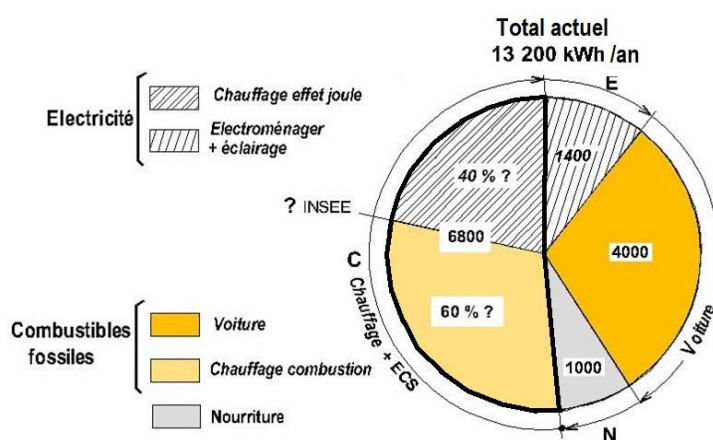


2 Consommation de l'énergie

- 21 Besoins actuels en énergie du citoyen français

L'homme et plus restrictivement le parisien a besoin d'énergie pour se chauffer, faire rouler sa voiture, s'éclairer, assurer le fonctionnement des équipements électroménager et manger. Le type d'énergie diffère selon le besoin, il lui faut de l'énergie thermique pour se chauffer, de l'énergie électrique pour s'éclairer et faire fonctionner l'électroménager ainsi que de l'énergie mécanique pour faire avancer sa voiture. Quant à l'énergie contenue dans les aliments, elle est utilisée par Homo sapiens d'une part sous forme d'énergie thermique pour maintenir son corps à 37 degrés et d'autre part sous forme mécanique pour se mouvoir. La figure ci-après visualise les besoins moyens en énergie d'un citoyen français vivant en appartement uniquement pour ce qui concerne son logement, sa voiture et sa nourriture. Ses besoins en énergie pour le transport aérien et ferroviaire, l'industrie et l'agriculture étant exclus. On verra dans ce chapitre que le besoin thermique est plus élevé pour la maison que pour l'appartement dans les immeubles.

En observant cette galette concernant la consommation du citoyen français en énergie, on s'aperçoit, s'il est seul dans son logement qu'il consomme plus pour le chauffage de son logement et sa voiture que pour se nourrir. C'est en effet environ la moitié qui est consommée pour assurer la climatisation de son habitat, l'autre moitié étant principalement constituée par l'essence ou le gazole qui alimente sa voiture individuelle. Le complément comprend deux parts sensiblement égales : l'énergie contenue dans ses aliments et l'énergie dépensée pour l'électroménager



Habitat

Le chauffage de l'habitat en France avec les chaînes énergétiques actuelles c'est le [toujours+](#). Toutes énergies confondues, on estime que plus de 50 % de la consommation des ménages concerne le chauffage et l'eau chaude sanitaire. Pour satisfaire ses besoins en énergie thermique, le Français utilise actuellement deux chaînes énergétiques complètement différentes l'une de l'autre : la combustion du fioul ou du gaz d'une part, et l'effet joule à savoir dans la pratique les radiateurs électriques. Le chiffre de **6800 kWh** est une prospective de ce que pourrait être la consommation moyenne en énergie thermique nécessaire pour chauffer l'appartement d'un Français de l'hexagone habitant en ville et vivant seul dans un petit studio de 28 m² dissipant quelque 240 kWh par m² habitable en lieu et place des 50 kWh de la RT 2012. Ce chiffre de 6800 kWh tient compte du fait que les déperditions thermiques d'une maison étant supérieures à celles d'un appartement le besoin du citoyen logé en appartement est plus faible que celui du campagnard habitant une maison individuelle. J'ai choisi cette orientation vers les immeubles et leurs appartements pour vous donner une meilleure vision du futur et tenir compte d'un accroissement probable de la population urbaine malgré le télétravail qui devrait se développer progressivement en accroissant légèrement la population rurale (Voir page 56). Il n'y a pas encore à ma connaissance de statistique faisant la répartition combustion-chauffage électrique en France mais on ne devrait pas être trop loin de la réalité en estimant grosso modo que 60 % des Français se chauffe avec la combustion des produits fossiles et les 40 % restant avec des radiateurs électriques. Quant au chiffre de **1400 kWh** il correspond à l'électroménager et à l'éclairage.

Au moment où les glaciers des Alpes ont autant fondus en 2 ans qu'entre 1960 et 1990, nous ferions bien, pour éviter que le réchauffement climatique ne s'accélère encore un peu plus, de réfléchir à la chaîne énergétique que nous allons utiliser pour assurer la climatisation de l'habitat en échangeant sur l'eau plutôt que sur l'air en été afin d'éviter de réchauffer encore un peu plus l'air ambiant.

Transport en voiture ou en train ?

Selon une analyse caméra, il a été déterminé que plus de 85 % des automobilistes roulent seuls dans leur voiture et que pour satisfaire les besoins en énergie mécanique de leur véhicule, ils utilisent presque exclusivement les produits fossiles avec la combustion de l'essence et de ses dérivés. Il en est de même plus généralement pour le transport routier. Quant à l'incidence sur notre environnement, tout est malheureusement clair : mauvaises performances et pollution des villes avec les gaz de combustion et les particules très fines dangereuses pour nos poumons. Le chiffre de 4000 kWh du graphe page précédente correspond sensiblement à la consommation de la voiture individuelle (à raison de 10 000 km par an, d'une consommation de 8 litres d'essence aux 100 km et une seule voiture par famille). Ceci dit, la consommation en combustible d'une voiture est très dépendante de sa vitesse. Heureusement la voiture électrique fait son apparition en France et dans le monde.



La figure ci-dessus établie principalement par Tresorio.com donne le poids de CO₂ généré pour déplacer à l'horizontal une charge de 100 kg sur 100 km avec différents modes de transport. Sur cet abaque a été rajouté le logo correspondant au porte-conteneurs. Ce mode de transport maritime qui favorise la mondialisation et le toujours plus génère toutefois [selon mes calculs](#) une situation environ 5 fois moins grave que l'aviation. Sur terre, seul le vélo peut rivaliser avec le train qui est à l'évidence le moyen de transport de loin le plus économique en termes d'émission de gaz à effet de serre et ceci particulièrement lorsque ses moteurs sont électriques et alimentés par de l'électricité en provenance de piles à hydrogène comme cela est le cas en Allemagne près de Hambourg en Basse-Saxe où une flotte de 14 trains a été fournie par la société française Alstom pour remplacer les locomotives diesel sur une centaine de kilomètres. Cette première ligne ferroviaire au monde à fonctionner entièrement à l'hydrogène est un bel exemple de collaboration franco-allemande. Quant à la voiture l'Europe et particulièrement [Michelin](#) ont compris qu'il fallait agir

Transports grandes distances

Porte-conteneurs

Si ce n'est la mauvaise qualité du carburant utilisé, la situation semble toutefois moins grave avec le transport maritime par porte-conteneurs qui traite environ 80 % des exportations-importations mondiales. S'il vient des antipodes, un porte-conteneurs de taille « raisonnable » capable de transporter sur 20 000 km une charge de 185 000 tonnes (port en lourd) et de parcourir cette distance en 480 heures soit 20 jours en navigant à 42 km/h (ou à 23 nœuds) consomme pour faire ce trajet de 20 000 km compte tenu de la puissance de ses moteurs diesel de 54 000 kilowatts ou 73 500 CV (1CV = 0,735 kW) et de la consommation moyenne d'un moteur thermique de 150 g/CV heure : $0,15 \times 73\,500 \times 480 \times 10^{-3} = 5\,292$ tonnes de gasoil. Cette consommation qui correspond à environ 3 % de la masse de marchandise transportée est nettement moindre que celle nécessaire par avion. C'est tout de même une quantité d'énergie supérieure à 25 millions de kWh qui est consommée pour transporter ces 185 000 tonnes de marchandise. Qui plus est, pour réduire les coûts, le combustible est parfois du fuel lourd de mauvaise qualité. On constate toutefois au travers de ces chiffres que pour les très longs trajets, l'énergie nécessaire au transport des aliments avec les porte-conteneurs serait sensiblement 10 fois inférieure à l'énergie contenue dans l'aliment lui-même.

Avion

Environ 8 fois plus polluant que le porte-conteneur, il faut espérer que l'on sera capable grâce à la recherche, de développer la construction de structures volantes moins énergivores propulsées à l'hydrogène (Voir le chapitre 6).

Nous allons maintenant aborder le poste nourriture qui pourrait avoir comme précepte la règle des 5R :

- 1 dire non à ce dont on n'a pas besoin
- 2 n'acheter que les quantités nécessaires
- 3 éviter d'acheter du neuf et privilégier les achats d'occasion
- 4 rendre à la terre ce qui lui revient en compostant les matières organiques
- 5 enfin recycler si aucune autre option n'est possible

Nourriture (N)

Quant au chiffre de **1000 kWh**, il correspond sensiblement à l'équivalent en énergie de la nourriture consommée annuellement par chacun de nous. Dans la pratique, le logement étant la plupart du temps occupé par deux personnes, le chiffre N associé aux 1000 kWh de nourriture est une valeur minimum qui doit être à minima doublée. La nourriture c'est aussi le poids des déchets alimentaires qui est estimé en France à près de 10 millions de tonnes par an soit un peu plus de 150 kg pour chacun d'entre nous. Certes beaucoup de ces déchets comme les os et les épilures sont difficilement évitables mais on estime que 20 kg/personne et par an relève du gaspillage alimentaire. On estime aussi que dans le monde, c'est environ 1/3 de la nourriture produite chaque année qui est perdue alors qu'un Homo sapiens sur 7 se couche l'estomac vide.



Suite à la prise de conscience qu'il est préférable pour notre devenir de consommer des poissons comme les truites, les saumons, voire de l'esturgeon que de la viande, la production contrôlée par l'homme d'organismes aquatiques vivant en bonne partie de l'eau douce telle que les mouches [qui commence en France](#) pourrait utilement se développer rapidement dans le monde. Il serait ainsi possible en utilisant plus intelligemment les déchets et grâce à l'aquaculture de subvenir aux besoins alimentaires des plus déshérités.

Agriculture

L'agriculture est peut-être le 3ème émetteur de gaz à effet de serre mais l'idée selon laquelle les vaches françaises émettraient annuellement avec leur pets une quantité de gaz nocifs significative comparativement aux émissions résultant du chauffage de l'habitat type combustion ainsi que des moteurs à essence et diesel de nos voitures est à l'évidence quantitativement à revoir. Une bonne nouvelle : le Français va peut-être devoir mettre temporairement un peu moins de sucre dans son café du matin à défaut de pouvoir le sucrer avec du miel. Heureusement, la Cour de justice de l'Union européenne (CJUE), après avoir toléré les néonicotinoïdes pour protéger la culture de la betterave sucrière interdit maintenant l'usage de ce dangereux pesticide tueur d'abeilles à partir de 2023. Nous serons probablement amenés à considérer que pour survivre, la quantité utile d'énergie contenue dans les aliments absorbés par une personne qui vit dans un milieu à - 30 °C est supérieure à celle d'un individu qui vit dans un milieu à + 40 degrés. En effet, dans le premier cas la température extérieure est 67 °C inférieure à celle de son corps alors que ces deux températures sont pratiquement au même niveau dans le deuxième cas. On observe donc sans crainte de se tromper et aussi incroyable que cela puisse paraître qu'Homo sapiens consomme plus d'énergie pour se chauffer et alimenter sa voiture que pour se nourrir. Il suffit de comparer les chiffres pour constater qu'il consomme en pratique environ 6 fois plus d'énergie pour se chauffer que pour s'alimenter. Mais attention, il faut faire la part des choses. Ce raisonnement n'est valable que si la nourriture est produite localement. Cela pour une raison simple : la quantité d'énergie consommée pour transporter l'aliment peut être bien supérieure à l'énergie contenue dans l'aliment lui-même. Ceci particulièrement avec les échanges internationaux, par exemple si Homo sapiens fait venir sa nourriture des antipodes par avion. La consommation moyenne de 3 litres de kérosène pour transporter par avion un passager avec ses bagages soit une charge de 100 kg sur 100 km a beau être plus faible qu'avec la voiture, il y a la distance. Cela signifie que si 1kg d'aliment venant des antipodes parcourt 20 000 km par avion avant d'être consommé, il aura fallu brûler pratiquement 8 fois son poids en kérosène avant de pouvoir le consommer. Ceci en assimilant le pouvoir calorifique du kérosène à celui de l'essence. Ces chiffres exorbitants devraient inciter :

- un organisme comme l'ONU du bien fondé de taxer le kérosène pour l'aviation civile comme cela se pratique pour le carburant destiné au transport routier et à la voiture individuelle.
- Homo sapiens à cultiver et manger local pour éviter le gâchis actuel et limiter l'usage des emballages plastiques.

Face à la crise alimentaire due à la guerre en Ukraine, plusieurs centaines de scientifiques associés à l'ONU et à l'institut de recherche du CNRS estiment qu'il est possible de donner plus de force à notre système alimentaire sur le court et le long terme. Ils estiment que le consommateur doit diminuer les déchets liés à l'alimentation ainsi que sa consommation de produits d'origine animale tels que la viande et le poisson. Cela étant compensé par une hausse de la consommation-production légumineuse. La fiscalité, les subventions, la législation et la réglementation sont des leviers d'actions qui devraient permettre aux gouvernements et selon la FAO (Food and Agriculture Organisation) d'améliorer nos systèmes alimentaires à l'évidence déficients. Le coût caché du système agroalimentaire mondial serait selon cet organisme proche de 1300 dollars pour chacun d'entre nous.

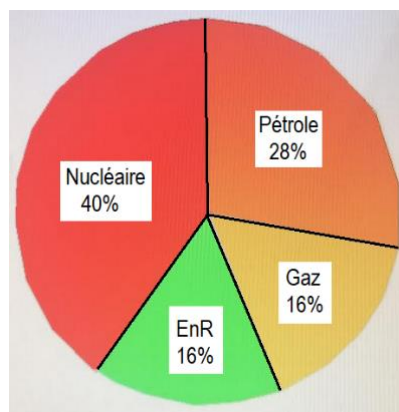
Consommation énergétique d'Homo sapiens en France

Généralités

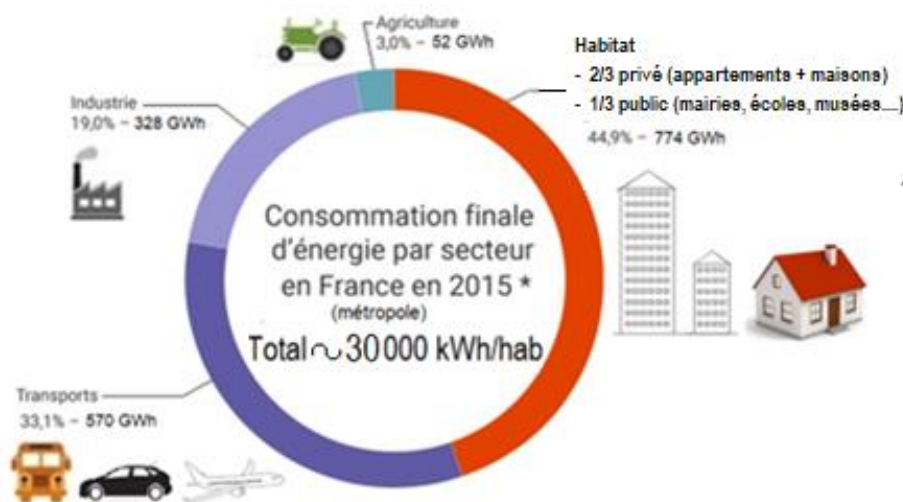
L'étude récente importante faite par l'organisme Shift Project ne tient pas compte de la première étape de la *Solar Water Economy* concernant l'établissement d'une température de confort dans l'habitat. Celle associant, comme nous allons maintenant le voir, la thermique des eaux superficielles avec celle des eaux profondes grâce à la thermodynamique.

L'étude Shift Project ([comprendre](#), [agir](#), [organiser](#)) sous-estime aussi les quantités d'énergie nécessaires pour satisfaire le confort thermique à l'intérieur de l'habitat. Sauf erreur de ma part, ce confort est en effet satisfait actuellement avec une quantité d'énergie plus importante que ne le pense Shift Project. Ce constat rend nécessaire la mise en place de chaînes énergétiques tirant profit des potentiels énergétiques contenus dans l'eau. Ceci en associant le potentiel thermique de la géothermie profonde des nappes captives à celui des eaux superficielles que constituent les fleuves comme proposé dans les pages qui suivent pour la région parisienne avec la Seine

La consommation d'énergie en France est différente selon le secteur d'activité. C'est l'habitat qui absorbe le plus d'énergie : près de la moitié du total. Vient ensuite le transport et l'industrie avec un petit complément, celui de l'agriculture. A défaut d'évoluer vers une amélioration de la génération thermique la réglementation évolue lentement vers l'amélioration de l'isolation de l'habitat et la diminution des déperditions. Il va falloir, en complément de notre action sur les transports et [les voitures électriques](#), un poste où l'Europe évolue avec succès, concentrer également notre action sur l'habitat, un poste particulièrement lourd.



Tous secteurs confondus, le bouquet énergétique de la France en termes de consommation se compose actuellement de 40 % de nucléaire, 28 % de pétrole, 16 % de gaz naturel, et seulement 16 % d'énergies renouvelables. Ceci si l'on incorpore la combustion du bois (environ 2 %) dans les énergies renouvelables



Grosso modo en France, c'est moitié électricité et moitié produits fossiles.

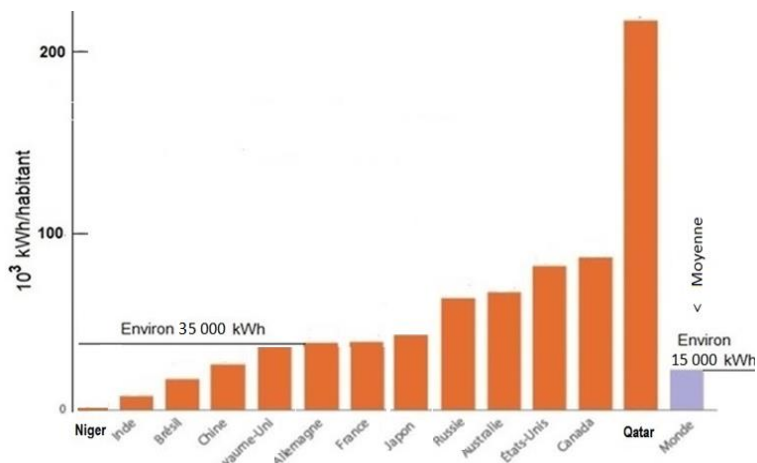
Concernant l'habitat et les bâtiments publics (mairies, écoles, musées...) ils représentent environ 35% du total.

