermiques

Balendard

Il y a quelque chose qui cloche dans ces images. Pourquoi voulez-vous que les pays producteurs et les Cie pétrolières renoncent à leurs avantages au seul profit de l'état français ?

Les Lutins

Dans l'intérêt des 3 parties en cause, il va pourtant falloir que nous anticipions la fin programmée du pétrole. Ne perdons pas de vue que l'argent du pétrole, souvent aussi sale que le pétrole lui-même disparaîtra avec lui et il sera alors trop tard

Balendard

Je crains qu'il ne soit déjà presque trop tard. La solution qui supprimerait pourtant en bonne partie le "pétrole sale" à savoir le chauffage thermodynamique "vert" ne semble pas intéresser outre mesure nos politiques. De plus, quand un pays producteur de pétrole achète des avions de combat avec l'argent du pétrole pour bombarder ses populations civiles, vous avez raison de parler d'argent sale.

Les Lutins

Le prix du pétrole a atteint un tel niveau que pour éviter des conflits sociaux, l'état français ne peut encore augmenter indéfiniment la fiscalité locale sur le pétrole. Il n'est pas encore trop tard mais il va probablement être nécessaire dans l'intérêt commun, que les pays producteurs acceptent de renoncer un peu avant l'échéance inéluctable à leur avantage de 25%. Ceci au bénéfice d'un financement dédié à la mise au point en commun de techniques nouvelles visant au développement de méthodes efficaces de production d'énergie. Dans les villes, le chauffage thermodynamique "vert" que vous venez de citer et qui consiste à alimenter les compresseurs des pompes à chaleur avec de l'électricité propre provenant par exemple de l'association d'éoliennes ou d'hydroliennes avec une STEP en est une. La contrepartie logique à ce renoncement étant notre engagement à leur faire bénéficier de ces techniques dès qu'elles deviendront véritablement opérationnelles pour leur éviter la pénurie énergétique. Du donnant donnant en quelque sorte.

Les aides et les ENR

L'Ademe, après avoir abandonné les copropriétés se sent obligé de revenir sur sa décision afin de respecter les objectifs du Grenelle qui prévoit d'augmenter à 23% la production d'énergie renouvelable en 2020. Elle espère y parvenir à l'aide du *fond chaleur renouvelable* aidant au financement des projets générant de la chaleur renouvelable dans le cadre de l'habitat collectif. Pour répondre à la préoccupation de l'Ademe, on ne comprend pas pourquoi la région *Nord Pas de Calais* est pour l'instant la première, et semble-t-il la seule région de France, à avoir introduit un *appel à projet* supposée aider au financement de l'investissement de départ.

A l'occasion de cet *appel à projet*, les Lutins thermiques sont heureux de constater que les bénéficiaires de ce *fond chaleur renouvelable* peuvent être les maîtres d'ouvrage en charge des copropriétés pour la région du nord de la France.

Ils espèrent évidemment que la méthode va s'étendre aux autres régions de France. Ils regrettent que le solaire thermique, la biomasse, le biogaz, la géothermie profonde ainsi que l'aquathermie superficielle soient allègrement mélangés dans ce recueil d'appel à projet ce qui rend la lecture moins compréhensible. Pour faciliter la compréhension de la partie chauffage thermodynamique par PAC *eau eau*, un Lutin thermique a extrait du document de base tout ce qui n'est pas dédié au chauffage thermodynamique afin d'aider à comprendre. (voir lien)

Ils n'ont rien à redire au fait que l'aide accordée au titre du *fond chaleur renouvelable* ne soit cumulable, ni avec le crédit d'impôt, ni avec les certificats d'économies d'énergie. Tout dépend du montant de l'aide ont-ils dits. Ils peuvent aussi comprendre que pour sécuriser l'équilibre économique du projet, il soit impératif de n'entreprendre aucuns travaux avant réception de l'aide. Ils sont évidemment conscients qu'un Maître d'œuvre doit respecter ses engagements et a obligation de résultat, c'est à dire produire effectivement les ENR promises dans le contrat, mais ils sont déçus que, dans un premier temps, le montant de l'aide soit réduit si la production d'énergie renouvelable annoncée au maître d'ouvrage n'est pas respectée, voire même supprimé si aucune ENR n'est produite. Leur déception est justifiée par le fait qu'en se comportant comme un inspecteur des travaux fini et en ne communiquant aucune étude comparative entre les solutions, à savoir par exemple entre la PAC sur nappe et le coûteux champ de sondes*, en refusant le dialogue et en "oubliant" le prélèvement directe de l'eau dans le fleuve au bénéfice du forage, l'Ademe a peu de chances selon eux de voir significativement la

Les Lutins thermiques

augmenter la proportion des énergies renouvelables dans le cadre du chauffage urbain dans l'ancien. Ils ont pris bonne note que à défaut de la réalisation par un bureau d'étude indépendant d'une étude énergétique préalable de l'immeuble à chauffer, la production d'une analyse détaillée du projet par ce qui pourrait être une association de maître d'ouvrage indépendante et baptisé « AMO » par l'Ademe sans plus de précision serait suffisante. Ils demandent que soit précisée la nature juridique de l'AMO. Par contre, ils comprennent mal le texte rédigé par la région *Nord Pas de Calais* qui associe le calcul de l'aide au prix de vente de la chaleur renouvelable... " *Qui serait vendue à un prix inférieur de 5 % à celui de la chaleur produite à partir des énergies conventionnelles*"... Le texte n'a selon eux aucun sens puisque la chaleur renouvelable étant produite par la pompe à chaleur achetée par la copropriété au titre de sa nouvelle chaufferie, comment dans ces conditions un organisme comme l'Ademe pourrait-il envisager de répercuter les économies financières réalisées grâce son aide sur le prix de la chaleur vendue aux usagers....tout cela n'a aucun sens.

Contenu de ce qui précède on peut se demander si le *fond chaleur renouvelable* de ne va pas passer aux oubliettes comme l'a été le « mal compris et mal redistribué certificat d'économie d'énergie (CEE)

* L'appel à projet semble considérer toutefois que la solution avec champs de sonde a plus de chance d'être retenue pour les surfaces habitables importantes supérieures à 15 000 m², la PAC sur aquifère devenant préférable entre 2000 et 10 000 m² habitable



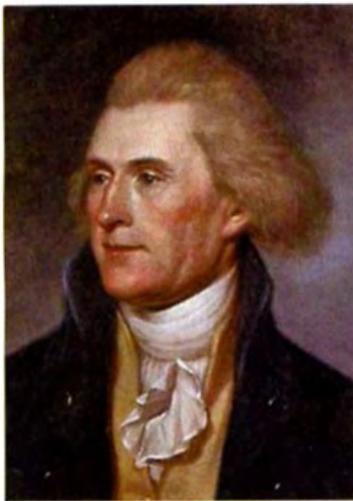
L'éco prêt et les banquiers

C'est au moment où je commençais à m'endormir et à être atteint du syndrome de la grenouille dans l'eau tiède d'Al Gore que le formidable discours de Davos de notre ancien Président sur la moralisation de la finance a rouvert mes yeux qui commençaient à se fermer. La phrase prononcée par ma charmante interlocutrice lorsque je lui ai annoncé ma décision d'ouvrir un compte chèque dans sa banque était pourtant rassurante : « *Monsieur Balendard, nous sommes heureux de vous compter au nombre de nos clients. Surtout n'hésitez pas à faire appel à nous si vous avez un problème* »

Je n'avais jusqu'à présent trop rien jusqu'ici contre les banquiers et je n'ai d'ailleurs eu jamais de problème grave avec eux. Mon tort a peut-être été de vouloir faire appel à cette banque en lui signifiant au préalable que c'était pour un prêt à taux zéro. Il n'a eu pas plus d'entretien que de RV suite à cette demande. C'est alors que la phrase ci-dessus m'est revenue en mémoire et que mon opinion au sujet des banquiers a changée. Maigre consolation que de se dire : Pourquoi rencontrer cette charmante personne - trop charmante d'ailleurs pour que je dévoile ici le nom de sa banque ou celui de son directeur - si c'est pour s'entendre dire :

« Nous sommes sincèrement désolé (sic) que la Présidente de votre conseil syndical soit obligée de se substituer à un automatisme primaire afin de modifier les paramètres de réglage de vos vieilles chaudières au fioul afin d'économiser l'énergie et nous comprenons qu'il devient urgent pour vous de trouver les financements pour moderniser votre chaufferie. Mais pourquoi prêterions-nous à une collectivité telle qu'une copropriété puisque la société n'est pas organisée pour le faire alors qu'elle l'est pour que l'argent du contribuable soit placé à des taux plus intéressants pour nous ? La moralisation de la finance pour assurer le développement de l'industrie n'est pas notre affaire. Vous nous dites que les capacités de remboursement des copropriétaires de votre immeuble sont assurées puisque leur pouvoir d'achat n'est pas modifié pendant la période de remboursement et nous ne demandons qu'à vous croire sur ce point. Mais notre problème n'est pas de savoir si nous avons confiance ou non en vous, pas plus qu'il n'est de savoir si votre demande concerne une demande de prêts individuels fonction de la situation particulière de chaque demandeur ou d'un prêt global pour l'ensemble de votre copropriété. Notre problème est de décider si nous préférons prendre le risque de gagner ou de perdre beaucoup d'argent avec les crédits revolving en boursicotant plutôt que d'être assuré d'en gagner peu en donnant suite à votre demande.

Il reste semble-t-il un effort à faire pour que le PTZ rentre véritablement en application dans le cas de la copropriété. Sans volonté politique commune entre l'opposition et le gouvernement et en l'absence d'une finance responsable le formidable discours de notre Président à Davos risque de devenir un « *Discours parfait* » Un responsable de WWF faisait remarquer que son association pourrait se désolidariser des banques irresponsables se donnant uniquement une connotation écologique sans jouer véritablement le jeu de la responsabilité environnementale.



Thomas Jefferson : un visionnaire !

**Thomas Jefferson,
troisième Président des Etats-Unis de 1801
à 1809 a fait la déclaration suivante en 1802 :**

"I believe that banking institutions are more dangerous to our liberties than standing armies. If the American people ever allow private banks to control the

issue of their currency, first by inflation, then by deflation, the banks and corporations that will grow up around the banks will deprive the people of all property until their children wake-up homeless on the continent their fathers conquered".

"Je pense que les institutions bancaires sont plus dangereuses pour nos libertés que des armées entières prêtes au combat. Si le peuple américain permet un jour que des banques privées contrôlent leur monnaie, les banques et toutes les institutions qui fleuriront autour des banques priveront les gens de toute possession, d'abord par l'inflation, ensuite par la récession, jusqu'au jour où leurs enfants se réveilleront, sans maison et sans toit, sur la terre que leurs parents ont conquis".

Etonnant, non ?

Notes personnelles

Chapitre V Complément

Les aides fiscales, réalité ou miroir aux alouettes?

Le crédit d'impôt

Perçu sous forme d'une déduction d'impôt effective longtemps après que les fournisseurs aient été payés le Maître d'ouvrage ne compte guère sur lui pour faire son calcul de retour sur investissement. Il a été semble-t-il cumulable avec l'éco prêt PTZ jusqu'en 2010 mais il ne le serait plus que pour certains, probablement les moins fortunés, les foyers fiscaux qui ont des sources de revenus supérieures à 45 000 € devant considérer que la vétusté est une partie que chaque copropriétaire doit normalement prendre à sa charge pour maintenir la valeur de son bien, et ceci même s'ils se voient imposer l'investissement suite à un vote favorable en AG. Ce crédit d'impôt est donc fonction de chaque situation personnelle et son montant baisse régulièrement. Comment chacun d'entre nous peut-il décider dans ces conditions lors du vote. A l'origine égal à de 50% du montant des matériels (hors main d'œuvre) comme les pompe à chaleur, les chaudière à gaz, les fenêtres et les isolants, il est passé à 40% puis 25% de ce montant. Ceci à l'exception de la PAC eau eau où il serait toujours à 40% compte tenu de son bon rendement.

Le certificat d'économie d'énergie CEE

En améliorant le retour sur investissement avec les CEE, l'état aide les propriétaires à appliquer sa politique. Le montant alloué à la copropriété au titre de la CEE est versé au moment de la dépense. Tout permet de penser que le CEE sera financé par les "obligés" au titre d'un dispositif bonus-malus lié au principe du "*pollueur payeur*". Ce transfert financier lié à la taxe carbone est difficile à comprendre pour le Maître d'œuvre. L'idée a été semble-t-il dans un premier temps d'octroyer au pollueur un "droit à polluer" et de lui vendre ce certificat qui lui reviendrait moins cher que de payer une amende pour polluer sans avoir l'autorisation de le faire. Faut-il accroître encore la fiscalité sur les combustibles fossiles sous la forme d'une "*contribution énergie*". Comment améliorer la redistribution de ces prélèvements financiers imaginés il y a plusieurs années par les anglais ? Ne pourrait-on imaginer une méthode d'estimation de la CEE simple basée les économies d'énergie réalisées pendant la durée de vie de la nouvelle génération thermique par rapport à l'ancienne. Ceci en fixant un taux d'aide fiscale qui reste stable dans le temps. Disons 1 cts* d'€ par kWh économisée avec la combustion cette valeur étant naturellement doublée voire triplée pour les chaufferies générant des ENR compte tenu du coût de réduction élevé du CO2 (80 € la tonne). Comment organiser les transferts monétaire de telle sorte que la copropriété qui pour finir finance la majeure partie de l'investissement soit payé au moins en partie directement par le trésor public à la mieux assister le Maître d'ouvrage. Ne pourrait-on pas mieux définir sur quelles période le Maître d'œuvre peut calculer le montant de la CEE, durée qui ne serait que de 15 ans pour les particuliers contre une vingtaine d'années pour les copropriétés. Le montant de la CEE est en pratique négligeable par rapport aux économies que fait faire à l'état par rapport au coût de réduction de carbone de 80 € la tonne.

* Un taux de 4 cts par kWh avait été envisagé un moment pour les maisons individuelles probablement pour tenir compte des plus grandes surfaces de déperdition.

Complément

Le prêt à taux zéro PTZ

Difficile pour ne pas dire obscure à calculer par le Maître d'ouvrage le montant de la CEE on vient de le voir ne rentre que pour une petite partie de l'aide fiscale.

Cumulable avec les CEE et le crédit d'impôt, un éco prêt versé au moment de la dépense même plafonné à 30 000 € par logement et à 300 €/m² habitable serait une aide précieuse pour le Maître d'œuvre particulièrement s'il est consenti sans conditions de ressource ou de limite d'âge et versé aux propriétaires occupant le logement et aux bailleurs.

Bien que son obtention dans le cadre d'une copropriété soit maintenant décidé par le Grenelle ses modalités de calculs ne semblent pas encore clairement établies.

Va-t-on prendre la surface totale habitable par exemple 5000m² à 300 /m² ce qui conduit à un prêt de **1,5 M€** ?, ou au contraire va-t-on baser le calcul sur le NB de logement soit 70 x 30 000 avec un prêt de 2,1 M? L'acquisition d'un tel prêt est indispensable si la copropriété se fixe comme objectif thermique l'ambitieux label "*BBC rénovation 2009* " et probablement inutile si elle se limite à l'isolation minima (voir page). Dans ce cas le montant de ce dernier prêt doit porter sur une durée très importante proche de 10 de 15 ans de telle sorte que le remboursement annuel moyen par appartement ne soit que peu supérieur aux économisées sur le combustible primaire pendant la même période le surplus étant mis sur le compte de la vétusté. Un prêt sur 76 à 8 ans devrait être suffisant dans le cas de l'isolation ROI à minima

Le remboursement pour chaque appartement pourrait être calculé en fonction des tantièmes de copropriété. Dans le cas d'une production d'ENR type PAC, les économies annuelles sur les achats de combustible, déduction faite des frais d'entretien supplémentaire chaufferie, remboursant on vient de le voir rembourse en bonne partie cet emprunt.

La banque, le PTZ et la copropriété

Lorsque l'on sait que c'est approximativement 8 millions de logements construits avant 1990 qui ont besoin de réaliser des travaux d'isolation et de modernisation de la chaufferie à elle seule responsable de 65% des émissions de gaz à effet de serre, on mesure l'importance de ce prêt. La législation relative à l'octroi du PTZ dans le cas de copropriété se met petit à petit en place. Le gouvernement a par exemple déchargé les banques de la responsabilité de vérifier que les travaux sont bien effectués ainsi que de s'assurer de leurs performances énergétiques? Les modalités de vérification ne sont toutefois pas encore définies selon la revue "Le particulier". Il a été décidé avec les banques que les copropriétaires ayant des problèmes lourds de santé ou un ratio d'endettement trop lourd n'auront pas accès au PTZ . On peut penser que la banque bénéficiera d'une garantie de l'état qui la couvre en cas de décès de l'un des emprunteurs copropriétaires pendant la période de remboursement ce qui sous-entend que le remboursement de l'emprunt à la banque serait assuré par prélèvement sur l'héritage. La lourdeur du processus du fait de l'interférence entre les aspects collectifs et privés commence lentement à se résoudre ainsi que la révision de textes anciens et obsolètes.

Complément

Les fenêtres ainsi que les portes fenêtres lorsque l'immeuble comprend des terrasses privatives ne devraient plus être considérées comme privatives que pour l'entretien. Lorsque le chauffage des appartements d'un immeuble ancien géré en copropriété est collectif comment en effet la rénovation des fenêtres du simple vers le double vitrage indispensable pour assurer une isolation minimum pourrait-elle être privative? Les parties vitrées font en effet partie de l'enveloppe thermique de l'immeuble et il était logique à ce titre qu'elles soient considérées comme un bien collectif au même titre que la toiture et les murs opaques. (Le ravalement est bien partie commune). Les copropriétaires qui auront déjà financé cet investissement à titre privatif seront exonérés de charge lors de la rénovation générale s'ils ont mis en place leur double vitrage en conformité avec les règlements intérieurs de la copropriété.

Les prêts PTZ pourraient donc commencer à rentrer en application dans les immeubles gérés en copropriété lorsque le chauffage est collectif. Pour que le système se débloque effectivement on peut espérer que ce sera la banque qui assurera le PTZ global au syndic de l'immeuble et non un principe de prêts multiples consentis aux copropriétaires. Le syndic, sorte d'intermédiaire comptable serait naturellement rémunéré pour ce travail. En effet, on imagine mal un consensus obtenu avec des prêts multiples consentis individuellement à chaque copropriétaire.

Comme on le voit, beaucoup de questions se posent et continuent à se poser pour résoudre le problème des mécanismes financiers. Le succès des objectifs du Grenelle est fonction de la mise en pratique de l'éco-PTZ. L'amélioration de notre environnement est donc liée à la façon dont ces obstacles seront surmontés. Malgré tous ces écueils législatifs; il ressort des décisions du Grenelle que le prêt à taux zéro (PTZ) semble acquis pour la copropriété. Toutes les banques n'ont pas adhéré au principe du PTZ. (voir lien <http://www.rivieres.info/riv+ener/complements/medad-ptz2.htm>)

1. Chaque copropriétaire peut emprunter entre 20 000 et 30 000 € par logement. (300 € maxi par m²)
2. Ce prêt est consenti sans limitation de ressource ou limite d'âge.
3. Qu'ils soient occupants ou bailleurs les copropriétaires peuvent bénéficier du prêt PTZ
4. La durée du prêt est généralement comprise entre 10 et 15 ans selon les besoins de l'emprunteur.
5. Les copropriétaires plus aisés préférant financer les travaux sur leur fonds propres peuvent le faire.
6. Son montant ne suffit pas à financer complètement l'investissement global dans le cas d'une chaufferie moderne à énergie positive le CEE devant pouvoir assurer le complément

Selon notre ministre de l'écologie l'horloge tourne. "Tous les signaux nous alertent : multiplication des événements climatiques extrêmes, records d'émissions mondiales de gaz à effet de serre, élévation des prévisions d'élévation de la température mondiale... Bientôt il sera trop tard pour agir !"

Complément

Programme d'intérêt général :

C'est un complément d'aide qu'une copropriété peut essayer d'obtenir dans le cas d'un projet particulièrement novateur. Compte tenu du coût très élevé d'une isolation de qualité dans un immeuble ancien, un projet tel que celui d'une chaufferie mixte GAZ-PAC aquathermique dans l'ancien (rénovation) mériterait d'être classé en programme d'intérêt général (PIG) en raison de ses avantages environnementaux indéniables.

Mise à part l'installation des Mureaux, aucune PAC sur nappe libre n'est encore installée à ma connaissance en proche région parisienne.

Conscient que le chauffage des bâtiments est le premier chantier mondial pour lutter contre les émissions de CO₂, Jean Louis Borloo avait pris début 2009 des accords visant à octroyer un prêt à taux zéro aux particuliers désirant réaliser des travaux d'amélioration énergétique dans leur logement afin de réduire leur consommation et la facture d'énergie. Une dizaine d'établissements bancaires et d'organisations professionnelles s'étaient dits prêts à relever le défi en assurant la formation des artisans aux métiers de la rénovation thermique. *L'éco-prêt* ou *prêt à taux zéro (PTZ)* devait être effectif à partir du 1er avril 2009. Il devait financer des travaux de rénovation thermique à hauteur d'un important montant de 30.000 euros par famille et pour une durée de remboursement de 10 ans dans le cadre d'un «*bouquet de travaux*». Le ministre de l'Ecologie de l'époque tablait sur une vitesse de croisière d'au moins 400.000 éco-PTZ par an et avait même déclaré pour le rendre plus incitatif, qu'il serait cumulable avec les aides éventuelles des collectivités territoriales et le crédit d'impôt. Alors que l'on en est à 150 000 Eco prêts fin 2011 force est de constater que l'on est loin du résultat espéré. Les présidents respectifs d'organismes importants avaient pourtant annoncé au ministre et aux partenaires présents: «Nos entreprises sont prêtes». Trois ans ont passés, le prêt PTZ est-il véritablement en application et a-t-il créé autant d'emploi que prévu? Force est de constater qu'il n'en est rien.

Le responsable du MEDAD était peut être très détendu à l'époque sur l'aspect budgétaire, mais Balandard "citoyen lamda" qui a contacté sa banque pour une demande de PTZ et qui n'a pas reçu de réponse malgré quelques relances est plutôt contracté. Pourtant l'octroi du prêt devait se faire «Sans condition de ressource, d'âge, de religion ». Comment ce PTZ aurait-il pu d'ailleurs entrer en application dès lors que selon Batiactu, ces organismes avaient admis à l'époque que 50.000 professionnels seraient formés d'ici fin 2010 aux nouveaux métiers de l'amélioration énergétique afin de «faire le bon diagnostic, engager les travaux, puis vérifier que ce sont bien les travaux adéquats». Tout cela en admettant dans le même temps qu'elles n'étaient pas encore vraiment prêtes ne serait-ce que par le fait qu'elles envisageait d'engager les travaux avant même de vérifier s'ils sont bien adéquats !

C'est peut être pour toutes ces raisons que l'éco prêt n'est plus à l'ordre du jour et est pratiquement mort. L'écoprêt est mort, vive son remplaçant !

Le fond chaleur renouvelable et les ENR

L'Ademe, après avoir abandonné les copropriétés est obligé de revenir sur sa décision pour respecter les objectifs du Grenelle qui prévoit d'augmenter à 23% la production d'énergie renouvelable en 2020. Elle espère y parvenir à l'aide du *fond chaleur renouvelable* aidant au financement des projets générant de la chaleur renouvelable dans le cadre de l'habitat collectif. Les Lutins thermiques comprennent la préoccupation de l'Ademe. Ce qu'ils ne comprennent pas c'est la raison pour laquelle la région *Nord Pas de Calais* est pour l'instant la seule région de France à avoir introduit un **appel à projet** supposée aider au financement de l'investissement de départ. Avoir choisi cette région plus froide en premier est une bonne décision.

A l'occasion de cet *appel à projet*, les Lutins thermiques sont heureux de constater que les bénéficiaires de ce *fond chaleur renouvelable* peuvent être les maîtres d'ouvrage en charge des copropriétés pour la région du nord de la France. Ils espèrent évidemment que la méthode va s'étendre aux autres régions de France.

Ils regrettent que le solaire thermique, la biomasse, le biogaz, la géothermie profonde ainsi que l'aquathermie superficielle soient allègrement mélangés dans ce recueil d'appel à projet ce qui rend la lecture moins compréhensible. Pour faciliter sa compréhension pour la partie chauffage thermodynamique par PAC eau eau, un Lutin thermique a extrait du document de base tout ce qui n'est pas dédié au chauffage thermodynamique.

Ils n'ont rien à redire au fait que l'aide accordée au titre du *fond chaleur renouvelable* ne soit cumulable, ni avec le crédit d'impôt, ni avec les certificats d'économies d'énergie. Tout dépend du montant de l'aide ont-ils dits. Ils peuvent aussi comprendre que pour sécuriser l'équilibre économique du projet, il soit impératif de n'entreprendre aucuns travaux avant réception de l'aide. Ils sont évidemment conscients qu'un Maître d'œuvre doit respecter ses engagements et a obligation de résultat, c'est à dire produire effectivement les ENR promises dans le contrat, mais ils sont déçus que, dans un premier temps, le montant de l'aide soit réduit si la production d'énergie renouvelable annoncée au maître d'ouvrage n'est pas respectée, voire même supprimé si aucune ENR n'est produite. Leur déception est justifiée par le fait qu'en se comportant comme un inspecteur des travaux fini et en ne communiquant aucune étude comparative entre les solutions, à savoir par exemple entre la PAC sur nappe et le coûteux champ de sondes*, en refusant le dialogue et en "oubliant" le prélèvement directe de l'eau dans le fleuve au bénéfice

Complément

du forage, l'Ademe a peu de chances selon eux de voir augmenter significativement la proportion des énergies renouvelables dans le cadre du chauffage urbain dans l'ancien. Ils ont pris bonne note que à défaut de la réalisation par un bureau d'étude indépendant d'une étude énergétique préalable de l'immeuble à chauffer, la production d'une analyse détaillée du projet par ce qui pourrait être une association de maître d'ouvrage indépendante et baptisé « AMO » par l'Ademe sans plus de précision serait suffisante. Ils demandent que soit précisé la nature juridique de l'AMO. Par contre, ils comprennent mal le texte rédigé par la région *Nord Pas de Calais* qui associe le calcul de l'aide au prix de vente de la chaleur renouvelable... " *qui serait vendue à un prix inférieur de 5 % à celui de la chaleur produite à partir des énergies conventionnelles*"... Le texte n'a selon eux aucun sens puisque la chaleur renouvelable étant produite par la pompe à chaleur achetée par la copropriété au titre de sa nouvelle chaufferie, comment dans ces conditions un organisme comme l'Ademe pourrait-il envisager de répercuter les économies financières réalisées grâce son aide sur le prix de la chaleur vendue aux usagers....tout cela n'a aucun sens. Contenu de ce qui précède on peut se demander si le *fond chaleur renouvelable* de ne pas passer aux oubliettes comme l'a été le « mal compris et mal appliqué » certificat d'économie d'énergie (CEE)

* L'appel à projet semble considérer toutefois que la solution avec champs de sonde a peu de chance d'être retenue pour les surfaces habitables supérieures à 5000 m², la PAC sur aquifère devenant préférable entre 2000 et 25 000 m² habitable

Complément

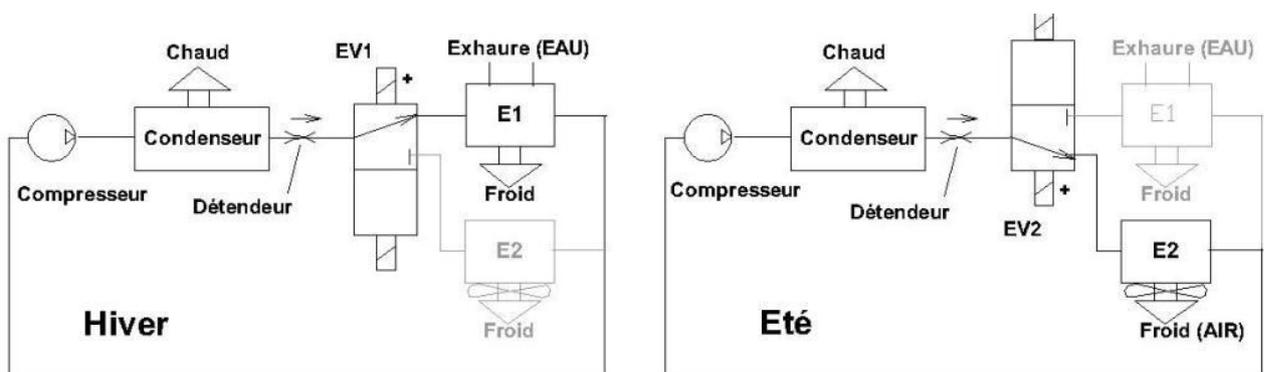
*L'avenir m'intéresse**

La production des ENR avec l'air, le sol ou l'eau ?



Comment l'hydraulique industrielle assiste le génie climatique

Il devient urgent de réduire les émissions de gaz à effet de serre, de réduire le prix du kWh thermique et d'intégrer les énergies renouvelables dans notre mode de vie. Pour produire des ENR thermique dans de bonne condition la question essentielle qui se pose est de savoir s'il est préférable de prélever l'énergie thermique environnante dans l'air, dans le sol, ou dans l'eau ou même pourquoi pas dans deux de ces éléments au sein d'une même chaufferie. La figure ci-dessous visualise une solution technique de ce type qui mériterait d'être expérimentée avec sérieux pour le chauffage urbain dans l'ancien en remplacement de la combustion des produits fossiles. Le chauffage thermodynamique ayant pour vocation de prélever son énergie dans l'environnement n'est-t-il pas logique que la pompe à chaleur fasse ce prélèvement en s'adaptant à la température ambiante extérieure. Il n'est pas question ici de produire du froid lorsqu'il fait chaud mais *d'aller à l'essentiel* en produisant uniquement du chaud lorsqu'il fait froid. L'air, l'eau, ainsi que les variateurs de vitesse électriques associés à l'hydraulique industrielle y joueraient un rôle de premier plan avec les échangeurs de température à contrecourant étanches. L'association de la thermodynamique moderne et de l'hydraulique industrielle devrait en effet permettre prochainement à la pompe à chaleur à compresseur de n'être plus dépendante que de l'électricité assurant ainsi à la France son indépendance énergétique en ce qui concerne le chauffage urbain sans qu'il soit besoin de recourir au gaz de schiste.



Complément

Figure 1 * C'est là où j'ai l'intention de passer mes prochaines années (Woody Allen)

La combinaison de deux évaporateurs distincts tirant leur énergie dans l'air pendant l'été lorsque la rivière est à l'étiage, et dans l'eau de la rivière en période hivernale lorsque l'eau est abondante améliore les performances de la pompe à chaleur et facilite l'entretien de l'exhaure pendant l'été dans le cas du pompage de l'eau dans une nappe libre en liaison avec la rivière. Il est ainsi possible de combiner les avantages d'une PAC à compresseur *air eau* avec ceux d'une PAC à compresseur *eau eau* en adjoignant sur le circuit du fluide caloporteur une électrovalve 3 voies. La production d'énergie thermique renouvelable assurant le chauffage urbain dans l'ancien serait ainsi assurée au rythme des saisons :

1. Par l'évaporateur aquathermique E1 en hiver lorsque la nappe phréatique est au plus haut sans que le rendement ne soit affecté par le dégivrage inconvenient majeur de la PAC aérothermique (EV1 sous tension).
2. Par l'évaporateur aérothermique E2 en été lorsque la rivière est à l'étiage avec un risque de manque d'eau. (EV2 sous tension).

La PAC à compresseur arriverait ainsi à maturité avec l'assurance de la performance quel que soit la saison, une maintenance plus facile améliorant la pérennité du chauffage et un retour économique encore amélioré voisin de 3 ans

La comparaison de la température minimum de l'air en hiver des deux figures ci-dessous avec celle de l'eau d'un fleuve important comme celui de la Seine à Paris permet de comprendre l'intérêt d'une telle solution.

La température de l'air

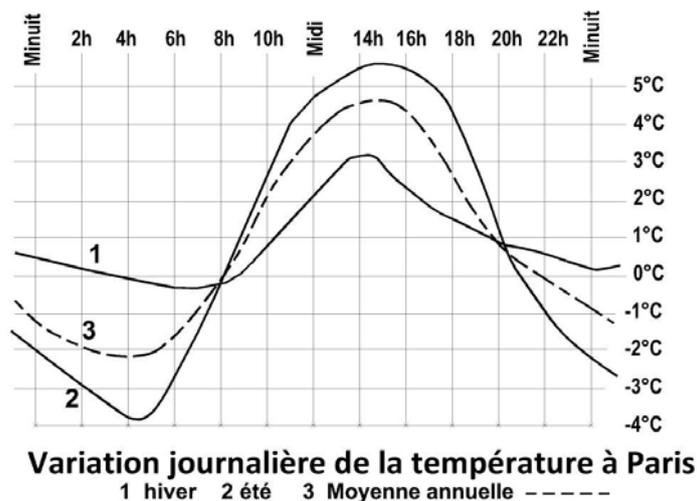


Figure 2 Plus importante en été qu'en hiver selon le traité de géographie physique de E. Martonne la température de l'air entre le jour et la nuit varie en moyenne de environ 6°C

Complément

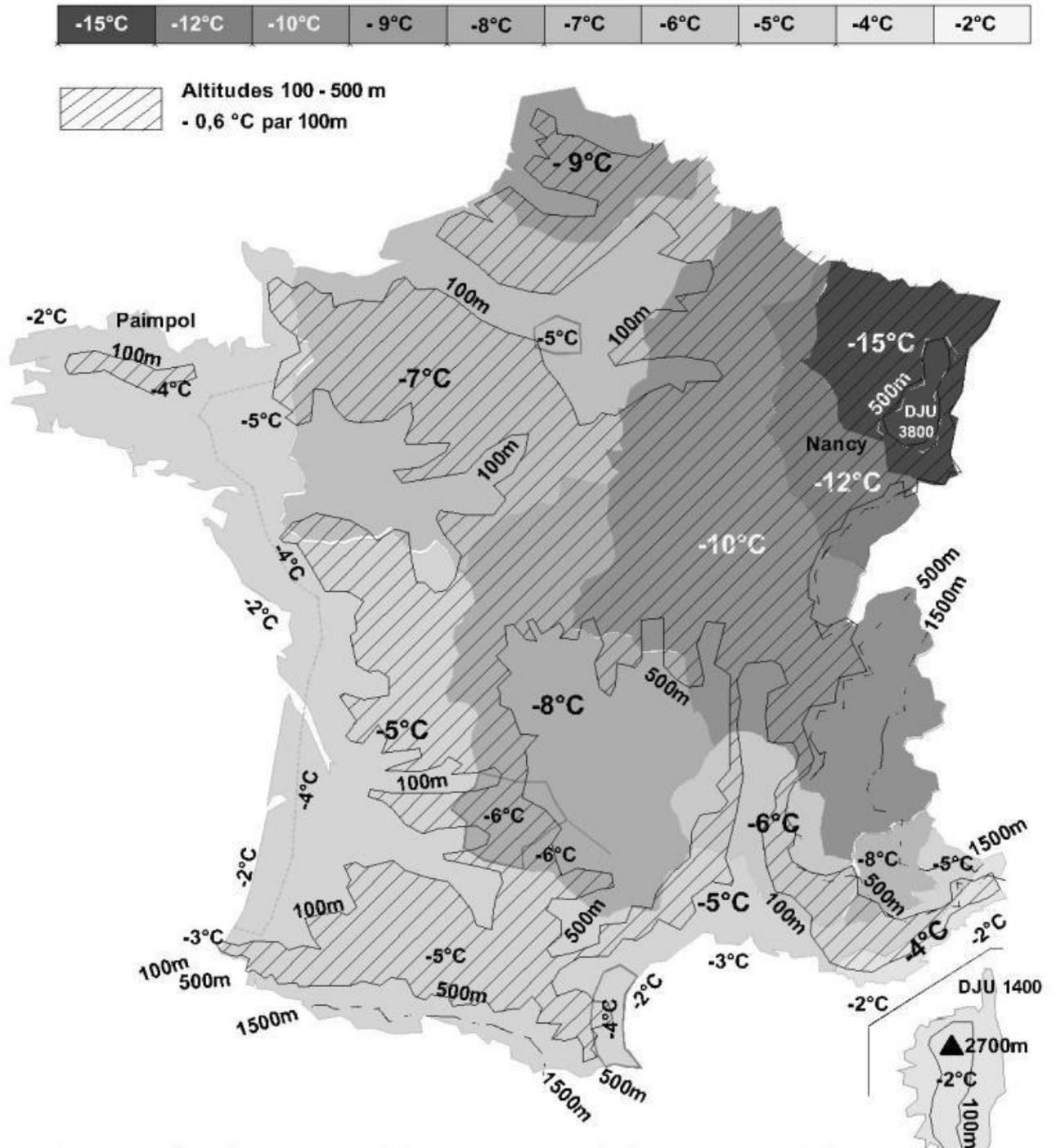


Figure 3 *Température minimum en hiver selon la région.*

Il faut prévoir une correction en fonction de l'altitude de l'ordre de 0,6° C par 100 mètres de dénivellation.

Complément

La température de l'eau

Les égouts de Paris

Pour assurer l'évacuation des eaux usées, les égouts de Paris comprennent des collecteurs de grande taille appelés émissaires, des égouts élémentaires, et des ouvrages annexes.

Cet ensemble représente environ 2400 km de galeries. En complément de ces dispositifs, toutes les rues de la capitale ont été doublées d'une galerie en sous-sol sous le préfet Haussmann et l'ingénieur Eugène Bertrand, faisant du réseau d'assainissement de Paris l'un des plus modernes du Monde. En complément, des ouvrages avec installation de pompage permettent d'évacuer les eaux de pluie directement dans la Seine en cas d'orage et ceci même en cas de crues.

La Seine à Paris

Profondeur : de 3,40 m au pont Nationale à 5,70 m au pont Mirabeau.

Point le plus large : 200 m, près du pont de Grenelle

Point le plus étroit : 30 m, quai de Montebello

Niveau : 26,39 m, étiage historique le plus bas.

L'échelle de référence se situe sur le mur du quai de l'île Saint-Louis,

en amont du quai de la Tournelle.

Débits : Moyen 273 m³/s (1948-1994),

Hautes eaux d'hiver (février) 550 m³/s,

étiage (août) 100 m³/s.

Vitesse en surface: environ 2 km/h.

Température : variant entre 5,3° et 24,6°. (Moyenne : 14,1°)

Exhaure en nappe libre

Contrairement à l'air, la température de l'eau des aquifères peu profonds non captifs reste sensiblement constante et voisine de 10°C au cours des saisons (voir le livre « La rivière et l'énergie » page 50)

La plage de température de l'eau en cas de forage dans la nappe phréatique est moins importante (environ 11 °C +/- un degré)



Deux réalisations à rapprocher l'une de l'autre

Il est particulièrement instructif de prendre connaissance des deux réalisations de chauffage thermodynamique décrites ci-après utilisant pour chacune d'elle des PAC à compresseur d'une puissance comparable et proche de 400 kW pour chacune de ces réalisations.

- La première assurée par DAIKIN avec des évaporateurs assurant le prélèvement d'ENR dans l'air en relève de chaudières à Paimpol en Bretagne, région relativement clémente.
- La deuxième assurée par Mitsubishi avec des évaporateurs assurant le prélèvement d'ENR dans l'eau d'une nappe libre avec une pompe à chaleur en substitution de chaudières à Nancy en région froide défavorisée.

En se rapprochant l'une de l'autre et en conjuguant leur expérience ces deux sociétés auraient la possibilité de faire faire un bond en avant au chauffage thermodynamique. Sauront-elles le faire ?



Prélèvement d'ENR dans l'air en région clémente.

Les températures minimum à Paimpol, assez clémentes en raison de la présence de la mer jouant le rôle de régulateur thermique sont assez proches de celles de Paris intramuros. Une seule PAC aérothermique DAIKIN d'une puissance unitaire de 400 kW est suffisante pour assurer le besoin.



Prélèvement d'ENR dans l'eau en région froide.

Les températures minimum en hiver dans l'est de la France à Nancy sont très basses (environ -13°C). On ne peut qu'admirer la confiance du Maître d'œuvre et du constructeur Mitsubishi qui a prévu cette installation en substitution de chaudière. On peut aussi se demander comment il a été possible de concilier la pérennité du chauffage avec l'entretien du puits de l'exhaure



Evolution des PAC grande puissance vers la haute température

La courbe de chauffe de la **figure 5** ci-après montre qu'une température de 65°C au primaire de l'échangeur à plaque constituant le condenseur 122 eau (voir schéma figure 10) devrait être suffisante. Une température de 65 °C pouvant être obtenue avec un fluide caloporteur tel que le R134a couramment utilisé dans la climatisation automobile ce fluide pourrait probablement être utilisé pour l'immeuble considéré. Pour les immeubles de construction plus récente ayant des radiateurs dimensionnés pour la haute température, l'utilisation du R 744 (en pratique du CO₂) autorise également l'utilisation du chauffage thermodynamique en substitution de chaudière. Il est certainement plus intelligent d'utiliser le CO₂ en circuit fermé que de le dissiper en grosse quantité dans l'atmosphère avec la combustion.



Fournir le besoin thermique, pas plus

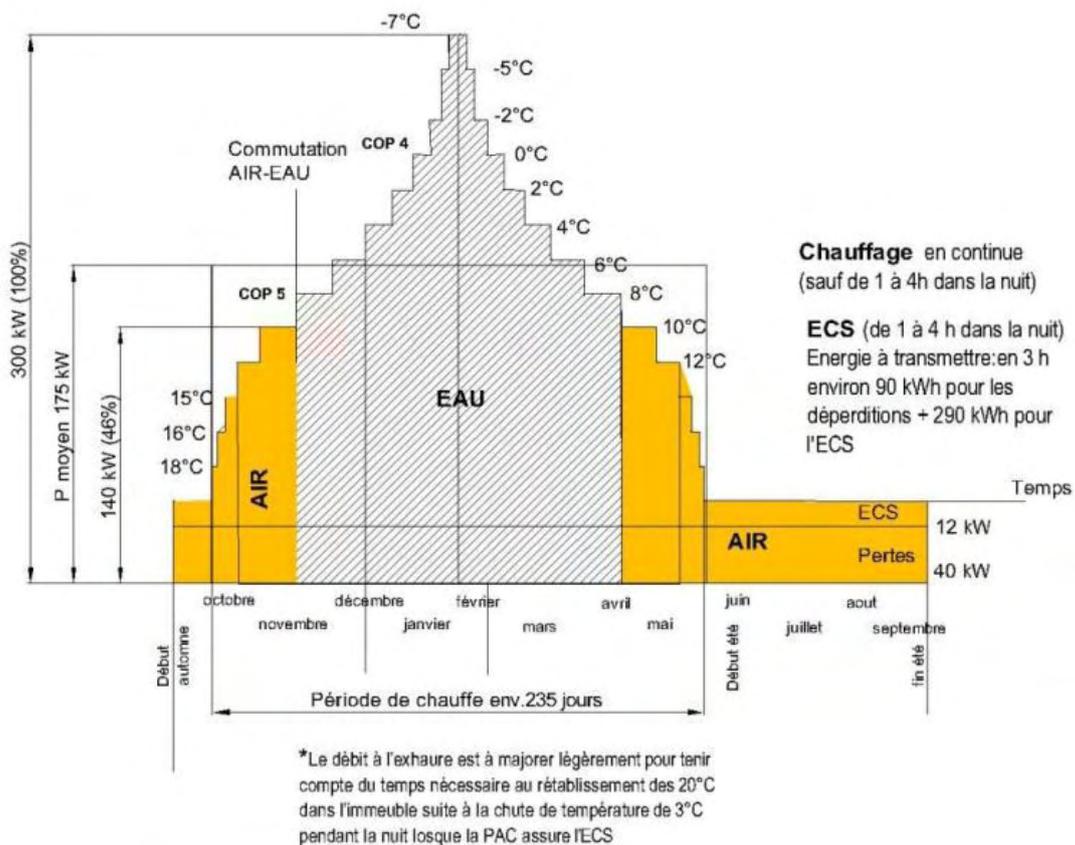


Figure 4 Répartition des tâches entre l'air et l'eau

Courbe monotone tracée pour un immeuble de 68 appartements en région parisienne (Surface SHON environ 5000 m²) DJU = 2400°C et immeuble bénéficiant d'une isolation sommaire G = 0,9 watt/m³ (environ 200 kWh/m²) Pour compréhension, le lecteur peut se reporter à l'étude thermique préliminaire

Les températures requises au condenseur

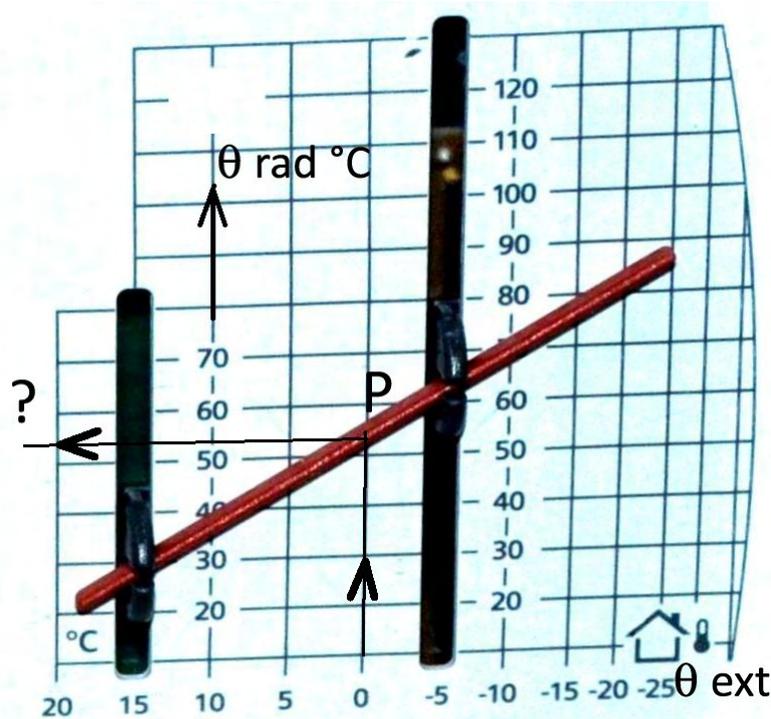


Figure 5 La droite de chauffe affichée en chaufferie permet de savoir quelle doit être la température de départ vers les radiateurs pour assurer le confort dans les pièces de vie selon la température extérieure. Cette droite, définie par le chauffagiste a été tracée ci-dessus pour assurer 20°C dans ces pièces. La plupart des radiateurs à eau des immeubles d'avant 1975 sont largement dimensionnés et sont proches du dimensionnement basse température, à savoir une température θ_{rad} de départ vers les radiateurs proche de 55°C pour une température extérieure θ_{ext} de 0 °C (Point P ci-dessus). La question qui se pose lors de l'élaboration du bilan énergétique simplifié (BES) est de savoir qu'elle est la puissance utile ? devant être développée par la chaufferie. Cette puissance est proportionnelle à l'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur. Nulle pour 20°C extérieure elle est donc égale à deux fois la puissance utile à 0°C lorsqu'il fait -20°C.

La régulation de la pompe à chaleur

La PAC doit d'adapter au besoin thermique qui change selon la saison comme indiqué sur les figures 6 et 7 ci-dessous. Les variateurs de vitesse (appelés aussi *inverter* jouent un rôle important en adaptant la vitesse d'entraînement du compresseur au besoin. Le lecteur intéressé par les régulations modernes à base de PID permettant à la pompe à chaleur de ne fournir que le besoin (Voir page)

Complément

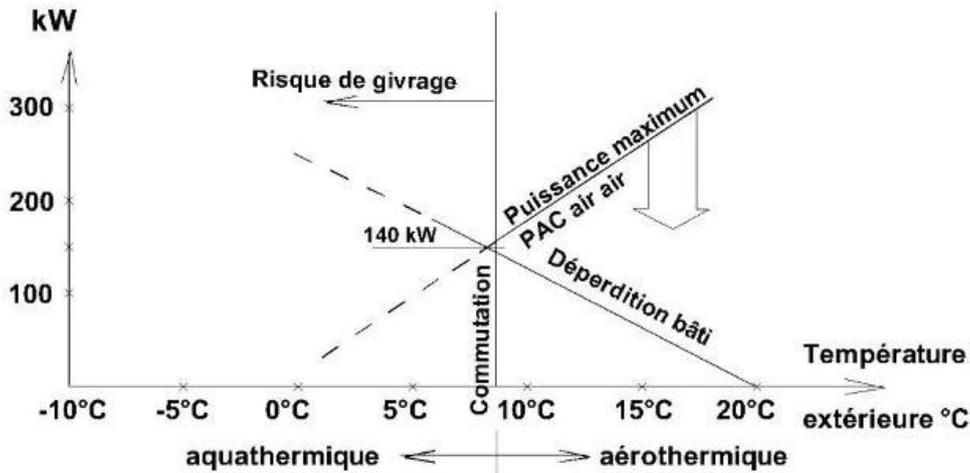


Figure 6 Courbes en mode aérothermique

La puissance délivrée par une pompe à chaleur puisant ses calories dans l'air ambiant décroît alors même que les besoins en puissance pour le chauffage augmentent avec l'abaissement de cette température. Cette caractéristique des PAC à compresseur oblige de concevoir une régulation qui limite la puissance délivrée par la PAC en mi-saison pour éviter le risque de surchauffe et un régime inadapté.

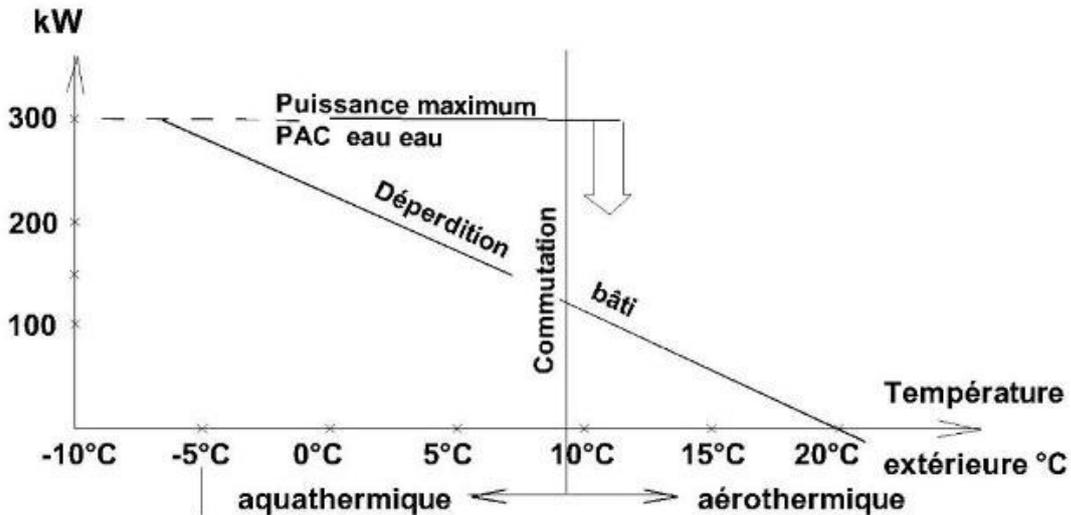


Figure 7 Courbes en mode aquathermique

La puissance délivrée par une pompe à chaleur puisant ses calories dans la nappe phréatique à une température de $12^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ est constante lorsque la température ambiante change. Le COP est amélioré en raison de l'absence de dégivrage autorisant une relève par le gaz à une température plus basse (-5°C voire moins)

Au cœur de la pompe à chaleur

Pour comprendre comment il est possible de moduler la puissance de la pompe à chaleur en fonction du besoin le lecteur peut se reporter à la page relative à la fonction de transfert du système pompe à chaleur immeuble ainsi qu'au principe de fonctionnement d'une pompe à chaleur et à la définition du correcteur PID page .

