

Conclusion

En passe de solutionner la thermique de l'habitat dans le neuf, la France peine à résoudre celle dans l'ancien. Vu le considérable potentiel d'économie d'énergie que représente le chauffage de l'habitat existant il lui faudra procéder par étapes successives sans se tromper dans la chronologie des actions à entreprendre si elle souhaite combler le retard qu'elle a accumulé années après années dans l'existant. Il ne s'agit ici pas de petites économies puisque l'Agence Internationale de l'Energie (AIE) comme Wikipédia, considèrent que le secteur du Bâtiment est actuellement le plus grand consommateur d'énergie dans le monde et compte pour plus d'un tiers de la consommation totale d'énergie finale. Il est même probable qu'en raison de la désindustrialisation de la France, les trois postes *industrie-transport-logement* qui était jusqu'ici sensiblement à égalité dans notre pays a vu la part de sa consommation logement augmenter pour se rapprocher des 40%. Dès lors, on se demande pourquoi on se laisse enfermer en France dans des systèmes de chauffage conduisant au radiateur "*tout électrique*" qui rend l'aide indispensable ou au "*tout gaz*" qui conduit à la dégradation de notre environnement. A défaut d'un chauffage urbain basé sur la géothermie profonde qui tarde à venir et qui n'est pas selon certains experts renouvelable sur le long terme, pourquoi en effet vouloir à tout prix produire de l'électricité renouvelable plus onéreuse pour l'utilisateur et s'en servir ensuite pour alimenter des radiateurs électriques à effet joule peu performants ? Ceci alors que l'on pourrait profiter de la complémentarité du gaz et de l'électricité au sein d'une même chaufferie en y associant la combustion et le chauffage thermodynamique aquathermique. Il devient urgent de réduire la précarité énergétique en profitant des formidables capacités de l'eau en tant que véhicule thermique. Outre le fait que cette orientation permettrait de régénérer l'eau de nos rivières, ces chaufferies "hybrides" abaisseraient significativement le prix de l'énergie thermique rendue dans les logements rendant l'aide et le comptage de l'énergie chauffage inutile, amélioreraient la pérennité des dispositifs de chauffage, et prépareraient nos sociétés à se passer des énergies fossiles pour se chauffer, solutionnant pour partie le grave problème du réchauffement climatique. On observe au travers du « *cas pratique* » de ce livre que le chauffage d'une copropriété en région parisienne avec ce type de chaufferie est dès à présent possible et que les techniques sont prêtes. Des organismes réputés prétendent que notre planète pourrait devenir inhospitalière pour les êtres vivants du fait du réchauffement climatique avant 2020, il conviendrait en conséquence de se hâter d'adopter ces nouvelles techniques qui présentent l'avantage de moins réchauffer notre environnement, voire de le refroidir localement là où cela peut être bien utile. Arrivé au terme de ce livre, force est de constater que la rénovation thermique dans l'habitat ancien est probablement difficile à appréhender et à mettre en œuvre puisqu'il aura fallu plus de 500 pages pour se convaincre qu'il est possible de produire de la chaleur renouvelable dans le cadre des chaufferies hybrides dans de bonnes conditions pour l'habitat urbain existant. Il faut dire que pour y parvenir, il a été utile pour ne pas dire indispensable de comprendre au préalable les chaufferies existantes basées sur la combustion afin de mieux appréhender comment il est possible de les faire évoluer vers des chaufferies associant la combustion et le chauffage thermodynamique. Ceci en faisant cohabiter au sein d'une même chaufferie et pour le plus grand profit de l'utilisateur le gaz et l'électricité. Vu la complémentarité de ces deux fluides et compte tenu des avantages que l'on peut retirer de cette cohabitation pour notre environnement, l'auteur regrette sincèrement cette absence de coexistence entre ces deux familles fluides. L'urgence qu'il y a à rénover thermiquement l'habitat ancien, la lenteur avec laquelle nos 25 millions de logements existants se modernisent thermiquement au rythme de 100 000 logements par an, l'urgence qu'il y a à améliorer la qualité de l'air dans nos villes et notre souhait de moins ponctionner nos réserves naturelles, méritent que l'on sacrifie un peu de son temps pour comprendre cette cohabitation combustible-électricité. Nous arrivons en effet petit à petit à un tournant de notre histoire où il faudra que l'*environnement*, le *social*, l'*économie ainsi que le progrès** soient pris en compte pour assoir les décisions que nous allons devoir prendre en termes d'énergie.

