

L'obsolescence de la combustion

On a vu à l'occasion du calcul besoin en puissance d'une chaufferie page 372 qu'avant sa combustion tout combustible contient en son sein une quantité de chaleur fonction de son pouvoir calorifique. Lorsque sous le pléistocène moyen quelques millénaires avant notre ère l'homme faisait brûler du bois pour se protéger des fauves, faire cuire ses aliments et se chauffer par rayonnement, il ne se préoccupait pas que toute la quantité de chaleur interne contenue dans le bois, du fait de son pouvoir calorifique, était dissipée dans l'atmosphère. Il faut dire que la terre était alors peuplée d'un million d'individus voire moins. Triste est de constater que de nos jours lorsqu'il consomme du gaz ou pire du fioul dans le brûleur d'une chaudière pour se chauffer en hiver il en est de même. Mais ceci à la différence près que notre planète est maintenant peuplée de plusieurs milliards d'individus. Ceci revient à dire que si du temps du pléistocène l'homme était responsable d'une élévation de la température sur terre de 1 millième de degré, il pourrait bien être maintenant, vu la population actuelle plusieurs milliers de fois plus importante, être responsable à brève échéance d'une élévation de la température sur notre planète de plusieurs degrés. Et ceci en moins d'années que ne met le bois pour se reconstituer et à fortiori le gaz vu qu'une fois brûlé, il mettra des millions d'années pour le faire. Comme on l'a vu en effet à l'occasion de la croissance et des grains de riz de l'échiquier à 64 cases de l'empereur chinois, la fonction exponentielle peut être particulièrement redoutable (Voir page 193). Ce qui est grave également est le fait qu'une partie non négligeable de la chaleur émise par le corps de chauffe des chaudières est dissipée en pure perte par les gaz brûlés dans notre environnement diminuant les performances et aggravant la pollution de l'air dans nos cités ainsi que la teneur en gaz carbonique dans l'atmosphère (Voir page 153). Ceci alors que nos experts internationaux ont établi que la teneur en gaz carbonique est la cause principale du réchauffement climatique.

L'homme tarde malheureusement à comprendre que pour se chauffer, son intérêt n'est pas d'utiliser l'effet joule ou la combustion et le pouvoir calorifique de la matière, mais plutôt son énergie thermique enthalpique lorsqu'elle change d'état en passant de l'état gazeux à l'état liquide. Avec cette nouvelle chaîne énergétique la quantité importante de combustible consommée année après années est alors remplacée une fois pour toute ou presque par la petite quantité de fluide caloporteur contenue dans le circuit fermé des pompes à chaleur. C'est cette fois la totalité de la chaleur émise par ce fluide caloporteur dans le condenseur de la pompe à chaleur du fait de son enthalpie qui part vers les radiateurs ou mieux vers les planchers chauffants pour être à nouveau dissipée par le bâti du bâtiment. Ceci par le fait que le fluide caloporteur se recharge en énergie par deux fois lors du cycle compression/détente de la pompe à chaleur. Tout d'abord lorsqu'à la suite d'une chute de pression brutale dans le détendeur il devient très froid et se réchauffe dans l'évaporateur en recevant une quantité d'énergie thermique renouvelable importante. Puis lorsqu'à la phase compression, l'énergie électrique d'entraînement du compresseur est transformée en énergie thermique lorsqu'il comprime le fluide caloporteur à l'état gazeux.

Le physicien préoccupé par la loi de conservation de l'énergie constatera que cette loi n'est pas bafouée par le fluide caloporteur de la pompe à chaleur. Ceci par le fait que dans cette nouvelle chaîne énergétique la quantité de chaleur qu'il émet dans le condenseur est bien égale à la somme des deux quantités d'énergie thermique qu'il reçoit quelques instants plus tard. À savoir celle renouvelable, gratuite et importante prélevée sous forme thermique dans l'environnement par l'évaporateur et celle, la plupart du temps non renouvelable, payante et électrique nécessaire à l'entraînement du compresseur. Ce qu'il faut comprendre ici est le fait que dans le

Épilogue

domaine scientifique les miracles n'existent pas et que l'énergie électrique nécessaire à l'entraînement du compresseur, par chance faible en valeur relative, est indispensable au bon renouvellement du cycle compression/détente de la pompe à chaleur.

Ce qu'il faut comprendre également est le fait que la quantité d'énergie payante étant faible en valeur relative cela diminue d'autant le prix du kWh thermique rendu dans les pièces de vie. On observe que cette nouvelle chaîne énergétique présente deux avantages essentiels par rapport aux chaînes énergétiques utilisées actuellement pour chauffer l'habitat :

- d'une part elle nécessite une faible quantité d'énergie finale payante comparativement aux deux chaînes énergétiques actuelles consommant une quantité d'énergie finale égale au besoin puisque sans apport d'énergie renouvelable.

- d'autre part aucun gaz brûlé n'est dissipé dans l'atmosphère participant ainsi à l'atténuation climatique et à l'amélioration de la qualité de l'air dans nos villes.