Le lecteur peut aussi se reporter à la page traitant de l'enthalpie de l'eau qui compare l'énergie nécessaire pour porter à l'ébullition un litre d'eau par rapport à l'énergie cinq fois plus élevée qu'il faut fournir pour évaporer ce même litre d'eau à la température constante de 100°C ce qui met en évidence l'importance de la chaleur latente des corps. Les caractéristiques d'un fluide caloporteur tel que le R134 (Tétrafluoroéthane) maintenant utilisé pour les pompes à chaleur de ce type a naturellement des caractéristiques différentes de celle de l'eau mais se comporte d'une façon comparable. Ce fluide caloporteur fait partie de la classe des hydrofluorocarbures (HFC), il n'a pas d'impact sur la couche d'ozone (ODP=0). Le débit Q_f du fluide caloporteur (exprimé en kg/s) ainsi que la chaleur latente de vaporisation de ce fluide au point d'ébullition C_f (exprimé) en kJ/kg est essentiel pour connaître la puissance récupérée à la source froide par la pompe à chaleur:

$$P = C_f \times Q_f \text{ (en kW) } 1)$$

Les caractéristiques du fluide caloporteur **R134a** sont les suivantes

Masse volumique en phase liquide	1200 kg par m ³
Capacité spécifique de la vapeur	0,84 kJ/kg et °K
Chaleur latente de vaporisation au point d'ébullition	216 kJ/kg*
Point d'ébullition	- 26,6°C
Température critique	101°C
Pression critique	40,6 bar
Tableau température pression	- 50°C 1,10 bar (ébullition)
	+60 °C 38,33 bar

Pour comprendre comment associer les courbes caractéristiques d'un fluide caloporteur à la quantité d'ENR produite, prendre connaissance du coefficient de performance d'une pompe à chaleur(COP) page

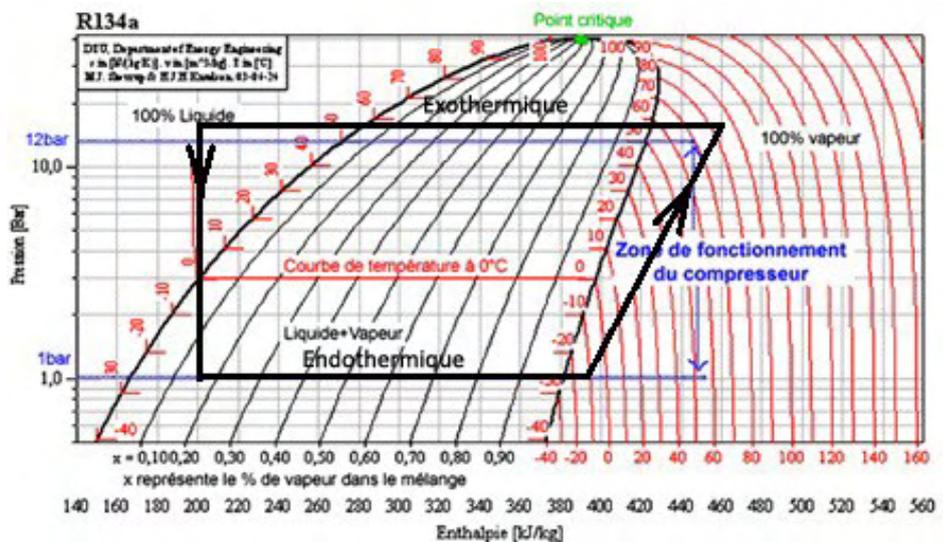


Diagramme de Mollier du fluide caloporteur R134a.

Complément

Calculs

En mode hiver

Le principe de conservation de l'énergie permet d'écrire qu'avec une PAC délivrant une énergie de 240kWh en une heure au condenseur, l'énergie dissipée au condenseur en une heure est égale en kWh à :

$$W_c = W_m + W_f = 240 \text{ kWh} \quad 2)$$

Si la PAC en mode aquathermique a un COP de 4 on a d'autre part:

$$W_c/W_m = 4 \quad 3)$$

A partir des deux équations 2) et 3) ci-dessus on trouve : $W_c = 4W_m = 240 \text{ kWh}$ soit $W_m = 60 \text{ kWh}$ et $W_f = 240 - 60 = 180 \text{ kWh}$ sur l'évaporateur E1 en mode hiver

La Chaleur latente de vaporisation au point d'ébullition permet de dire que lorsqu'un kg de fluide caloporteur **R134a** circule dans le détendeur, une énergie W_f de 216kJ (0,06 kWh) est disponible à l'évaporateur de la PAC. Pour disposer d'une puissance de 180 kW à la source froide, la masse de fluide R134a traversant le détendeur en une heure devra être égal d'après la relation 1) à

$Q_f = P / C_f = 180/0,06 = 3000 \text{ kg}$ soit un débit massique de 0,833kg/s. Pour un temps du cycle détente-compression de 30 secondes, (Temps de cycle à confirmer par le constructeur de la PAC) on peut en déduire la masse de fluide caloporteur R410a à l'état liquide circulant dans le cœur de la PAC ; $0,833 \times 30 = 25 \text{ kg}$ soit 20,8 litres compte tenu de la masse volumique du **R134a** à l'état liquide de 1,2. On retrouve bien sensiblement le chiffre de 0,1 litre/kW généralement évoqué dans la littérature technique

En mode été

Avec une PAC délivrant une puissance de 140 kW au condenseur, l'énergie dissipée au condenseur en une heure est égale en kWh à :

$W_c = W_m + W_f = 120$ 4) Si la PAC en mode aérothermique a un COP de 2,5 on a d'autre part: $W_c/W_m = 2,5$ 5)

A partir des deux équations 4) et 5) ci-dessus on peut calculer la puissance qui doit être récupérée à la source froide par l'évaporateur en mode PAC aérothermique (voisin de 80 kW)

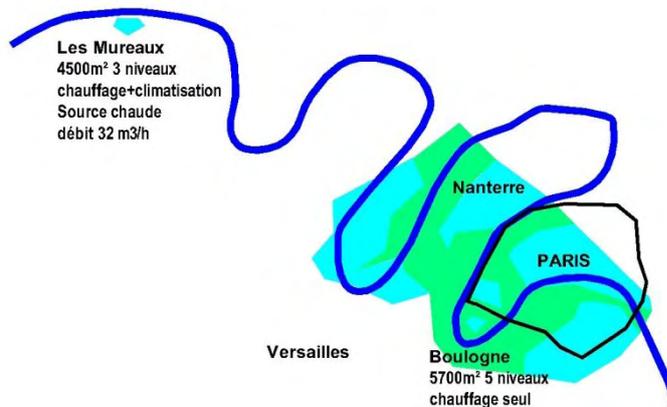
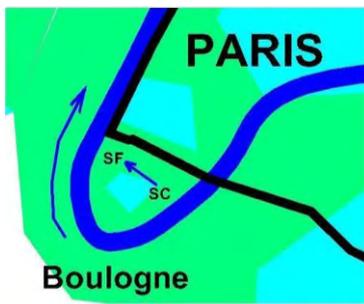
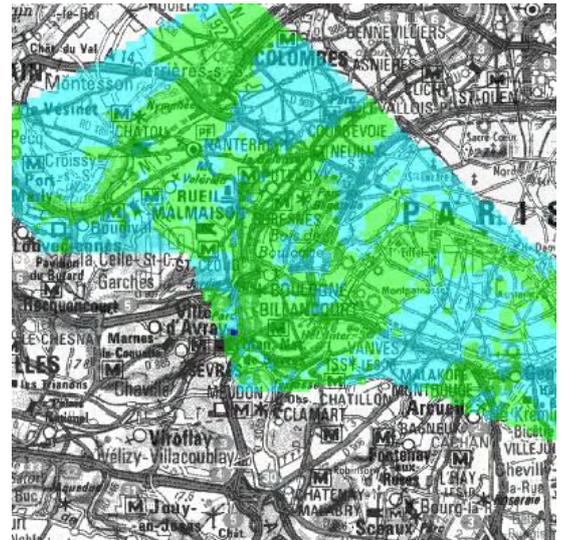
Un nouveau temps de cycle devra être défini par le constructeur de la pompe à chaleur de telle sorte qu'il soit adapté au mode aérothermique avec un débit du fluide caloporteur **R314a** traversant le détendeur en une heure plus faible

Conditions locales

La proximité d'une rivière ou d'un lac est favorable à l'implantation d'une PAC aquathermique.

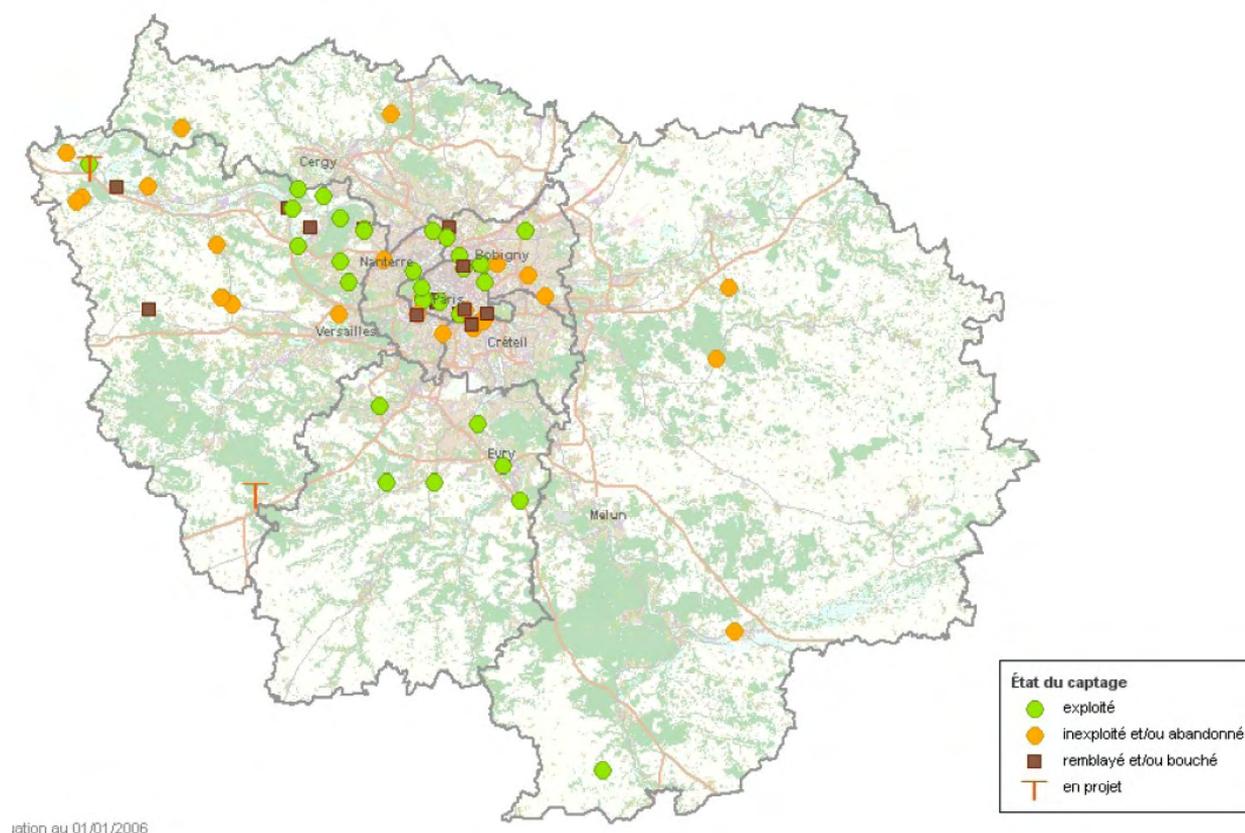
Exemple Celui du sous-sol à Boulogne Billancourt

Le site de *géothermie perspectives* confirme la nature crayeuse* du sous sol bouloonnais avec un potentiel géothermique favorable de moyen à fort sur une échelle allant de très faible à très forte. Il ne précise pas toutefois l'épaisseur de la nappe libre, les débits spécifiques potentiels ainsi que la température moyenne de la nappe. La carte ci-contre montre que le potentiel de la craie à Boulogne est de moyenne (couleur verte) à forte (couleur bleu)



Les nappes profondes de l'Albien et du Néocomien en Ile de France sont une source d'approvisionnement en eau potable pour la région IDF. Les puits d'exploitation sont indiqués sur la carte ci-contre (selon la DIRE (MAJ 20 nov 2006)

Complément



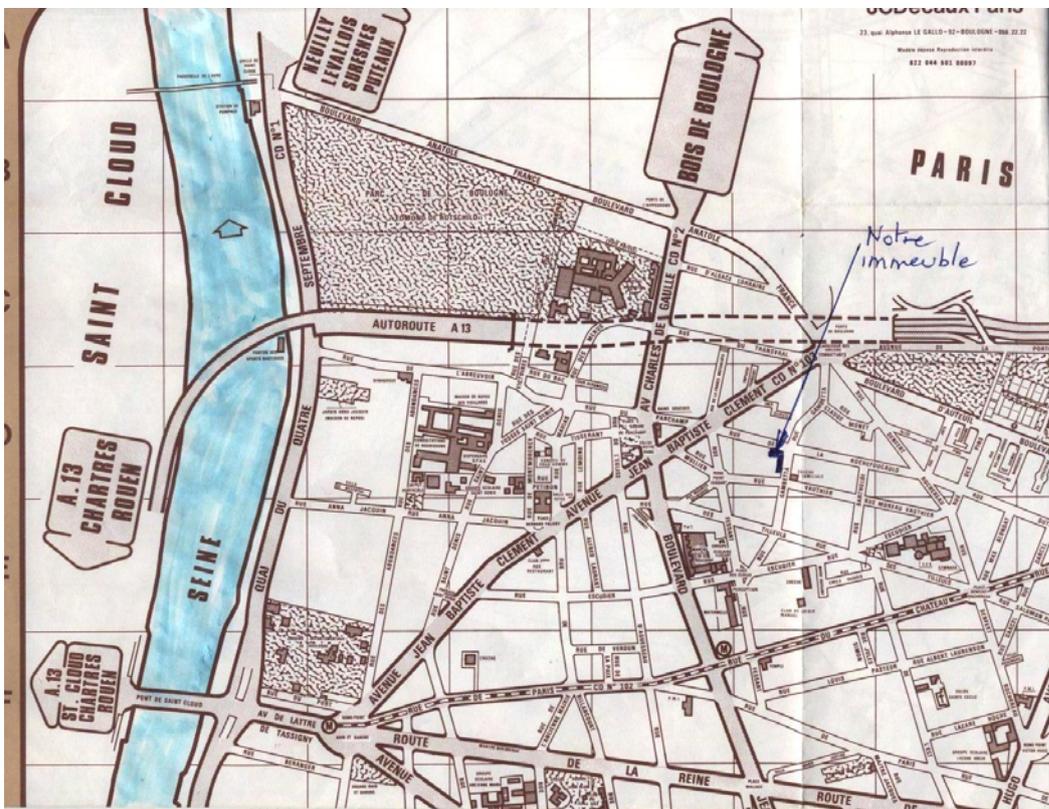
Concernant les nappes libres peu profondes, la visite sur le chantier Bouygues situé à environ 400 m de notre terrain et concernant l'installation d'un parking sous terrain de 2400 m² sur plusieurs niveaux au lieu dit "*Square de Parchamps*" conforte les cartes de géothermie perspectives.

* La craie est une roche sédimentaire généralement blanche, tendre et perméable, à grains fins de densité 1,25 qui occupe une grande partie des couches superficielles du bassin parisien. Elle est constituée presque exclusivement de carbonates de calcium sous forme de coccolite (squelettes de foraminifères et autres êtres vivants microscopiques ayant vécu au crétacé). Le blanc de Meudon, le blanc de Troyes, le blanc d'Espagne sont des variétés de craie.

Complément



*Plan de masse du terrain et de l'immeuble
Ce dernier est à environ 1 km de la seine à l'intérieur d'une boucle*



Plan de situation

Complément

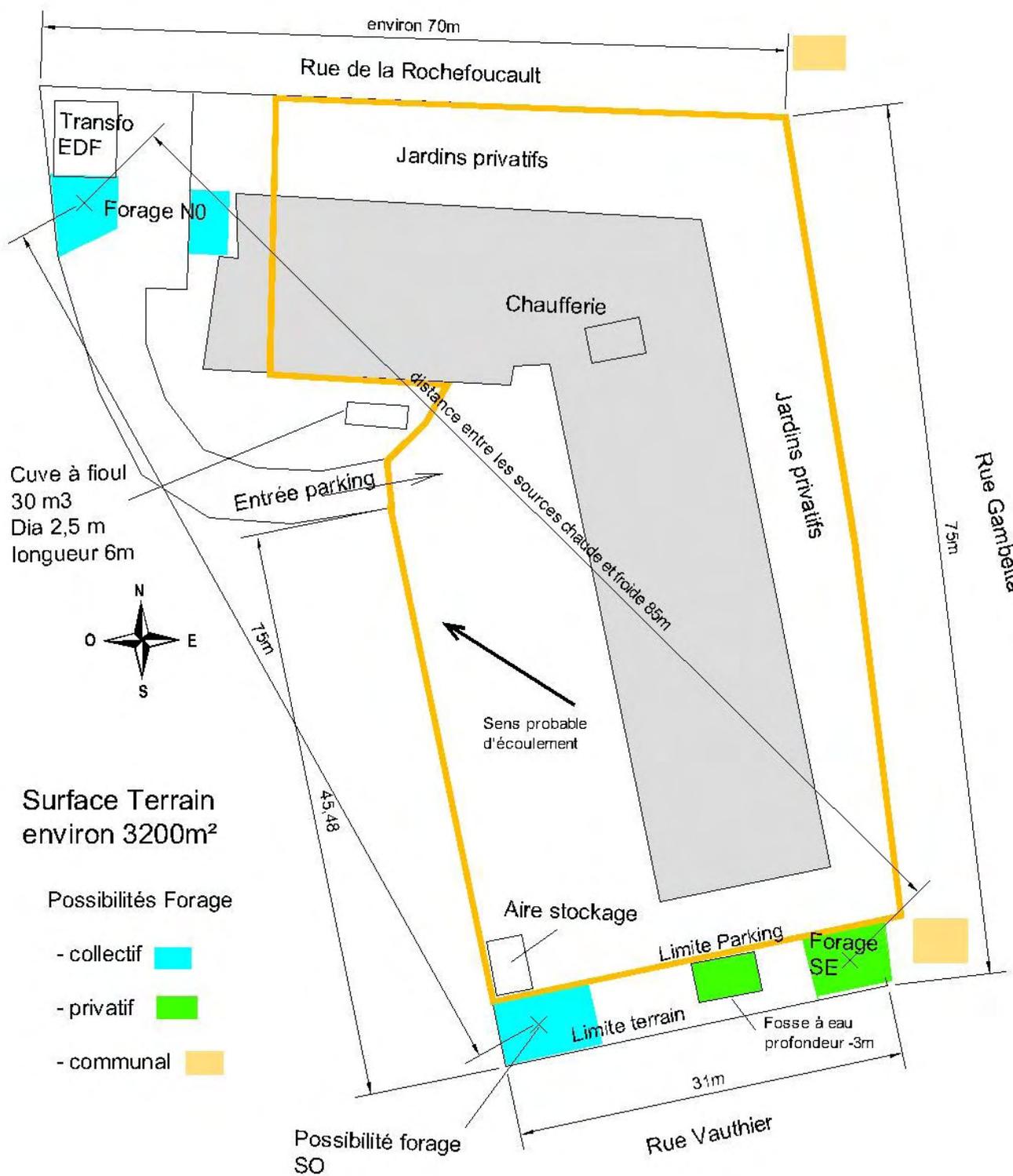


Figure 14

Le puits appelé aussi exhaure peut éventuellement être prévu directement en chaufferie

Complément

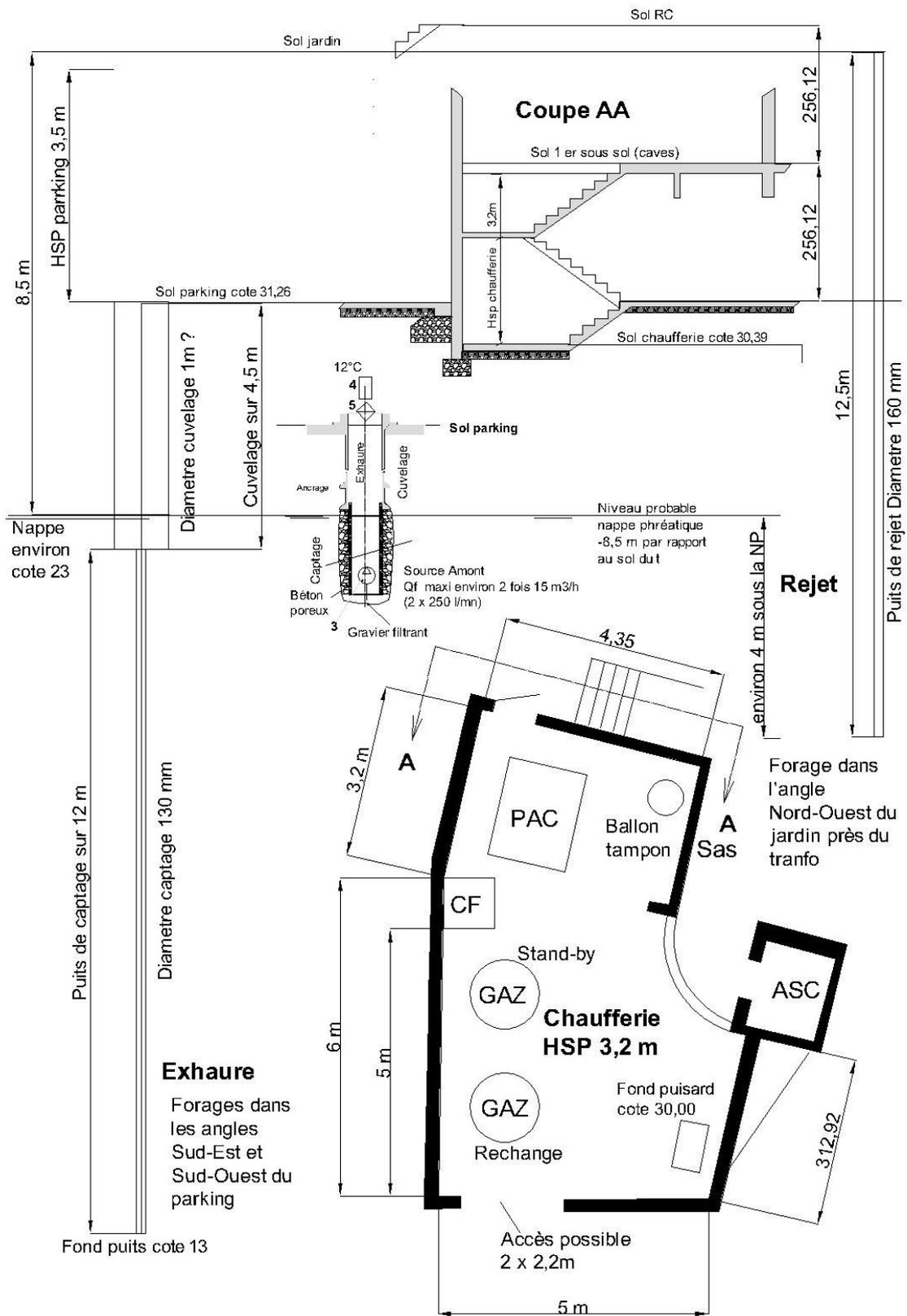


Figure 15

Projet d'implantation nouvelle chaufferie avec rechange du stand by!

Complément

Forage

Quelques questions ont été posées en février 2009 aux opérateurs d'une foreuse en action à l'angle des bd Jean-Baptiste Clément et Anatole France place des anciens combattants à 200 m de notre immeuble

Leurs réponses à nos questions n'engagent qu'eux seul.

Questions	Réponses
A quelle profondeur est l'eau?	Environ 10 mètres
Existe-t-il des machines pour forer avec une hauteur de 3 mètres dans un garage pour mettre une PAC	oui c'est la longueur des tiges de forage qui conditionnent la hauteur de la machine il en existent de 1,5 mètres.
Quel est temps de forage à 10 mètres	la matinée
Donc dans la journée les deux forages sont faits	3 jours tout compris

Commentaires du foreur:

Votre demande est dans l'air du temps. Il est possible de forer dans le garage. La nappe phréatique est à moins de 9 mètres en hiver. Nous connaissons le diamètre de forage en fonction du débit nécessaire*. De plus nous avons maintenant une notion du coût pour les puits gainés: 2 hommes pendant 3 jours soit :

$8 \times 3 \times (100 \times 2+1) = 7200$ euros (2 hommes + la machine sur chenille de caoutchouc). Sur ce prix il faut rajouter les tuyaux et la pompe immergée dit de forage et le point de levage 3000N



Petite foreuse à chenille caoutchouc

* voir le livre "La géothermie" de J. Lemale édition Dunod page 207 fig 8.3
Diamètre extérieur tubage 120 mm pour 20 m³/h (voir le livre page 137)

Complément

Carte des ressources faible profondeur à Boulogne

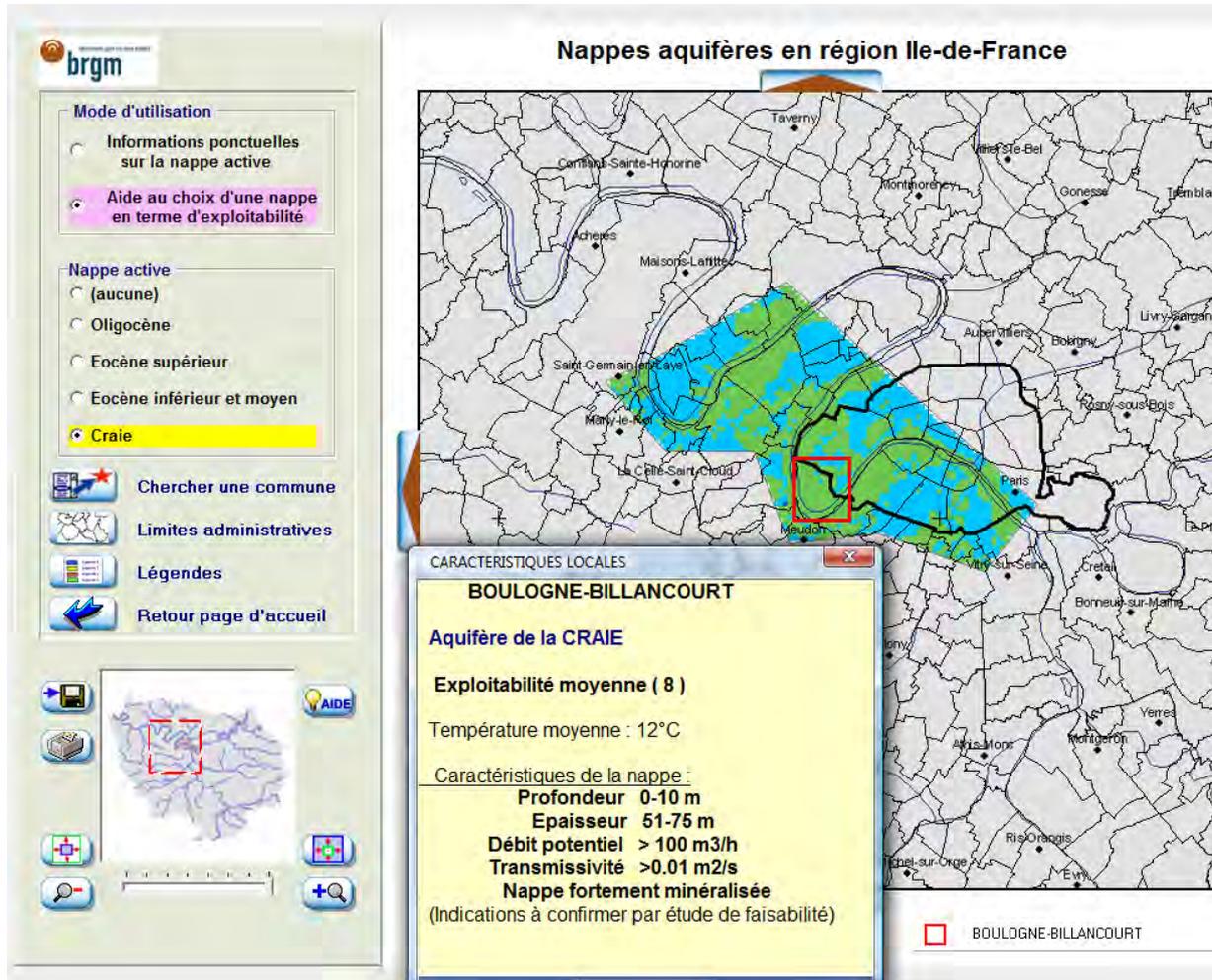


Figure 16 Les informations sont corroborés par les ingénieurs du BRGM région IDF

Caractéristiques souhaitées pour la PAC sur nappe libre

Température source froide Tf	10°C	COP	COP pratique	Puissance thermique
Température au condenseur Tc	30 °C	théorique	souhaité 70%	disponible kW
30 °C	15,2	10,6	424 pour mémoire	
40 °C	10,4	7,3	292 pour mémoire	
50 °C	8,1	5,7	226	
60 °C	6,7	4,7	186	
70 °C	5,7	4	160	

COP théorique $COP = T_c / (T_c - T_f)$ en K

Complément

Puissance moyenne absorbée par le variateur électronique 15 kW
Puissance nominale du variateur électronique 30 kW
(Possibilité de prévoir deux compresseurs identiques de 30 kW)

Evolution des fluides caloporteurs

La recherche d'un fluide caloporteur « idéal » est au cœur de la recherche qui conditionne l'évolution du chauffage thermodynamique. Le dioxyde de carbone (CO₂) le fluide par lequel le mal arrive rentre curieusement en liste. Un calcul comparable à celui effectué ci-dessus pourrait être effectué avec celui-ci avec le R744 (En pratique du gaz carbonique) dont la chaleur latente de vaporisation au point d'ébullition est plus importante (570 kJ/kg pour le). Ce fluide commence en effet à être utilisé comme fluide caloporteur pour les PAC de forte puissance (jusqu'à 4000 kW) et plus haute à haute température (jusqu'à 90°C) solutionnant le problème du chauffage des bâtiments existants mal isolés et équipé de radiateur hte température. Le HFO 1234yf, breveté par Honeywell pourrait se présenter comme une alternative au R134a. Peut-être pour progresser encore en ce qui concerne les émissions de GES (Gaz à effet de serre) Il ne faut pas perdre de vue que le fluide caloporteur d'une pompe à chaleur fonctionne en circuit fermé toute fuite vers l'extérieur étant formellement prohibée.

Débit d'air nécessaire à l'évaporateur E2 pour transmettre une puissance thermique de 140 kW au condenseur

Quel doit être le débit d'air circulant dans les radiateurs à ailettes des évaporateurs de la PAC mixte *air eau* avec un COP de 2,5 ? En supposant que l'air rentre à 8°C dans les radiateurs de l'évaporateur et ressorte à 0°C pour éviter tout risque de givrage, quel doit être le débit d'air pour que l'évaporateur de la PAC aérothermique récupère 84 kW dans l'environnement?

En une heure c'est une énergie de 84 kWh ou 320 700 kJ qu'il faut récupérer, soit, compte tenue de la chaleur spécifique de l'air voisin de 1 kJ/kg et °C et à partir de la formule ci-dessous :

$$W = m c \Delta\theta \text{ avec :}$$

W Energie transmise en kJ

m masse du produit en kg

c chaleur spécifique du produit en joule/kg et °C

Δθ élévation ou diminution de la température du produit en °C

Une masse d'air utile

$m = W/c_e (\theta_1 - \theta_2) = 320\,700 / 8$ soit 40 000 kg
et un débit d'air voisin de 31 000 m³/h compte tenu de la densité de l'air voisine de 1,3 kg/m³ à la pression atmosphérique. Selon la teneur en eau de l'air environnant et la température de relève, il peut y avoir formation de givre sur les ailettes du radiateur constituant l'évaporateur si la température de sortie de l'évaporateur est inférieure à 0°C (dégivrage)

Complément

Niveau sonore

L'installation doit respecter l'arrêté du 20 août 1985 sur le niveau sonore. Cet arrêté stipule pour l'essentiel que le niveau sonore pendant le jour dans les appartements ne doit pas dépasser 35 dBA (30 dBA la nuit) et 45 dBA à l'extérieur de l'immeuble occupé. En cas de présomption de nuisance, le Maître d'ouvrage qui doit maîtriser les notions de puissance et de pression sonore, se réserve le droit d'imposer le respect de l'arrêté.



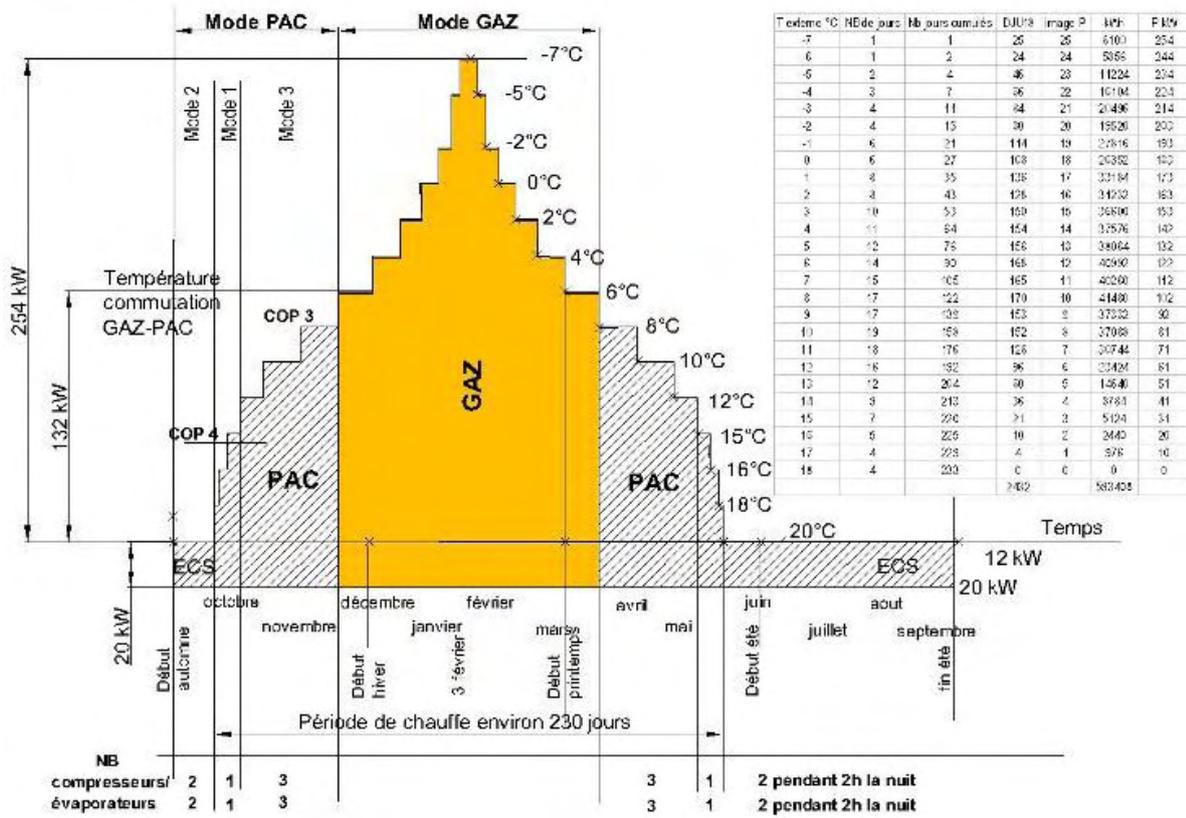
Figure 8 *Evaporateurs en toiture*

Environ 40 % de l'énergie nécessaire au chauffage serait prélevé dans l'environnement air diminuant les frais d'exploitation de la chaufferie

Niveau sonore évaporateur : 47 db à 10 m. Poids unitaire de chaque évaporateur à confirmer 400 kg total 1,6 tonne (à 200 kg/m² : 8 m²)

La surélévation du mur à l'est des évaporateurs fait écran phonique au bénéfice des terrasses privatives situées coté est

Complément



Chauffage en continue (sauf pendant production ECS)

ECS (de 2 à 4 h dans la nuit)

Energie à transmettre: en 2 h pour 4m³ d'eau chaude : environ 270 kWh (avec déperditions)
soit une puissance utile de 130 kW) Le régime 2/2 est suffisant.

La zone hachurée correspond à l'énergie ENR prélevée dans l'air

Le calcul du débit théorique à l'exhaure (solution avec étude de faisabilité)

Calcul du débit d'eau nécessaire à l'évaporateur E1 pour transmettre une puissance thermique de 300 kW au condenseur

Quel doit être le débit d'eau circulant dans l'échangeur à plaque E1 (voir **figure 1** ci-dessus) assurant le prélèvement de l'énergie dans l'eau de la rivière (ou dans la nappe phréatique selon la solution retenue) et ceci la PAC mixte eau eau ayant un COP de 4 en mode aquathermique ?

Le calcul du débit théorique maximum utile pour que la pompe à chaleur puisse fonctionner correctement est fonction :

- de la température du rejet,
- de la puissance maximum que la PAC doit fournir en hiver après isolation thermique de l'habitation (ou avant isolation selon la décision de la copropriété)

Complément

Le calcul ci-dessous a été réalisé pour un besoin en puissance thermique maximum de 300 kW (voir tableau **figure 6** ci-dessus)

Chaleur spécifique de l'eau 4,18 kJ/litre et °C

Température de l'eau pompée 11 °C,

Température de l'eau rejetée 4 °C

Différence de température 11 – 4 = 7 °C

Compte tenu de la chaleur spécifique de l'eau de 4,18 kJ/litre et

°C, l'énergie Q restituée à la PAC dans un volume d'eau de 1

litre diminuant sa température de

7 °C est $Q = 1 \times 4,18 \times 7 = 29,26$ kJ

Pour développer une puissance thermique de 300 kW l'échangeur à plaque E1 doit prélever dans l'environnement une puissance de 225 kW

(voir ci-dessus au cœur de la PAC) les 75 kW électrique d'entraînement des compresseurs étant récupérés sous forme thermique selon le principe de conservation de l'énergie.

Ou ce qui revient au même de 225 kJ/seconde dans ces conditions de

température, il faut donc disposer d'un débit de $225/29,26 =$ environ 7,7

l/seconde ou $(7,7 \times 3600)/1000 = 28$ m³/h* (460 l/mn ou 7,7 litres/seconde)

Notas

Energie = Puissance x temps:

1 kWh est l'énergie fournie par une puissance de 1kW pendant 1h ou 3600 s

1 kJ est l'énergie développée par une puissance de 1kW pendant

une seconde. On a donc 1 kWh = 3600 kJ

L'utilisation de la formule $P = Q (T_e - T_s) c$ avec P en kW ou kJ/s, $T_e - T_s$ étant la différence de température en °C et c la chaleur spécifique de l'eau

$Q = P / (T_e - T_s) c = 225 / (7 \times 4,18) = 7,7$ kg/s ou 7,7 l/s compte tenu de la densité de l'eau égale à 1

Le besoin réel

Les débits requis par les constructeurs de pompe à chaleur, du moins ceux recommandés par un constructeur de marque allemande sont proches des valeurs théoriques. Par exemple, un calcul effectué pour une PAC développant une puissance thermique en sortie condenseur de 161 kW à besoin d'un débit réel de 27,8 m³/h légèrement supérieur au débit théorique ci-dessus avec 10°C à la source froide et 35°C en sortie condenseur (COP de 5,1). La puissance thermique disponible

Complément

avec 55°C en sortie condenseur passe à environ 200 kW, mais le coefficient de performances (COP) chute à environ 3,1.

Débit d'eau dans le circuit d'eau de chauffage

Ce débit est fonction de la puissance totale transmise par les radiateurs ou les planchers chauffants hydrauliques. Pour des températures départ chaudière/retour radiateurs égales à 75/65 °C (Valeurs souvent constatées avant isolation du bâtiment) l'écart de température entre le départ chaudière et le retour radiateurs est de 10°C. La loi de conservation de l'énergie permet dans ce cas de définir quel est le rapport entre le débit d'eau chaude dans le circuit de chauffage et celui nécessaire à l'exhaure. Il suffit d'écrire que: $Q_{RAD} \times 10 \times c = 1,5 Q_{PAC} \times c \times 7$ pour des températures nappes libre/retour égales à 11/4 °C (Valeurs pratiques habituelles). Dans ce cas le débit pompé à l'exhaure doit avoir pour valeur:

$$Q_{PAC} = Q_{RAD} \times 10/7 = 1,4 Q_{RAD}$$

Ce rapport peut évidemment changer selon les différences de température constaté sur le circuit chauffage. Si l'écart de température est le même sur les deux circuits les deux débits sont également les mêmes.

Alimentation en eau lors du fonctionnement en PAC aquathermique

La pérennité et la qualité de l'eau pompée

L'étude du cycle de l'eau au-dessus de terres habitées montre que le volume d'eau douce stockée dans le sous-sol est environ 60 fois plus important que celui contenu dans les lacs et les rivières avec un flux de ruissellement souterrain comparable à celui des rivières. C'est donc plutôt la qualité de l'eau que sa quantité qui doit retenir l'attention, et ceci particulièrement dans le sous-sol des villes.

La plupart des grandes métropoles sont traversées par une rivière ou un fleuve. Trois solutions sont envisageables :



La première solution

En l'absence de réseau communal un puits doit être réalisé par la copropriété. Cette solution, qui suppose un engagement fort de la copropriété, est très rarement envisagée et exceptionnellement mise en œuvre en zone urbaine. Les raisons principale qui freine l'évolution de cette solution sont, l'absence de terrain, la gêne occasionnée par les travaux, une assurance "Aquapac" plus orientée vers un manque d'eau à l'exhaure que vers les conséquences éventuelles d'une modification de l'assise au niveau des bâtiments du fait du forage ainsi que l'entretien du puits constituant l'exhaure. D'autant qu'il n'est pas très

Complément

commode, lorsque les pompes sont immergées, de scinder le débit pompé à l'exhaure en plusieurs débits pour satisfaire les besoins de la régulation.



La deuxième (il faut une volonté politique)

Pourquoi la France qui a au moins en région parisienne des égouts modernes et largement dimensionnés depuis le Préfet Haussmann ne les utiliserait-elle pas pour y implanter un réseau d'alimentation en eau froide non potable provenant du fleuve qui traverse les grandes métropoles et par exemple Paris pour l'Île de France. Ceci pour alimenter les générateurs de chaleur thermodynamiques. Ce qui a été fait par la Cie de chauffage urbain peut certainement être reconduit dans cet optique, ceci d'autant que les échanges thermiques entre la tuyauterie et son milieu sont cette fois favorable au lieu d'être nuisible. Cette solution présenterait du point de vue de l'auteur du site une avancée par rapport aux à la Suisse qui envisage un échange thermique local dans ses égouts.

Le coût du kWh thermique pour l'utilisateur s'en trouverait notablement réduit solutionnant du même coût le problème social récurrent du chauffage électrique par effet Joule dans les immeubles anciens mal isolés

La municipalité a prévu l'aménagement d'un réseau de distribution en eau non potable prélevant l'eau dans le fleuve et circulant dans les égouts de la ville d'une façon comparable au réseau de tuyauteries réalisé pour le chauffage urbain en région parisienne (CPCU). La difficulté d'acheminer l'énergie du réseau CPCU en raison des pertes thermiques en ligne est supprimée mais ce réseau doit avoir un diamètre environ deux fois supérieure en raison d'une différence de température 4 fois plus faible. Une réflexion est à apporter sur la façon d'utiliser éventuellement les installations de pompage existante permettant d'évacuer les eaux de pluie directement dans la Seine en cas d'orage (et ceci même en cas de crues) pour la fonction rejet de la PAC. Les municipalités intéressées peuvent utilement se reporter aux logiciels suivants pour assurer le dimensionnement du réseau

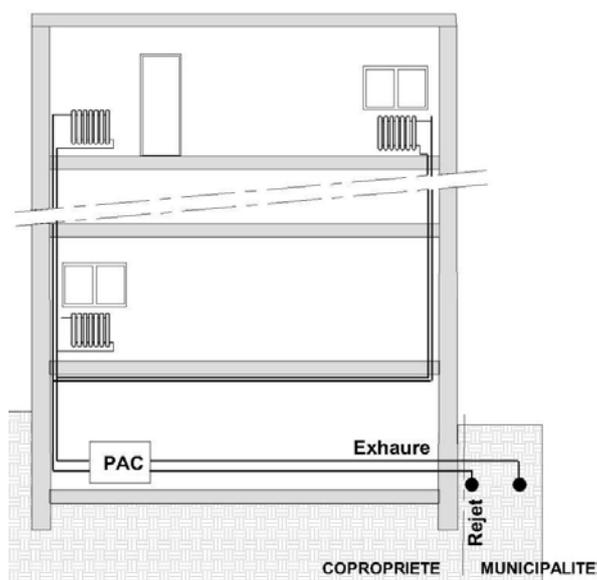


Figure 9

Pour un immeuble

Compte tenu de la distance voisine de 1 km qui sépare l'immeuble concerné de la Seine et du débit nécessaire maximum limité à 30 m³/h, la perte de charge dans une tuyauterie de diamètre 100 mm intérieur est de l'ordre du bar.

Valeur acceptable avec une pertes de puissance en ligne limitée à environ 1 kW.
voir <http://www.oces.fr/pertes/pertelin1.htm>

Complément

Pour plusieurs immeubles identiques

Pour 4 immeubles de taille comparable une pompe de 120 m³/h avec un collecteur commun Ø 200 mm de 1 km de long et des alimentations locales Ø 100 mm d'une longueur de 100m le programme

<http://www.oces.fr/pertes/surpression-pompe.htm> montre qu'une pression de 3 bar au refoulement de la pompe est suffisante. La puissance d'entraînement de cette pompe voisine de 5 kW est très raisonnable en regard de la puissance thermique de 1200 kW délivrée par les 4 PAC. L'avantage d'un tel système est aussi d'assurer la pérennité du besoin thermique sans qu'il soit besoin de prévoir les évaporateurs aérothermiques

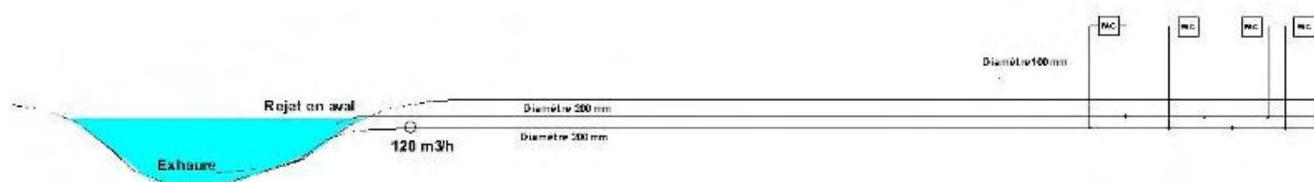


Figure 10



3 Fonctionnement en PAC géothermique avec champs de sondes



La troisième solution (coût élevé en raison du nombre de puits de forage)

Lorsque l'échange thermique se fait avec l'air, le fluide caloporteur des pompes à chaleur à compresseur circule le plus souvent directement dans le circuit de captage de l'énergie environnementale. L'évaporateur des PAC aérothermiques est en effet constitué de radiateurs à ailettes comparables à ceux prévus pour assurer le refroidissement des moteurs à combustion interne des voitures, radiateurs dans lesquels circule le fluide caloporteur à l'état gazeux et à très basse température. Cette disposition est également envisageable côté source chaude en sortie du condenseur avec les émetteurs de chaleur du type ventilo-convecteur de nouvelle génération. Ces circuits à détente directe augmentent sensiblement le volume de fluide caloporteur. On constate une amélioration des performances de la pompe à chaleur, lorsque le prélèvement environnemental de l'énergie se fait dans le sous-sol et non dans l'air. Plutôt que de pomper l'eau de la nappe libre au fin de refroidissement dans un évaporateur situé en chaufferie, il est aussi envisageable de prévoir un circuit à détente directe composé de plusieurs forages verticaux.

(Voir la figure centrale avec forage vertical en mode géothermie). Dans ce cas, l'eau de la nappe phréatique n'est plus utilisée directement pour assurer le transfert thermique avec le sol. Le fluide caloporteur à l'état gazeux et basse température circule alors dans des tubes en cuivre (voir les déperditions dans les parois), de petit diamètre ou peut-être mieux pour des raisons de coût en aluminium allié au silicium matériaux excellent conducteur et on peut le penser bien adapté pour assurer la circulation du fluide caloporteur. Les pertes de charges peuvent se faire en ligne le tube de petit diamètre pouvant jouer le rôle de

Complément

détendeur. Considérée comme un défaut pour le transport de l'eau chaude du fait des déperditions thermiques devient une qualité pour la géothermie superficielle en favorisant le refroidissement de l'eau de la nappe libre. La présence d'une nappe libre et de son écoulement gravitaire à l'aplomb des forages favorise en effet les échanges thermiques, diminue le nombre de forages et surtout assure la pérennité de l'échange en raison du renouvellement de l'eau de la nappe.

La formule de Darcy $v = Q/S = K \times (H_1 - H_2)/L$ 1) permet d'estimer cette vitesse la vitesse d'écoulement de l'eau de la nappe libre.

- v vitesse d'écoulement en m/s
- S section totale offerte à l'écoulement
- K le coefficient de perméabilité du sous-sol en m/s
- $(H_1 - H_2)/L$ le gradient de charge hydraulique correspondant en pratique sensiblement en zone de plaine à la pente moyenne de la rivière.