Partant du fait que sensiblement la moitié des quelques 30 millions de foyers français vivent en ville dans 50 m² habitables, c'est, sur la base d'une déperdition moyenne annuelle dans l'habitat ancien de 240 kWh par m² (Voir page 280), une énergie de 15 000 000 x 50 x 240 = 180 x 10⁹ kWh ou 15,5 millions de Tep qui sont consommés annuellement en France pour le chauffage de l'habitat urbain (1 Tep = 11610 kWh) En supposant que la moitié de ces foyers, soit 7,5 millions de foyers, se chauffent au gaz et qu'ils modernisent leur chaufferie gaz en chaufferie hybride en ajoutant un complément EnR aquathermique c'est :

- *L'environnement*

Sur la base d'une génération de 0,250 kg de CO₂ par kWh produit avec le gaz naturel, une réduction de $\frac{1}{2} \times 180 \times 10^9 \times 0,25 \times 10^{-3} = 22,5$ millions de tonnes de CO₂ qui ne sont plus rejetées annuellement par la France dans l'atmosphère des zones urbaines améliorant le confort respiratoire dans les villes.

- *Le social*

Sur la base d'un besoin thermique annuel par foyer fiscal de 50 x 240 = 12 000 kWh avec une énergie primaire payée par le consommateur deux fois plus cher pour l'électricité (15 centimes d'€ pour l'électricité et 7 centimes d'€ pour le gaz naturel la douloureuse est presque deux fois plus faible après adjonction du complément EnR. (Voir tableau ci-après)

- *L'économie (La fameuse dette)*

Une division par 4 voire plus de l'énergie finale consommée sous forme de gaz (EP), c'est, sur la base d'un prix d'achat aux producteurs OPEP ou Gazprom supposé égal à 0,04 € le kWh, une réduction de la dépense annuelle pour l'achat du gaz naturel de $90 \times 10^9 \times 0,04 \times [(4,4 - 1)/4,4] = 2,8$ milliards d'€ soit sur une période de 20 ans correspondant sensiblement à la durée de vie minimum des chaufferies une économie de 56 milliards d'€ pour le pays.

Pour l'autre moitié se chauffant à titre d'exemple avec des radiateurs électriques l'avantage social est encore plus important mais il faut percer les plancher pour passer les tuyauteries et la conversion vers le chauffage thermodynamique se fera plus lentement lorsque l'utilisateur s'apercevra qu'avec l'eau comme vecteur thermique la combustion devient pratiquement inutile si ce n'est de servir de secours lors de l'entretien du dispositif thermodynamique.

La volonté d'innover chez les constructeurs de chaufferies devrait pourtant naître en observant la réussite de Toyota devenu premier constructeur mondial et *Leader* de la cohabitation essence-électricité avec les voitures hybrides au sein d'une même motorisation. Découragés par l'immobilisme actuel au niveau de l'innovation et de l'offre, les Lutins en profitent pour rappeler à nos constructeurs l'aphorisme de Balendard "*L'absence de concurrence est une plaie pour celui qui attend et une niche pour celui qui entreprend*". Le coût réel de l'énergie thermique rendue dans les pièces de vie de l'utilisateur est devenu un facteur social important. Nos constructeurs ont tout intérêt à comprendre qu'il est de leur intérêt d'entreprendre et d'innover dans ces nouvelles technologies permettant de limiter la précarité énergétique. Ceci dans la mesure où elles permettent de diminuer le coût associé au chauffage de l'habitat par le fait que la chaleur prélevée de l'environnement est gratuite. Il leur revient de fixer leur prix de telle sorte qu'ils tirent autant profit que l'utilisateur de la cohabitation du gaz et de l'électricité. Ce qui profitable pour l'un doit aussi être profitable pour l'autre. L'économie se doit, grâce à la science et à l'expérience parfois durement acquise, d'être au service de l'homme et de son bien-être. Dans cette optique, l'investissement initial permettant d'assurer le confort thermique de l'utilisateur ne devrait pas nuire à son pouvoir d'achat sur le court terme et le valoriser au-delà de 10 ans sur le long terme. Cela est rendu possible moyennant la cohabitation du gaz et de l'électricité au sein des chaufferies hybrides qui réduisent notablement le besoin en produits fossiles et plus généralement en énergie primaire. Ceci en assurant une consommation électrique maîtrisée minorant la pointe de consommation en hiver par rapport au chauffage électrique conventionnel. La chaufferie hybride décrite dans ce livre répond à ces critères, en effet :