Compte tenu de ces deux avantages essentiels, il est dans un pays de technologie comme le nôtre difficile d'expliquer autrement que par les lobbies pétroliers conjugués à une sorte d'aveuglement de la classe politique la raison pour laquelle cette nouvelle chaîne énergétique a été si longtemps tenue à l'écart. Ceci d'autant qu'à l'ère du réchauffement climatique et de ses lourdes conséquences sur notre futur immédiat, cette nouvelle chaîne énergétique à tendance en prélevant de l'énergie thermique dans l'environnement à le refroidir plutôt qu'à le réchauffer comme le fait la combustion. Évoluer mondialement vers ce nouveau concept pour assurer le chauffage de l'habitat en mettant en place les infrastructures comprenant principalement des réseaux de tuyauteries d'alimentation en eau non potable des immeubles, c'est créer de l'emploi, améliorer nos conditions d'existence, participer effectivement à l'atténuation climatique et à moyen terme solutionner le problème social posé par la précarité énergétique.

Il faut aussi revenir sur le fait qu'avec cette nouvelle chaîne énergétique, la part d'énergie thermique prélevée dans l'environnement est d'autant plus importante que la température de la source froide constituée par l'environnement est proche de celle de la source chaude correspondant à la température de l'eau sur le circuit secondaire du condenseur. Quiconque est au fait de cette constatation longuement expliquée page 76 comprendra pourquoi l'énergie naturelle disponible dans notre sous-sol sous forme d'eau géothermale à haute température est utile pour améliorer les performances du chauffage thermodynamique. Cette énergie géothermale due à la radioactivité qui maintient le magma en fusion est en rapport avec ce qu'on appelle l'interaction nucléaire faible. Pour importante qu'elle soit par rapport à nos besoins cette interaction nucléaire faible est pour finir bien faible pour ne pas dire négligeable par rapport à l'interaction nucléaire forte délivrant à la surface de notre planète et du fait du rayonnement solaire une énergie naturelle disponible pendant le jour. On ne l'a pas encore à vrai dire vérifié mais un expert de ces questions à même évoqué dans un de ses livres que la quantité d'énergie disponible dans notre sous-sol profond du fait de cette interaction nucléaire faible pourrait ne pas être inépuisable, son caractère renouvelable pouvant même être remis en cause au détriment de la géothermie profonde pourtant qualifiée par le BRGM de "première importance". Pour limiter le risque de voir l'aquifère profond captif perdre petit à petit ses caractéristiques thermiques dans le temps et chuter en température au point de devoir abandonner le forage l'homme commence à réfléchir aux moyens mis à sa disposition pour réduire la quantité d'énergie prélevée dans son sous-sol. La figure du cas 1 qui suit montre par exemple le circuit hydraulique dans une configuration hivernale telle que le fleuve étant à 5°C, il est malheureusement inenvisageable de prélever de l'énergie thermique dans celui-ci en raison du point de congélation de l'eau. La puissance thermique de 6 960 kW prélevée dans l'eau géothermale de la nappe captive est alors la bienvenue mais il est évident que dans cette configuration de température le besoin en puissance thermique au plus froid de l'hiver étant

Épilogue

important on ne pourra pas se passer du mode combustion des chaufferies hybrides. Par contre lorsqu'en mi saison la température du fleuve est par exemple à 15°C, il serait déraisonnable de ne pas prélever autant que faire se peut l'énergie thermique contenue dans ce dernier pour assurer le besoin. Arrivé à ce stade de la compréhension de ces réseaux hydrauliques il est important de dire que cette énergie stockée naturellement par l'eau superficielle peut aussi être restituée si besoin est pendant la nuit. Pour limiter le risque de voir l'aquifère profond captif perdre ses caractéristiques thermiques trop rapidement dans le temps et chuter en température au point de devoir quitter le forage l'homme va devoir commencer à réfléchir aux moyens mis à sa disposition pour recharger en énergie et pendant l'été l'énergie prélevée dans son sous-sol pendant l'hiver (Voir page 580).

Pour y parvenir, la souplesse de fonctionnement des échangeurs à plaques devrait lui faciliter la tâche. On conçoit en effet qu'avec une configuration de pompage côté géothermale comparable à celle de la figure 6 ci-après mais cette fois avec l'eau du fleuve à 15°C au lieu de 5°C la situation est totalement différente. Ceci dans la mesure où avec une différence de température au secondaire de l'échangeur à plaques de 5°C au lieu de 15°C, c'est cette fois un débit de 1200 m³/h et non de 400 m³/h à la même température de 20°C qui est mis à la disposition des chaufferies hybrides de tous les immeubles reliés au réseau d'alimentation en eau non potable. Ceci en mettant à disposition de ces immeubles une puissance naturelle gratuite égale à 1200 x 15 x 1,16 = 20 880 kW contenant en son sein la puissance de 200 x 30 x 1,16 = 6960 kW prélevée dans la nappe captive géothermale. La rivière fournissant dans cette configuration la différence entre ces deux valeurs soit la plus grande part de la puissance. CAD en pratique les 2/3 du total. La figure ci-après montre le circuit dans cette configuration.

