

Prospective sur l'énergie

À l'occasion d'une *étude prospective de l'OCDE relative à l'énergie*, le responsable des lutins thermiques s'est posé la question de savoir si la France, du fait de sa position mondiale singulière sur la façon dont elle produit son électricité avec le nucléaire, ne pourrait pas ouvrir une voie permettant de réduire la dépendance de notre planète aux énergies fossiles :

L'OCDE

Par le fait que tous les dispositifs énergétiques actuels seront remplacés au moins une fois d'ici 2050, on peut estimer qu'il y a là une chance d'orienter l'évolution de l'économie et de la société sur une trajectoire beaucoup plus économe en énergie.

Le CSLT

En raison de l'augmentation inquiétante de la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, il va en effet devenir essentiel d'investir dans de nouvelles technologies et de prendre des mesures permettant d'atteindre des objectifs plus stricts en matière de protection de l'environnement.

L'OCDE

La quantité d'énergie solaire transmise à la terre chaque année avoisine, à elle seule, 130 000 Gtep (gigatonnes d'équivalent pétrole), chiffre à mettre en regard de la consommation actuelle totale d'énergie de notre planète, proche de 10 Gtep, incroyablement plus faible quantitativement.

Le CSLT

Oui, c'est encore le pétrole qui représente la plus grosse part de ces 10 Gtep. On constate que la consommation mondiale d'énergie a été multipliée sensiblement par cinq lors de ces cinquante dernières années. Nous ne pourrions probablement pas continuer longtemps à ce rythme. D'ailleurs, n'avez-vous pas estimé que les réserves finalement récupérables de pétrole classique se situeraient dans la fourchette de 2 à 3 000 milliards de barils. Cela ne nous laisse pas, semble-t-il, une autonomie énergétique très importante ?

L'OCDE

Oui, ces chiffres corroborent notre conviction que la production mondiale de pétrole classique culminera avant 2020 et que ce même pic ne sera pas très au-delà de cette date pour le gaz naturel par le fait que les réserves estimées ne sont guère supérieures à 1 900 milliards de barils d'équivalent pétrole.

Le CSLT

Vu que le pétrole est un peu moins dense que l'eau et qu'un baril c'est 159 litres, des réserves mondiales gaz et pétrole confondues proches de 5000 milliards de baril d'équivalent pétrole ne nous laissent guère qu'une autonomie en combustible fossile de l'ordre du 1/2 siècle voire moins si nous continuons à presser jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de jus au rythme annuel actuel de 10 Gtep. Ceci en sachant que le terme giga (G) c'est 10 puissance 9 et qu'une tonne de pétrole c'est un volume de ce fluide sensiblement égal à 1,2 m³ de ce fluide. Le monde du pétrole me fait penser à un citron que l'on presse de plus en plus fort pour en extraire le peu de jus qu'il contient encore. En disant cela, je ne peux m'empêcher de penser aux États-Unis et au gaz de schiste. Vous avez, je pense, raison de l'associer au pétrole, ces deux combustibles fossiles sont en effet aisément interchangeables et le fait qu'ils deviennent de plus en plus difficiles à exploiter permet de penser que l'évolution du prix du gaz naturel suivra probablement celle des prix pétroliers.

L'OCDE

Oui, d'autant que dans notre système énergétique mondial actuel, où prédomine l'utilisation des combustibles fossiles, il faudra bien que les pollueurs financent des systèmes qui limitent l'accroissement des concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre causes de l'altération du système climatique de notre planète. Pour toutes ces raisons, on peut prévoir que le système énergétique actuel ne saurait perdurer encore très longtemps et qu'il faudra bien engager la transition énergétique vers un système durable. Nous serons contraints de limiter les concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre à environ 500 ppm d'équivalent CO₂ pour éviter un changement trop grave du climat, ce qui implique une rupture de tendance par rapport à l'évolution économique et énergétique actuelle.

Le CSLT

Le fait que la consommation moyenne d'énergie par habitant varie, selon l'IRENA, d'un facteur supérieur à vingt entre les pays industrialisés et les pays en développement ne porte-t-il pas en lui-même le risque d'un accroissement considérable de la demande d'énergie ?

L'OCDE

Oui, le risque est bien réel. Nous prévoyons un accroissement mondial important de la demande en énergie au fur et à mesure de l'industrialisation et de l'urbanisation de ces pays. Ceci par le fait que les pays industrialisés propagent, dans le monde entier, les modes de vie et les technologies qui leur sont propres.

Le CSLT

À l'instant de notre histoire où une organisation environnementale internationale importante comme le WWF estime que pour éviter un dérèglement climatique majeur, il faudrait qu'à l'échéance 2050 chacun d'entre nous, à l'échelle planétaire, atteigne 100 % de fourniture d'énergie renouvelable, on voit qu'il y du pain sur la planche. Pour y parvenir, il faudrait selon certains faire en sorte que la consommation mondiale d'énergie transports, bâtiments et industrie confondus, diminue de 15 % d'ici 2050 par rapport au niveau actuel, sans freiner le développement des pays en développement. Il serait peut-être temps de nous interroger sur la méthode qu'il va falloir employer pour y parvenir. On comprend pourquoi les pays développés ont pris conscience, au travers du protocole de Kyoto de décembre 1997, qu'il leur fallait impérativement réduire leurs émissions globales de gaz à effet de serre. N'était-il pas prévu de réduire ces émissions d'au moins 5 % avant 2012 ? Nous en sommes loin globalement. La France n'est-elle pas, avec sa politique énergétique singulière, un pays en pointe dans ce domaine ?

L'OCDE

Il semblerait que oui, mais ce n'est pas à l'OCDE d'en juger et vous comprendrez que pour des raisons de déontologie, l'OCDE ne peut favoriser la France par rapport aux autres nations européennes. Il appartient au CSLT que vous contrôlez de convaincre vos citoyens. Je vous invite à le faire. Il vaut mieux faire partie de ceux qui établissent les règles plutôt que d'être au nombre de ceux qui font le choix de les adopter. Votre pays sera-t-il celui qui établit les futures règles ? Saura-t-il décourager les industriels qui calculent déjà les retombées économiques de ces hydrocarbures enfouis dans les roches, quitte à passer sous silence les méfaits écologiques de la fracturation hydraulique ? Saura-t-il trouver des procédés d'exploitation sans nuire à l'économie, préserver notre environnement et protéger ses espaces naturels ? Saura-t-il convaincre les autres gouvernements européens qu'il est temps de consommer nos ressources naturelles avec plus de modération en attirant leur attention sur le fait que le problème planétaire de l'énergie aggrave les conséquences du réchauffement climatique ?

Le CSLT

Nous l'espérons, en tout cas nous nous y emploierons. Nous sommes français et soucieux de l'avenir de notre pays. Nous sommes inquiets de constater que deux représentants de nos gouvernements successifs, paradoxalement en charge de notre environnement, envisagent de prospector le gaz de schiste en vue d'une exploitation future dans nos parcs naturels ! Le premier dans le *parc naturel national des Cévennes*, le deuxième dans le *parc naturel régional du Lubéron* ! Ceci alors que la classe politique française est unanime à condamner l'exploitation du gaz de schiste sur notre territoire. Compte tenu des défis que posent aujourd'hui les problèmes énergétiques, comment des organismes gérés par la loi du 1^{er} juillet 1901 tels que l'AIFCK avec son lutin thermique Balendard, ou des agences locales de l'énergie (ALE), pourraient-ils porter tout le fardeau que représente le passage progressif aux énergies renouvelables ? Ils ont besoin pour cela de l'aide de ceux qui sont chargés de la mise en place de structures adaptées minimisant le recours aux énergies fossiles et favorisant l'exploitation des énergies renouvelables. Malgré l'urgence qu'il y a à diminuer notre dépendance à l'électricité et à préserver le climat, on s'aperçoit, en observant la lenteur avec laquelle les choses évoluent, qu'il ne suffit pas que certaines techniques soient prêtes pour qu'elles soient adoptées. Pour sortir de cette impasse, il va falloir réduire notre dépendance à l'électricité et porter notre attention sur la façon dont nous la consommons pour le chauffage de l'habitat. Nous sommes socialement solidaires de ceux qui ont froid parce qu'ils ne peuvent plus payer leur note d'électricité pour alimenter leurs radiateurs style « grille-pain ». Nous sommes préoccupés par le fait que le *médiateur de l'énergie* vient de créer un réseau d'alimentation « social » pour alimenter en électricité les plus démunis afin d'éviter les coupures de courant. Le CLST comprend les motivations du médiateur qui espère ainsi désamorcer la « bombe à retardement » que constituent les inégalités sociales mais nous estimons que ce n'est pas ainsi que l'on va résoudre le problème de fond. Nous pensons, en effet, qu'il serait préférable, tel que l'a proposé le président Obama, de créer les conditions qui rendent l'aide inutile. Il y a maintenant une méthode à notre portée pour y parvenir. Celle consistant à modifier la chaîne énergétique avec laquelle nous produisons la chaleur. La pompe à chaleur est, en effet, un excellent moyen de limiter le besoin en énergie électrique pour le chauffage en utilisant l'énergie naturelle à la source froide. En y prélevant deux fois ce que l'on consomme, ce qui correspond à un COP modeste de 3, le prix du kWh thermique rendu dans les pièces de vie est trois fois moins élevé. Cette méthode permettrait à chacun d'entre nous d'avoir les moyens de payer ce qu'il consomme et de régler sa dette envers la société, de telle sorte que ceux qui ne sont pas encore totalement démunis ne le deviennent à court terme, compliquant encore plus la tâche du médiateur. Elle permettrait aussi, en minimisant notre consommation électrique, de réduire la taille de l'outil de production. La révolution industrielle que nous défendons sera dans un premier temps celle des systèmes hybrides. Si l'on estime que la quantité d'énergie consommée en Europe est la même pour chacun des trois grands secteurs suivants : l'alimentation des ME dans l'industrie et le transport ferroviaire, le transport routier avec les moteurs à explosion et le chauffage avec la combustion, nous estimons que la généralisation de systèmes hybrides associant la combustion et l'électricité, parfaitement envisageable pour les deux derniers secteurs, permettrait de réduire notre dépendance aux produits fossiles dans des proportions qui sont loin d'être négligeables. On peut estimer que celles-ci pourraient être voisines de 16 % pour le premier secteur, celui du transport routier, si l'on prend comme hypothèse une consommation réduite de moitié avec le moteur hybride par rapport au moteur à explosion conventionnel. Elle pourrait être plus importante et voisine de 24 % pour le troisième secteur avec les chaufferies hybrides, comme le prouve l'étude faite dans ce livre. On observe donc qu'avec une diminution totale de notre consommation en produits fossiles de 40 %, on n'est pas encore sorti totalement d'affaire mais nous respectons ainsi nos premiers objectifs. Nous sommes conscients que la chaufferie hybride évoquée dans ce livre ne solutionne que partiellement le problème, compte tenu du fait qu'il reste une partie d'énergie finale d'origine fossile à fournir, mais Paris ne s'est pas fait en un jour et cette partie restant à notre charge n'est heureusement pas prépondérante vu que la plus grande partie de l'énergie est d'origine renouvelable. Cette solution est naturellement préférable à l'orientation « tout gaz » actuelle en France dans le neuf,