Consommation actuelle de l'hexagone par secteur d'activité

Trop souvent exprimée en tep* (tonne équivalent pétrole), la galette de la consommation française globale en énergie est exprimée ici en kWh. Voisine de 30 000 kWh par Français, elle conduit, compte tenu de la population de l'hexagone de 65 millions d'habitants, à une consommation globale de 1,8 GWh. Consommation qui englobe cette fois, l'industrie, le transport aérien et l'agriculture, secteurs ignorés dans la figure de la page 19.

Consommation mondiale d'énergie

Cette figure donne une idée de ce que chacun des 8 milliards d'Homo sapiens qui peuplent la terre consomme individuellement et annuellement en énergie selon le pays où il habite. La France et l'Allemagne se situent au milieu du lot avec environ 35 000 kWh par habitant. Le Canada, les USA, l'Australie, et la Russie sont les gloutons énergivores de la planète terre. La France et l'Allemagne, très proches en termes de consommation, pourraient faire mieux, quant au Niger et au Qatar...



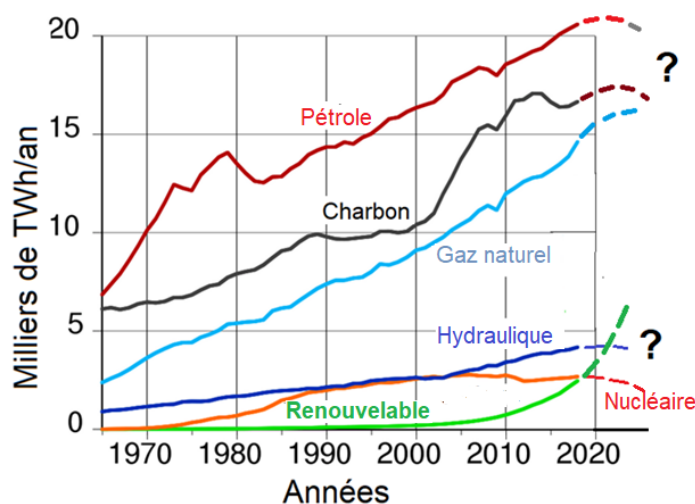
Homo sapiens est devenu petit à petit un glouton énergivore. Quatre-vingts % de notre consommation d'énergie provient des produits fossiles que nous consommons (environ 120 000 TéraWattheures) et est sensiblement 70 % plus faible que ce que nous produisons, la différence de 50 000 TWh étant selon l'Agence internationale de l'Énergie (AIE) dilapidée dans les pertes de transformation et dans les transports et ceci en réchauffant l'atmosphère. C'est une quantité d'énergie presque deux fois supérieure à l'énergie mécanique produite par les moteurs de nos voitures et de nos bus équipés de moteurs thermiques qui est dissipée en pure pertes dans l'atmosphère en le réchauffant.

On commence heureusement à observer sur la figure de la page suivante que le haut de la courbe pour le pétrole est atteint. Il faut dire que la consommation mondiale de pétrole a sensiblement doublé depuis 1970. Bien que l'on ait pris conscience de la plus grande dangerosité du charbon en ce qui concerne les gaz à effet de serre, sa consommation a elle aussi plus que doublé pendant la même période. Le problème est qu'il y a des réserves encore disponibles et la Chine, deuxième économie mondiale, est à la fois le premier producteur et le premier consommateur mondial de charbon. Ce grand pays brûle en effet environ la moitié du charbon consommé annuellement dans le monde alors que sa population ne représente "que" 20 % de la population mondiale. C'est environ 70 % de l'électricité produite en Chine qui est issue de ses centrales à charbon afin d'assurer principalement les besoins de l'Industrie. Le combat contre la pollution de l'air y est toutefois devenu une priorité et la consommation chinoise de charbon a baissé en 2014 pour la première fois dans l'histoire du pays. Ces transformations sont toutefois longues à mettre en œuvre.

Au moment où la Cour Pénale Internationale (CPI) vient d'émettre un mandat d'arrêt contre le président russe Vladimir Poutine pour crime de guerre, il faut je pense comprendre la politique internationale du Président chinois Xi Jinping qui, faisant passer sa réputation après les intérêts mondiaux le rencontre malgré tout dans le même temps à Moscou. Ceci dans la mesure où cette rencontre peut conduire à des accords commerciaux ayant pour but de remplacer le charbon chinois par le gaz russe [fluide sensiblement 4 fois moins polluant que le charbon](#). Dans notre monde menacé par la crise climatique, il faut en effet espérer que les présidents russe Vladimir Poutine et chinois Xi Jinping, les grands absents de la COP 27 vont trouver un accord pour remplacer le charbon par le gaz moins générateur de gaz nocifs. Ceci pour éviter qu'à l'horizon 2040, le charbon ne soit encore la première source d'énergie en Chine et apaiser les inquiétudes de l'ONU concernant le climat.

Quant à l'Arabie Saoudite le « roi du pétrole », qui s'est opposée à l'accord de Paris pour le climat et est probablement le pays au monde qui pollue le plus, elle envisage de construire au cœur du désert, un bâtiment gigantesque de 150 km de long par 200 m de large et de hauteur 500 m baptisé *The Line* qui a l'ambition d'accueillir 9 millions d'habitants. Les travaux ont débuté et la date de livraison de ce projet pharaonique de 500 milliards de dollars est fixée à 2030.

Investir dans les technologies et les infrastructures des énergies propres est la seule solution durable à la crise énergétique mondiale actuelle et le meilleur moyen de réduire l'exposition des consommateurs aux coûts élevés des combustibles. Paradoxalement, bien que les découvertes de nouveaux gisements soient médiocres et les investissements pour les exploiter plus élevés, la demande mondiale en énergie et la consommation mondiale de pétrole ne cessent de croître. On peut se demander en ce qui concerne le pétrole si les courbes vont s'incurver vers le bas comme représenté sur la figure.



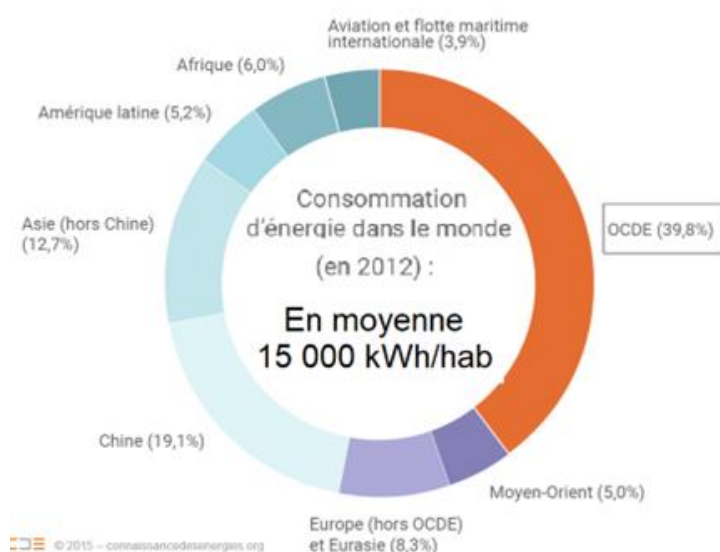
Consommation mondiale d'énergie

Reniant ses promesses électorales le président américain Joe Biden qui comprend pourtant la menace existentielle du climat vient d'accorder la mise en œuvre d'un gigantesque projet pétrolier du nom de Willow en Alaska au nord du cercle polaire

Il faut dire qu'en opposition au bon sens et selon les chiffres de l'Organisation de Coopération et de Développement Economiques (OCDE) et de son agence l'Agence International de l'Energie (AIE) publiée fin août 2022, les subventions accordées aux énergies fossiles par 51 pays, représentant à eux seuls 85 % de la consommation d'énergie mondiale, ont pratiquement doublé (362 milliards dollars en 2020 contre 697 milliards dollars en 2021).

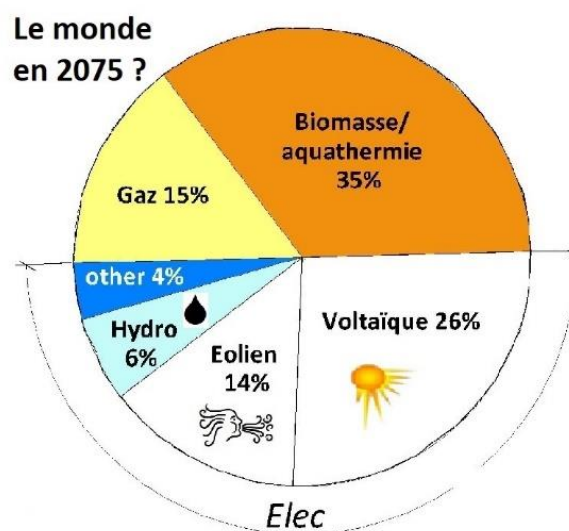
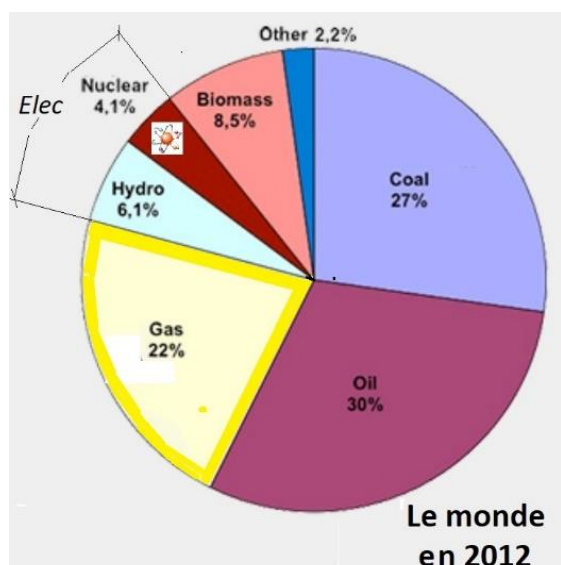
La Chine et les Indes, gros consommateurs de charbon, devraient laisser dans le sous-sol ce combustible [redoutable pour notre environnement](#). Ceci dit, si les chinois et les indiens qui représentent à eux deux environ 40 % de la population mondiale soit 2,82 milliards d'habitants et qui consomment actuellement en moyenne environ 15 000 kWh par habitant consommaient autant d'énergie par habitant que les Etats Unis et le Canada, deux gloutons énergivores de l'OCDE consommant actuellement en moyenne 80 000 kWh par habitant, cela aurait pour effet de tripler sensiblement la consommation mondiale en énergie finale par rapport à ce qu'elle est actuellement.

En exprimant ce que chacun d'entre nous consomme dans le monde en kWh plutôt qu'en tonne équivalent pétrole (tep), on se rapproche du système international d'unité et l'on peut estimer, vu que nous sommes 7 milliards sur terre, notre consommation globale en énergie à environ 105 TWh. (Téra 10¹²)



*1 tep = 11 630 kWh

L'évolution dans le monde des chaînes énergétiques illustrée par les 2 figures ci-dessous sera lente mais pourrait bien par nécessité se faire plus rapidement et même dès 2050 suite à la guerre en Ukraine.



La figure de gauche montre comment le monde s'approvisionne actuellement en énergie. Donc principalement avec la combustion de 3 combustibles fossiles, le pétrole, le charbon et le gaz qui assurent l'essentiel du besoin en générant des gaz à effet de serre et en réchauffant l'atmosphère, le complément étant assuré par l'hydraulique, le nucléaire et la biomasse. Quant à la figure de droite, elle montre comment nous pourrions bien être contraint de nous approvisionner en énergie du fait de l'épuisement de nos réserves fossiles, de la dangerosité du nucléaire et du réchauffement climatique grâce à une meilleure compréhension de l'enthalpie, à la géothermie associée à l'aquathermie de surface, au voltaïque associé à l'éolien et probablement avec un petit reliquat gaz. Cela principalement sous l'impulsion du Président Joe Biden favorable aux accords de Paris sur le climat et au Sénat américain qui a pris la décision avec la loi nommée IRA (Loi sur la Réduction de l'Inflation) de favoriser financièrement l'implantation des panneaux solaires sur le toit des maisons individuelles en associant cette implantation à la recharge de la voiture électrique qui reçoit qui plus est 7500 \$ de crédit d'impôts.

La Chine quant à elle, espère parvenir au zéro carbone, c'est-à-dire même sans le gaz naturel dès 2060.



*"Notre maison brûle et nous regardons ailleurs"
Jacques Chirac en 2002 au 4^{ème} sommet de la terre à Johannesburg*

Dans les pages qui suivent et dans le cadre de l'habitat, nous allons d'abord observer à partir de quelle quantité d'essence, de fioul, de gaz ou d'électricité, nous obtenons 10 kWh d'énergie thermique. Puis dans un deuxième temps, évaluer comment nous pourrions les obtenir dans de bien meilleures conditions en abandonnant nos chaînes énergétiques actuelles grâce à l'eau et la thermodynamique.

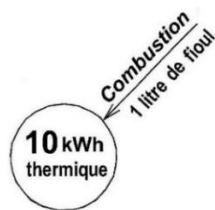
22 Les chaînes énergétiques

Quand l'air est sec, le corps humain est capable de résister un bon moment à des chaleurs extrêmes de 60 degrés centigrades voire plus. Cela par le fait qu'au contact d'un air sec, l'évaporation de la sueur nous rafraîchit alors que dans un air saturé en humidité, la sueur a du mal à s'évaporer et le corps est en surchauffe. Les parties du monde sujettes à une "canicule humide" comme l'Asie du Sud et du Sud-Est, le golfe Persique ainsi que le golfe du Mexique sont selon l'ONU les régions les plus exposées et seront plus affectées par le réchauffement climatique avec la crainte que certaines zones plus humides et chaudes que d'autres deviennent inhabitables. Le réchauffement climatique est à notre porte et nous aurions intérêt à utiliser le fait que par forte chaleur, en période estivale, une peau humide soumise au flux d'air d'un ventilateur ressent une sensation de fraîcheur bien agréable en raison du froid généré par l'évaporation de l'eau. Heureusement d'ailleurs, car les dispositifs de climatisation décrits à la page 34 sont irrecevables en ville lorsque les échanges thermiques se font sur l'air. En effet, ces climatiseurs air-air réversibles rejettent dans l'environnement extérieur du froid lorsqu'il fait froid ce qui n'est pas très grave mais ce qui est plus gênant du chaud lorsqu'il fait chaud afin d'assurer le confort à l'intérieur des bâtiments en été. Cette solution est difficile à généraliser en ville en été alors que l'atmosphère est déjà surchauffée et que la climatisation augmenterait la surchauffe extérieure. Ceci sans parler de l'esthétique et du bruit qu'ils génèrent.

Les mauvaises

Nous allons maintenant observer à partir de quelle quantité d'essence, de fioul, de gaz ou d'électricité il est possible d'obtenir 10 kWh d'énergie thermique pour assurer le confort dans l'habitat selon la nature des chaînes énergétiques que nous utilisons actuellement. Concentrer les efforts sur la seule qualité de l'isolation des bâtiments n'est pas une solution suffisante, particulièrement dans l'existant. Certes la guerre entre les isolants minces et épais semble maintenant résolue et le $R = 6,2$ des isolants minces reconnus, mais le gain de 30 % de consommation en énergie - selon l'Ademe - qui en résulterait n'est pas à l'échelle du besoin. Le prix des énergies ne cessera de flamber et nous n'aurons pas dans les 10 prochaines années eu le temps d'assurer la transition vers la « Solar Water Economy » qui échange avec beaucoup plus d'efficacité l'énergie thermique avec l'eau à la place de l'air et qui restitue en été dans les nappes captives les calories prélevées en hiver.

- Le fioul



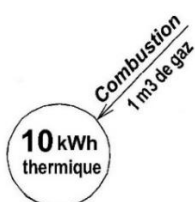
La combustion de 1 litre de fioul (ou de 1 litre d'essence) permet d'obtenir environ 10 kWh thermique

La puissance P est égale au débit de fioul Q_f que multiplie son pouvoir calorifique PCI

$$\text{On a } P = Q_f \times PCI$$

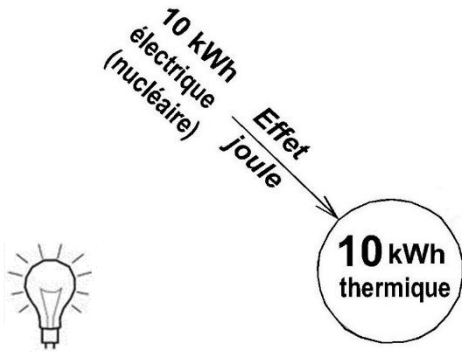
$$\frac{\text{litre}}{\text{h}} \times \frac{\text{kWh}}{\text{litre}}$$

- Le gaz naturel

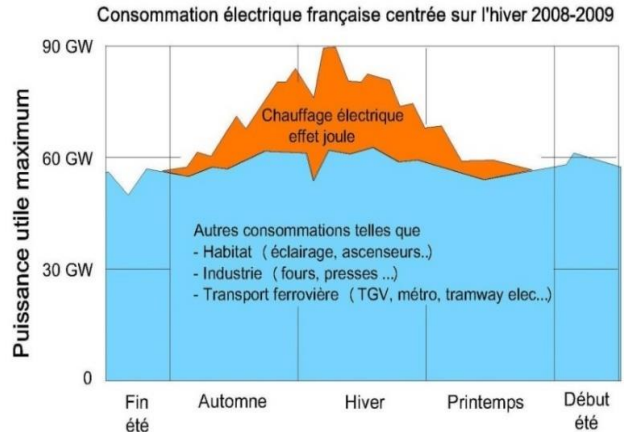


La combustion de 1 m3 de gaz naturel permet, elle aussi, d'obtenir environ 10 kWh thermique.