Tableau des puissances disponibles suivant la température de la Seine avec

- un débit d'eau géothermale de 200 m³/h à 50°C au prélèvement et 20°C au rejet soit un ΔT géothermale de 30°C. Puissance prélevée dans l'eau géothermale 200 x 30 x 1,16 = 6960 kW
- Un réseau d'eau non potable (ENP) alimentant les évaporateurs des chaufferies hybrides à 15°C à l'entrée des évaporateurs avec un rejet θ à 5°C dans la Seine semble être le meilleur compromis

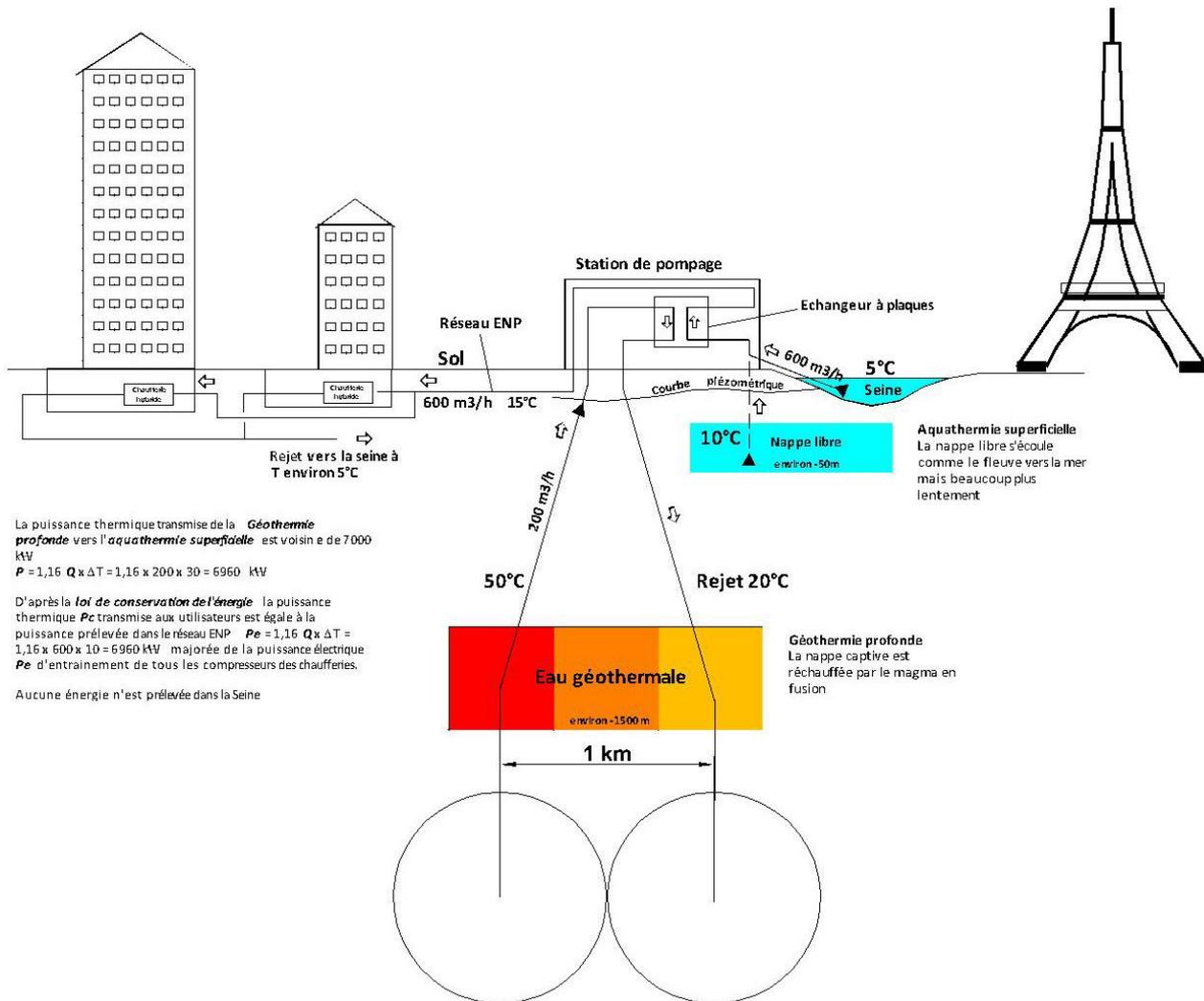
Cas	θ Seine °C	$\Delta\theta$ entrée/sortie °C	ΔT dans les évaporateurs °C	Débit dans le réseau ENP m ³ /h	Puissance ENR disponible kW	Puissance électrique compresseurs kW avec COP de 5	Total kW
1	5	0	10	600	6 960	1 392	8 352
2	10	5	10	1 200	13 920	3 480	17 400
3	15	10	10	1 000	11 600	2 320	13 920

Les puissances disponibles pour le chauffage et l'ECS sont égales à la somme des deux dernières colonnes. Plutôt que de voir uniquement cette petite partie de la région parisienne localisée dans la région Sud-est de Paris bénéficier de la géothermie profonde contenue au cœur du dogger, il ressort de ce qui précède qu'en combinant les apports de l'eau géothermale profonde avec ceux plus importants de l'aquathermie superficielle venant de la Seine il est possible de faire bénéficier tous les parisiens des avantages du chauffage urbain. Ceci en alimentant les immeubles non pas directement avec l'eau géothermale profonde mais par un réseau à 13°C légèrement préchauffé par cette dernière. Avec une telle distribution de l'eau non potable aux immeubles un COP voisin de 5 en mode thermodynamique en région parisienne est envisageable ce qui conduirait à une consommation en énergie finale gaz + électricité limitée à environ 20% du besoin thermique au lieu de 100% avec les chaînes énergétiques actuelles.

