# Le stockage de l'énergie

Avec les combustibles fossiles, l'énergie est stockée à l'état latent dans la matière avant combustion. On parle par exemple de *houille noire* pour le charbon ou de *houille verte* pour la biomasse et les végétaux. Pouvoir stocker l'énergie électrique renouvelable dite propre provenant de la *houille blanche* constituée par l'énergie hydroélectrique des centrales au fil de l'eau, de la *houille bleue* avec l'énergie marémotrice ou de la *houille d'or* avec l'énergie solaire ou encore de la *houille incolore avec* l'énergie du vent est une des conditions essentielles de leur développement. La production de ces formes d'énergie dites « renouvelables » est en effet par essence intermittente, souvent aléatoire, et parfois même imprévisible à moyen terme. Ceci qu'il s'agisse de l'énergie électrique renouvelable issues des éoliennes « ça souffle ou pas », du solaire voltaïque à la production d'électricité rythmée par le jour et de la nuit ou même de l'énergie marémotrice des hydroliennes à la production inexistante à la renverse et tributaire des vives ou mortes eaux. L'énergie électrique étant de plus très dépendante de *l'offre et de la demande,* la capacité de stocker l'énergie électrique d'origine renouvelable constitue de ce fait un facteur non négligeable de stabilisation du réseau électrique. Plusieurs possibilités de stockage existent :

## *A) Sous sa forme électrique avec les STEP et la houille blanche*

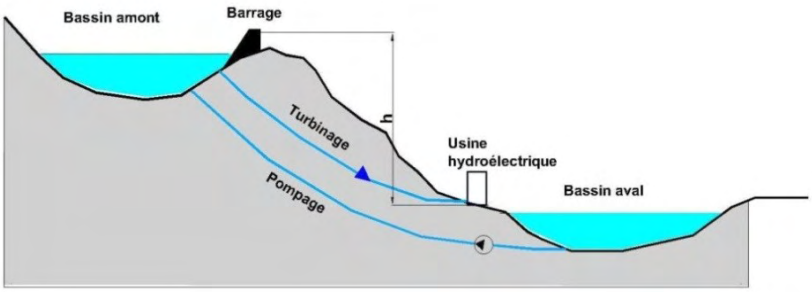
Le dispositif de Transfert d'Energie par Pompage (STEP) imaginé par un ingénieur français fait intervenir les énergies *mécanique, hydraulique* et *électrique.* Ce dispositif est capable d'assurer indirectement le stockage de l'énergie électrique. Ce type de station est maintenant assez répandu mondialement. Cela s'explique par la capacité d'une STEP de répondre rapidement à une pointe de consommation électrique, ce que ne peut pas faire une centrale nucléaire à la montée en régime très lente. Les STEP pourraient devenir, en liaison avec un réseau intelligent qui serait le cerveau donnant des instructions aux différentes sources de production, la solution de stockage de l'électricité à grande échelle permettant de reléguer les pannes de courant au niveau des mauvais souvenirs. Cette solution de stockage de l'électricité qui permet d'utiliser les hauteurs de chute plusieurs fois dans nos régions montagneuses constitue une avancée importante. C'est ainsi que les STEP remontent l'eau dans la retenue supérieure des barrages avec des groupes motopompes fonctionnant la nuit lorsque le besoin en l'électricité est moindre et que les prix de l'électricité baissent. Il est ainsi possible d'adapter très rapidement la production d'électricité au besoin en améliorant la rentabilité de la production d'énergie d'origine hydroélectrique. Le rendement d'un tel ensemble voisin de 70 %, n'est pas excellent, puisque c'est seulement 3kWh qui sont récupérés au turbinage pour 4 kWh utile au pompage, pourtant ce dispositif est particulièrement intéressant et rentable dans la mesure ou les kWh produits pendant les heures de pointe répondent au besoin sans qu'il soit nécessaire de recourir aux turbines à gaz ou pire encore pour notre environnement aux moteurs diesels au prix de revient élevé (environ 0,5 €/kWh) comme cela s'est produit en Corse lors de la bien triste histoire du Rizzanese. Le prix de revient de l'électricité produite ainsi aux heures de pointes est à peine supérieur à celui de l'électricité nucléaire. La revente à l'utilisateur pouvant être 10 fois supérieure aux kWh consommés ! Qui plus est, cette solution qui stocke l'eau en haute montagne, met dans une certaine mesure les zones de

plaine à l'abri d'une sécheresse éventuelle en assurant si besoin est l'approvisionnement en eau potable. Les Lutins nautiques et le petit monde du Canoë-Kayak accueille avec prudence, mais aussi avec une certaine satisfaction ce type de réalisation qui pourrait être une opportunité de rendre vie à certaines de nos plus belles rivières sur leur cours moyen et d'éviter leur morcellement.