Perméabilité minimum (première approche de calcul sous toutes réserves)

Hypothèses

On prend comme support de raisonnement une réalisation en Ile de France ayant donné satisfaction pour une maison individuelle. Cinq forages de 30m de profondeur effectués à proximité d'une rivière de taille moyenne ayant un débit moyen de 6 m³/s, se sont avérés suffisants pour assurer le chauffage d'une grande maison de 300 m² habitable mal isolée. Ces forages effectués dans une zone alluvionnaire de l'Ile de France et dans le département de Seine et Marne 77 ont été suffisants pour que les échanges thermiques avec l'environnement s'effectuent correctement à la source froide. Pour une puissance thermique voisine de 20 kW. Il aura fallu plusieurs tentatives pour réduire les frais d'exploitation très élevées de la chaufferie fioul prévu initialement : Passage au gaz propane, puis chauffage bois trop contraignant pour l'utilisateur. Le COP moyen annuel de cette chaufferie thermodynamique située à mi-chemin entre la géothermie et l'aquathermie est proche de 5. Cette bonne performance a permis de diviser dans le même rapport les frais d'exploitation de la chaufferie initiale qui consommait bon an mal an 6 m³ de fioul avec une dépense irrecevable. Les travaux d'infrastructure avec cette dernière solution sont assurément moindre qu'avec la deuxième solution. Elle demande, pour assurer une bonne pérennité du chauffage, de bien connaître les vitesses d'écoulement de la nappe libre à l'aplomb des forages.

- Epaisseur de la nappe libre 20m avec dessus nappes à -10m
- Profondeur des forages 30 m
- Nombre de forage 5 espacés d'environ 1 m
- S section frontale totale offerte à l'écoulement $5 \times 20 = 100 \text{ m}^2$
- Température de l'eau T_e en amont des forages 12°C
- Température de l'eau T_s en aval des forages supposée à 4°C
- c Chaleur spécifique de l'eau 4,18 kJ/kg et °C
- Q débit d'eau traversant la section frontale m³/s (ou q en kg/s dans 2)

Complément

On peut calculer le débit d'eau nécessaire pour prélever $P = 20$ kW dans l'environnement à partir de la formule $P = q (T_e - T_s) c$ (2)
(Voir page) on a $q = P / (T_e - T_s) c$ soit $q = 20 / ((12-4) \times 4,18) = 0,6$ l/s

Pour obtenir un tel débit avec une surface frontale de 100 m^2 la vitesse d'écoulement doit être de $0,0006/200 = 3 \times 10^{-6} \text{ m/s}$

Pour une pente moyenne du grand Morin à Coulommiers supposée de $1^{0/00}$ Seine $(H_1 - H_2)/L$ est égal à 10^{-3} (NB sans dimension) la perméabilité locale K du terrain est égale à $K = v / ((H_1 - H_2)/L) = 3 \times 10^{-6} / 10^{-3} = 30 \times 10^{-4} \text{ m/s}$

Voir formule 1) ci-dessus

Calcul par homothétie pour l'immeuble

Hypothèses :

La perméabilité du sous-sol des plaines alluviales à Boulogne est supposée la même que sur le grand Morin (les deux communes sont en IDF)

- Epaisseur de la nappe libre 40m avec dessus nappes à -10m
- Puissance à transmettre 250kW (avec le même COP de 5)
- Profondeur des forages 50 m
- Température de l'eau T_e en amont des forages 12°C avec 4°C en aval des forages 4°C soit $\Delta T = 8^\circ\text{C}$ supposé identique
- c Chaleur spécifique de l'eau $4,18 \text{ kJ/kg et } ^\circ\text{C}$
- Pente moyenne de la Seine à Paris un peu plus faible $0,55\text{m par km}$ soit $(H_1 - H_2)/L$ égal à $5,5 \times 10^{-4}$ (NB sans dimension)
- vitesse d'écoulement réduite à $v = K (H_1 - H_2)/L = 30 \times 10^{-4} \times 5,5 \times 10^{-4} = 165 \times 10^{-8} = 1,65 \times 10^{-6} \text{ m/s}$
- D'après la formule 2) le débit d'eau traversant la section frontale doit être égal à $q = P / (T_e - T_s) c = 250 / (8 \times 4,18) = 7,5 \text{ l/s}$ ou $0,0075 \text{ m}^3/\text{s}$
- S section frontale totale nécessaire avec une vitesse de $1,65 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ $S = Q/v = 0,0075 / 1,65 \times 10^{-6} = 4550 \text{ m}^2$
- Nombre de forages 110 espacés de 1m

Valeurs habituelles de la perméabilité d'après le BRGM

(les plages indiquées sont très importantes en raison de l'hétérogénéité du sous-sol)

1. $K > 10^{-4} \text{ m/s}$ très bonne perméabilité
2. - semi perméabilité $10^{-9} < K < 10^{-4}$
3. Sous sol considéré comme imperméable $K < 10^{-9} \text{ m/s}$ (la glaise contient beaucoup d'eau et pourtant elle est imperméable)



La cohabitation du gaz naturel avec les ENR

Proposition de circuit

De nombreuses réalisations prouvent que la PAC à compresseur peut être indépendante de la combustion des produits fossiles. Dans un premier temps la combinaison des deux systèmes est envisageable.

La proposition de circuit ci-dessous concerne une chaufferie mixte assurant la fourniture d'ENR pour le chauffage et le sanitaire en mi saison (et pendant l'été pour l'eau chaude sanitaire).

La combustion n'étant utilisée qu'en période froide lorsque la température de l'air ambiant est inférieure à environ 7°C. La position du ballon tampon 126 (avant ou après les chaudières) ainsi que son volume, maintenant plus faible avec les variateurs de vitesse, étant à négocier avec un ingénieur spécialiste en génie climatique et en chauffage conventionnel.

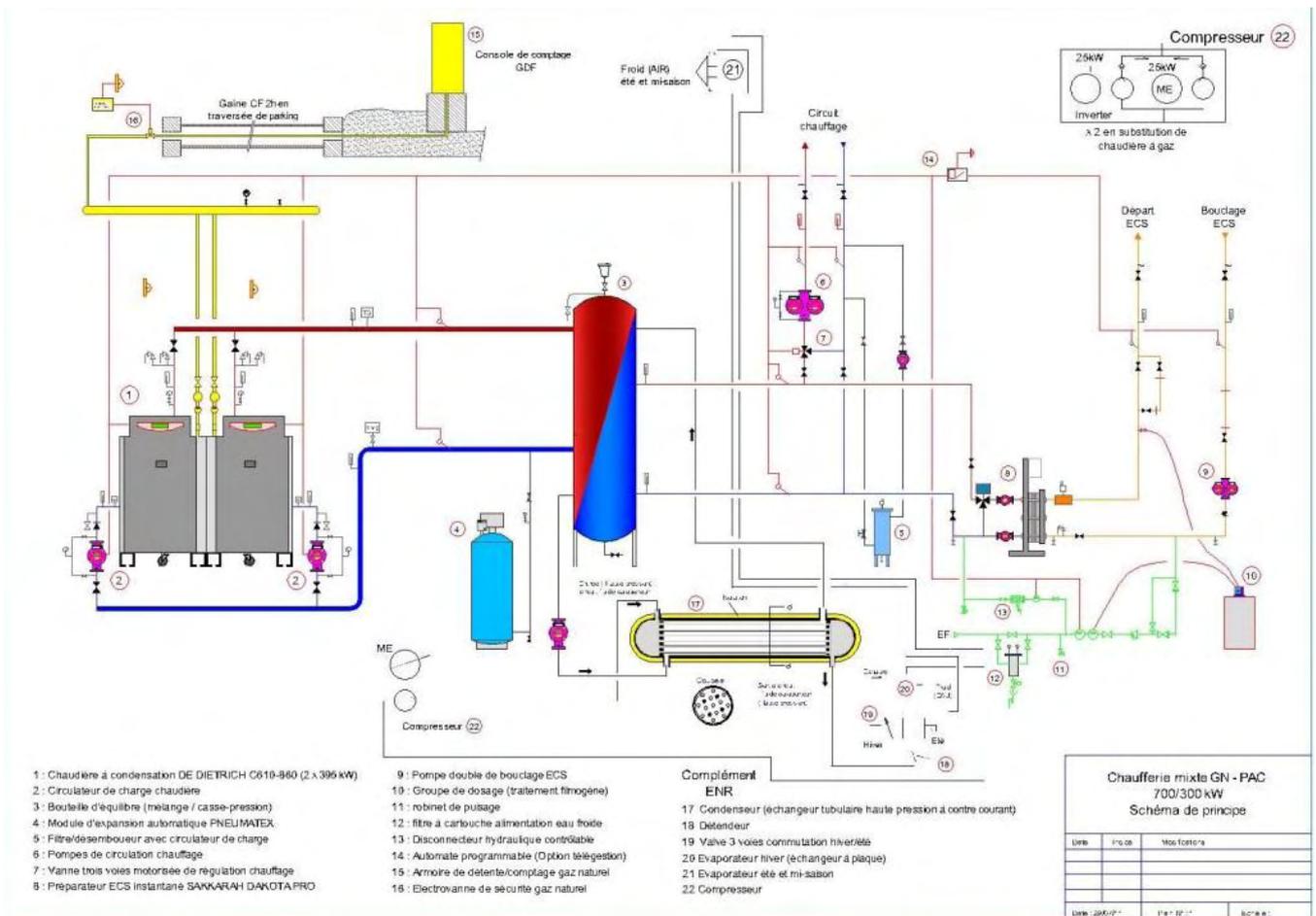


Figure 11 Proposition de circuit pour chaufferie mixte GAZ/PAC de 700/300 kW type air eau à compresseur

Complément

*Le circuit de la page précédente qui reprend le principe de la **figure 1** ne représente que les éléments essentiels du complément ENR. Le condenseur (poste 17) ainsi que le compresseur (poste 22) est dédoublé lorsque la PAC fonctionne avec l'eau en substitution de chaudière à gaz. Le compresseur (poste 22) peut être constitué de deux pompes identiques: l'une entraînée à vitesse constante l'autre à vitesse variable type inverter (voir médaillon en haut et à droite de la figure). Il est possible de sécuriser le fonctionnement de la PAC mixte air eau. La mise en place de ces composants étant laissée à l'appréciation du constructeur de la pompe à chaleur*

F *Le filtre déshydrateur, généralement monté sur une tuyauterie verticale, permet de contrôler l'état hydrométrique du fluide caloporteur.*

Son voyant a pour fonction de s'assurer que de l'eau n'est pas en suspension dans le fluide caloporteur.

R *Une réserve de liquide peut être nécessaire en sortie de condenseur pour que le fluide circulant dans le détendeur soit uniquement en phase liquide.*

(Pas de flashes gaz)

B *Une bouteille peut utilement être ajoutée en amont des compresseurs pour éviter les coups de bélier pouvant endommager ceux-ci dans le cas où des gouttes de liquide non évaporées seraient comprimées avec le gaz. (Les compresseurs du type scroll sont relativement tolérants à ce sujet)*

EV *Une électrovalve montée en amont du détendeur se ferme en même temps que l'on arrête le compresseur pour éviter que le fluide caloporteur ne se condense à l'aspiration de celui-ci.*

P_{HP} *Pressostat HP implanté au refoulement des compresseurs arrêtant ceux-ci si le détendeur est bouché accidentellement.*

P_{BP} *Pressostat BP implanté à l'aspiration des compresseurs arrêtant ceux-ci en cas de perte importante de fluide caloporteur.*

Un anti bélier éventuel

La régulation (proposition de circuit)

Régulation primaire amont

- La température dans le corps de chauffe des chaudières varie avec la température extérieure dans le cas de la combustion.
- La température amont dans le condenseur reste constante la réaction exothermique de condensation de la PAC à compresseur s'effectuant à température constante

Régulation secondaire aval

- Variation de la température vers les radiateurs assurée par un bouclage température utilisant la même valve 3 voies et le même capteur pour les deux modes avec deux comportements d'asservissement distincts. (la valve 3 voies laisse passer moins de débit vers les radiateurs en mode ENR)

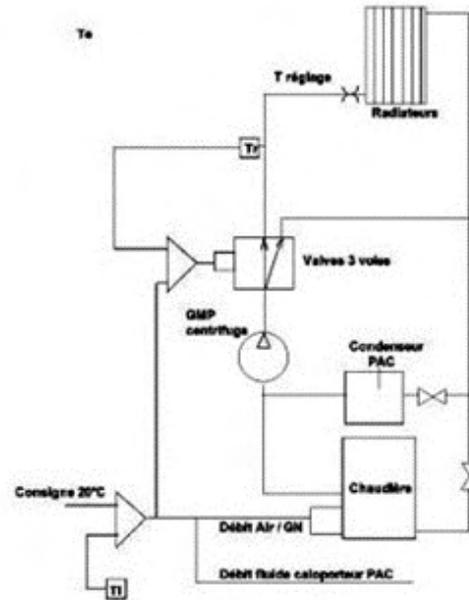


Figure 12

La pompe assurant la circulation sur le circuit chauffage est parfois implantée en aval de la valve 3 voies

Air Température extérieure T_e °C	$\Delta\theta = T_e - T_i$ en °C avec $T_i = 20^\circ\text{C}$	Puissance P	Eau Température radiateurs T_r °C	Eau/ Air $\Delta\theta = T_r - 20^\circ\text{C}$
-10	30	P maxi	70	50
+ 5	15	½ maxi	45	25
+14	6	20% maxi*	30	10
+20	0	nulle	20	0

La puissance perdue dans le bâti de l'immeuble est proportionnelle à $T_e - T_i$ (voir figure 13 ci-dessous)

La puissance en mode ENR est proportionnelle :

- au débit massique Q_f (kg/s) du fluide caloporteur
- au débit d'eau dans le primaire de l'échangeur à plaque du condenseur ainsi qu'à la chute de température $\Delta\theta_e$ de l'eau dans le primaire de cet échangeur $\Delta\theta_e = T_e - T_s$,

La puissance est égale à $P = e_f Q_f = c_e Q_e \Delta\theta_e$ Avec $e_f =$ « chaleur latente (massique) de transformation » appelée aussi l'enthalpie du fluide caloporteur exprimé en kJ/kg

**Plage de puissance des chaudières modernes ne fonctionnant plus en tout ou rien (avec variateur sur les gaz d'admission)*

Complément

Les deux régulations selon que la chaufferie fonction en mode combustion ou PAC à compresseur sont assez imbriquées

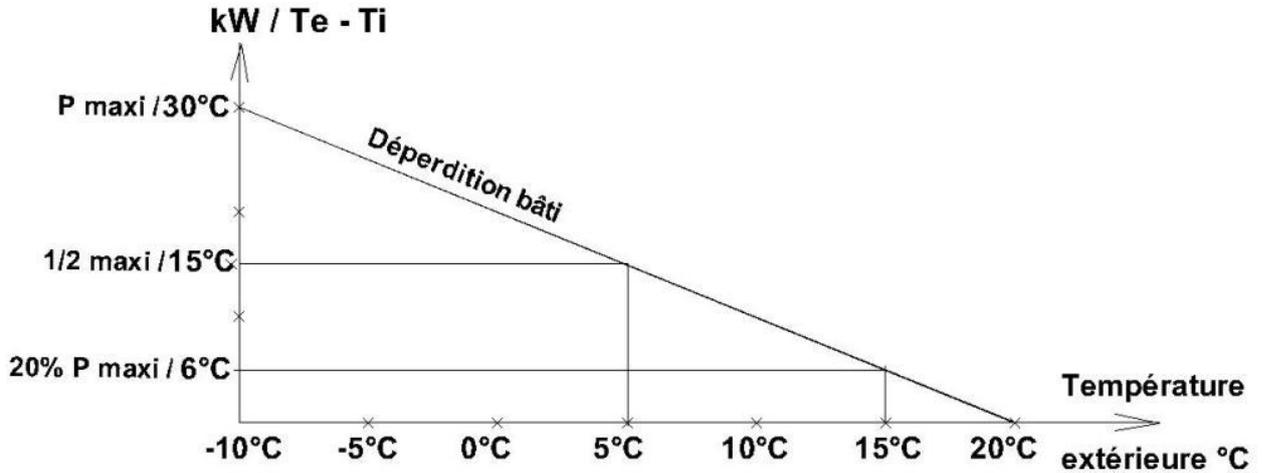


Figure 13 La commutation gaz/ENR devrait pouvoir s'effectuer sans problème à la moitié de la puissance (environ 5 °C extérieur)

Conclusion

Au moment où la France s'inquiète à juste titre de l'état délétère de son tissu industriel, il ressort de l'étude ci-dessus qu'une solution est envisageable pour assurer le chauffage thermodynamique de Paris intramuros et de sa proche banlieue et probablement des grandes villes françaises parcourus par de grands fleuves comme la Loire. Les enregistrements effectués au Parc Montsouris depuis 1873 prouvent qu'après 1979 la France n'a connu que 4 vagues de froid qui n'ont guère dépassées 2 à 3 semaines. Ce n'est peut-être pas le cas du Rhône fleuve à régime glaciaire pour l'essentiel de ses affluents mais il faut considérer le lac Léman déjà propice au chauffage thermodynamique et la centrale nucléaire située avant Lyon qui le réchauffe de quelques 2 à 3 °C. Au travers de l'étude des nombreuses solutions envisagées ci-dessus pour améliorer l'échange thermique avec l'air, le sol et l'eau parfois même avec l'eau et le sol simultanément, la solution consistant à profiter de la proximité de la rivière par rapport à la ville pour le chauffage thermodynamique est extrêmement intéressante. Dans le cas qui nous intéresse, celui de la Seine par rapport à Paris l'aménagement des réseaux d'alimentation en eau non potable circulant dans les égouts est celle qui semble assurer la plus grande sécurité de fonctionnement. Ces réseaux pompant l'eau directement dans la Seine seraient comparables à ceux utilisés pour le chauffage urbain provenant de la combustion ou de la géothermie profonde avec toutefois un avantage important ; il n'est plus besoin de se soucier des échanges thermiques de l'eau chaude transportée avec son environnement. Ces échanges thermiques qui limitent drastiquement la distance entre la centrale de combustion et

Complément

l'utilisateur deviennent un moindre obstacle. Au contraire les échanges thermiques entre l'eau froide véhiculée dans ce réseau et la température modérée régnant dans les égouts devraient être facilités pour réchauffer autant que faire se peut l'eau provenant du fleuve en profitant des échanges thermiques entre le tube et son environnement. Ceci de telle sorte que l'eau arrive à l'évaporateur des PAC coté utilisation à une température aussi élevée que possible afin d'améliorer les performances de la pompe à chaleur. Voilà une bonne opportunité de lever les petites incertitudes sur l'assise des bâtiments résultant du pompage dans la nappe phréatique et aussi d'assurer le développement du secteur des presses à filer pratiquement à l'arrêt en France depuis quelques années. Deux ou 3 presses à filer avec perceur assureraient petit à petit le besoin en tube d'aluminium au fur et à mesure de la mise en place des nouvelles chaufferies. Cette dernière solution semble la meilleure parmi toutes les solutions envisagées. Une PAC à compresseur assurant les échanges thermiques avec l'eau et avec l'air selon la **figure 1** et reprise pour plus de détails sur le schéma de principe de la **figure 11** ci-dessus faciliterait l'entretien de l'exhaure pendant l'été à défaut de pouvoir disposer d'un réseau d'alimentation communal en eau non potable. Concernant la solution champs de sondes géothermique où l'on refroidit la nappe sans pomper sans celle-ci (**solution 3** ci-dessus), force est de constater que le grand nombre de forages affecte le coût de l'investissement et est incompatible avec l'espace disponible en ville. (Il subsiste aussi une incertitude sur le nombre de forages résultant du calcul selon la présence d'eau ou non dans le sous-sol). Au travers de la réalisation faite à Nancy par Mitsubishi, il est raisonnable de penser qu'une telle solution assurerait la pérennité du chauffage. Ceci d'autant plus que la température minimum moyenne sur Paris est environ 6°C supérieure à celle de Nancy. Dans un premier temps et en cas de doute sur cette pérennité le circuit mixte GAZ-PAC évoqué **figure 11** permettrait de lever le doute et de ne prendre aucun risque. Compte tenu de la faible fréquence des périodes de froid actuelles et de leur faible durée, les consommations de gaz résultant de cette solution seraient très réduites diminuant considérablement notre dépendance en gaz en diminuant les inconvénients résultants du niveau sonore des évaporateurs fonctionnant sur l'air.

Voir

L'étude financière budgétaire des solutions ci-dessus page

Le questionnaire de rénovation d'une chaufferie en copropriété page

L'étude préliminaire page pour l'isolation et page pour la génération

Complément

Questions	Réponses
<p>1 Au moment où l'homme s'inquiète du réchauffement climatique et espère limiter celui-ci à 2°C sur l'ensemble de notre planète en modifiant son mode de vie, l'arrivée du chauffage thermodynamique a-t-elle une influence positive ou négative ?</p>	<p>On s'accorde à dire que 80% de l'énergie consommée sur la terre provient de la combustion des carburants d'origine fossile et que cette combustion est à l'origine de près de 60% des émissions de gaz à effet de serre responsable du réchauffement climatique. Les centrales nucléaires qui augmentent la température de la source chaude pour améliorer leur rendement bien modeste ne sont pas également à l'abri de tout reproche vu la quantité d'énergie thermique qu'elles dissipent dans l'environnement en pure perte.</p> <p>Les performances d'une pompe à chaleur, à l'inverse d'une centrale nucléaire, s'améliorent lorsque la température de la source chaude diminue et le flux thermique qu'envoie le chauffage thermodynamique vers son environnement, l'air, le sol ou l'eau selon le mode de fonctionnement de la pompe à chaleur refroidi celui-ci au lieu de le réchauffer comme le fait la combustion. Elles ont de ce fait un effet plutôt positif sur l'évolution de notre climat</p>
<p>2 On parle de pompe à chaleur en relève de chaudière. Qu'est-ce que cela signifie ?</p>	<p>Une chaudière à gaz de conception récente peut servir d'appoint à la production d'énergie renouvelable pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire Il y a deux notions dans les termes relève de chaudière.</p> <ul style="list-style-type: none"> - La première est une notion de secours en cas de panne sur la pompe à chaleur. Le secours peut d'ailleurs se faire dans le sens contraire en cas d'incident sur la chaudière. - La deuxième est le fait que le dispositif permet de réelles économies de chauffage bien qu'il ne soit pas de l'intérêt de l'utilisateur de faire travailler la pompe à chaleur par des températures extérieures trop basses, particulièrement avec la PAC aérothermique. -

Complément

<p>3 Lorsqu'il est question d'implanter une pompe à chaleur en substitution d'une chaudière conventionnelle à combustion on parle de retour sur amortissement allant de 4 à 20 ans et le maître d'œuvre a du mal à se faire une opinion valable à ce sujet.</p> <p>Qu'en est-il exactement ?</p>	<p>Le retour économique (ROI) d'une pompe à chaleur est établi par rapport à une situation de départ. Il n'est pas uniquement fonction du montant de l'investissement initial et du rendement parfois médiocre de l'ancienne chaufferie. D'autres facteurs interviennent dans le calcul : Le retour économique est d'autant plus long que l'habitation considérée est bien isolée. Il faut aussi considérer que l'augmentation prévisible du coût de l'énergie primaire diminue le temps de retour économique ce qui va probablement favoriser l'émergence de ENR. La notion faisant intervenir le volume de l'habitation et la température moyenne extérieure régnant dans la zone climatique où elle est implantée est également importante pour évaluer les performances prévisibles de la PAC et sa rentabilité</p> <p>Toutes ces notions diffèrent selon chaque cas particuliers et expliquent pourquoi le retour économique peut être très différent d'un cas sur l'autre</p>
<p>4 L'implantation des PAC à compression en remplacement du chauffage électrique dans les immeubles anciens ne serait-elle pas une solution d'avenir pour diminuer la consommation électrique ?</p>	<p>OUI mais cela dépend de leur conception. L'implantation des PAC <i>air air</i> à compression est inenvisageable en raison de l'inconfort qu'elles entraînent dans les immeubles mal isolés mais il n'en est pas de même des pompes à chaleur à compression <i>eau eau</i> voire même <i>air eau</i>. Leur conception avec un circuit d'eau chaude sur le circuit secondaire permet d'envisager de les faire fonctionner en remplacement des convecteurs électriques individuels par des radiateurs hydrauliques basse température. Le fait que près de la moitié de l'électricité produite en France est selon EDF consommée pour le besoin domestique des ménages, le chauffage de l'habitation avec fourniture de l'eau chaude sanitaire étant le poste le plus énergivores du ménage devant l'alimentation en carburant du véhicule nous aide à comprendre ce que pourrait être la transition énergétique tant attendue mais encore mal définie. En raison de la crise actuelle, le passage au chauffage</p>

Complément

	<p>collectif thermodynamique en remplacement du chauffage électrique individuel est une révolution qui pourrait commencer à occuper les esprits, d'autant que nous ne pourrions respecter nos objectifs de 20% d'ENR à l'horizon 2020 qu'en terme d'énergie renouvelable nous devons produire plus d'énergie de ce type sous la forme thermique et moins sous la forme électrique. Les contraintes d'implantation raisonnables d'une pompe à chaleur à compression <i>eau eau</i> voire même <i>air eau</i>, ne devraient être de nature à freiner l'évolution progressive des mentalités vers les pompes à chaleur de ce type dans la rénovation de l'ancien. Pouvant être considérées comme un chauffage électrique moderne doté de performances 3 à 4 fois supérieures à celles d'un convecteur électrique, l'évolution vers ces techniques ne se limitera probablement pas longtemps à la génération d'eau chaude sanitaire..</p>
<p>5 Lorsque l'on parle du fluide caloporteur des PAC à compression on évoque souvent leur dangerosité en termes de gaz à effet de serre (GES)</p> <p>Qu'en est-t-il?</p>	<p>Il faut comprendre que le circuit hydraulique du fluide caloporteur d'une pompe à compresseur bien conçu est parfaitement étanche par rapport au milieu extérieur. Avant la mise en route, le constructeur s'assure de la bonne étanchéité du circuit avec une pompe à vide en éliminant toute trace d'eau dans le circuit. Il faut aussi considérer que les nouveaux fluides caloporteurs du type R134a ou R410a de la famille des HFC (hydrofluorocarbure) et le gaz carbonique (R744) pressenti pour la haute température portent moins atteinte à l'effet de serre que les anciens R12 de la famille de CFC (Chlorofluorocarbure) d'ailleurs maintenant interdit car destructeur de la couche d'ozone. Compte tenu de l'enjeu que représente ce mode de chauffage et des volumes de fluide caloporteur plus importants que sur les petites PAC individuelles une inspection périodique est imposée aux constructeurs dans les contrats d'entretien des grosses PAC</p>

Complément

<p>6 Quel peut-être la durée de vie d'une PAC à compresseur ?</p>	<p>L'élément sujet à usure dans une pompe à chaleur à compresseur est précisément le compresseur. La qualité de la lubrification des pièces métalliques tournantes de celui-ci est le facteur essentiel qui conditionne sa tenue dans le temps. Viennent ensuite des facteurs moins importants tels que sa vitesse d'entraînement et le mode de marche. (Fréquence des arrêts et de remises en route). Le compresseur est garanti plusieurs années par les constructeurs. Ceci dit, sur les PAC de forte puissance comprenant plusieurs compresseurs et particulièrement lorsqu'ils sont identiques l'utilisateur peut utilement négocier un compresseur en tant que pièce de rechange lors de la signature du contrat initial.</p>
<p>7 L'efficacité d'une PAC à compresseur est-elle affectée par le fait que les radiateurs hydrauliques sont dimensionnés dans l'ancien pour la haute température?</p>	<p>OUI, le coefficient de performance (COP) d'une pompe à chaleur est inévitablement affecté par une augmentation de la température de la source chaude. Le réseau de chauffage hydraulique des habitations anciennes est heureusement souvent surdimensionné le besoin en température dans les radiateurs n'excédant pas 70°C (50 °C au-dessus de la température requise dans les pièces de vie). Pour peu que l'immeuble ne soit pas une "passoire thermique" et ait un coefficient de déperdition annuel moyen inférieur à environ 240 kWh/m² habitable, valeur moyenne dans les immeubles anciens, il n'est pas toujours indispensable de diminuer leur résistance thermique en augmentant leur surface de chauffe. Une température de 65°C peut maintenant être obtenue à la source chaude avec un COP raisonnable.</p>
<p>8 Quel est la relation entre les échangeurs de température à contre-courant et l'efficacité d'une PAC à compresseur ?</p>	<p>Même avec des échangeurs à plaque à contre-courant bien isolés aux performances excellentes, une différence de température entre l'entrée et la sortie au primaire ainsi qu'au secondaire de l'échangeur est inévitable pour assurer les transferts thermiques. Cette différence même modeste augmente sensiblement la température de la source chaude et affecte légèrement les performances de la pompe à chaleur</p>

Complément

<p>9 Est-il possible de faire fonctionner les PAC à compresseur alimentant un réseau de radiateurs hydrauliques en mode climatisation pendant l'été ?</p>	<p>NON, un tel système est conçu pour faire du chaud quand il fait froid mais pas du froid quand il fait chaud. En remplaçant les radiateurs hydrauliques habituels par des radiateurs hydrauliques type ventilo-convecteur on peut toutefois obtenir un rafraîchissement des locaux moyennant une légère augmentation du niveau sonore. A noter que la climatisation est par contre possible et couramment utilisée avec les PAC <i>air air</i> dans le neuf en raison des gaines d'air</p>
<p>10 Quelle est en général la place des PAC à compression en rénovation dans l'habitat urbain ?</p>	<p>Lorsque le mode de chauffage existant est collectif et utilise des chaudières au fioul ou au gaz, les PAC à compression <i>air eau</i> et <i>eau eau</i> ont une place à prendre à l'occasion de la rénovation thermique de l'habitat urbain pour plusieurs raisons :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Isolation thermique souvent médiocre de l'habitant ancien améliorant le retour sur investissement (ROI) - Investissement de départ par foyer fiscal plus faible que pour une maison individuelle, cette remarque étant particulièrement valable pour les PAC sur nappe, les frais de forage ou l'alimentation communale en eau non potable étant répartis sur de nombreux copropriétaires - des frais d'exploitation réduits en proportion de leur COP par rapport au chauffage électrique individuel par convecteur à effet joule
<p>11 Les deux PAC à compression <i>aérothermique air-eau</i> et <i>aquathermique</i> sont-elles dépendantes de la solution retenue pour la ventilation de l'immeuble ?</p>	<p>Le renouvellement naturel de l'air intérieur d'un immeuble, s'il n'est pas effectué trop souvent, n'a que peu d'influence sur la puissance utile. Ce n'est pas le cas des PAC <i>aérothermique air air</i> avec leurs gaines d'air chaud (ou frais si la PAC est en mode climatisation) pour lesquelles la ventilation peut avoir une incidence sur la conception du système de chauffage.</p> <p>(A noter que les convecteurs électriques sont souvent conservés dans les pièces humides comme les salles de bains).</p>

Complément

<p>12 Quand est-il des PAC à compresseur dans l'habitat neuf au moment où la réglementation thermique RT 2012 va rentrer en application avec des nouvelles normes de qualité environnementales très exigeantes ?</p>	<p>Selon le journal le Monde l'évolution actuelle dans les logements neufs à très basse consommation énergétique ayant un coefficient proches de 50 kWh/m² est vers le « tout gaz ». Difficile d'expliquer cette orientation qui pourrait être motivé par un ras le bol du « Tout électrique » ou s'expliquer par des raisons financières en rapport avec le prix plus élevé de l'électricité.</p>
<p>13 Les PAC à compression sont-elles bruyantes?</p>	<p>NON pour les PAC aquathermique. L'organe le plus bruyant d'une pompe à chaleur aquathermique est le compresseur. Lorsqu'il est bien insonorisé avec un manchon au refoulement et des plots élastiques sous le châssis moto pompe, il n'est pas plus bruyant qu'un brûleur de chaudière. Reste l'évaporateur des PAC aérothermiques plus bruyant pour lequel le Maître d'œuvre doit être vigilant et demander valeur au constructeur de la PAC (Ceci pour respecter des normes sonores dans l'habitat)</p>
<p>14 L'efficacité d'une PAC à compresseur appelé COP est-elle affectée par la température extérieure au logement qui peut varier différemment en hiver selon sa situation géographique avec les degrés jours unifiés (DJU)</p>	<p>Cela dépend du mode de prélèvement de l'»énergie renouvelable dans l'environnement.</p> <p>La réponse est OUI avec les pompes à chaleur <i>aérothermique</i> dont le rendement est affecté par la diminution de la température de l'air extérieur. Ce type de PAC est à éviter dans les régions froides où la température trop souvent négative en hiver diminue les performances en raison des phénomènes de givrage sur l'évaporateur. Utilisées en région à hiver doux tels qu'en Bretagne ou sur le pourtour méditerranéen elles sont véritablement efficaces lorsqu'elles sont couplées à une autre énergie qui prend le relais pendant les périodes les plus froides.</p> <p>La réponse est NON avec les pompes à chaleur <i>aquathermique</i> qui bénéficient d'une température de l'eau le plus souvent constante à la source froide et qui ne sont pas sujettes au givrage.</p>

PAC aérothermique en substitution de chaudière

Le cas évoqué ci-dessous concerne une maison individuelle située en région parisienne en substitution de chaudière à fioul

Problème

Située en zone H1a relativement froide, cette maison individuelle à un seul étage était équipée d'un chauffage conventionnel du type chaudière fioul et radiateurs à circulation d'eau. La consommation annuelle de fioul était bon an mal an de 3200 litres pour une surface habitable totale chauffée voisine de 160 m².

Une fuite provoquée par la corrosion de la citerne de fioul à simple paroi et le coût important pour assurer son remplacement par une cuve à double parois (6640 €) remet en cause le chauffage existant. Le sous-sol total, habitable en partie, aurait pu recevoir une chaudière gaz à condensation en remplacement de la chaudière existante au fioul mais le propriétaire, malgré le surcroît de dépense de 7600 € associée à cette solution, a estimé qu'il était de son intérêt de remplacer la chaudière existante par une PAC *air eau* haute température à deux fluides caloporteurs permettant de disposer d'une température de départ vers les radiateurs de 65°C.

La mise en place de la PAC en lieu et place de la chaudière fioul est effectuée en octobre 2009 juste avant la période de chauffe.

Pour calculer la consommation et évaluer le retour économique un compteur électrique **1** contrôle la consommation de la PAC. A noter que celle-ci assure maintenant à la fois le chauffage et l'eau chaude sanitaire alors que la production ECS était assurée par un ballon électrique avec l'ancienne chaudière. Compte tenu du dégrèvement de 40% sur le montant de la PAC hors MO (crédit d'impôt), la dépense initiale pour le propriétaire incluant le remplissage de la cuve béton et le renforcement de la ligne électrique s'est élevé à 14 250 € TVA 5,5% comprise.

Le fonctionnement du compresseur s'avère particulièrement silencieux, le niveau sonore de l'évaporateur situé dans le jardin contre un mur sans fenêtre restant acceptable. Reste le dégivrage et la formation de glace sous l'évaporateur lorsque la température extérieure descend en dessous de 0°C.

(Voir zone ombrée du tableau ci-dessous)

Cette particularité de la PAC à compresseur *air eau* haute température rend son utilisation délicate pour le chauffage urbain en hiver lorsque l'évaporateur est monté en terrasse ce qui pourrait conduire à limiter la PAC *air eau* uniquement au fonctionnement en relève dans le cas du chauffage collectif

Résultats

Pendant la période la plus froide allant de décembre à février les températures de départ vers les radiateurs restent pratiquement constantes et comprises entre 60 et 65 °C et ceci pour une température dans le séjour oscillant entre 19,7 et 21,6 °C maximum prouvant que sous réserve d'une bonne fiabilité dans le temps du compresseur (garantie 5 ans) le choix concernant le confort a été le bon.

Mois	1 kWh	Prix électricité HT (0,07 €/kWh)	Prix électricité* TTC (0,09 €/kWh)
Décembre 2009	1800	126	160
Janvier 2010	2300	161	205
Février 2010	1720	120	153
Mars 2010	1243	87	111
Avril 2010	703	49	62,5
Mai 2010	254	18	22,7
Juin 2010	238	16,6	21,2
Juillet 2010	230	0	20,5
Aout 2010	230	0	20,5
Septembre 2010	491	43	53,7
Octobre 2010	714	50	63,5
Novembre 2010	1170	82	104
Total 12 mois	11 093 kWh	784,6 €	997 €

Relevé des consommations mensuelles de décembre 2009 à novembre 2010

Nota : Le propriétaire s'étant absenté pendant les mois de juillet et aout, il a été supposé une consommation de 16 kWh pour chacun de ces 2 mois similaire à celle de juin. *On observe que la TVA sur l'électricité est proche de 27%

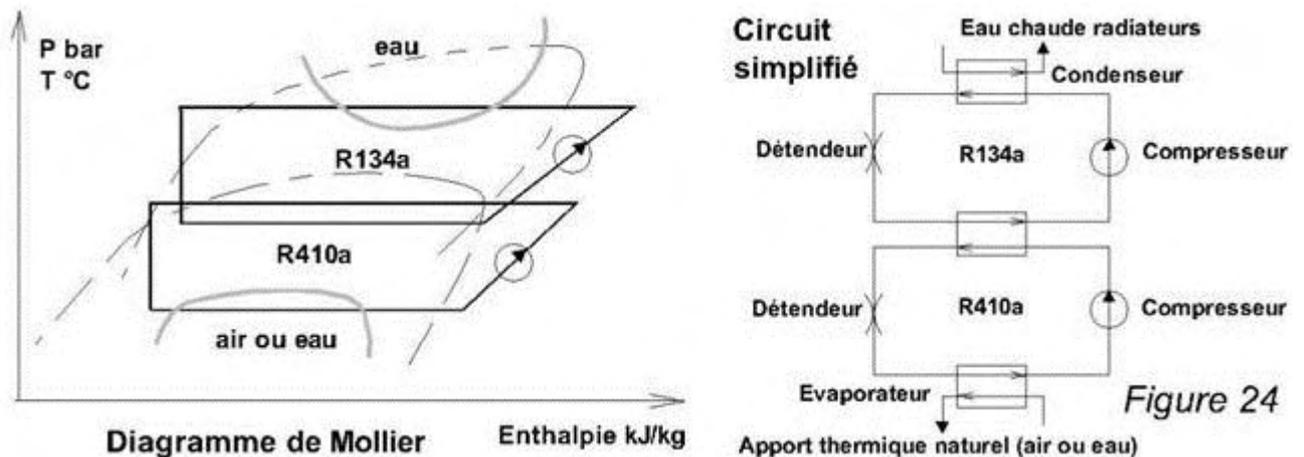
On peut déduire à partir des chiffres ci-dessus que le choix du propriétaire a été le bon en termes de retour économique. La consommation électrique totale de la PAC s'élevant à 11 093 kWh pour l'année 2009/2010 alors que l'équivalent thermique de 3200 litres de FOD est de 32 000 kWh, l'économie en énergie primaire correspondant à la production d'ENR est proche de 21 000 kWh et l'on arrive à un coût d'investissement de 0,68 € par kWh d'énergie primaire économisé annuellement (14 250 / 21 000), soit un retour économique voisin de 7,5 ans sur la base d'une énergie primaire à 0,09 €/kWh TTC pour l'électricité (0,68/0,09). En pratique ce retour économique est amélioré par le fait que la production d'ECS est maintenant assurée par la PAC.

Complément

Le COP annuel global moyen de cette PAC voisin de 3,5 assure une production d'ENR importante et une faible génération de GES. Le fait que cette performance reste modeste par rapport au COP théorique s'explique probablement en bonne partie par les cycles de dégivrage soufflant de l'air chaud dans l'évaporateur pour éliminer la glace provenant du givrage

La pompe à chaleur haute température

Plus complexes et plus onéreuses elles sont pour l'instant fabriquées en petites séries. L'apparition du R744 (en pratique du CO₂) peut changer la donne mais pour l'instant ces PAC constituent une avancée technologique intéressante pour la rénovation thermique. En pratique la PAC nécessite un compresseur supplémentaire et utilise deux fluides caloporteurs ayant des températures de condensation et d'évaporation complémentaires (Le R410a et le R134a). Théorie et expérience sont combinées pour améliorer les performances, la source chaude du premier circuit à plus basse température (Le R410a) faisant office de source froide pour le deuxième circuit fonctionnant à plus haute température (Le R134a). L'adjonction d'un échangeur de température à contre-courant interface assure le transfert d'énergie entre le premier et le deuxième circuit. Cet échangeur joue le rôle de condenseur pour le 1er étage de la PAC et permet d'augmenter la température de la source froide du 2ème étage et d'améliorer le COP. Il est ainsi possible d'atteindre environ 70°C voire plus dans le circuit des radiateurs.



*Principe de la PAC double en cascade à deux fluides caloporteur
(procédé DAIKIN)*

Complément

		Point de rosé de l'air selon température ambiante °C					
Ambiance °C		-7	4	16	27	38	49
Humidité relative %	90%	-8	3	14	25	36	47
	80%	-9	1	12	23	34	43
	70%	-11	-1	10	20	31	41
	60%	-12	-3	7	18	28	38
	50%	-14	-5	4	15	25	34
	40%	-17	-8	2	11	21	31
	30%	-21	-11	-2	7	16	25

La formation de glace en hiver

Le lecteur comprendra l'utilité de ce tableau autant pour le phénomène de givrage des PAC air eau en relève (partie grisée de gauche) que pour l'efficacité des chaudières à condensation (partie droite du tableau)



L'évaporateur (source froide) disposé à l'extérieur de la maison

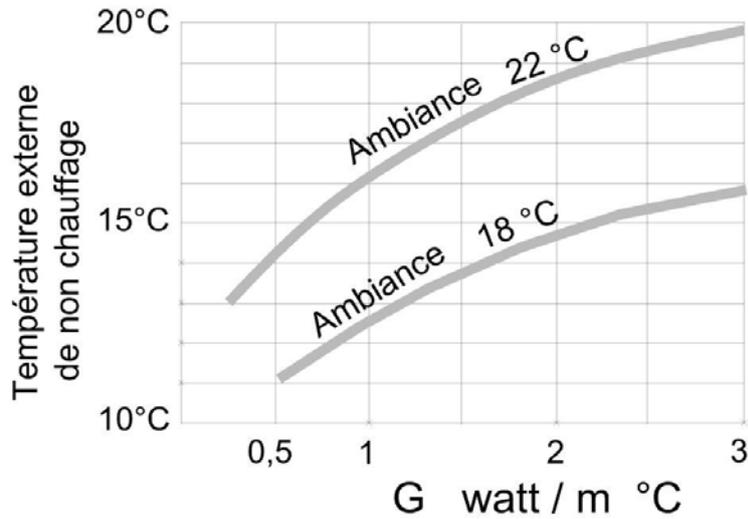


La Partie source chaude de la pompe à chaleur disposé sur le socle de l'ancienne chaudière fioul

Ces deux sous-ensembles distant de 5 à 6 m sont reliés par des flexibles dans lequel circule le fluide caloporteur. Un thermostat d'ambiance associé à un petit régulateur est situé dans la salle de séjour permet de télécommander la température de consigne

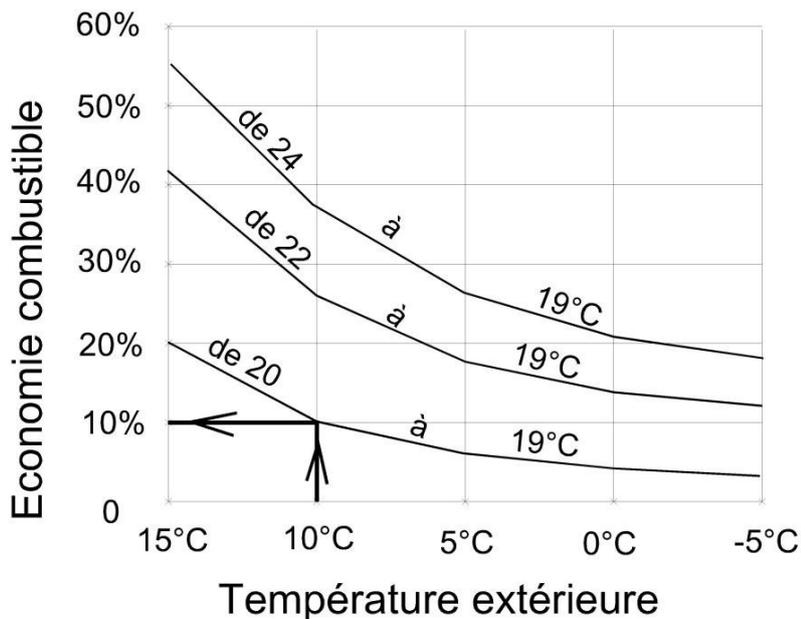
Economisons l'énergie

La température de non chauffage



Une habitation bénéficie toujours d'un apport thermique qui peut être l'ensoleillement, les apports internes comme l'éclairage, les tables de cuisson, la chaleur dissipée par les tuyauteries d'eau chaude sanitaire, la chaleur humaine, il s'en suit une température de non chauffage au-dessus de laquelle le chauffage n'est pas sollicité. On augmente la température de non chauffage en améliorant l'isolation (valeur du coefficient de déperdition volumique G plus faibles)

La surchauffe et ses conséquences



La puissance utile d'une chaufferie est directement proportionnelle à la différence entre la température extérieure (variant suivant la saison) et intérieure (le plus souvent constante)

Complément

Faut-il rappeler que la température maximum « légale » est de 19°C ?

Lorsqu'un immeuble est mal équilibré thermiquement la température de consigne à la chaufferie est parfois augmentée pour satisfaire le confort ceux qui ont la malchance d'être soumis à plus de déperditions ou qui sont plus éloignés de la chaufferie. Une température de consigne chaufferie supérieure de 3°C à la température « légale » (courbe intermédiaire) voire de 5 °C (courbe supérieure) entraîne des surconsommations importantes et un certain inconfort pour les occupants situés aux étages intermédiaires. En équilibrant thermiquement le bâti (et le réseau de tuyauterie), on peut baisser la température de consigne chaufferie sans faire de mécontents ce qui entraîne des économies annuelles de combustibles importantes. Ceux qui souffraient de la surchauffe et fermaient les robinets à l'entrée de leur radiateurs ne le font plus et ceux qui se plaignaient d'avoir froid sont correctement chauffés

Exemple

1) Prenons l'exemple d'un immeuble en région parisienne avec un DJU_{19} de 2400 °C.

(Courbe inférieure avec exemple en trait gras)

En autorisant une température de 20°C au lieu de 19°C pendant toute la période de chauffe NB de 240 jours on augmente le DJU de 10% et la consommation annuelle de combustible dans le même rapport

2) Pour 22°C au lieu des 19°C recommandée les surconsommations sont très importantes :
 $(DJU_{22} - DJU_{19}) / DJU_{22} = 230 \times 3 / (2200 + 230 \times 3) = 23,8\%$

Les acteurs de la rénovation thermique dans l'ancien

Une décision pour un particulier et sa maison individuelle est relativement plus facile à prendre. Ce n'est pas le cas d'un immeuble ancien lorsque les notions de copropriété, d'aspect privatif ou collectif compliquent la décision.¹⁾

1 Les acteurs intérieurs à la copropriété

Acteurs	Connaissances requises / remarques
Le copropriétaire*	Membre à part entière d'une petite collectivité appelée " copropriété", Il prend connaissance des documents finaux (devis) et il vote pour ou contre l'investissement en âme et conscience lors de l'AG en fonction des éléments qui lui ont été communiqués par le syndic avant l'AG.
Le conseil syndical (CS)	Petite équipe de copropriétaires élus par les autres copropriétaires, il ne dispose pas (en principe) du pouvoir de décision laissé à l'assemblée générale (AG). Intermédiaire entre les copropriétaires et le syndic, son rôle est d'assister ce dernier afin de résoudre avec lui les problèmes courant au mieux des intérêts de la copropriété. En jouant ce rôle, il se retrouve en pratique au cœur du pouvoir dans la copropriété. Il assiste si besoin est la <i>commission technique</i> éventuelle dans la limite de ses connaissances techniques et de son temps libre
La commission technique	La mise en place d'une action dédiée à la rénovation thermique d'un immeuble ancien est en principe du ressort d'un ingénieur thermicien spécialiste en génie climatique. Toutefois, dans le cas où le syndicat des copropriétaires décide ne pas se faire assister par une entreprise extérieure pour ce travail, une commission technique bénévole et non rémunéré composée de membres issus du CS peut éventuellement être créée au sein de la copropriété. Son rôle peut être d'établir et de proposer un ordre de préférence des investissements objet de la rénovation, de se charger, en liaison avec le syndic, des négociations avec l'architecte, les BE et les constructeurs afin que ces organismes établissent les devis indispensables à la préparation du dossier de demande d'aide fiscale. Jouant le rôle de Maître d'ouvrage il est le maillon principal par lequel les différentes aides fiscales régionales ou départementales peuvent être obtenues au bénéfice de chaque copropriétaire. A l'achèvement du dossier comprenant les devis, il s'assure que le BE et l'architecte ont bien compris ces orientations, sont d'accord avec celles-ci et il choisit avec le syndic parmi ces différents interlocuteurs celui le plus habilité à jouer le rôle de Maître d'œuvre et à prendre la

Complément

responsabilité d'un l'ensemble pouvant associer l'isolation et la génération thermique avec la ventilation. Il propose alors au conseil syndical en vue de l'AG les modalités de la rénovation thermique.

Le syndic

Il est rémunéré par le "syndicat des copropriétaires" en fonction des services qu'il rend à la copropriété, services qui sont principalement limités aux aspects juridiques et comptables. Ayant la vue sur plusieurs copropriétés simultanément, il pourrait à partir des données comptables aider plus efficacement le conseil syndical de son expérience qu'il ne le fait. Le syndic n'est malheureusement pas technicien et encore moins thermicien.

Le président de séance

Le mandat du "Président de séance" ne dure que le temps de l'assemblée générale (AG). Il doit être remplacé à chaque assemblée par un nouveau Président.* Le président du CS peut toutefois, après accord des copropriétaires être ."Président de séance" plusieurs AG consécutives. Le personnel employé par le syndic ne peut être président de séance. Sa fonction n'est ni anodine ni honorifique. Son autorité naturelle est importante pour animer et faire avancer les débats. Il signe la feuille de présence et il annonce les résultats du vote.