Épilogue

Cas 1

L'eau pompée dans la Seine à 5°C étant rejetée dans celle-ci à la même température aucune énergie thermique n'est prélevée dans le fleuve et les 6960 kW d'ENR disponibles proviennent uniquement de la géothermie profonde.



SEINE à 5°C

Si élévation T de 10°C le réseau ENP est à 15°C

Rapport débit $(50 - 20)/10 = 3$

Débit pompé dans la Seine $3 \times 200 = 600 \text{ m}^3/\text{h}$

Puissance disponible sur réseau ENP : ENR $600 \times (15 - 5) \times 1,16 = 6960 \text{ kW}^*$

Puissance électrique X requise avec COP de 6

$X = 6960 / (\text{COP} - 1) = 1392 \text{ kW}$

Total avec COP de 6 8352 kW

Aide de la combustion nécessaire au plus froid de l'hiver

* on retrouve bien les 7000 kW d'ENR prélevé dans la nappe captive profonde puisque dans ce cas aucune énergie n'est prélevée dans le fleuve vu que l'eau prélevée dans celui-ci à 5°C y est rejetée à la même température.

On a vu entre les pages 65 et 68 que la Seine est « thermiquement parlant » généreuse. Cependant, lorsque la température de cette dernière est proche de la température de congélation, l'observation de la figure ci-dessus permet de dire que l'on ne dispose que de la puissance de 6960 kW disponible en continue dans l'eau géothermale. Ceci alors qu'en raisonnant dans le contexte de la commune de Boulogne Billancourt qui peut disposer de 5 stations de pompage de ce type cette puissance est répartie sur $117282/5 = 23450$ habitants ce qui correspond à une puissance par habitant de 0,3 kW trop faible