- L'effet Joule (ou les radiateurs électriques)



Ce qui est en passe de devenir le passé

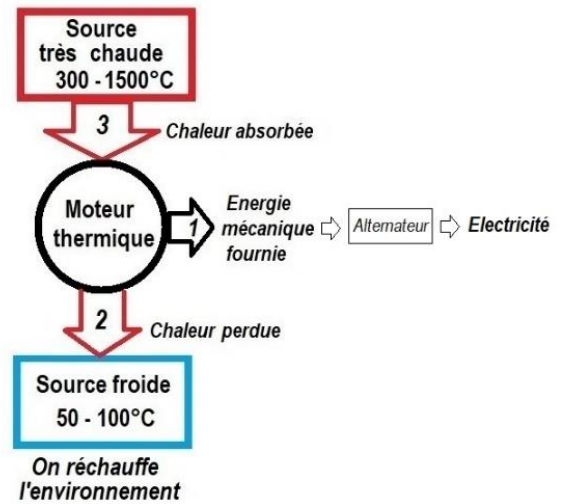


En faisant passer du courant électrique dans un filament de tungstène, métal ayant un point de fusion très élevé, on obtient une lampe à incandescence qui éclaire par « effet Joule ». De même, lorsque l'on fait passer du courant électrique dans une résistance, cela produit de la chaleur par effet joule avec une égalité entre les kWh électriques consommés et les kWh thermiques fournis. Ce mode de chauffage induit une surconsommation électrique importante au plus froid de l'hiver qui est indiquée en rouge sur la figure.

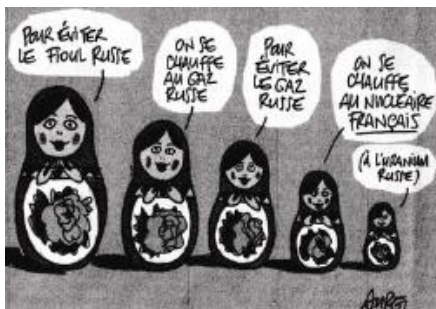
$U = Ri$ $P = Ui = Ri^2$ $W = Pt = Ri^2t$ les unités dans le système international : U Tension (volt)
 P Puissance (watt) W Energie (Joule) R Résistance (ohm) i Intensité (Ampère) t temps (secondes)

- Le moteur thermique

La figure ci-contre représente sous forme symbolique la chaîne énergétique la plus utilisée dans le monde, celle qui comprend un moteur thermique du type moteur à essence ou une turbine à gaz passant par les hautes températures pour générer de l'énergie mécanique et souvent de l'énergie électrique grâce à un alternateur en fin de chaîne. Les hautes températures en amont sont obtenues soit par la combustion des produits fossiles soit par la fission de l'uranium dans les centrales nucléaires. Ces chaînes énergétiques polluent et réchauffent malheureusement l'environnement. La loi de conservation de l'énergie est respectée : le système émet autant d'énergie qu'il en reçoit : $3 = 1+2$. Ceci avec un rendement $r = 0,33$ (1 que divise 3). A l'heure du réchauffement climatique cette chaîne énergétique peut être considérée comme mauvaise vu qu'elle dissipe dans l'environnement une quantité de chaleur sensiblement égale à deux fois l'énergie électrique produite.



La source très chaude peut même atteindre dans certains moteurs thermiques des températures proches de 1500°C et ceci en soulevant de graves problèmes métallurgiques.



Après le fioul, le gaz, et l'uranium russe, il va être temps d'arrêter le gâchis énergétique hivernal du chauffage par effet joule et de revoir nos chaînes énergétiques. Triste à écrire, mais si l'on avait dépensé le 10^{ème} des sommes consacrées au nucléaire dans le renouvelable nous serions maintenant comme les Danois autonome en énergie.

Un coucou au Canard enchaîné

Le "pétrole"

L'abandon programmé des chaudières fioul, des voitures à essence et du kérosène sur les avions m'entraîne à expliquer la structure d'une raffinerie où le pétrole est distillé comme l'est la lavande pour la parfumerie ou le raisin pour la gnôle. La réalité est un peu plus complexe mais pour faire simple :

1) On verse du pétrole brut dans une immense cuve et on allume le feu dessous, très doucement. La cuve commence alors à « dégazer », et on récupère les gaz : propane, butane, GPL.

2) On augmente le feu vers 150 à 200°C, et sortent les vapeurs plus lourdes qui, une fois condensées donnent les essences de pétrole. D'abord les naphthes, pour la pétrochimie, puis l'essence pour nos voitures.

3) On augmente encore la température jusque vers 300°C. Apparaissent alors les huiles : le kérosène pour les avions, le fameux gazole pour nos moteurs diesel, et le fioul domestique. Et ainsi de suite jusqu'à ce qu'il ne reste plus que les résidus, les bitumes avec lesquels nous construisons nos routes. Rien ne se perd dans le pétrole, qu'on le veuille ou non, qu'on le consomme ou pas, le gazole représente environ 20 % de la masse du pétrole brut qui sort des cuves au cours du processus. Ceci alors que le pourcentage est le double pour l'essence. La question qui s'est posé pour le gazole a été : Qu'est-ce qu'on en fait si on ne le consomme pas ? Vers la fin des années soixante, seuls les camions, des bateaux de petite taille et quelques rares voitures étaient équipées de moteurs diesel. On ne consommait pas tout et le surplus de gazole issu des raffineries était rejeté à la mer et les compagnies pétrolières, devant ce manque à gagner, se sont alors tournées vers les constructeurs d'automobiles pour leur demander de développer les moteurs diesel, avec de nouveaux alliages acceptant des températures de fonctionnement et des taux de compression plus élevés et ceci avec l'intégration de systèmes de suralimentation (les turbos). Ils ont ainsi créé des moteurs diesel aussi performants et aussi fiables que les moteurs à essence voire mieux. Une fiscalité française avantageuse pour le gazole, des panneaux publicitaires de 4 m sur 3 faisant l'apologie du moteur diesel, une presse qui vantait « l'écologie » du moteur diesel, affirmant qu'il polluait moins que le moteur à essence (grâce à l'adjonction de filtres à particules) a fait le reste et entraîné un succès fulgurant du "diesel". Le problème pour le politique est qu'aujourd'hui on souhaite se débarrasser des produits pétroliers. Comment inverser la tendance et résoudre ce dilemme ? On le devine, la tâche des acteurs de la transition énergétique ne va pas être simple. Qu'ils le veuillent ou non ces acteurs vont être associés aux "politiques" et ces derniers, s'ils veulent être réélus, ont tout intérêt à nous expliquer ce qu'ils vont "faire" avec une vision sur le long terme allant dans le bon sens. Ceci en améliorant notre fiscalité actuelle et en sortant d'un langage primaire du genre "yaka fokon" ou "yaka plus". Pour cela, ils vont devoir s'orienter dans une voix qui réduit les inégalités et freine la corruption ainsi que la spéculation.

LA CRISE PÉTROLIÈRE





Celle qui reste acceptable en dehors des villes : [la combustion du bois](#)

L'usage du feu de bois par Homo erectus remonte à 1 million d'années. Quant à Homo sapiens qui se trouve pour l'essentiel contraint d'abandonner le charbon, le pétrole et ses dérivés, il se pose la question de savoir s'il va renouer avec le passé ? L'homme moderne peut en effet se demander ce qu'il en est du bois-énergie pour assurer ses besoins thermiques, par exemple avec les bûches ou les pellets. Il peut se sentir rassuré par le fait que la quantité de gaz carbonique libérée durant leur combustion est comparable à celle qui se libère naturellement lorsque le bois mort se décompose lentement dans la forêt mais il peut lui reprocher le fait que la quantité de gaz carbonique libérée dans l'atmosphère par sa combustion s'effectue beaucoup plus rapidement. Il doit aussi prendre en compte que le végétal, durant sa vie, prélève du gaz carbonique dans l'atmosphère grâce à la photosynthèse ce qui limite le réchauffement climatique. On peut cependant dire que le bois, considéré comme une énergie renouvelable, peut en brûlant générer des gaz nocifs pour les poumons. Il est toutefois vraisemblable que sa combustion, interdite en ville pour cette raison, va se développer à la campagne par le fait qu'une fois coupé et pour reprendre la phrase de mon ami Georges, polytechnicien : *le bois n'absorbe plus le gaz carbonique qu'il aurait absorbé s'il ne l'avait pas été*. Le recul de l'immense forêt amazonienne, poumon de la terre, est assurément liée au réchauffement climatique en cours. Pour tenter de le compenser, l'Europe qui représente environ 7% de la population mondiale envisage de planter 3 milliards d'arbres tolérants au réchauffement.

Le biogaz

L'Agence internationale de l'énergie (AIE) estime que le biogaz, pour l'essentiel du méthane (CH₄) issu de la fermentation des déchets organiques et résidus agricoles tel que le fumier, peut être utilisé à des fins de production de chaleur voire d'électricité. Le potentiel n'est assurément pas celui du voltaïque mais cette agence estime que 20 % de la demande mondiale en gaz pourrait être assurée par cette filière en Europe. C'est incontestablement l'Allemagne avec ses 9500 installations biogaz ou Gaz Naturel Liquéfié (GNL) qui fait figure de leader. Lorsque la maison comprend un terrain, ce combustible non contraignant au niveau des cendres peut être stocké sous sa forme liquide à 200 bar et rendre service pour alimenter les tracteurs agricole en plaine ou chauffer l'habitat en montagne en se substituant utilement au fioul, voire même aux pellets qui seraient plutôt utilisées dans les campagnes à basse altitude.

Introduction au chauffage thermodynamique

Avant d'aborder le chauffage thermodynamique et les bonnes chaînes énergétiques, il nous faut comprendre ce qu'est l'énergie en laissant de côté les formules compliquées parfois bien utiles au mathématicien et au physicien. Ceci en remarquant que l'énergie, qui se présente sous différentes formes, mécanique, hydraulique, thermique, électrique, est très liée aux atomes ainsi qu'aux molécules qui constituent la matière en se déplaçant différemment selon qu'il s'agit :

- d'une énergie organisée telle que l'électricité, voire la mécanique, formes d'énergie dans lesquelles les électrons ou les atomes se déplacent tous régulièrement dans le même sens,
- d'une énergie désorganisée telle que l'énergie thermique dans laquelle les atomes et les électrons sont animés de mouvements tout à fait désordonnés et aléatoires en frottant les uns contre les autres et en créant de la chaleur. Faire en aval avec l'effet Joule une transformation de l'énergie électrique organisée en une énergie thermique désorganisée alors que l'on vient de faire le contraire en amont en passant par les hautes températures de la fission nucléaire pour produire cette électricité ne semble pas à l'évidence relever du bon sens.

Les notions ci-dessus, pour utiles qu'elles soient, ne permettent pas de chiffrer les performances des différentes et nombreuses chaînes énergétiques mises à notre disposition. C'est alors qu'intervient le thermodynamicien. Ses connaissances lui permettent de chiffrer quantitativement les performances que l'on peut escompter des différentes formes de transformation énergétique.

La thermodynamique permet en effet de chiffrer les *performances* des différentes chaînes énergétiques qui permettent à l'homme de satisfaire actuellement ses besoins en énergie, le terme performance étant mieux adapté à cette technologie que le terme *rendement*. Et ceci particulièrement pour les chaînes énergétiques utilisant les pompes à chaleur qui passent par les basses températures en évitant les hautes températures et tous les désavantages qui leur sont associés tels que les complications métallurgiques et le réchauffement climatique. Le thermodynamicien a aussi compris une notion très importante de la chaîne énergétique orientée vers les basses températures. Celle qui résulte du fait que les performances s'améliorent lorsque la température à la source chaude se rapproche de celle à la source froide.

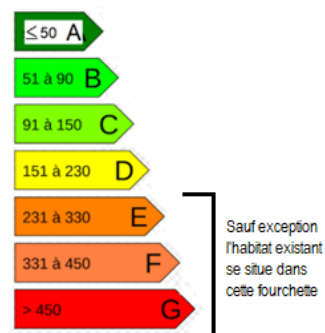
La figure ci-dessous est un peu difficile à comprendre. Je vous demande seulement d'observer que le terme de gauche concerne les chaînes énergétiques basées sur le moteur thermique alors que le terme de droite représente les performances des chaînes énergétiques que nous allons devoir maintenant utiliser vu l'amélioration qu'elles apportent en ce qui concerne la notion de performances directement associées au COefficient de Performance (COP).

$$\text{Rendement } r < 1 \text{ (le passé)} \leftarrow \left(\frac{T_c - T_f}{T_c} \right) \times \left(\frac{T_c}{T_c - T_f} \right) = 1 \rightarrow \text{Performance } p = 1/r > 1 \text{ (le futur)}$$

Dans cette équation les températures sont exprimées en degrés Kelvin et l'indice de la lettre **T** représente les températures (**c** pour le chaud, **f** pour le froid). Le produit des deux termes est bien égal à 1 mais son exactitude algébrique n'est probablement « qu'apparente ». Je vous demande de me croire si je vous dis que le 1^{er} terme $(T_c - T_f) / T_c$ représente le rendement des chaînes énergétiques basées sur le « *moteur thermique* » et son cycle de Carnot que nous utilisons actuellement pour nous chauffer en hiver et assurer la motorisation de nos voitures. Ces chaînes énergétiques, on vient de le voir aux performances modestes (*r* comme rendement < 1), sont dans la pratique la combustion des produits fossiles et le nucléaire qui passent par la case thermique des hautes températures et qu'il va falloir que nous abandonnions sans trop attendre. Et ceci nucléaire compris par le fait que le modeste rendement de cette chaîne énergétique étant voisin de 33 %, c'est environ 66 % qui sont inutilement perdus sous forme thermique en réchauffant dangereusement notre environnement pour produire notre coûteuse électricité.

Quant au 2^{ème} terme $T_c / (T_c - T_f)$, il représente les performances de la chaîne énergétique type « *moteur frigorifique* » qu'il va falloir généraliser en remplacement de la chaîne énergétique précédente pour assurer le chauffage et la climatisation de l'habitat. Ceci par le fait que la performance *p* aussi appelé COP est cette fois nettement supérieure à 1. Les performances de cette 2^{ème} chaîne énergétique qui met en jeu des températures beaucoup plus faibles sont en effet nettement améliorées par rapport à la précédente. Avec $p = 1/r = 1/0,33 = 3$ un chiffre beaucoup plus intéressant résultant du prélèvement important de chaleur renouvelable dans notre environnement, cela signifie qu'avec ces nouvelles chaînes énergétiques les 66 % refroidissent cette fois notre environnement au lieu de le réchauffer, une bonne nouvelle à heure du réchauffement climatique.

Le chauffage thermodynamique c'est faire du chaud avec du froid pour compenser les déperditions, le contraire d'un "frigo" en quelque sorte.

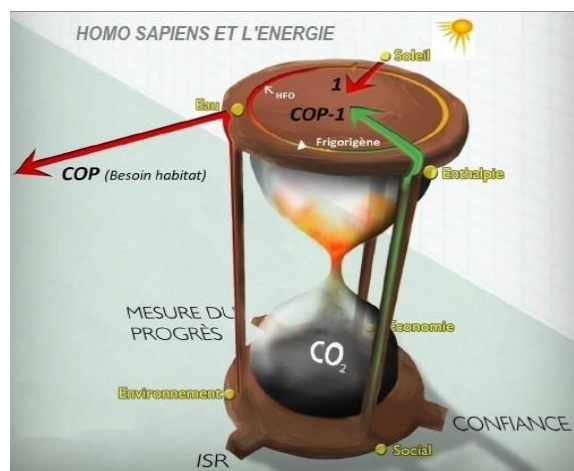


Les chiffres représentent les déperditions annuelles du logement de juin à juin exprimées en kWh par m² habitable. La France a des progrès à faire en ce qui concerne l'habitat existant ! (voir [cartographie.pdf](#) page 14).

Le bon et le mauvais COP

Homo sapiens va aussi devoir prendre conscience qu'il y a le mauvais COP (les voyages internationaux) et le bon COP (le restez chez soi).

Améliorer rapidement la qualité de l'air dans nos villes en diminuant nos charges de chauffage sans déséquilibrer notre économie et sans aggraver le réchauffement climatique devraient être les principaux objectifs de notre transition énergétique. Ceci de telle sorte que la médecine pulmonaire et le médiateur de l'énergie dans nos cités ainsi que la montée annoncée des océans ne soient plus qu'un mauvais souvenir. Pour cela il va falloir que nous réalisons qu'il y a le "mauvais" et le "bon" COP, un peu comme il y a le mauvais et le bon cholestérol. Cette prise de conscience nous incitera à choisir la bonne chaîne énergétique pour assurer le chauffage de l'habitat.



ISR investissement socialement responsable
COP coefficient de performance

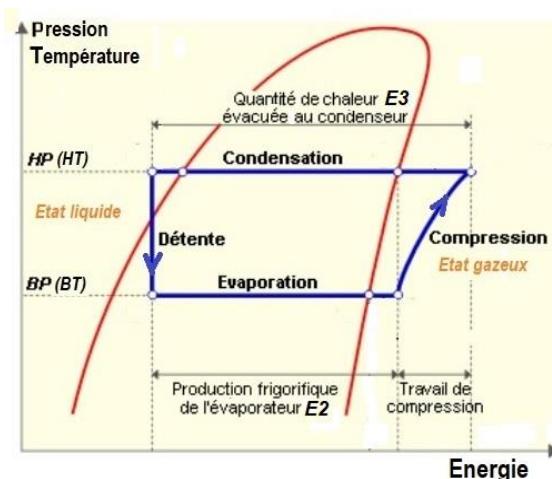
- Le "mauvais COP" étant l'enfer du "consommer plus" avec tous ces voyages internationaux en avion convergeant vers le pays organisateur de ces COP, 22, 23, 24 25 puis 26 à Glasgow en Ecosse heureusement repoussé etc... Un enfer pavé de bonnes intentions certes, mais absent de pragmatisme qui nous entraîne année après année vers l'aggravation de notre empreinte écologique.