dans laquelle la combustion assure 100 % du besoin chauffage. Avec la chaufferie hybride, cette partie gaz ne représente au plus que 25 % du total de l'énergie nécessaire pour assurer le confort thermique dans l'habitat. Il faudra bien, dans le cadre d'un modeste COP de 3, continuer à satisfaire sur le long terme cette nouvelle répartition $\frac{1}{4}$ gaz, $\frac{1}{4}$ électricité et $\frac{1}{2}$ EnR. Ceci pour la simple raison qu'à l'échelle d'un pays comme le nôtre, à qui l'on reproche d'être trop nucléarisé, il est essentiel de minimiser la pointe de courant et la puissance de pointe au plus fort de l'hiver, ce qu'assure la chaufferie hybride. Ceci par le fait que la combustion assure à elle seule la fonction chauffage pendant cette période. Cette proportion du quart pourrait d'ailleurs être revue à la baisse pour la partie électrique compte tenu du potentiel de performance encore inexploité du chauffage thermodynamique aquathermique lorsque les EnR sont prélevées dans l'eau. Avant de conclure cette prospective sur l'énergie, je voudrais vous entretenir d'une évolution qui consisterait à tenter de conserver cette notion de chaufferie hybride combustion/thermodynamique sur le long terme. Je pense, en vous parlant, à la station EDF Myrte d'Ajaccio, décrite à la **page 122** de ce livre. Pourquoi nos chercheurs et particulièrement nos chimistes ne se lanceraient-ils pas dans l'étude d'une solution qui consisterait à utiliser l'hydrogène *H* produit par l'électricité solaire voltaïque sur le principe de cette station en combinant ce gaz avec le carbone provenant de la séquestration du gaz carbonique CO₂ produit lors de la combustion de la houille et du fioul ? Ceci afin d'obtenir par combinaison de ces deux gaz et séparation de l'oxygène du CH₄, en pratique du méthane, qui pourrait être stocké ou introduit directement dans le réseau de gaz naturel. N'y a-t-il pas là une voie qui nous permettrait de continuer à vivre dans un monde pratiquement décarboné ?

L'OCDE

Votre idée a déjà été évoquée, je crois, par le président du syndicat des énergies renouvelables (SER). Cette orientation de la recherche, consistant à se diriger vers cette solution hybride de production de l'énergie, semble plus proche de nous techniquement que ne l'est le projet international ITER de Cadarache et les très hautes températures qui seraient proches de celles existant sur le soleil. On lui a donné le nom, je crois, de « Power to gaz », une dénomination qui se rapproche de la *Green Hydrogen Economy* de Jeremy Rifkin. Mais je vous conseille de limiter votre réflexion à la chaufferie hybride *gaz-électricité* telle que vous l'avez imaginée. Vu les faibles quantités de gaz requises, cette dernière peut très bien se satisfaire dans un premier temps du gaz naturel conventionnel. Ne serait-ce que pour justifier tous les pipelines que la Russie fait converger vers l'Europe pour satisfaire ses besoins. Je conclurais notre entretien en estimant que sur le moyen terme, votre chaufferie hybride pourrait être complémentaire de ce système « Power to gaz », si la recherche aboutit. Oubliez tout cela dans l'immédiat et concentrez-vous sur votre chaufferie hybride qui a le mérite d'être directement applicable, moyennant une cohabitation des hommes et des techniques.

Le CSLT⁸⁹

Notre première préoccupation sera donc de faire aboutir la chaufferie hybride *gaz-électricité* objet du « cas pratique » mais nous n'avons pas l'intention de limiter notre réflexion à cette dernière tant nous sommes convaincus de la part prédominante du soleil dans les avancées techniques à venir. La complémentarité du gaz et de l'électricité pour la production et la consommation d'énergie thermique ne durera que quelques décennies. Suivra la *Solar Water Economy* qui suffira indéfiniment à notre bonheur. Vu l'urgence, nous proposons à l'UE une TRI qui soit différente de la *Green Hydrogen Economy* de Jeremy Rifkin. Nous proposons une TRI qui mette le soleil et l'eau au-devant de la scène et à la place qu'ils méritent, devant l'air et l'atome. Une TRI qui solutionne le problème du stockage de l'énergie électrique non pas avec l'hydrogène mais avec l'eau des STEP et les batteries aux performances améliorées des voitures électriques. Il ne faut pas considérer la qualification de TRI "à minima" comme dégradantes. Le CSLT considère qu'elle pourrait être déjà une TRI innovante en France, si l'on n'avait pas commis l'erreur de la RT 2005. N'en déplaise à Jacques Attali et à nos trop

⁸⁹ Au bon vouloir du lecteur : Conseil supérieur des « lutins thermiques » ou « de la législation thermique ».

nombreux sénateurs, ceux qui faute de moyen ont trop froid ou trop chaud considèrent qu'il est temps de reconsidérer l'énergie thermique et de la remettre à sa place. La place qui nous autorise, pour notre plus grand bien, à s'en servir directement et sans intermédiaire. Une place qui ne soit pas celle qui consiste à faire du chaud pour produire de l'énergie électrique mais celle qui revient de droit à l'énergie thermique : nous servir sans intermédiaire en diminuant notre appétit en énergie électrique, de telle sorte que le soleil à lui seul suffise à notre besoin grâce au photovoltaïque.

Les objectifs de la transition énergétique

Pour assurer une transition énergétique de qualité et préserver le climat, il est probable que l'énergie électrique nucléaire sera encore pendant quelques décennies un outil indispensable pour assurer la montée en puissance du renouvelable dans le chauffage de l'habitat. Il faut, en effet, prendre conscience que le chauffage des habitations existantes représente plus du tiers de l'énergie consommée en France. Ceci devant le besoin en énergie des deux autres postes : le transport et l'industrie. Pour solutionner correctement le problème actuel du chauffage de l'habitat existant, il nous faudra agir sur deux volets :

- améliorer la façon dont nous produisons l'énergie thermique pour en réduire le coût ;
- améliorer, dans un deuxième temps et afin d'échelonner les dépenses, l'isolation des bâtiments afin de réduire les déperditions, ce qui permettra d'améliorer encore un peu et dans le même temps l'efficacité du chauffage thermodynamique.

**Selon Batiactu, le texte de loi sur la transition énergétique pourrait intégrer des objectifs ambitieux :*

- une limitation de la production d'électricité d'origine nucléaire à 50 % au lieu de 75 % d'ici à 2025. Pour respecter cet objectif, il est envisagé d'arrêter les centrales jugées peu sûres dont le coût de sécurisation recommandé par l'ASN est jugé trop important ;
- un recul des émissions de gaz à effet de serre de 40 % en 2030, par rapport à 1990 ;
- une baisse de la consommation d'énergie finale de 50 % en 2050, par rapport à 2012 ;
- une part des énergies renouvelables qui devra atteindre 32 % de la consommation d'énergie finale, 40 % de la production d'électricité, 38 % de la production de chaleur, et 15 % de la consommation de carburant et ceci d'ici à 2030 ;
- une diminution de la consommation d'énergies fossiles de 30 % en 2030, par rapport à 2012.

À l'appui de ces objectifs chiffrés, huit thèmes seraient abordés dont une stratégie nationale et territoriale, une réflexion sur la qualité de l'air, le financement des projets. Il ne suffit pas, en effet, de fixer des objectifs par un texte de loi pour les atteindre. La société d'économie mixte (SEM) pourrait être l'outil permettant de respecter ces objectifs. La SEM est une société anonyme qui présente la particularité d'associer le capital public (collectivités locales, ville, département) et celui du privé. Elle est devenue un des outils majeurs de l'action d'une collectivité. Ses interventions peuvent se décliner dans des secteurs aussi différents que le logement, les transports, l'aménagement et le renouvellement urbain, l'acheminement de l'eau, de l'énergie, la construction et la gestion (équipements publics, culturels, touristiques), le développement économique. Il s'agit pour finir de rendre des services aux citoyens dans leur vie quotidienne. En associant les valeurs du public et du privé, ces sociétés ont pour but de rendre un service d'intérêt général à moindre coût, ce qui en fait l'un des vecteurs privilégiés d'action du service public d'aujourd'hui. Elles entrent d'ailleurs dans le cadre de ce qu'il est aujourd'hui convenu d'appeler les partenariats public/privé. La SEM bénéficie de la souplesse du statut d'une société dans tous les domaines d'intervention, mais la participation des collectivités, comprise entre 51 à 85 %, assure au sein de son conseil d'administration un suivi attentif des intérêts des collectivités grâce aux élus qui y siègent. En France, la SEM est devenue un acteur économique de premier plan. En 2007, 1 117 SEM étaient recensées en France, elles emploient 54 200 salariés.