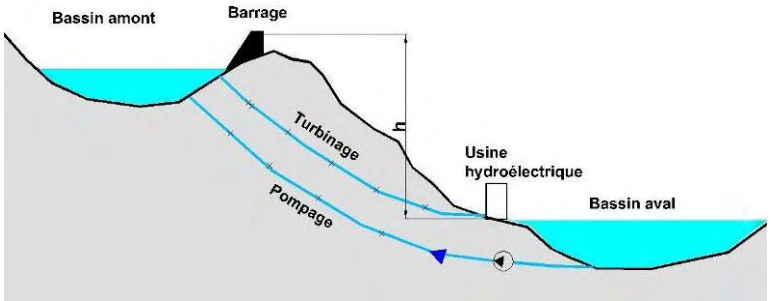
## *Un exemple : Le barrage de Grand Maison*

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

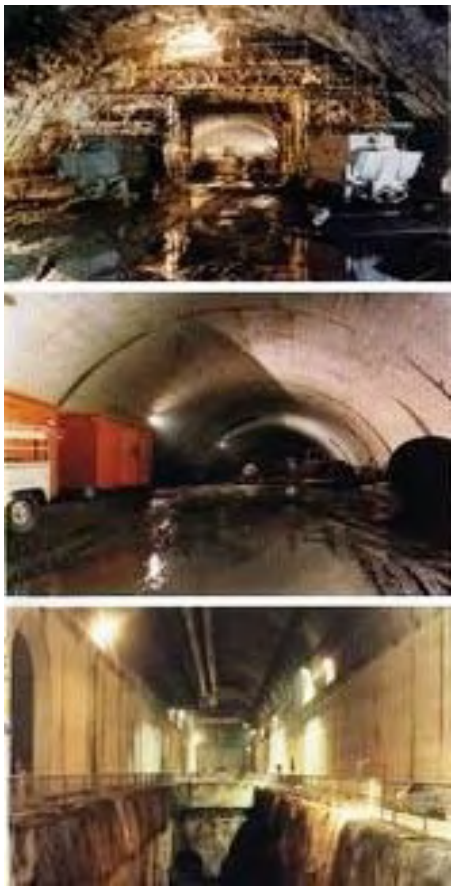
..



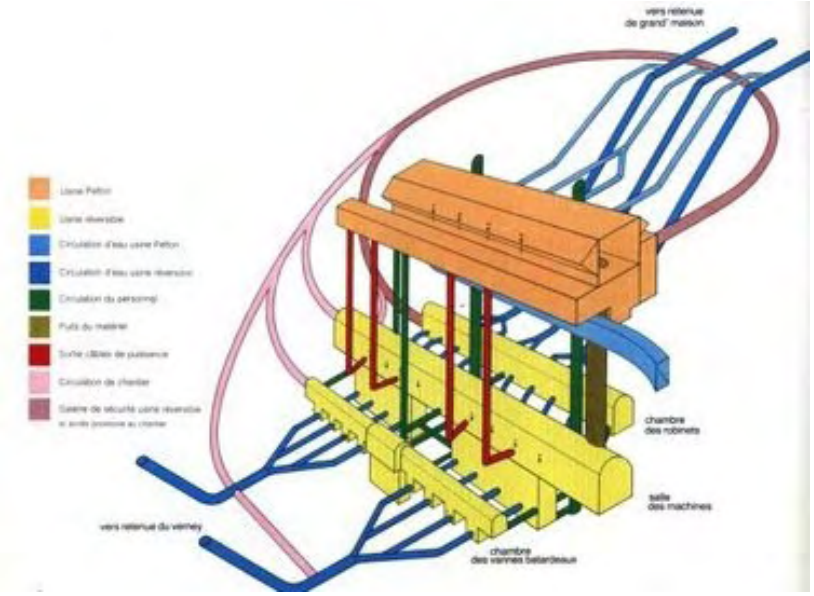

***Turbinage*** *La STEP fourni de l'électricité aux heures de pointe par turbinage en utilisant l'énergie potentielle contenu dans le bassin amont. La turbine Pelton est bien adaptée aux grandes hauteurs de chute* ***h***