1. Son caractère renouvelable ne peut être mis en doute du fait du rayonnement solaire qui réchauffe nos rivières ou leurs nappes libres peu profondes en compensant l'énergie que l'on y prélève en les refroidissant.
2. Il est envisageable de la financer en moins de 10 ans par les économies réalisées sur les consommations d'énergie finale.
3. La menace à venir résultant des capacités de production électrique jugées insuffisantes par RTE au plus froid de l'hiver est moindre par le fait que c'est la combustion qui assure à elle seule le besoin du chauffage pendant cette période de l'année. Ceci alors que paradoxalement le besoin annuel en énergie fossile de la chaufferie hybride est divisé sensiblement par quatre par rapport aux chaufferies conventionnelles actuelles utilisant uniquement la combustion du fioul ou du gaz.
4. Elle génère de ce fait 4 fois moins de gaz carbonique que les chaufferies conventionnelles au fioul ou au gaz préservant ainsi le climat et l'air de nos citées. (Voir pages 157 et 413)
5. De son besoin moindre en énergie finale résulte une réduction de la production électrique, donc moins de centrales nucléaires ainsi qu'un approvisionnement revu à la baisse en produits fossiles pétroliers favorisant notre balance commerciale (Quantité de pétrole importée des pays du golfe à partir de l'OPEP et de gaz naturel russe avec Gazprom revues à la baisse)

L'eau sort incontestablement vainqueur dans sa confrontation avec l'air et le sol en tant que vecteur assurant le prélèvement de l'énergie thermique dans notre proche environnement. Dans ce contexte, le droit à l'eau, tant défendu par Danielle Mitterrand a besoin d'un nouvel élan et devient une priorité. Il devient urgent de ne pas considérer seulement l'eau comme un fluide dédié prioritairement à la boisson et à l'alimentation mais également comme un formidable véhicule thermique indispensable aux enjeux du climat et aux objectifs du développement durable. Il ne s'agit pas ici de l'eau domestique mais de l'eau non potable provenant d'un sol aquifère ou de la rivière. Cette eau, utilisée parfois pour les besoins destinés à la sécurité incendie ou à l'usage agricole, deviendrait le vecteur industriel par lequel les transferts thermiques les plus importants s'établiraient à la source froide pour le plus grand profit de l'habitat. Un meilleur accès à l'eau non potable pour tous est devenu un enjeu essentiel que nous allons devoir aborder avec un nouveau regard orienté vers la modernité et les initiatives innovantes. Ceci non seulement dans le cadre de transferts thermiques nouveaux nécessaires au développement durable mais aussi avec des objectifs liés à la régénération et à l'assainissement des rivières et de notre sous-sol aquifère. Cette nouvelle vision de l'eau nous permettra d'évoluer progressivement vers un monde décarboné et sain. Il sera nécessaire pour cela de mettre en place une gouvernance capable de fédérer les intervenants autour de l'idée que l'usage de l'eau ne doit pas être seulement dédié à la navigation et la boisson mais qu'elle peut être le vecteur permettant la mise en œuvre de solutions nouvelles apportant une solution valable au problème du chauffage de l'habitat existant dans le cadre d'une action collective. S'il est un domaine où la volonté politique peut être le moteur de l'industrialisation et un début de solution à nos problèmes climatiques et sociaux, c'est bien celui du chauffage urbain. Le plus grave pour un pays dit "développé" comme le nôtre serait de ne rien faire en se laissant imposer les règles par les pays en voie de développement. Vu le retard que nous sommes en train d'accumuler nous risquons malheureusement de nous retrouver dans cette situation si nous n'entreprenons rien de significatif dans le cadre de la transition énergétique qui, on le sait maintenant, nécessitera des investissements sur le long terme. Au train où vont les choses, il n'est pas difficile d'imaginer vers quelle issue nous nous dirigeons petit à petit si nous persistons dans cette attitude qui consiste à nous endormir comme la grenouille d'Al Gore dans la douce tiédeur de la combustion et de l'effet joule. Dans un monde à la démographie galopante qui