Chacun d'entre nous aura compris que c'est en prélevant de l'énergie thermique gratuite dans notre environnement que le premier poste pourra être satisfait. Chacun d'entre nous aura aussi compris qu'en améliorant l'isolation, on diminue le besoin en énergie thermique. Ce qu'il est par contre plus difficile à comprendre est l'ordre dans lequel nous avons intérêt à agir sur ces deux volets pour satisfaire notre besoin : assurer notre confort en préservant – vu l'urgence – notre pouvoir d'achat et le climat aussi rapidement que possible. Pour répondre à cette interrogation, ce qui doit guider notre réflexion est de chercher à satisfaire ce besoin en diminuant autant que faire se peut et le plus rapidement possible notre consommation en énergie finale. Nous avons, dans la RT 2012, fait l'erreur de penser qu'il nous fallait agir prioritairement sur l'isolation. Au travers de la synthèse *génération-isolation* faite à la fin de ce livre, il faut se rendre à l'évidence : notre inconscience passée fait qu'il est maintenant impossible d'isoler les bâtiments existants construits pendant les Trente Glorieuses au niveau des règles fixées par la RT 2012. Nous n'allons tout de même pas tout démolir pour respecter une norme ! Ceci est la raison pour laquelle il nous faudra agir prioritairement sur la façon dont nous produisons cette énergie thermique plutôt que de tenter de diminuer le besoin avec l'isolation. Il ne faut pas craindre, en procédant dans cet ordre inhabituel, de se retrouver avec une chaufferie légèrement surdimensionnée en fin de cycle. Les techniques actuelles permettent maintenant, sans affecter les performances, d'adapter la puissance émise par la chaufferie au besoin. Ceci grâce aux brûleurs modulants dans le cas de la combustion et grâce aux différents dispositifs qui permettent de faire varier le débit du fluide caloporteur dans le cas de la pompe à chaleur à compresseur. L'outil qui permettra de solutionner le problème posé par le chauffage urbain de l'habitat existant en aidant le gouvernement à satisfaire la création d'emplois sera la chaufferie hybride. Moyennant *cohabitation entre les hommes*, ceux-ci feront cohabiter le gaz et l'électricité au sein de cette chaufferie hybride. Le gaz avec la combustion et l'électricité avec la pompe à chaleur à compresseur. Ce type de chaufferie permettra, dans un premier temps, de diviser par deux la consommation d'énergie finale en diminuant le besoin en puissance électrique au plus fort de l'hiver. Compte tenu de l'espérance de vie d'une telle chaufferie proche de vingt ans, elle nous permettra aussi, avec un retour sur investissement inférieur à dix ans, d'améliorer notre pouvoir d'achat la décennie suivante, période pendant laquelle, nos capacités d'investissement étant améliorées, nous pourrions envisager de passer à la deuxième étape : diminuer notre besoin en énergie en améliorant l'isolation afin de réduire les déperditions. Ceci en espérant que dix ans auront suffi pour réduire les coûts des matériaux dédiés à l'isolation, notamment les ouvertures vitrées. Et si cela n'était pas le cas, un facteur important pourrait nous convaincre de poursuivre notre effort d'isolation à minima : le fait que l'amélioration de l'isolation associée au chauffage thermodynamique diminue notre besoin en énergie finale pour deux raisons :

- une raison évidente : l'isolation diminue les déperditions ;
- une raison qui n'est connue que par ceux, pour finir assez peu nombreux, qui savent que l'amélioration de l'isolation diminue la température requise à la source chaude, ce qui a pour effet d'améliorer les performances de la pompe à chaleur en augmentant la part d'énergie thermique renouvelable prélevée dans l'environnement. Les constructeurs français et nos politiques commencent heureusement à comprendre que l'intérêt de la collectivité n'est pas d'opposer les énergies entre elles mais, au contraire, de les faire cohabiter. Il reste à espérer que les tergiversations politiques ne ralentiront pas trop le mouvement et n'aggraveront pas encore le retard de la France. Il nous faut, en effet, maintenant aller vite si nous voulons assurer notre indépendance énergétique, résoudre le problème de la précarité énergétique et faire en sorte que le besoin mondial en énergie finale soit aussi faible que possible afin de préserver le climat. À l'occasion du COP21, la France et l'Allemagne ont l'occasion de se placer en position de leaders : 2020, c'est demain.

À propos du pouvoir d'achat du citoyen

Il ne s'agit pas ici de l'économie mondiale, mais beaucoup plus restrictivement d'un immeuble et du pouvoir d'achat de ses occupants. De leur capacité à payer la douloureuse chauffage en fin de mois. Peut-être parce qu'on ne les a pas suffisamment informés, les citoyens n'ont malheureusement pas encore réalisé combien il est important pour améliorer leur pouvoir d'achat d'assurer leur confort en prélevant autant que faire se peut les *EnR thermiques* dans leur proche environnement. Le lecteur aura compris que le citoyen n'est autre que le *copropriétaire* qui va devoir investir un jour ou l'autre pour moderniser sa chaufferie collective.

À propos de l'économie de l'union européenne (UE)

L'Union européenne (UE), premier importateur d'énergie au monde, dépense chaque année environ 400 milliards d'euros pour couvrir sensiblement la moitié de ses besoins en énergie. Cette situation place notre vieux continent dans une position de dépendance vis-à-vis de la Russie et des États-Unis avec le gaz ou de l'Arabie saoudite avec le pétrole. La précarité actuelle des ménages européens s'explique en partie par cette dépense importante puisqu'elle est du même ordre de grandeur que les indemnités versées par l'Union à ses 24 millions de chômeurs. Pour sortir de cette impasse financière, le président de l'Union place la barre assez haut puisqu'il estime que plus de 1 000 milliards d'euros devront être dépensés dans le secteur énergétique dans les cinq années qui viennent. Il estime que la seule façon valable pour l'Union de réduire cette énorme facture est de considérer l'énergie thermique renouvelable comme une source d'énergie en soi, au même titre qu'une capacité de production. En faisant ce premier pas en avant, le monde européen de la finance, serait-il, en devançant contre toute attente celui de la politique, le premier à considérer qu'il est temps, sans prendre de risque financier, de mettre un terme à la course vers le bas en matière sociale et environnementale ? Accepterait-il, reconsidérant en quelque sorte notre *modèle économique*, de reconnaître qu'il devient indispensable de réduire la course au profit à court terme au bénéfice du développement durable ? Ceci en reconnaissant que les barrières préjudiciables à ce changement ne sont ni techniques, ni véritablement financières.

L'Europe prendrait-elle enfin la mesure d'un enjeu qui pourrait bien être celui de sa survie ? Alors que de nombreux Européens craignent de manquer d'énergie pour se chauffer et ont du mal à payer la douloureuse en fin de mois, il devient effectivement utile de reconsidérer notre *modèle économique* et indispensable qu'une prise de responsabilité collective conduise à considérer le chauffage thermodynamique comme *la* solution qui nous libérera de nos préoccupations. Concernant le chauffage de l'habitat et *l'efficacité énergétique*, terme très à la mode actuellement, il serait temps de considérer que la combustion et le chauffage électrique à effet Joule ont un coefficient de performance (COP), ou ce qui revient au même, une efficacité de 1, alors que le chauffage thermodynamique avec la pompe à chaleur à compresseur électrique a un COP de 3 à 6, selon que la chaleur renouvelable est prélevée dans l'air ou dans l'eau, soit une efficacité énergétique trois à six fois supérieure.

À propos de l'économie mondiale

Lors d'une interview récente du président du syndicat des énergies renouvelables (SER) par Batiactu, ce dernier estimait qu'en 2013 la production d'électricité renouvelable dans le monde avait été de 120 gigawatts (GW) et se répartissait en trois postes sensiblement égaux en termes de puissance, à savoir environ 40 GW pour l'éolien, 40 GW avec le voltaïque et 40 GW grâce à l'hydroélectricité. Alors que les puissances *électriques* instantanées délivrées localement dans chaque pays sont, au moins pour les deux premiers postes, de nature variable puisque qu'avec l'éolien, ça souffle ou pas et qu'avec le voltaïque, il fait jour où il fait nuit, on peut estimer

grossièrement que les puissances instantanées d'énergie électrique renouvelable délivrées mondialement sont constantes, comme l'est la production de l'électricité nucléaire à défaut d'être répartie uniformément sur la surface du globe. Étant donné qu'une année, c'est environ 8 500 heures, 120 GW de puissance moyenne pendant un an, ça fait tout de même 10^{12} kWh et vu que 10 Gtep, c'est environ 10^{13} kWh, on peut dire que 10 % de l'énergie consommée mondialement est déjà d'origine renouvelable. Il évoquait aussi les investissements mondiaux consentis pour produire ces énergies électriques propres au travers de cette phrase : « Les investissements dans le monde sur ces énergies atteignent les 250 milliards de dollars et sont en constante augmentation. »

*Commentaires des lutins thermiques à propos de l'économie mondiale**

Il faut certes être prudent avec les chiffres mais, 250 milliards de dollars pour produire 10^{12} kWh que l'on peut supposer être électriques, cela met le kWh électrique à 0,25 dollar ou euro étant donné que le dollar est maintenant bien proche de l'euro ! Si les 250 milliards de dollars investis au départ permettent de produire pendant cinq ans au rythme annuel de 10^{12} kWh, cela met cette fois le prix de revient de l'électricité propre au niveau de l'électricité d'origine nucléaire. Les énergies renouvelables deviendraient-elles globalement compétitives ?

Si tel était le cas, cela pourrait expliquer cette chute vertigineuse et récente du prix des produits pétroliers et la volonté de l'OPEP de rester compétitive. Une telle évolution vers le renouvelable entraînerait une refonte en profondeur de l'économie mondiale. Ceci d'autant que l'homme commençant seulement à produire ces nouvelles formes d'énergie propre, le prix de revient de cette électricité verte et renouvelable va baisser progressivement au fur et à mesure que les techniques progressent. Ceci aussi par le fait que l'homme, cherchant à sécuriser à tout prix les méthodes de production de l'énergie électrique d'origine nucléaire, les prix de l'électricité nucléaire va augmenter ainsi d'ailleurs que celui des produits fossiles par le fait qu'à force de presser le citron il n'y a plus beaucoup de jus.

**Disons que l'auteur a souhaité introduire ici une forme de raisonnement comparable à celle qu'il a utilisée à l'occasion du chapitre sur l'isolation, lorsqu'il a déterminé le ROI de la pose des fenêtres double vitrage du « cas pratique » et qu'il s'est aperçu qu'il était proche du siècle ! Les valeurs numériques ci-dessus concernant le monde sont certainement très approximatives mais méritent de toute évidence un examen plus approfondi. Elles pourraient être validées ou non par une agence internationale telle que l'IRENA.*

L'avis des lutins

Le positif

Un fond vert

Le CSLT estime donc que c'est sans attendre qu'il faut éliminer les subventions préjudiciables à l'environnement au profit d'un soutien financier aux renouvelables. L'augmentation du coût des énergies primaires et la diminution du prix de revient des **EnR** qui va en résulter va dans le bon sens. Pour accélérer la rénovation énergétique de l'habitat, il peut être nécessaire, dans certains cas, de mettre en place un « tiers financeur » permettant aux entreprises du bâtiment et aux particuliers d'engager des travaux de rénovation en toute sécurité, de redonner de l'air aux professionnels et de ne pas plomber le pouvoir d'achat des Français. Il est aussi question de sécuriser les prix pour rassurer les parties prenantes. Enfin, un fonds national pour la mise en place des infrastructures favorisant les économies d'énergie verte devrait naître...

Bâtiments à énergie positive ?