* Voir le livre "Copropriété, les nouvelles règles" de la revue "Que choisir" N° 83 de mars 2010 (page103)

2 Les acteurs extérieurs à la copropriété

Acteurs	Connaissances requises / remarques
	<i>Isolation et chaufferie ancienne à combustible</i>
L'architecte	Ce n'est pas nécessairement un thermicien mais il connaît bien l'immeuble, ses dimensions et il assure un contact technique étroit avec les entrepreneurs. Il est impliqué dans le bon déroulement du chantier et il entretient en conséquence des contacts fréquents avec le BE et le comité d'étude.
Le (ou les) bureaux d'étude. (BE)	Il a en charge l'exécution des schémas hydrauliques et des plans d'implantation en chaufferie. Il chiffre les solutions retenues pour l'isolation et le chauffage par le comité d'étude après validation par le conseil syndical Il établit les plans manquants ou incomplets à usage de l'architecte et des entrepreneurs et il solutionne les problèmes techniques en suspens.
Les entrepreneurs	Sous la supervision d'un chef de chantier, ils respectent les plans d'implantation, les schémas et les spécifications techniques des fournisseurs de composants avant d'assurer la mise en service de l'ensemble.

Complément

Les fournisseurs de composants Ils communiquent les documents techniques nécessaires en français de telle sorte que les composants soient utilisés dans les règles de l'art conformément à leur prescription. A noter qu'une PAC commence à être considérée comme un composant auprès de certains fournisseurs

Cas des énergies renouvelables sans combustion

Le BRGM et la Drire Ils procèdent dans le cas d'une PAC *eau eau* à l'étude de faisabilité (notamment concernant la pérennité du débit à l'exhaure dans le cas d'une pompe à chaleur sur nappe libre)

L'Ademe Elle peut être influente pour mettre en avant un projet présentant un intérêt particulier. Elle pourrait jouer un rôle plus important pour conseiller et rassurer les syndics dans le cadre de ces solutions nouvelles

La municipalité Elle peut être influente concernant les aides éventuelles qui seront accordés à la copropriété dans le cadre du périmètre d'une OPAH. (Programmée d'Amélioration de l'Habitat). Ce point est important depuis que l'Ademe ne prend plus en charge les copropriétés au titre de l'aide régionale (Aides qui représentaient près de 50% de l'investissement)

Le frigoriste Il est concerné par le bon fonctionnement de l'évaporateur de telle sorte que l'on tire le meilleur parti d'un fluide caloporteur. Il sait comment les transferts thermiques s'effectuent dans une pompe à chaleur et comment elle peut prélever son énergie dans l'environnement à partir de l'air, du sol, ou de l'eau.

Le spécialiste en hydraulique industrielle Détenteur d'une technique complémentaire au chauffage thermodynamique, il est concerné par le génie climatique et le chauffage urbain. Le mot hydraulique est ici pris au sens le plus large puisqu'il englobe non seulement l'hydraulique des rivières et de leur sous-sol irrigué par les nappes libres, mais aussi l'hydraulique industrielle des circuits sous pression, asservis ou non. Cette compréhension conjuguée de ces deux formes d'hydraulique ne manque pas d'intérêt puisqu'elle permet de concilier l'air et l'eau pour générer du chaud lorsqu'il fait froid avec l'assurance d'une performance optimum lorsque le besoin thermique se modifie au cours des saisons. Habitué aux circuits à pression élevée, le spécialiste en hydraulique industrielle est au fait de l'étanchéité rigoureuse qui doit être respectée pour éviter toute fuite du fluide caloporteur vers l'extérieur afin de préserver la couche d'ozone. Confronté aux problèmes de niveau sonore de sous-ensembles tournants comme les groupes moto pompe ou les aéro-réfrigérants, il sait comment casser les vibrations et diminuer leur niveau sonore.

Complément

L'électronicien	Ayant des connaissances en automatisme il collabore avec le programmeur et il dimensionner le correcteur électronique permettant de supprimer l'erreur statique afin d'assurer une régulation de température stable et performante.
L'Ingénieur en génie climatique	Il maîtrise parfaitement la notion de degré jour unifié DJU. Il sait comment remédier aux variations de température imposées par les saisons sans affecter les performances de la pompe à chaleur. Au moment où l'homme se sent responsable du réchauffement climatique, il a compris l'intérêt de ce type de chauffage qui présente l'avantage de refroidir notre environnement au lieu de le réchauffer
L'architecte	Il n'a pas toujours suffisamment de connaissances en tant que thermicien mais il commence à concilier l'esthétique d'un bâtiment et les déperditions thermiques dans le bâti de celui-ci.
Le programmeur	Maîtrisant un langage de programmation peu rapide étant donné la constante de temps importante du système formé par l'immeuble et sa chaufferie, il comprend la nécessité d'adapter le fonctionnement et les modes de marche de la PAC au besoin thermique variant selon les saisons. Ses connaissances lui permettent de comprendre et d'exploiter les algorithmes établis par le thermodynamicien et d'élaborer en liaison un automate programmable une structure de programme assurant la liaison entre le système d'exploitation de l'ordinateur et la commande des différents composants constituant la pompe à chaleur.
L'utilisateur final (en d'autre terme le copropriétaire)	Initiateur du projet de rénovation thermique, il espère suite à tout ce brouhaha médiatique sur la nécessité absolue pour notre société d'évoluer vers les ENR en raison du réchauffement climatique que l'on va enfin lui proposer un système finalisé et il ne veut plus payer pour être informé. Il redoute les fluctuations brutales des prix du pétrole et les déséquilibres qu'elles provoquent. A force de s'entendre dire que les comportements doivent changer, alors qu'il n'est en rien responsable il commence à se sentir responsable de l'immobilisme industriel en France en espérant que l'on est au bout du tunnel. Il ne comprend pas pourquoi le potentiel formidable en ENR du chauffage thermodynamique est si peu exploité pour combler la désindustrialisation de la France alors que chaque spécialiste sait comment appréhender les problèmes spécifiques relevant de son domaine. Il commence à comprendre que l'énergie est surtout une source de profit pour celui qui la comprend et il considère à juste titre que la production de l'énergie ne devrait pas rester un domaine réservé aux initiés ou le particulier n'a pas droit de regard et il estime qu'il est temps de casser cette barrière. Il n'adhère pas à l'idée selon laquelle il y aurait un maillon manquant dans les chaînes professionnelles existantes et qu'il pourrait être nécessaire « d'inventer » un nouveau métier afin de fusionner des connaissances qui seraient

Complément

disparates. Certes les mots « intégrateur » ou « expert » viennent naturellement à son esprit ainsi que le mot « communication ». Cependant, il estime que les acteurs déjà en place sont déjà tellement nombreux qu'il est légitimement préoccupé à l'idée d'en rajouter un nième et il préfère considérer que la réparation des erreurs de conception et les problèmes éventuelles relevant de sa spécialité peuvent se poser lors de l'élaboration des composants constituant le système.

Les acteurs principaux :

Le Maître d'ouvrage et le Maître d'œuvre

L'acteur principal de la rénovation thermique d'un immeuble ancien régit en copropriété est le conseil syndical (CS) ou préférentiellement son responsable choisi en tant que *Maître d'ouvrage*. Ceci d'ailleurs que la copropriété décide à l'occasion d'une AG de se faire assister ou non par un ingénieur thermicien spécialiste en génie climatique. Dans le cas où l'AG décide d'avoir recours à cette assistance, c'est, en toute logique, cet ingénieur qui jouera le rôle de Maître d'œuvre et prendra la responsabilité technique du projet avec obligation de résultat. Dans le cas contraire, c'est le responsable du conseil syndical qui, en tant que Maître d'ouvrage, aura la lourde responsabilité d'effectuer ce choix parmi les différents fournisseurs.

L'architecte et l'ingénieur

Sans collaboration efficace entre les deux, rien n'est possible : Erreur de dimensionnement thermique par suite d'une mauvaise compréhension du besoin et mauvais fonctionnement et dépenses inutiles. L'ingénieur devra être Un bon physicien généraliste compétent en thermodynamique capable de comprendre les spécialistes, d'intégrer les exigences particulières à chaque technique, de communiquer avec les intervenants pourrait être le chaînon manquant afin que s'établisse un collaboration efficace entre les responsables de techniques par nature complémentaires. Il pourrait aussi aider à combler plus rapidement la marge encore trop importante qui sépare les performances théoriques des performances pratiques obtenues pour l'instant avec ces systèmes diminuant le besoin en énergie électrique coûteuse.

Les copropriétaires

La mauvaise cohabitation entre parties communes et privatives, entre chauffage individuel et collectif, ainsi que la difficulté qu'a un citoyen lambda à appréhender les problèmes en raison du manque de coordination entre le politique et le législateur, entre les acteurs internes et externes à la copropriété qui ont bien du mal à se comprendre les uns les autres, font que de toute évidence, si un nouveau métier devait malgré tout être créé pour faciliter l'émergence de la chaleur renouvelable dans les copropriétés les mots "communication" et "médiation" ne peuvent être ignorés plus longtemps.

Complément

Les engagements du Maître d'œuvre

Sur des bases techniques raisonnables fixé par le Maître d'ouvrage et approuvées par Le Maître d'œuvre ce dernier a obligation de résultat. Son étude, remise au Maître d'ouvrage devra faire état des indicateurs de performances suivants :

- Les économies d'énergie réalisées et leur durabilité,
- Le coût de l'investissement (approche coût/efficacité et coût global),
- L'impact sur la réduction de l'effet de serre et la pollution atmosphérique,
- Le caractère démonstratif ou l'effet d'entraînement de l'opération,
- L'impact social (réduction des charges sur les locataires),
- Les autres mesures visant à réduire la consommation d'énergie.

Mention de ces indicateurs devrait être également faite dans les dossiers de demande de subvention pour la réalisation d'investissement, d'équipements mettant en jeu la maîtrise de l'énergie thermique d'origine renouvelable et leur financement par la Région. Les objectifs d'un Maître d'œuvre dans le cadre de la rénovation thermique d'un immeuble ancien consommant 150 m³ de fioul par an et occupé principalement par des propriétaires occupants leur logement à titre d'habitation principale pourraient être les suivants :

- Réaliser une économie d'énergie de 500 000 kWh par an sans limite de durabilité
- Réduire les charges du fait de la diminution drastique de la dépense énergétique et de la génération d'ENR entraînant un impact social favorable important.
- Réduire l'impact sur l'effet de serre et la pollution atmosphérique en supprimant le rejet de gaz nocifs provoqué par la consommation de 150 m³ de fioul par an.
- Obtenir une aide fiscale en raison du caractère démonstratif et de l'effet d'entraînement de cette opération sur les copropriétés voisines en mettant en avant l'absence de livraison périodique de fioul favorise la circulation dans les villes bien encombrés.

Le cycle de l'acheteur

L'achat	Les délais	L'utilisation	Les suppléments	L'entretien	L'usage
* Dans combien de temps le produit demandé sera-t-il disponible ?	Quel sont les délais de livraison du produit ?	L'utilisation du produit exige-t-il formation préalable?	Y a-t-il au contraire nécessité de rajouter des fonctions ou du matériel pour que le système fonctionne correctement ?	L'entretien du produit nécessite-t-il une assistance extérieure ?	Y a-t-il des contraintes d'utilisation ?
Dans combien de temps serez vous prêt à effectuer l'achat?	Quels sont les difficultés pour transporter déballer et mettre en place le nouveau produit ?	Le produit conserve-t-il ses caractéristiques s'il n'est pas utilisé?	Dans l'affirmative quel est leur coût ??	La modernisation ou la remise à niveau du produit est-elle facile à effectuer ?	Si oui sont-elles contraignantes ?
L'emplacement ou est fabriqué ce produit est-il proche et intéressant?	Quel est l'influence du délais de livraison sur le prix de la fourniture ?	Les fonctions demandés au produit sont-elles respectées et opérationnelles?	Dans quel délais ces adjonctions pourront-elles être assurées ?	Quel est le coût de cet entretien ?	Sont-elles en rapport avec des dispositions légales?
L'environnement lors de l'achat est-il favorable?		Y a-t-il redondance ou insuffisances dans les fonctions proposées par rapport à la demande?	Qui va les payer ?		Si oui quel est le coût de ces dispositions ?
			Ces modifications sont-elles faciles à réaliser ?		

De "Blue Ocean strategy" édité par l'INSEAD

Problèmes courants que faire ?

Le Bilan énergétique simplifié (BES) permet dans certains cas d'améliorer le rendement du système de chauffage à moindre frais et d'éviter les surconsommations

1 Le réseau peut être « encrassé »

Le réseau de chauffage peut être « encrassé » ou « emboué » ; on appelle « boues » les dépôts liés à l'oxydation intérieure du réseau. Dans ce cas, il faut chauffer davantage pour obtenir la « bonne température ». Les copropriétés ne procèdent généralement pas assez souvent à ce nettoyage qui n'est parfois jamais effectué ce qui entraîne un encrassement des échangeurs de température et affecte le rendement. Dans un réseau emboué, les pompes s'usent plus vite et les radiateurs sont froids en bas. Une analyse de l'eau de chauffage permettra de savoir si un désembouage s'impose.

Un « désembouage » est une opération délicate et assez coûteuse qui ne peut pas être confiée au prestataire sans précaution (en retour, on réalise des économies sur l'achat des combustibles. Un désemboueur magnétique peut avantageusement être laissé à demeure et en dérivation prévenant toute formation de boue. Ce traitement est dit « doux » et peut éviter la détérioration des tuyauteries. Pendant le désembouage, il est souhaitable d'ouvrir les robinets situés à l'entrée des radiateurs.

2 Le réseau peut être « déséquilibré » hydrauliquement

Les débits d'eau qui circulent dans l'installation doivent être réglés : s'il y a trop de débit dans certains radiateurs surchauffés cela va entraîner un faible débit dans d'autres radiateurs qui seront sous-chauffés. Dans ce cas-là, le chauffagiste va « pousser les feux » pour obtenir que les radiateurs sous-chauffés soient normalement chauffés. Il y aura alors surconsommation généralisée. Il faut donc assurer « l'équilibrage » du réseau, opération délicate qui nécessite parfois d'avoir à changer ou installer certains organes de réglage dans les logements ou parties communes (robinet d'équilibrage en pieds de colonne ou directement sur les radiateurs). L'équilibrage doit toujours être fait dans un réseau désemboué. Une enquête de satisfaction faite pour savoir si la température réglée dans les appartements est suffisante ou non peut être utile.

3 Le bâti de l'immeuble peut présenter des déséquilibres thermiques de structure.

Un pignon froid, un hall d'entrée mal isolé, des « ponts thermiques » des terrasses isolées différemment et vous voilà dans l'impossibilité de chauffer convenablement certaines parties de l'immeuble. Là encore, il faut pousser les feux, donc surconsommer. Il faut « traiter » les différents problèmes liés au manque d'isolation thermique ponctuelle pour éviter les déperditions inutiles et permettre un meilleur équilibrage. Il faudra, ici, penser à faire baisser la température de consigne par votre chauffagiste sous peine de ne pas voir votre consommation diminuer.

Complément

On peut déséquilibrer thermiquement un immeuble en isolant seulement la moitié de la surface de la toiture ou créer un déséquilibre de structure en isolant une terrasse avec 5 cm de l'autre avec 8 cm

(10 cm de polyuréthane est à la limite des coefficients acceptable pour bénéficier du crédit d'impôt

4 Le calorifugeage des tuyauteries est mal conçu, inexistant ou dégradé.

Calorifuger, c'est protéger les tuyaux qui sont dans des endroits froids (cave, parking) pour empêcher les déperditions. L'absence ou la dégradation du calorifugeage entraîne des surconsommations importantes. Il faut remettre en état le calorifugeage dégradé et en mettre là où il manque. Une canalisation non calorifugée peut avoir 8 fois plus de perte qu'une installation calorifugée. Il y a intérêt à concentrer son effort sur les tuyauteries horizontales hors bâti. Le calorifugeage des tuyauteries ECS situées dans les gaines verticales situées à l'intérieur du bâti participe au chauffage de l'immeuble en hiver. L'expérience prouve que les déperditions moyennes annuelles sur l'ECS sont deux à trois fois supérieures à l'énergie utile pour élever la température de l'eau chaude,

5 La régulation est défaillante ou primaire .

La régulation permet d'adapter la température de l'eau du circuit, soit à la température extérieure, soit à certaines conditions. (Exemple : ralenti de nuit). Si la régulation est défaillante ou mal utilisée, s'il n'y a aucun ralenti de nuit, on va surconsommer. Il faut réparer ou changer la régulation et agir pour qu'elle soit utilisée efficacement, surtout la nuit. Une régulation défaillante ou mal réglée se remarque par une instabilité de température des logements. Vérifier que la sonde extérieure est bien positionnée Nord, Nord-ouest (2,5 m au minimum au-dessus du sol) elle ne doit pas être influencée par une source de chaleur, cheminée, grille de ventilation.

6 La « demande » de température est excessive de la part de certains occupants.

Chacun connaît des personnes qui — parce qu'elles sont âgées, parce qu'elles doivent rester chez elles, etc. — demandent des températures élevées (22 - 23 degrés) et entraînent les immeubles dans une surconsommation générale. Il n'est pas toujours facile de résister à ces demandes. Pourtant, Une fois le circuit de chauffage propre et bien filtré et correctement équilibré, il existe des moyens. Auparavant, il faudra néanmoins traiter certains dysfonctionnements (déséquilibres thermiques, mauvais fonctionnement des robinets de radiateurs de relever < des répartiteurs) et négocier un bon contrat.

Complément

7 Les occupants ont changé leurs radiateurs sans respecter l'équivalence thermique.

Si la surface de chauffe est inférieure à celle des radiateurs d'origines il peut s'en suivre une surconsommation pour compenser les zones de sous-chauffe

8 Les radiateurs ne peuvent pas être réglés précisément.

Les robinets thermostatiques permettent une « régulation » par radiateur et évitent en principe les « gaspillages ». Quand ils existent, ils peuvent néanmoins être bloqués, le « tartre » qui se trouve dans l'eau pouvant boucher le mécanisme. Dès lors, ils ne jouent plus leur rôle de « régulateur ». *Deux points à retenir :*

Les robinets thermostatiques peuvent en pratique déséquilibrer l'installation. Demander l'avis de votre chauffagiste. Des précautions sont nécessaires à leur entretien les laisser ouverts pendant l'arrêt du chauffage et les manipuler de temps à autre. On ne peut en aucun cas se plaindre qu'il fait trop froid dans son appartement si les robinets à l'entrée des radiateurs sont fermés ou ne sont pas vérifiés

9 Le chauffagiste n'assure pas correctement le réglage et l'entretien de la chaudière

Certains chauffagistes se contentent d'« ouvrir les vannes », ce qui peut coûter cher si les réglages (des brûleurs) ne sont pas bien faits ou si l'entretien des chaudières n'est pas assuré correctement. il faudra donc s'assurer que le chauffagiste Effectue les réglages nécessaires et assure l'entretien. Pour cela, le mieux sera d'abord de consulter le carnet d'entretien de la chaufferie. Quelques indices inscrits vous permettront de juger d'un bon entretien : Le report systématique des températures de départ d'eau chaude (12 fois par an). Les analyses de combustions (au moins deux fois par an). Ensuite, vous pourrez programmer une visite du conseil syndical avec le chauffagiste en chaufferie.

10 Le contrat de chauffage n'est pas « incitatif ».

Beaucoup de contrats de chauffage ne fixent pas des « objectifs » énergétiques au chauffagiste. Dès lors, aucune sanction n'existe en cas de dérive brutale ou progressive des chauffagistes, ce qui, au fil des ans, peut représenter des surconsommations importantes. La solution est de signer un contrat de « résultat » qui va obliger le chauffagiste à respecter des objectifs. En cas de dépassement énergétique, il devra prendre en charge les surconsommations. Pour négocier de tels contrats, il faut néanmoins l'assistance d'un thermicien compétent.

Il pourrait être un peu plus incitatif?

11 Le circuit est mal purgé

La présence d'air dans un circuit hydraulique est toujours source de problème. Si, à l'occasion d'un entretien du circuit celui-ci a dû être vidangé pour assurer le remplacement d'un organe défectueux, il est indispensable de le purger de son air pour que les radiateurs fonctionnent correctement.

Complément

Les robinets de purge- le plus souvent à commande manuelle - sont situés en haut des radiateurs. L'air à évacuer se concentre a plupart du temps aux points hauts dans les radiateurs situés au dernier étage.

C'est là qu'il faut concentrer la purge. Les purges automatiques sont parfois source de problème en raison de leur conception.

12 Les consommations d'énergie pour l'eau chaude sont excessives

Dernier problème et non des moindres, celui des surconsommations liées à l'eau chaude qui peuvent venir, par exemple :

1. d'un rendement d'été des chaudières dégradées. Deux chaudières fonctionnent parfois en // alors qu'une seule chaudière est nécessaire pour produire l'eau chaude du sanitaire ce qui diminue notablement le rendement et augmente inutilement la consommation fioul
2. des calorifugeages des tuyaux dégradés
3. des températures trop élevées sur l'ECS, etc.

Ce problème est délicat, et ne devra pas être négligé, car l'eau chaude peut représenter jusqu'à 40-50 % du total des dépenses de combustible lorsque le système de production et de distribution est inadapté. Ces graves problèmes qui ne peuvent parfois être résorbés en totalité sans implantation d'une nouvelle chaufferie.

Les charges courantes

Il y a de nombreux postes qui conditionnent les charges courantes d'une copropriété : Les assurances, la réparation des dégâts causés par les fuites éventuelles, le salaire d'un gardien éventuel, l'entretien des ascenseurs.... Parmi tous ces postes il y en a deux très liés l'un à l'autre qui conditionnent en grande partie les charges courantes :

1. Le prix de l'eau consommée
2. Les dépenses de combustible pour se chauffer et réchauffer l'eau chaude sanitaire.

Exemple avec le fioul domestique dans un immeuble de 5000m² SHON

	Quantité annuelle m ³	Prix TTC le m ³ €	Coût total €
Eau froide	7000	4	28 000
Fioul domestique	115	650	75 000

Dépense annuelle totale environ 103 000 €.

Cette dépense représente presque la moitié des charges courantes. Si l'on néglige les fuites, les 7000 m³ d'eau froide consommées se répartissent sensiblement ainsi :

- 1500 m³ d'eau chaude sanitaire (environ 4 m³/jour)
- 1000 m³ d'arrosage jardin
- 4500 m³ d'eau aux robinets d'eau froide

Nota :

Avec une consommation annuelle de notre immeuble en eau froide hors arrosage de 4500 m³, 68 appartements et un coefficient d'occupation supposé égal à 1.5 (En France un habitant sur 7 réside seul dans son logement), on obtient une consommation journalière de $4\,500\,000 / (365 \times 68 \times 1.5) = 120$ litres

(Valeur moyenne généralement admise bien qu'aucun organisme n'ai pu se mettre d'accord)

Pour le fioul la répartition des énergies utiles (et donc des dépenses) entre l'ECS et le chauffage est approximativement la suivante (statistiques):

- 1/3 pour l'ECS
- 2/3 pour le chauffage

La répartition de notre dépense actuelle de 103 000 € est donc approximativement la suivante:

Complément

Eau chaude	31 000 €	(20,6 €/m ³)
Chauffage	50 000 €	
Eau froide	22 000 €	(4 €/m ³)

Soit un coût de l'eau chaude environ 5 fois supérieur au coût de l'eau froide!

On peut aussi estimer quel est le coût de l'eau chaude pour cet immeuble à partir de sa consommation journalière de fioul l'été (environ 90 litres de fioul utilisés uniquement pour assurer l'ECS) ce qui correspond à une dépense de $90 \times 0,65 = 58,5$ € pour chauffer 4 m³ soit un coût réel de l'eau chaude de $(4 + 58/4) = 18,5$ €/m³, dépense proche de la valeur ci-dessus. Lorsque la chaufferie comprend plusieurs chaudières fonctionnant en // au lieu de fonctionner en cascade la quantité de fioul utilisés journalièrement pour assurer l'ECS) augmente.

Il y a beaucoup de progrès à faire dans ce domaine dans la plupart des immeubles :

- Soit concevoir une génération collective thermodynamique semi instantanée type PAC avec un COP de 4 ramenant le coût de l'eau chaude à environ 7 €/m³

- Soit une génération privative instantanée électrique dans laquelle la production d'ECS est proche du point de consommation supprimant les pertes thermiques en ligne. Dans ce dernier cas on peut estimer le coût du m³ d'eau chaude à environ 12 €/m³, soit 3 fois le prix de l'eau froide. (Voir documents Stiebel Eltron sur le chauffe eau électrique instantané)

Projet de rénovation de l'immeuble

Introduction

L'immeuble pour lequel ce projet de rénovation thermique a été élaboré est situé dans le quartier des années 30 à Boulogne Billancourt en banlieue parisienne.

Il a été construit en 1968 et a une structure solide mais il a 40 ans.

Les besoins, les modes de vie et son environnement ont évolués.



Notre immeuble

La durée de vie d'un immeuble est de l'ordre de 300 ans pour une durée d'acquisition voisine de 20 ans. Les garanties sur gros travaux sont souvent de 10 ans, durée sensiblement égale à l'espérance de vie d'une voiture alors que celle d'une chaudière est voisine de 30 ans.

Politique d'entretien de l'immeuble

Pendant les 10 premières années, la façade de l'immeuble dont il est question s'est fissurée pour des raisons inconnues et il n'a malheureusement pas été possible de faire intervenir la garantie décennale. Il a fallu ensuite changer la chaudière, mais par la suite l'échéance de travaux de plus en plus nombreux et importants, voire urgents, ont été progressivement repoussés saufs ceux imposés par la réglementation. Réaliser les travaux tardivement, dans la précipitation et l'urgence augmentent les charges de la copropriété. Dans ce cas aucune politique n'est à mettre en place, cependant la politique qui consiste à penser que le long terme est une succession de courts termes est une mauvaise politique budgétaire pour une copropriété. Cette politique du coup par coup dégrade lentement le bien. Une autre politique consiste à coordonner les travaux pour obtenir un résultat consensuel qui valorise l'immeuble. Pour cela il faut établir ses besoins, planifier la réalisation et appliquer le plan qui en résultera.

Politique planifiée

Ceux qui disent que la copropriété est un long fleuve tranquille se trompent.

Elle l'était peut être autrefois comme la rivière sauvage originelle sans barrage, mais lentement elle vieillit, les obstacles apparaissent, la vétusté augmente petit à petit, les façades se lézardent, les tuyauteries se corrodent lentement, les réseaux de chauffage et les échangeurs de températures s'encrassent progressivement, les systèmes de chauffage dans les immeubles anciens fonctionnent parfois au delà de leurs espérances de vie. Les sous-ensembles tels que les chaudières et leur régulation, les radiateurs, les fenêtres ainsi que les dispositifs de ventilation, le calorifugeage des tuyauteries voire les tuyauteries elles mêmes atteignent trop souvent un degré de vétusté proche des 100% diminuant les rendements alors que l'énergie primaire se raréfie. Les façades des immeubles, rarement nettoyées lorsqu'elles sont lavables, souvent dégradées, devraient être isolées et rénovées.

Il peut être du devoir du syndic d'une copropriété d'inciter les copropriétaires de mieux assurer l'entretien de l'immeuble qu'ils sont en charge de gérer. Une politique planifiée implique certes un engagement fort de la copropriété et de son conseil syndical, une amélioration de l'existant avec campagne de mesure préalable, la surveillance du prix des combustibles et de la fiscalité appliquée sur ceux-ci est souhaitable compte tenu de l'aggravation prévisible de cette dernière. Cette politique de vigilance incluant un contrôle de la comptabilité du syndic permet de minimiser les charges. L'augmentation de la valeur patrimoniale du bien passe nécessairement par une remise à niveau des équipements. on commence à mieux estimer la valorisation du patrimoine qui résulte des travaux de rénovation. La revue "*Particulier à Particulier*" estime que la valeur d'un bien à la revente peut être majoré de 8% entre une façade et des parties communes en « bon » état et en « mauvais ». Pourcentage ne tenant pas encore compte de la valorisation de la valeur de l'immeuble procurée par l'amélioration du niveau énergétique de celui-ci*. Finaliser tous les petits travaux en étalant ceux-ci sur le long terme est une politique de bon sens. La décision d'une assemblée générale consistant à étaler sur 10 ans les travaux préliminaires et à limiter le montant de ceux-ci à environ à 10% des charges annuelles courantes peut être une bonne pratique.

Les deux politiques de réhabilitation

En 1968 lors de la construction de l'immeuble dont il est question, celui-ci avait un certain niveau de standing. L'outrage des ans lui fait perdre progressivement son niveau. Il y a deux possibilités:

1. Rénover à l'identique. Par exemple: réparation de la façade à l'identique, nettoyage de la ventilation, isolation minimum juste suffisant pour avoir les avantages fiscaux.
2. Rénover pour obtenir un niveau réactualisé de standing et de normes. Par exemple: restauration à l'aspect identique de la façade mais avec isolation renforcée sous forme d'une vêtue, pose de fenêtres double vitrage, isolation renforcée des toitures, pose éventuelle d'une VMC sur la ventilation en complément du nettoyage, mise en place éventuelle d'une chaufferie moderne à base d'ENR etc..

* Cela va changer. Il est question de pénaliser les agents immobiliers ne communiquant pas à l'acheteur le diagnostic de performances énergétique du bien par une forte amende voire une peine de prison !

Complément

Il y a donc un dilemme;

« 1 », dépenser moins sans aides ou à défaut un emprunt à un taux raisonnable de 5%, ou bien :

« 2 », dépenser plus avec des aides conséquentes et un prêt éventuel à taux zéro.

Dans l'hypothèse 1 nous aurons un immeuble de 1968, dans l'hypothèse 2 un immeuble de 1968 rénové par exemple selon le label HPE rénovation 2009 (voir page 13), voire un objectif plus ambitieux se rapprochant des bâtiments basse consommation. La valeur de l'immeuble n'est pas la même dans les deux cas mais la valorisation du patrimoine est pour l'instant difficile à évaluer. La réglementation devrait prochainement imposer en complément du livret de chauffage, la mise en place d'un *diagnostic de performance énergétique collectif* adapté aux copropriétés ce qui va changer la donne et valoriser les immeubles ayant fait l'effort de s'adapter aux nouvelles recommandations.

Pour un investissement important, le consensus dans l'hypothèse 2 est très difficile à trouver. Il y a heureusement plusieurs niveaux d'isolation intermédiaires. Si l'on se contente de rénover la chaufferie en conservant la combustion et en prévoyant un investissement minimum sans isoler le bâti et sans rénover la façade nous verrons que pour une centaine d'appartements de 2 à 3 pièces de taille moyenne l'investissement est limité à environ 150 k€. Si l'on prévoit un "*bouquet de travaux*" avec isolation plus ou moins renforcée et adoption d'une chaufferie mixant le gaz naturel et une pompe à chaleur en relève du type pompe à chaleur aquathermique ou aérothermique générant des ENR l'investissement peut atteindre 2, 5 Md'€ Les aides associées à cette dernière solution permettant de financer son surcoût par rapport à la solution tout gaz vont être relativement importantes pour un temps mais vont diminuer progressivement au fur et à mesure que ces rénovations vont se développer. Le surcoût de départ est moindre avec une PAC aérothermique par rapport à une PAC aquathermique, mais les frais d'exploitation plus important en raison d'un moins bon rendement

Pour respecter la réglementation thermique dans l'existant qui vise à encadrer les réhabilitations thermiques lourdes pour des surfaces d'immeubles supérieure à 1000 m², le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) va même jusqu'à évoquer un coût global d'investissement pouvant aller jusqu'à 25% de la valeur du bâtiment, soit un investissement deux à trois fois supérieur à la plus importante des deux valeurs ci-dessus (6 Md'€), compte tenu du prix moyen du m² dans la proche banlieue parisienne. Le retour économique est alors démesurément long et ne peut avoir de signification que si les travaux permettent d'éviter la démolition du bâtiment pour des raisons sanitaires. Il n'est plus question ici d'éviter une décote importante en cas de revente.

La logique du "*bouquet de travaux*" ne sera véritablement adoptée que lorsque le retour économique sera acceptable pour la copropriété avec des aides fiscales de toutes natures améliorant enfin le pouvoir d'achat de ses occupants. Mais l'état risque aura-t-il les moyens de ses ambitions ?

Le financement:

Plusieurs notions interviennent :

- *Vétusté*: C'est la partie que chaque copropriétaire doit normalement investir pour maintenir la valeur de son bien.
- *Certificat d'économie d'énergie (CEE)*: C'est un moyen supplémentaire de faciliter le retour sur investissement. (Cette politique liée à l'application du principe pollueur payeur sous forme de bonus malus devrait inciter les copropriétés à adopter une chaufferie mixte à base d'ENR, malheureusement les règles d'attribution des CEE ne sont pas encore clairement établies et il faudra probablement attendre que les méthodes d'application du principe pollueur payeur rentrent dans les faits pour qu'elles le deviennent.
- *Crédits d'impôts et prêt à taux zéro (PTZ)*
Ce sont les moyens utilisés par l'état afin d'aider les copropriétaires à appliquer sa politique énergétique. Le remboursement du prêt à taux zéro est financé par les économies réalisées sur l'achat des combustibles.
- *Économie sur le combustible*: C'est le juste retour de notre effort.
- *Valorisation de nos appartements* soit en termes de prix soit en terme de délais de vente.

La rénovation de l'immeuble est donc une politique de bon sens mais il faut avoir la volonté de l'appliquer et s'en donner les moyens. Un conseil syndical doit préparer une étude prévisionnelle, mais par la suite il faut faire réaliser un audit thermique par un B.E, le voter et l'appliquer les années suivantes. Ayant des compétences thermiques multidisciplinaires, ce BE devra accompagner et assister la copropriété agissant en tant que Maître d'ouvrage jusqu'à la fin des travaux de rénovation et diagnostic final. Ce BE agissant en tant que Maître d'oeuvre aura obligation de résultat dans le sens ou le remboursement du PTZ éventuel finançant l'investissement devra effectivement être compensé par les économies réalisées sur l'achat des combustibles.

Complément
Rénovation d'une chaufferie en copropriété

Questionnaire destiné uniquement à la rénovation

<i>Caractéristiques de l'immeuble</i>	
Année de construction <input type="text"/>	Disponibilité tension 380 volt triphasée : Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>
Surface SHON en m ² <input type="text"/>	Puissance électrique disponible kW <input type="text"/>
Nombre d'appartements <input type="text"/>	EJP ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>
Nombre d'étages <input type="text"/>	Ville <input type="text"/> Code Postal <input type="text"/>
Niveau d'isolation actuel G* en watt/m ³ et °C Très mauvais 1,8 <input type="checkbox"/> Mauvais 1,2 <input type="checkbox"/> Moyen 0,9 <input type="checkbox"/> Pas connu* (à définir) <input type="checkbox"/>	
<i>Chauffage existant</i>	
Connaissez-vous la température de départ vers les radiateurs pour 0°C extérieur ? : Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Si oui quel est est-elle <input type="text"/> °C	
Consommation actuelle annuelle Fioul (m ³) <input type="text"/> Gaz naturel (kWh) <input type="text"/> Electricité** (kWh) <input type="text"/> Bois (kg) <input type="text"/>	
Ancienneté des chaudières (années) <input type="text"/>	Emetteurs
Nb de cheminées pour évacuation fumées : Une <input type="checkbox"/> deux <input type="checkbox"/>	Radiateurs à eau <input type="checkbox"/> électrique <input type="checkbox"/>
Evacuation fumée par ventouse ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>	acier <input type="checkbox"/> fonte <input type="checkbox"/>
Les chaudières principales assurent elles l'ECS ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>	Planchers à eau électrique
Puissance des chaudières en place en kW <input type="text"/> NB <input type="text"/>	chauffants <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<i>Eau chaude sanitaire (ECS)</i>	
Production existante : Par chaudière principale ? <input type="checkbox"/> Par chaudière auxiliaire ? <input type="checkbox"/> Par génération électrique collective <input type="checkbox"/> Puissance en kW <input type="text"/> Consommation annuelle***kWh <input type="text"/>	
<i>Régulation existante</i>	
Régulation fonction : De la température extérieure ? <input type="checkbox"/> De la température ambiante ? <input type="checkbox"/>	Résultat obtenu par : <input type="checkbox"/> ction sur vannes 3 voies/4 voies ? <input type="checkbox"/> Par action tout ou rien : sur bruleur ? <input type="checkbox"/> sur circulateur ? <input type="checkbox"/> Robinets thermostatiques sur radiateurs ? <input type="checkbox"/>
<i>Solution souhaitée pour l'isolation (D¹) en kWh/m²)</i>	
Sans isolation préalable <input type="checkbox"/> HPE rénovation 2009 (D=195) <input type="checkbox"/> BBC rénovation 2009 (D=104) <input type="checkbox"/>	
<i>Solution souhaitée pour la nouvelle chaufferie</i>	
Chaudière(s) à condensation mono fluide Gaz <input type="checkbox"/> Fioul <input type="checkbox"/>	PAC en relève de chaudière type <i>air eau</i> <input type="checkbox"/> PAC seule en substitution de chaudière : Hte température type <i>eau eau</i> <input type="checkbox"/> Mixte <input type="checkbox"/>

* Audit thermique nécessaire si non connu ** Somme des consommations individuelles

*** Déperdition en ligne incluses

1) **Nota** Valeurs de D pour label en région parisienne (correction à prévoir selon région)

Proposition de rénovation thermique

Nous proposons la chronologie suivante pour les étapes constituant la rénovation thermique de notre immeuble :

- 1) *L'équilibrage thermique des tuyauteries*
- 2) *L'isolation sommaire du bâti comprenant le rééquilibrage thermique des terrasses, les doubles vitrages, le traitement des ponts thermiques des planchers en béton, les boîtes à volets roulants et l'amélioration du calorifugeage des tuyauteries d'eau chaude hors bâti*
- 3) *La mise en place d'une chaufferie composée de deux chaudières gaz à condensation fonctionnant en cascade et sa régulation*
- 4) *La mise en place du complément ENR et de sa régulation associée*
- 5) *La mise en place à titre privatif de radiateurs basse température pour ceux qui en font la demande (confort amélioré)*

Poste 1) L'équilibrage thermique des tuyauteries de chauffage incorporant les parties communes puis individuelles si cela s'avère nécessaire.

Postes 2) Isolation ROI

Réduction de notre besoin énergétique voisin de 30 %. Ceci par un effort d'isolation bien ciblé et le choix de composants au moins conformes aux anciennes normes RT 2005. Ceci en isolant thermiquement les façades sans balcons au niveau des ponts thermiques, en remplaçant dans la mesure du possible nos ouvertures simple vitrage par des doubles vitrage, en améliorant l'isolation des boîtes à volets roulants et en améliorant au mieux le calorifugeage des tuyauteries d'eau chaude horizontales hors bâti.

Postes 3) Génération

Comme la chaufferie actuelle, la nouvelle chaufferie assurerait le chauffage et l'eau chaude du sanitaire mais cette fois en demi instantané ce qui permettrait avec l'amélioration engendrée par l'isolation de limiter la puissance installée à 2 chaudières de 200 kW au lieu des 800 kW actuel. (Valeur à confirmer par l'audit thermique). Le coût d'une telle chaufferie incorporant les matériels interfaces appelés à faciliter la mise en place de la génération ENR est proche de 200 000 €

Complément

Poste 4) Complément ENR

L'objectif est d'obtenir des devis recevables pour les postes 2 à 4 ci-dessus pendant l'été 2013 de façon à voter les travaux lors de l'AG 2013 pour réalisation pendant la période allant de mars à septembre 2014. Ce temps est nécessaire pour préparer les nombreux dossiers de demande de subvention au titre du « bouquet de travaux » afin d'améliorer le retour sur investissement. L'économie de combustible est importante. On peut au moins prévoir :

- 50 % de notre dépense actuelle en fioul après achèvement des postes 1 2 et 3)
- 25 % environ de notre dépense actuelle en fioul après mise en place du complément ENR 4)

En raison des performances améliorées et d'un regroupement des composants dans la chaufferie actuelle une option PAC *eau eau* est plus intéressante que la PAC *air eau* qui avait été proposée par Eurotec. La demande qui sera faite au responsable du BE ayant en charge « l'audit énergétique » maintenant obligatoire sera de respecter au mieux la chronologie ci-dessus et de participer à l'élaboration des dossiers afin de placer la copropriété dans une position favorable à la délivrance de l'aide fiscale accordée au titre du "bouquet de travaux".

Réutilisation de la vieille cuve à fioul ?

La cuve de 30m³ enterrée dans le jardin peut être laissée en place après avoir été rempli de tout venant. Une étude pourrait aussi être faite dans l'optique de sa réutilisation après sablage et peinture intérieure aux fins de récupération des eaux de pluie ou de retour de la PAC.

Nota important

La solution consistant à ne prévoir que les postes 1) et 3) nous dispense de faire l'audit obligatoire dans l'immédiat mais dans ce cas la diminution de nos frais d'exploitation par rapport au fioul (100 000€/an) sera limitée à environ 25% et nous aurons malgré tout obligation à faire cet audit avant 2017.

Un rapport qui valide ce qui précède a été laissé chez le gardien pour consultation. Quelques CD également à l'usage de ceux qui ont un PC. *Utilisation du CD* : Avec les anciennes versions de Windows : ça démarre directement, avec Windows 7 il faut exécuter *opendoc.exe* . On accède à la page souhaitée directement avec Acrobat Reader
Pour ceux qui ont internet voir le site de l'immeuble.

Les Lutins thermiques

La rénovation énergétique UNPI ? d'une copropriété

Une copropriété n'est pas une entreprise mais une construction juridique. Pour cette raison, la *rénovation énergétique* d'une copropriété est difficile à mettre en œuvre. Il faut d'abord convaincre l'ensemble des membres du conseil syndical, et cela prend du temps pour la simple raison qu'il faut du temps pour expliquer et se faire comprendre. Les temps de retour étant généralement supérieurs aux attentes des copropriétaires, il est essentiel de bien comprendre l'importance des aides financières et de bien les construire. Cette compréhension nécessite un accompagnement externe avec quelques réunions d'informations spécifiques échelonnées dans le temps.

Les quatre étapes préliminaires à prendre en compte au titre de la *rénovation énergétique* des logements sont :

1. Adapter les priorités des travaux à la configuration des bâtiments à l'aide d'un « *audit énergétique* »
2. Engager la copropriété et son syndic dans une réflexion collective
3. S'inscrire dans la durée en engageant une procédure sur 4 à 5 ans
4. Se faire assister d'un premier conseil externe (ARC, UNPI, ADEME, PACT...) coût approximatif 150 à 250 €

Une fois le texte de l' « *audit énergétique* » rédigé, l'audit 360 est la deuxième étape qui permet véritablement de faire le tour du problème. Le chiffre 360 doit être perçu comme la volonté de parachever le travail préliminaire de collaboration effectué entre la copropriété et son syndic au titre de l' « *audit énergétique* ». Un deuxième conseil externe complémentaire du premier entre alors dans le circuit. Expérimenté, il a pour difficile mission de comprendre et de finaliser le travail préliminaire effectué au titre de l' « *audit énergétique* » et de ses 4 premières étapes. Ceci en élaborant un outil d'aide à la décision sous la forme d'une étude technique définissant les actions à prendre, leur ordre de préférence et leur coût. L'objectif de cette assistance supplémentaire est de mettre les copropriétaires au centre du cercle et de la démarche condition indispensable pour mettre en place la rénovation thermique. Ingénieur expérimenté et diplômé en génie climatique, ce deuxième conseil externe a pour mission de finaliser l'étude préliminaire ébauchée lors de l' « *audit énergétique* ». Son étude permet de chiffrer l'investissement sous forme de devis indispensables à la mobilisation des financements. Pour pouvoir bénéficier d'une aide fiscale conséquente, la rénovation thermique d'un immeuble ou d'un groupe d'immeuble ne peut être menée à son terme que si elle s'appuie sur les 3 piliers de la décision que constituent : l'*ISOLATION*, la *GENERATION* et en dernier ressort la

Complément

valorisation du *PATRIMOINE*. L'ensemble des copropriétaires joue en définitive le rôle de Maître d'œuvre dans cette opération puisque ce sont eux qui financent en bonne partie l'investissement de départ. Pour que l'assemblée des copropriétaires vote l'investissement et bénéficie de ses avantages, il est indispensable que chaque copropriétaire se sente au centre de la démarche et qu'il ait une vision claire de la rentabilité de la dépense. Etant donné la situation économique actuelle, il est clair que les copropriétaires ne veulent pas que cet investissement de départ affecte, même temporairement, leur pouvoir d'achat. Le drame de la situation de blocage actuelle est que personne ne leur a expliqué pour l'instant clairement, chiffres à l'appui, les avantages financiers qu'ils peuvent retirer d'une *rénovation énergétique* bien conduite englobant l'amélioration de l'isolation associée à une génération thermique collective moderne. Un autre drame de cette situation de blocage est que les différents organismes acteurs plus ou moins proches de cette *rénovation énergétique* n'ont pas fait jouer la fibre citoyenne des copropriétaires en leur expliquant clairement les avantages financiers que la France - et indirectement eux-mêmes - peuvent retirer de la diminution de la consommation en énergie primaire (EP). Ces blocages sont d'autant plus dommageables qu'une *rénovation énergétique* bien conduite techniquement et financièrement et s'appuyant sur les 3 piliers que constituent l'*ISOLATION*, la *GENERATION* et le *PATRIMOINE* n'affecte en aucun cas le pouvoir d'achat des copropriétaires, même temporairement. Des sociétés expérimentées spécialisées dans l'analyse globale de la *rénovation énergétique* commencent à faire leur apparition (ENR concept, Socotec) Cela a un coût et les frais d'assistance au titre d'un audit 360 ne sont pas donnés (8 500 à 12 500€). En compensation leurs conseils, leur connaissance du marché et des fournisseurs fait que le retour que l'on peut en attendre est loin d'être négligeable.

Concernant le *PATRIMOINE*, les prix dans l'immobilier ont atteint un tel niveau que le coût de la *rénovation énergétique* en tant qu'investissement initial représente bien peu comparativement à la valeur du bien. Pour s'en convaincre, il suffit de comparer la valeur d'un appartement de 100 m² à 6000 €/m² soit environ 600 000 € à l'investissement de départ d'une telle rénovation avec *bouquet de travaux* se situant dans une fourchette allant de 12 000 à 19 000 € hors aide fiscale selon les cas, soit environ 2,5% du *PATRIMOINE*. Ce qui pourrait par contre influencer à l'avenir est la notion de « valeur verte » du bien immobilier qui pourrait devenir un élément important dans la vente ou l'achat d'un bien immobilier.

Compte tenu de la crise économique actuelle, cet investissement est pourtant loin d'être négligeable et il est bien légitime que les copropriétaires s'intéressent de près au retour de leur dépense. Il faut toutefois considérer qu'habituellement à la combustion ou au chauffage électrique par effet Joule et ancrés dans ces solutions, les

Complément

copropriétaires ne perçoivent pas bien les inconvénients liés à ces modes de chauffage en raison des coûts qu'ils induisent en approvisionnement d'énergie primaire (EP). Ceci pour la raison qu'aucun acteur de la *rénovation énergétique* ne leur a véritablement expliqué comment, à confort égal, leur portefeuille pouvait bénéficier d'une réduction significative de la consommation de cette forme d'énergie extrêmement onéreuse. Personne ne les a informés que l'argent qu'ils empruntent pour financer la *rénovation énergétique* de leur immeuble peut être remboursé par les économies réalisées du fait de la diminution du besoin en énergie primaire. Légitimement préoccupés par leur pouvoir d'achat, il est important que les copropriétaires aient une vision plus claire du temps de retour sur investissement de la *rénovation énergétique* de leur immeuble. Il est important qu'ils prennent dès à présent conscience que les économies réalisées en raison d'une consommation en énergie primaire moindre sont dès à présent telles que ces économies financent le prêt ayant servi à financer l'investissement de départ préservant ainsi leur pouvoir d'achat. Et ceci dans des temps raisonnables. Personne ne les a informés que le domaine de la finance pour implacable qu'il soit, n'est pas aussi obtus qu'on veut bien le dire dès lors que celui qui prête est assuré de rentrer dans ses fonds dans des périodes raisonnables n'excédant pas 10 ans. Dès lors qu'un plan de financement bien conçu comprend des aides fiscales qui permettent de réduire cette période de 10 ans d'une façon significative. La notion de temps de retour économique d'une *rénovation énergétique* est importante, elle conditionne en effet la durée du prêt servant à financer la partie de l'investissement initial non subventionnée. Ceci de telle sorte que les fournisseurs soient payés pour la totalité de leur prestation selon les modalités prévues dans le contrat qu'ils ont signé avec le Maître d'œuvre. Il est plus difficile d'obtenir un retour sur investissement intéressant si l'on procède seulement à l'isolation. Certes l'énergie la moins chère est celle que l'on ne consomme pas mais lorsque la *rénovation énergétique* ne comprend que l'isolation ou que la génération, elle ne se plie pas à la recommandation de l'état de concevoir une *rénovation énergétique* regroupant ces deux postes simultanément dans ce que l'on appelle un "bouquet de travaux" et les aides fiscales sont moindres. Si l'on ne réalise par exemple qu'une amélioration de l'isolation en remplaçant les fenêtres simple vitrage par des doubles vitrages, les prix pratiqués en France conduisent la copropriété à des retours économiques supérieurs à 10 ans (1,3 €/KWh économisé annuellement) qui sont la plupart du temps jugés inacceptables. Dans le cas où l'on envisage une isolation complète incluant simultanément les fenêtres et toutes les cloisons opaques du bâti l'investissement ne conduit à une économie d'énergie primaire importante, pouvant atteindre 60% qu'à la condition que l'immeuble ne comprenne pas de façades avec balcons. Dans le cas contraire et en supposant par exemple que la moitié des façades aient des balcons on arrive à la conclusion qu'il faut souvent investir plus de 2€ par KWh économisée annuellement ce qui conduit avec un prix de

Complément

l'énergie primaire à 0,1€/KWh, à des temps de retour économique inacceptables supérieurs de 20 ans. A tel point que dans certaines configurations une copropriété peut légitimement s'interroger sur le bienfondé de mettre en quelque sorte la charrue avant les bœufs en prévoyant la GENERATION avant l'ISOLATION. Ce scénario inhabituel est pourtant parfaitement envisageable. Les générations modernes qu'elles soient équipées de chaudières nouvelle génération à condensation ou de pompes à chaleur modernes sont en effet capables de répondre ensuite à un nouveau besoin thermique plus faible si l'isolation est reportée dans le temps pour des raisons budgétaires. Ceci sans que les performances ne soient affectées et en tout cas mieux que ne pouvaient le faire les anciennes chaufferies en raison de leur incapacité à couvrir un besoin en puissance suffisant. Cela peut être le cas si l'on échelonne par exemple les dépenses en ne réalisant dans un premier temps et à partir d'anciennes chaudières au fioul que la modernisation de la chaufferie vers le gaz naturel vers des chaudières à condensation et un complément ENR éventuel. Le temps de retour économique peut alors être sensiblement inférieur à 10 ans et jugé acceptable par la copropriété qui lance un emprunt raisonnable sur la même période pour financer la rénovation de la chaufferie dans ce sens. Il apparaît donc que si la copropriété ne peut réaliser à la fois l'isolation du bâti et la génération suite à un problème de financement avec la banque, qu'elle peut décider de reculer l'isolation du bâti dans le temps pour ne pas affecter le pouvoir d'achat des copropriétaires. Si l'on se trouve dans ce cas de figure et que l'on se fixe comme objectif du poste isolation une réduction de 30% des déperditions, la génération sera alors surdimensionnée de la même valeur après achèvement de l'isolation sans que cela nuise à son fonctionnement. La plage de puissance d'une chaudière moderne allant de 20 à 100% de la puissance nominale la nouvelle plage sera certes un peu inférieure à 5 mais la chaufferie continuera à fonctionner dans des conditions parfaitement acceptables.