a vu sa population doublée en moins de 50 ans avec un besoin moyen actuel en énergie de 20 000 kWh par habitant on imagine ce qui va arriver concernant le climat si les pays en voie de développement prennent les pays de l'OCDE comme exemple. Ceci qu'il s'agisse de nos chaînes énergétiques actuelles ou de notre niveau de consommation en énergie proche de 60 000 kWh.

Sur cette base disons prudemment pour faire simple et comprendre que si nous évoluons vers la chaufferie hybride en comptabilisant l'énergie thermique prélevée gratuitement dans l'environnement comme une énergie renouvelable à part entière, la chaufferie hybride peut être considérée à elle seule comme une voie permettant de sortir de l'ornière dans laquelle nous nous sommes petit à petit enfoncés faute de cohabitation.

Ceci pour plusieurs raisons :

- Le chauffage de l'habitat représente sensiblement à lui seul le tiers de l'énergie consommée dans le monde
- Elle divise sensiblement par 2,6 comme on le verra dans le tableau page suivante la quantité d'énergie finale pour un même besoin en énergie thermique
- La chaufferie hybride collective est une technique dès à présent envisageable.

En suivant cette voie

- On est conduit sur le long terme à l'abandon pur et simple de la combustion et à une plus grande indépendance énergétique de chacun d'entre nous grâce au soleil
- On rend petit à petit les produits pétroliers inutiles pour le chauffage de l'habitat en aidant indirectement nos amis américains qui ont accepté de sacrifier leur environnement pour baisser temporairement le prix des produits pétroliers. Il n'est probablement pas besoin d'expliquer au lecteur que rendre le pétrole inutile est une voie permettant de lutter différemment contre l'état islamique. Une voie qui supprime les risques de dégâts collatéraux des bombardements et les mouvements de populations qui peuvent en résulter.
- On améliore l'activité industrielle dans de nombreux secteurs
- En coordonnant leurs actions dans ce sens, la France et l'Allemagne aideraient l'Europe à coordonner les politiques publiques sur au moins 3 des cinq points évoqués par le secrétaire général de L'OCDE à savoir le climat, la pauvreté et la dette. Et pourquoi pas même sur le 4^{ème} point concernant le progrès : combattre la pauvreté sans affaiblir notre économie, voire même en diminuant notre dette, n'est-elle pas une voie allant dans le sens du progrès ?

Sous réserve que cette transition soit mise en œuvre sous le signe de la qualité, la cohabitation du gaz et de l'électricité pour le chauffage de l'habitat assurerait une transition en douceur vers un monde différent et plus équilibré à la frontière entre le « *tout gaz* » et le « *tout électrique* ». Cette cohabitation est aussi une voie qui conduit à solutionner en partie nos problèmes climatiques. La chaufferie hybride ne fait pas que solutionner la précarité énergétique en divisant par 2,6 notre coûteuse consommation en énergie finale pour un même besoin thermique, elle divise à minima par 4 la consommation en combustibles fossiles par rapport à la combustion seule et à minima par 4 la consommation en électricité par rapport à l'effet joule. Ce qui est le plus surprenant est le fait que la chaufferie hybride en prélevant environ 60% du besoin thermique dans l'environnement réchauffe moins ce dernier. On peut dire à ce niveau qu'elle le réchauffe d'autant moins que la plus grande partie de l'énergie dissipée par les déperditions du bâti provient précisément de l'énergie thermique prélevée localement en refroidissant l'eau.