La France envisage d'exiger que tous les nouveaux bâtiments bénéficiant de subventions et d'aides fiscales, qu'il s'agisse d'édifices publics ou de logements sociaux, soient à énergie positive. Ceci sous la forme d'un texte élaboré à l'occasion du projet de loi sur la transition énergétique qui doit prochainement être discuté au Parlement. La seule chance pour l'Hexagone d'augmenter significativement le pourcentage actuellement très faible de bâtiments à énergie positive, c'est-à-dire « produisant davantage d'énergie électrique qu'ils n'en consomment », est le chauffage thermodynamique. La France pourrait être aidée en cela par le fait que les climatologues prévoient une température maximum en métropole augmentant de quelques degrés d'ici 2050 avec une prolongation de la période estivale et son corollaire : un nombre de jours anormalement froids plus faible favorisant la mise en place de chaufferies hybrides moins consommatrices en gaz naturel, permettant de réduire les approvisionnements de gaz russe avec Gazprom.

L'efficacité énergétique

Envisageable dès à présent techniquement, l'amélioration de l'efficacité énergétique qui conditionne la diminution du prix de revient des **EnR** peut et doit, selon les lutins, être accélérée en encourageant la R&D dans le cadre d'une vision à long terme. Ceci compte tenu du fait que la transition vers une société à faible niveau de carbone devient nécessaire et que les trois-quarts du parc immobilier européen présentent de faibles performances énergétiques. Cette vision à long terme ne sera satisfaite que par la mise en place d'infrastructures adaptées. La suprématie technologique de l'UE ne pourra se mettre en place qu'au travers d'une vision de l'énergie commune entre ses deux leaders. Ils se doivent de développer en commun les nouvelles technologies qui permettront, au travers de systèmes hybrides, d'assurer la prochaine génération d'**EnR** et ceci qu'il s'agisse du transport routier ou du chauffage de l'habitat. Les pages qui suivent abordent le passé, le présent et le futur de ce qu'il convient de faire dans ce deuxième cas.

Le négatif

La prime chauffage des sénateurs

Au titre des inégalités sociales, le CSLT proteste avec véhémence en observant que le *conseil constitutionnel* aurait validé la demande de nos sénateurs de ne pas voir diminuer leur prime chauffage alors que celle-ci, déjà supérieure au SMIC, avait jusqu'ici plutôt tendance à augmenter par le fait qu'elle est indexée sur le cours du pétrole ! Au travers de ces avantages, on perçoit pourquoi les sénateurs sont si nombreux en France par rapport à l'Allemagne. (Ils seraient 350 en France contre 70 en Allemagne, alors que notre pays est moins peuplé que l'Allemagne.)

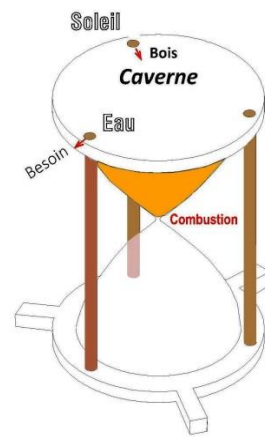
Avec la combustion qui réchauffe notre environnement

L'histoire de la lente évolution vers la *Solar Water Economy de l'enthalpie a commencé avec* combustion du bois, du charbon, puis du fioul et du gaz naturel.

Avec le bois

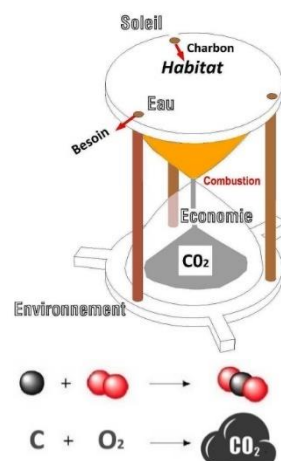
Depuis la préhistoire⁹⁰, soit pendant plusieurs millénaires et dans de nombreuses régions du monde, l'homme n'a disposé pour assurer son confort et cuire ses aliments que de la combustion du bois. L'aspect renouvelable était assuré, en raison d'une démocratie très faible, d'un besoin par habitant nettement moindre et aussi par le fait qu'un élagage conservant soigneusement le tronc principal de l'arbre assurait la pérennité de l'approvisionnement en bois. La combustion du bois ne génère pas de dangereux gaz à effet de serre mais, en contrepartie, une fois coupé pour les besoins de la combustion, il n'absorbe plus le gaz carbonique qu'il aurait absorbé s'il ne l'avait pas été. La quantité de carbone produite par le bois qui se décompose lentement dans la forêt est du même ordre de grandeur que celle qui se forme lors de la combustion. La formation de carbone est seulement beaucoup plus rapide. L'utilisation du bois pour le chauffage dans la ville de demain et en région périurbaine est inenvisageable pour les raisons suivantes :

- Le pouvoir calorifique du bois ou son équivalent en pellets est inférieur au fioul, ce qui aurait pour effet, du fait de la taille des camions de livraison encore plus encombrants que les citernes à fioul roulantes et d'un temps important de transfert pneumatique des pellets dans le silo de stockage, d'aggraver les problèmes de circulation déjà bien pénibles dans nos cités.
- La combustion du bois génère des gaz brûlés qui, sauf filtration coûteuse, sont loin d'être inoffensifs en regard de la qualité de l'air que nous respirons.



Avec le charbon

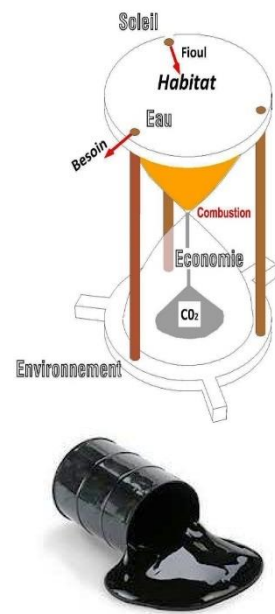
C'est seulement au XVIII^e siècle, soit très récemment, que les destins de l'eau et du charbon ont été intimement liés aux énergies thermique et mécanique et qu'une économie de l'énergie s'est progressivement mise en place à l'occasion de la première révolution industrielle (PRI). Ceci non seulement au travers de la machine à vapeur et du transport ferroviaire, mais aussi pour le chauffage de l'habitat et la délivrance d'une énergie mécanique abondante nécessaire au développement de l'industrie. La consommation progressive de ce charbon accumulé progressivement par la terre pendant des millions d'années a généré lors de sa combustion une quantité importante de GES, ce qui a eu une incidence non négligeable sur notre environnement. Bien que réduit, ce stock n'est pas totalement épuisé. Pour exemple, la décision de ne pas exploiter les réserves australiennes de ce combustible fossile pour ne pas affecter la grande barrière de corail plus qu'elle ne l'est déjà.



⁹⁰ Il faut lire l'extraordinaire livre de l'écrivain anglais Roy Lewis, *Pourquoi j'ai mangé mon père*, pour comprendre l'importance considérable qu'a joué la combustion du bois dans la survie de l'espèce humaine.

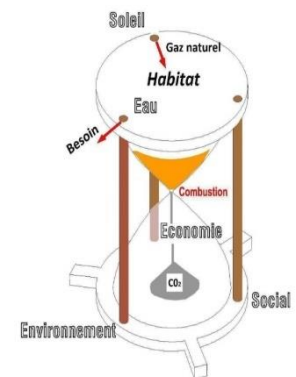
Avec le fioul

Les graves problèmes environnementaux, l'extrême pénibilité du travail ainsi que la dangerosité en raison du grisou – en pratique du méthane – lors de l'exploitation des mines de charbon, ont favorisé, dès le milieu du XIX^e siècle, l'exploitation et le développement du pétrole. Les premiers puits ont été creusés aux États-Unis, en Pennsylvanie, dès 1850. Très rapidement, l'Europe et les autres pays du monde ayant des réserves ont suivi. En termes de gaz à effet (GES), le pétrole est un fluide un peu moins dense que l'eau, qui affecte deux fois moins le climat que le charbon et qui ne présente pas de problème grave pour la sécurité lors de son transport et de son utilisation. Mais il a un grave défaut : il peut être extrêmement polluant et engendrer des dégâts considérables sur la faune et la flore en cas d'incident lors de son transport par mer, ou en cas de fuite des citernes dans lesquelles il est entreposé. Les réserves importantes sur le plan mondial au début du XX^e siècle sont en voie d'épuisement⁹¹.



Avec le gaz naturel

Les réserves de gaz naturel sont également en voie d'épuisement. Elles seraient même selon le rapport « Énergie les cinquante prochaines années » de l'OCDE, sur le plan quantitatif, sensiblement inférieures à celles constituées par le pétrole. Cela explique qu'au détriment de leur environnement certains pays commencent à exploiter leurs réserves non conventionnelles, à savoir le gaz de schiste, avec des procédés dits de fracturation. Ce combustible fossile présente l'avantage relatif d'affecter deux fois moins le climat que le fioul (quatre fois moins que le charbon). Par contre, et bien qu'il puisse être transporté par voie maritime sous sa forme liquide et à basse pression avec les *méthaniers*, sa dangerosité à l'état gazeux lors de sa distribution par tuyauteries dans nos cités à des pressions voisines de 4 bar ne doit pas être prise à la légère.