Épilogue

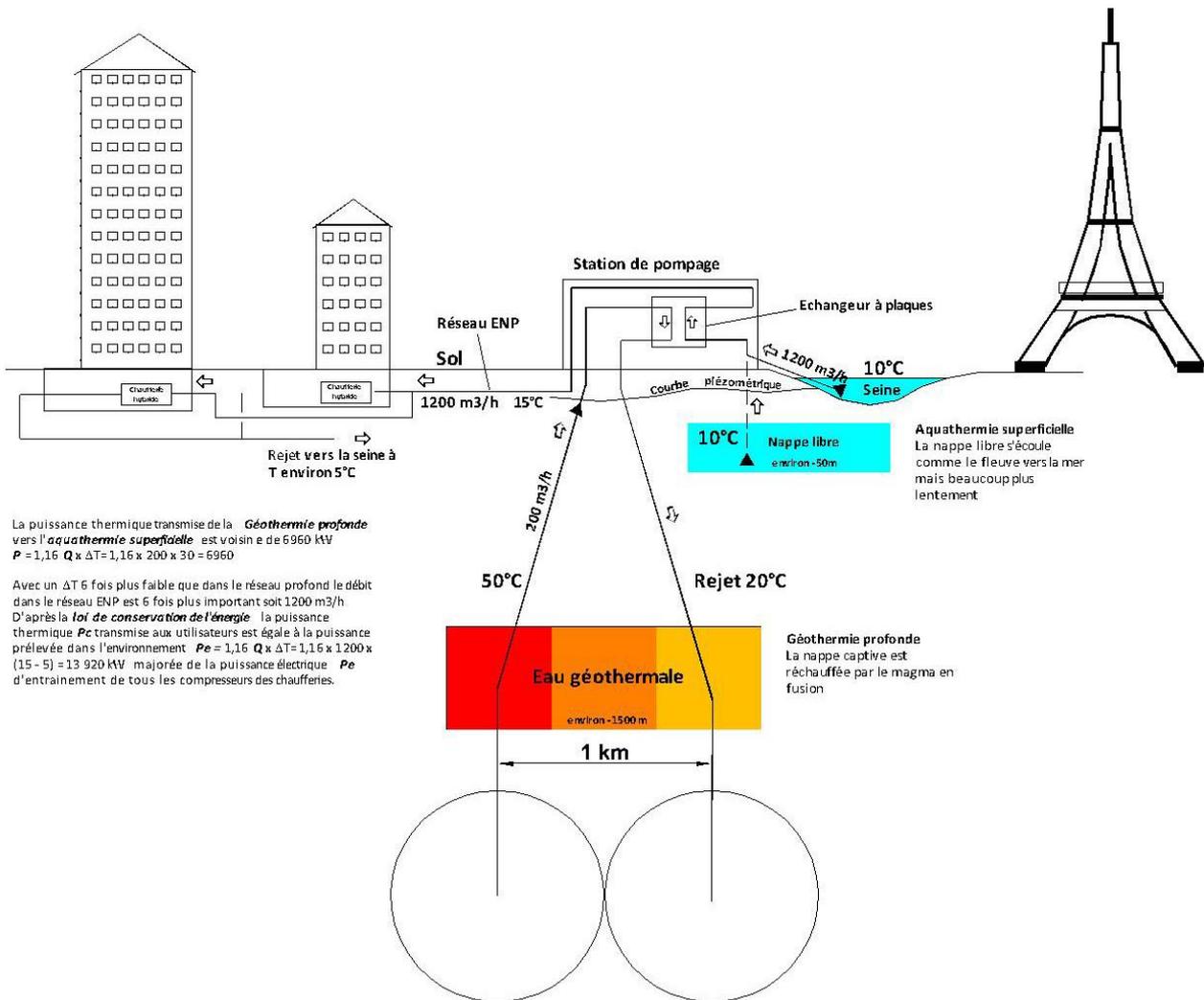
pour assurer le chauffage en hiver. Il est clair qu'au plus froid de l'hiver la combustion doit venir au secours de la thermodynamique dans le cadre de la chaufferie hybride décrite dans ce livre. (Voir la figure page 482 du chapitre *prospective sur l'énergie*). Le cas de Paris intra-muros avec sa démographie importante et sa population atteignant selon Wikipédia de 2 249 975 habitants au 1 janvier 2011 pour une superficie de 10 540 hectares, soit une densité de 21 347 habitants par km² est proche de celle de Boulogne Billancourt. Si par malchance le débit d'eau géothermale disponible des puits n'était que de 100 m³/h au lieu de 200 la quantité d'énergie thermique délivrée annuellement serait sensiblement deux fois inférieures au besoin, imposant de procéder à un effort important en ce qui concerne l'isolation à moins de faire fonctionner la chaufferie hybride en mode combustion au plus froid de l'hiver en utilisant ses chaudières gaz pour se sortir de ce mauvais. Il faut en effet savoir que 70% des bâtiments parisiens sont en 2017 selon Batiactu classés entre E et G sur l'échelle du diagnostic de performance énergétique avec des déperditions parfois proches de 300 kWh/m². Malgré cela ce qui est le plus surprenant dans l'étude de ce réseau d'alimentation en eau non potable provenant du fleuve et assisté thermiquement par l'eau géothermale est le fait que grâce à l'apport thermique de la Seine l'on pourra se passer de la combustion la plupart du temps malgré ces performances catastrophiques qui trouvent leur origine dans le fait que près de 80% du bâti parisien actuel a été construit avant la mise en œuvre de la première réglementation thermique de 1974. L'affirmation du cabinet Elioth* selon laquelle notre capitale pourrait d'ici 2050 devenir une ville neutre en termes d'émission carbone en favorisant des procédés de construction écologiques consistant à tripler l'usage du bois dans la construction est malheureusement irréaliste. Et ceci même si le bois associé à l'eau pour la sécurité incendie est un excellent matériau pour l'isolation. D'autre part les Lutins thermiques, convaincus de l'importance du patrimoine, estiment qu'il est dans la pratique inenvisageable de tout démolir pour reconstruire en une génération. Ceci particulièrement si les économies réalisées sur la consommation d'énergie résultant d'un tel projet assurent un retour sur investissement échelonné sur 30 ans. Et ceci même si l'on tient compte de la mobilisation des aides et des prêts publics. Il est évident qu'avec un RSI aussi long le tiers financeur ne sera pas enclin à s'engager dans un processus aussi long en termes de rentabilité. Ceci d'autant que l'on sait que l'état, caisse des dépôts associé au projet ou non, n'a pas les moyens de ses engagements. Ils estiment à ce sujet qu'il va falloir faire avec ce que l'on a sans tout démolir. Ceci avec une isolation à minima et une évolution vers la chaufferie hybride alimentée par le réseau d'alimentation ci-dessus qui conduit à des RSI proches 10 ans voire moins. Ce qui est le plus surprenant dans cette étude est cette capacité d'eau du fleuve lorsqu'il est associé à l'eau géothermale de faire en sorte qu'il y en est pour tout le monde malgré la densité démographique très élevée de notre capitale et la mauvaise isolation des bâtiments existants. Ceci en assurant le besoin de telle sorte que la consommation d'énergie finale, qu'elle soit électrique ou fossile soit très faible par rapport aux chaînes énergétiques habituelles. Pourtant lorsque l'on observe que la surface au sol disponible par habitant dans Paris intra-muros ou dans sa plus grande commune Boulogne Billancourt est voisine de 50 m² par habitant, cela interpelle. Cela interpelle d'autant plus qu'un doublet géothermique occupe une surface au sol qui est loin d'être négligeable. On peut raisonnablement estimer que celle-ci est de l'ordre de 2 km² pour un doublet moins profond comme celui de la figure ci-dessus ne délivrant que disons 200 m³/h à 50°C (Valeur à confirmer par le BRGM). On sait que le besoin en puissance thermique d'un immeuble de 20 personnes comparable à celui de **"Mr tout le monde"** respectant la RT2012 (coefficient de déperdition de 50 kWh/m² habitable). La surface habitable de 20 m² occupée par chacun des 25 occupants de cet immeuble de 500 m² conduit dans ce cas à une consommation annuelle par habitant pour son chauffage de 1000 kWh