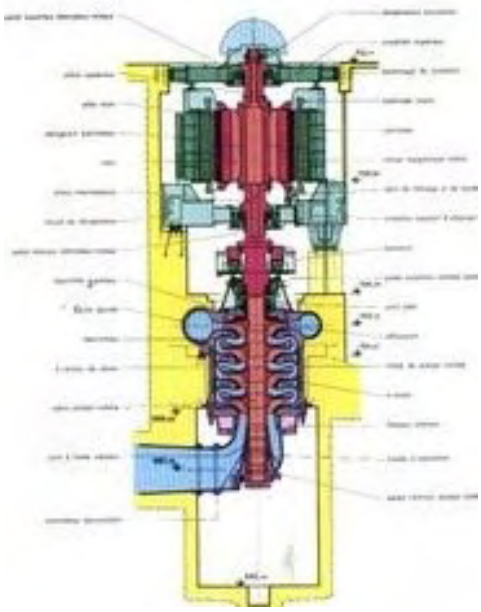

***Pompage*** *Le réseau électrique recharge le bassin supérieur par pompage aux heures creuses. La France pionnière dans ce domaine a équipé le site de groupes réversibles assurant à la fois le pompage et le turbinage*



*Le diamètre important des tuyauteries autorise des débits impressionnants proches de 200 m3/s*




*L'usine inférieure au Verney située dans la plaine d'Allemont 930 m en contrebas*



*Les turbines Pelton*

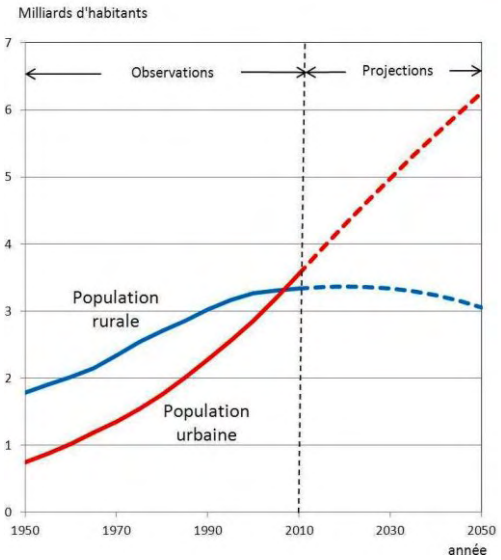
On va donc probablement commencer à stocker ainsi l'électricité d'origine renouvelable provenant des éoliennes ou de l'énergie solaire voltaïque énergies par nature intermittentes*. Les STEP, les piles à combustible ainsi que les batteries des futures voitures électriques seront autant de méthodes de stockage qui serviront à équilibrer l'offre et la demande en restituant de l'électricité lors des pointes de consommation et inversement en emmagasinant l'énergie lorsque la demande est plus faible comme cela est déjà le cas avec l'énergie électrique nucléaire souvent excédentaire la nuit. Cette capacité de stocker l'énergie électrique pourrait aussi devenir un facteur important pour satisfaire le besoin en électricité en chauffage thermodynamique de nos agglomérations pendant le jour au plus fort de l'hiver.

** C'est début novembre 2013, dans un article paru sur Batiactu, que l'Ademe et ses partenaires ont réalisé le fort potentiel de stockage de l'électricité et tout l'intérêt des stations de transfert d'énergie par pompage (STEP) en terme de rentabilité pour les besoins français. Un potentiel supplémentaire de 1 à 1,5 GW pourrait être envisagé à court terme et s'ajouterait au 5 GW existant déjà en France. Cette solution de stockage d'électricité de masse pourrait voir ensuite son potentiel et sa rentabilité s'accroître notablement à partir de 2030, quand les puissances intermittentes délivrées par le photovoltaïque le jour lorsque le soleil rayonne, et par les éoliennes lorsque le vent souffle se seront accrues. D'autres systèmes également réactifs mais d'une puissance nettement moindre (volants d'inertie, batteries) pourraient aussi fournir localement une petite réserve d'énergie primaire en cas de déséquilibre du système électrique. Comme les STEP en phase pompage, les futures voitures électriques équipées de batteries se chargeront la nuit, lorsque la demande en électricité est plus faible en bénéficiant d'un kWh à un prix intéressant.*