Avec la chaufferie hybride combinant la combustion et l'enthalpie

Première étape vers la *Solar Water Economy* de l'enthalpie les avantages *environnementaux, sociaux et économique* de la chaufferie hybride pour le chauffage de l'habitat sont indéniables :

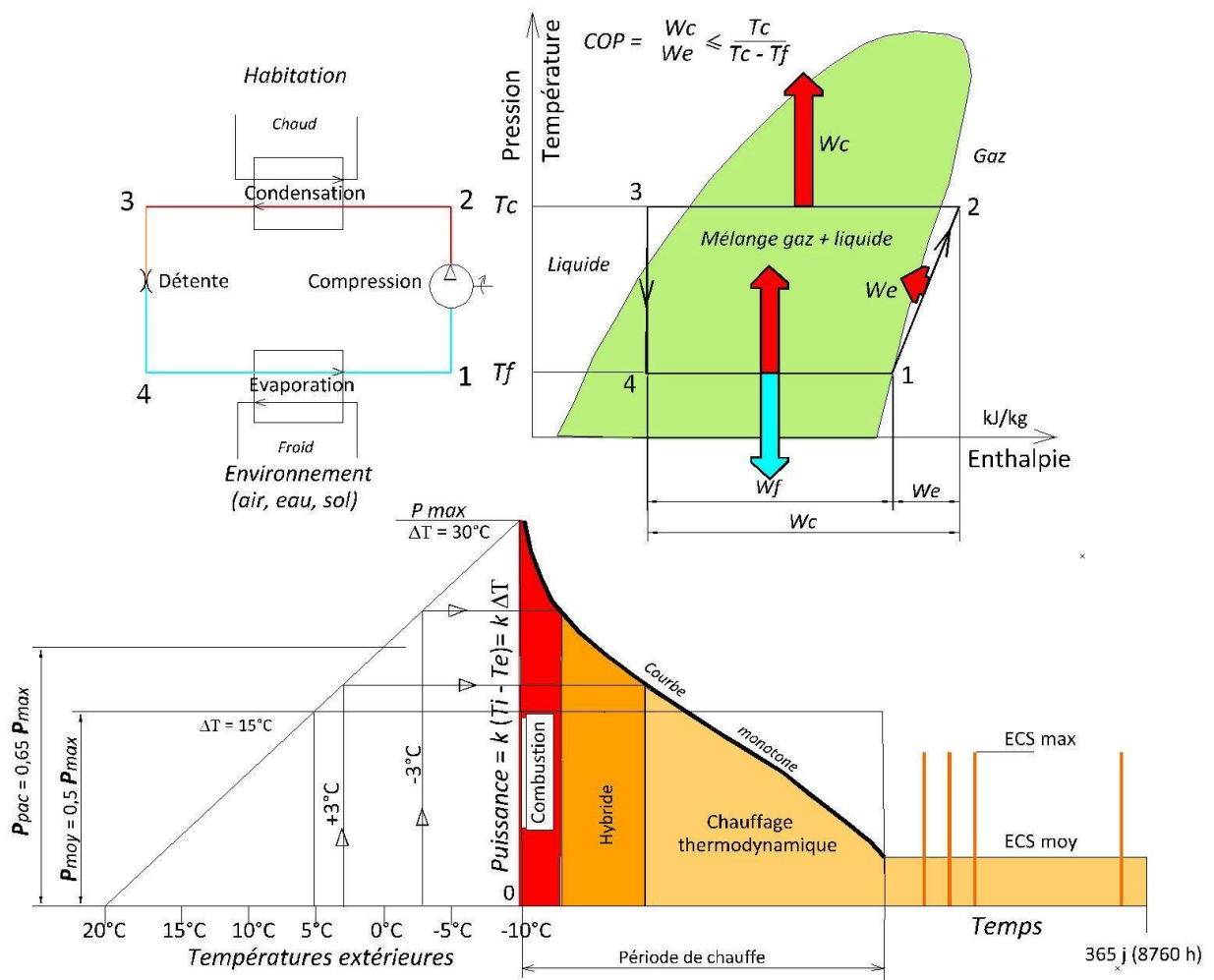
⁹¹ On estime que la quantité de pétrole classique dans le monde se situait, avant le début de l'exploitation, aux alentours de 2 500 milliards de barils. Selon Wiki et le *World Energy Resource Program*, sensiblement la moitié aurait déjà été consommée. Compte tenu du fait que la consommation mondiale actuelle de pétrole, au moment où ce livre est écrit, est de l'ordre de 80 millions de barils par jour, cela ne nous laisse qu'une autonomie voisine de vingt-cinq ans. Certains pays, qui ont déjà exploité leur réserve conventionnelle, commencent à exploiter leurs ressources non conventionnelles. D'autres, comme la compagnie anglo-néerlandaise Shell, envisagent avec l'accord des États-Unis d'exploiter les ressources américaines estimées à 22 milliards de barils de brut des mers des Tchouktches et de Beaufort en Arctique. Ceci malgré la campagne « *Save the Artic* » de WWF, qui estime cette action dans les endroits les plus reculés de la Terre inacceptable pour le devenir de la planète.

L'avenir m'intéresse

- **Environnementaux** pour la simple raison qu'elle réchauffe nettement moins notre environnement, comparativement à la combustion, et qu'elle réduit considérablement la formation de CO₂, un gaz préjudiciable à l'effet de serre et au réchauffement climatique.
- **Sociaux** par le fait qu'en améliorant l'efficacité du dispositif de génération thermique, elle divise par trois voire quatre la consommation d'une énergie finale (**EnP**) de plus en plus onéreuse.
- **Économique** par le fait qu'en prélevant dans l'environnement la majeure partie de l'énergie thermique, elle divise par quatre la consommation en combustible fossile en réduisant dans les mêmes proportions nos dépenses d'achat en combustible fossile à l'OPEP ou Gazprom.

En complément des trois avantages essentiels ci-dessus, la cohabitation de deux sources d'énergie complémentaires telles que le gaz naturel et l'électricité au sein d'une même chaufferie hybride :

- limite la pointe de puissance électrique au plus froid de l'hiver par le fait que la puissance est délivrée par la combustion pendant cette période ;
- répartit la consommation d'énergie finale à parts sensiblement égales entre le gaz et l'électricité, la puissance de la pompe à chaleur étant limitée à environ 60 % de la puissance utile maximum.



Lorsqu'il fait moins froid et que la température extérieure T_e augmente, la température requise à la source chaude, à savoir la température de retour chauffage, baisse selon la loi d'eau et il devient possible d'ajouter le flux thermique de la pompe à chaleur à celui de la combustion (zone hybride à température

intermédiaire et à flux thermiques cumulatifs). L'objectif étant d'optimiser l'utilisation du chauffage thermodynamique afin de réduire la consommation d'énergie finale **We** et les frais qui en résultent.

La chaufferie hybride peut fonctionner en prélevant les EnR :

- dans l'air

Lorsque l'énergie thermique est prélevée dans l'air, on peut estimer, dans l'état actuel de la technique, qu'il est possible de prélever dans l'air environnant et à minima deux fois plus d'énergie thermique que celle consommée en énergie finale. Cela revient à dire, au titre de la loi de conservation de l'énergie, que l'on satisfait un besoin égal à **3** en consommant **1** en *EnP* et en prélevant **2** *EnR* à moindre frais dans l'air environnant. D'autres avantages résultent de ce type de prélèvement :

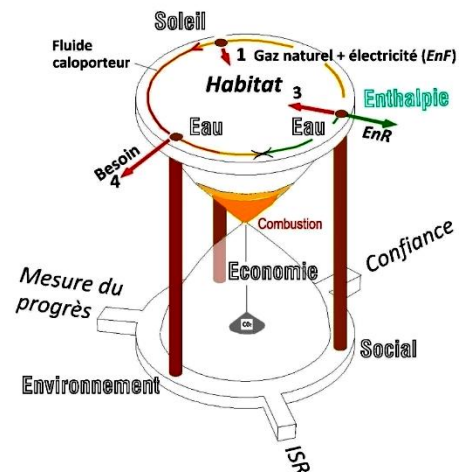
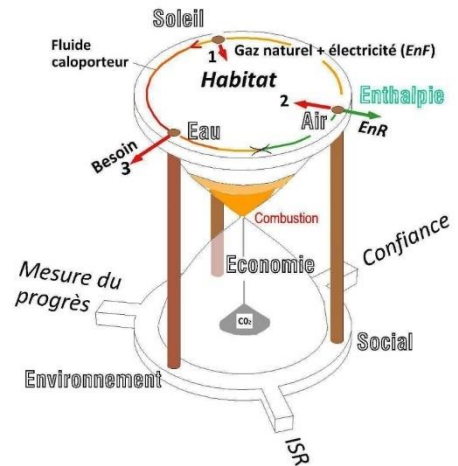
- les cycles de dégivrage affectant les performances sont supprimés ;
- la puissance étant délivrée par la combustion au plus froid de l'hiver, la pompe à chaleur est arrêtée pendant cette période et il n'y a plus formation de glace sur l'évaporateur.

Le besoin en gaz naturel par rapport à la solution combustion seule est divisé sensiblement par quatre, ce qui permet de préserver les réserves mondiales de combustibles fossiles conventionnels et de préserver notre environnement en évitant l'exploitation des combustibles non conventionnels tels que le gaz de schiste.

- dans l'eau

Lorsque l'eau est disponible, prélever l'énergie renouvelable dans cette dernière au lieu de l'air présente deux avantages complémentaires indéniables :

- L'évaporateur de la pompe à chaleur, constitué par un échangeur à plaques, est totalement silencieux et disposé en chaufferie dégageant la structure haute du bâtiment et autorisant la surélévation du bâti existant.
- La part d'énergie thermique naturelle prélevée dans l'environnement est plus importante, améliorant l'efficacité de la génération. On peut estimer, dans l'état actuel de la technique, qu'il est possible de prélever à minima dans l'eau de la nappe libre ou de la rivière trois fois plus d'énergie thermique que celle consommée à grands frais en énergie finale électrique.

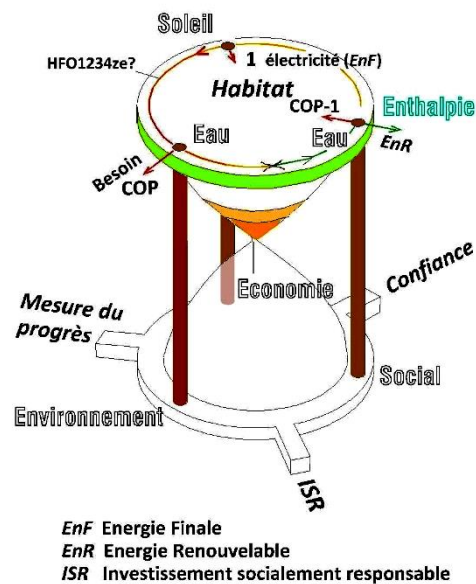


**En zone rurale non desservie par le gaz naturel, les résultats sont comparables lorsque l'on associe à l'électricité non plus le gaz naturel mais le bois ou à la rigueur le fioul.*