- Le "bon COP", c'est celui du "consommer moins" associé à la thermodynamique et sa pompe à chaleur pour la climatisation de l'habitat que l'on vient d'évoquer. Une chaîne énergétique aux performances élevées a pour valeur le rapport entre l'énergie thermique arrivant dans le logement pour assurer notre confort et l'énergie électrique nécessaire pour produire cette énergie thermique. À l'inverse de la chaîne basée sur le cycle de Carnot et les hautes températures qui fournit de l'énergie mécanique, cette chaîne énergétique du "consommer moins" se suffit d'une petite quantité d'électricité : celle nécessaire au moteur électrique entraînant le compresseur. Autre avantage important à l'heure du réchauffement climatique et comme on vient de le voir, elle refroidit plutôt notre environnement au lieu de le réchauffer. Quant aux performances de cette deuxième chaîne énergétique, on observe grâce au diagramme de Mollier que la performance s'améliore :

- si la température à la source froide augmente.
- si l'on diminue la température à la source chaude.

Le diagramme de Mollier

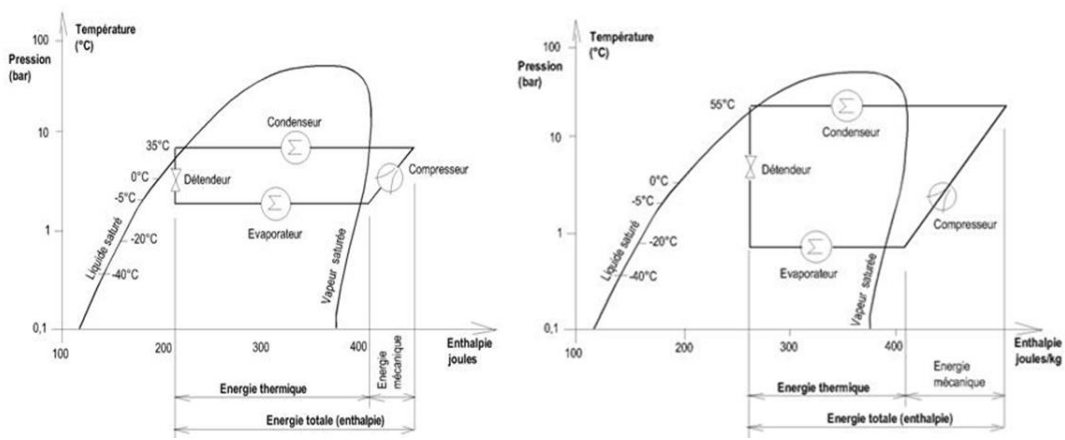
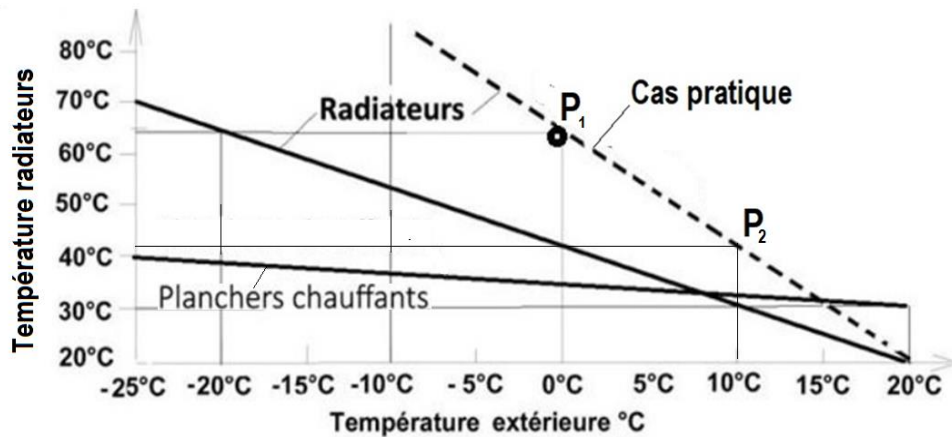
La figure représente le diagramme de Mollier bien connu des techniciens spécialistes des pompes à chaleur. Lorsque le fluide caloporteur de la pompe à chaleur a fait un cycle complet en se retrouvant dans l'état gazeux initial à l'entrée du compresseur après être passé par l'état liquide dans le condenseur, l'énergie qu'il a reçue, lors de la phase compression majorée de l'énergie thermique reçue de l'environnement en le refroidissant est égale au signe près à la quantité de chaleur qu'il a émise dans le condenseur.



Il est important de comprendre que la chaleur transmise à l'habitation par le condenseur de la pompe à chaleur est égale, compte tenu de la conservation de l'énergie, à l'énergie frigorifique émise à l'évaporateur majorée du travail fourni pour assurer la compression du fluide caloporteur.

Il y a certes le calcul, mais le diagramme de Mollier permet aussi de comprendre que l'on améliore les performances de la pompe à chaleur en diminuant la température à la source chaude. Cette notion est importante pour orienter le chauffage thermodynamique de l'habitat urbain dans le bon sens. Il faut aussi noter la prise de conscience des Lutins thermiques et de l'Association des Responsables de Copropriété (ARC) que la tentative d'individualisation des frais de chauffage dans les immeubles *est une erreur* dans la mesure où elle augmente la température à la source chaude en dégradant les performances.

Extraite de la revue *Chaud Froid Performance*, la figure ci-dessous montre en traits pleins les résultats obtenus dans des chauffages collectifs finlandais en ce qui concerne la température utile dans les planchers chauffants et dans les radiateurs lorsque la température extérieure varie. On observe que le confort thermique en Finlande, un pays européen pourtant bien froid, est assuré avec une température de l'eau dans les radiateurs plus faible qu'en France. Cela prouve que ce pays est en avance sur la France. Il a compris avant nous que grâce aux [radiateurs hydrauliques basse température](#) les performances du chauffage thermodynamique s'améliorent lorsque la température utile pour assurer le besoin thermique est plus faible. Pour comprendre comment se situe mon immeuble à ce sujet, j'ai ajouté en pointillé et après l'avoir mesuré avec un thermomètre infra-rouge quel était le besoin en température dans notre circuit de chauffage pour une température extérieure de 0°C (point P₁ avant isolation toiture et P₂ après isolation).



Bon à gauche, moins bon à droite

Chaud Froid Performances (CFP)

Une pompe à chaleur (PAC) peut fonctionner selon deux modes.

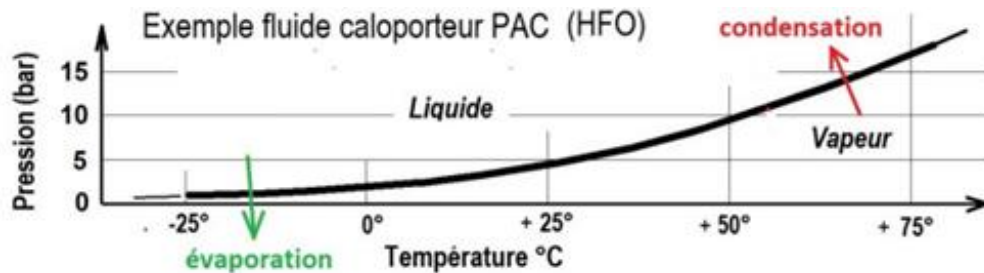
En mode chaud (mode hivernal) : la chaleur émise par le fluide caloporteur à l'intérieur de l'habitation est égale à la chaleur émise par le compresseur majorée de celle reçue de l'environnement lorsqu'il le refroidit

En mode froid (mode estival) : cette fois la pompe à chaleur refroidit l'intérieur du logement au lieu de le réchauffer (mode climatisation) grâce à une vanne 4 voies qui inverse les fonctions assurées par l'évaporateur et le condenseur de telle sorte que le sens des flux thermiques est inversé.

Lors de son cycle de fonctionnement le *fluide caloporteur* de la pompe à chaleur passe alternativement de l'état liquide à l'état gazeux. L'énergie thermique transmise par le fluide caloporteur lorsqu'il passe de l'état gazeux à l'état liquide dans le condenseur est égale à la somme de 2 énergies : celle lorsqu'il est à l'état gazeux et à basse température dans l'évaporateur majorée de l'énergie fournie par le compresseur. Le coefficient de performance (COP) de ces deux systèmes est le rapport entre l'énergie émise par le fluide caloporteur lorsqu'il est à l'état liquide dans le condenseur et l'énergie utile à l'entretien du cycle à savoir celle fournie par le compresseur. [On démontre](#) que le **COP** de ces 2 états énergétiques est égal à $T_c / (T_c - T_f)$. T_c et T_f étant les températures aux sources chaude et froide exprimées en degré Kelvin.

L'entropie du fluide caloporteur s'exprime en kJ/kg. La puissance thermique délivrée par une pompe à chaleur en mode chaud est égal à l'entropie du fluide caloporteur par son débit $(kJ/kg) \times (kg/s) = kJ/s > kW$ La figure ci-dessous visualise les transferts thermiques permettant de prélever l'énergie thermique dans notre environnement naturel avec la pompe à chaleur, sachant que :

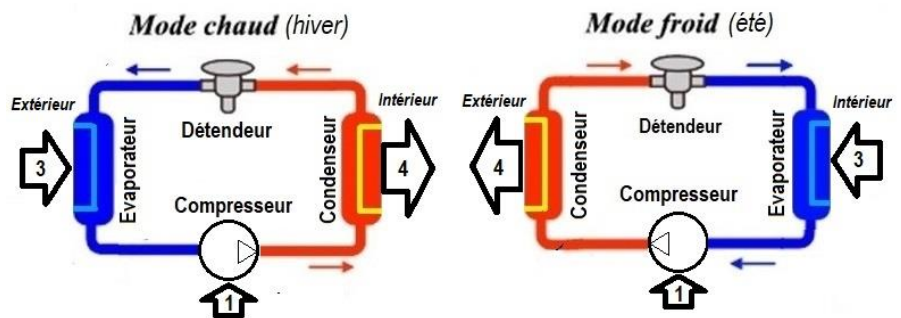
- lorsque le fluide caloporteur est chaud lors de la phase condensation, il réchauffe l'habitat
- lorsque le fluide caloporteur est très froid lors de la phase évaporation, il refroidit l'environnement



Faire du chaud puis du froid

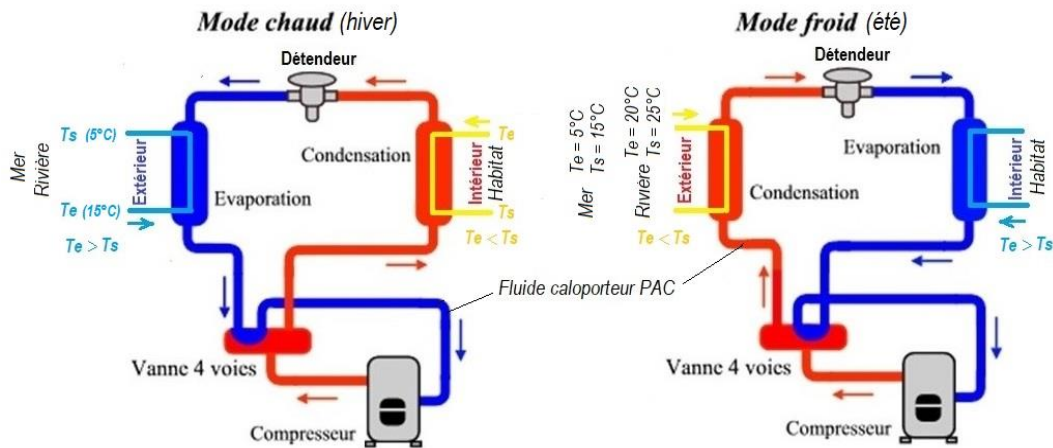
Les deux figures qui suivent montrent comment il est possible d'inverser les flux thermiques en inversant le débit au niveau du compresseur de telle sorte que le système puisse générer à volonté du chaud lorsqu'il fait froid ou du froid lorsqu'il fait chaud. L'inversion du débit peut se faire en changeant le sens de rotation du compresseur ou en rajoutant une vanne 4 voies sur le circuit.

Que l'on soit en chauffage ou en climatisation, la quantité de chaleur émise par le fluide caloporteur (flèche sortante) est égale à la quantité de chaleur qu'il reçoit (flèches entrantes). On observe que l'on passe d'un mode de fonctionnement à l'autre en inversant le sens de rotation du compresseur.



La qualité d'une chaîne énergétique se mesure comme étant sa faculté de satisfaire au mieux le besoin. Le besoin étant pour la chaîne de gauche la quantité de chaleur émise dans le condenseur (4) en regard de l'énergie électrique consommée égale à 1 (COP = 4).

Quant à la performance de la chaîne de droite, elle s'évalue comme étant le froid émis par le fluide caloporteur dans l'évaporateur en regard de l'énergie électrique consommée égale à 1 (COP = 3).



Ici l'on passe d'un mode de fonctionnement à l'autre en rajoutant une vanne 4 voies sur le circuit

Le réchauffement climatique est à notre porte et plutôt que de compliquer ainsi le circuit nous pourrions aussi utiliser le fait que par forte chaleur, en période estivale, notre peau soumise au flux d'air d'un ventilateur ressent une sensation de fraîcheur bien agréable en raison du froid généré par l'évaporation de l'eau. Heureusement d'ailleurs car les dispositifs de climatisation actuels assurant les échanges thermiques sur l'air sont irrecevables en ville. D'une part, ils ne sont pas très esthétiques et l'Etat français qui s'inquiète selon BATACTU du bruit généré par ce type de pompes à chaleur et des conflits de voisinage que cela engendre en ville en raison de la proximité des appartements ferait bien d'explorer la mise en œuvre des pompes à chaleur échangeant sur l'eau qui sont silencieuses et qui ont de meilleures performances. Plus grave, ces climatiseurs air-air réversibles, rejettent dans l'environnement extérieure du chaud lorsqu'il fait chaud afin d'assurer le confort à l'intérieur des bâtiments. Une solution difficile à généraliser en ville en été alors que l'atmosphère est déjà surchauffée et que la climatisation augmenterait encore la surchauffe de l'air ambiant extérieur.

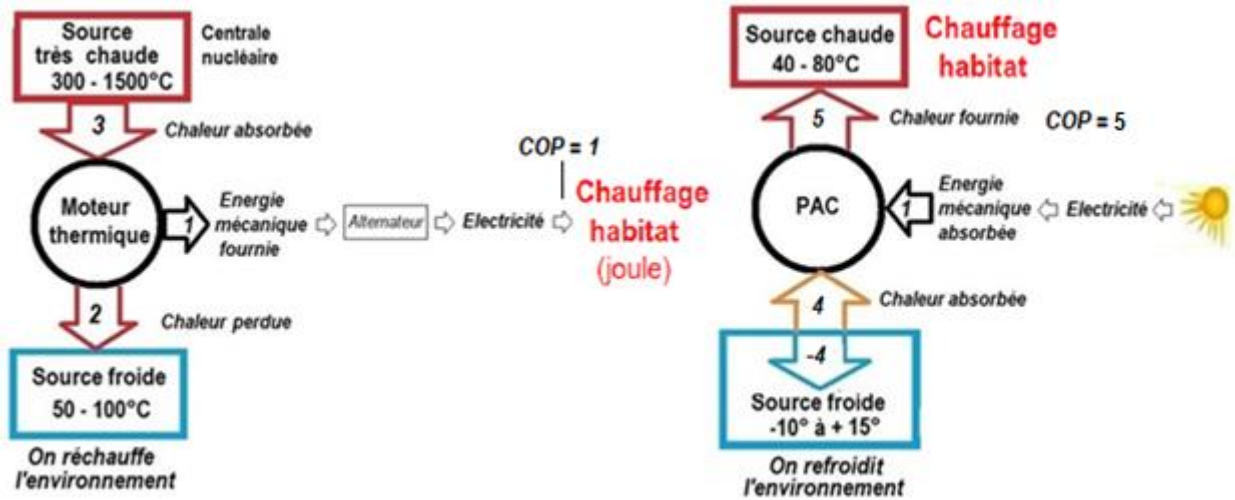
Espérer être sobre en concentrant uniquement nos efforts sur la qualité de l'isolation des bâtiments n'est pas suffisant. Certes, [la guerre entre les isolants épais et les isolants minces](#) est maintenant résolue et le $R=6,2$ des isolants minces modernes reconnu, mais un gain de 30 % sur la consommation résultant de l'isolation sommaire des bâtiments construits après la deuxième guerre mondiale n'est pas à l'échelle du besoin. Le prix des énergies ne va pas maintenant cesser de flamber dans les années qui viennent et il est probable que nous n'aurons pas le temps dans les 10 prochaines années d'assurer la transition vers la « *Solar Water Economy* » qui échange avec plus d'efficacité l'énergie thermique avec l'eau qu'avec l'air et qui restitue en été dans les nappes captives profondes les calories qui y sont prélevées en hiver.

L'argile

Au travers de ce qui précède, il est important de faire une remarque concernant le retrait-gonflement des sous-sol argileux influencé par leur teneur en eau et qui concernerait environ un cinquième du sous-sol de l'hexagone. Pendant la période hivernale pluvieuse du mois de décembre la teneur en eau augmente et le sous-sol se dilate, inversement pendant l'été plus sec l'argile se rétracte. Ces mouvements de retrait-gonflement de terrain qui endommagent l'habitat seraient à l'origine de 20 % des arrêts de catastrophe naturelle et du montant que paye les assurances pour assurer la rénovation de l'habitat.

Le chauffage de l'habitat aujourd'hui et demain

Les figures ci-dessous montrent à gauche comment l'on chauffe l'habitat *aujourd'hui* et à droite comment l'on pourrait le chauffer *demain* en passant d'une mauvaise à une bonne chaîne énergétique.



Aujourd'hui

Les performances de la chaîne énergétique associée aux centrales nucléaires passant par le moteur thermique pour assurer le chauffage et la climatisation de l'habitat est à l'évidence longue, coûteuse et déplorable en termes de performance.

Demain ?

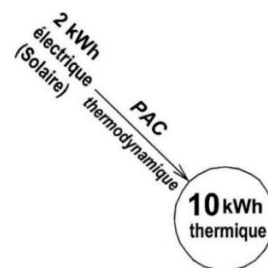
Pour une même quantité d'énergie électrique, la pompe à chaleur (PAC) produit à minima 5 fois plus de chaleur si l'on prélève l'énergie thermique renouvelable dans l'eau et non dans l'air. On conçoit, en observant la figure de gauche, l'absurdité en termes de performances du chauffage par effet Joule avec son COP de 1.

On va maintenant étudier plus en détail la chaîne énergétique de droite, celle que les lutins thermiques qualifient de très bonne.