## *Sous sa forme thermique avec la rivière et la « houille orange »*

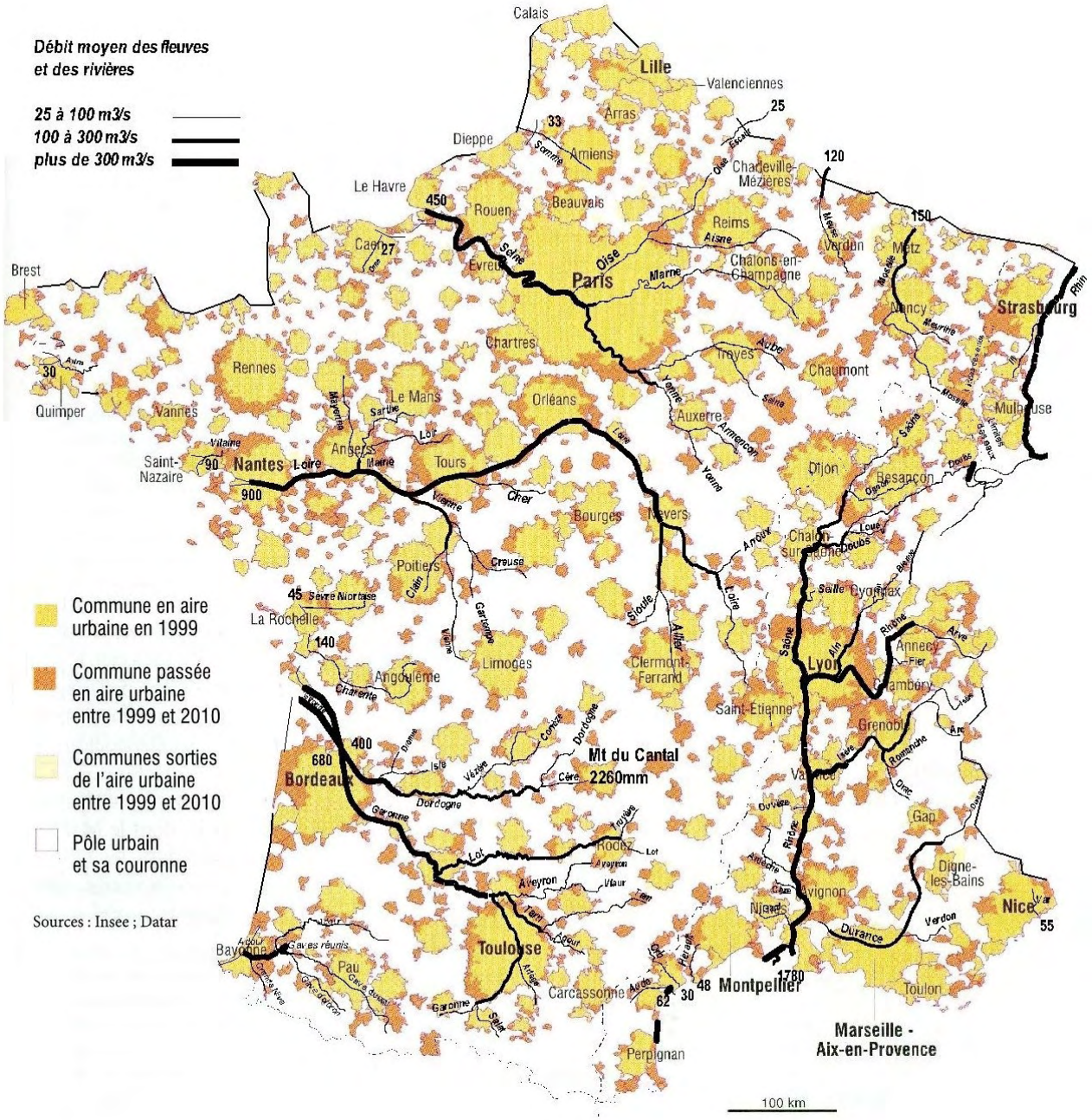
Il ne s'agit pas ici du stockage artificiel de l'énergie électrique mais de la capacité de stockage naturelle de l'énergie thermique que la rivière contient en son sein. Pour faire du chaud lorsqu'il fait froid, il suffit en effet de refroidir d'avantage notre environnement. Il reste toutefois six grandes agglomérations françaises : Aix en Provence (1,5), Lille-Roubaix-Tourcoing (0,4), Clermont Ferrand (0,14), Saint Etienne, Le Mans et Nîmes qui ne pourront probablement pas utiliser ce mode de chauffage en raison de l'absence de rivière significative ou plus généralement d'eau douce à proximité de l'agglomération. La majorité des français pourrait donc se chauffer plus économiquement en France en consommant nettement moins d'énergie primaire avec la plus performante des pompes à chaleur, celle tirant son énergie de l'eau de la rivière ou de sa nappe libre. En effet, le débit disponible par habitant indiqué en $m^3/s$ dans la dernière colonne du tableau ci-après est évalué à partir du débit moyen de la rivière situé à mi-chemin entre l'étiage et le débit maximum hivernal. Le débit disponible par habitant pendant la période hivernale, période pendant laquelle le débit disponible dans le fleuve ou de la rivière traversant l'agglomération est le plus important est la plupart du temps nettement supérieur au débit utile de 0,06 l/s par habitant assurant un fonctionnement correct de la pompe à chaleur. Reste qu'il faut aussi considérer les écoulements dans la nappe libre proche de la rivière non comptabilisées dans ce tableau et qui sont loin d'être négligeables.