Avec l'enthalpie et l'électricité voltaïque dans un monde décarboné

Le problème qui va rapidement se poser avec la chaufferie hybride va être, en minimisant autant que faire se peut la combustion, d'optimiser ses performances en privilégiant le fonctionnement en mode PAC. Et ceci sans affecter la consommation en énergie finale. Nous savons maintenant que les contraintes qui vont se poser pour y parvenir seront moindres lorsque la pompe à chaleur prélève son énergie dans l'eau et non dans l'air. Ces dernières ne seront toutefois pas négligeables. Particulièrement lorsque la chaufferie hybride ne pouvant pas prélever l'eau par puisage dans la nappe phréatique en ville faute de place devra s'alimenter en ENP dans le fleuve et acheminer cette eau par ses égouts. La grande conductibilité d'un métal comme l'aluminium, en augmentant la température de l'eau alimentant l'échangeur à plaque constituant l'évaporateur, viendra alors au secours de la pompe à chaleur. Si l'on considère la région IDF, il est peu probable que la Seine gèle à nouveau comme cela s'est produit pour la dernière fois pendant l'hiver 53-54, mais la température minimum actuelle voisine de 5° dans la Seine à Paris est trop basse pour garantir un fonctionnement correct du chauffage thermodynamique pendant toute l'année. En acheminant l'eau des fleuves vers l'évaporateur de grosses PAC implantées sur les terrains communaux situés au barycentre des immeubles à chauffer avec des tuyauteries en aluminium, les transferts thermiques de l'égout vers l'intérieur de la tuyauterie seront loin d'être négligeables. On s'apercevra alors que les chaudières des chaufferies hybrides ne sont pratiquement plus utilisées et sont là uniquement en secours. La confiance dans le chauffage thermodynamique collectif pour le chauffage de l'habitat qui a cruellement fait défaut jusqu'ici va et petit à petit renaître. Certains objecteront qu'il faudra continuer à associer le gaz et l'électricité en raison de l'impératif qu'il y a de limiter la pointe

de courant électrique au plus fort de l'hiver et que si l'on réchauffe un peu l'environnement lorsqu'il fait froid ce n'est pas bien grave. C'est alors que la dure réalité prendra place : si l'on souhaite que l'habitat soit en autosuffisance énergétique, il faudra bien alors que l'isolation du bâti progresse. On observe toutefois qu'une température de 50° à la source chaude et de 10°C à la source froide conduit à un COP théorique voisin de 8 : $(273+50) / (50-10) = 8,07$. Certes ce COP théorique sera difficile à obtenir dans la pratique mais l'étude faite lors de la synthèse *génération-isolation* ainsi que l'examen de l'abaque de Mollier d'un fluide caloporteur nouvelle génération permet de dire qu'avec de telles températures, il est envisageable de satisfaire le besoin et le confort des occupants avec un COP pratique proche de 6. Dans ces conditions, les quelques 400 m² de panneaux solaires en terrasses du cas pratique (*Voir page 453*) qui peuvent délivrer annuellement en région parisienne sensiblement 40 000 kWh voire plus vu les progrès réalisés, cela fait une énergie thermique disponible à l'utilisation voisine de 240 000 kWh. Au travers du « cas pratique » et de la synthèse *génération-isolation*, on observe que même après avoir franchi la dernière étape consistant à effectuer des améliorations



$$\text{COP} \leq \frac{T_c}{T_c - T_f}$$

**Pour que le chauffage thermodynamique se généralise dans le chauffage de l'habitat, les trois stabilisateurs mentionnés en italique en bas de la figure seront nécessaires. Ceux-ci pourraient bien être une unité de mesure différente du PIB pour quantifier le progrès, le retour de la confiance, la qualité du produit associé à ce que l'on pourrait appeler un*

privatives telles que les fenêtres double vitrage et les radiateurs basse température, un certain nombre de kWh manquent à l'appel pour satisfaire un besoin thermique proche de 370 000 kWh. « *investissement socialement responsable* » (ISR), plutôt qu'une monnaie unique telle que le YED (yuan, euro, dollar).

On ne va tout de même pas démolir cet immeuble et le reconstruire pour supprimer les ponts thermiques sur les façades avec balcons afin qu'il respecte la RT 2012 et ses 50 kWh /m² habitable ! Même reconstruit ainsi, le besoin en énergie thermique du bâtiment resterait encore légèrement supérieur aux capacités de la pompe à chaleur seule (5000 m² x 50 kWh /m² = 250 000 > 240 000 kWh).

Remarques importantes

Le bâti existant encore pour longtemps.

Il serait donc ridicule d'engager une telle action de reconstruction pour cette seule raison. Ceci par le fait que, si l'on raisonne cette fois non plus en énergie annuelle mais en puissance instantanée, ce bâtiment ne peut en aucun cas être en autosuffisance énergétique en hiver et particulièrement la nuit, lorsque le soleil fait défaut et que la production voltaïque est nulle. Qu'il soit un peu dans le négatif ou un peu dans le positif ne change pas grand-chose à l'affaire et ce n'est pas la STEP de Grand'Maison à elle seule, bien qu'elle soit capable de fournir une puissance de 1 800 MW en mode turbinage pendant la nuit, lorsque le soleil est indisponible, qui peut compenser le manque à gagner. Une puissance de 1,8 million de kW pour assurer le besoin des 25 millions de propriétaires de l'Hexagone, cela fait une puissance de 0,072 kW par propriétaire. Comme on le voit, avec un besoin en puissance électrique proche du kW par foyer⁹², on est loin du compte. Si l'on décidait de se passer totalement du nucléaire, qui est lui capable de délivrer une puissance importante de jour comme de nuit, il faudrait une bonne dizaine de STEP comme celle de Grand'Maison ! Toutes ces solutions, qui nécessitent le transfert de l'énergie électrique sur de grandes distances, surchargent le réseau de distribution et ceci qu'il s'agisse des éoliennes, en supposant que le vent continue de souffler encore après le coucher du soleil, du transfert de l'énergie électrique voltaïque d'un faisceau solaire à un autre, ou des hydroliennes et les courants marins. Pour ne pas surcharger notre réseau électrique avec une production électrique trop éloignée du point de consommation, ne serait-il pas préférable de stocker l'énergie électrique voltaïque sur place en utilisant les batteries des voitures hybrides non utilisées, quitte à retomber dans le piège des compteurs « intelligents » faisant la part entre le privatif et le collectif ?

Et le climat ?

L'enthalpie du fluide caloporteur d'une pompe à chaleur est une chance à saisir pour le climat. Lorsque l'on compare le chauffage de l'habitat obtenu par combustion avec celui obtenu par la thermodynamique et la pompe à chaleur, on constate en effet que la chaleur prélevée dans la nappe libre ou l'eau de la rivière en liaison avec elle refroidit *localement* cette dernière. On peut même dire que le chauffage thermodynamique refroidit *globalement* notre environnement au lieu de le réchauffer, comme la combustion ou l'effet Joule utilisant l'électricité nucléaire. Ceci par le fait que ces deux dernières méthodes, lorsqu'elles sont utilisées pour produire de la chaleur, ont un COP de 1, ce qui revient à dire que COP-1 étant égal à zéro, aucune énergie thermique renouvelable n'est prélevée dans l'environnement. Par contre, une pompe à chaleur ayant un COP égal à 6 peut prélever une quantité d'énergie thermique dans l'environnement égale à COP-1 = 6-1 = 5, soit cinq fois plus importante que ce que la combustion ou la pompe à chaleur doivent fournir pour obtenir le même besoin. En supposant que l'électricité reste pour un temps nucléaire en

⁹² 50 m² habitables par foyer à 50 kWh par m² habitable, cela fait une consommation annuelle par foyer de 2 500 kWh. Ce qui correspond à une puissance moyenne de 0,5 kW pour une période de chauffe de 5 000 heures, soit une puissance instantanée maximum voisine du kW.

France, cinq fois moins d'électricité que l'effet Joule pour satisfaire le besoin thermique c'est, malgré le rendement modeste et inférieur à 50 % d'une centrale nucléaire, nettement moins de chaleur dissipée dans l'environnement...

Vers une France approvisionnée à 100 % par les EnR ?

Il est peu probable que le scénario d'une couverture de la totalité de la consommation d'électricité française par des *EnR* électriques grâce aux éoliennes, aux hydroliennes, à la combustion des ordures et au voltaïque confondus, aboutisse dès 2050. L'exercice intellectuel réalisé par l'Ademe consistant à vérifier la crédibilité scientifique et économique d'une telle idée, pour intéressante qu'elle soit, aurait pu passer par une comparaison. La comparaison consistant à peser deux chiffres, d'une part les quelque 55 milliards d'euros qui seront nécessaires pour sécuriser la cinquantaine de parcs nucléaires français conformément aux directives de l'ASN et d'autre part, les rentrées fiscales annuelles résultant de la production puis de la vente de l'électricité nucléaire française qui seraient voisines de 20 milliards d'euros. En raisonnant ainsi, on observe que les frais à engager pour cette sécurisation améliorée seraient amortis en moins de trois ans. (En effet, la production annuelle française de quelque 400 milliards de kWh à un prix de vente de 50 euros/MWh, c'est bien une somme de 20 milliards d'euros qui rentre dans les caisses de l'État.) Si la prolongation de la durée de vie de nos centrales résultant de ces travaux devait se prolonger jusqu'en 2030, c'est une plus-value de 240 milliards d'euros qui pourrait être utilisée pour promouvoir des techniques de consommation de l'électricité plus performantes que celles utilisées aujourd'hui pour le chauffage, ne serait-ce que dans le sens évoqué par cet ouvrage, pour le chauffage de l'habitat avec la période transitoire des chaufferies hybrides ou de promouvoir de nouvelles techniques de stockage utilisant les batteries des voitures électriques. Ceux qui, comme les lutins thermiques, sont enclins à privilégier les énergies renouvelables sont légitimement en droit de s'interroger sur la part de ces 240 milliards d'euros qui reviendra en définitive au développement de ces nouvelles techniques. Mais qu'en est-il du coût de démantèlement des réacteurs en fin de vie ? Quoi qu'il en soit, afin de réduire les émissions de CO₂, ne devrait-on pas s'intéresser sur le moyen terme à un financement de la recherche vers le chauffage thermodynamique et le voltaïque par le nucléaire plutôt que par la taxe carbone ?