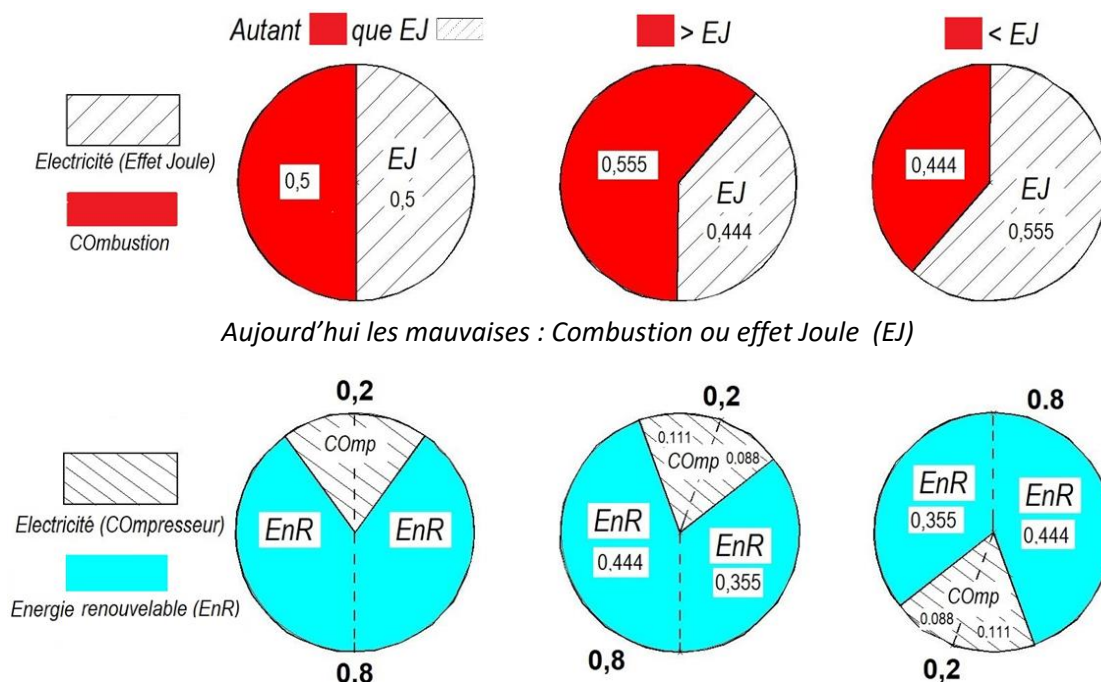
La très bonne

Alors qu'il faut, on vient de le voir, 10 kWh électrique avec les chaînes énergétiques actuelles basées sur l'effet joule et leur COP de 1 pour fournir 10 kWh thermique, on va maintenant observer comment, en prenant en compte les lois de la thermodynamique, on obtient ces 10 kWh thermiques avec seulement 2 kWh électriques comme source d'énergie extérieure. Ceci dans le cadre d'un système type pompe à chaleur avec un fluide caloporteur qui transfère l'énergie thermique contenue dans l'eau vers l'habitat. La consommation en énergie électrique pour satisfaire le besoin thermique assurant le chauffage de l'habitat est ainsi totalement bouleversée par le fait qu'avec la pompe à chaleur, si l'électricité consommée est convertie en chaleur c'est en complément une quantité d'énergie thermique sensiblement 4 fois plus importante que l'énergie électrique consommée qui est prélevée dans l'eau ($4 + 1 = 5$).



Malgré le gâchis énergétique que représente ces chaînes, force est de constater que le chauffage de l'habitat dans une grande métropole comme Paris est actuellement assuré par effet Joule (les radiateurs électriques), ou par la combustion des produits fossiles. Il n'est pas acceptable que des organismes tels que l'Institut National de la Statistique ou des Etudes Economiques (INSEE) passent sous silence cet état de fait. La figure qui suit aide à comprendre ce qui précède.

- La rangée supérieure montre la situation avec les chaînes énergétiques actuelles qui réchauffent l'environnement extérieur. Ceci avec une répartition 50/50 à gauche, une prédominance combustion (CO) au centre et une prédominance effet Joule (EJ) sur la droite
- La rangée inférieure montre la situation après passage au chauffage thermodynamique échangeant sur l'eau avec un COP de 5. On constate qu'il est ainsi possible d'abandonner la combustion et l'effet Joule, le besoin thermique étant assuré en prélevant l'essentiel (80 %) de l'énergie thermique dans l'environnement naturel en le refroidissant (EnR), le complément de 20% étant assuré par l'électricité.



Nota

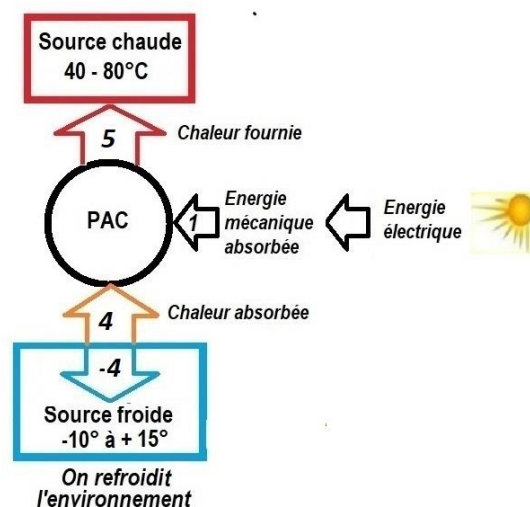
Il ne semble pas possible de trouver des statistiques quantitatives sur la part relative des deux modes de chauffage utilisés actuellement en France pour l'habitat, à savoir les radiateurs électriques à effet joule (que l'on nomme à juste titre grille-pain) et la combustion des produits fossiles. Les pourcentages 60 % combustion et 40 % chauffage électrique retenu ici sont probablement plus proches de la réalité que ceux de 50/50 évoqués dans les pages suivantes.

On comprend en observant la figure qui précède ainsi que celle qui suit comment l'on peut prélever l'énergie thermique dans l'eau et non dans l'air avec un coefficient de performance COP égal à 5 (voire mieux) au lieu de 3.

Les pompes à chaleur aquathermiques échangeant sur l'eau sont parfois réalisées dans l'individuel pour la maison mais encore inexistantes dans les immeubles et le collectif. Ces systèmes émettent autant d'énergie qu'ils en reçoivent et respectent les lois de conservation de l'énergie comme les pompes à chaleur aérothermiques échangeant sur l'air.

Leur principal avantage est le fait qu'en prélevant l'énergie dans l'eau, leurs performances (p) sont presque deux fois supérieures à celles des pompes à chaleur échangeant sur l'air. Qui plus est, elles sont silencieuses ce qui n'est pas le cas de celles échangeant avec l'air.

$$p = 5/1 = 5 \text{ (COP)}$$



Comparaison logement - transport

Concernant le logement, avec environ 250 millions de logements chauffés jour et nuit une bonne partie de l'année (5000 h) et une puissance moyenne de 25 kW par logement, l'énergie thermique dissipée est voisine de $250\,000\,000 \times 25 \times 5000 = 3\,125 \times 10^{10}$ kWh.

Concernant les transports routiers européens actuels et ses

- 25 millions de poids lourds d'une centaine de kilowatt roulant 50 % du temps (8760h/2), l'énergie thermique dissipée annuellement est de l'ordre de $25\,000\,000 \times 100 \times 4389 = 1\,095 \times 10^{10}$ kWh

- 200 millions de voitures individuelles consommant 6 litres de carburant aux 100 km (0,06 litre/km) et parcourant 30 km/jour la consommation annuelle est de :

$200\,000\,000 \times 30 \times 365 \times 0,06$ litres correspondant à une énergie thermique dissipée voisine de

$200\,000\,000 \times 30 \times 365 \times 0,06 \times 10 = 2\,190 \times 10^{10}$ kWh

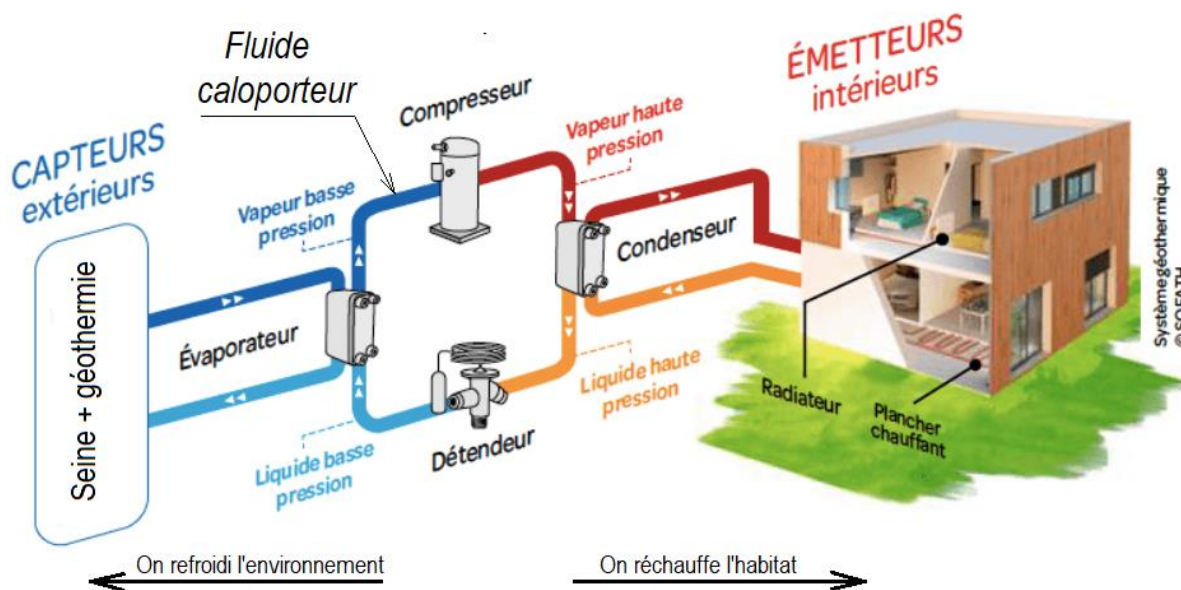
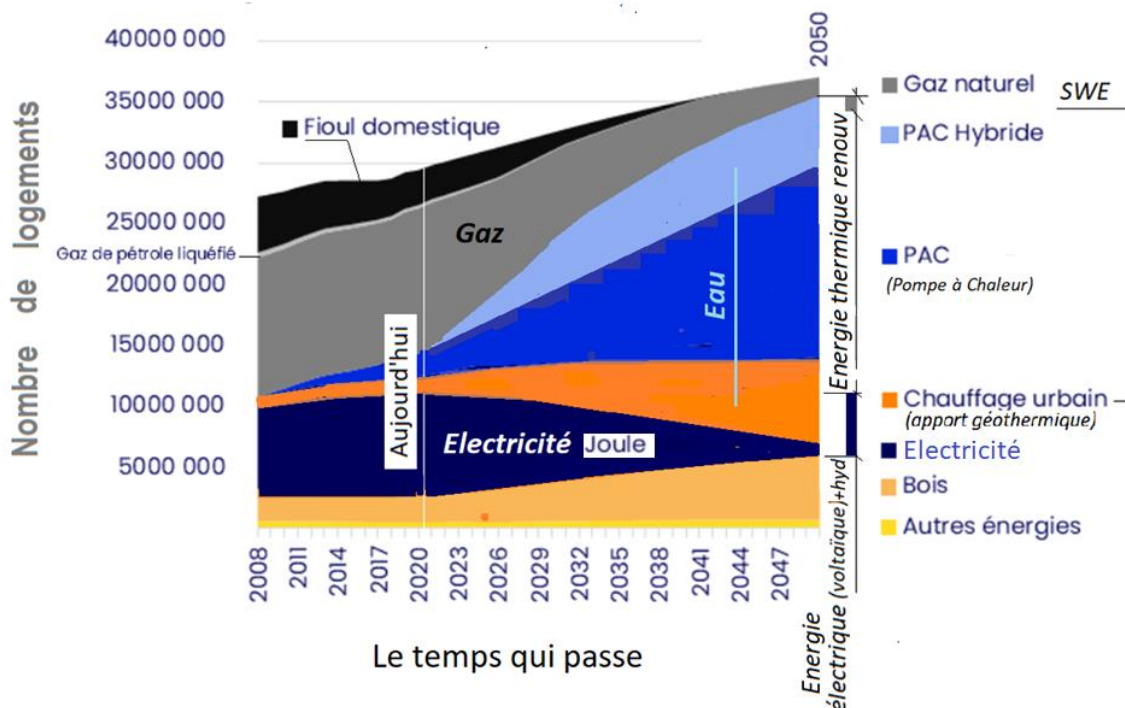
Soit une puissance thermique dissipée globale pour le transport routier de $1\,095 + 2\,190 = 3285 \times 10$ puissance 10 kWh proche de celle attribué à l'habitat.

Dans la pratique, l'énergie thermique perdue pour le logement est sensiblement supérieure vu que toute la puissance engendrée par le moteur à explosion n'est tout de même pas perdue en chaleur (seulement les 2/3).

Les chiffres ci-dessus ne sont bien sûr que des ordres de grandeur

Concernant le logement et afin de montrer l'exemple de ce qui pourrait être fait pour minimiser le réchauffement climatique, la France métropolitaine pourrait utilement s'inspirer des deux figures qui suivent pour assurer le confort thermique dans l'habitat pendant les 3 décennies à venir.

Évolution du parc de logements français par type d'énergie



Les deux figures ci-dessus résument l'essentiel de ce qu'il faut faire en région parisienne pour sortir du gâchis actuel. Homo sapiens, plutôt que de réchauffer l'air des villes pour climatiser l'habitat en été ferait mieux, pour contenir le réchauffement climatique, d'échanger sur l'eau.

Avec un débit de la Seine à Paris pendant le mois de décembre voisin de $380 \text{ m}^3/\text{s}$ ($1\,368\,000 \text{ m}^3/\text{h}$) et une température de 10°C (voir la figure au début de la page 49 et les remarques techniques de la page 5 concernant l'eau et sa chaleur spécifique), on peut calculer le potentiel en énergie thermique disponible pour un abaissement de la température de la Seine de 5°C . Il est égal à : $1\,368\,000 \times 1,17 \times 5 = 8$ millions de kW. Étant donné que la région IDF c'est environ 5 millions de logements (selon les statistiques 12 millions de personnes à raison de 2,3 individus par logement), le potentiel thermique offert par la Seine en moyenne pour chaque logement pendant le mois de décembre généralement assez froid est égal à 1,6 kW ou $1,6 \times 31 \times 24 = 1190$ kWh.

Complément technique sur les chaînes énergétiques

Sur les anciennes chaînes

La théorie, rendement $r = (T_c - T_f) / T_c$ ainsi que la connaissance du [cycle de Carnot](#), permet de se faire une idée du rapport entre l'énergie mécanique en sortie du moteur thermique et la quantité d'énergie thermique qui a été nécessaire pour produire cette énergie mécanique. On ne peut en effet évoquer le moteur thermique et la compression des gaz sans parler de l'équation des gaz parfaits et du cycle de Carnot.

Le calcul montre qu'en pratique c'est 66 % de l'énergie potentielle contenue dans le combustible qui est perdue et qui réchauffe inutilement notre environnement ! En opposition complète avec le cycle de Carnot, la théorie permet de mettre en évidence les performances du chauffage ou de la réfrigération thermodynamique. Une chaîne énergétique qui n'a rien à voir avec la précédente puisque les performances de cette chaîne énergétique s'obtiennent à partir d'une formule qui n'est autre que l'inverse de la précédente à savoir $T_c / (T_c - T_f)$.

Il s'agit cette fois d'une chaîne énergétique dans laquelle le système reçoit de l'énergie mécanique au lieu d'en émettre. Une chaîne énergétique qui, à l'inverse de la précédente voit sa performance s'améliorer lorsque la température à la source chaude T_c diminue et que la température à la source froide T_f augmente. Réussite à ce point différente de celles du moteur thermique que l'on ne parle plus de rendement mais de performance. Performance, on va le voir incomparablement supérieure au moteur thermique et à la combustion ! Ceci en permettant de produire au choix de l'énergie thermique positive (du chaud) ou négative (du froid) et en consommant sensiblement 5 fois moins d'électricité qu'avec le chauffage électrique par effet Joule. Les pays dits « développés » comme la France en ne considérant pas l'énergie thermique à sa juste valeur n'ont pas montré l'exemple de ce qu'il faut faire. Pour éclaircir la situation, il leur appartient maintenant de reconnaître qu'ils se sont trompés. Le mauvais exemple des chaînes énergétiques actuelles, qu'il s'agisse du nucléaire ou de la combustion des produits fossiles réside principalement dans le fait qu'elles passent par la case des hautes températures nécessaire au moteur thermique pour produire l'énergie électrique nécessaire à nos besoins. L'épuisement prochain de nos réserves d'énergie non renouvelables et le temps qui va être nécessaire pour modifier nos chaînes énergétiques font que l'urgence du changement est bien d'actualité.

La mairie de Béthune, barycentre de l'ancien bassin minier français du nord de la France, a gagné son pari en se déconnectant des fluctuations des cours mondiaux et en devenant indépendants sur le plan énergétique. Ce sont les 100 000 km de galeries des anciennes mines de charbon situées sur sa commune et au grisou, gaz invisible et inodore composé à 90 % de méthane qui s'y dégage, qui vont lui permettre de faire face temporairement à la crise énergétique. Une attitude courageuse par le fait que l'état, s'appuyant sur le code minier s'est désengagé en cas d'accident en estimant que ce sont les exploitants qui sont responsables.

Vu la dangerosité du grisou, on comprend que les maires des communes avoisinant Béthune restent en retrait. Mais on a du mal à comprendre la passivité des maires contrôlant nos 35 000 communes françaises vu qu'elles se situent souvent près d'une rivière et de son potentiel énergétique thermique qui présente l'avantage de ne pas être dangereux.

Nous allons maintenant aborder une chaîne énergétique similaire à celle de la page 24 qui présente l'avantage de ne pas passer par les hautes températures et le moteur thermique mais cette fois en prélevant l'énergie thermique sur l'eau et non sur l'air. Ceci avec un coefficient de performance COP égal à 5 (voire un peu mieux) au lieu de 3. L'amélioration des performances étant liée aux températures des sources chaudes (T_c) et froides (T_f) plus proches l'une de l'autre comme cela est prouvé par le calcul page 76 et 77 du livre « [La chaleur renouvelable et la rivière](#) » édité par la société des écrivains.

