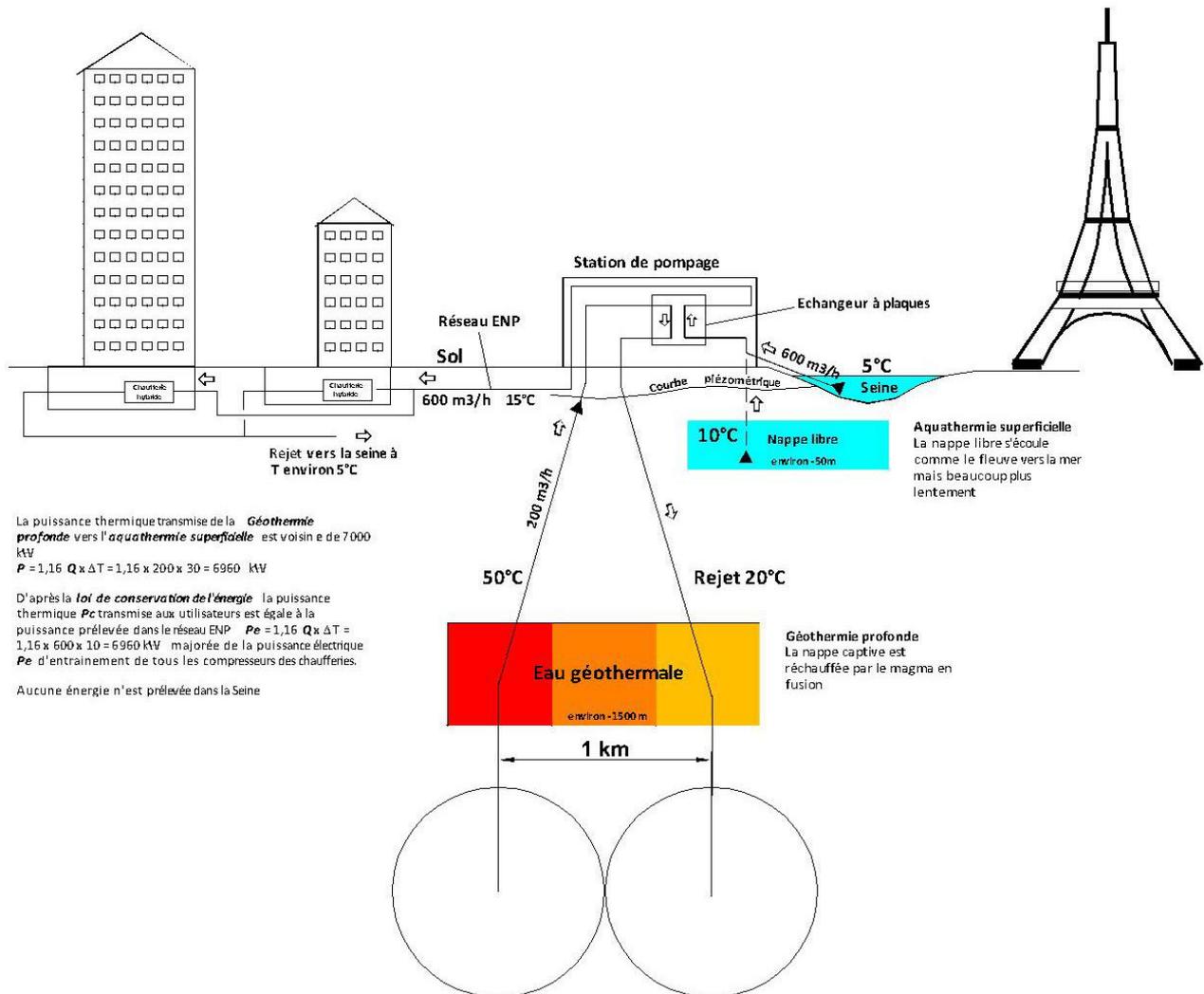


## Cas 1

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  $8352 \text{ kW}$

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.