La religion et la science

Balendard a eu la chance de pouvoir lire les 73 pages de *l'encyclique « Laudato si' »* que le Pape François vient d'écrire fin mai 2015 sur le thème de la sauvegarde de notre maison commune, la terre. Le CSLT remercie le Saint Père d'offrir à chacun d'entre nous, croyant ou non croyant, la possibilité d'approfondir sa réflexion sur ce sujet brûlant. Balendard préoccupé comme l'est le Saint Père par la « terre poubelle » et le réchauffement climatique a surligné en jaune les nombreuses parties du texte qui montrent que l'église et le CSLT ont les mêmes inquiétudes sur son devenir à moyen terme. Mais le Saint Père ne se borne pas à mettre en évidence l'urgence et la nécessité d'un changement : il aborde avec courage et lucidité quelles pourraient être les modalités de ce changement, la nécessité de revoir les modèles actuels de production et de consommation, les nouvelles structures et modes de vie. Il nous invite chercher d'autres façons de comprendre l'économie et le progrès. Il nous incite à raisonner sur le long terme pour assurer la sauvegarde des écosystèmes en considérant que l'on ne peut pas parler de développement durable sans une solidarité entre les générations et une croissance revue à la baisse. Il explique que l'environnement est un bien collectif sous la responsabilité de tous. Il force le CSLT à raisonner sur le bien-fondé du dispositif financier *pollueur-payeur*. Il nous incite à développer des formes d'*EnR* peu polluantes dans les meilleures conditions de rendement. Enfin il minimise la crise économique et il lie la crise sociale à la crise environnementale en considérant qu'elles se confondent. Balendard a aussi surligné en rouge une partie du texte. Il souhaiterait rassurer le Pape François : tous les hommes qui possèdent la technique ne lui semblent pas nécessairement guidés par « une logique de fer dans laquelle le but final est non pas l'utilité et le bien-être de chacun mais la domination » pour

reprendre les propres termes du Pape François. Certes un technicien peut malgré tout se tromper mais s'il sait reconnaître son erreur, on la lui pardonnera...

Il est souvent question, en ce qui concerne le chauffage de l'habitat, de précarité énergétique et de la difficulté pour les occupants d'HLM ou autres logements sociaux de payer leurs factures de chauffage en fin de mois. Dès lors on se demande pourquoi* des organismes tels que l'union sociale pour l'habitat (USH) s'obstine à considérer que la solution pour résoudre les problèmes sociaux est de ménager des accords avec les fournisseurs de combustibles fossiles. Ne serait-il pas temps de percevoir qu'une autre orientation est envisageable pour solutionner le problème du chauffage de l'habitat. Celle de faire cohabiter l'enthalpie et la combustion afin de supprimer progressivement cette dernière. Pourquoi en effet ne pas évoquer le fait que 1 kWh d'énergie finale consommée avec les combustibles habituels, c'est 1 kWh thermique rendu dans les pièces de vie (COP=1), pas plus. Ceci alors que 1 kWh d'énergie finale consommée sous forme électrique avec une pompe à chaleur, c'est 4 kWh thermique rendus dans les pièces de vie (COP =4) voire 6 avec un COP optimisé. Même avec un prix du kWh électrique deux fois plus onéreux que celui du gaz, la douloureuse resterait deux à 3 fois plus faible avec la pompe à chaleur. L'auteur espère que ceux qui évoquent la pérennité du chauffage et appréhendent de servir de cobaye en passant directement de la combustion à la pompe à chaleur seront convaincus après avoir lu ce livre qu'ils peuvent prévoir une chaufferie hybride faisant cohabiter le gaz et l'électricité et présentant l'avantage de résoudre en partie les problèmes climatiques en limitant le réchauffement.

**Le Pape François a trouvé réponse à cette question dans son encyclique sur la sauvegarde de la maison commune Laudato si'.*

En page 48 article 171, voir figure ci-contre, il met en doute l'efficacité de ces mouvements financiers entre ceux qui vendent les combustibles et ceux qui les consomment. Reste à nos dirigeants de convaincre le Pape François que la voie proposée par la France est malgré tout la bonne (Voir page 140)

171. La stratégie d'achat et de vente de « crédits de carbone » peut donner lieu à une nouvelle forme de spéculation, et cela ne servirait pas à réduire l'émission globale des gaz polluants. Ce système semble être une solution rapide et facile, sous l'apparence d'un certain engagement pour l'environnement, mais qui n'implique, en aucune manière, de changement radical à la hauteur des circonstances. Au contraire, il peut devenir un expédient qui permet de soutenir la surconsommation de certains pays et secteurs.

Le potentiel thermique des fleuves

On sait maintenant que les fleuves qui traversent les métropoles sont des réserves d'énergie thermique renouvelable importante. Du fait de sa population élevée **Paris est cependant un cas difficile**. Il ressort pourtant de l'étude ci-dessous qu'il ne devrait subsister aucun doute sur les capacités thermiques d'un fleuve comme la Seine d'assurer le chauffage de l'habitat urbain d'une grande métropole comme Paris. On sait en effet que les débits conjugués de la Marne et de la Seine qui se rencontrent à Charenton en amont de la capitale sont en moyenne annuelle de 320 m³ par seconde avec une très bonne approximation. En abaissant la température d'un tel débit de 4°C on récupère une énergie sensiblement égale à 320 x 4 = 1 280 kWh en une seconde dans l'environnement naturel. Ceci étant donné qu'il faut fournir environ 1 kWh pour élever un m³ d'eau froide de 1° C. Hors, 1280 kWh par seconde c'est 1280 x 3600 = 4 608 000 kWh en une heure soit une puissance récupérée dans l'environnement de 4 608 000 kW. On sait que Paris intra-muros c'est 2 millions d'habitants. Si ces deux cours d'eau devaient assurer le besoin chauffage de Paris intra-muros plus une zone périurbaine située à l'extérieur du périphérique peuplée également de 2 millions d'habitants, on observe qu'une puissance supérieure à 1 kW est disponible pour chacun des habitants (4 608 000 / 4 000 000 = 1,15kW) On sait aussi que du fait de la densité urbaine importante d'une grande métropole comme Paris, chaque habitant occupe une surface habitable assez faible voisine de 25 m². Ceci alors que la déperdition moyenne annuelle par m² habitable, voisine de 240 kWh dans l'habitat ancien mal isolé, conduit à un besoin énergétique annuel proche de 6 000 kWh par occupant. Compte tenu du fait que

L'avenir m'intéresse

une année c'est 8760 heures, cette énergie c'est une puissance utile moyenne par habitant de $6000/8760 = 0,68$ kW

On observe donc que la nature est généreuse puisque la puissance utile pour chauffer l'habitat en hiver, qui correspond sensiblement au double de la puissance moyenne, pourrait être déjà pratiquement satisfaite alors que le calcul ci-dessus a été fait avec le débit moyen et que l'on sait que le débit instantané en hiver peut atteindre deux fois le débit moyen voire plus. Certains diront que la température dans la Seine pouvant descendre à 5°C en hiver, abaisser de 4°C cette température c'est se retrouver bien près de 0°C et de la glace interdisant tout fonctionnement du chauffage thermodynamique aquathermique. En pratique la chaufferie hybride se sort de ce mauvais pas pour plusieurs raisons :

- C'est la combustion *on l'a vu qui* assure le besoin thermique au plus fort de l'hiver
- Lorsque l'alimentation de l'évaporateur de la pompe à chaleur se fait dans la nappe libre en communication avec la rivière, la température de l'eau n'est jamais en dessous de 10°C
- Lorsqu'il n'est pas possible de forer dans la nappe libre faute de terrain, l'alimentation de l'évaporateur de la pompe à chaleur peut se faire par des conduits non isolés circulant dans les égouts ou dans le sous-sol profond ce qui a pour effet d'augmenter la température de l'eau pompée dans la rivière avant qu'elle n'arrive à l'évaporateur de la pompe à chaleur. (La température régnant dans les égouts est généralement comprise entre 15 et 20°C)

D'autre diront que le débit de la Seine à l'étiage est beaucoup plus faible ce qui risque de poser problème pour la fourniture de l'ECS. À cela on peut répondre que le besoin en puissance pendant cette période de l'année est plus faible et que la température de la Seine en mi-saison et l'été est beaucoup plus chaude avec l'avantage pour l'environnement de refroidir sensiblement cette dernière. (Comme chacun sait *les saumons préfèrent l'eau froide mieux oxygénée*)

Les infrastructures avec Paris pour exemple

Compte tenu des avantages que l'on peut retirer de ce mode de chauffage si l'on devait généraliser ce mode de chauffage, les infrastructures pour assurer l'acheminement en ENP des chaufferies hybrides seraient moins lourdes qu'on peut l'imaginer.

La longueur du périphérique parisien est de 35 km (Si l'on assimile le périphérique à un cercle le diamètre du cercle est de 11,2 km et la surface du cercle de 97,5 km², proche de la valeur réelle de 105 km². De même en procédant ainsi la densité urbaine est également $2\,000\,000 / 97 = 20\,500$ habitants par km² proche de la valeur réelle de 21 300. On peut estimer que la densité passe grosso modo à environ 10 000 habitants par km² pour la couronne située au-delà du périphérique. Une société comme Vallourec est parfaitement capable à partir de ses presses en U et en O de fabriquer des tubes minces de gros diamètre (environ 1 m) à partir d'acier plat étiré par laminage. Il est probable que si les chaufferies hybrides devaient se généraliser en centre-ville, les nuisances de surface qui résulteraient de la pose d'aussi grosses tuyauteries dans les égouts émissaires font qu'il semble préférable d'orienter l'acheminement en eau non potable (ENP) vers l'évaporateur par des conduits souterrains obtenus par forage. Des sociétés japonaises comme Mitsubishi ou américaines comme Robins à Seattle sont parfaitement capables de construire des taupes électrohydrauliques adaptées à ces forages en zone alluvionnaire avec adjonction à l'arrière de la taupe de voussoirs assurant l'étanchéité. Ceci sans que la vie du centre-ville ne soit trop modifiée en surface. Une conduite de 2,5 m de diamètre (S égal 5 m²) dans laquelle, de l'eau à 2 m/s, c'est un débit disponible en ENP de 10 m³ par seconde. Sachant que le besoin en eau non potable (ENP) à l'entrée de l'échangeur à plaques constituant l'évaporateur d'une PAC aquathermique est au plus voisin de 0,1 litre/seconde par habitant, une telle liaison pourrait assurer à elle seule le besoin d'un des 20 arrondissements parisiens (environ 100 000 habitants) correspondant sensiblement à 50 000 deux pièces de 50 m². Ceci compte tenu du fait que deux personnes vivent en moyenne dans un deux pièces en France.

Compte tenu de la viscosité cinématique de l'eau voisine de 1 centistoke, les pertes de charges dans une telle liaison seraient très raisonnables et inférieures à 0,2 bar pour une longueur de tuyauterie de 1,5 km comprenant 5 coudes arrondis.

L'avenir m'intéresse

Il semble raisonnable sur le plan pratique d'incorporer les pertes de charges dans le secondaire des échangeurs à plaques. En supposant une perte de charge comparable de 0,2 bar à ce niveau (bien évidemment à vérifier) une dizaine de groupes motopompes centrifuges de 1 m³/s chacune entraînée par un ME de 40 kW, soit une puissance utile voisine de 400 kW, serait adaptée au besoin. Cette puissance serait négligeable comparée à la puissance récupérée dans l'environnement voisine de 230 000 kW (moins de 2 ‰)

Le composant qui prélève l'énergie thermique dans le fleuve

L'évaporateur d'une pompe à chaleur est le composant dans lequel circule le flux thermique le plus important. Le plus important non seulement quantitativement mais aussi par le fait que l'énergie qui est prélevée dans le fleuve est de l'énergie renouvelable et gratuite.