Sur les nouvelles chaînes

Le dimensionnement d'une pompe à chaleur à compresseur est relativement complexe, même si l'on connaît les déperditions de la maison ou de l'immeuble ce qui est le cas d'une modernisation. Il faut mettre en évidence :

1) Le volume du circuit d'eau chaude

Celui de l'installation existante n'est pas nécessairement adapté à la nouvelle chaîne énergétique. Pour les anciennes PAC type « tout ou rien », la recommandation était de prendre environ 50 litres/kW (soit 750 litres pour une PAC de 15 kW ou 7,5 m³ pour 150 kW). Avec les PAC nouvelle génération type « inverter » et débit du fluide caloporteur variable, il existerait une norme technique spécifiant que 14 litres/kW est largement suffisant (soit un volume de ballon tampon limité à environ 200 litres pour une PAC de 15 kW et environ 2 m³ pour 150 kW).

2) Le débit maximum du fluide caloporteur dans la PAC

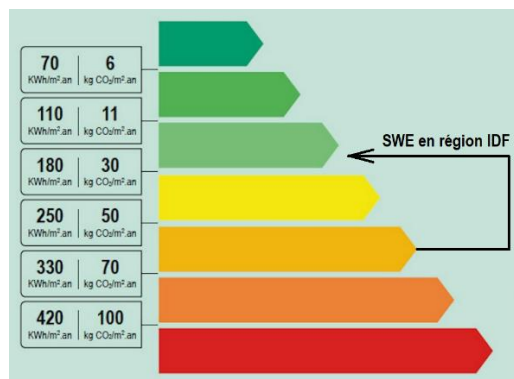
Ce débit Q est fonction de la puissance thermique maximum P_{max} que devra délivrer la pompe à chaleur en kW ainsi que de l'enthalpie E en kilojoules par kilo (kJ/kg) du fluide caloporteur. On a $Q = P_{max} / E$. Si l'on utilise un fluide caloporteur HFO 1234ze ayant une l'enthalpie de 290 kJ/kg alors que la puissance thermique maximum requise est de 150 kW le débit de fluide caloporteur utile est égal à :
 $Q = 150 / 290 = 0,517$ kg/s. On observe l'homogénéité de la formule dans la mesure où 1 kW correspond à 1 kilojoule par seconde (des kJ/s que divise des kJ/kg donne bien des kg/s).

3) La masse de fluide caloporteur en circulation dans la PAC

Maintenant que l'on a une notion du débit requis pour le fluide caloporteur on conçoit que la masse m utile de fluide caloporteur dans le circuit fermé de la pompe à chaleur est fonction du temps de cycle T mis par le fluide caloporteur pour faire boucler son cycle répétitif compression à l'état gazeux, condensation détente. Ce temps de cycle, fonction du débit et du volume caloporteur, est laissé actuellement à l'appréciation du constructeur de la pompe à chaleur. Il semble important de veiller au temps de transfert de l'énergie thermique. D'après certains constructeurs, ce temps ne devrait pas être inférieur à 6 minutes pour les PAC de petite taille. Si l'on décide de prévoir le même temps de cycle pour la PAC de 150 kW, la masse de fluide caloporteur sera égale à $m = Q \times T = 0,517 \times 360 = 180$ kg.

On conçoit au travers de ces calculs que l'installation d'une PAC est complexe, demande du sérieux, du temps et des compétences ainsi qu'une connaissance de l'équation des gaz parfaits. Pour votre installation vous devrez faire appel à un professionnel maîtrisant les métiers de chauffagiste, thermicien, frigoriste et électricien, disposant de qualifications reconnues et de références, proposant uniquement du matériel performant et robuste ayant la certification « NF PAC », un matériel provenant de fabricants d'échangeurs de température issus nativement du monde du chauffage (meilleures régulations) et non du « froid » ou de la climatisation, et surtout ayant des compétences en régulation. Faute de quoi, des conseils erronés seront graves de conséquences, notamment financières (réparation et surconsommation d'énergie). Le dimensionnement d'une pompe à chaleur exige des connaissances différentes de celles nécessaires à la mise en œuvre d'une « petite » chaudière gaz murale.

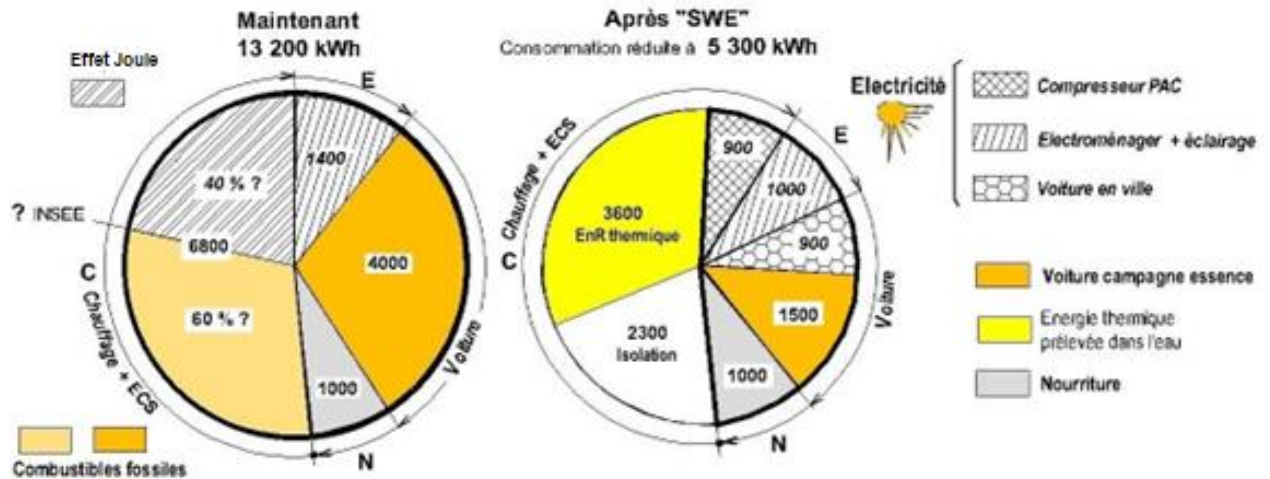
Une fois résolu l'approvisionnement en fluide caloporteur, la figure ci-contre donne une idée du gain en consommation d'énergie non renouvelable qui pourrait être obtenu dans l'habitat en région parisienne sans toucher à l'isolation en passant aux actes pour les 5 millions de logements qualifiés de passoires thermiques comme cela est évoqué ci-après.



- 23 Passage à l'acte en région IDF ?

On retrouve sur la gauche la consommation moyenne annuelle actuelle en énergie d'un parisien comme indiqué au début de ce chapitre. Sur la droite, ce que pourrait être cette consommation avec une isolation raisonnable et la *Solar Water Economy* (SWE). Ceci en adoptant :

- un chauffage thermodynamique échangeant sur l'eau avec un COP de 5,
- une motorisation hybride rechargeable pour la voiture. Ceci avec un véhicule qui roulerait en mode électrique pour tous les petits déplacements en région parisienne et en mode conventionnel essence ou éventuellement diesel pour les plus grands déplacements vers la province, par exemple pendant les vacances.



La "SWE" est la vision de ce que pourrait être une transition énergétique allant dans le sens de l'abandon de nos chaînes énergétiques actuelles à savoir :

- la combustion des produits fossiles et l'effet Joule devenues obsolètes en raison de leurs piètres performances pour l'énergie thermique et le chauffage de l'habitat.
- le passage à l'énergie électrique pour la voiture afin de satisfaire ses besoins en énergie mécanique.

La partie gauche de la figure montre comment l'on satisfait nos besoins en énergie actuellement et la partie droite comment ce besoin en énergie serait satisfait avec le concept énergétique SWE. Un concept dans lequel l'eau occupe une position centrale par le fait que son utilisation au lieu de l'air minimise le besoin en électricité pour le premier poste permettant de satisfaire le besoin pour le 2^{ème}.

Si nous procédons sans trop attendre, nous pouvons mettre en place ce nouveau concept sans remettre trop gravement en cause notre modèle économique. Ces deux nouvelles chaînes énergétiques nous permettraient de préserver nos ressources grâce à l'eau et au soleil en consommant nettement moins d'énergie qu'actuellement. On va voir comment, après mise en place de ces nouvelles chaînes énergétiques, on assure le confort du citoyen français avec une consommation en énergie qui peut devenir égale à 5300 kWh au lieu des 13 200 kWh actuels. Ceci moyennant un effort abordable pour l'isolation de l'existant (33 %) avec des consommations pour chaque poste se répartissant ainsi :

C La zone jaune représente le chauffage : 3 600 kWh d'énergie thermique gratuite prélevée dans l'environnement (dans l'eau*) + 900 kWh électrique = 4500 kWh avec un COP de 5

V La nouvelle consommation pour la voiture. Ceci avec la voiture hybride rechargeable. La zone colorée rouge pendant les vacances (1 500 kWh de produits fossiles) et la zone avec figures hexagonales correspondant à la circulation en ville en mode électrique (900 kWh)

E Le chiffre de 1000 kWh la nouvelle consommation correspond à l'électroménager et à l'éclairage (environ -30%)

N La couleur grise, 1 000 kWh inchangés représentant l'énergie contenue dans la nourriture produite localement**

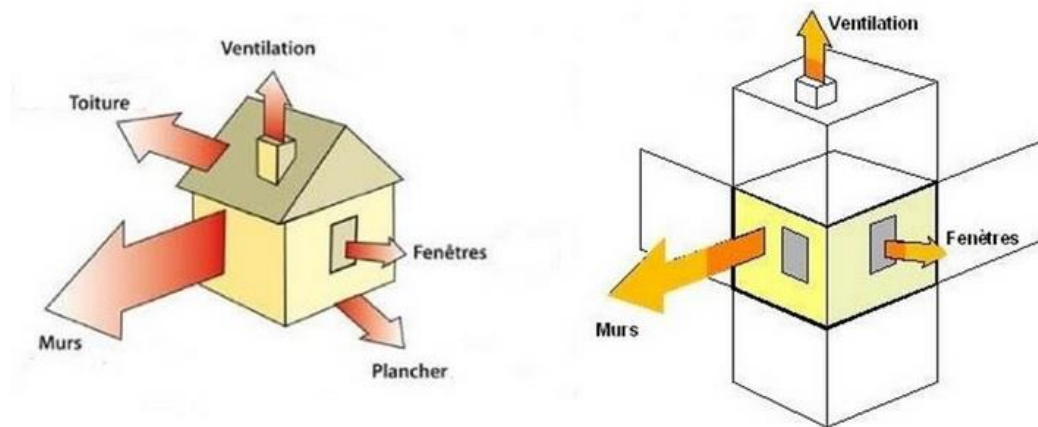
Selon l'OCDE, les pertes c'est aussi le transport de la nourriture avec ses déchets plastiques et le triplement de leur quantité d'ici 2060

* La différence entre la température intérieure de notre corps et celle de notre environnement est très importante, ce qui condamne dans la pratique l'utilisation de l'air comme véhicule thermique pour assurer notre confort en ville. Le chauffage et la climatisation thermodynamique conduit en effet à refroidir notre environnement extérieur en hiver et à le réchauffer en été. A ce sujet, si le chauffage thermodynamique refroidit en hiver l'air extérieur dans les villes de 4 ou 5 °C alors qu'il fait - 10 °C dehors pour assurer le confort de ceux qui sont à l'intérieur de leur maison cela ne va pas affecter dangereusement ceux qui sont à l'extérieur. Par contre s'il fait en été 45 °C dehors et qu'il faut augmenter la température extérieure de 5 degrés pour assurer le confort thermique de ceux qui sont à l'intérieur, on comprend qu'il en est tout autrement. En d'autres termes, on conçoit que pour satisfaire autant ceux qui sont dehors que ceux qui sont dedans, il est irrecevable d'espérer généraliser en ville les échanges thermiques avec l'air pour assurer la climatisation des logements.

** Ceci dit la tendance vers le toujours plus, associée aux transports maritimes internationaux de la nourriture par porte-conteneurs est bien là, avec le risque de voir le poste V flamber. C'est surtout ce que l'on appelle la résistance de vague du paquebot qui est source de consommation énergétique. La clé USB permet de comprendre comment des kayakistes ont trouvé [comment supprimer cette résistance de vague](#), ce qui permet d'augmenter la vitesse sans consommer plus d'énergie.

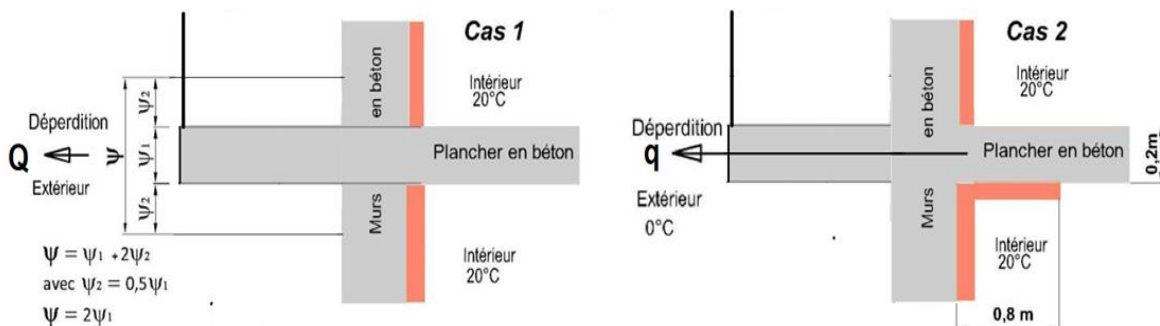
Déperditions

On est peut-être éloigné des normes de la RE2020 mais nous sommes ici dans la reconversion de l'existant et non dans le neuf. L'effort de 2300 kWh demandé par la SWE en ce qui concerne l'isolation n'est de ce fait pas insurmontable. On ne va tout de même pas démolir tout l'existant pour respecter des normes. Particulièrement pour les maisons qui sont par nature plus consommatrices d'énergie que les immeubles.



Ces deux figures parlent d'elles-mêmes en ce qui concerne l'importance relative des pertes thermiques.

Les immeubles anciens mal isolés et parfois équipés de balcons sont bien pénalisés en ce qui concerne les déperditions. Dans ce cas une solution est envisageable avec une isolation par l'intérieur, mais seulement avec un engagement des parties privatives et l'utilisation d'isolants minces pour ne pas réduire la surface habitable. La figure ci-dessous montre l'emplacement de l'isolant mince. Le cas 2 diminue les déperditions par rapport au cas 1 sans trop affecter l'esthétique du plafond.



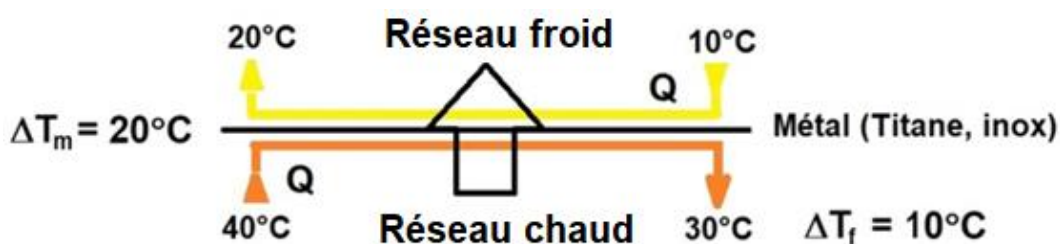
Le lecteur intéressé par les déperditions dans le bâtiment peut se reporter utilement à :

<http://infoenergie.eu/riv+ener/isolation-generalites.htm>

Flux thermique sans mélange physique

Il est possible avec les échangeurs à plaques métalliques d'assurer des transferts thermiques importants sans mélange physique entre l'eau chaude et l'eau froide. La quantité de chaleur émise par le réseau chaud est égale à la quantité de chaleur reçue par le milieu froid. Si les débits sur les circuits chaud et froid sont identiques, la chute de température sur le milieu chaud est égale à l'augmentation de température sur le milieu froid. On verra par la suite que les débits des 2 réseaux peuvent être différents ainsi que la différence de température de part et d'autre de la plaque métallique entre l'entrée et la sortie. Il est possible, en étudiant cette figure de commencer à extrapoler ce qui va être dit dans les pages suivantes. Ceci en considérant que le réseau chaud est celui de l'eau géothermale profonde des nappes captives alors que le réseau froid est celui alimentant l'évaporateur des pompes à chaleur.

On constate avec ce circuit hydraulique que les 2 potentiels thermiques, géothermique et superficiel s'additionnent sans qu'il y ait le moindre mélange physique entre les deux écosystèmes lors des transferts thermiques. On comprend alors l'importance du sous-sol parisien en ce qui concerne la production d'énergie thermique.



Le milieu froid reçoit une puissance thermique venant du milieu chaud. Compte tenu de la chaleur massique de l'eau évoquée page 37 cette puissance est sensiblement égale à :

$$P \text{ en kW} \cong Q \text{ (débit en m}^3\text{/h)} \times \Delta T_f \text{ en degré centigrade} = 10 Q$$

Cette puissance traverse la paroi métallique avec un écart de température ΔT_m de 20 °C, la surface d'échange étant calculée par le constructeur de l'échangeur de température. A noter que l'écart de température n'est pas nécessairement constant le long des plaques (voir pour cela la suite de ce chapitre ainsi que le complément concernant les échangeurs à plaques avec les transferts thermiques envisageables selon la nature du métal et son épaisseur).