Chaque immeuble est, on le remarque, un cas particulier. On observe aussi que les solutions ne manquent pas. Bien évidemment le poste isolation est important puisque l'énergie la moins chère est celle que l'on ne consomme pas. Il est toutefois également important que la copropriété prenne conscience que l'énergie la plus chère est celle que l'on consomme mal.

Il est important d'être sobre. Mais cette sobriété ne signifie pas qu'il faut se priver. Etre sobre peut signifier qu'il faut concentrer ses efforts afin d'éviter un régime thermique en légère surchauffe sous le prétexte que cela facilite l'équilibrage thermique du réseau hydraulique et permet de satisfaire tous les occupants. Etre sobre c'est surtout réaliser qu'il est maintenant possible à confort thermique égal de consommer moins d'énergie primaire (gaz ou électricité) avec les GENERATIONS modernes.

Complément

Il est important que les copropriétaires et leur syndic sachent :

1. qu'en consommant 3 fois moins d'énergie primaire pour se chauffer, ils divisent la douloureuse par 3.
2. que cette diminution des frais d'exploitation de la chaufferie permet d'atteindre un temps de retour économique n'excédant pas 7 ans. Ceci à condition que cette *rénovation énergétique* soit conduite par un professionnel expérimenté et que le syndicat des copropriétaires donne son accord pour une *rénovation énergétique* sous la forme d'un « bouquet de travaux » incluant un poste GENERATION performant.
3. que ce temps de retour économique va aller en diminuant au fur et à mesure que le prix de l'énergie primaire flambe et que les techniques de maîtrise de la performance s'améliorent.

Les copropriétaires, premiers acteurs et Maître d'œuvre de la *rénovation énergétique* en tant qu'investisseurs responsables doivent chercher à réduire ce temps. Il est essentiel qu'un minimum de confiance s'établisse entre eux et leur syndic. Sans ce minimum de confiance rien n'est possible. L'établissement d'un audit énergétique collectif demande beaucoup de travail. La copropriété a dans tous les cas intérêt à réduire la durée du calendrier de l'audit énergétique. Prenons un exemple. Supposons que le conseil syndical mette 4 ans sans dépasser la date butoir de fin 2017 pour finaliser les quatre étapes préliminaires de l'audit et convaincre la majorité des copropriétaires et qu'elle lance l'investissement et réalise les travaux dans la foulée la 5^{ème} année. Il est intéressant d'examiner les conséquences d'un tel calendrier dans deux cas de figures distincts. Le premier cas correspondant d'une *rénovation énergétique* à minima comprenant seulement la modernisation de la génération vers le gaz naturel avec des chaudières à condensation à partir d'ancienne chaudières au fioul. Le deuxième cas correspondant à une *rénovation énergétique* dernière génération comprenant en plus de ce qui précède un complément ENR thermodynamique double aérothermique et aquathermique conjugué à un poste isolation du bâti à minima, ceci pour bénéficier grâce à un plan d'aide financières bien construit des conditions fiscales du « bouquet de travaux » associé à celles du *fond chaleur renouvelable* en raison du complément ENR.

Complément

Le tableau ci-dessous résume les conséquences financières pour une copropriété de 68 lots, de 5000 m² SHON (habitable + parties communes chauffées) dont la consommation en fioul initiale annuelle est de 100 m³ de FOD avec un coût de l'énergie primaire à 0,1€ le kWh et un COP moyen de 3 pour le complément de chauffage thermodynamique exploitant les énergies renouvelables.

	Cas 1	Cas 2
Mode de chauffage (avec ECS)	Combustion	ENR
Montant total investissement €	210 000	700 000
Economie en approvisionnement d'énergie primaire €/an	25 000 (rendement)	70 000 (COP 3,3)
Aides fiscales €	10 000 (5%)	300 000 (43%)
Emprunt à la banque €	200 000	400 000
Durée de l'emprunt (années)	8	6
Remboursement mensuel €/lot (Base taux 0%)	35	90
Pouvoir d'achat pendant le remboursement de l'emprunt	inchangé	inchangé
Amélioration annuelle du pouvoir d'achat à la fin du remboursement €/lot	360	1000
Gain annuel en CO ₂ (tonnes)	318	524
Frais de réduction du CO ₂ en €/an (Base de calcul 80 €/tonne)	25 000	42 000
Energie primaire consommée (gaz ou électricité) exprimée en % du besoin thermique	Totalité 100%	33%

Le calcul est effectué pour des lots de même surface habitable. La remise à niveau pour chaque propriétaire est faite par le syndic sur la base du règlement de copropriété.

1. Dans le premier cas, celui de la *combustion*, les économies réalisées annuellement par la collectivité du fait de la diminution de la génération en CO₂ de 318 tonnes par rapport au fioul peuvent s'évaluer sur la base d'un coût de réduction de 80 €/tonne) à 25 000 €. On remarque que cette somme est la même que l'économie annuelle réalisée par la copropriété en approvisionnement d'énergie primaire EP (Du gaz naturel pour cet exemple). Il y a ainsi en quelque sorte une sorte d'équilibre fiscal.
2. Dans le deuxième cas, celui du *chauffage thermodynamique*, le COP global annuel peut varier entre 4 et 2 selon les options adoptées pour parfaire ou non le chauffage thermodynamique. Le calcul a été réalisé pour un COP moyen de 3,3. Les économies réalisées annuellement par la collectivité dans ce cas sont sensiblement plus importantes (Diminution de la génération en CO₂ de 514 tonnes) correspondant à 42 000 € sur les mêmes bases du coût de réduction). L'économie annuelle de 70 000 € réalisée par la copropriété sur l'achat du combustible primaire EP (De l'électricité pour cet exemple) devient plus importante. Il n'y rien de choquant à ce qu'il en soit ainsi. Il est bien légitime que l'énergie profite à ceux qui font l'effort de la comprendre.

Bilan énergétique simplifié (BES)

Déterminer les besoins en énergie thermique d'un immeuble avant de procéder à sa rénovation thermique n'est pas simple. Il est important de savoir quel est le besoin avant la rénovation pour la simple raison que pour savoir dans quelle direction avancer il faut aussi savoir où l'on se trouve.

L'approche décrite ci-après aide à faire le bilan thermique préliminaire d'un immeuble équipé d'une ancienne chaufferie. Ce bilan thermique préliminaire effectué par le conseil syndical d'une copropriété en liaison avec son syndic n'a pas vocation à se substituer à l'audit réalisé par un BE spécialisé est une base indispensable qui peut inciter une copropriété à s'orienter vers un projet de rénovation global plutôt que vers une somme d'actions ponctuelles. Moyennant quelques prises d'information chez le syndic, cette étude préliminaire servira de base à un BE extérieur qui pourra alors s'engager sur un résultat et établir un "audit" thermique officiel. Il n'est pas toujours facile de définir la répartition des énergies utiles entre le sanitaire et le chauffage d'une chaufferie assurant ces deux fonctions. Lorsque l'on est dans ce cas, quelques relevés et hypothèses peuvent aider à établir cette répartition, par exemple:

1. La connaissance de la consommation annuelle totale de FOD par la copropriété pendant et en dehors de la période de chauffe,
2. L'équivalent thermique de un litre de FOD ou de 1 m³ de gaz naturel (10 kWh),
3. La connaissance du coefficient de déperdition thermique dans les tuyauteries non isolées en watt/m² et °C,
4. La consommation annuelle d'eau chaude en m³ ainsi que
5. Le rendement de la vieille chaudière en fin de vie que l'on supposera, par exemple, égale à 75%. (On peut s'informer chez le constructeur de la chaudière en communiquant la date d'achat et la référence des chaudières.)

Sur la base de ce rendement et d'une consommation annuelle de fioul de 115 m³ c'est une énergie thermique de $1\,150\,000 \times 0,75 = 862\,500$ kWh que la chaudière envoie annuellement sur le réseau hydraulique.

On peut calculer la consommation annuelle en eau froide d'un immeuble de 68 appartements ayant un coefficient d'occupation moyen en zone urbaine de 1,5 personne(s) par appartement. Ceci sur la base de la consommation journalière moyenner en milieu urbain voisine de 150 litres (Hors arrosage d'un jardin éventuel) , par occupant . Cette consommation est de l'ordre de 5400 m³d'eau froide.

On estime statistiquement parlant que la consommation d'eau chaude représente sensiblement le tiers soit 1800 m³. Compte tenu de la chaleur spécifique de l'eau de 4,18 kJ/kg, on peut calculer l'énergie nécessaire pour réchauffer cette eau de 10 à 55°C : $1\,800\,000 \times 4,18 \times (55-10) = 338 \times 10^6$ kJ = 94 000 kWh, soit sensiblement 50 kWh/m³.

Complément

Aspect thermique en liaison avec les tuyauteries

Les tuyauteries constituent une partie importante du réseau chauffage et sanitaire. C'est environ 2 km de tuyauteries qui sont mises en place dans l'immeuble concerné. Elles concernent celles du réseau de chauffage (les plus grosses) et celles du réseau sanitaire (les plus petites). Une part non négligeable de l'énergie est perdue en raison des déperditions thermiques par défaut de calorifugeage des tuyauteries des circuits chauffage et ECS. La partie du circuit d'eau chaude sanitaire logé à l'intérieur du bâti participe pour une part non négligeable au chauffage d'un immeuble pendant la période de chauffe. Cette participation pour une période de chauffe de 232 jours est voisine de $20^* \times 232 \times 24 = 111\ 360$ kWh dans le cas de l'immeuble considéré.

	Tuyauteries verticales Intérieures au bâti	Tuyauteries horizontales Extérieures au bâti
Eau chaude sanitaire	Energie perdue en dehors de la période de chauffe	Energie perdue en cave Calorifugeage des plus grosses valves?
Chauffage	Energie récupérée pour le chauffage pendant la période de chauffe*	Energie perdue en parking Calorifugeage des grosses valves

Nota L'énergie dissipée par défaut de calorifugeage dans les tuyauteries horizontales est totalement perdue

Les pertes thermiques des tuyauteries chauffage disposées au plafond du parking ainsi que celles du sanitaire disposées au plafond des caves sont totalement perdues pour l'immeuble. En général les tuyauteries sont :

1. en dehors du bâti lorsqu'elles sont sur les trajectoires horizontales
2. à l'intérieur du bâti lorsqu'elles sont verticales.

Par bâti il faut entendre les limites de l'immeuble par lesquelles se font les déperditions. Ce point extrêmement important signifie que les déperditions thermiques dans les tuyauteries sont totalement perdues lorsqu'elles sont horizontales

Le circuit sanitaire est aussi la cause d'une perte d'énergie voisine de $20^* \times 133 \times 24 = 63\ 800$ kWh hors période de chauffe.

On y voit donc un peu plus clair sur la part d'énergie annuelle consacrée à l'eau chaude sanitaire qui n'est pas totalement perdue :

94 000 kWh pour échauffer l'eau de 10 à 55°C

63 800 kWh perdus hors période de chauffe dans les tuyauteries ECS.

111 360 kWh de participation au chauffage venant de l'ECS (tuyaux verticaux) pendant la période de chauffe

Soit un total de 269 160 kWh

Complément

Il y a malheureusement en complément à ces chiffres une bonne partie des 862 500 kWh envoyée annuellement par la chaudière sur le réseau hydraulique qui est totalement perdue. Il s'agit de celle perdue dans les tuyauteries horizontales hors bâti par suite d'un mauvais calorifugeage.

La débauche d'énergie actuelle dans les immeubles anciens n'est donc pas uniquement due au rendement modeste des chaudières anciennes ou au manque de sérieux apporté dans leur entretien ou leur réglage. Elle peut être le fait qu'une partie relativement importante de l'énergie thermique produite au départ de la chaufferie est perdue dans les réseaux de tuyauteries horizontales hors bâti. Et ceci d'autant plus que pendant l'hiver, ces tuyauteries sont dans un environnement plus froid que les tuyauteries verticales et d'un diamètre important pour le chauffage. Pour affiner la répartition des déperditions thermiques entre les tuyauteries verticales situées à l'intérieur du bâti et les tuyauteries horizontales hors bâti, on a intérêt à faire valider les pertes par un BE spécialisé et à améliorer autant que faire se peut le calorifugeage.

Pour simplifier le raisonnement et si l'on suppose que la répartition des pertes en ligne est moitié verticale, moitié horizontale il est alors possible de définir la part à affecter au chauffage. Celle-ci est alors la suivante:

862 500 kWh en départ chaudière

157 800 kWh (94 000+ 63800) à déduire puisqu'à attribuer à l'ECS

Soit **704 700 kWh** à affecter au chauffage, ce montant incluant les pertes dans les tuyauteries horizontales hors bâti de 175 160 kWh (111 360 + 63 800) supposées égales à celles des tuyauteries verticales intérieures au bâti.

La différence de 529 540 kWh (704 700 - 175 160) correspondant à l'énergie thermique perdue par conduction dans le bâti de l'immeuble ou ce qui revient au même celle développée par les radiateurs majorée de la participation des tuyauteries verticales.

Le rendement global annuel est très modeste

$$(94\ 000 + 529\ 540) / 1\ 150\ 000 = 623\ 540 / 1\ 150\ 000 = 54\%$$

L'énergie la moins chère étant celle que l'on ne consomme pas, la solution consistant à estimer la nouvelle chaufferie sans améliorer l'isolation ne semble pas très logique. Elle peut pourtant se justifier dans l'ancien par le coût élevé de l'isolation au regard des économies d'énergie réalisées. Devoir investir 2 € par kWh économisé annuellement avec un prix de revient de l'énergie primaire à 0,1 €/kWh entraîne un temps de retour économique de 20 ans. La copropriété peut juger à juste titre qu'un tel retour économique est trop long, elle peut aussi considérer la lourdeur des décisions inhérentes à la copropriété et le retard pris par le législateur dans l'élaboration des textes permettant de faciliter la prise de décision. De plus, le risque que les aides

Complément

fiscales ne soient moindres par le fait que la modernisation de la chaufferie n'est pas associée à l'isolation (bouquet de travaux) est en partie compensé par l'amélioration du rendement chaudière qui peut passer à 95% voire plus avec une chaudière à condensation.

Constatations :

En raison des pertes par défaut d'isolation et de la régulation parfois primaire des chaudières anciennes on observe donc que le rendement global de 54% est très modeste. En raison de la difficulté à isoler les tuyauteries ECS dans les gaines verticales et des pertes actuelles dans les tuyauteries horizontales la répartition entre l'ECS et le chauffage est sensiblement la suivante : ECS 30% , chauffage 70%

Sous réserve d'acceptation par le BE de la répartition 50/50 entre des pertes thermiques en ligne horizontales et verticales, l'étude technique et financière peut se faire sur la base de ces consommations dans le cas où l'on ne procède à aucun travail d'isolation préalable. Si l'on décide de remplacer les chaudières en place par deux chaudières ayant un rendement amélioré de 95%, celles-ci pourront fournir le même besoin de 862 500 kWh n'affectant pas le confort des occupants avec un besoin en combustible limité à 90,7 m³ au lieu de 115 m³ et ceci avec un rendement global sensiblement amélioré de

$$623\ 540 / 907\ 900 = 68,6 \%$$

Calcul du surdimensionnement avec les DJU et le facteur de marche

L'estimation des consommations moyennes annuelles ci-dessus n'est pas la seule méthode possible pour estimer l'importance du besoin thermique. Les notions de degrés jour unifié (DJU) associées au volume habitable plutôt qu'à la surface habitable permettent de mieux déterminer la puissance instantanée maximum que doit délivrer la chaufferie pour satisfaire le besoin. Le surdimensionnement fréquent des anciennes chaufferies trouve son origine dans le fait que les chauffagistes ou les bureaux d'étude avaient pour habitude de prendre des "marges" pour "être sûrs". Les anciennes chaufferies sont souvent beaucoup plus puissantes que le besoin réel. Ainsi, personne n'appelle jamais son chauffagiste pour se plaindre du froid et les logements sont trop souvent en surchauffe alors que la loi interdit de se chauffer à plus de 19°C ! Pour cette raison les chaudières fonctionnent trop souvent à charge partielle avec un rendement dégradé. Par habitude, lorsque le chauffage thermodynamique a fait son apparition, les bureaux d'étude ont continué à sur dimensionner les équipements avec les conséquences désastreuses qui en ont résulté pour la régulation des pompes à chaleur et la progression de cette filière.

Complément

Il y a deux méthodes pour vérifier l'importance du dimensionnement d'une vieille chaufferie: Pour fixer les idées supposons que la chaufferie suspectée de surpuissance soit équipée de deux chaudières de 400 kW unitaire.

La première méthode consiste à calculer la puissance utile maximum à partir des DJU de la région dans laquelle se trouve le bâtiment et sa consommation annuelle en combustible. Prenons par exemple le cas d'un immeuble situé en région parisienne consommant 120 m³ de fioul par avec un DJU de 2200 correspondant sensiblement à une différence moyenne de température avec l'extérieur de 10 °C pour une période de chauffe voisine de 220 jours (7 mois de mi-mai à mi-octobre ou en heures de 5280 heures) . Dans la mesure où l'on estime que 25% au moins peut être affecté à l'ECS les 800 000 kWh consommées annuellement pendant la période de chauffe de 5280 heures permettent de calculer une puissance moyenne requise de étant sur la base de la consommation fioul limitée à environ 150 kW. En supposant que la chaufferie doive être dimensionnée pour assurer le besoin thermique lorsqu'il fait -10°C il faudra donc une puissance de 450 kW pour maintenir +20 °C à l'intérieur de l'habitation.

La deuxième méthode consiste à vérifier le facteur de marche de la chaufferie pour la même différence de température de 10°C entre l'intérieur et l'extérieur. Si une seule chaudière est suffisante pour assurer le besoin alors que son facteur de marche dans ces conditions n'est que de 40% en prenant soin de faire l'essais lorsque le besoin ECS est nul (dans l'AM par exemple) cela signifie que la puissance utile dans ces conditions n'est que de 160 kW (400 x 0,4). Si tel est le cas, il suffit de multiplier à nouveau cette puissance moyenne par trois pour trouver la puissance maximum utile par -10°C extérieur. On trouve 480 kW

Les deux valeurs de 450 à 480 kW utile estimées pour – 10°C sont bien éloignées des 800 kW installé ! De plus concernant la mise en place éventuelle de nouvelles chaudières plus performantes les puissances de 450 à 480 kW ci-dessus ne tiennent pas compte de l'amélioration du rendement qui en passant de 54 à 68,6% situe la puissance requise pour la nouvelle chaufferie à environ 350 kW au lieu de 800 !

Complément

Un audit thermique nécessite la collecte préalable d'informations et une collaboration entre les copropriétaires et le syndic qui gère la copropriété.

Cette collaboration préalable est nécessaire pour assoir la crédibilité vis-à-vis des constructeurs et des bureaux d'études. On dit qu'un problème bien posé est à moitié résolu. Ceci est particulièrement vrai dans le cas de la rénovation thermique dans l'ancien.

Remplir le questionnaire ci-contre suppose que l'on connaisse particulièrement bien son immeuble et que le syndic ait une vision exacte des consommations en fluides de cet immeuble (eau, électricité, fioul ou gaz etc..)

L'année de construction de l'immeuble, son emplacement, la connaissance du ratio surfaces communes chauffées/surfaces privatives chauffée ou en d'autre terme la surface chauffée totale regroupant les surfaces habitables et privatives (Surface SHON), l'ancienneté de la chaufferie, le mode de production de l'eau chaude sanitaire, le type d'émetteur thermique utilisé, la puissance disponible sur le transformateur EDF le plus proche, la température moyenne requise dans les radiateurs par 0°C extérieur, l'existence ou non d'un jardin sont autant d'éléments qu'il est indispensable de connaître pour effectuer une rénovation thermique rentable et bien dimensionnée.

Les copropriétés en se groupant (Benchmark) ont tout intérêt à collecter ces informations sur le support commun de la page suivante. Ces informations sont nécessaires pour que le BE en génie climatique en charge du dossier travail valablement.

Complément

Rénovation d'une chaufferie en copropriété

Questionnaire destiné uniquement à la rénovation

Caractéristiques de l'immeuble			
Syndic	SCHOLER	Adresse	148 rue de Paris Boulogne
Année de construction	1968	Ville	Boulogne Vauthier 1
Surface SHON en m ²	5000	Code Postal	92100
Nombre d'appartements	68	Disponibilité tension 380 volt triphasée : Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>	
Nombre d'étages	5+1	Puissance électrique disponible kW	?
		EJP ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>	
Niveau d'isolation actuel G* en watt/m ³ et °C			
Très mauvais 1,8 <input type="checkbox"/> Mauvais 1,2 <input type="checkbox"/> Moyen 0,9 <input checked="" type="checkbox"/> Pas connu* (à définir) <input type="checkbox"/>			
Chauffage existant : Collectif <input type="checkbox"/> Individuel <input type="checkbox"/>			
Connaissez-vous la température de départ vers les radiateurs pour 0°C extérieur ? : Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>			
Si oui quelle est-elle ? 55 °C			
	Fioul (m ³)	Gaz naturel (kWh)	Electricité** (kWh)
Consommation actuelle annuelle	115		
Ancienneté des chaudières (années)	30	Emetteurs	
Nb de cheminées pour évacuation fumées : Une <input checked="" type="checkbox"/> deux <input type="checkbox"/>		Radiateurs à eau <input checked="" type="checkbox"/> électrique <input type="checkbox"/>	
Evacuation fumée par ventouse ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input checked="" type="checkbox"/>		acier <input checked="" type="checkbox"/> fonte <input type="checkbox"/>	
Les chaudières principales assurent elles l'ECS ? Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>		Planchers à eau électrique	
Puissance des chaudières en place en kW	395	chauffants <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
	NB	2	
Eau chaude sanitaire (ECS) Collectif <input type="checkbox"/> Individuel <input type="checkbox"/> - Eau froide (EF)			
Production existante :			
Par chaudière principale ? <input type="checkbox"/> Par chaudière auxiliaire ? <input type="checkbox"/> Par génération électrique collective <input type="checkbox"/>			
Consommation EF/an m ³		Puissance en kW	
		Consommation annuelle***kWh	270 000
Régulation existante			
Régulation fonction :	Résultat obtenu par :		
De la température extérieure ? <input checked="" type="checkbox"/>	Action sur vannes 3 voies/4 voies ? <input checked="" type="checkbox"/>		
De la température ambiante ? <input type="checkbox"/>	Par action tout ou rien : sur bruleur <input type="checkbox"/> sur circulateur ? <input type="checkbox"/>		
	Robinets thermostatiques sur radiateurs ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>		
Solution souhaitée pour l'isolation (D ¹) en kWh/m ²			
Sans isolation préalable <input type="checkbox"/> HPE rénovation 2009 (D=195) <input checked="" type="checkbox"/> BBC rénovation 2009 (D=104) <input type="checkbox"/>			
Solution souhaitée pour la nouvelle chaufferie			
Chaudière(s) à condensation	ENR 1) PAC aérothermique en relèvement de chaudière type air eau <input checked="" type="checkbox"/>		
Gaz <input checked="" type="checkbox"/> Fioul <input type="checkbox"/>	idem mais haute température type air eau <input type="checkbox"/>		
	2) PAC aquathermique eau eau en substitution de chaudière : <input checked="" type="checkbox"/>		

* Audit thermique nécessaire si non connu ** Somme des consommations individuelles

*** Déperditions thermiques en ligne incluses

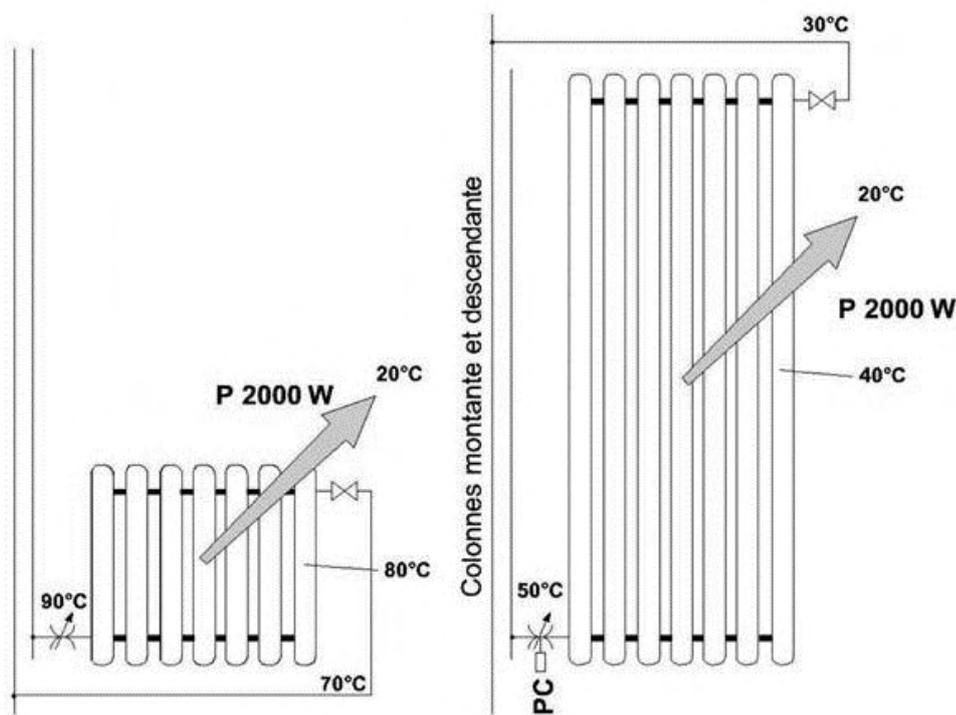
¹) Nota Valeurs de D pour label en région parisienne (correction à prévoir selon région)

Les émetteurs thermiques

Les radiateurs hydrauliques

Il y a environ 4 ans, lorsque l'on demandait assistance à un constructeur de radiateurs de vérifier si le dimensionnement des radiateurs existants était compatible avec l'implantation d'un chauffage thermodynamique, le fournisseur parlait de trouver une solution à <votre problématique > et votre problème n'était pas le sien. On comprenait très vite que les radiateurs étaient dans le temps dimensionnés pour fonctionner à environ 70 °C voire même à 90°C lorsqu'il fait très froid ce qui provoquait un certain inconfort et des taches noirâtres au plafond. La différence de 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. Plusieurs organes conditionnent le bon fonctionnement d'un réseau de chauffage hydraulique.

Les radiateurs hydrauliques anciens et leur T de réglage



Les radiateurs transmettent la chaleur par rayonnement et par convection.

Avec les radiateurs basse température, la différence de température entre la pièce à chauffer et la température moyenne du radiateur est plus faible. Pour fournir la même puissance la surface de chauffe du radiateur est plus importante. Les T de réglage des radiateurs et le robinet d'arrêt peuvent être avantageusement remplacés par une soupape thermostatique. On peut aussi adjoindre des T de réglage compensé en pression (PC) de telle sorte que le débit circulant dans le radiateur soit indépendant de la pression régnant dans le collecteur.

Les radiateurs

$$P = S \times \Delta T1 \times \varphi \text{ avec}$$

- **P** Puissance thermique du radiateur en watt,
- **$\Delta T1$** différence de température entre la température moyenne du radiateur et la pièce à chauffer en °C
- **φ** coefficient de rayonnement voisin de 10 watt/m² et °C
(cette valeur peut être augmentée avec les ventilo convecteurs)

Les T de réglage

$$P = Q \times \Delta T2 \times c \text{ avec}$$

P en kW, **$\Delta T2$** en °C et **c** chaleur spécifique de l'eau 4,18 KJ/kg et °C

- **S** sa surface de chauffe du radiateur en m² à ne pas confondre avec sa surface frontale
- **$\Delta T2$** la différence entre la température à l'entrée du radiateur et la température à sa sortie
- **c** la chaleur spécifique de l'eau

Application numérique

Pour une puissance thermique **P** du radiateur prise égale à 2 kW à titre d'exemple on a :

A) Radiateur haute température

$$\Delta T1 = 80 - 20 = 60^\circ\text{C}$$

$$\Delta T2 = 90 - 70 = 20^\circ\text{C}$$

Surface de chauffe

$$S = P / (\Delta T1 \times \varphi) = 2000 / (60 \times 10) = 3,3 \text{ m}^2$$

Débit dans le T de réglage

$$Q = P / (\Delta T2 \times c) = 2 / (20 \times 4,18) = 0,024 \text{ kg/s ou } 86 \text{ litres/heure}$$

On trouve dans le commerce des T de réglage compensés en pression couvrant la plage de 40 à 150 l/h

B) Radiateur basse température

$$\Delta T1 = 40 - 20 = 20^\circ\text{C}$$

$$\Delta T2 = 50 - 30 = 20^\circ\text{C}$$

Surface de chauffe

$$S = P / (\Delta T1 \times \varphi) = 2000 / (20 \times 10) = 10 \text{ m}^2$$

Complément

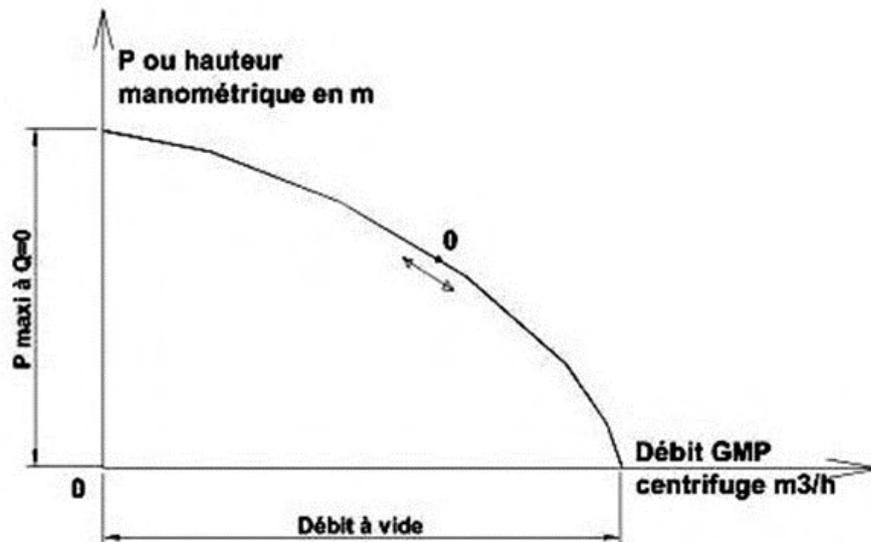
Débit dans le T de réglage

On trouve le même débit $Q = P / (\Delta T_2 \times c) = 2 / (20 \times 4,18) = 0,024 \text{ kg/s}$ ou 86 l/heure

IMPORTANT En abaissant la température de la source chaude de 90 à 5°C on améliore le COP de la pompe à chaleur de 64% avec une source froide à 0°C

La pompe centrifuge

Les réseaux de tuyauteries alimentant les radiateurs hydrauliques des immeubles anciens sont très largement dimensionnés. Les pertes de charge linéaires dans les collecteurs horizontaux et dans les colonnes montantes et descendantes sont en pratique négligeables. La caractéristique débit-pression de la pompe centrifuge alimentant ces réseaux doit être telle que lorsque l'on additionne tous les débits unitaires de l'ensemble des radiateurs constituant le réseau, la pression de refoulement de cette pompe soit au moins égale à la hauteur de refoulement (Nombre d'étages x hauteur sous plafond), majoré de la pression différentielle du T de réglage.



Équilibrage thermique d'un immeuble

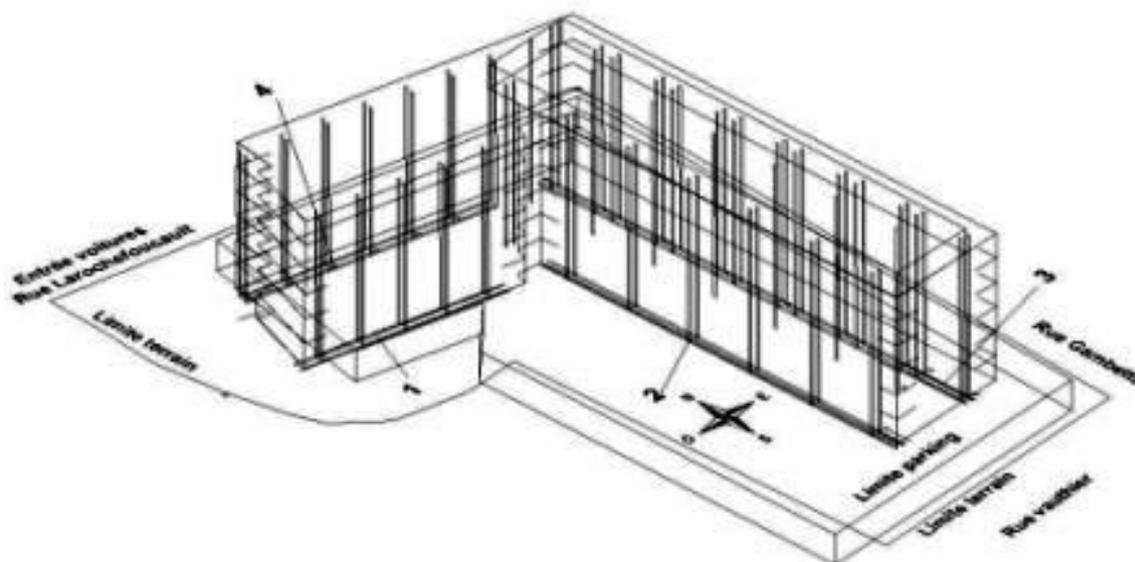
Il comporte deux postes :

A L'équilibrage du bâti

Il est important de prévoir des épaisseurs d'isolants homogènes de telle sorte que les déperditions soient comparables entre les différentes terrasses ou façades d'un immeuble. L'équilibrage hydraulique pour utile qu'il soit ne doit pas être réalisé lorsque l'isolation du bâti manque d'homogénéité et comprend des déséquilibres thermiques provoqués par des épaisseurs d'isolants hétérogènes avec des coefficients de déperditions différents entre les terrasses ou façades d'un immeuble.

B L'équilibrage hydraulique

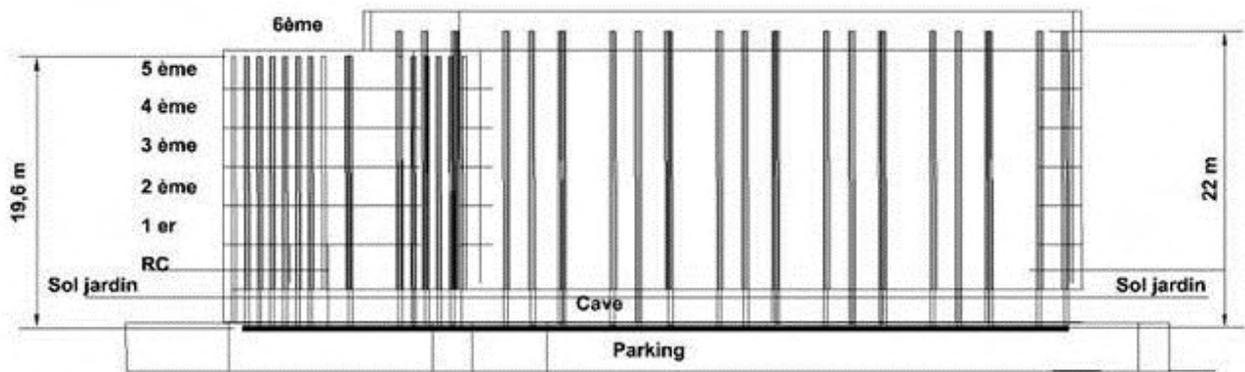
La température de l'eau envoyée dans le réseau de chauffage est réglée par un professionnel de telle sorte qu'à une température extérieure corresponde une température de l'eau de chauffage au départ vers les radiateurs ou les planchers chauffants hydrauliques donnée. C'est une vanne à trois voies qui assure ce réglage en mélangeant plus ou moins l'eau chaude qui sort de la chaudière avec l'eau moins chaude qui revient des appartements. Une seule valve par immeuble assure généralement ce réglage. L'immeuble peut aussi être victime d'une mauvaise réalisation lorsque qu'une seule valve alimente deux planchers chauffants connectés en // et coulés dans la même dalle en béton sans qu'il soit possible de les dissocier.



La longueur des réseaux des tuyauteries hydrauliques d'eau chaude et froide dans un immeuble peut atteindre plusieurs km. Les liaisons horizontales sont généralement hors bâti alors que les tuyauteries dans les gaines verticales sont intérieures au bâti. La figure ci-dessus représente uniquement le réseau du circuit chauffage alimentant les radiateurs

Le circuit commun comprend généralement des valves d'obturation et de réglage du débit situées en pied de colonne appelé valve TA dimensionnées en fonction de la somme des débits requis pour l'alimentation des radiateurs situés en aval du pied de colonne. Cette régulation peut satisfaire un besoin particulier lorsque le bâtiment est divisé en secteurs homogènes ayant des besoins en chauffage différents. : Dans l'immeuble d'habitation ci-dessus on constate par exemple la façade nord exposée au vent pourrait éventuellement faire l'objet d'une régulation distincte en agissant sur une valve 3 voies attenante au collecteur 4. On observe que la décision de s'engager dans cette voie complique la régulation de l'ensemble. Les valves d'isolation en pied de colonne peuvent avantageusement être remplacé par des valves dites TA. Ces valves TA doivent être associées à des valves d'arrêt permettant d'assurer un démontage des radiateurs ou autres organes hydrauliques alimentés par cette colonne sans que le réglage du débit en fonctionnement ne soit affecté (Ces valves sont parfois compensées en pression)

Complément



Les deux figures ci-dessus concernent un immeuble de 5000 m² habitable de 5+1 étages dans lequel il a été pris comme hypothèse que les 68 appartements constituant cet immeuble sont similaires à celui de la figure ci-dessous.

Les longueurs sont les suivantes :

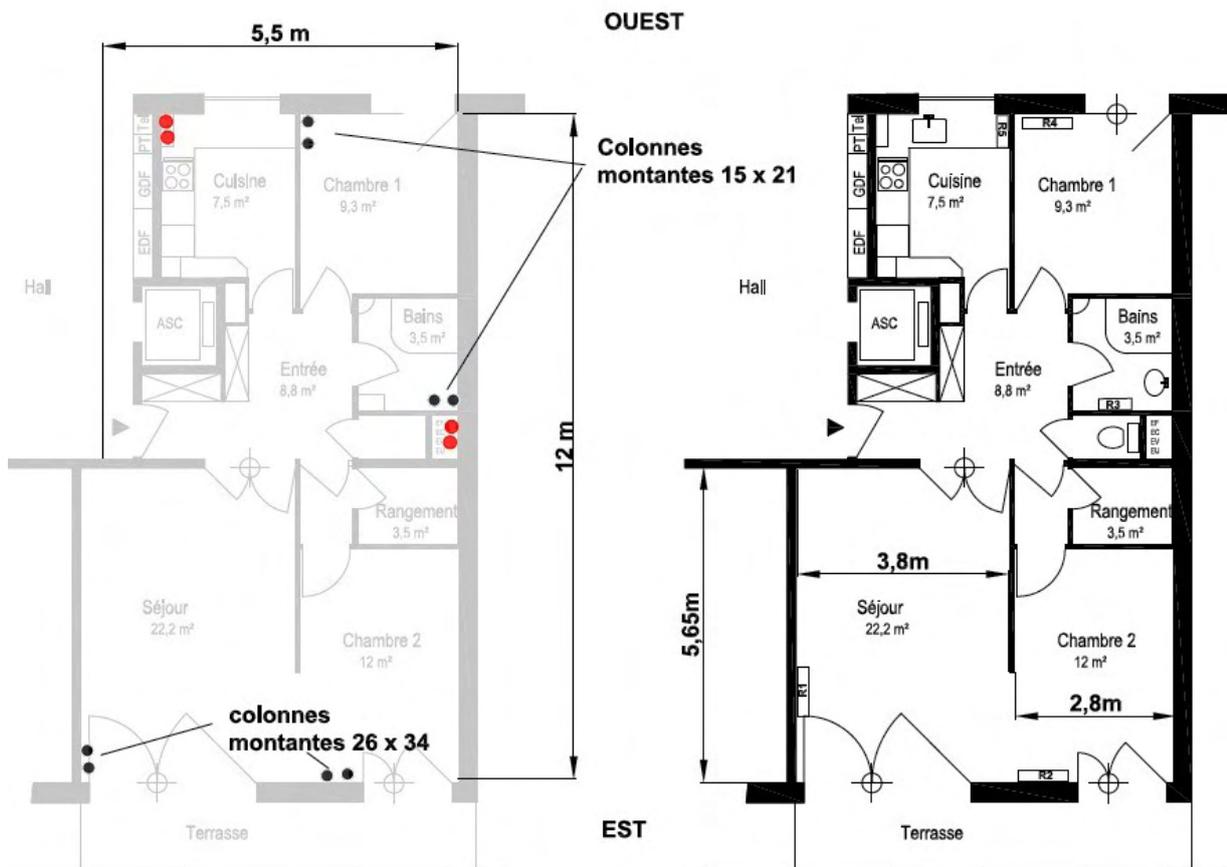


Figure montrant l'emplacement des colonnes montantes et retour du chauffage ainsi que celles de l'eau chaude sanitaire dans un logement situé aux étages supérieurs

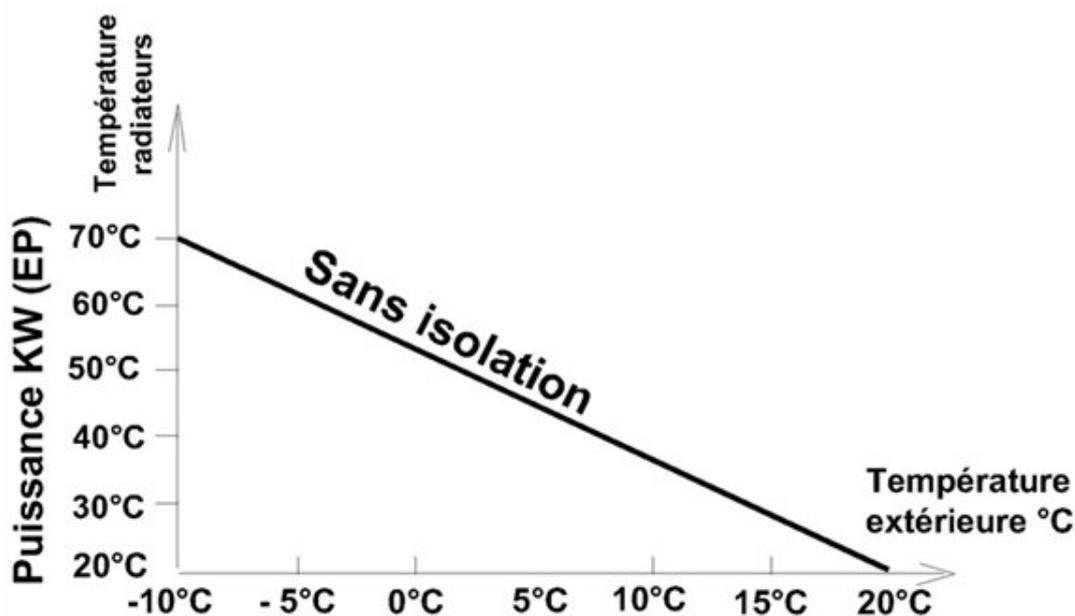
Complément

Pieces	Apt bien isolé	Apt moyennement isolé	Apt pas isolé
R1 – Séjour	1 449,22 W	1739,07 W	2 028,72 W
R2 – Chambre n° 2	810,00 W	972,00 W	1 134,00 W
R3 – Salle de bain	236,25 W	283,50 W	330,75 W
R4 – Chambre n° 1	627,75 W	753,30 W	878,85 W
R5 – Cuisine	506,25 W	607,50 W	708,75 W

Figure montrant quel est la puissance requise pour chacun des radiateurs de l'appartement témoin ci-dessus. Le volume des pièces, la taille et le type de vitrage, l'orientation des façades ainsi que la classe d'isolation des murs opaques influent sur le débit requis dans les radiateurs.

La courbe de chauffe de la chaufferie

Cette courbe, en théorie une droite, est affichée en chaufferie. Elle est tracée pour une température dans les appartements faisant l'objet d'un consensus des copropriétaires occupants. Elle permet de faire la relation entre la température de départ vers les radiateurs ou les planchers chauffants et la température extérieure mentionnée en abscisse. Sa connaissance est importante puisqu'elle fixe le besoin thermique de l'immeuble à chauffer. Elle permet aussi de définir la température à laquelle le système doit commuter du gaz vers le chauffage thermodynamique et inversement si la chaufferie est équipée d'un complément ENR de telle sorte que le COP soit le meilleur possible. En raison de l'inertie thermique du bâtiment, cette température de départ peut être baissée de quelques degrés pendant la nuit sans que la température dans les appartements ne chute de façon significative. La courbe de chauffe est souvent plus basse dans le cas des planchers chauffants. La connaissance d'un seul point P en hiver permet de tracer la droite de chauffe qui passe naturellement par le point 20 - 20°C.



Isolation et température de chauffe

En améliorant l'isolation des logements on ne fait pas qu'économiser de l'énergie, on améliore aussi les performances du chauffage thermodynamique. On baisse en effet la température requise dans les radiateurs pour assurer notre confort. On peut on l'on l'a vu précédemment encore diminuer la température du circuit de chauffe en agissant sur le dimensionnement des émetteurs thermiques. Les planchers chauffants avec leur surface d'échange importante nécessitent des températures moins élevées que les radiateurs hydrauliques. Lorsque l'on souhaite installer un chauffage thermodynamique dans un immeuble équipé de radiateurs hydrauliques on a intérêt à augmenter leur surface de chauffe pour améliorer les performances. On déduit ainsi d'une façon significative et à confort équivalent voire même supérieur le besoin en énergie primaire (gaz, électricité, fioul.) Une pompe à chaleur haute température à deux fluides caloporteur peut aussi être une solution à ce problème mais le circuit hydraulique est plus complexe.



Les radiateurs ACOVA en acier de cet appartement sont restés dans les configurations ouvertes (O) ou fermé (F) sans modification pendant la nuit :

Complément

Pièce	Taille (largeur/hauteur)	Surface frontale m ²	Ouvert/ fermé	RXD 50 75/65 kW	RXD20 55/45 kW
Salle de bain	300x900	0,27	O	0,8	Une température de 55°C au condenseur de la PAC conduit à un COP mini de 3
Séjour	850x900	0,77	O	2	
Chambre 1	600x900	0,54	F	1,4	
Chambre 2	500x900	0,45	F	1,2	
Cuisine	600x900	0,54	O	1,4	
Surface frontale totale		2,57 m ²		total 6,8 kW	4 kW

Compte tenu de l'épaisseur de 9 cm et de l'espacement des ailettes 3 cm la surface totale de rayonnement de ces radiateurs est égale à la surface frontale x 4

Le calcul ci-dessus consistant à calculer la nouvelle puissance avec un $\Delta\vartheta$ de 30 au lieu de 50 entre la température du radiateur et l'air de la pièce proportionnellement à l'écart de température est grossier. Le calcul est un peu plus compliqué pour la raison qu'il faut tenir compte d'une variation exponentielle comme pour la plupart des phénomènes thermodynamiques. La puissance de 4 kW est donc ramenée à sensiblement 3,1 kW. Soit environ **220 kW** pour l'ensemble de l'immeuble si l'on considère que l'appartement ci-dessus de 68 m² représente la valeur moyenne des 72 appartements constituant notre immeuble. On remarque donc que si l'on réalise l'isolation sans y inclure l'isolation totale des façades de l'immeuble pour des raisons de coût, les radiateurs peuvent être conservés en l'état puisque la puissance maximum à fournir par la PAC (150 kW) après isolation est inférieur à la possibilité des radiateurs existant de 223 kW

En cas de surchauffe dans un appartement la fermeture des robinets d'isolement à commande manuelle permet à l'occupant de baisser la température ambiante. Le fait de fermer le radiateur principal dans le séjour surchauffé à 23 °C d'un petit appartement de 70 m² situé au 1er étage a provoqué une chute de température très lente dans cette pièce de 1°,5 C au bout de deux heures. Lorsque la régulation d'un chauffage collectif est mal réglée le système asservi peut se comporter comme si l'on avait coupé la rétroaction le système allant en saturation. Il peut aussi être sujet à oscillation si le gain est trop élevé. Le personnel en charge du contrat de l'entretien de la chaufferie doit être capable de gérer ces problèmes. Le dispositif robinet simple et T de réglage non compensé en pression a le mérite de la simplicité mais n'est pas très intelligent dans la mesure où il est incapable de réguler automatiquement la température de la pièce. L'utilisation de robinets thermostatiques sur de petits radiateurs tel que ceux prévus dans les chambres ou les salles d'eau assure cette régulation automatiquement mais le circuit doit être propre et désemboué.

Complément

Les soupapes thermostatiques ne sont pas recommandées dans les pièces de vie si l'on souhaite évoluer vers le chauffage thermodynamique et il est préférable dans ce cas de prévoir des robinets d'isolement ordinaires dans les pièces de vie principales ces robinets restant toujours ouverts afin de garantir un débit suffisant dans le réseau. Ces points sont à discuter avec un chauffagiste expérimenté. Il y a quelques années, on s'assurait que le volume total d'eau contenu dans le circuit était compatible avec la puissance de la machine. Ce volume devait être supérieur à 15 litres/kW pour assurer un fonctionnement correcte de la pompe à chaleur avec la régulation tout ou rien du type on-off. Ceci de telle sorte que le cycle ne soit pas trop court (les démarrages et arrêts trop fréquents étaient néfastes à la longévité des compresseurs et à la performance du chauffage. Il fallait alors ajouter un ballon tampon monté en série dans le circuit si les volumes de fluide étaient insuffisants. Depuis l'arrivée des dispositifs à vitesse variable type « inverter » la taille du ballon tampon peut être notablement réduite.