**L'idée évoquée par le cabinet Elioth selon laquelle le RGE pourrait être ouvert à certains syndicats de copropriétés n'a de sens que si leur formation est comparable à celle assurée en Allemagne aux quelques 1000 ingénieurs habilités à établir des contrats de performances. Cela dit une nouvelle politique consistant pour le syndic à embaucher un ingénieur thermicien permettrait de placer le syndic en position de Maître d'œuvre plutôt qu'en position de maître d'ouvrage, cette dernière position revenant logiquement au SDC. Une telle réorganisation permettrait probablement de faciliter le déclenchement des travaux ainsi que leur financement puisque rendant possible la mise en place d'un contrat de performance.*

Épilogue

Cas 2

On se trouve dans cette configuration dans une situation proche de la pompe à chaleur sur nappe libre aspirant à l'exhaure une eau à 10°C. L'eau du réseau ENP pompée cette fois dans la Seine à 10°C étant rejetée dans celle-ci à 5°C l'énergie prélevée dans le fleuve avec un ΔT de 5°C est de $1200 \times 5 \times 1,16 = 6960 \text{ kW}$, la puissance apportée par la géothermie profonde étant égale à $200 \times 30 \times 1,16 = 6960 \text{ kW}$ et égale à celle de la géothermie profonde. La puissance ENR disponible prélevée par les immeubles par l'évaporateur des pompes à chaleur étant bien égale au rendement près dans les échangeurs à contre-courant à la somme des deux à savoir $1200 \times 10 \times 1,16 = 13\,920 \text{ kW}$



B) SEINE à 10°C

Si élévation T de 5°C le réseau ENP est à $10 + 5 = 15 \text{ °C}$

Avec une chute de température $30/5 = 6$ fois plus faible le débit pompé dans la Seine est 6 fois plus important que celui de l'eau géothermale soit $200 \times 6 = 1\,200 \text{ m}^3/\text{h}^*$

Puissance disponible sur réseau ENP avec rejet à 5°C dans la Seine ENR $1\,200 \times (15 - 5) \times 1,16 = 13\,920 \text{ kW}$

Cette puissance est égale à celle provenant de l'eau géothermale (6960 kW) majorée de celle équivalente prélevée dans le fleuve. Ceci dans la mesure où en rejetant dans la Seine 1200 m³/h d'eau à 5°C alors qu'on l'a prélevée à 10°C cela correspond bien à une puissance prélevée dans le fleuve de $1200 \times 5 \times 1,16 = 6960 \text{ kW}$

Épilogue

Puissance électrique requise avec COP moyen de 5** $13\,920 / (\text{COP} - 1) = 13\,920 / 4 = 3\,480 \text{ kW}$
Puissance thermique totale disponible avec COP de 5 $13\,920 + 3480 = \mathbf{17\,400 \text{ kW}}$

*Vérification capacité Seine

Avec $1200 \text{ m}^3/\text{h}$ pour 41 000 habitants cela correspond pour les 15 millions d'habitants de Paris et sa banlieue à $730\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ ou $202 \text{ m}^3/\text{s}$ correspondant au débit moyen de la Seine à Paris. De ce point de vue il y en a donc pour tout le monde ce que l'auteur présentait déjà au chapitre du stockage de l'énergie thermique. (Voir tableau page 66)

On observe aussi que le débit $1\,200 \text{ m}^3/\text{h}$ est inférieur aux capacités des plus gros échangeurs à plaques (voir page 100)

****Démonstration**

- avec planchers chauffant à 40°C

$$T_c = 273 + 40 = 313 \text{ K} \quad T_f = 273 + 13 = 286 \text{ K}$$

$$\text{COP} = 1 / (1 - 286/313) = 11,6$$

- avec radiateurs BT 55°C

$$T_c = 273 + 55 = 328 \text{ K} \quad T_f = 273 + 13 = 286 \text{ K}$$

$$\text{COP} = 1 / (1 - 286/328) = 7,8$$

COP pratique moyen sensiblement égal à la moitié du COP théorique environ 5

Nota important

Un avantage significatif de la complémentarité des deux aquathermies, à savoir celle profonde des nappes captives et celle superficielle de la rivière est :

- le fait que les immeubles qui n'ont pas de terrain peuvent bénéficier des avantages du chauffage thermodynamique le plus performants tirant son énergie de l'eau.
- Le fait que les tuyauteries constituant le réseau ENP supportent un débit sensiblement deux fois plus faible pour une puissance donnée que celui de la pompe à chaleur sur nappe conventionnelle (réseau à 15 au lieu de 10°C et, corollaire de cela : pour un même débit la puissance disponible est sensiblement deux fois plus importante. Cela diminuant notablement le coût des infrastructures tuyauteries. Diminution des coûts d'autant plus significatifs que la température dans les égouts étant voisine de 18°C il n'est pas besoin d'isoler les tuyauteries comme cela est le cas avec les réseaux habituels type CPCU