Mais concernant le climat il n'y a pas que l'accroissement de la température dû à l'effet de serre, il y a aussi les quantités de chaleur envoyées directement vers l'environnement par l'électricité nucléaire du fait du rendement modeste de cette chaîne énergétique. Cette quantité de chaleur

n'est pas négligeable puisqu'elle est sensiblement deux fois supérieure à l'énergie électrique produite. Il ne peut faire de doute qu'en général la chaleur envoyée vers l'environnement est préjudiciable au climat. Il ne peut faire de doute également que la chaleur prélevée dans l'environnement par la chaufferie hybride lorsqu'elle fonctionne en mode thermodynamique atténue le réchauffement climatique.

Le tableau ci-dessous compare trois modes de chauffage

- Le chauffage électrique par effet joule
- La combustion seule
- La chaufferie hybride (combustion + PAC électrique aquathermique)

Il donne une idée - pour un besoin thermique égal à 1 - de la chaleur émise vers l'environnement par les deux modes de chauffage les plus utilisés en ville dans notre pays. On constate à ce sujet en observant les deux dernières colonnes du tableau que la quantité de chaleur envoyée vers l'environnement par la chaufferie hybride est plus faible que celle utilisant la combustion seule et environ 4 fois moindre que celle envoyée par le chauffage électrique par effet joule. Ceci si l'on tient compte comme on vient de le dire que la quantité d'énergie perdue sous forme thermique en France avec l'électricité d'origine nucléaire est sensiblement deux fois supérieure à la quantité d'énergie électrique produite. Les avantages résultant de la chaufferie hybride par rapport aux modes conventionnels de chauffage sont d'autant plus surprenants que ceux-ci ne résultent que d'une toute première étape consistant uniquement à moderniser la génération thermique. Ils confortent l'auteur dans le bien fondé d'avoir privilégié la génération à l'isolation thermique dans l'ordre des investissements. Le lecteur aura compris que ce choix d'un timing différent de ce qui est souvent retenu a été fait compte tenu de l'urgence qu'il y a à modifier nos comportements pour préserver le climat et limiter l'exploitation de nos ressources naturelles.

Type chaufferie	Consommation Wf en énergie finale	Consommation gaz Wg	Consommation électricité We	Chaleur Wr prélevée de l'environnement	Besoin	Chaleur envoyée vers l'environnement
Effet joule	1	néant	1	néant	1	1+2= 3*
Combustion	1	1	néant	néant	1	1
Hybride	0,38	0,225	0,155	0,62	1	0,69

Concernant la chaleur envoyée vers l'environnement ce tableau ne se préoccupant pas de savoir qui entre l'homme et la vache est le plus responsable du réchauffement climatique par le fait que quand elle pète, elle rejette dans l'atmosphère du méthane, un dangereux gaz à effet de serre. Pas plus qu'il ne tient compte des conséquences sur l'effet de serre des émissions de CO2 de la combustion. Il ne viendrait pas cependant à l'esprit des Lutins thermiques de remettre en cause le jugement du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) qui considèrent que ces gaz, en raison de l'effet de serre, seront la source principale de nos problèmes climatiques à venir. Voir démonstration des chiffres de la dernière ligne page suivante

Il convient malgré tout de rassurer ceux qui ont décidé de privilégier l'isolation à la génération thermique en ce qui concerne l'ordre des investissements. Ils ont peut-être pris cette décision aux dépens de leur pouvoir d'achat vu le montant de l'investissement initial souvent important en regard des modestes économies réalisés par la suite en consommation. Ils doivent savoir qu'ils ont en compensation préparé leur habitation à recevoir une chaufferie *hybride* combustion-thermodynamique plus performante.