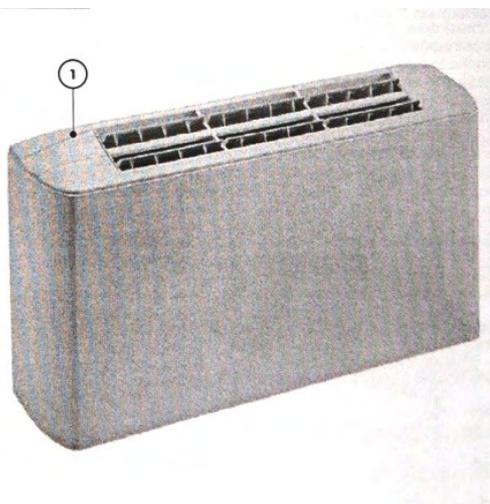
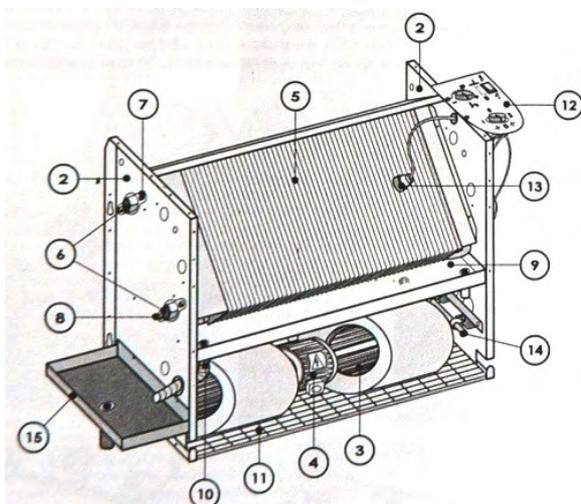
Nota important concernant les radiateurs existants

Il est reconnu que les radiateurs des immeubles anciens et construits avant 1970 sont sensiblement surdimensionnés. Le calcul ci-dessus effectué pour un immeuble datant de 1968 équipé de radiateurs en acier le prouve. Toutefois quitte à se répéter on améliore notablement les systèmes de chauffage à énergie renouvelable telle que les PAC fonctionnent en baissant la température du circuit chauffage à 40 ou 45 °C au lieu des 60 à 80 °C d'une chaudière classique ancienne génération. En baissant la température au condenseur de 10°C on améliore le rendement de la PAC de 20% et la consommation électrique annuelle dans les mêmes proportions ce qui est loin d'être négligeable. Toutefois, pour peu que l'on procède à une isolation préalable de l'immeuble à minima, il peut être intéressant financièrement pour la copropriété de prévoir une chaufferie avec PAC en relève de chaudière à gaz en mi saison sans changer les radiateurs d'origines. (La revue "Le particulier 1018 de novembre 2007 arrive à une conclusion comparable). Il pourrait être toutefois préférable dans le cas d'une copropriété ayant une courbe de chauffe plus défavorable de financer la pose de radiateurs de taille plus importante dans les pièces de vie plutôt que de passer à une PAC haute température à deux fluides caloporteurs plus complexe.

Le remplacement des radiateurs dans les pièces de vie (salon ou pièce de séjour) peut être une solution intéressante pour la copropriété dans le cas où l'on envisage la mise en place d'une PAC *eau-eau* fonctionnant l'hiver en substitution de chaudière. Elle semble à nouveau préférable au circuit hydraulique plus complexe d'une PAC haute température

Les ventilo convecteurs hydrauliques

Les ventilo convecteurs hydrauliques ou aérotherme comprennent un ventilateur et un radiateur à ailette parcouru par un circuit d'eau chaude. Ils sont généralement utilisés pour chauffer de gros volumes tels que des dépôts d'usine. Peu encombrants, ils pourraient faire leur apparition dans le collectif pour le chauffage thermodynamique exigeant un circuit basse température



Ils améliorent les transferts thermiques par convection et font leur apparition dans le chauffage thermodynamique en raison de leur faible encombrement. Ils sont peu bruyants malgré le dispositif de ventilation à vitesse variable située en partie basse (Type Aqualix2)

Le système de contrôle, indépendant de la régulation chaufferie, comprend un émetteur servant d'organe de réglage de la température ambiante disposé dans la pièce de vie et un récepteur monté à l'intérieur du ventilo convecteur (liaison non filaire)
L'ensemble du dispositif doit être installé par des professionnels



Emetteur-récepteur Delta Dore

Les planchers chauffants hydrauliques

Ils sont la plupart du temps à basse température (40 ou 45 °C) et sont par nature mieux adaptés au chauffage thermodynamique que les radiateurs hydrauliques. Un inconvénient de cet émetteur est l'intégration des tuyauteries dans la dalle. Contrairement aux tuyauteries d'alimentation des radiateurs généralement accessibles les tuyauteries d'alimentation des planchers chauffants sont en effet intégrées aux dalles en béton ce qui peut compliquer la mise en place de valves complémentaires.

Les convecteurs électriques

Les arguments utilisés pour commercialiser les radiateurs électriques à effet Joule constituent, selon les *<Lutins thermiques>* une arnaque commerciale intolérable lorsqu'ils sont destinés à l'ancien difficile à isoler avec un coefficient d'occupation important (par exemple habitation principale). James Prescott et ses amis anglais, à l'origine de cette chaîne énergétique peu lumineuse qui lie la *<petite calorie>* au *<Joule>* *, doivent selon les Lutins se retourner dans leurs tombes lorsqu'ils constatent ce que l'homme a fait de leur découverte. L'opinion des Lutins thermiques est que la vente de ces produits est une indécence vis-à-vis de ceux qui ont froid et qui ont du mal à payer la note en fin de mois à l'EDF. Ils vont même jusqu'à estimer que cette maladroite prime individuelle de chauffage versée selon le *<Magazine Capital>* aux fonctionnaires du Sénat est moins grave de conséquence sur le plan social et environnemental que la non reconnaissance des erreurs passées de la RT 2005 ayant entraînée la mise en vente de ces « convecteurs électriques » au rendement déplorable sur le marché de l'habitation principale. Il est normal selon les Lutins que l'énergie profite à ceux qui la comprennent, certes, mais à condition que cela ne desserve pas à ce point ceux qui ne la comprennent pas, même si ce manque de compréhension relève de l'ignorance et d'une certaine paresse intellectuelle.

* L'équivalent électrique d'une petite calorie (quantité de chaleur nécessaire pour élever un gramme d'eau de 1°C) est de 4,18 joules

Complément

A) Isolation ROI

Isolation ROI ou isolation à minima

Devoir investir 2 € par kWh économisé annuellement avec un prix de revient de l'énergie primaire à 0,1 €/kWh entraîne un temps de retour économique de 20 ans. L'assemblée générale peut décider à juste titre qu'un tel temps de retour économique est trop long et inacceptable. Si l'on procède à un bouquet de travaux en associant l'isolation à la génération et que l'on obtient une aide fiscale de 50% le ROI est ramené à 10 ans. L'objectif de l'isolation ROI est d'investir environ 1,5 € par kWh économisé annuellement soit avec un prix de revient de l'énergie primaire à 0,1 €/kWh un temps de retour économique hors aide fiscale de 15 ans réduit à environ 7 ans avec l'aide fiscale.

La difficulté dans l'isolation à *minima* est donc d'investir un minimum en regard des économies d'énergie réalisées.

L'amélioration concerne principalement l'isolation du bâti (l'enveloppe de l'immeuble) mais aussi la ventilation, les ouvertures en parties hautes et l'amélioration du calorifugeage des tuyauteries.

Une bonne appréciation des pertes thermiques dans un immeuble passe par la connaissance des *surfaces du bâti* (L'enveloppe extérieure de l'immeuble).

Avec :

- 50 grandes portes fenêtres de 3 x 2,15 m,
 - 126 grandes portes fenêtres de 1,6 x 2,15 m
 - 79 fenêtres de 1 x 1,45 m
- La surface totale des vitres de l'immeuble est de 660 m².
- La surface des murs en retrait dans les parties avec balcons voisine de 800 m²
- La surface murs en face avant sans balcon d'environ 1400 m²

Soit une surface totale des murs opaques proche de 2200 m²

Cette évaluation des pertes thermiques passe aussi par une évaluation des *volumes*. Cette nouvelle notion introduite dès 2003, dans un rapport du BRGM traitant de la mise en œuvre des PAC sur nappe libre en IDF est à considérer.

Elle met en évidence un coefficient de déperdition volumique G exprimé en Watt/m³ °C, mieux représentatif du besoin thermique d'un immeuble que ne le fait le coefficient habituel, exprimé en kWh/m² et par an basé sur les surfaces et ne faisant pas intervenir

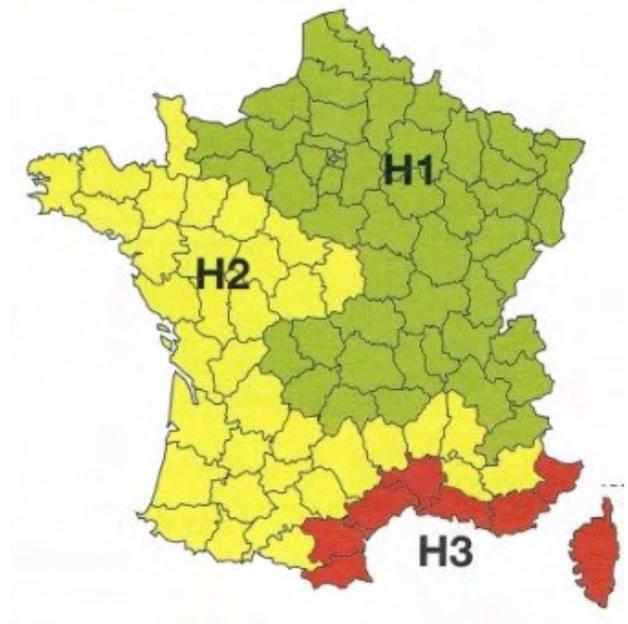
Complément-Isolation ROI

la température extérieure. Bien évaluer le comportement thermique d'un immeuble et son besoin thermique réel est important lors du dimensionnement de la partie gaz afin de ne pas augmenter inutilement son coût. Cette évaluation est encore plus importante dans le cas d'une pompe à chaleur que l'on ne devrait pas surdimensionnée de plus de 10 à 15% maximum.

A l'évidence ce coefficient G représente avec plus de précision que ne le fait l'ancien coefficient D le besoin thermique et la puissance qui devra être développée par la pompe à chaleur pour assurer le besoin. Cette notion de volume qu'il s'agisse des volumes de béton ou d'air est aussi plus pratique pour définir le comportement thermique d'une habitation en régime transitoire lorsque l'on met en marche ou lorsque l'on arrête la chaufferie. Il facilite aussi la compréhension de la ventilation et du volume d'air à régénérer

Les parties communes telles que les cages d'escalier, les halls d'entrées, se trouvent utilement inclus dans ce coefficient ce qui est logique par le fait que les dépenses afférents à leur chauffage sont payées par la copropriété.

L'intérêt de notre copropriété semble être de procéder à une isolation à minima visant un label situé environ à mi-chemin entre le label "*HPE rénovation 2009*" et le BBC rénovation 2009 ou ce qui semble revenir sensiblement au même une classe d'isolation proche de la TR 2005 en zone H1 qui évalue D à environ 130 kWh/m² (G sensiblement égal 0,65 à D= 130 kWh/m²)



Complément-Isolation ROI

Dans notre cas particulier les pertes d'énergie dans le bâti de notre immeuble sont dans l'ordre d'importance :

1. Isolation des ouvertures (parties vitrées fenêtre, portes fenêtre etc)
2. Les ponts thermiques au niveau des planchers en béton
3. Isolation de la toiture et des terrasses
4. Un manque de discipline personnelle. (volets roulant, domotique ?)
5. Les pertes par ventilation (difficile à calculer)
6. Isolation des murs opaques.
7. Le difficile (faux) problème de l'isolation de l'immeuble en partie basse.
8. La déperdition haute dans les cages d'ascenseurs.
9. Les pertes provoquées par l'humidité anormale du sous-sol de l'immeuble

Une bonne appréciation des pertes thermiques dans un immeuble passe par la connaissance des *surfaces du bâti* (L'enveloppe extérieure de l'immeuble).

- La surface totale des vitres de l'immeuble peut être évaluée à 660 m².
- La surface des murs en retrait dans les parties avec balcons est voisine de 800 m²
- La surface murs en face avant sans balcon d'environ 1400 m²

Soit une surface totale des murs opaques proche de 2200 m²

Cette évaluation des pertes thermiques passe aussi par une évaluation des *volumes*. Cette nouvelle notion introduite dès 2003, dans un rapport du BRGM traitant de la mise en œuvre des PAC sur nappe libre en IDF est à considérer. Elle met en évidence un coefficient de déperdition volumique G exprimé en Watt/m³ °C, mieux représentatif du besoin thermique d'un immeuble que ne le fait le coefficient habituel, exprimé en kWh/m² et par an basé sur les surfaces et ne faisant pas intervenir la température extérieure. Bien évaluer le comportement thermique d'un immeuble et son besoin thermique réel est important lors du dimensionnement d'une pompe à chaleur. A l'évidence ce coefficient représente avec plus de précision que ne le fait l'ancien coefficient le besoin thermique et la puissance qui devra être développée par la pompe à chaleur pour assurer le besoin. Cette notion de volume qu'il s'agisse des volumes de béton ou d'air est aussi plus pratique pour définir le comportement thermique d'une habitation en régime transitoire lorsque l'on met en marche ou lorsque l'on arrête la chaufferie.

Les parties communes telles que les cages d'escalier, les halls d'entrées, se trouvent utilement inclus dans ce coefficient ce qui est logique par le fait que les dépenses afférents à leur chauffage sont payées par la copropriété.

Complément-Isolation ROI

1 Réduire les déperditions par les vitrages

En isolant le bâti, particulièrement avec des doubles vitrages on diminue les frais d'approvisionnement en combustible. (Environ 20 à 30%) mais les frais engagés s'amortissent sur une plus longue période qu'avec le poste A) génération.

Façade		Surface des ouvertures m ²	Nombre de GPF 5,3 m ²	Nombre de PF 2,5 m ²	NB de Fenêtres 0,85x1,2=1 m ²	Surface vitres m ²	Surface bois/PVC m ²
sud	A	116	15	5	-	92	24
	B	105,6	5	15	14	64 + 14	27
ouest	C	184,5	-	36	40	90 + 40	54,5
	D	16,7	-	5 vérif	-	12,5	4
nord	E	132,5	-	30	20	75 + 20	37
est	F	325	30	35	5	246,5 + 5	73,5
Totaux			50	126	79	580 + 80	220

Surface totale vitres 660 m²

Surface totale bois/PVC 190 m²

Il y a plusieurs possibilités pour les portes fenêtres (PF) :

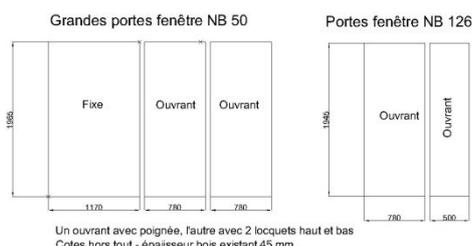
- Soit faire remplacer uniquement les vitres par un vitrier en conservant la partie bois encore en bon état avec un double vitrage 4 /12 /4 en raison de l'épaisseur de la feuillure voisine de 20 mm. (Coût approximatif avant négociation 150 k€)
- Soit prévoir une rénovation totale avec remplacement des huisseries bois ouvrant à l'identique ou par du PVC avec portes coulissantes (Coût approximatif entre 500 et 600 k€ pour 660 m² de surface vitrées pour nos 68 appartements compte tenu des prix pratiqués en France)

Une action globale est évidemment souhaitable pour obtenir des prix plus intéressants.

Complément-Isolation ROI



Façade 6 (ouest)
 PF 5 (1,6 x 2,15m)
 5 TPF environ 0,6x1
 17m²



Un ouvrant avec poignée, l'autre avec 2 loquets haut et bas
 Cotes hors tout - épaisseur bois existant 45 mm

Dimension verres St Gobain
 (dans le cas d'un vitrier. Avec cette solution certes plus économique les ponts thermiques sont moins bons)

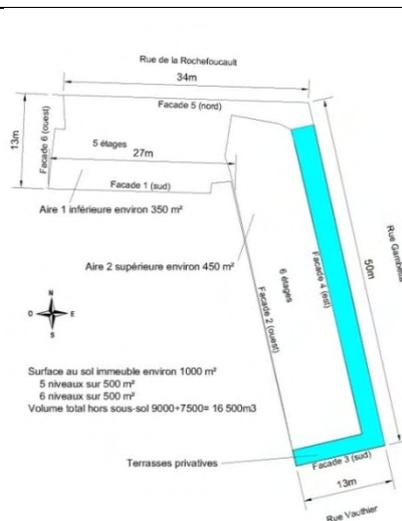


Façade 5 (nord)
 PF 30 (1,6x2,15m)
 F 20 (1x1,45m)
 estimation 125 m²



Façade 1 (sud)
 GPF 15 (3x2,15m)
 PF 5 (1,6x2,15m)
 F 14 (1x1,45m)

124 m²



dimensions approximatives



Façade 4 (est)
 GPF 30 (3x2,15m)
 PF 35 (1,6x2,15m)
 F 5 (1x1,45m)
 + étage supérieur

374 m²



Façade 2 (ouest)
 PF 36 (1,6x2,15m)
 F 40 (1x1,45m)

188 m²



Façade 3 (sud)
 GPF 5 (3 x 2,15m)
 PF 15 (1,6 x 2,15m)
 Estimation 150 m²

Soit au total :

- 50 grandes portes fenêtres GPF (3 x 2,15m)
- 126 portes fenêtres (PF) (1,6 x 2,15m)
- 79 fenêtres (F) (1 x 1,45m) (qui sont peut étanches) (Quelques fenêtres ont déjà été rénovés) et 5 petites fenêtres

Cette feuille pourrait servir de base pour une estimation budgétaire du remplacement des surfaces vitrées

Déperditions thermiques fenêtres

Les 660 m² de fenêtres dans notre immeuble pratiquement toutes en simple vitrage ont un coefficient de déperdition de 5,7 W/m² et °C. Le passage en double vitrage 4/16/4 ou 4/12/4 selon la solution retenue conduit à un nouveau coefficient de déperdition voisin de 1,7 W/m² et °C soit un gain voisin de 4 W/m² et °C si l'on tient compte de la partie non translucide du dormant de 190 m² qui augmente sensiblement les déperditions. En passant en double vitrage sur toutes ces fenêtres c'est 660 x 4 x 10 x 240 x 24 = 150 x 10⁶ Wh soit 150 000 kWh que l'on économise annuellement. Cette rénovation thermique peut se faire de deux façons:

1. en solution rénovation avec vitre 4/16/4 au prix approximatif de 500€/m²
2. en solution vitrier avec vitre 4/12/4 au prix approximatif 200€/m² compte tenu de la profondeur de feuillure.

Ces prix étant des valeurs maximums compte tenu de l'aspect quantitatif.

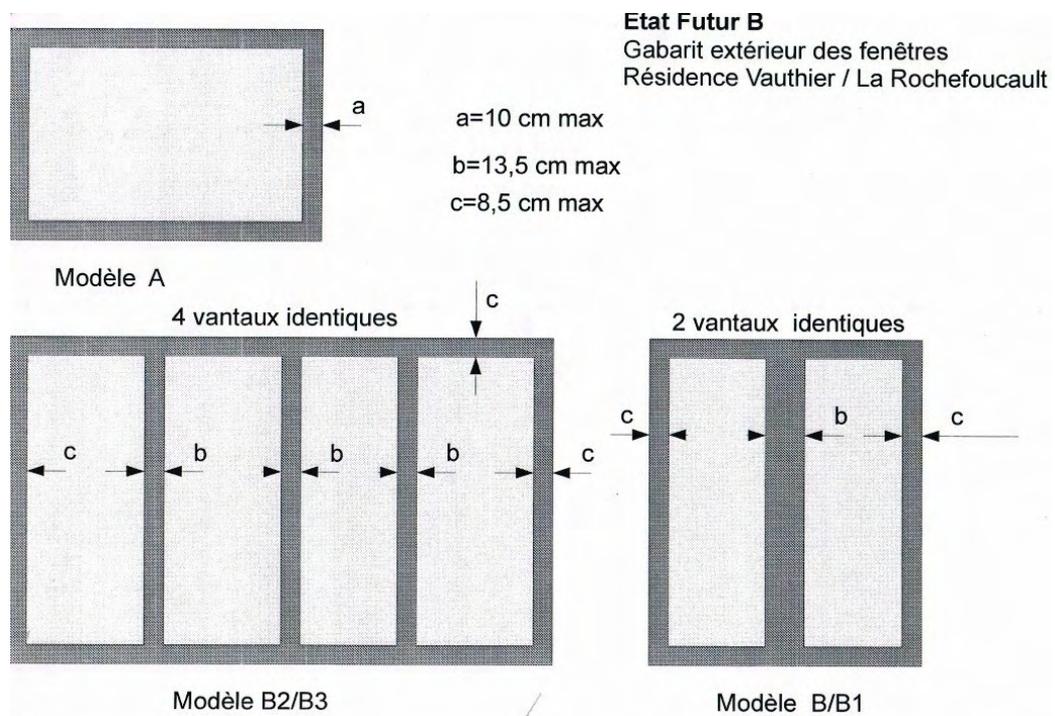
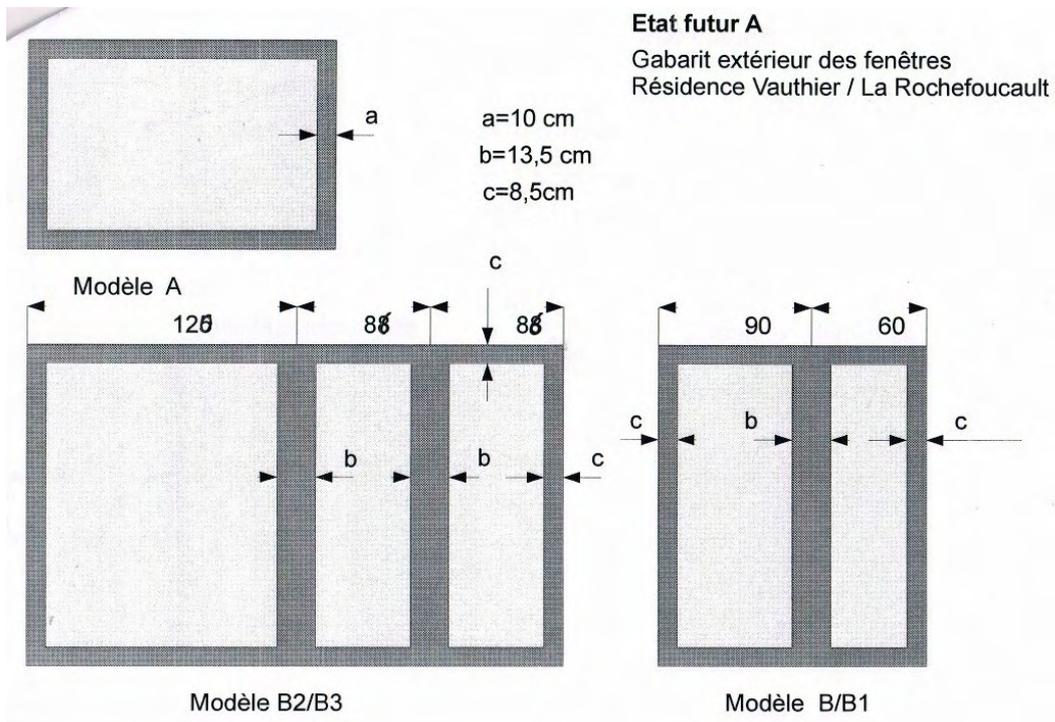
Il semble donc important de faire une *demande de résolution au syndic proposant de passer les fenêtres en bien collectif au lieu de privatif pour la rénovation thermique de l'immeuble*. (Elles étaient encore récemment considérées en France comme privatives).

La conséquence d'un vote <positif > sera que chaque propriétaire pourra se voir imposer de passer en double vitrage en solution minima vitrier de 200€/m² (soit prix moyen par appartement à définir sur la base de 200€/m² au prorata des surfaces vitrées de chaque appartement et défini selon les gabarits approuvés lors de la dernière AG). L'approbation de cette résolution ne semble présenter un intérêt pour la copropriété que si la *résolution relative à la prise en charge de l'étude thermique par un ingénieur en génie climatique est prise au préalable*. Dans ce cas ces travaux de rénovation thermique rentrent dans le cadre d'un "bouquet de travaux" qui rendent l'investissement de départ éligible à l'aide fiscale. Environ 35 à 55 % du montant global de l'investissement au titre du fond chaleur selon la solution adoptée pour le complément ENR. Les autres avantages de ces deux résolutions sont, si elles sont toutes les deux adoptées sont également :

- prix quantitatif permettant de réduire les coûts avec une légère réduction envisageable des prix maximum de 500€/m² en solution rénovation et de 200€/m² en solution vitrier.
- Le gain de 150 000 kWh sur la consommation annuelle qui en résulte (Supérieur à 10% de nos charges combustible)
- L'amélioration du confort de vie (température ressentie)

Complément-Isolation ROI

Gabarits en rénovation acceptés lors de la dernière AG



2) Déperditions ponts thermiques planchers

La déperdition au niveau des planchers, impossible à supprimer sur les façades avec balcons, est envisageable et devrait être assez facile à mettre en œuvre sur les façades sans balcons. Les ventilations basses seraient au-dessus de l'isolation. Le gain en énergie sur la base des déperditions de 10 watt/m² et °C pour le béton serait de l'ordre de 20 kW pour l'ensemble de l'immeuble (Par 0°C extérieur)

$L = ((50 \times 7) + (25 \times 5) + (17 \times 6) + (11,5 \times 5)) = 350 + 125 + 102 + 57 = 634$ m linéaire. Soit pour $10 \times 0,2 \times 20 = 40$ watt/m linéaire et une déperdition totale de l'ordre de 25 kW (calcul simplifié). La pose d'un isolant sur les façades sans balcons n'affecte pas la ventilation et évite une déperdition moyenne annuelle voisine de 30 watt/par mètre linéaire de pont thermique (Pour DJU 2400 sur 240 jours ΔT de 10°C) soit une déperdition moindre de 82 000 kWh pendant la période de chauffe de 240 jours compte tenu de la longueur de ces ponts thermiques de 475 mètres*



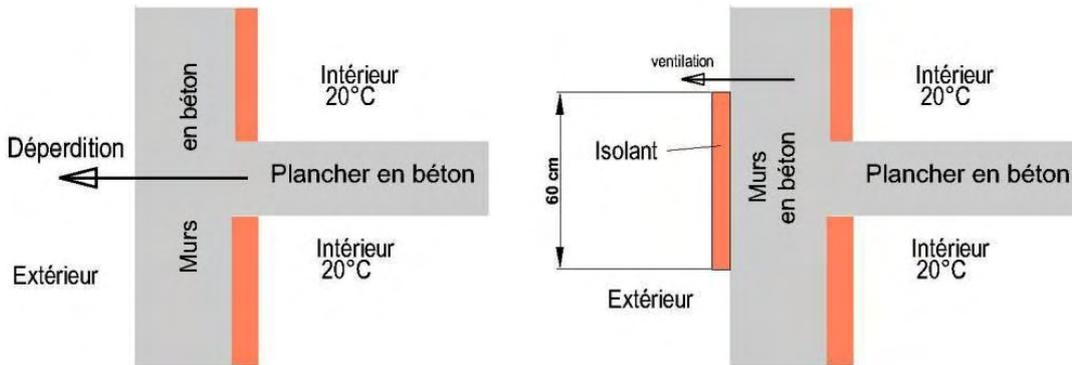
La photo ci-dessus est une proposition pour rompre les ponts thermiques des planchers béton. Le fait de savoir si cela améliore l'esthétique de la façade est laissé à l'appréciation des copropriétaires. La Mairie ne devrait pas en principe formuler un avis défavorable les façades sans balcons étant majoritairement côté jardin. La double isolation intérieur-extérieur se ferait uniquement sur les façades sans balcon.

Hauteur 40 cm (à vérifier) soit environ $S = 408 \times 0,4 = 163$ m²

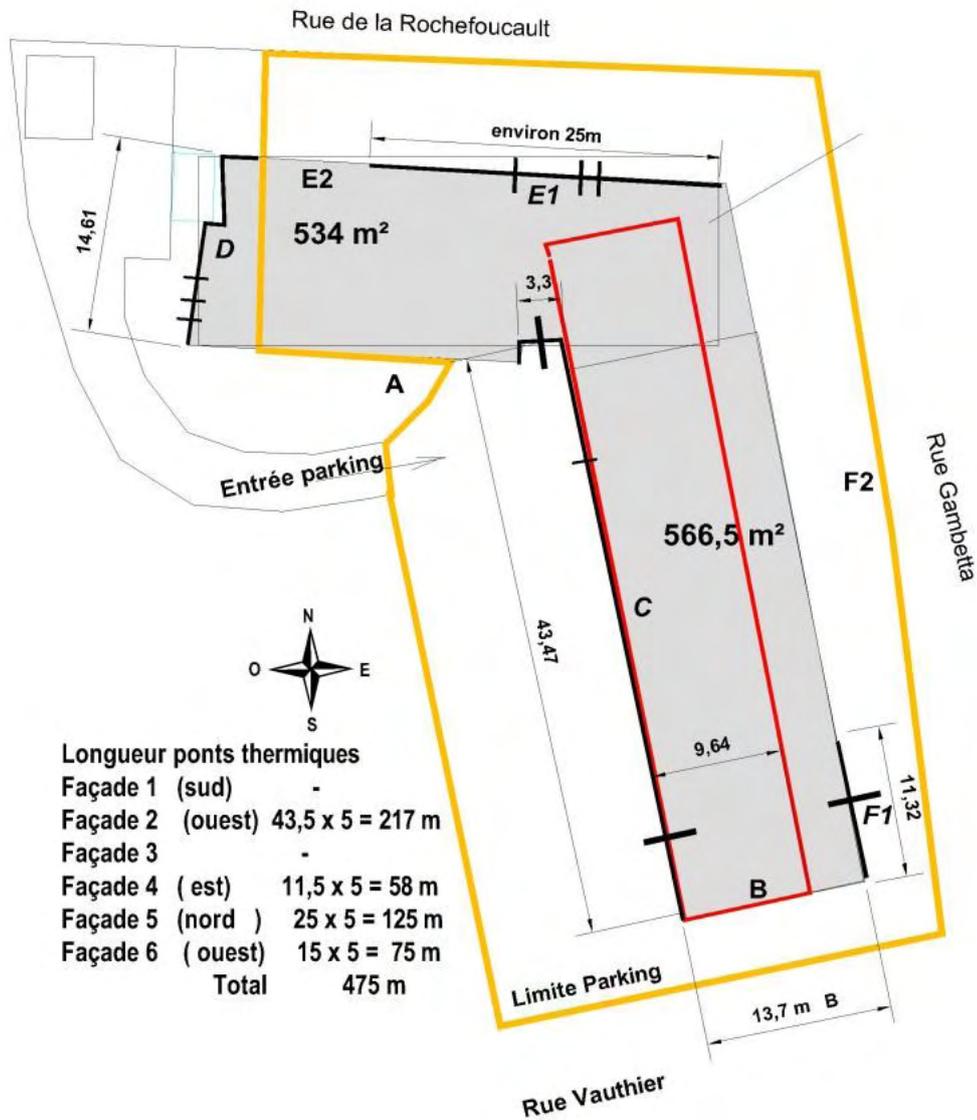
Prix global TTC défini par l'architecte Soulès façades sans balcons avec isolation en sept 2004 (solution 3) 842 000 €

Réactualisation sur base augmentation annuelle 3% depuis 2004 (7 ans) 22%
1 027 240 €

Complément-Isolation ROI



La déperdition est sensiblement divisée par deux sur la hauteur de l'isolation



Prix partie ponts thermiques $(1\,027\,240 \times 163)/1400 = \text{environ } 120\,000 \text{ €}$

Nota

Le calcul précis de l'économie en énergie avec cette solution en raison des déperditions au niveau des planchers en béton est très complexe. (Calcul aux éléments finis). Il serait naturellement possible d'isoler l'ensemble de la surface avec une vêtue moyennant un investissement important (estimation de notre architecte pour cet immeuble environ 1 million d'Euros). L'isolation des planchers du côté des terrasses privatives est irréalisable. Est-elle même faite sur les bâtiments neuf?

3) Déperditions terrasse haute côté sud

Actuellement notre immeuble est déséquilibré thermiquement avec 8 cm de polyuréthane sur une moitié de la toiture (partie D voir figure 6 page 37) et 5 cm sur l'autre. Surface terrasse côté sud $9,6 \times 50 = 480 \text{ m}^2$. Si cette deuxième terrasse est isolée avec une épaisseur de 10 au lieu de 5 cm actuellement (ajout de 5 à $0,44 \text{ kWh/m}^2 \text{ et } ^\circ\text{C}$ ou tout refaire) le gain thermique sur un an (Toujours pour DJU 2400 sur 240 jours ΔT de 10°C) est de $480 \times 10 \times 0,44 \times 240 \times 24 = 12\,000 \text{ kWh}$

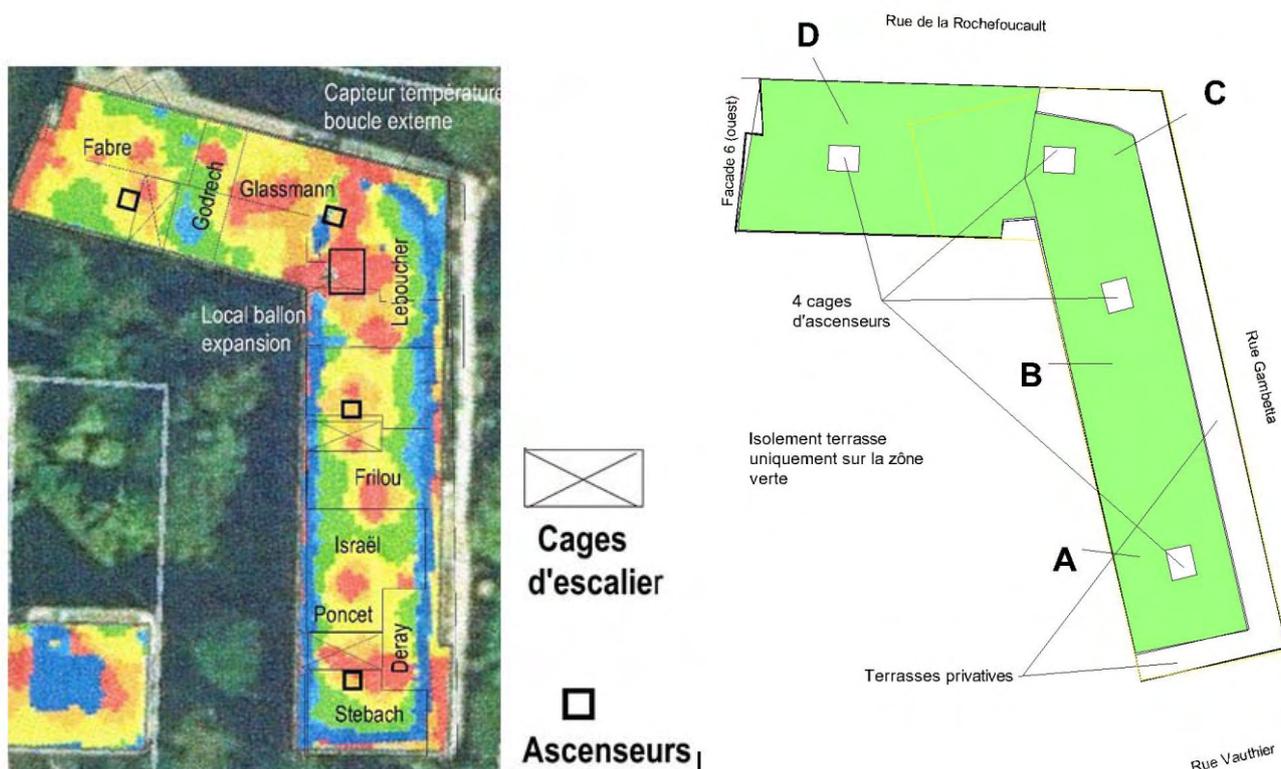


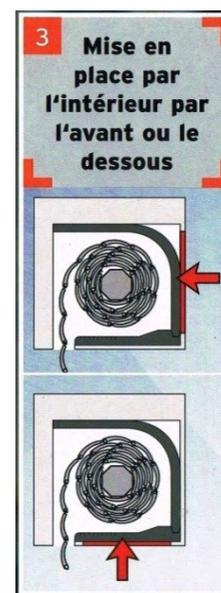
Photo de thermographie aérienne prise en hiver permettent de voir quelles sont les toitures les plus énergivores. (A l'exception des toitures en zinc). On remarque que environ 50% de la surface des terrasses ont une déperdition forte (jaune), très forte (orange) et excessive (rouge). La plus grande (aile nord-sud) n'a pas encore été traitée (épaisseur polyuréthane 5 cm au lieu de 8)

4) Déperditions Boitiers volets roulants

Avec 7 ml en moyenne de boitier par appartement on peut estimer que le traitement d'une longueur de 500 mètres linéaire entraîne un gain thermique annuel voisin de 30 000 kWh. Le coût au mètre linéaire des deux éléments constituant l'isolation est de 12 € soit pour la longueur totale à isoler de 500 m un investissement limité à 6000 € hors main d'œuvre.



Adapté aux boitiers de volets roulants des bâtiments anciens, la mise en place des isolants peut se faire par l'avant ou le dessous du boitier. La protection est double: thermique (courant d'air froid, humidité, et moisissure) et phonique (bruit de la route). Montage simple, pas de mousse expansive. Découpe de l'isolant à la dimension des boitiers existants facilité grâce à un quadrillage imprimé. IAN 66755



Procédure mise en place

Complément-Isolation ROI

Rien que ces 4 postes entraîne donc une économie d'énergie annuelle de

Déperditions thermiques fenêtres	150 000 kWh.
Ponts thermiques planchers	82 000 kWh
Terrasse haute côté sud	12 000 kWh
Pertes thermiques volets roulants	30 000 kWh
Gain global	274 000 kWh

Soit compte tenu d'un besoin pendant la période de chauffe de 700 000 kWh avant isolation une nouvelle déperdition de **426 000 kWh** après isolation ceci sans préjuger d'une meilleure discipline personnelle au niveau de la fermeture des volets roulants en hiver pendant la nuit

Prix poste isolation ROI à minima

1) Double vitrage vitrier 660 x 200 = 132 k€	ramené à	200 k€
2) Ponts thermiques planchers 475 ml x 0,6m x 120 €/m ²		35 k €
3) Terrasse : voir devis ancien Rubéroïd (échafaudage non compris)		60 k €
4) Ponts thermiques volets roulant 350 ml x 24 environ		10 k €
24 Isolation partiel tuyauteries (Chiffré à l'AG 2009)		10 k €

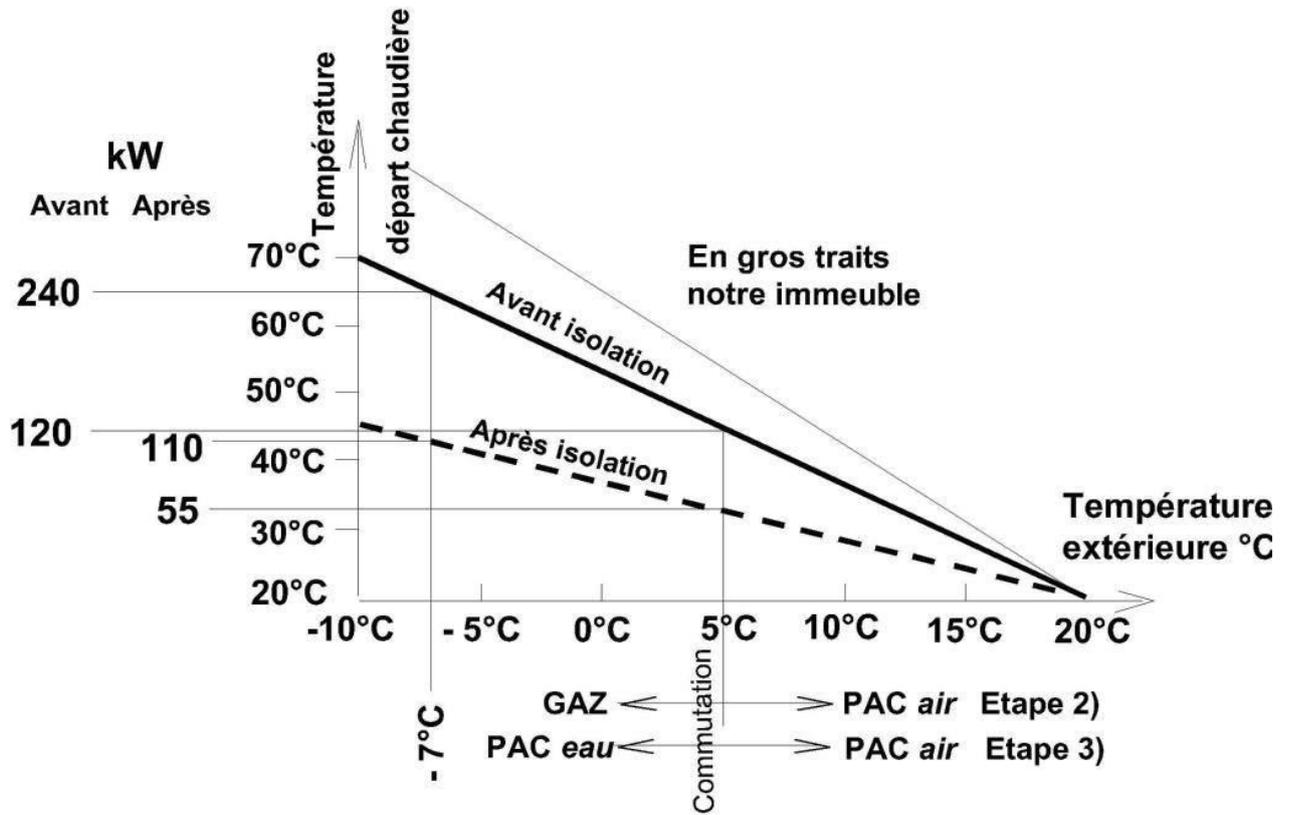
Total isolation..... **247 k €**

Problème de l'isolation planchers bas

Le problème de l'isolation des planchers bas de l'immeuble est un problème délicat.

Après étude et déplacement d'un spécialiste, il apparait préférable de concentrer notre action sur l'amélioration de l'isolation des tuyauteries sanitaires horizontales existantes que l'on peut considérer être hors bâti

Complément-Isolation ROI



Généralités

La rénovation thermique des bâtiments anciens (avant 1975),

Il n'y a pas encore actuellement de réglementation thermique pour les bâtiments datant d'avant 1975 mais depuis que la loi sur l'énergie du 13 Juillet 2005 a introduit une première étape de réglementation sur l'existant cela ne saurait tarder?. Un décret d'application prévu pour Avril 2008 précise que les bâtiments supérieurs à 1000m² et faisant l'objet de travaux de rénovation importants auront des obligations de performance énergétique et devront améliorer l'efficacité de l'isolation thermique du bâti et les équipements énergétiques.

On commence seulement à mieux comprendre ce qu'il faut faire pour améliorer l'isolation des anciens bâtiments anciens. Lorsqu'ils n'ont aucune isolation, on est en mesure de les rénover en diminuant significativement les déperditions annuelles du bâti. Il faudra peut-être pour conserver le caractère architectural des centres villes, isoler certains bâtiments par l'intérieur mais cela n'est envisageable que pour les bâtiments Haussmannien et pour cela, il faut pouvoir travailler dans des logements vides, donc en vente. Le second point à prendre en compte est d'atteindre le maximum d'efficacité énergétique suite aux travaux pour ne pas avoir à les refaire une seconde fois. L'obtention éventuelle d'aides complémentaires passe par un *bouquet de travaux* avec une procédure nécessitant l'envoi de 4 à 5 dossiers aux organisations listé sur les documents remis à Monsieur Coupé lors de la première réunion du CS.

Le retour économique augmentant notablement dans le cas d'un *bouquet de travaux* cette orientation ne présente un intérêt pour la copropriété que si le montant des aides fiscales limite significativement le retour économique.

La prochaine AG pourrait être mise à profit pour décider si nous nous orientons dans cette voie (vote) : La copropriété est-elle d'accord de considérer le fenêtrage et les portes fenêtrées comme faisant partie de la partie collective et non au privative pour la rénovation thermique (vote).

Remarque La technique de la thermographie apporte une aide intéressante. Elle permet de prendre conscience des pertes thermiques au travers du bâti. Elle ne permet malheureusement pas encore de chiffrer quantitativement ces pertes.

Complément-Isolation ROI

Huisseries :

Le bois ou une matière encore moins conductrice est souhaitable. Le PVC nécessitant peu d'entretien est un bon compromis. Le métal est un matériau conducteur, de ce fait, *les menuiseries métalliques* plus onéreuses sont à proscrire!

Attention aux entrées d'air avec les portes fenêtres coulissantes.

Volets :

Il fait plus froid la nuit et on n'a pas besoin de regarder par la fenêtre.

Il est donc recommandé de fermer les volets pour limiter les pertes thermiques.

Commande automatique envisageable (domotique)

Vitres

Incontestablement les prix français sont anormalement élevés par rapport aux prix allemands (Les prix en France sont comparativement 2 à 3 fois plus élevés)

Voici en résumé quelques préconisations pour les résistances thermiques des ouvertures:

Etapas envisageables	Type de vitrage	Coefficient de déperdition watt/m² et °C
situation de référence	Simple vitrage	5
HPE rénovation (vitrier* 4/12/4)	Double vitrage, argon ou air	1,4 - 1,5
BBC rénovation totale (4/16/4)	Double vitrage Argon	1,2
Nouvelles RT dans le neuf	<i>Vitrage nord</i> : triple vitrage krypton	0,8
	<i>Vitrage sud, est, ouest</i> : double vitrage argon	1,2

* On ne change que la vitre et on conserve les huisseries en bois, la plupart de celles-ci étant abritées et encore en bon état.

Il est préférable de maximiser l'épaisseur de la lame d'air (ou de gaz) entre les deux 2 vitres de verre. Un double vitrage constitué de deux verres de 4mm chacun entre lesquels est enfermée une lame d'air de 16 mm (4x16x4) est environ 5 fois plus isolant que le simple vitrage alors qu'un double vitrage constitué de deux verres de 4mm chacun entre lesquels est enfermée une lame d'air de 12 mm (4x12x4) est « seulement » 4 fois plus isolant que le simple vitrage. Le triple vitrage (3 vitres, 2 lames d'air) est encore plus isolant mais il diminue les apports solaires.

Complément-Isolation ROI

La température réelle et la température ressentie

Le saviez-vous ?, La loi interdit de se chauffer à plus de 19°C ! Ceci parce que plus la température est élevée, plus les déperditions sont elles aussi élevées. On dit que *se chauffer d'un degré de plus, c'est consommer 10% de plus !*. On a constaté que dans les vieux logements mal-isolés, on a froid à 19°C : les murs mal isolés sont froids, il y a des courants d'airs froids (infiltrations). Par contre dans un logement neuf, 19°C est bizarrement supportable. Les sensations ne sont plus les mêmes pour la raison que les parois sont presque à 19°C elles aussi (et non plus à la température extérieure) et il y a moins d'infiltrations.

Les parois opaques du bâti

Les déperditions imposées dans le neuf sont très éloignées des celles constatées dans les bâtiments anciens datant d'avant 1975. Les coefficients de déperdition envisagés pour les murs opaques, la toiture et le plancher bas qui constituent la partie opaque du bâti sont différentes dans le neuf et dans l'ancien suivant le label. Voir tableau ci-dessous

Coefficients de déperdition Watt / m ² et °C		Murs	Toiture, plafond*	Plancher bas
dans le neuf		0,18 - 0,23	0,1 - 0,15	0,2 - 0,25
dans l'ancien selon label	HPE rénovation	0,8	0,44	3 à 4 cm de bois aggloméré
	BBC rénovation	0,4	0,25	
Situation de référence		0,8	0,44	

Voir aussi la notion de résistance thermique R (l'inverse des coefficients ci-dessus)

Nous n'en sommes pas encore là mais les propriétaires vont être petit à petit contraints de respecter des coefficients proches de ces valeurs dans l'ancien.

D'ores et déjà l'étiquette énergie est obligatoire depuis le 1^{er} janvier 2011 pour toute annonce de vente ou de location d'un bien immobilier

La distribution hydraulique

Dans la rénovation, l'effort devrait se porter sur *l'amélioration de l'isolation des conduites* dans les volumes non chauffés. C'est dire dans notre cas particulier sur les tuyauteries horizontales courant dans les caves et dans le parking.

Quant au cheminement des canalisations dans les volumes chauffés, il semble très difficile voire impossible d'y remédier après coup sauf à refaire les salles de bains et les cuisines.

Les mesures à prendre sont simples : Il *"suffit"* d'améliorer l'isolation des conduites et dans la mesure du possible de réduire l'écart de température entre intérieur et extérieur du tube en abaissant la température des fluides transportés. Pour un bâtiment neuf, l'architecte cherche lors de la conception, à réduire la longueur du cheminement des canalisations et à faire passer celles-ci dans les volumes chauffés.

Pour mémoire isolation à maxima comprenant l'isolation de l'ensemble des parois opaques verticales sans balcons

TRAVAUX

Trois solutions peuvent être envisagées :

Solution N°1 : Réfection à l'identique

Réfection complète de l'ensemble de revêtement en pâte de verre, traitement des maçonneries, redistribution du calepinage des panneaux pour tenir compte des vides et pleins des façades, (panneaux et travées de fenêtres) ainsi que des abouts de planchers, compris tout ouvrage de protection horizontal en tête des murs de façade. Conservation avec nettoyage des bavettes aluminium des appuis de fenêtres. Réparation ponctuelle en façade protégé sous balcon-loggia. Les travaux doivent comprendre les peintures des menuiseries extérieures, des garde-corps, la réfection des joints de sol des balcons loggias.

Solution N°2 : Protection thermique partielle

Habillage des pignons et grands panneaux de façade par une vêtue céramique compris isolant thermique + Réfection complète de l'ensemble de revêtement en pâte de verre des travées de fenêtres et des panneaux intermédiaires, traitement des maçonneries redistribution du calepinage des panneaux pour tenir compte des vides et pleins des façades, (panneaux et travées de fenêtres) ainsi que des abouts de planchers, compris tout ouvrage de protection horizontal en tête des murs de façade. Conservation avec nettoyage des bavettes aluminium des appuis de fenêtres. Réparation ponctuelle en façade protégé sous balcon-loggia. Les travaux doivent comprendre les peintures des menuiseries extérieures, des garde-corps, la réfection des joints de sol des balcons loggias.

Solution N°3 : Protection thermique totale

Mise en œuvre d'une vêtue céramique sur l'ensemble des façades non abritées du bâtiments, réparation des façades des balcons loggias. Programme nécessitant le remplacement de toutes les bavettes d'appuis de fenêtres. En travaux complémentaires, prévoir le remplacement des anciennes fenêtres de cuisine.