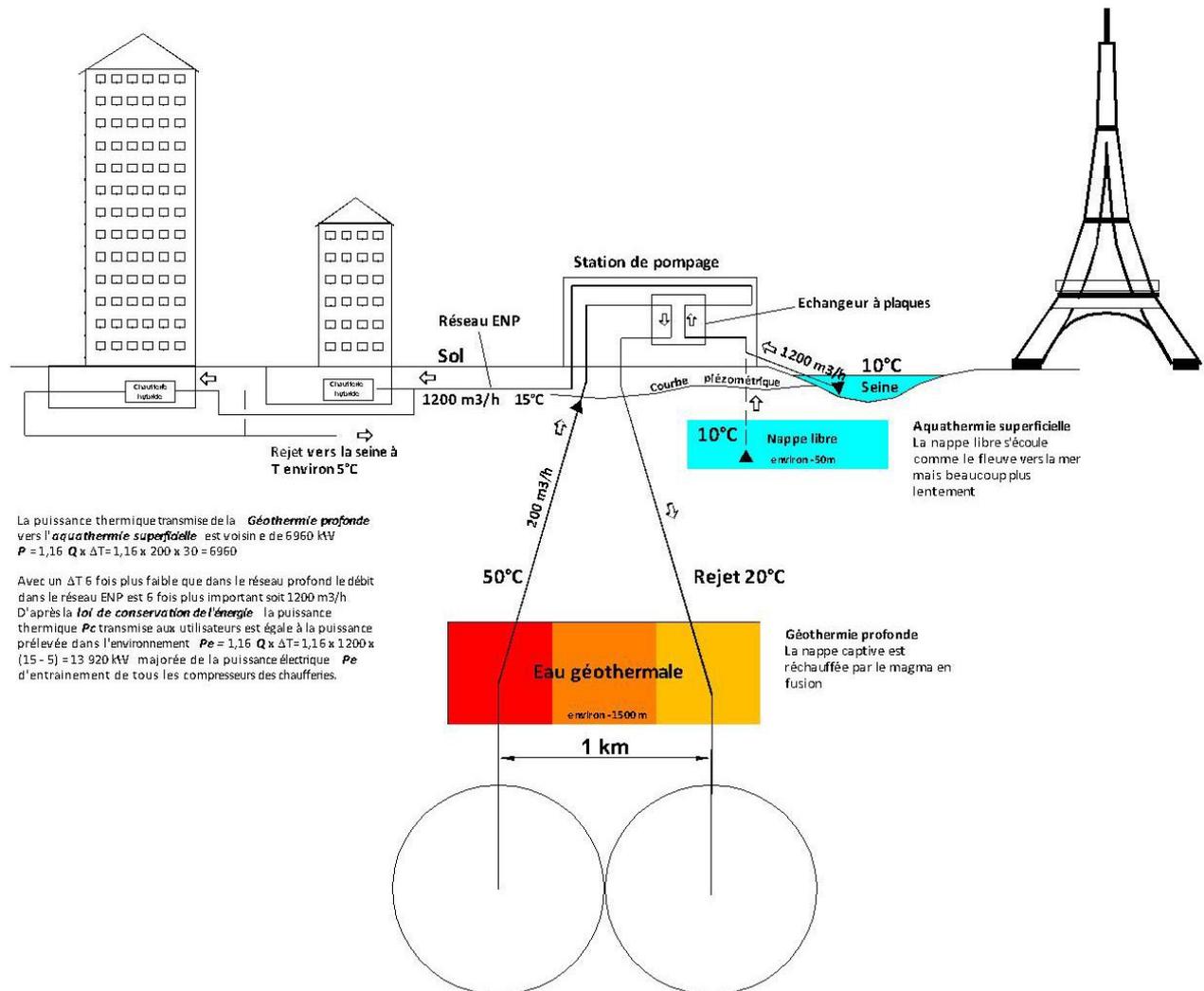
On a vu aux pages 65 et 66 que la Seine est « thermiquement parlant » généreuse. Cependant, lorsque la température de cette dernière est proche de la température de congélation, l'observation de la figure ci-dessus permet de dire que l'on ne dispose que de la puissance de 6960 kW disponible en continue 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  $117282/5 = 23456$  habitants ce qui correspond à une puissance par habitant de 0,3 kW trop faible 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 480 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 km<sup>2</sup> est proche de celle de Boulogne Billancourt. Si par malchance le débit d'eau géothermale disponible des puits n'était que de 100 m<sup>3</sup>/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/m<sup>2</sup>. 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 m<sup>2</sup> 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 km<sup>2</sup> pour un doublet moins profond comme celui de la figure ci-dessus ne délivrant que disons 200 m<sup>3</sup>/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/m<sup>2</sup> habitable). La surface habitable de 20 m<sup>2</sup> occupée par chacun des 25 occupants de cet immeuble de 500 m<sup>2</sup> 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. Ceci 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.*

## 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  $\Delta T$  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  $1\,200 \times (15 - 5) \times 1,16 = 13\,920 \text{ kW}$   
 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 m<sup>3</sup>/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  $1200 \times 5 \times 1,16 = 6960 \text{ kW}$

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 m<sup>3</sup>/h pour 41 000 habitants cela correspond pour les 15 millions d'habitants de Paris et sa banlieue à 730 000 m<sup>3</sup>/h ou 202 m<sup>3</sup>/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 pressentait déjà au chapitre du stockage de l'énergie thermique. (voir tableau page 66)

On observe aussi que le débit 1 200 m<sup>3</sup>/h est inférieur aux capacités des plus gros échangeurs à plaques (voir page 99)

**\*\*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 °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 x 3 = 600 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/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  $600 \times 5 \times 1,16 = 3480 \text{ kW}$