Variante avec Seine à 10°C et réseau à 20°C au lieu de 15

Si élévation T de 10°C le réseau ENP est à $10 + 10 = 20^\circ\text{C}$

Avec une chute de température $30/10 = 3$ fois plus faible, le débit pompé dans la Seine est 3 fois plus important que celui de l'eau géothermale soit $200 \times 3 = 600 \text{ m}^3/\text{h}^*$

Puissance ENR disponible sur réseau ENP avec rejet à 5°C dans la Seine ENR $600 \times (20 - 5) \times 1,16 = 10\,440 \text{ kW}$

Cette puissance est égale à celle provenant de l'eau géothermale (6960 kW) majorée de celle prélevée dans le fleuve. Ceci dans la mesure où en rejetant dans la Seine $600 \text{ m}^3/\text{h}$ d'eau à 5°C alors qu'on l'a prélevée à 10°C cela correspond bien à une puissance prélevée dans le fleuve de $600 \times 5 \times 1,16 = 3480 \text{ kW}$

Puissance électrique requise avec COP moyen de 6** $10\,440 / (\text{COP} - 1) = 10\,440 / 5 = 2088 \text{ kW}$
Puissance thermique totale disponible **12 528 kW**

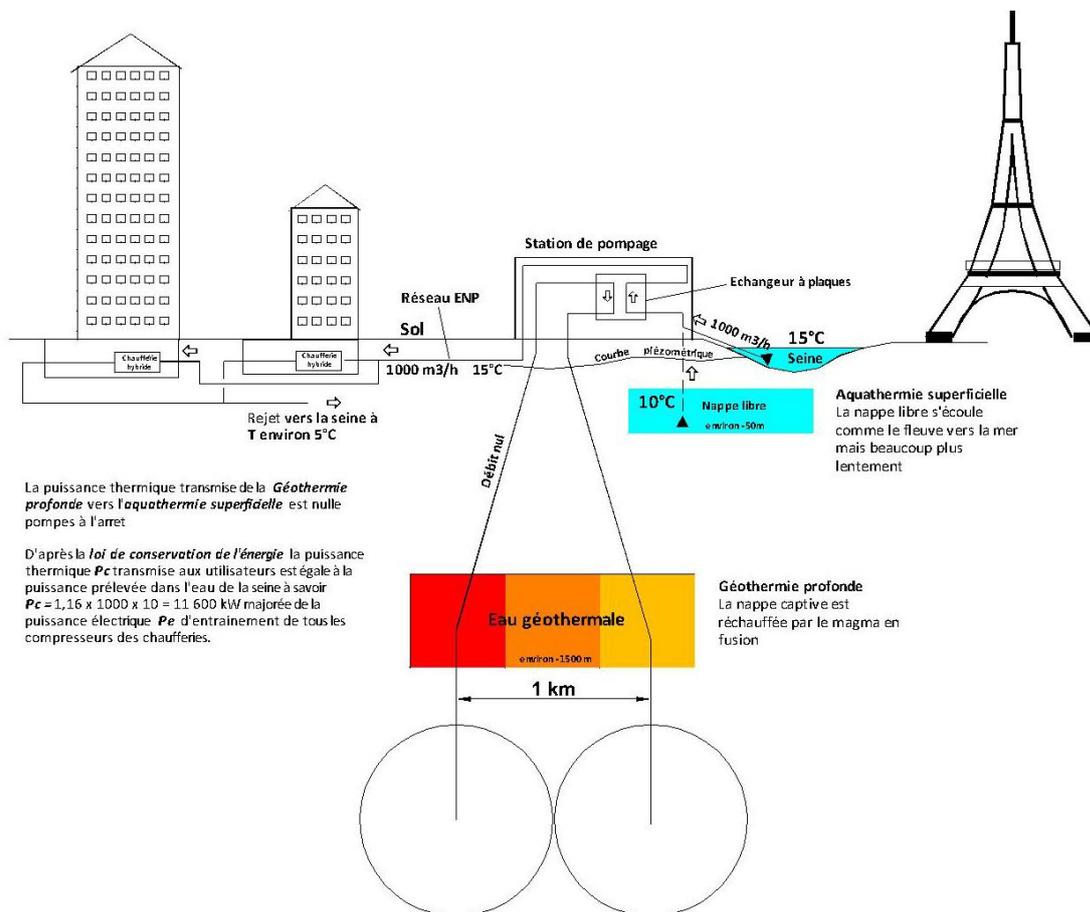
Épilogue

Réseau ENP à 20 ou 15°C ?