**Le chiffre 3 comprend les déperditions thermiques dans l'atmosphère résultant du mauvais rendement de cette chaîne énergétique (environ 33%)*

Ceci en abaissant la température requise dans les émetteurs thermiques existants pour assurer leur confort. Lorsque l'on installe un chauffage thermodynamique dans un immeuble équipé de radiateurs hydrauliques ou de planchers chauffants on a en effet intérêt à baisser les températures requises à la source chaude pour améliorer les performances de la génération thermique. Une amélioration de l'isolation permet d'y parvenir au même titre que l'augmentation de la surface de chauffe des radiateurs qui nécessitent des températures plus élevées que les planchers chauffants en raison de leur surface d'échange moins importante. On diminue ainsi d'une façon significative et à confort équivalent, voire même à confort amélioré, le besoin en énergie finale. On peut aussi améliorer l'efficacité de la génération, sans qu'il soit question ici de faire la concurrence entre ces deux fluides. Ceci en répartissant au mieux la consommation d'énergie entre les combustibles fossiles et l'électricité selon le niveau de température requis à la source chaude pour assurer le chauffage et la fourniture de l'eau chaude sanitaire. Quoiqu'il en soit ce tableau prouve tout l'intérêt qu'il y a à faire cohabiter le gaz et l'électricité au sein d'une même chaufferie par le fait que moins d'effet joule et moins de combustion c'est moins de chaleur rejetée dans l'environnement.

Nota démonstration

Les chiffres de la dernière ligne du tableau sont corroborés par la loi de conservation de l'énergie.

On peut en effet écrire que le besoin annuel en énergie **B** est égal à $B = Wg + We + Wr$ 1)

La consommation en gaz **Wg** de la chaufferie hybride ne représentant sensiblement que 22,5% du besoin (Voir figure 9 page 413 avec commutation à 0°C) on a donc $Wg = 0,225 B$ 2)

De plus lorsque la chaufferie hybride fonctionne en mode thermodynamique avec une température externe supérieure à 0°C, on peut écrire $B - Wg = We \times COP$ 3)

B - Wg étant l'énergie thermique fourni par la pompe à chaleur pendant cette période et **COP** le coefficient de performance moyen de cette dernière pendant la même période.

Soit à partir de 2) et 3) $We = (B - Wg)/COP = 0,775 B/COP$

Pour un besoin **B** égal à 100 et un **COP** moyen de 5** on a :

$Wg = 0,225$ soit 22,5% du besoin assuré par le gaz

$We = (0,75 \times 1)/5 = 0,155$ soit 15,5% du besoin assuré par l'électricité

$Wr = 1 - 0,225 - 0,155 = 0,62$ soit 62% d'**EnR** prélevé dans l'eau de la rivière ou de sa nappe

On retrouve bien, du fait de la conservation de l'énergie que la quantité d'énergie finale consommée ($0,225 + 0,155 = 0,38$) par la chaufferie hybride majorée de l'énergie prélevée dans l'environnement 0,62 est égal au besoin de 1. (Voir la conservation de l'énergie page 160)

On observe que si l'on converti de l'effet joule vers la chaufferie hybride, on envoie bien environ quatre fois moins de chaleur vers l'atmosphère (3/0,69)

On observe aussi que l'on si l'on converti cette fois de la combustion seule vers la chaufferie hybride on consomme sensiblement quatre fois moins d'énergie fossile (1/0,225) en rejetant par voie de conséquences 4 fois moins de gaz brûlés vers l'environnement et l'air polluée de nos cités.

Si l'on suppose que 40% des français se chauffe en France avec l'effet joule et 60% avec la combustion des produits fossiles, le fait de remplacer toutes les générations thermiques par des générations hybrides associant la combustion et la thermodynamique va probablement modifier la répartition entre les consommations de gaz et d'électricité mais il est probable que le besoin de 1 n'ayant pas changé la consommation d'énergie finale $Wf = Wg + We$ va elle aussi rester sensiblement inchangée.

***Hypothèses : Calcul effectué en prélevant l'énergie thermique naturelle dans l'eau avec un COP moyen de 5 lorsque la chaufferie hybride est en mode thermodynamique avec une commutation entre les deux modes combustion-PAC prévue à 0°C. (Cas pratique)*

L'auteur espère pour le bien de tous que ce livre permettra au politique enfin aidé par la finance de débloquer un système à l'agonie, ou presque.