L'évaporateur des pompes à chaleur aquathermique est constitué d'échangeurs de température à contre-courant à plaques brasées. Ces plaques sont en acier inoxydable probablement brasées avec du cuivre, ce qui permet d'obtenir une efficacité thermique élevée et une grande robustesse. Conçus pour la réfrigération et la climatisation, ces échangeurs à plaques permettent l'utilisation des réfrigérants habituellement utilisés pour assurer le fonctionnement des pompes à chaleur. Adaptés pour assurer les fonctions condenseur et évaporateur des pompes à chaleur, ces types d'échangeur de température à contre-courant couvrent des plages de températures (-100°C à 150°C) et des pressions de service pouvant aller jusqu'à 130 bar supérieures aux valeurs utiles. Ils présentent les avantages suivants pour le chauffage urbain :

- Extrêmement compacts, légers, faciles à installer
- Totalement silencieux
- Faible charge de réfrigérant
- Sécurité de modulation de la puissance des évaporateurs grâce au dispositif « inverter » assurant la variation de débit du fluide caloporteur de la PAC
- Capacité élevée de récupération de chaleur

Le débit des plus gros échangeurs à plaques voisin de 3500 m³/h offre la possibilité, si l'on refroidit ce débit d'eau de 4°C, de récupérer dans le fleuve une puissance instantanée **P_f** sensiblement égale à 3 500 x 4 = 14 000 kW.

Si **P_e** est la puissance des compresseurs et **P_c** la puissance disponible sur le condenseur à la source chaude, on peut écrire pour un COP de 4 sensiblement inférieur au COP théorique de 6 avec 10°C dans le fleuve et 70°C à la source chaude



Courtesy Tranter

Produit à adapter aux fonctions condenseur et évaporateur

(Voir page 78)

$$\text{COP} = P_c / P_e = 4 \text{ et } P_e + P_f = P_e + 14\,000 = P_c$$

$$\text{Soit } P_c = P_e / 4 + 14\,000 \text{ et } P_c = 18\,600 \text{ kW avec } P_e = P_c - P_f = 18\,600 - 14\,000 = 4\,600 \text{ kW}$$

Sachant que le besoin en puissance de chauffe maximum par Parisien en mode pompe à chaleur aquathermique est voisin de 1kW, un tel composant serait capable d'assurer le besoin de 14 000 occupants. Un arrondissement parisien de 100 000 habitants pourrait ainsi être alimenté par 8 échangeurs à plaques comparable à celui représenté sur la figure ci-dessus. (Les tuyauteries du circuit fermé de la PAC véhiculant le fluide caloporteur seraient plus petites).

Les performances

L'avenir m'intéresse

Si les chaufferies hybrides devaient se généraliser, le principe de la conservation de l'énergie permet de démontrer que la consommation d'énergie finale pour assurer le chauffage de l'habitat des 4 millions d'habitants vivants dans la zone Paris intramuros + couronne périurbaine serait beaucoup plus faible pour un même besoin étant donné que c'est près de 62 % d'énergie renouvelable gratuite qui serait prélevée dans le fleuve ou sa nappe libre pour une consommation en énergie finale limitée à 38 % :

- Besoin dans les pièces de vie $4\,000\,000 \times 6000 = 24 \times 10^9$ kWh (100%)
- Besoin en énergie finale gaz + électricité $0,38 \times 24 \times 10^9 = 9,12 \times 10^9$ kWh
- **EnR** thermique prélevée dans le fleuve $0,62 \times 24 \times 10^9$ kWh = $14,88 \times 10^9$ kWh

Le calcul ci-dessus étant fait pour un complément **EnR** sous la forme d'une PAC aquathermique dimensionnée pour la moitié de la puissance utile en plein hiver et ayant un COP moyen de 5 lorsque la chaufferie hybride aquathermique fonctionne en mode thermodynamique. Voir page 159

La précarité énergétique et le social

Les chaufferies hybrides améliorent le pouvoir d'achat de l'occupant

1. Un couple fiscal de deux personnes habitant un deux pièces de 50 m² qui se chauffait électriquement avec l'effet joule et un prix du kWh thermique proche de 0,125 €/kWh voit sa facture diminuer de
 $12\,000 \times 0,125 - [(0,155 \times 12\,000 \times 0,125) + (0,225 \times 12\,000 \times 0,075)] = 1500 - 232,5 - 202,5 = 1\,065$ € (La douloureuse passe de 1 500 à 435 €)
2. Un couple fiscal de deux personnes habitant un deux pièces de 50 m² qui se chauffait avec une chaufferie conventionnelle au gaz naturel et un prix du kWh thermique proche de 0,75 €/kWh voit sa facture diminuer de
 $12\,000 \times 0,075 - [(0,155 \times 12\,000 \times 0,125) + (0,225 \times 12\,000 \times 0,075)] = 900 - 232,5 - 202,5 = 465$ € (La douloureuse passe de 900 à 435 €)

Ceci sans préjuger de la répartition du coût des infrastructures

L'aspect fiscal

Hypothèses : Les chaufferies hybrides se généralisent en France et l'état initial est le suivant : 50 % se chauffent avec l'effet joule électrique, l'autre moitié avec le gaz naturel

Avec 60 millions d'habitants en France les consommations sont multipliées par 60/4

Avec la combustion ou avec le chauffage électrique à effet joule la consommation en énergie finale gaz ou électricité est donc de **360×10^9 kWh**

Elle est réduite avec la chaufferie hybride en mode aquathermique à :

- **$55,5 \times 10^9$ kWh** d'électricité
- **81×10^9 kWh** de gaz.

Il y a actuellement de nombreuses taxes qui représentent 34 % de la facture d'électricité et 21 % de la facture de gaz naturel

Il est question d'augmenter encore la fiscalité au travers de l'une de ces taxes appelée *taxe carbone* (Taxe climat)

Cette taxe est actuellement très faible :

- TICFE (Taxe Intérieure sur la Consommation Finale d'Électricité) 0,5 €/MWh ou 0,0005 €/kWh. Elle correspond actuellement à $\frac{1}{2} \times 360 \times 10^9 \times 0,0005 = 90$ millions d'€
- TICGN (Taxe Intérieure de Consommation sur le Gaz Naturel) n'est que de 1,19 €/MWh ou 0,00119 €/kWh. Elle correspond actuellement à $\frac{1}{2} \times 360 \times 10^9 \times 0,0019 = 344$ millions €

Il est question de l'augmenter progressivement. Ce point sera discuté au COP21 Cette augmentation serait progressive dans le temps avec comme objectif une taxe beaucoup plus élevée qui serait basée sur le coût réel de réduction du carbone voisin de 60 à 80 € la tonne

Il faut savoir que :

L'avenir m'intéresse

- L'électricité c'est 4g de CO2 par kWh selon le célèbre institut suisse Paul Scherrer
- Le gaz naturel c'est 242 g par kWh selon l'Ademe

Sur la base d'un chauffage réparti à part égale entre le gaz et l'électricité effet joule, la France émet :

- $\frac{1}{2} \times 360 \times 10^9 \times 4 \times 10^{-6} = 720\,000$ tonnes de gaz carbonique par an en raison du chauffage électrique à effet joule
- $\frac{1}{2} \times 360 \times 10^9 \times 242 \times 10^{-6} = 43\,560\,000$ tonnes de gaz carbonique par an en raison du chauffage au gaz naturel

Soit 44 280 000 tonnes de CO2 au total (sur la base d'un prix moyen de 70 € la tonne pour séquestrer ce carbone c'est donc environ 3 milliards d'€ qui sont en jeu)

Sur la base d'un chauffage à base de chaufferies hybrides elle n'émettait que

- $55,5 \times 10^9 \times 4 \times 10^{-6} = 220\,000$ tonnes de CO2 pour le chauffage avec l'électricité effet joule
- majoré de $81 \times 10^9 \times 242 \times 10^{-6} = 19\,602\,000$ tonnes de CO2 pour le chauffage avec le gaz naturel

Soit 19 822 000 tonnes de CO2 au total avec une taxe carbone réduite en conséquence

L'aspect financier

- Le gain résultant de la diminution du besoin en électricité sur la base d'un prix de revient du kWh électrique à 0,04 €/kWh : $0,04 \times (180 - 55) \times 10^9 = 5$ milliards d'€ (frais d'investissement)
- Le gain résultant de la diminution du besoin en gaz naturel sur la base d'un prix d'achat du gaz à Gazprom ou aux US (gaz de schiste) également égal à 0,04 €/kWh : $0,04 \times (180 - 81) \times 10^9 = 4$ milliards d'€ (devises). Tous les ans c'est sensiblement 10 milliards d'€ d'économisés pour l'état français

Conclusion

L'étude faite par ce Lutin thermique n'a pas vocation à se substituer à celle des spécialistes.

Elle a uniquement pour objectif de prouver que la faisabilité d'un tel dispositif de chauffage est déjà à notre portée technique. Elle montre que les composants essentiels constituant un tel système de chauffage existent déjà ou sont en passe de l'être. Il reste bien évidemment pour la véracité des chiffres de vérifier au niveau des statistiques la répartition actuelles 50/50 entre le chauffage gaz et l'électricité par radiateurs électriques mais ce rapport n'est probablement pas très loin de la réalité en France.

La chaufferie hybride c'est à minima et dans un premier temps 55 % d'émission carbone en moins. Quand on s'apercevra que les chaudières ne sont plus là qu'en secours et que le chauffage thermodynamique aquathermique se suffit à lui-même ce sera 96 % de CO2 en moins par rapport à la situation actuelle !

Nous serons alors uniquement limités dans notre ambition de vivre dans un monde décarboné par le souci français de ne pas dépasser le plafond de 60 GW au plus fort de l'hiver. Quant à l'air de nos villes il se trouverait être moins pollué qu'il ne l'est actuellement par les gaz brûlés de la combustion.

Le Lutin thermique qui a écrit cette page fait remarquer au lecteur que l'étude ci-dessus a été faite dans le cadre d'une rénovation thermique conservant la mauvaise isolation des bâtis de l'habitat urbain existant. La voie tracée avec ces nouveaux réseaux de chaleur permettrait à l'Ademe de sortir de l'impasse qui bloque la copropriété et le syndic en ce qui concerne la rénovation thermique de l'existant.