Il faudra tenir compte lors de la décision de la nécessité qu'il y a à penser à réduire autant que faire se peut le coût des infrastructures. Ceci en retenant 20 au lieu de 15°C bien que cette solution soit moins intéressante sur le long terme par le fait que la puissance prélevée dans le fleuve est deux fois plus faible. Le diamètre des tuyauteries constituant le réseau au départ des stations de pompage serait alors proche de 250 mm diamètre au lieu de 350 mm laissant plus de choix au niveau du matériau constituant les tuyaux (PHD, PVC ...). Par le fait qu'il est deux fois moins chargé en débit que le précédent le réseau ENP serait moins onéreux et moins encombrant Il y a une compensation : le COP est amélioré et plus proche de 6 que de 5 par rapport à la précédente. Pour plus d'information dans le dimensionnement voir : <http://infoenergie.eu/riv+ener/complements/exemple-reseau.htm>

Cas 3

La Seine étant à 15°C on peut estimer que l'on est plutôt en mi saison avec un besoin chauffage faible la majeure partie de la puissance utile étant celle nécessaire pour assurer la fourniture de l'ECS. On doit pouvoir de ce fait stopper le pompage de l'eau géothermale. L'énergie thermique ENR prélevée dans le fleuve avec un ΔT de 10°C est alors pour un débit limité à 1000 m³/h de : $1\ 000 \times 10 \times 1,16 = 11\ 600\ kW$.



SEINE à 15°C

On coupe l'eau géothermale

Puissance disponible sur réseau ENP : ENR $1000 \times (15 - 5) \times 1,16 = 11\ 600\ kW^*$

Puissance électrique requise avec COP de 6 : $11\ 600 \times (COP - 1) = 2\ 320\ kW$

Puissance thermique totale disponible avec COP de 6 : $11\ 600 + 2\ 320 = 13\ 920\ kW$

* on peut diminuer sensiblement le débit si la puissance est trop élevée

Épilogue

Nota

Il est important que la station de pompage soit située près du fleuve.

Pour donner une idée du dimensionnement du réseau ENP, la perte de charge dans une tuyauterie ayant un diamètre intérieur de 500 mm dans laquelle circule un débit de 1200 m³/h sur une longueur de 500 m est de l'ordre de 0,25 bar (Régime turbulent $Re = 800\ 000$ pour une viscosité cinématique de l'eau à 20°C de un centistoke). Soit une puissance perdue de moins de 10 kW très faible par rapport à la puissance de 20 000 kW disponible.

Il ne faudra pas nécessairement se serrer la ceinture pour financer un tel réseau par le fait qu'une tuyauterie en polyéthylène haute densité (PHD) ayant un diamètre standard de 250 mm pouvant véhiculer un débit de 400 m³/h d'eau à 20°C à une vitesse fluide voisine de 2 m/s sur 500 m génère une perte de charge voisine de 1 bar et une perte de puissance limitée à environ 15 kW très faible par rapport aux puissances récupérées dans l'eau géothermale ou dans l'eau de la Seine. Voir le logiciel OCES [pertes de charges en ligne](#) (Programme opérant sous Windows XP mais correction à prévoir pour densité fluide). Voir aussi le [programme sous Excel](#).

Généralisation du réseau

On observe que le réseau est parfaitement capable d'être généralisé pour le chauffage.

Reste à vérifier les capacités à assurer le besoin également pour l'eau chaude sanitaire.

Le besoin journalier en eau chaude par individu est voisin de 50 litres ce qui correspond à un besoin de 2135 m³ pour les 42 700 habitants à l'aplomb des 2 km²

L'idée selon laquelle il est envisageable de délivrer ces 2135 m³ disons en 3h pendant la nuit en profitant de l'inertie importante des immeubles en béton n'est pas la bonne. Non pas que l'inertie thermique de nos immeubles ne soit pas suffisante* mais le problème est le besoin en puissance d'un tel scénario. Celui-ci est bien supérieur à la capacité d'échange du réseau ci-dessus. En effet fournir 2135 m³ d'eau chaude sanitaire en 3h c'est, compte tenu du besoin en énergie thermique correspondant de 106 750 kWh (50 kWh par m³ d'ECS) un besoin en puissance de 35 600 kW bien supérieur à la capacité du réseau. Le besoin en puissance avec la solution consistant à charger en continu 24h sur 24 un ballon pouvant assurer la fourniture de la moitié du besoin journalier, disons en semi-accumulation, est de loin préférable. Ceci sachant que le besoin s'échelonnant sensiblement ainsi : 1/3 pour la toilette du matin, 1/3 pour la toilette du soir, 1/3 pendant le jour pour les besoins ponctuels le besoin en puissance de

$106\ 750 / 24 = 4448$ kW est alors compatible avec les capacités du réseau et ceci même si la Seine est relativement froide.

**Voir à la page 154 l'étude de la modélisation du système immeuble-chaufferie*

On a vu à l'occasion de l'immeuble objet du cas pratique qu'une puissance de 250 kW permet de produire 500 kWh en 2h, énergie largement suffisante pour produire le besoin journalier en ECS d'une centaine de personnes. Ceci avec une chute de température très raisonnable dans les logements si la chaufferie est dédiée pendant ce laps de temps uniquement à l'ECS. Il est toutefois possible d'injecter dans des ballons de plus grosse taille un débit moyen beaucoup plus faible (Voir l'immeuble de Mr tout le monde page suivante)