Atelier Roland Soulès

Architecte d.p.l.g. Urbaniste

TABLEAU DES BUDGETS PREVISIONNELS AVANT DEVIS DESCRIPTIF DES TRAVAUX & APPEL D'OFFRES

BUDGET	SOLUTIONS		
	N°1	N°2	N°3
Travaux ht	550 000,00 €	610 000,00 €	650 000,00 €
TVA 5,50%	30 250,00 €	33 550,00 €	35 750,00 €
TRAVAUX TTC	580 250,00 €	643 550,00 €	685 750,00 €
Honoraires TTC			
Syndic 2,99%	16 445,00 €	18 239,00 €	19 435,00 €
Architecte 8%	46 420,00 €	51 480,00 €	54 860,00 €
Coordinateur SPS 1	58 000,00 €	64 355,00 €	68 575,00 €
Assurance DO :	11 880,00 €	13 180,00 €	14 040,00 €
TOTAL TTC	712 995,00 €	790 804,00 €	842 660,00 €

Option : Une étanchéité des sols de balcons loggias peut être réalisée pour un coût HT de 150.00 €/m² environ avec finition carrelée, ou 50.00 € en finition résine.

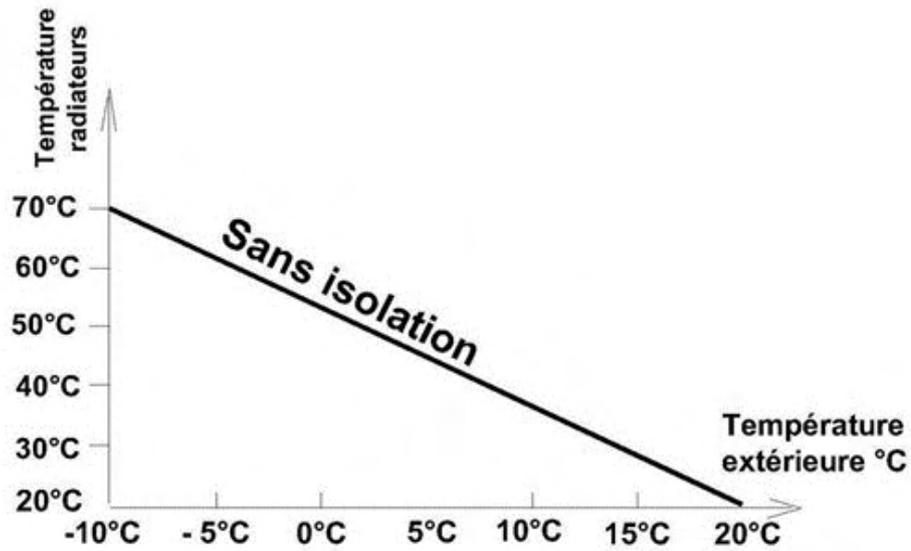
Septembre 2003

Siège social : 66, rue de l'ancienne mairie. 92100 Boulogne Billancourt. Ordre des architectes Ile de France N°01420
S.A.R.L. au capital de 7 623.00 € R.C. NANTERRE 97800392 - N° Siret : 350 444 055 00023 - Code APE - 742
Tel/Fax : 0146053701 Email : atelier.roland.soules@wanadoo.fr

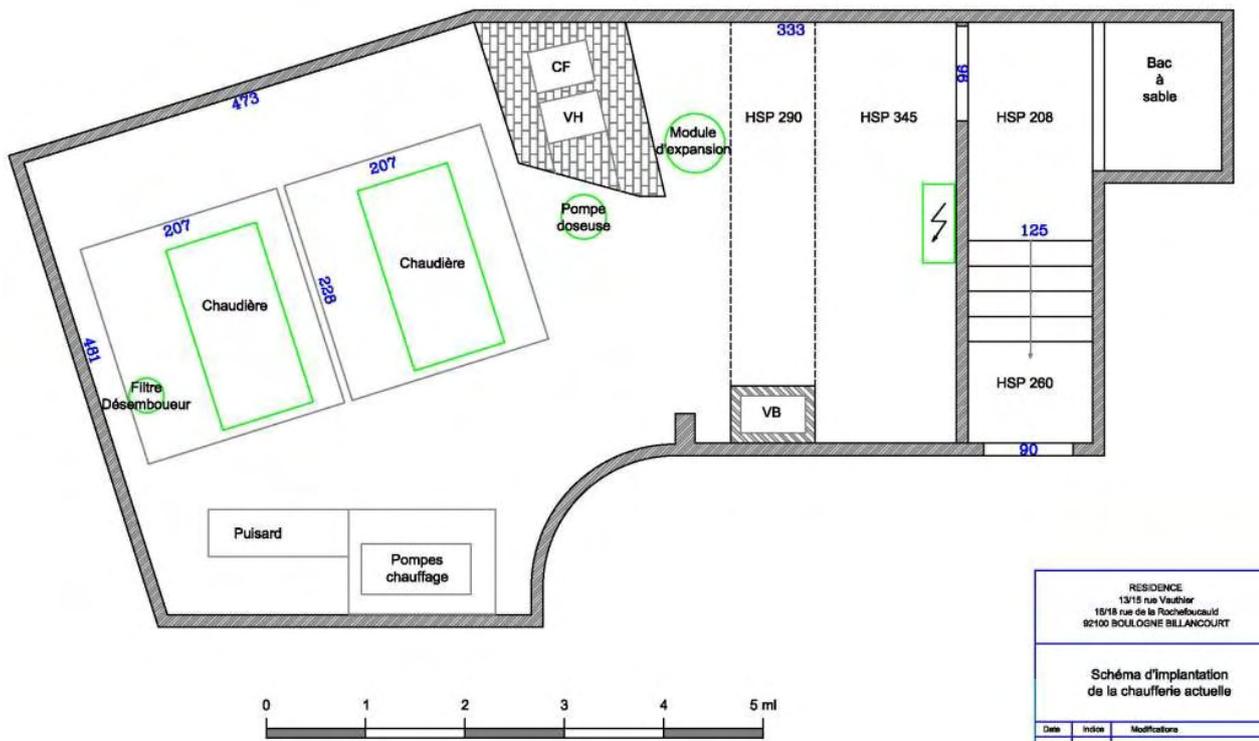
Devis datant de 2003 effectué par l'architecte Soules

B) La génération

1) Avant isolation

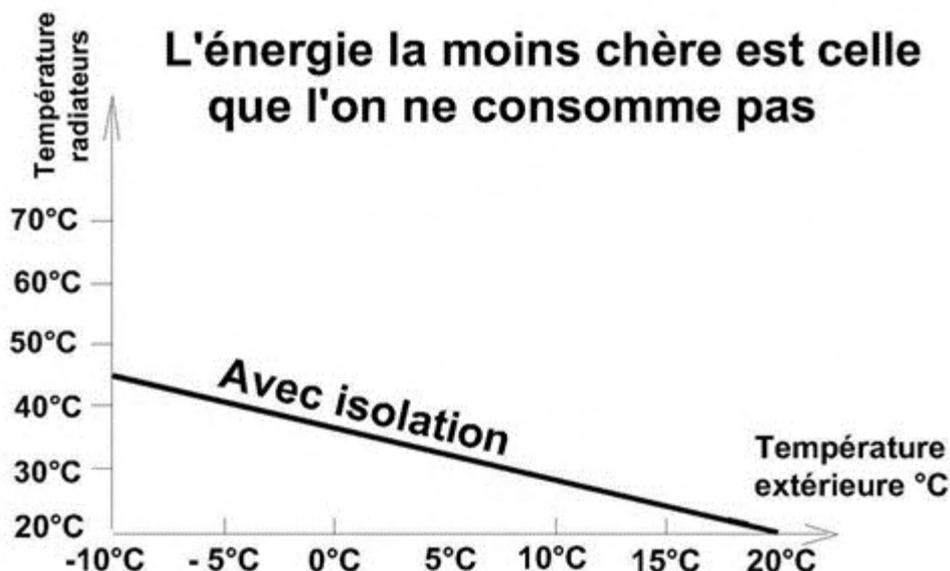


Besoin 700 000 kWh (En coupant le chauffage pendant la nuit)



Implantation actuelle en chaufferie (2 Chappés de 400 kW surdimensionnées)

2) Après isolation



En diminuant notre besoin en énergie thermique de 274 000 kWh avec le poste isolation notre nouveau pour le chauffage passe à
 $700\ 000 - 274\ 000 = 426\ 000$ kWh après isolation

(Sous réserve d'une répartition des pertes thermique moitié moitié entre les tuyauteries verticales et horizontales et de validation de ces deux transferts thermiques par le BE qui fera l'audit énergétique) Gain 39%

L'isolation entraîne une première diminution de la température utile dans les radiateurs. Avec des radiateurs à 70°C avant isolation par -10°C extérieur soit un delta T de 50 °C pour 20°C dans les pièces, le delta T utile après isolation est ramené à $50 \times 0,61 = 30,5$ °C et la température dans les radiateurs ramenée à environ 50°C sans affecter le confort

La phase isolation est la garantie de bénéficier d'un chauffage thermodynamique performant. En baissant la température de la source chaude de 70°C à 50°C les performances du chauffage thermodynamique sont améliorées amélioré de 40%

Explication : Le COP pratique est limité à 50% du COP théorique (valeurs couramment obtenues dans l'industrie) de $5,7/2 = 2,85$ avant isolation avec une température source chaude trop élevée. COP après isolation $2,85 \times 1,4 = 4$

La génération mixte gaz-électricité

Démonstration

$COP = T_c / (T_c - T_f)$ soit

$COP1 = 273 + 70 / (70 - 10) = 343 / 60 = 5,7$

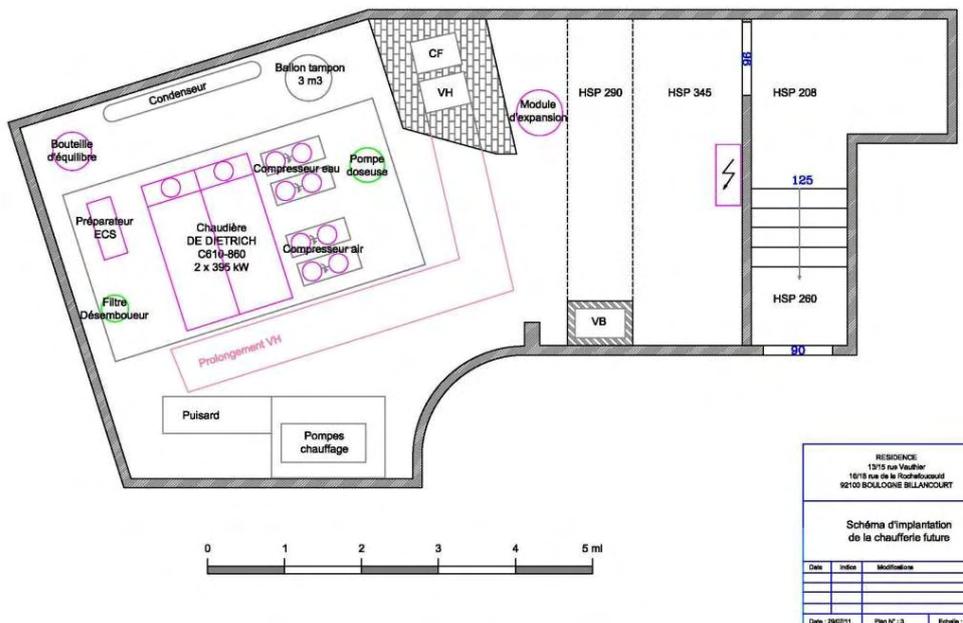
$COP2 = 273 + 50,5 / (50,5 - 10) = 323,5 / 40,5 = 7,98$



La chaudière C610700 prévue est constituée de deux chaudières assemblée l'une sur l'autre montré sur cette photo



Variateur de vitesse sur l'entraînement des pompes Salmson du circuit d'alimentation en eau chaude



Implantation future en chaufferie

3) Avec radiateurs basse température

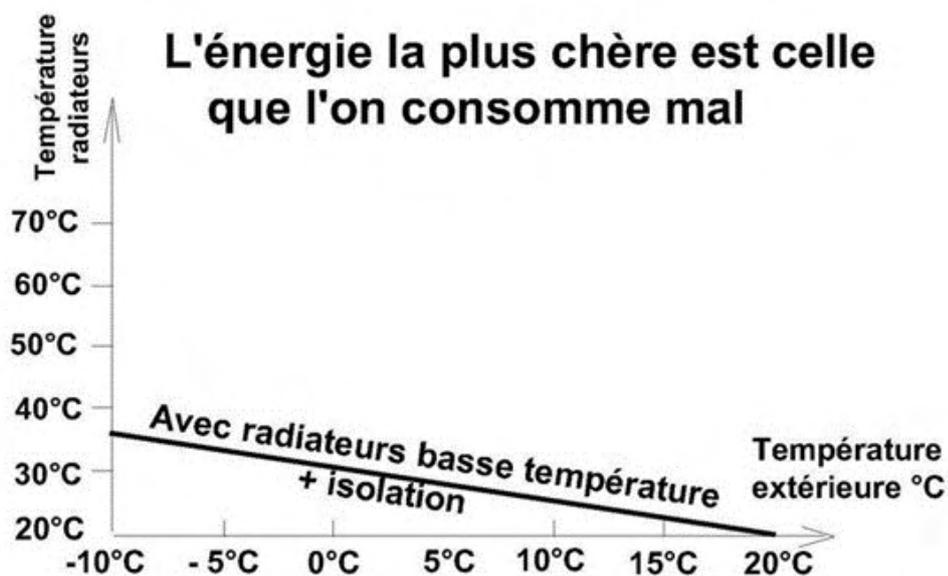
Vous avez deviné, c'est bien l'électricité que l'on consomme mal
2^{ème} abaissement de la source chaude

Radiateur 10 watt/m² et °C de delta

Si on double la surface de chauffe des radiateurs le Delta est ramené à

Sensiblement à 15 °C au lieu de 30 avec un COP encore amélioré

$COP_3 = \frac{273 + 30}{30 - 15} = \frac{303}{15} = 20$ soit un COP pratique de 10



426 000 kWh

En améliorant l'isolation des logements on ne fait pas qu'économiser de l'énergie, on prépare l'habitation à recevoir une chaufferie thermodynamique performante. Ceci en baissant la température requise dans les radiateurs pour assurer notre confort. On peut encore diminuer la température dans le circuit de chauffe et améliorer à nouveau les performances en agissant sur le dimensionnement des émetteurs thermiques. Ceci particulièrement avec les radiateurs hydrauliques qui nécessitent des températures plus élevées que les planchers chauffants en raison de leur surface d'échange moins importante. Lorsque l'on souhaite installer un chauffage thermodynamique dans un immeuble équipé de radiateurs hydrauliques on peut avoir intérêt à augmenter leur surface de chauffe pour améliorer les performances de la génération thermique.

On diminue ainsi d'une façon significative la consommation d'énergie primaire payante (gaz, électricité, fioul) et on améliore le confort. Une pompe à chaleur haute température peut aussi être une solution à ce problème mais le circuit hydraulique est plus complexe.

La génération mixte gaz-électricité

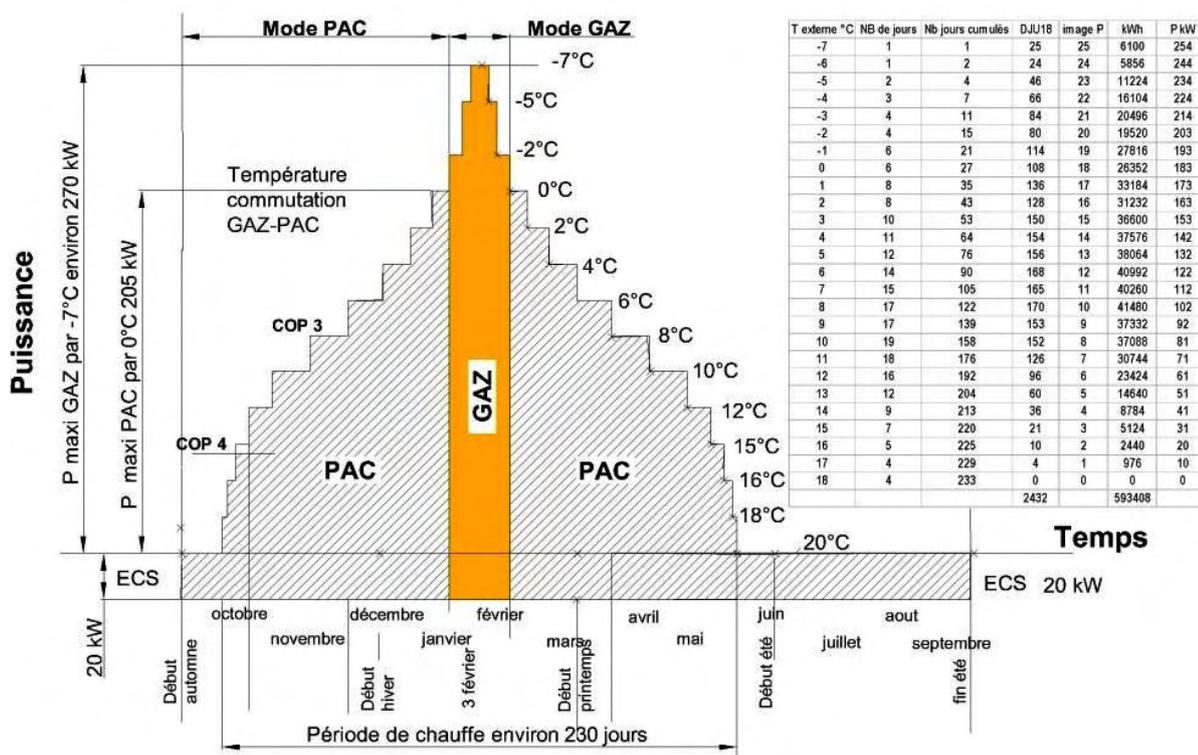
Mode de marche

En complément à ces notions préliminaires on peut encore améliorer l'efficacité de la génération en répartissant mieux la consommation d'énergie primaire entre le gaz et l'électricité :

1. Selon le niveau de température requis à la source chaude et ceci qu'il s'agisse du chauffage ou de la fourniture de l'eau chaude du sanitaire
2. Selon le niveau de température de l'environnement à la source froide en répartissant l'échange thermique avec l'environnement entre l'air et l'eau selon les saisons

Ce sont ces deux dernières améliorations qui sont évoquée ci-après

Selon le niveau de température requis à la source chaude les deux énergies primaires sont utilisées alternativement



Chauffage en continue pendant la période de chauffe (sauf prndant production ECS)

ECS (Possible de 2 à 4 h du matin pendant la nuit)

Energie à transmettre: en 2 h pour 4m3 d'eau chaude : environ 270 kWh (avec déperditions)

soit une puissance utile de 130 kW inférieure à la puissance chauffage de 205 kW par -10°C

Même si l'on ne procède à aucune isolation, la commutation GAZ > PAC eau eau est pratiquement envisageable dès 0°C extérieur au lieu de 7°C à 8°C avec la PAC air-eau. On observe, les surface étant proportionnelles aux énergies que la proportion d'ENR produite est nettement supérieur à la PAC air-eau (Voir figure page 270)

Nota technique

La puissance perdue par le bâti est proportionnelle à $T_e - T_i$

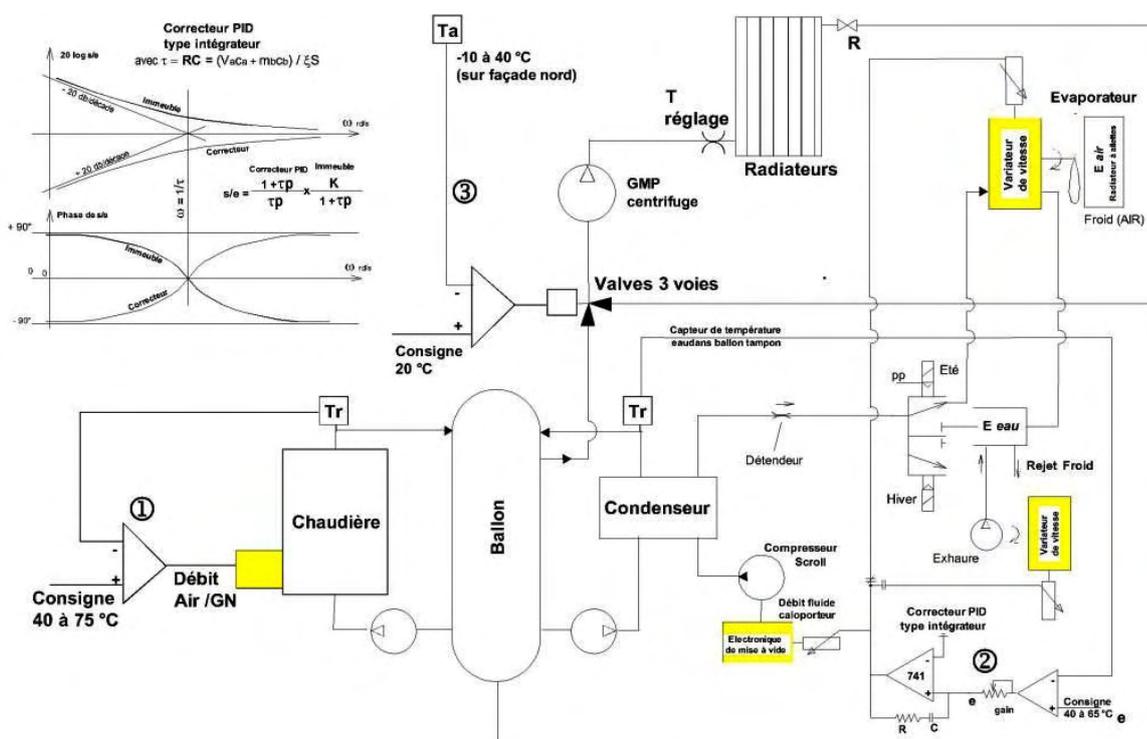
ENR : La puissance est proportionnelle au débit massique Q_f (kg/s) du fluide caloporteur.

La puissance est aussi proportionnelle au débit d'eau dans le primaire de l'échangeur à plaque du condenseur ainsi qu'à la chute de température $\Delta\vartheta_e$ de l'eau dans le primaire de cet échangeur $\Delta\vartheta_e = T_e - T_s$,

On a $P = e_f Q_f = c_e Q_e \Delta\vartheta_e$ Avec $e_f =$ « chaleur latente (massique) de transformation » appelée aussi l'enthalpie exprimé en kJ/kg du fluide caloporteur

Les températures radiateurs sont à confirmer par mesures (voir point 13)

*Plage de puissance des chaudières De Dietrich



Les différentes boucles (cohabitation GAZ – PAC)

- ① En réglant la quantité d'air de combustion et le débit de gaz naturel la chaudière fourni la puissance utile, pas plus
- ② Le dispositif de mise à vide du compresseur module le débit du fluide caloporteur au prorata du besoin thermique. Le compresseur tourne en permanence améliorant les performances, les débits d'air ou d'eau sont ajustés sur chacun des deux évaporateurs selon le besoin thermique (inverter)
- ③ La boucle de température extérieure anticipe les variations de température ambiante

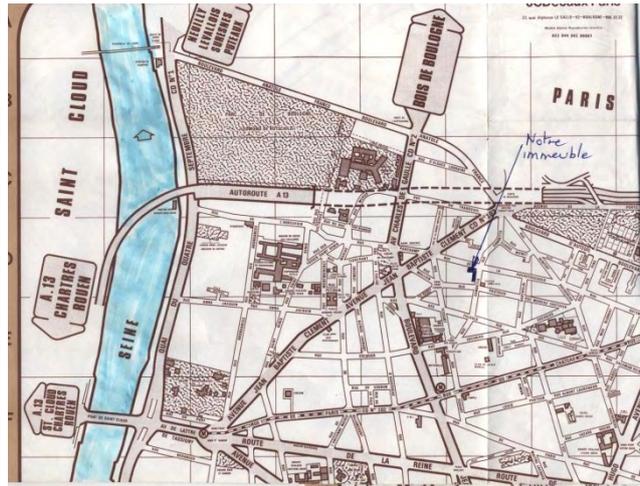
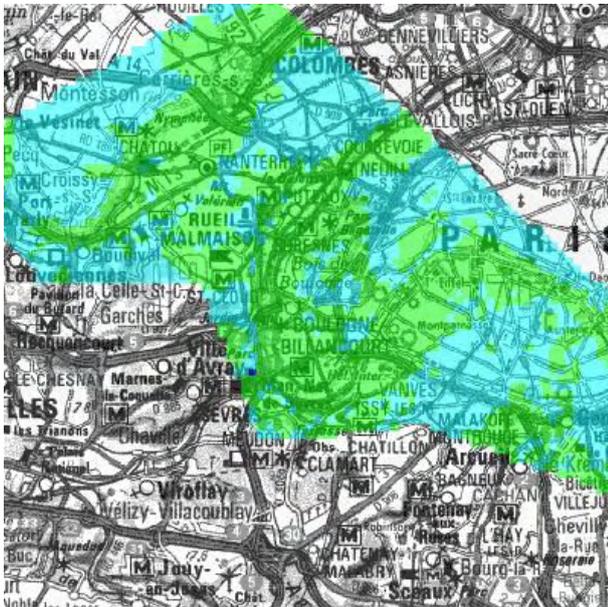
La génération mixte gaz-électricité

Le système ballon - PAC se comportant comme une fonction linéaire du premier ordre un correcteur électronique type intégrateur sera prévu pour annuler l'erreur statique.

Mode aquathermique Conditions locales

La nature crayeuse* du sous-sol bouloonnais (couleur vert) a un potentiel favorable allant de moyen à fort sur une échelle allant de très faible à très forte. Le terrain est à environ 1 km de la Seine à l'intérieur d'une boucle. Le puits (ou exhaure) pourrait éventuellement être prévu en chaufferie.

La craie, roche sédimentaire constituée presque exclusivement de carbonate de calcium sous forme de coccolite (squelette de foraminifères ayant vécu au crétacé. Le « blanc de Meudon » et de Troyes sont des variétés de craie.



La génération mixte gaz-électricité



Débit pompé dans la nappe libre

Le débit théorique

Le débit maximum devant être pompé dans la nappe phréatique pour que la pompe à chaleur puisse fonctionner correctement est fonction de la température du rejet, de la puissance maximum que la PAC doit fournir en hiver. Le calcul ci-dessous a été réalisé pour un besoin en puissance maximum de 240 kW (sensiblement le double de la puissance en mode aérothermique)

Avec une température de l'eau pompée à l'exhaure de 11 °C et une température de l'eau rejetée de 4 °C, la différence de température est de $11 - 4 = 7$ °C. Compte tenu de la chaleur spécifique de l'eau de 4,18 kJ/litre et °C, l'énergie Q restituée à la PAC dans un volume d'eau de 1 litre diminuant sa température de 7 °C est $Q = 1 \times 4,18 \times 7 = 29,26$ kJ

Pour développer une puissance de 180 kW froid à l'évaporateur (COP 4) kW ou ce qui revient au même de 180 kJ/seconde, il faut donc disposer dans ces conditions d'un débit de $180/29,26 = 6,1$ litres/seconde ou $(6,1 \times 3600)/1000 = 22$ m³/h (366 l/mn) nettement inférieur au 80 m³/h au-delà de laquelle une autorisation doit être demandée au BRGM (il suffit d'informer cet organisme)

A noter que les débits requis par les constructeurs allemands de pompes à chaleur sont proches des valeurs théoriques.

La pérennité et la qualité de l'eau pompée

L'étude du cycle de l'eau au-dessus de terres habitées montre que le volume d'eau douce stockée dans le sous-sol est environ 60 fois plus important que celui contenu dans les lacs et les rivières avec un flux de ruissellement souterrain comparable à celui des rivières. Dans le sous-sol des villes c'est donc plutôt la qualité de l'eau que sa quantité qui doit retenir l'attention. L'eau prélevée dans la nappe est généralement moins polluée que l'eau de la rivière.

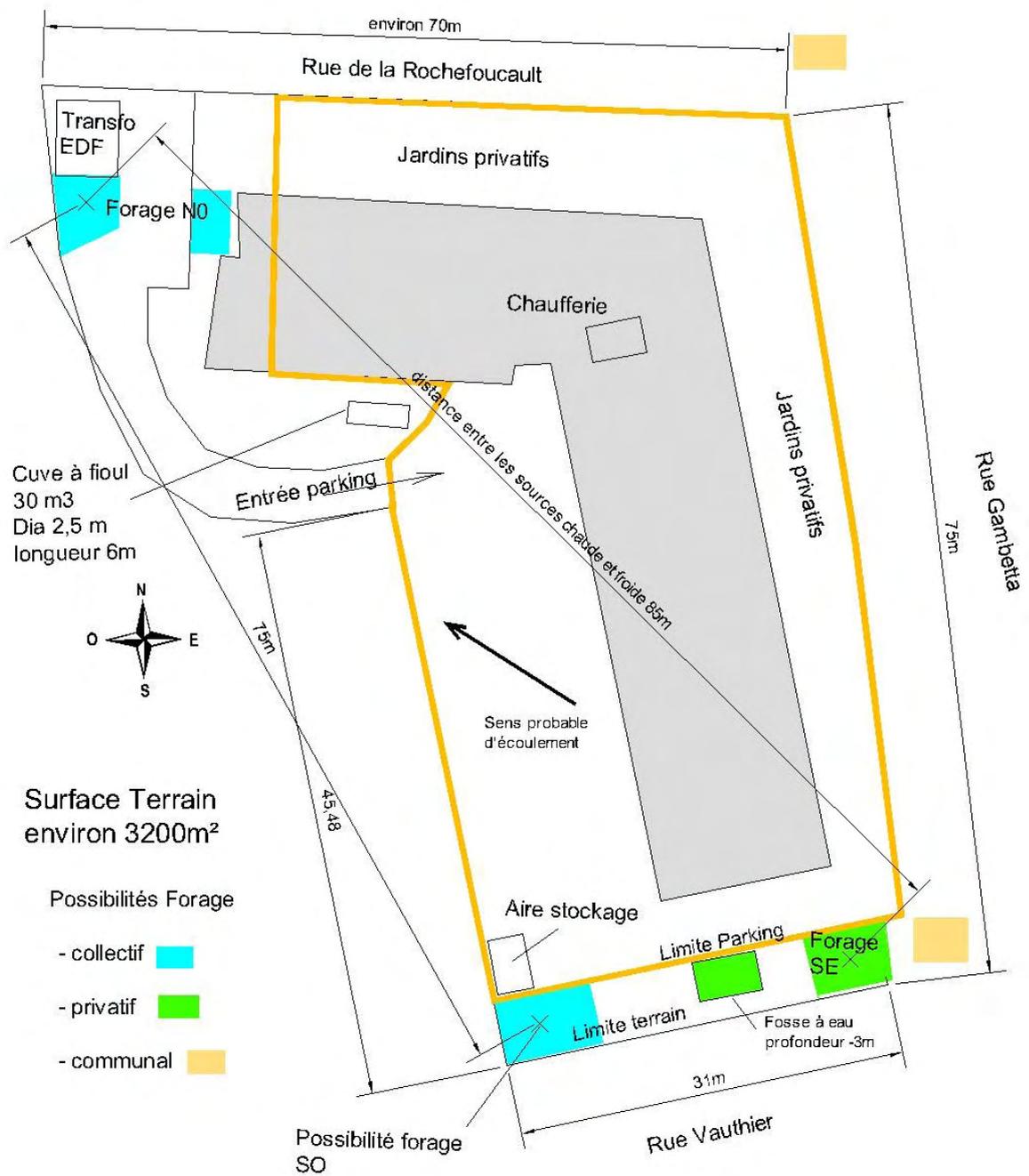
Débit d'eau dans le circuit d'eau de chauffage

Ce débit est fonction de la puissance totale transmise par les radiateurs ou les planchers chauffants hydrauliques. Pour des **températures départ chaudière/retour** radiateurs égales à 75/65 °C (Valeurs souvent constatées avant isolation du bâtiment) l'écart de température entre le départ chaudière et le retour radiateurs est de 10°C. La loi de conservation de l'énergie permet dans ce cas de définir quel est le rapport entre le débit d'eau chaude dans le circuit de chauffage et celui nécessaire à l'exhaure. Il suffit d'écrire que: $Q_{RAD} \times 10 \times c = 1,5 Q_{PAC} \times c \times 7$ pour des **températures nappe libre/retour** égales à 11/4 °C (Valeurs pratiques habituelles). Dans ce cas le débit pompé à l'exhaure doit avoir pour valeur:

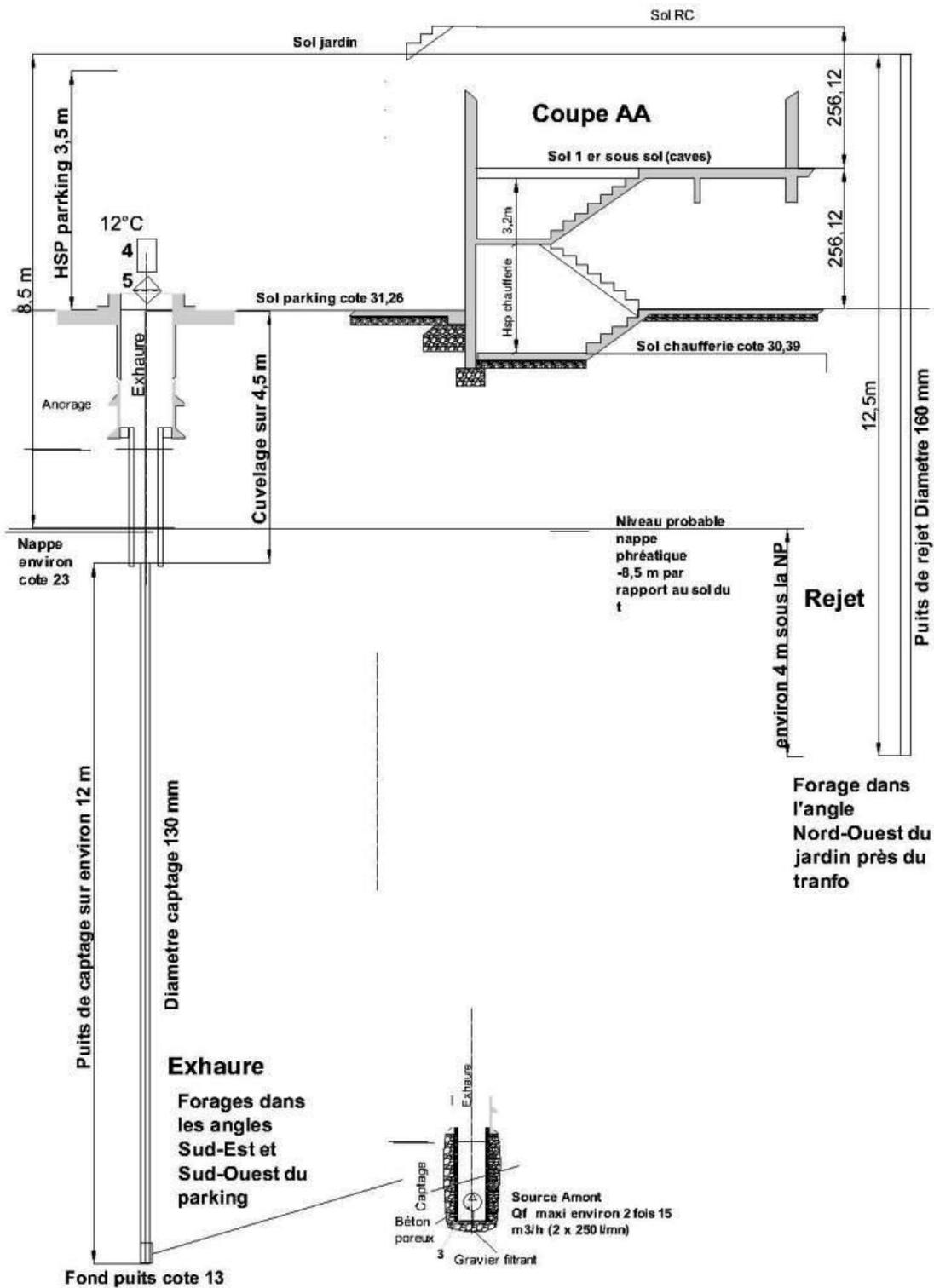
$$Q_{PAC} = Q_{RAD} \times 10/7 = 1,4 Q_{RAD}$$

Ce rapport peut évidemment changer selon les différences de température constatées sur le circuit chauffage. Si l'écart de température est le même sur les deux circuits les deux débits sont également les mêmes.

La génération mixte gaz-électricité



La génération mixte gaz-électricité



Forage hors gel dans le parking

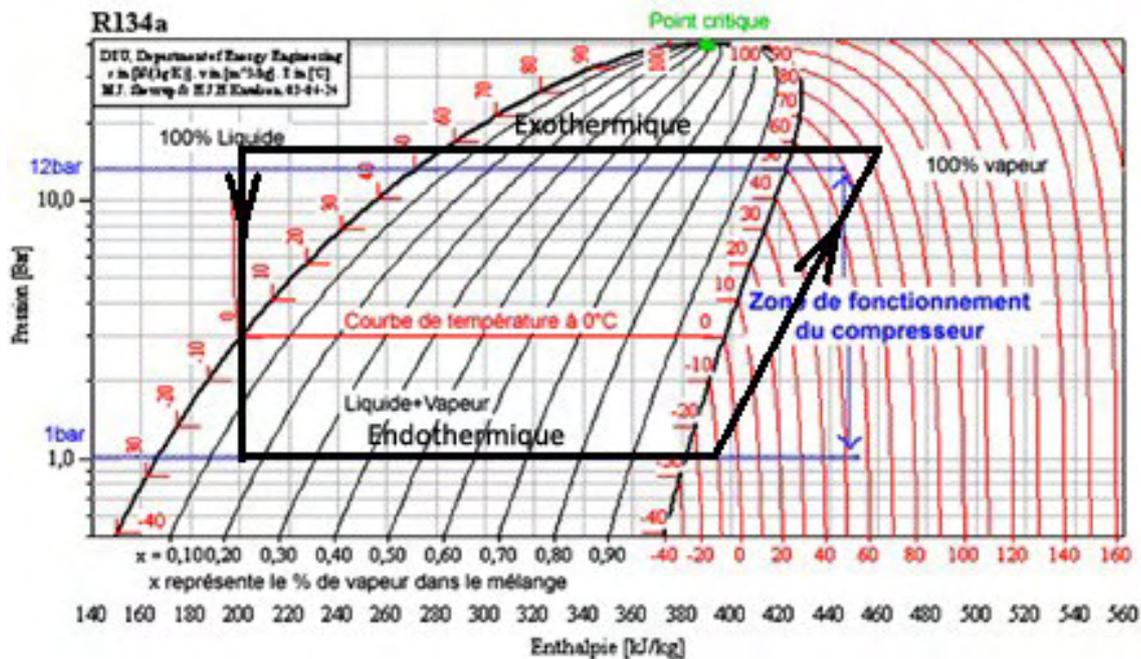
Mode aquathermique

Au cœur de la pompe à chaleur

Un fluide caloporteur tel que le R134a (tétrafluoroéthane) pourrait éventuellement être utilisé comme fluide caloporteur pour une pompe à chaleur de ce type. Composé de la classe des hydrofluorocarbures (HFC), il n'a pas d'impact sur la couche d'ozone (ODP=0). Le débit Q_f du fluide caloporteur (exprimé en kg/s) ainsi que la chaleur latente de vaporisation de ce fluide au point d'ébullition C_f (exprimé) en kJ/kg est essentiel pour connaître la puissance récupérée à la source froide par la pompe à chaleur: $P = C_f \times Q_f$ (en kW) 1)

Caractéristiques du fluide caloporteur R134a

Masse volumique en phase liquide	1200 kg par m ³
Capacité spécifique de la vapeur	0,84 kJ/kg et °K
Chaleur latente de vaporisation au point d'ébullition	216 kJ/kg*
Point d'ébullition	- 26,6°C
Température critique	101°C
Pression critique	40,6 bar



Le fluide caloporteur R134a

La PAC eau eau

PAC GÉOTHERMIQUE série DS 6500.4

PLAGES DE PUISSANCE : 164,4 à 340,6 kW

Chauffage, eau chaude sanitaire, rafraîchissement naturel*

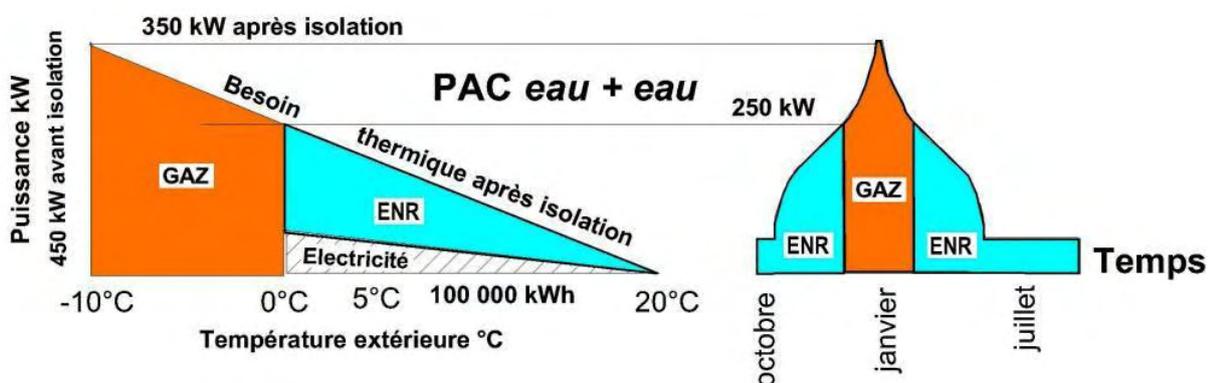
- Compresseur hermétique accessible à vis
- Régulation électronique avec programmes : chauffage, eau chaude sanitaire, rafraîchissement
- Paramétrages et intervention à distance à l'aide d'un modem et d'un logiciel à disposition de l'installateur agréé
- Gaz 134A

L2300 cm x H1815 cm x P1110 cm

Valeur nominale	6237.4	6271.4	6299.4	6388.4	6438.4	6485.4
Puissance absorbée/utile W10/W35	kW 27,9/164,4	32,3/186,7	35,8/207,3	44,6/269,3	51,1/302,7	56,5/340,6
Débit d'eau nappe phréatique (W10/W35)	m³/h 29,4	33,2	36,9	48,4	54,2	61,1
Perte de pression dans l'évaporateur	mCE 2	2,1	2,6	2,6	2,8	2,7
Débit d'eau nappe phréatique mini. (W10/W35)	m³/h 19,6	22,2	24,6	32,3	36,1	40,8
Débit d'eau de chauffage (W10/W35)	m³/h 28,3	32,2	35,7	46,4	52,1	58,7
Perte de pression dans le condenseur	mCE 1,8	1,9	2,3	2,3	2,5	2,4
Conditions limites (pour 100% de puissance)				B-5/W55 OU W5/W65		
Compresseur frigorifique	Type			Compresseur à vis		

* Le compresseur ne fonctionne pas : économie d'énergie

PAC Waterkotte eau eau



Estimation

Puissance utile sans isolation 450 kW*

Besoin thermique annuelle chauffage sans isolation 700 000 kWh

Puissance utile avec isolation 350 kW

Besoin thermique annuelle chauffage avec isolation 450 000 kWh

Puissance nominale PAC 250 kW

Répartition énergétique annuelle approximative GAZ / ELEC / ENR

en % 30/17,5/52,5

en kWh 135 000 / 78 750 / 236 250

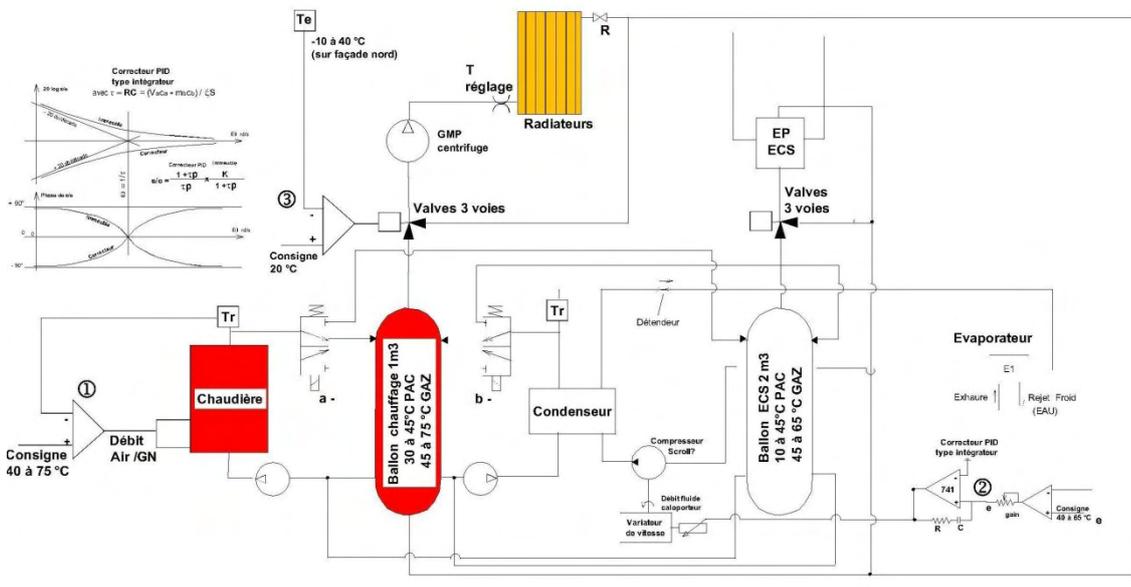
Compte tenu de l'amélioration du rendement chaudière qui peut passer à 95% voire plus avec une chaudière à condensation et des 3 estimations précédentes

Les modes de marche

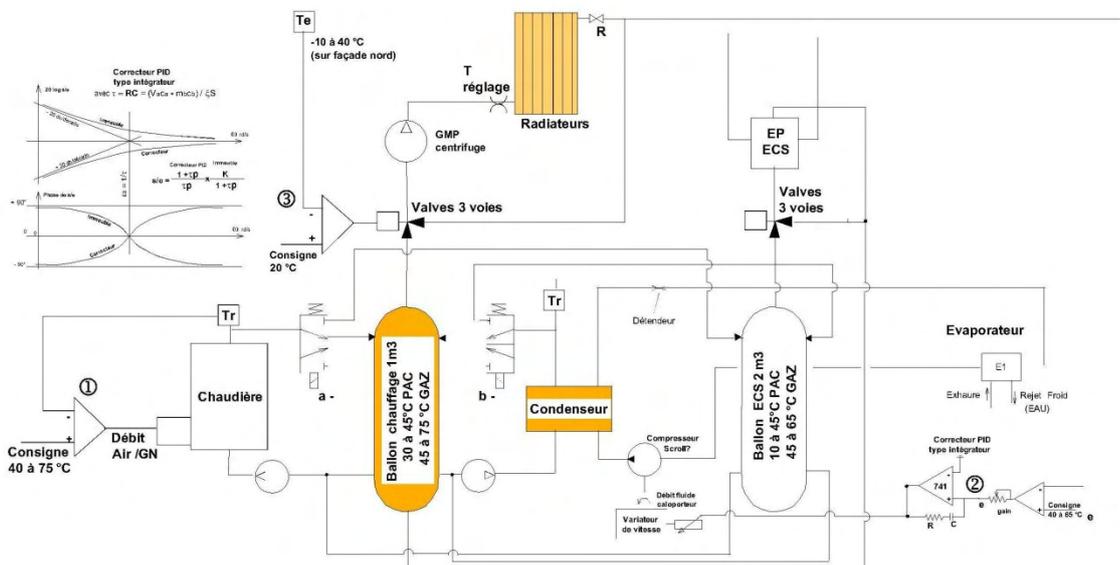
Pour le chauffage

L'électricité avec la pompe à chaleur vers le chauffage pour une température à la source chaude comprise entre 30 et 55 °C, la combustion avec le gaz se substituant à la PAC pour une température à la source chaude comprise entre 55 et 80 °C

GAZ vers chauffage 55 à 80 °C



PAC vers chauffage 30 à 55 °C

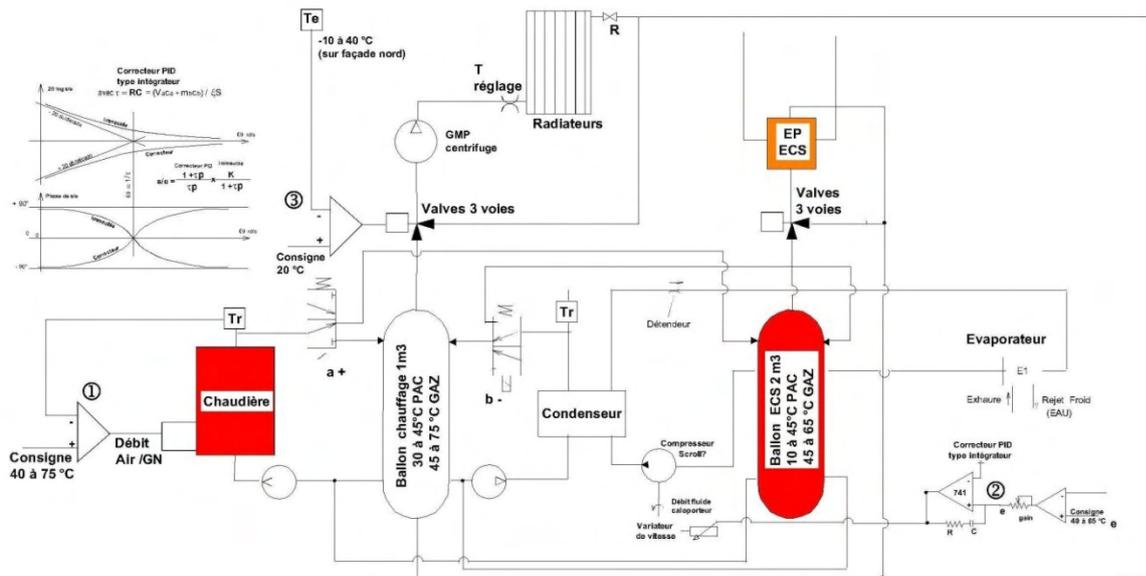


La génération mixte gaz-électricité

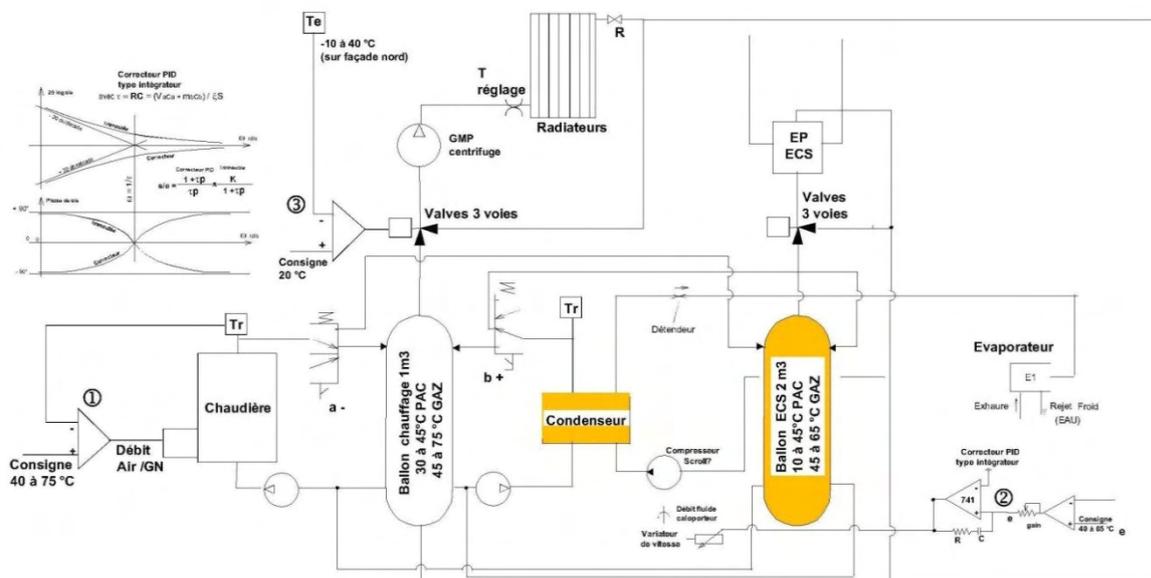
Pour la production d'eau chaude sanitaire