Lorsque que l'on sait qu'actuellement plus de la moitié de la population mondiale vie dans les métropoles et les grandes villes, que ces grandes agglomérations sont le plus souvent proches des rivières et des fleuves, que la répartition de la démographie actuelle va changer avec une diminution de la population rurale et un accroissement continu de l'urbaine on se dit qu'il n'est pas raisonnable de pas tenir compte de la proximité des grandes agglomérations avec la rivière compte tenu du potentiel de production d'énergie renouvelable que constitue le chauffage thermodynamique aquathermique. Le sous-sol de ces grandes villes étant parcourus d'égouts, les travaux d'infrastructure assurant l'alimentation en eau des pompes à chaleur sont probablement à la hauteur de l'enjeu.




*Déjà en 2008 plus de la moitié des habitants de la planète vivent en ville (Courtesy SFE)*

*Il y a aussi quelque villes situées sur le littoral telles que Marseille (1,5 millions d'habitants), Toulon(0,6), Le Havre (0,2) et Brest (0,15) qui bien que défavorisées pour l'aquathermie superficielle en eau douce du fait de l'éloignement de la rivière pourraient toutefois tirer parti de l'inertie thermique de la mer grâce à l'aquathermie en eau salée comme cela se pratique déjà en Norvège près d'Oslo dans le Fjord de la ville de Drammen et comme cela est en cours sur Cherbourg (Voir l'eau de mer source d'énergie positive)*




*Si l'on ajoute les surfaces périurbaines les plus riches et proches du centre-ville avec les plus pauvres et plus éloignées du centre, c'est en 2014 et selon l'INSEE plus de 85% des français de l'hexagone qui vivent en ville. La plupart des grandes métropoles françaises telles que Paris, Lyon, Bordeaux, Toulouse, Nantes sont traversées par des grands fleuves qui possèdent en leur sein suffisamment d'énergie renouvelable pour assurer le chauffage de l'habitat existant moyennant un approvisionnement en eau non potable*

## *L'eau de mer également source d'énergie « positive »*

Comme l'eau douce de la rivière et moyennant quelques précautions nécessitées par la corrosion, l'eau salée de la mer constitue une réserve d'énergie positive renouvelable en raison des courants marins qui balaient nos côtes océaniques. Jean-Michel Houllegatte, Maire de Cherbourg sera le premier Maire de France à avoir compris l'intérêt de prélever dans la mer l'énergie thermique pour baisser les charges locatives et réduire le coût de l'énergie thermique rendu dans les pièces de vie des logements HLM.