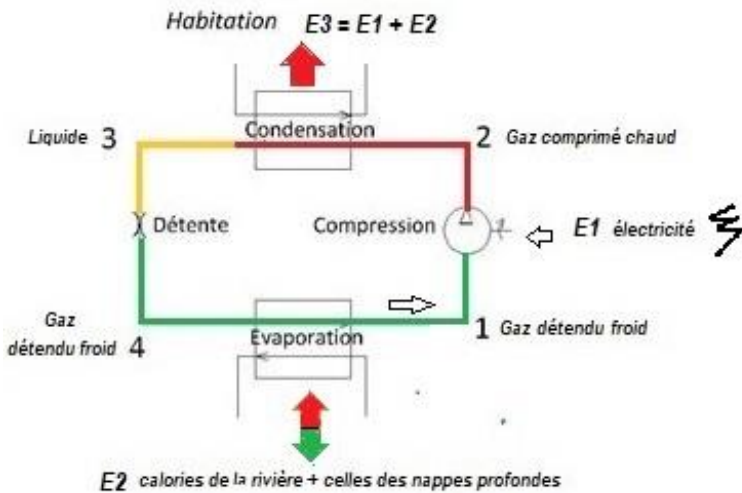
Transferts thermiques dans une pompe à chaleur

Nous allons maintenant commencer à évoquer plus en détail comment le chauffage thermodynamique de l'habitat va permettre d'assurer notre confort thermique en limitant la quantité d'énergie finale nécessaire pour assurer cette fonction. Alors que seulement 2 kWh thermiques pouvaient être obtenus à partir de 2 kWh électriques dans le cas des radiateurs électriques, c'est sensiblement 10 kWh thermiques qui seront disponibles avec le chauffage thermodynamique, la différence 8 kWh étant prélevée dans l'environnement en le refroidissant. On a vu précédemment qu'il faut 10 kWh électriques (correspondant à 1 litre de fioul ou 1 m³ de gaz) avec les chaînes énergétiques actuelles et leur COP de 1 pour fournir 10 kWh thermiques. Ceci alors que 2 kWh électriques sont suffisants pour fournir la même quantité de chaleur 10 kWh thermique avec le COP égal à 5 du chauffage thermodynamique. La consommation en énergie pour satisfaire le besoin thermique assurant la climatisation de l'habitat est totalement bouleversée par rapport à celle constatée avec la combustion ou le chauffage électrique par effet Joule. Cela particulièrement lorsque les échanges thermiques prélevant l'énergie thermique renouvelable se font sur l'eau.

On va voir par la suite, en prenant en compte des 1^{ère} et 2^{ème} loi de la thermodynamique comment on obtient les 10 kWh thermiques avec seulement 2 kWh électriques comme source d'énergie extérieure dans le cadre d'un système fermé (type pompe à chaleur avec un fluide caloporteur) qui échange de l'énergie thermique mais pas de la matière.

Il n'y a pas de miracle dans le fonctionnement d'une pompe à chaleur dans la mesure où elle respecte les lois de conservation de l'énergie. Il est important de comprendre que l'énergie thermique E3 émise sous forme de chaleur dans le condenseur par le fluide caloporteur est égale à la somme des énergies qu'il reçoit, à savoir :

- celle E2 de l'environnement lorsqu'il le refroidit dans l'évaporateur
- celle E1 lors de la phase compression.

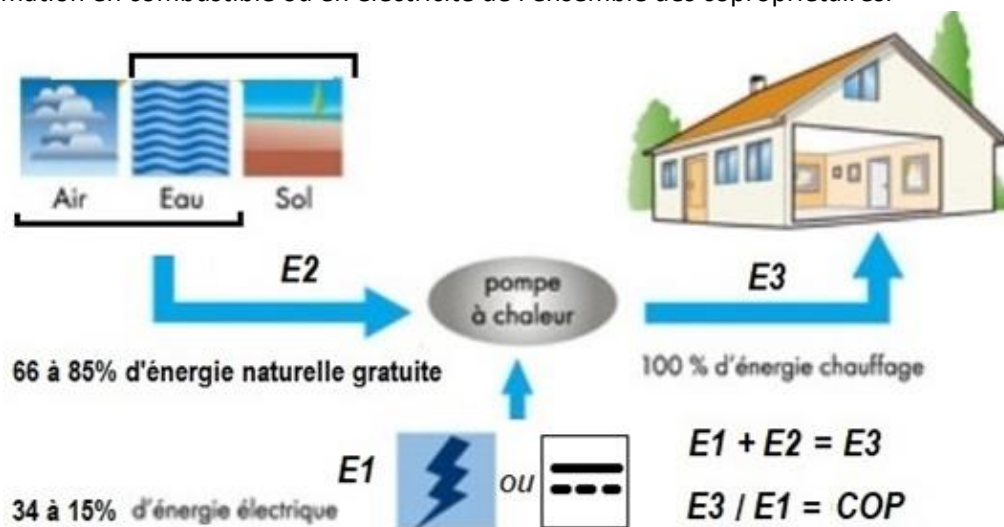


Coefficient de performance

$$COP = E3/E1$$

Pour augmenter E3/E1 c'est-à-dire les performances, on a intérêt à baisser la température dans les radiateurs hydrauliques comme cela a été prouvé précédemment

On comprend grâce à la figure qui suit et complémentaire de la précédente que l'énergie prélevée dans l'environnement par l'évaporateur peut être associée à l'air, à l'eau, ou au sol. La maison peut être remplacée par un immeuble avec bien évidemment un niveau de puissance plus important en fonction de la consommation en combustible ou en électricité de l'ensemble des copropriétaires.



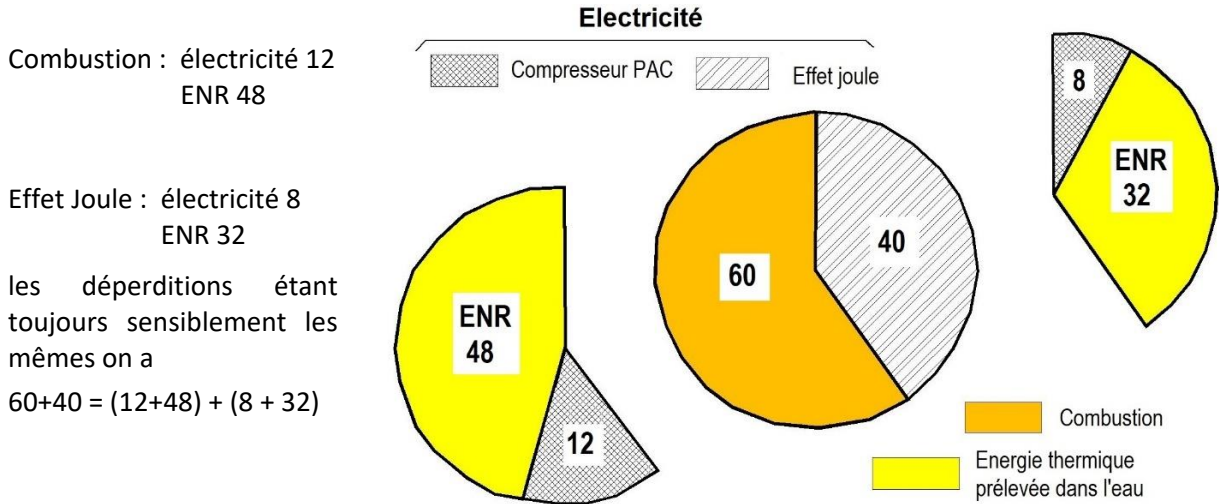
La transition vers ces nouvelles chaînes énergétiques sera laborieuse. En dehors des villes, [les échanges sur l'air dans l'individuel](#) pourraient être une alternative à la combustion des pellets et du bois évoqué page 29 lorsque la maison se trouve à la campagne voire en montagne. Plutôt que d'échanger sur l'air, un chauffage thermodynamique échangeant avec l'eau d'une nappe libre avec un COP de 5 demande certes du savoir-faire mais semble relativement facile à obtenir lorsque l'habitation se trouve en plaine près d'une rivière. Au travers du lien ci-dessus on constate que sans trop toucher à l'isolation de la maison on supprime la consommation d'énergie fossile avec une consommation électrique globale faible par rapport à ce qu'elle est avec l'effet Joule.

Consommation dans l'habitat sans et avec voiture

Il ne semble pas possible de trouver des statistiques quantitatives sur la part relative des deux modes de chauffage utilisés actuellement en France pour l'habitat, à savoir les radiateurs électriques à effet Joule (que l'on nomme à juste titre les grille-pain) et la combustion des produits fossiles. Les pourcentages 60 % combustion et 40 % chauffage électrique retenu ici et à la page 22 sont probablement plus proches de la réalité que celui de 50/50 parfois évoqué dans ce livre.

Sans la voiture

Avec un COP de 5, la combustion 60 et les radiateurs électriques 40 (effet Joule) soit un total de 100 deviennent respectivement les suivantes :

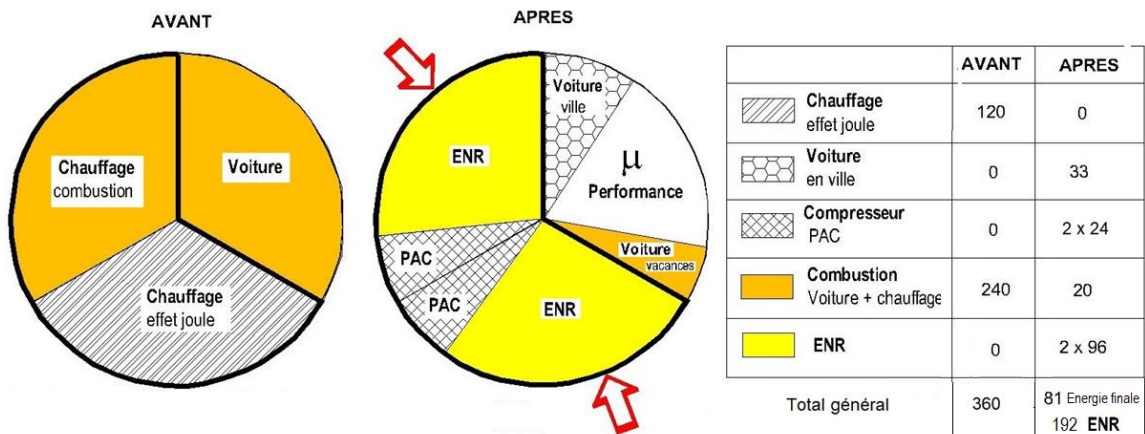


Avec la voiture

La figure qui suit est une projection de ce que pourrait être notre nouvelle consommation globale en énergie pour assurer les deux fonctions les plus énergivores du ménage : le chauffage de l'habitat et la voiture. Ceci avec :

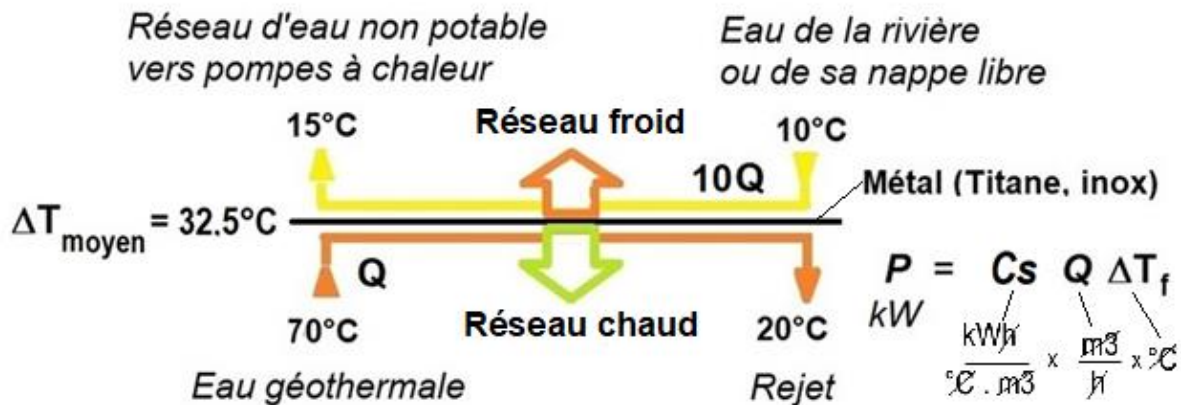
- Un chauffage thermodynamique ayant un COP de 5 et une répartition 50/50 au lieu de 60/40 en ce qui concerne la répartition combustion-effet Joule
- Une consommation d'essence par la voiture avant conversion sensiblement égale au volume de fioul assurant le chauffage et une nouvelle consommation de la voiture conforme à celle définie précédemment avec la voiture hybride.

On observe que la consommation globale en produits fossiles est cette fois 12 fois plus faible (240 à 20) et la consommation en électricité réduite de 32 % (120 à 81).



Addition des potentiels superficiel et géothermale

On aborde ici un point important : prendre conscience comment il est possible, grâce aux échangeurs à plaques, d'additionner le potentiel thermique des énergies géothermales profondes avec celui des eaux superficielles (respectivement le dogger et la Seine pour ce qui concerne la région parisienne). Le débit dans chacun de ces deux réseaux sont cette fois nettement différents contrairement à ce que l'on a vu précédemment. La différence de température de part et d'autre des plaques métalliques n'étant pas constante, il faudra toute l'expérience de fabricants tels qu'Alfa Laval pour évaluer les performances avec plus de précision que cela n'est fait ci-après. Prélever l'énergie thermique naturelle dans l'eau non potable est plus performant et plus silencieux que dans l'air. Un autre avantage est celui de pouvoir restituer en été la chaleur qui a été prélevée dans le milieu naturel profond en hiver. Ceci sans réchauffer dangereusement en été l'atmosphère des villes comme cela est le cas lorsque l'on échange les calories sur l'air.

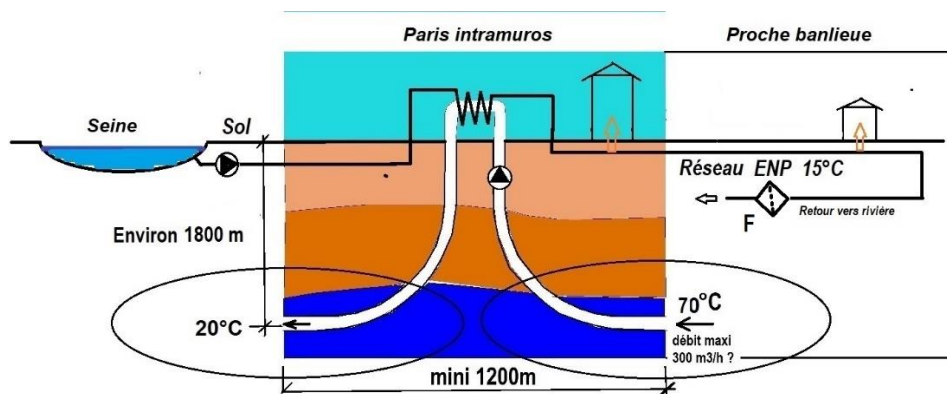


Nota technique

Chaleur spécifique C_s de l'eau : 1,16 kWh/degre et par m^3 ou 4,18 Joules/kg et degre C.

Conservation de l'énergie $10 Q \times 5 = Q \times 50$

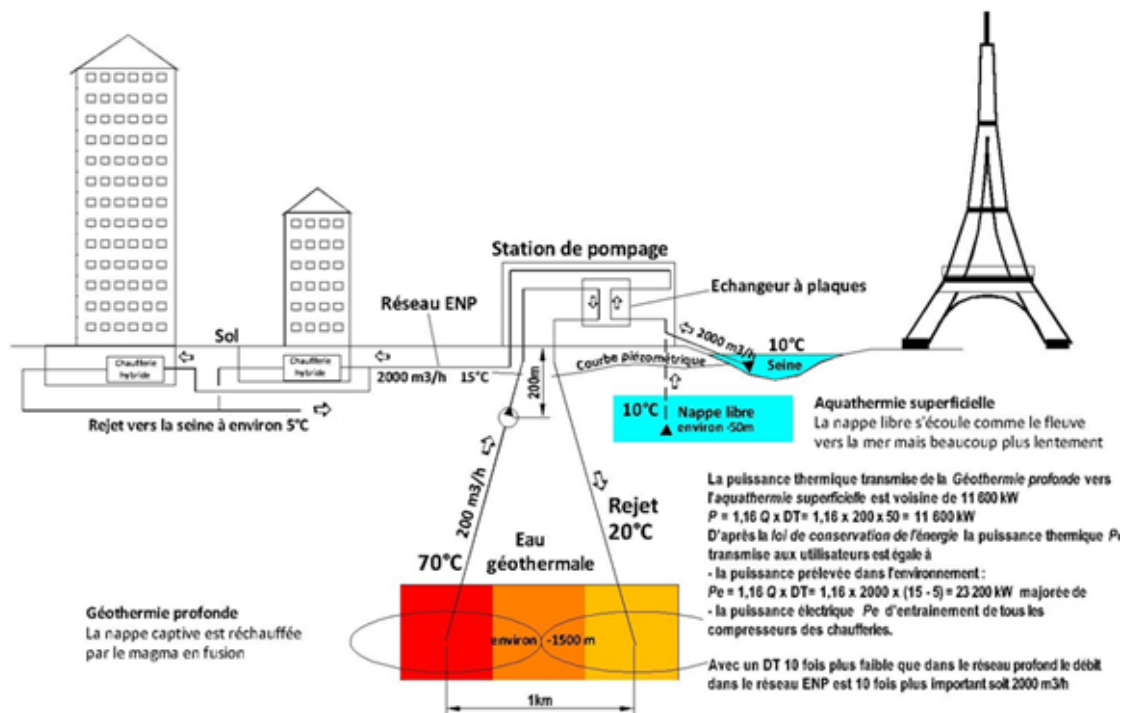
L'association géothermie-aquathermie ainsi réalisée grâce aux échangeurs à plaques on comprend grâce aux 2 figures qui suivent, quelle pourrait être la disposition générale d'un tel réseau dans les différents arrondissements de Paris et des communes limitrophes comme Boulogne Billancourt.



Le dogger en région parisienne, c'est un gradient géothermique d'environ 3 degrés par 100 m. L'expérience acquise aux USA avec les forages type gaz de schiste serait bien utile

Il appartient au thermicien de faire en sorte que les échanges thermiques se fasse dans les échangeurs à plaques et non entre les tuyaux





On retrouve sur les figures ci-dessus le transfert d'énergie thermiques entre 2 écosystèmes, celui des eaux superficielles et celui des nappes captives profondes. Grâce aux échangeurs à plaques qui permettraient d'ajouter le potentiel thermique des eaux superficielles de la Seine à celui du doublet géothermique profond, il serait possible de doubler le potentiel géothermique des réseaux profonds. Ceci diviserait par 2 le nombre de puits et réduirait les frais importants associés aux forages.