L'électricité avec la pompe à chaleur vers la production d'eau chaude sanitaire pour les températures à la source chaude allant de 10 à 55°C, la combustion avec le gaz se substituant à la PAC pour une température à la source chaude comprise entre 55 et 65°C

GAZ vers ECS 55 à 65 °C

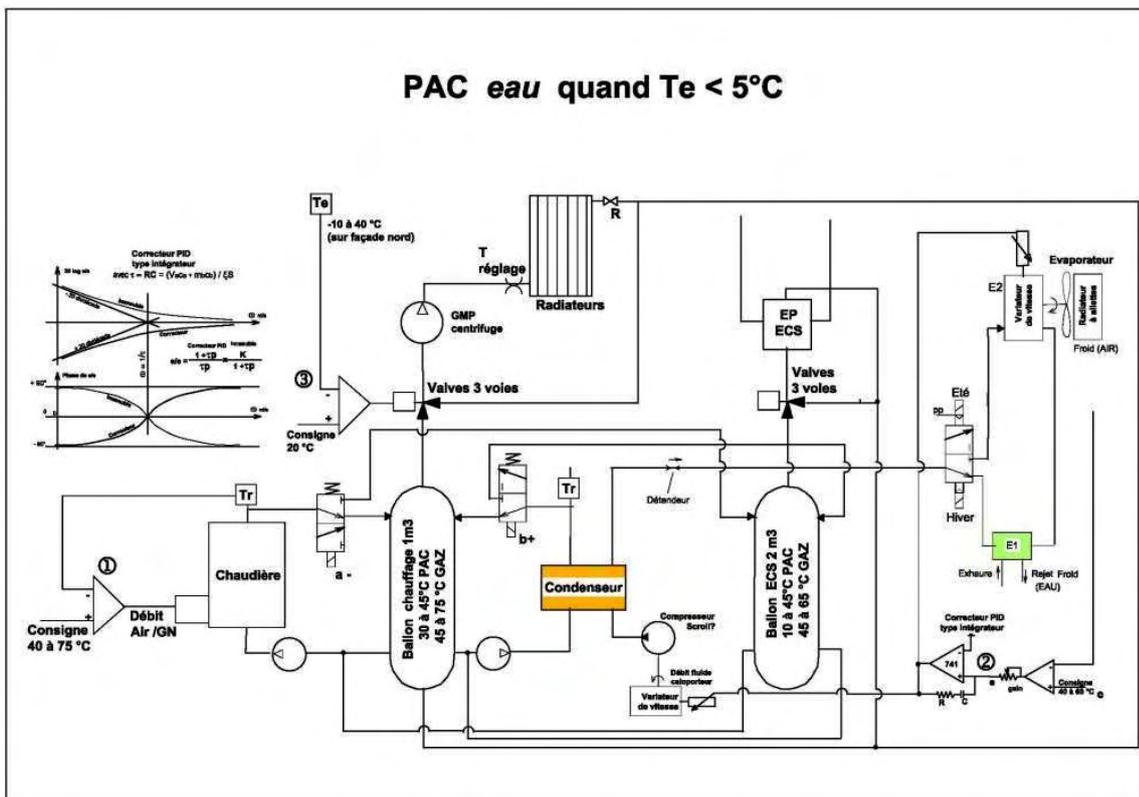
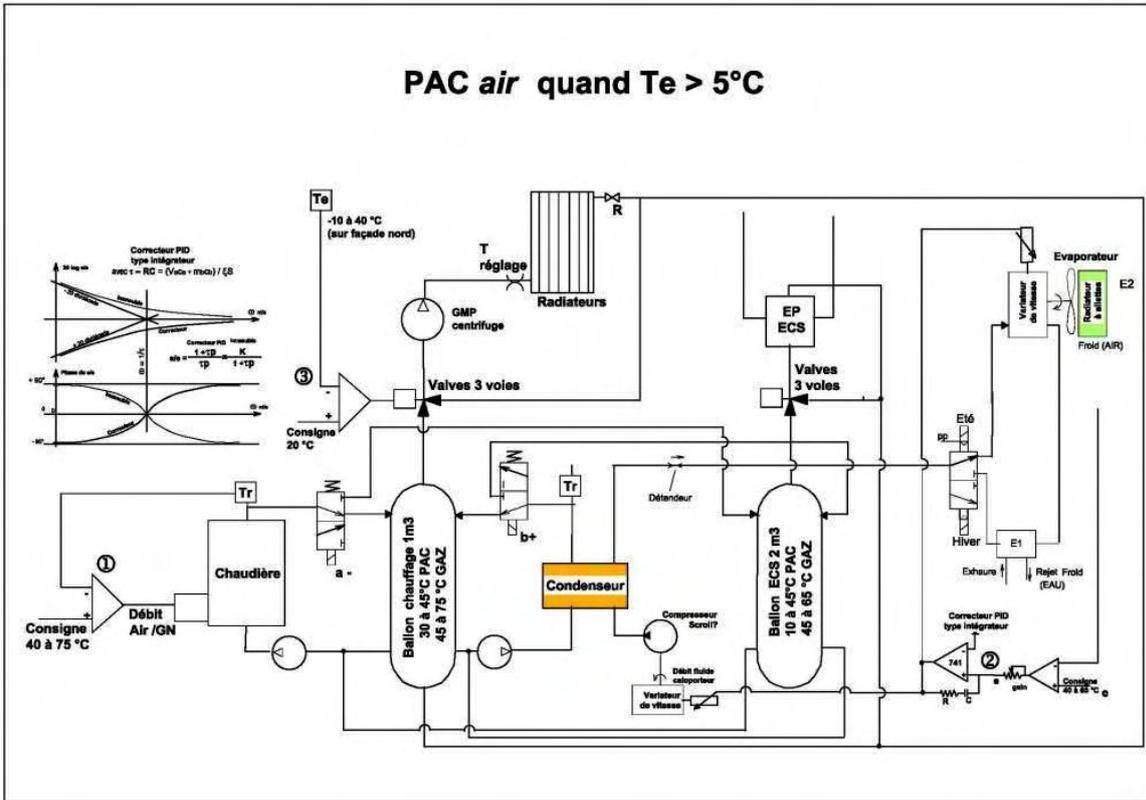


PAC vers ECS 10 à 55 °C



La génération mixte gaz-électricité

PAC pouvant fonctionner en mode aquathermique et aérothermique



Selon le niveau de température de l'air environnant à la source froide, la pompe à chaleur fonctionne selon deux modes de marche

En mode aérothermique

Pendant l'été et en mi-saison lorsque la température extérieure est supérieure à 5°C

Température source chaude T_c	Température source froide T_f		COP
10 à 45 °C (273 à 318 K)	5 à 35 °C (278 à 318 K)		Théorique mini
10°C	5°C	278K	
45°C	35°C	308K	318/40 = 8

En mode aquathermique

Pendant la saison froide lorsque la température extérieure est inférieure à 5°C avec une source froide à 10°C

Température source chaude T_c	Température source froide T_f	COP théorique mini
10 à 45 °C (273 à 318 K)	10°C (283K)	318/35= 9

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

Le terme source peut devenir inadapté. Il est plus adapté de parler de source environnemental sujette à refroidissement

Estimation chaufferie mixte

Complément ENR (PAC eau eau)

(Pompe à chaleur aquathermique assistée par le gaz)

1) Prestations intellectuelles

Comprenant étude de faisabilité, dossier de déclaration,
Maîtrise d'œuvre, test hydrogéologique 20 000€

2) Le forage

- Forage seul (hors équipement et fournitures électriques) 37 500 €
estimé pour 30 m à 1500€/ ml (fourchette maxi 800 à 2000 €/ ml)
- Equipements pour pompe immergée à débit variable
de 8 et 25m³/h estimation 20 000 €

3) Les équipements de surface de la PAC

- Pour 240 kW puissance thermique nominal maximum 260 kW
estimation fourniture, pose et raccordement modem inclus 70 000 €
- Pas de ballon tampon du fait du variateur de vitesse
- Software, circuit de visualisation, modem, raccordements 3 000 €
- Mise en route avec optimisation COP 10 jours à 800 €/j 8 000 €
- Visualisation 3 500 €

4) Les ballons inox du circuit ECS

Pour 3 ballons inox de 1 m³ avec isolation
(Montant probablement surestimé) 50 000 €

Total prévisionnel provisoire chaufferie partie PAC 212 000 €

Matériels interface circuit mixte

Compris dans le poste gaz (7 000 €)

Partie GAZ comprenant deux chaudières prix au prorata puissance
Budget pour 175 000 €
Total chaufferie mixte 387 000 € ramené à **400 000 €**

4) Les frais d'exploitation selon le BRGM

Contrat de maintenance des deux puits
(2 visites annuelles avec rapport) 2000 €/an
Contrat de maintenance de la pompe à chaleur
de 200 à 400 kW..... 5500 €/an

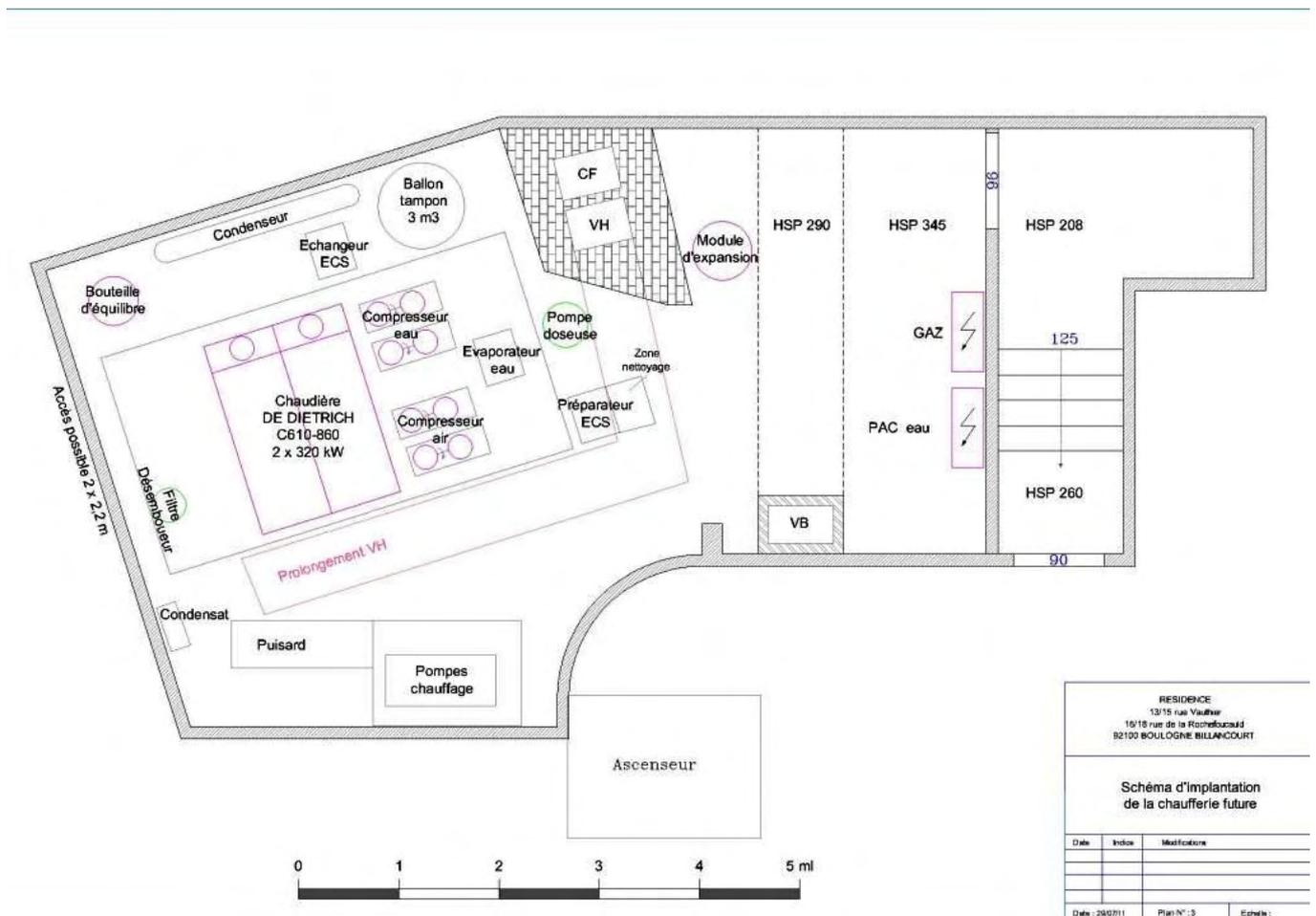
La génération mixte gaz-électricité

Ajouter à ces frais les opérations exceptionnelles de maintenance des deux puits tous les 10 à 15 ans avec détartrage éventuels et examen endoscopiques par vidéo ou peut-être mieux inversion circuit pour décolmatage crépine

Nota:

Les prix indiqués par l'Ademe (80 à 160 € / m² habitable) pour l'implantation d'une PAC sur eau de nappe semblent élevés compte tenu de l'effort de standardisation des constructeurs. Le coût du forage étant réparti sur 68 copropriétaires, il semble raisonnable de valider 100 € / m² proche de la valeur basse de 80 € / m².

Cela conduit en effet à un montant prévisionnel de $4700 \times 100 = 470\ 000$ € pour nos 4700 m² habitable



Nouvelle implantation chaufferie

La génération mixte gaz-électricité

Estimation partie gaz et Planning

Détails à confirmer par BE

Année	Désignation des travaux	Prix € HT à confirmer
2012	Etudes schéma hydraulique et plan d'implantation (fournis par Secotherm)	
201	Désembouage	
201	Mesure températures	
201	Dépose 1 ^{ère} chaudière Chappée	
201	Maçonnerie	
201	Alimentation gaz (GDF parfois en retard)	
201	Mise en place du dispositif de ventilation forcée (gaine pompier)	
201 début été	Mise en place 1 ^{ère} chaudière à condensation	
201	Raccordement hydraulique chaudière	
201	Raccordement pompes circulation Salmson et mise en place électrovalve	
201	Raccordements hydrauliques	
201	Electricité	
201	Calorifugeage et mise en eau	
201	Fumisterie par Poujoulat (tubage inox)	
201	Conformité sécurité (porte d'accès)	
201	Flocage chaufferie	
201 fin été	Mise en place 2 ^{ème} chaudière à condensation	
201	Cuve FOD vidange nettoyage	
201	Cuve FOD remplissage tout venant	
201	Budget total global des travaux en avec 2 chaudières De Dietrich à condensation + interface ENR	Budget 210 000 € HT*
201	Mise en place option ENR	Budget 175 000 € HT*

Evolution des fluides caloporteurs

La recherche d'un fluide caloporteur « idéal » est au cœur de la recherche et conditionne en partie l'évolution du chauffage thermodynamique. Les critères de choix du fluide caloporteur relèvent du constructeur de la pompe à chaleur. Il peut être différent d'une pompe à l'autre selon la température maximum souhaitée au condenseur. Les fluides frigorigènes ont pour rôle d'assurer les transferts thermiques dans l'évaporateur et le condenseur d'une pompe à chaleur. Pour cela, ils doivent répondre à un certain nombre de critères,

1. thermodynamiques (obtention du rendement optimal, bon positionnement des températures d'évaporation et de condensation),
2. de sécurité (toxicité, inflammabilité),
3. techniques (leur action sur le milieu à refroidir, les matériaux constitutifs de la machine et les huiles de graissage ne doit pas être nocive),
4. économiques et écologiques.

D'une manière générale les fluides frigorigènes utilisés dans une pompe à chaleur doivent présenter les propriétés physico-chimiques suivantes :

- Une température de vaporisation basse et à la pression atmosphérique afin de soutirer la chaleur dans l'environnement à une pression légèrement supérieure à la pression atmosphérique et éviter ainsi la pénétration du milieu extérieur dans l'évaporateur.
- Une caractéristique favorable des courbes de saturation, afin d'obtenir des rapports de compression modérés.
- Des pressions de condensation raisonnables dans le but de réduire le travail mécanique de compression, de limiter les risques de fuite de fluide vers le milieu extérieur et de simplifier la construction du condenseur et du compresseur.
- Une chaleur latente élevée dans le domaine des températures de fonctionnement afin de diminuer le débit dans le circuit fermé de ce fluide en obtenant des coefficients de transfert thermiques élevés.
- Une viscosité du liquide raisonnable (pas trop élevée)
- Une stabilité chimique sur tout le domaine des températures de fonctionnement et une compatibilité avec les huiles de graissage et les matériaux constructifs de l'installation.
- Une solubilité totale par rapport à l'eau, afin d'éviter la formation de morceaux (bouchons) de glace. L'eau doit de toute façon être exclue du circuit caloporteur particulièrement lorsque le fluide de graissage est une huile synthétique
- Être non inflammable, non toxique et non explosif.
- Une rigidité diélectrique élevée, surtout dans le cas des installations sertissées où l'agent thermodynamique entre en contact direct avec les éléments du circuit électrique.
- Être non polluant en cas de fuite vers le milieu extérieur.
- Avoir un coût acceptable, surtout pour les installations de grande puissance.

La génération mixte gaz-électricité

Comme on le voit beaucoup de qualité sont requises. Le dioxyde de carbone, en pratique du gaz carbonique (CO₂), le fluide par lequel le mal arrive rentre curieusement en liste. Il fonctionnerait cette fois-ci en circuit fermé au lieu d'être dissipé à grand frais dans l'atmosphère. Aussi dénommé le **R744** par les frigoristes, le gaz carbonique a une chaleur latente de vaporisation au point d'ébullition plus importante (570 kJ/kg). Il commence à être utilisé comme fluide caloporteur pour les PAC de forte puissance (jusqu'à 4000 kW) et plus haute température (jusqu'à 90°C), solutionnant du même coût le problème du chauffage des bâtiments existants mal isolés et trop souvent équipés de radiateur haute température. Revers de la médaille les pressions requises pour obtenir ces températures dans le condenseur sont plus élevées (Voir page 247).

Autre alternative plus répandue, le **R134a** un HFC (hydrofluorocarbure) ayant une quasi innocuité pour la couche d'ozone et qui remplace maintenant le R12 (CFC : chlorofluorocarbure) très destructeur de la couche d'ozone. Il est utilisé en quantité pour la climatisation automobile. Dans l'habitat, il présente l'intérêt de pouvoir faire fonctionner les pompes à chaleur à plus haute température (généralement jusqu'à environ 65 °C). C'est le fluide idéal pour fournir l'eau chaude sanitaire à 55°C à partir d'une eau froide ayant une température comprise entre 10 et 12 °C. Ce fluide présente d'autre part l'avantage de fonctionner à pression relativement basse. Ce fluide peut aussi avec un COP qui reste raisonnable alimenter à 65°C les radiateurs moyenne température lors du remplacement d'une ancienne chaufferie par une chaufferie mixte GAZ-ENR.

	R22	R134a	R290 propane	R407C	R717 ammoniac
Utilisation	Installation nouvelle interdit depuis 01.01.2002	Pas de restriction	Selon norme SN253130	Pas de restriction	Installation de grande taille
Inflammabilité / toxicité	Non / non	Non / non	Oui / non	Non / non	Oui / oui
Limite d'utilisation	+55°C	+ 65°C	+65°C	+55°C	+55°C

Quelques fluides caloporteurs courants

Autre alternative, le HFO 1234yf, breveté par Honeywell qui pourrait se présenter comme une alternative au R134a. Ceci probablement pour progresser encore en ce qui concerne les émissions de GES (Gaz à effet de serre) mais cela est-il vraiment nécessaire étant donné que le circuit fermé du fluide caloporteur d'une pompe à chaleur est ou du moins doit être rigoureusement étanche toute fuite vers l'extérieur du fluide caloporteur étant formellement prohibée.

Maîtrise

Le syndicat des copropriétaires se porte en Maître d'ouvrage. Le responsable du BE sélectionné pour l'audit thermique se porte en Maître d'œuvre.

Option PAC à absorption

Comparativement au PAC à compresseur type *eau eau* qui bénéficie d'un COP de 4 voire 5 après optimisation du modem ont des performances nettement supérieures aux PAC à *absorption* dont le COP est inférieur à 2. Elles ne font appel qu'à une seule énergie primaire, (le gaz). Ce choix est aussi justifié par le fait qu'il n'est pas exclu de pouvoir faire fonctionner notre chaufferie uniquement avec la PAC en substitution de chaudière à gaz. Pour ces raisons le CS ne recommande pas la PAC à *absorption*.

Une autre raison de cette orientation : Même les PAC à compression *air eau* en relève conduisent à des retours économiques sensiblement améliorés par rapport à la PAC à absorption et ont un meilleur COP .

- PAC compression COP réel de 5 à 4 avec l'eau
- PAC compression COP réel de 4 à 3 avec l'air
- PAC absorption COP réel inférieur à avec l'air

Notre intérêt est aussi de nous orienter vers la PAC à compression qui présente l'avantage de diversifier les fluides en nous rendant solidaire de l'EDF, l'énergie apportée au système en mode ENR étant l'électricité et non plus le GAZ et le transformateur EDF étant sur notre terrain. Le responsable du BE en charge de l'audit doit se sentir libre de prendre contact avec des sociétés telles que DAIKIN CIAT ou WATERKOTTE sociétés qui pourraient être pressenti dans le cadre de l'option ENR.

Type de chaudière

Dans l'immédiat, deux fournisseurs de chaudières Buderus (La r ou De Dietrich semble intéressantes dans la mesure où elles peuvent moduler à volonté ou presque la puissance de sortie en évitant le fonctionnement en tout ou rien. Les chaudières De Dietrich peuvent moduler la puissance de 20 à 100% (air pulsée par variateur de vitesse) ce qui est favorable pour le rendement. De plus les chaudières De Dietrich comme ou Budérus (Leaders sur le marché de la condensation) acceptent des températures de retour très basses ce qui est favorable à la condensation (Gain supplémentaire sur le rendement). Deux chaudières De Dietrich à condensation de 200 kW légèrement surdimensionnée fonctionnant en cascade fourniraient une puissance thermique à peine inférieure à la puissance quittant actuellement notre vieille chaufferie bien que leur puissance nominale soit plus faible compte tenu de leur rendement amélioré. Reste la régulation Diematic M3 qui ne pourrait être remplacée retenu que si elle s'insère dans le contexte de la chaufferie mixte. Si tel n'est pas le cas elle devrait être remplacée par un ou deux automates programmables (solution qui était d'ailleurs recommandée par Secotherm). Il est en effet indispensable que la partie gaz joue le jeu de la cohabitation pour ne pas compromettre la compatibilité de la partie GAZ avec l'option ENR du type compression électrique.

Nota

Lors de la mise en route la solution proposée pour la partie GAZ ne devra pas générer un arrêt supérieur à un jour pour la partie ECS et la commutation se faisant en fonctionnant temporairement avec une seule chaudière. Le BE devra s'assurer qu'il n'y a pas de PB à ce niveau avec les deux chaudières DE Dietrich assemblées l'une à l'autre. Le fonctionnement pourrait se faire tout d'abord avec la chaudière fioul la plus proche de l'entrée en laissant le (très) vieux circuit ECS actuel en place puis ensuite avec la deuxième chaudière gaz après mise en place de celle-ci (temps de coupure ECS à confirmer par le BE). Le surdimensionnement des chaudières par Secotherm semble indiquer que cette société n'a pas suffisamment d'expérience pour prendre la responsabilité de la Maitrise d'œuvre

Régulation(s)

La CT propose deux régulations distinctes selon que la chaufferie fonctionne en mode combustion ou PAC à compresseur.

Projet schéma de régulation

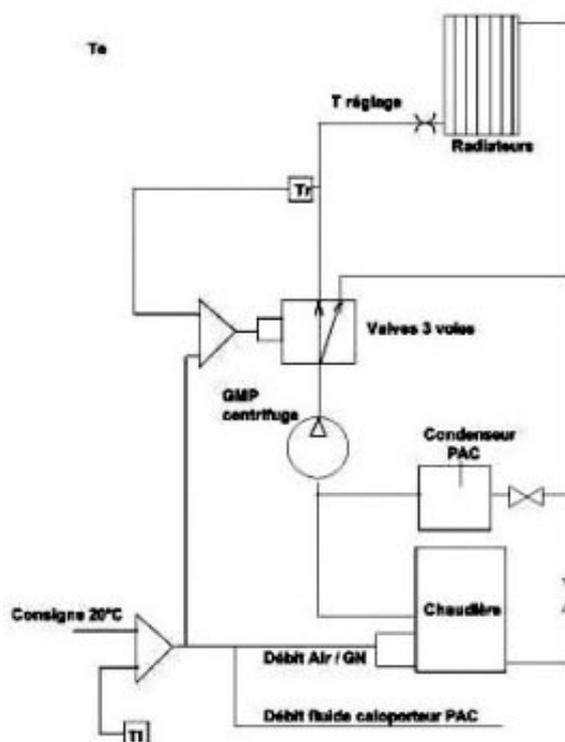
Régulation primaire amont

- La température dans le corps de chauffe des chaudières varie avec la température extérieure dans le cas de la combustion.
- La température amont dans le condenseur reste constante la réaction exothermique de condensation de la PAC à compresseur s'effectuant à température constante

Régulation secondaire

- Variation de la température vers les radiateurs assurée par un bouclage température utilisant la même valve 3 voies et le même capteur pour les deux modes avec deux chaînes de retour d'asservissement distinctes.

La solution ci-dessus permettrait de réutiliser les groupes moto pompe centrifuge Salmson existants



La boucle externe est souhaitable voire indispensable si l'on souhaite de l'immeuble très élevé (environ 90 heures) et de celle nettement plus faible (s'évaluant en minutes) constitué par le volume d'eau chaude dans les tuyauteries de chauffage et les radiateurs. Le temps de réponse des deux valves 3 voies assurant la régulation de température sur les deux boucles devront avoir un temps de réponse adapté aux deux modes de marche avec ou sans option ENR

La génération mixte gaz-électricité

La puissance perdue par le bâti est proportionnelle à $T_e - T_i$

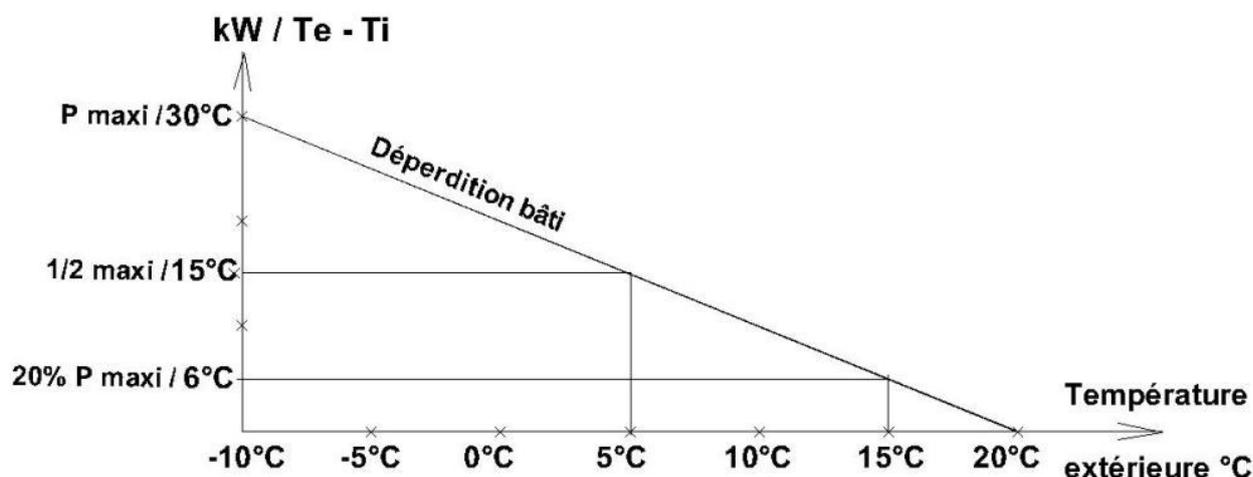
ENR : La puissance est proportionnelle au débit massique Q_f (kg/s) du fluide caloporteur. La puissance est aussi proportionnelle au débit d'eau dans le primaire de l'échangeur à plaque du condenseur ainsi qu'à la chute de température $\Delta\theta_e$ de l'eau dans le primaire de cet échangeur $\Delta\theta_e = T_e - T_s$,

On a $P = e_f Q_f = c_e Q_e \Delta\theta_e$ Avec $e_f =$ « chaleur latente (massique) de transformation » appelée aussi l'enthalpie exprimé en kJ/kg du fluide caloporteur

Les températures radiateurs sont à confirmer par mesures (voir point 13)

*Plage de puissance des chaudières De Dietrich

Air Température extérieure T_e °C	$\Delta\theta = T_e - T_i$ en °C avec $T_i = 20^\circ\text{C}$	Puissance P	Eau Température radiateurs T_r °C	Eau/Air $\Delta\theta = T_r - 20^\circ\text{C}$
-10	30	P maxi	70	50
+5	15	½ maxi	45	25
+14	6	20% maxi*	30	10
+20	0	nulle	20	0



La **Figure 2** ci-dessus permet de comprendre comment varie la puissance thermique utile en fonction de la température extérieure

Equilibrage

Secotherm de mémoire avait recommandé de ne pas prévoir ce poste dans l'immédiat

Le CS demande que le nouveau circuit d'équilibrage soit effectué dans son ensemble et incorpore aussi les parties individuelles (gicleur en pied de radiateurs) et également les pompes centrifuges Salmson actuelles. Le dispositif retenu devra être suffisamment souple pour permettre d'effectuer un nouveau réglage lorsque l'équilibrage thermique du bâti sera

La génération mixte gaz-électricité

parachevé. Le BE s'impliquera dans le fait que la future chaufferie devra fonctionner avec le nouvel équilibre dans les deux modes de marche: combustion et mode ENR. Le CS est conscient qu'un bon équilibre impose une bonne compréhension du circuit formé par ces pompes et les gicleurs en pied de radiateurs.

Si besoin est le CS n'exclut pas la possibilité de remplacer ces GMP Salomon si ces groupes s'avèrent trop énergivore ou être un peu court en pression de refoulement avec le nouveau circuit

Ballon tampon

A part le vase d'expansion à compresseur en chaufferie le circuit actuel ne comprend pas de ballon tampon. Le BE choisi pour l'audit devra formuler un jugement sur l'utilité des ballons tampons.

Récupération de l'échangeur dans le cadre de la nouvelle chaufferie.

Bien que les nouvelles chaudières soient capables d'envoyer sur l'utilisation une puissance comparable aux anciennes, le CS recommande de prévoir un ballon tampon d'une capacité à supérieur au m³ de telle sorte que le besoin soit assuré avec une puissance moitié soit environ 150 kW compatible avec l'option ENR. Quelques plaques seraient rajoutées ou supprimées à l'échangeur à plaques si le dimensionnement effectué par calcul s'avérait insuffisamment précis. A charge du BE de choisir en liaison avec l'installateur entre les deux circuits proposés par De Dietrich ou un autre constructeur de chaudière celui qui lui semble le mieux adapté à notre cas particulier

Implantation chaufferie tuyautage

Option ENR incluse ou non au départ, le circuit comprendra la fourniture des départs bouchonnés permettant d'installer simplement les électrovalves 2 voies repère 131 et 132 permettant d'assurer une commutation automatique de la combustion vers ENR et inversement (voir schéma)

Points complémentaires importants concernant la génération

Tubage (évacuation des gaz brûlés)

Le passage au gaz impose le tubage des cheminées actuelles en tuyauterie inox diamètre 300 mm (pression sur les fumées 120 Pascal) La fumisterie est à assurer en inox.

Par Poujoulat (société sérieuse) si nous traitons avec De Dietrich pour les chaudières

Le diamètre voisin de 300 mm devra être confirmé par Secotherm en liaison avec l'installateur

La génération mixte gaz-électricité

Condensats

Le condensat (environ 1 litre de condensat par m³ de gaz naturel selon De Dietrich) De Dietrich annonce un pH n'excédant pas 8,5 pour éviter d'attaquer les corps de fonderie en aluminium au silicium et aussi pour assurer un rejet dans les eaux usées avec un pH supérieur à 6, 5 limite inférieure de la réglementation. C'est De Dietrich si nous le retenons comme fournisseur pour les chaudières qui assure la fourniture du bac de traitement des condensats. L'évacuation en tuyauterie PVC du condensat se fait vers les eaux usées ou vers le réseau bas avec la pompe de relevage

Marche des chaudières

Les deux chaudières marchent en cascade. La deuxième chaudière se met en marche lorsque la première atteint 30 % de sa puissance nominale.

Le rendement global est ainsi amélioré selon De Dietrich

Variateurs de vitesse

Comme vu précédemment, le CS pourrait recommander de conserver le dispositif de pompage Salmsen actuel plutôt que de prévoir un dispositif selon photo 4) ci après. Ce point est à discuter avec Secotherm.

Un variateur de vitesse sur le débit d'air assurant la combustion (photo 3) est fourni par De Dietrich

Régulation

Lors de la première réunion avec DeDietrich le principe de la régulation n'ayant été abordé que très succinctement faute de temps. Secotherm en liaison avec l'installateur devra prendre la responsabilité de la régulation. Rien ne dit que la régulation Diematic M3 soit compatible avec l'option ENR par PAC à compresseur. Dans ce cas, les deux armoires de contrôle, adaptées à la marche en cascade des deux chaudières et disposées à la partie supérieure des chaudières (voir photo 1.) pourraient être remise en cause au bénéfice d'un (ou de deux) automate(s) programmable(s) à charge Secotherm de nous proposer une armoire de régulation répondant à la fonction.

Au niveau des boucles de régulation le dispositif pourrait éventuellement comprendre :

Les deux boucles de régulation internes avec capteurs de température et valves 3 voies sur chacun des deux circuits constituant le chauffage et la fourniture de l'eau sanitaire en mode combustion.

La température variable étant réglée par les valves 3 voies que l'on soit en mode GAZ ou PAC

Probablement une boucle de régulation externe éventuelle agissant sur ?

La génération mixte gaz-électricité

(Les moteurs d'entraînement actuels des pompes Salmsen sont probablement des moteurs asynchrones standards non conçus pour assurer une variation de vitesse.

La référence et les caractéristiques (autant électrique qu'hydromécanique) de ce sous-ensemble pompe-moteur devront être communiquées par Secotherm à l'installateur. Débit à vide et hauteur manométrique maxi (Voir figure ci-dessous, pour mémoire une commande a été passée dernièrement suite à rupture)

Les ballons tampon

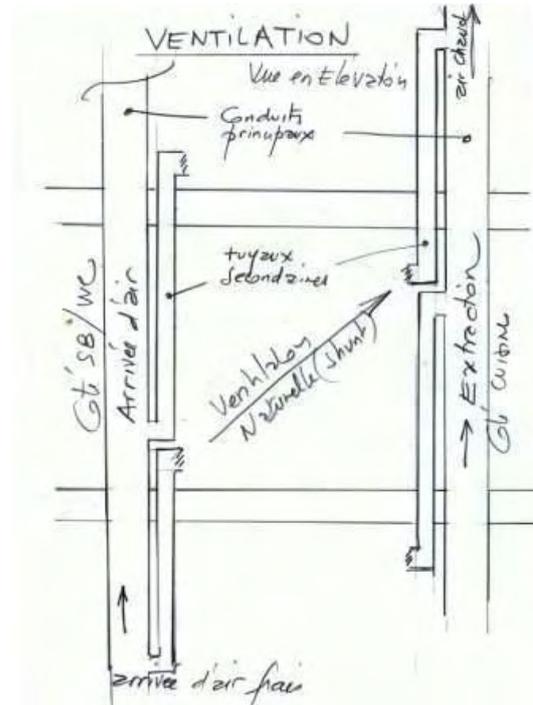
On recommandait lors du dimensionnement des anciennes pompes à chaleur de prévoir un ballon tampon soigneusement isolé ayant une taille de 15 litres par kW thermique utile. Ce serait donc un ballon de $15 \times 280 = 4200$ litres soit environ 4m^3 qui serait nécessaire. En pratique l'arrivée des solutions « inverter » n'obligent pas à prévoir un volume aussi important sur le circuit chauffage les compresseurs tournant en permanence. Cela est différent pour le circuit de l'eau chaude sanitaire compte tenu du besoin journalier voisin de 4 m^3 (1500m^3 d'eau chaude à l'année). Pour générer 4 m^3 d'eau chaude, il faut 200 kWh ($50\text{ kWh}/\text{m}^3$). Si on se donne 2h^* pour le faire il faut une puissance de 100 kW puissance (environ 120kW avec les déperditions dans les tuyaux), puissance qui peut facilement être délivrée en mode aquathermique. En pratique il est proposé de prévoir une production d'eau chaude sanitaire en semi-instantanée et un ballon ECS de 2 m^3 largement suffisant est suffisant

* Compte tenu de la constante de temps thermique de notre immeuble ($300\ 000\text{s}$), il est tout à fait acceptable de couper le chauffage 2h pendant la nuit. La température dans les appartements ne chute que de un degré à l'heure environ

C) La ventilation

Il est indispensable dans les immeubles en zone urbaine de trouver une solution qui dispense les occupants d'avoir à laisser une ou deux fenêtres entrouvertes en hiver pour assurer leur confort respiratoire. Ceci pour la raison que les pertitions énergétiques qui en résultent grèvent lourdement la consommation énergétique. Une première nécessité est de vérifier que les grilles de ventilation de la ventilation ne sont pas encrassées.

Ce réseau est souvent du type shunt avec une circulation de l'air s'établissant naturellement selon la figure ci-contre. Il y a généralement deux gaines pour chaque appartement, une d'admission en cuisine, l'autre d'extraction coté salle de bain et WC. Dans un premier temps un nettoyage de ces gaines est souhaitable. Pour assurer un renouvellement correct de l'air sans avoir à ouvrir les fenêtres, une légère ventilation mécanique contrôlée (VMC) peut éventuellement être adjointe en tirant légèrement l'air avec un ventilateur situé en partie haute (en terrasse) sur la gaine d'extraction ce qui a pour effet de mettre la colonne de ventilation en légère dépression.



Le renouvellement de l'air de l'immeuble est à prévoir en moyenne 3 fois par jour, le débit étant augmenté en été pour améliorer le confort en raison des déperditions des tuyauteries ECS. L'idée selon laquelle il pourrait être envisagé d'inverser le sens d'écoulement dans la gaine d'admission et d'ajouter un échangeur de température air/air sur la sortie de la gaine d'extraction de telle sorte que la gaine d'admission soit alimentée en air tiède pourrait être étudiée. L'avantage d'un tel extracteur est de pouvoir contrôler le volume d'air extrait au lieu de laisser cet échange à la discrétion de l'occupant. On parle dans ce cas de ventilation mécanique contrôlée (VMC). Ce dispositif d'extraction qui met la colonne d'extraction en légère dépression comprend un ventilateur entraîné par un ME. Le dispositif peut naturellement être plus ou moins sophistiqué. On peut lui adjoindre un échangeur de température dont la fonction est à préciser. Pour que cette extraction d'air se fasse dans de bonne condition il peut être utile d'adjoindre de petites gaines de ventilation aux fenêtres lors de la mise en place des doubles vitrages.

Bibliographie

Bibliographie

	Titre	Auteur(s)	Editeur
1	<i>Réparer la planète</i>	de Maximilien Rouer et Anne Gouyon	éditions JC Lattès
2	<i>Les pompes à chaleur</i>	Bruno Béranger	éditions Eyrolles
3	<i>300 décisions pour changer la France</i>	Commission Jacques Attali	éditions XO
4	<i>La pompe à chaleur</i>	Théorie simplifiée, constitution, classification et applications de Me Béatrice JOURDON et M Abdoulaye NDIAYE (Professeur de Physique Appliquée au Lycée Paul LANGEVIN	Consultable sur Internet
5	<i>Ma vérité sur la planète</i>	Claude Allègre	éditions <i>Plon Fayard</i>
6	<i>La fusion nucléaire</i>	Sous la direction de Guy Laval	éditions <i>EDP Sciences</i>
7	<i>Méthodologie relative à la mise en place des pompes à chaleur sur nappe en Ile de France</i>	BRGM/RP-52450-FR de L.Albouy	Document public au format pdf.
8	<i>Chauffage (et rafraîchissement) par pompe à chaleur.</i>	Jacques BERNIER	éditions <i>PYC livres</i>
9	<i>Amélioration thermique des bâtiments collectifs</i>	<i>Livre réalisé sous le patronage d'EDF de ARC, de l'Ademe, de FFB et du CSTB par plusieurs architectes français et un BE allemand. A. augard et F. Pelegrin.</i>	<i>Guide ABC</i>
10	<i>Le bilan énergétique simplifié</i>	Livret à usage des conseils syndicaux et des syndicats réalisé sous le parrainage de l'ARC,	
11	<i>Blue ocean strategy</i>	W.Chan Kim et Renée Mauborgne	Editeur <i>Harward business schoolk press</i>
12	<i>Pompe à chaleur géothermique sur aquifère</i>	Conception et mise en œuvre de BRGM éditions	Co-édité par <i>l'Ademe, l'Arene et le BRGM</i>
13	<i>La géothermie</i>	Jean Lemale	Editions Dunod
14	<i>Intégrer les énergies renouvelables</i>	Alain Filloux	édité par le CSTB
15	<i>Eau et énergie destins croisés</i>	17 auteurs différents	Presse des mines
16	<i>Copropriété. Les nouvelles règles</i>	Revue N° 83 " Que choisir" de mars 2010	Union fédérale des consommateurs

Du même auteur : La rivière et l'énergie édité par Edilivre
 Servo-systèmes électro-hydrauliques édité par Oilgear
 Les deux sites www.rivieres.info et www.infoenergie.eu

Et pour mémoire : La revue *Le particulier* (Revue 1018 de nov.2007 et 1020 bis de janvier 2008
 La revue *La recherche* N° 421 de juillet août 2008 www.larecherche.fr
 Les nombreuses revues *Chaud Froid Performance* (CFP) de Bernard Reinteau

Il faut lire entre les lignes certains numéros de cette revue très ancienne abordant les problèmes de la génération de chaleur ou de froid pour comprendre les raisons du retard de la France dans ce domaine

Bibliographie

No	Description
1	Une vision prospective étonnante de nos comportements futurs
2	Ce livre explique avec sincérité les écueils que les particuliers inventifs ont dû surmonter pour faire fonctionner la pompe à chaleur installée dans leurs maisons individuelles
3	Dans le cadre des décisions à prendre pour améliorer la croissance française, 45 personnalités ont travaillé 6 mois pour écrire ce livre à la demande du Président Sarkozy
4	Cette théorie simplifiée aborde le chauffage thermodynamique sous ses différents aspects. Une sorte d'invitation à la réflexion et à l'évolution de ces techniques à partir d'un fichier source .doc en libre diffusion sur un site internet.
5	Membre de l'académie des sciences, Claude Allègre nous explique avec son tempérament comment il conçoit un monde meilleur au travers de propositions concrètes dans le domaine des OGM, de l'amélioration de la biodiversité, des énergies nouvelles pour le chauffage et la voiture
6	Un livre complexe sur la recherche fondamentale dans le cadre de la production d'énergie après 2050
7	Logique que l'auteur de ce fichier pdf protégé en écriture ait maintenant un poste de responsable européen à Bruxelles tant le sujet traité, celui de la mise en œuvre des pompes à chaleur sur nappe libre en Ile de France a été réalisé avec sérieux.
8	Comment déterminer, installer et entretenir une pompe à chaleur de petite puissance dans le cadre d'une maison individuelle.
9	Une brochure technique remaniée sur les méthodes permettant de diminuer sensiblement le besoin thermique des bâtiments sans affecter le confort de ses occupants
10	Un ouvrage de référence destiné aux ingénieurs climaticien ainsi qu'aux décideurs publics ou privés soucieux de mettre en œuvre une politique énergétique basée sur la production d'énergie renouvelable à partir des ressources énergétiques de notre sous-sol.
11	Un tour d'horizon sur les énergies renouvelables ou non, leur intégration dans l'environnement par les différents acteurs et intervenants ainsi que leur financement en liaison avec la réglementation..
12	Une approche autant technique que financière allant de la conception à la mise en œuvre
13	Un véritable ouvrage de référence destiné aux ingénieurs climaticien ainsi qu'aux décideurs publics ou privés soucieux de mettre en œuvre une politique énergétique basée sur la production d'énergie renouvelable à partir des ressources énergétiques de notre sous-sol.
14	Un tour d'horizon sur les énergies renouvelables ou non, leur intégration dans l'environnement par les différents acteurs et intervenants ainsi que leur financement en liaison avec la réglementation.
15	Les travaux de ces 17 ingénieurs coordonnés par Gille Guérassimoff et Nadia Maïzi mettent en évidence l'incroyable imbrication de l'eau en tant que véhicule thermique dans toutes les formes de production d'énergie. Cet ouvrage de 311 pages aborde également les conséquences de cette imbrication en termes d'empreinte écologique
16	Un petit livre qui explique avec simplicité les difficultés que rencontrent la copropriété et les façons de les surmonter

Abréviations

ADEME	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
ARENE	Agence régionale de l'énergie et de l'environnement
AIEA	Agence internationale de l'énergie atomique
ANAH	Agence nationale de l'habitat
ARC	Association des responsables de copropriété
CAPEB	Confédération de l'artisanat et des petites entreprises du bâtiment
BRGM	Bureau de recherche géologique et minière
CO₂	Gaz carbonique ou dioxyde de carbone
CEE	Communauté économique européenne
COP	Coefficient de performance
CNRS	Centre nationale de la recherche scientifique
CSTB	Centre scientifique et technique du bâtiment
DDASS	Direction départementale des Affaires sanitaires et sociales de l'état
DJU	Degré jour unifié
DPE	Diagnostic de performance énergétique
DRIRE	Direction régionale de l'industrie, de la recherche, et de l'environnement
ECS	Eau chaude sanitaire
EDF	Electricité de France
EEA	Agence européenne de l'environnement
EIE	Espace info énergie
EPOCA	Programme de recherche sur l'acidification des océans
FFB	Fédération française du bâtiment
FNAIM	Fédération nationale de l'immobilier
GES	Gaz à effet de serre
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.
INRA	Institut national de la recherche agronomique
ITER	International Thermonuclear Experimental Reactor
LDD	Livret de développement durable
LRE ¹⁾	Loi sur la responsabilité environnementale
LSCE	Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement
MEDAD	Ministère de l'écologie du développement et de l'aménagement durable
MO	Main d'œuvre ou Maître d'ouvrage selon les cas
OCDE	Organisation de coopération et de développement économique
ONU	Organisation des Nations unies
OPAC	Office public d'aménagement et de construction
OPEP	Organisation des pays exportateurs de pétrole
PAC	Pompe à chaleur
PCB	Produit chimique (polychlorobiphényle)
PCI/PCS	Pouvoir calorifique inférieur et supérieur
PIG	Programme d'intérêt général (au sens de la construction et l'habitat)
PTZ	Prêt à taux zéro
SAGE	Schéma d'aménagement et de gestion des eaux
SNI	Syndicat national de l'isolation
UNIS	Union des syndicats de l'immobilier



Alors que près de la moitié des charges courantes dans l'habitat urbain ancien proviennent du chauffage, ce livre apporte une réponse graduée sur la façon de procéder pour remplacer un mode de chauffage obsolète par une chaufferie moderne, performante et économique. Le CD associé au livre comprend de nombreuses informations complémentaires relatives aux aides fiscales assorties à la production d'énergie renouvelable associé à des liens externes ou non vers de nombreux articles techniques se rapportant à la théorie de la pompe à chaleur, aux unités utilisées en thermodynamique, une méthodologie relative à la mise en place des pompes à chaleur sur nappe en Ile de France, des compléments techniques sur le dimensionnement des émetteurs de chaleur. Quelques logiciels associés au tableur Excel permettent entre autre d'évaluer les pertes thermiques par défaut de calorifugeage dans les tuyauteries. Une heureuse surprise, la valorisation du patrimoine nautique français étant plus liée qu'on ne le pense à la production d'énergie thermique, ce CD comprend une réflexion sur le tourisme nautique en France sous la forme d'une petite encyclopédie pratique.

Ce livre sur l'énergie tente de démystifier le chauffage thermodynamique et propose des mesures concrètes. Leurs applications au niveau européen permettraient d'effectuer une réelle transition énergétique en rendant vie à quelques-unes de nos rivières. Nous vous invitons en le lisant à apprendre comment les Lutins thermiques prouvent qu'une société dite "développée" peut subvenir à ses besoins énergétiques en diminuant notablement l'utilisation des énergies fossiles, voire en la supprimant. Rien ne s'oppose à cette mutation pour le chauffage des habitations si ce n'est la remise en cause de notre modèle économique.

L'auteur n'est pas un professionnel de l'énergie mais est un ingénieur mécanicien expérimenté en mécanique des fluides à la recherche de la vérité technique et financière. Les propos tenus dans le livre *"La chaleur renouvelable et la copropriété"* lui ont été dictés uniquement par sa volonté de faire évoluer nos conditions d'existence vers un Monde meilleur et son souhait de démystifier les installations de chauffage thermodynamique produisant des ENR. En aucun cas dans l'intention de choquer et encore moins de faire du tort à autrui.

Ce livre a vocation à convaincre. En proposant des solutions concrètes et économiques pour le chauffage collectif des immeubles en zone urbaine, son auteur espère faciliter l'émergence d'une prise de conscience de la copropriété et de son syndic dans le domaine du chauffage durable.