## *Le cas de la France et de ses plus grandes villes*

| Villes avec banlieue | NB en million(s) d'habitants | Rivière(s) | Régime/ Q moyen m3/s | Réchauffé par réacteurs nucléaires de | Débit disponible par habitant l/s |
|---|---|---|---|---|---|
| Paris 75 | 10,3* | Seine + Marne | Pluviale/300 | Nogent | 0,03 |
| Lyon 69 | 1,5 | Rhône+ Saône | Glaciaire/600+410 | Bugey | 0,69 |
| Bordeaux 33 | 1 | Garonne | Pluvio-nival/680 | Golfech | 0,68 |
| Toulouse 31 | 0,9 | Garonne + Ariège | Pluvio-nival/250 | - | 0,28 |
| Nantes 44 | 0,6 | Loire | Pluviale/900 | Belleville/Loire + Dampierre+ St Laurent des eaux + Chinon | 1,5 |
| Nice 06 | 0,6 | Var | Pluvio-nival/50 | - | 0,08 |
| Montpellier 34 | 0,41 | Hérault | Pluvio-nival/45 | - | 0,11 |
| Strasbourg 67 | 0,3 | Rhin + Ill | Pluviale/1000 | - | 3,33 |
| Rennes 51 | 0,25 | Vilaine | Pluviale/50 | - | 0,2 |
| Reims | 0,2 | Vesle | Pluviale/8 | - | 0,04 |
| Grenoble 38 | 0,17 | Isère et Drac | Glaciaire/ 360 | - | 2,12 |
| Angers 49 | 0,16 | Loire+ Maine | Pluviale /840 | Idem Nantes | 5,25 |
| Dijon 21 | 0,16 | Ouche | Pluviale /8 | - | 0,05 |
| Le Mans 72 | 0,15 | La Sarthe + Huisne | Pluviale/35 | - | 0,23 |
| Tours 37 | 0,15 | Loire+Cher | Pluviale /500 | Idem Nantes sans Chinon | 3,33 |
| Amiens 80 | 0,14 | Somme | Pluviale/30 | - | 0,21 |
| Limoges 87 | 0,14 | Vienne | Pluvio-nival/80 | - | 0,57 |
| Metz 57 | 0,13 | Moselle | Pluvio-nival/100 | - | 0,77 |
| Besançon 25 | 0,12 | Doubs | Pluviale /100 | - | 0,83 |
| Caen 14 | 0,12 | Orne | Pluviale /25 | - | 0,21 |
| Perpignan 66 | 0,12 | Têt | Pluvio-nival/18 | - | 0,15 |
| Rouen 76 | 0,110 | Seine | Pluviale/450 | Nogent | 4,09 |
| Nancy 54 | 0,11 | Meurthe | Pluviale /25 | - | 0,23 |
| Orléans 45 | 0,06 | Loire | Pluviale /450 | Belleville/Loire + Dampierre | 7,5 |
| Mulhouse 68 | 0,05 | Ill | Pluviale/30 | Fessenheim (démantèlement) | 0,6 |
| Total | Soit un total pour 18 millions d'habitants représentant près de 30% de la population française (65 millions) | | | | |

*+14% d'accroissement en 10 ans **Débit utile maximum par habitant en hiver 0,06 l/s. Le réchauffement de la rivière par les centrales nucléaires améliore sensiblement les performances du chauffage thermodynamique

Les valeurs indiquées dans le tableau ci-dessus montrent que la nature est souvent généreuse* puisque même les flux thermiques contenus dans le fleuve Seine, le moins puissant des grands fleuves français, restent pratiquement suffisants pour assurer le chauffage de notre capitale malgré l'importance de sa densité démographique intra-muros. Il prouve aussi que 80 % des 20 plus grandes agglomérations françaises peuvent tirer parti des avantages de l'aquathermie superficielle en eau douce.

**Il convient toutefois d'être vigilant avec des fleuves alimentés par des affluents à régime glacière comme le Rhône. Lorsque l'eau du fleuve chute en dessous de 4°C, une commutation de la chaufferie hybride en mode combustion telle qu'elle décrite entre les pages 398 et 425 est toujours envisageable. Au travers de la réussite d'un dispositif de chauffage collectif dans un Fjord norvégien il semblerait que cette commutation ne soit pas nécessaire si le système est correctement dimensionné (Voir page 66)*