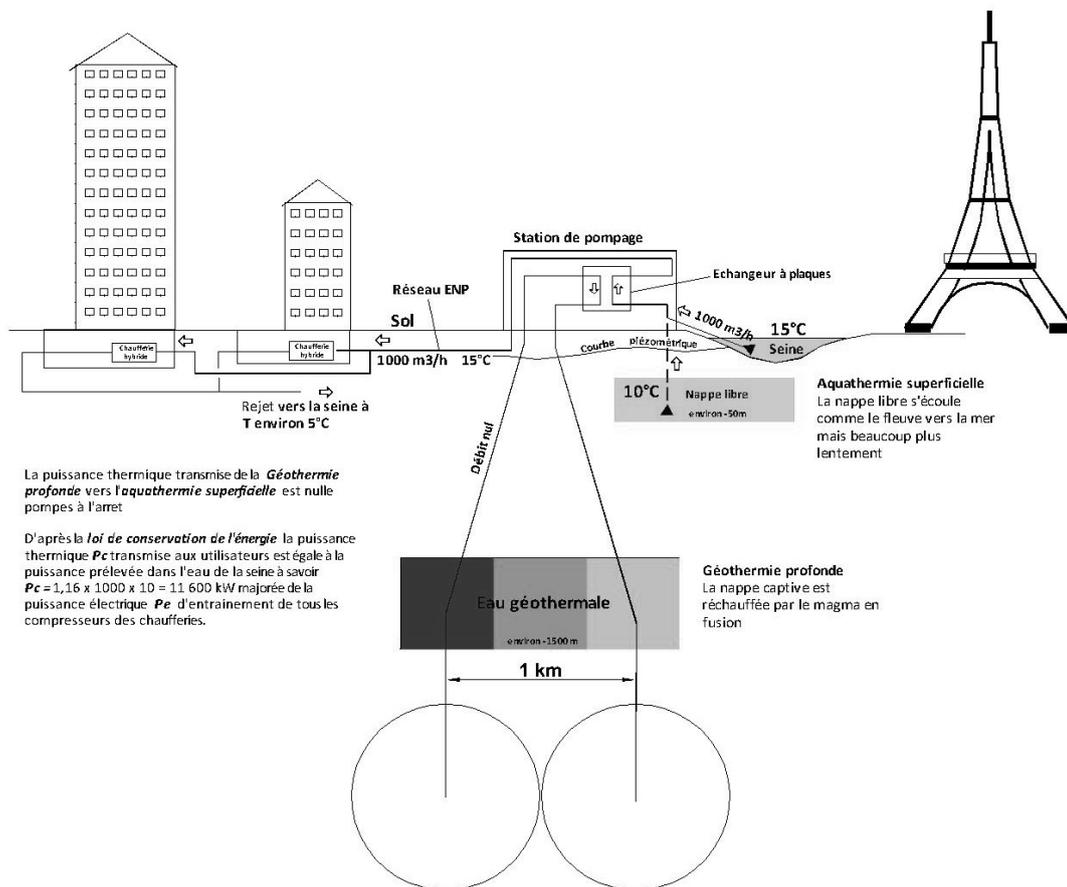
Puissance électrique requise avec COP moyen de 6\*\*  $10\,440 / (\text{COP} - 1) = 10\,440 / 5 = 2088 \text{ kW}$   
Puissance thermique totale disponible **12 528 kW**

### 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 cout 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 une 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  $\Delta T$  de 10°C est alors pour un débit limité à 1000 m<sup>3</sup>/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

## **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 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup> pour les 42 700 habitants à l'aplomb des 2 km<sup>2</sup>

L'idée selon laquelle il est envisageable de délivrer ces 2135 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup> d'eau chaude sanitaire en 3h c'est, compte tenu du besoin en énergie thermique correspondant de 106 750 kWh (50 kWh par m<sup>3</sup> 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'échelonne 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)*



**Figure 7 Implantation des stations de pompage dans Boulogne Billancourt.**

La Seine qui entoure Boulogne Billancourt est une opportunité à ne pas manquer. Il faut espérer que la prise de conscience qu'en implantant les 5 stations de pompage SP1 à SP5 conformes aux figures ci-dessus Boulogne Billancourt peut disposer à moindre cout d'une énergie thermique annuelle voisine de  $5 \times 17\,400 \times 8760 = 762\,120\,000$  kWh lorsque la Seine est à 10°C. Etant donné que la population de cette commune est selon l'INSEE de 117 282 habitants avec une densité de population proche de celle de Paris intramuros cela correspond à 6500 kWh thermique par habitant

Ces travaux permettraient de généraliser le chauffage urbain pour tous les habitants de Boulogne sans desservir les habitants d'Issy les Moulinaux Issy des avantages de leur centrale de combustion des ordures. De tels travaux pourraient probablement être contrôlés par une entreprise comme IDEX qui a déjà réalisé à proximité de la ZAC de l'île Seguin des travaux importants ayant permis aux habitants de Boulogne situés à proximité de la station de pompage SP1 de bénéficier des avantages du chauffage thermodynamique aquathermique.