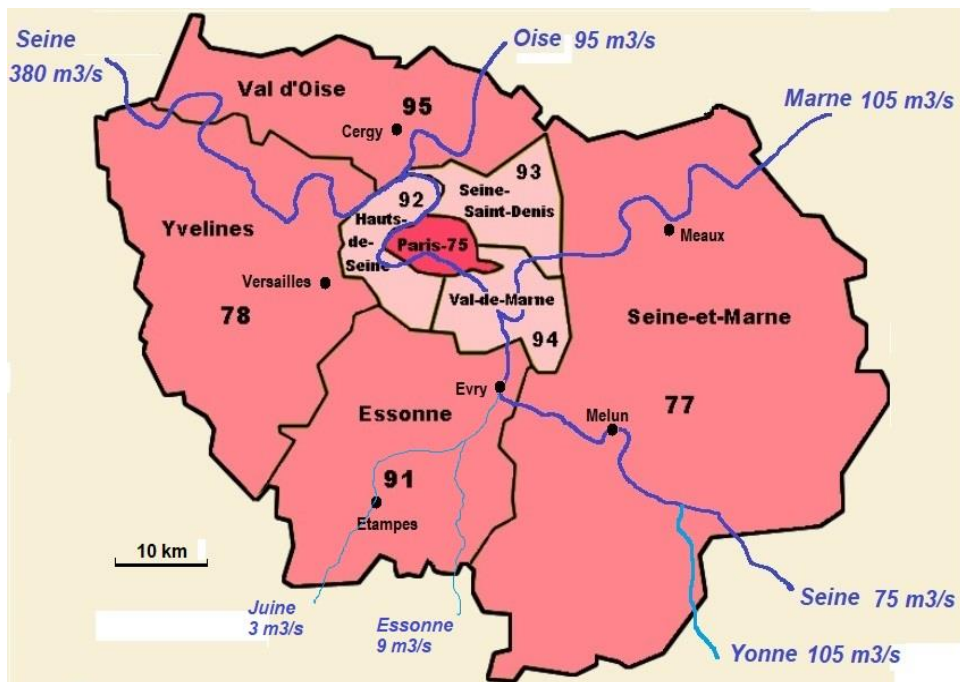
Il convient toutefois d'être prudent. Le potentiel thermique de la rivière pouvant être nul au plus froid de l'hiver, l'idéal serait de pouvoir pomper dans les nappes libres associées à la rivière au lieu de prélever l'eau dans cette dernière. Ceci ne semble malheureusement pas envisageable dans les grandes métropoles vu le manque de surface au sol. Pour cette raison, on va aborder par la suite la notion de chaufferie hybride dans laquelle le gaz peut venir au secours du chauffage thermodynamique au plus froid de l'hiver lorsque les températures des eaux géothermales et libres sont trop basses.

La confluence de l'Yonne avec la Seine, située heureusement en amont de la région IDF augmente notablement le potentiel des eaux superficielles par le fait que le débit de cet affluent est paradoxalement souvent supérieur à celui de la Seine. Le débit de l'Oise, située en aval est moins à prendre en compte pour déterminer le potentiel thermique utile à la petite couronne (départements 92 + 93 + 94).

La région IDF c'est : 8 départements, 12 millions d'habitants, 12 000 km, 1000 m² au sol par francilien.

Nota

L'Europe pourrait aussi tirer profit de l'expérience de la Suisse en ce qui concerne le chauffage collectif en ville en utilisant la combustion des ordures pour générer de l'électricité. Cette façon de se débarrasser des ordures moyennant un tri amélioré en amont est incontestablement ingénieuse. La quantité d'énergie électrique produite est malheureusement faible en regard du besoin. Elle mériterait pour cette raison d'être associée à un chauffage thermodynamique naturel tirant profit de la chaleur spécifique de l'eau en additionnant ce potentiel à celui de la rivière si l'eau géothermale des nappes captives profondes* n'est pas disponible.



Bien qu'aucun relevé ne soit semblé-t-il effectué, la figure donne une idée de ce que pourrait être actuellement les variations de la température de la Seine pendant l'année calendaire en région IDF.



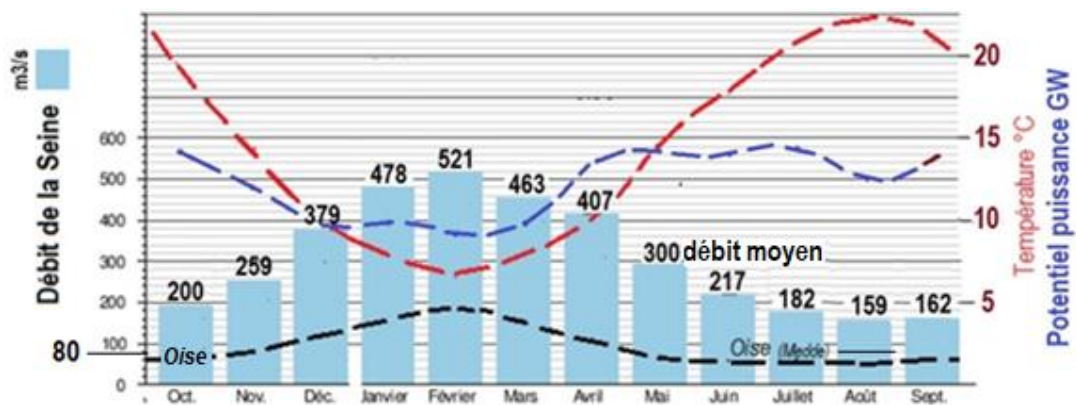
Il faut ici remercier WIKI d'avoir eu la patience d'observer comment varie le débit de la Seine pendant l'année calendaire et ceci sur plusieurs dizaines d'années. Il est cependant difficile de se procurer des informations concernant la température de la Seine à Paris et il est regrettable qu'aucun travail sérieux* n'ait été réalisé pour mesurer comment cette dernière varie en région IDF pendant l'année calendaire. Pour cette raison la courbe en bleu de la figure qui suit est approximative et légèrement changeante d'une année sur l'autre.

Le terme « aquathermique » malheureusement absent du « Larousse » serait mieux adapté que le terme "géothermique" pour qualifier l'énergie thermique prélevée en hiver et restituée en été dans les nappes captives du milieu naturel profond.

Le potentiel thermique de la Seine à Paris

Le débit de la Seine était sensiblement deux fois plus faible lors de la sécheresse exceptionnelle qui a sévit lors de l'été 2022 mais grâce à ses bassins de rétention comme la retenue de la Forêt d'Orient située en amont, un de nos plus grand fleuve a été moins sensible à cette sécheresse que les autres fleuves européens, comme la Tamise ou le Rhin.

*Ce ne sont pourtant pas les organismes qui manquent. Voir à ce sujet le chapitre 7 sur les acteurs financiers.

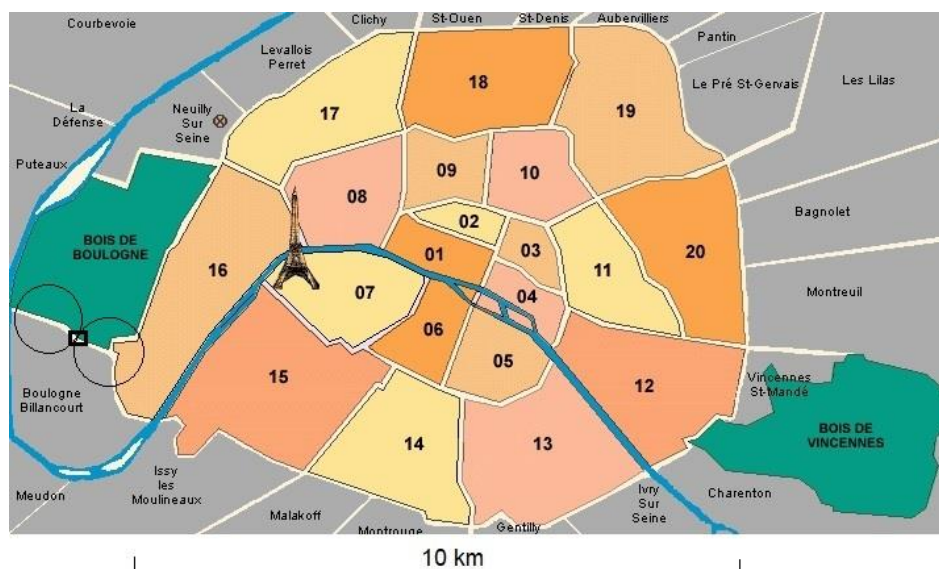


Les valeurs de débit observées en gros chiffres noirs sont, selon Wikipédia, des débits moyens sur plusieurs dizaines d'années. Ils comprennent le débit de la Marne qui se jette dans la Seine en amont de Paris (débit Oise exclus)

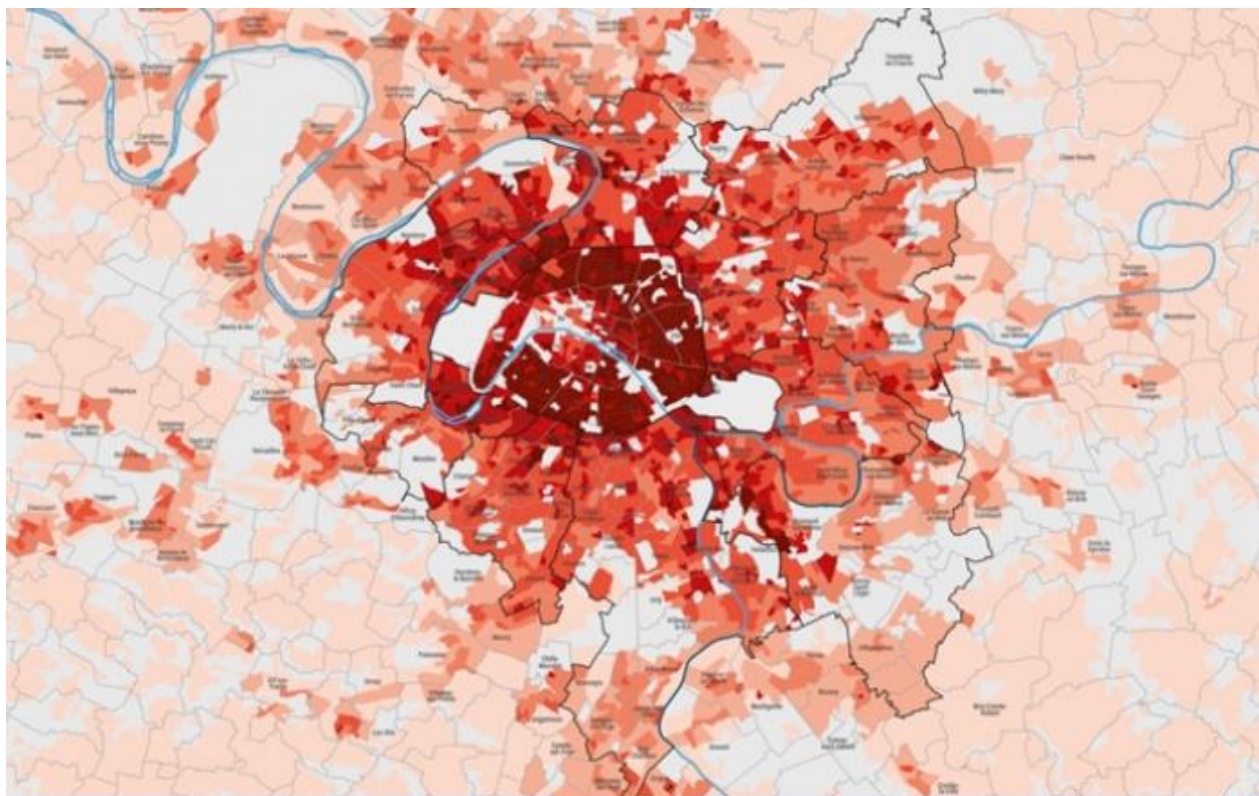
La figure ci-dessus prouve que le potentiel thermique de la Seine à Paris est considérable et proche de 10 gigawatts au plus froid de l'hiver. Il faut toutefois se rendre à l'évidence : vu la population de Paris et sa petite couronne voisine de 10 millions d'habitants cela ne fait que 1 kW disponible par parisien. Et ceci avec une température de sortie des évaporateurs de 3 °C, peut-être un peu basse. Heureusement avec le réseau envisagé dans les pages précédentes le potentiel thermique de l'eau géothermale s'ajoute à celui des eaux superficielles et il n'est peut-être pas inenvisageable de profiter aussi de l'eau des nappes libres qui est, elle, à 10 °C voire un peu plus. L'année 2022 sera en France une année exceptionnellement sèche avec un débit de la Seine début août voisin de 80 m³/s.

Paris intramuros et son environnement

Le constat est un peu effroyable, mais il faut se rendre à l'évidence : la densité de population dans Paris et sa petite couronne est considérable. Avec une densité moyenne de 20 000 habitants au km², chaque parisien ne dispose en effet que d'une surface au sol voisine de 50 m² en raison de l'empilage des appartements. Dans la partie située à l'est de Paris intramuros, la surface au sol disponible par parisien est même selon l'INSEE encore plus faible et voisine de 24 m². Il faut dire que les données de l'INSEE sont illusoire dans la mesure où les chiffres annoncés de 8 000 à 13 000 habitants/km² pour le 1^{er}, le 8^{ème} et le 16^{ème} arrondissement incorporent le bois de Boulogne et qu'à l'est c'est la même chose pour le 4^{ème} et le 12^{ème} qui incorporent le bois de Vincennes.



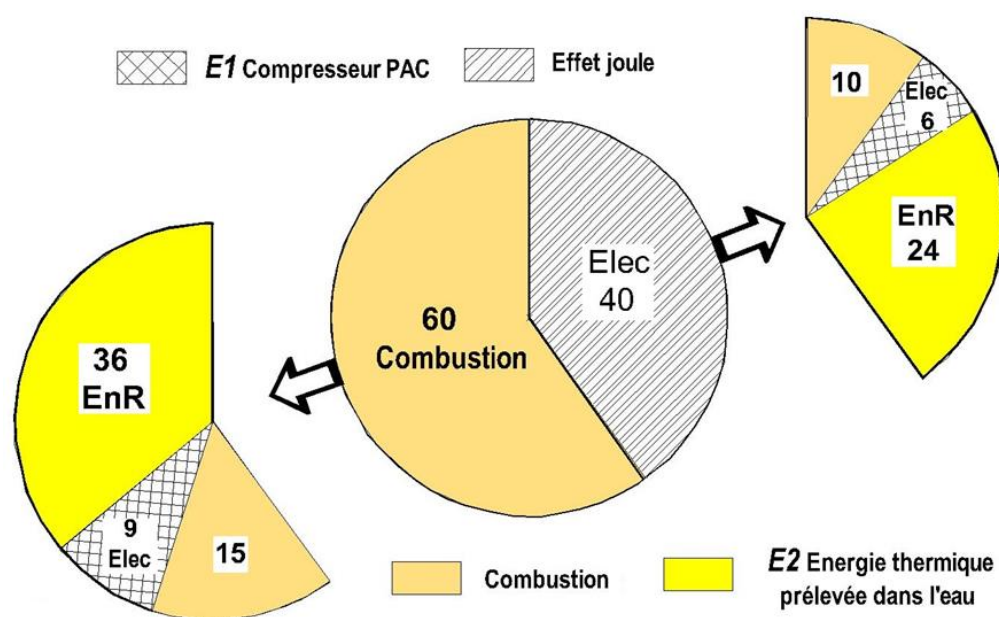
Chiffres clés : 20 arrondissements, 2 millions d'habitants, 100 km². Beaucoup de communes à l'extérieur de Paris intramuros comme Boulogne-Billancourt ont environ la même densité urbaine. Dans le cadre de la valorisation du bien public va se poser en région parisienne le problème de l'appartenance territoriale de zones telles que les bois de Boulogne et de Vincennes ou comme le terrain occupé au sommet de la butte Montmartre par un club de pétanque



Plus c'est foncé, plus la densité de population est élevée

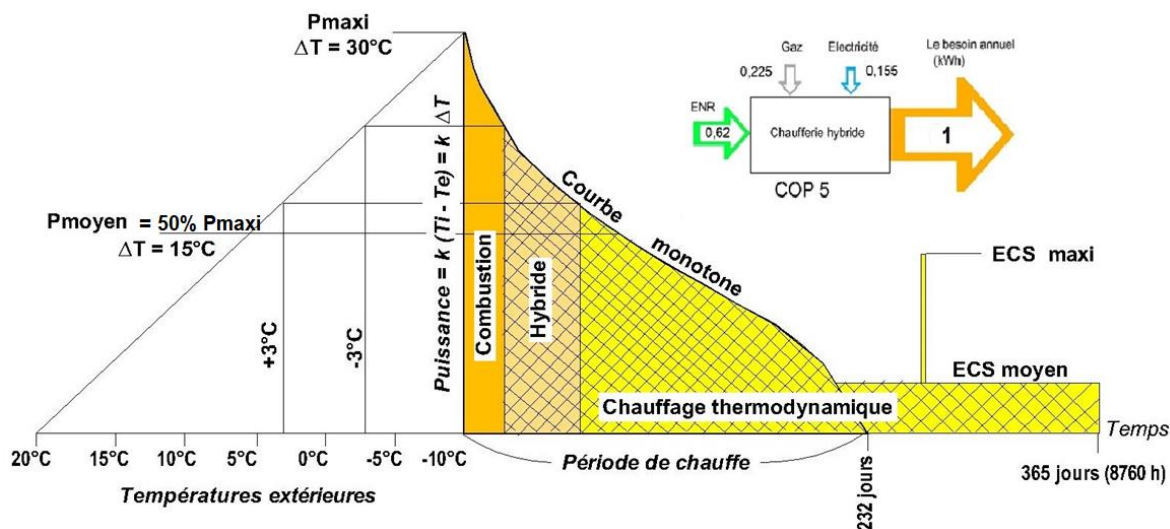
La chaufferie hybride

Le réchauffement climatique est là mais il ne faut pas perdre de vue qu'au plus froid de l'hiver la température de la Seine peut cependant descendre à environ 5 degrés, ce qui annule son potentiel thermique. Il est dans ce cas certes possible d'élever la température sur le réseau ENP à environ 10 degrés grâce à l'apport géothermique, mais, comme chacun le sait, Homo sapiens est plutôt frileux. Une évolution temporaire vers la *chaufferie hybride* capable d'assurer un apport thermique grâce à la combustion sera dans un premier temps probablement considérée comme nécessaire. La figure ci-dessous montre dans ce cas ce que pourrait être la nouvelle répartition des énergies associant le gaz, l'électricité et l'énergie prélevée dans l'environnement.

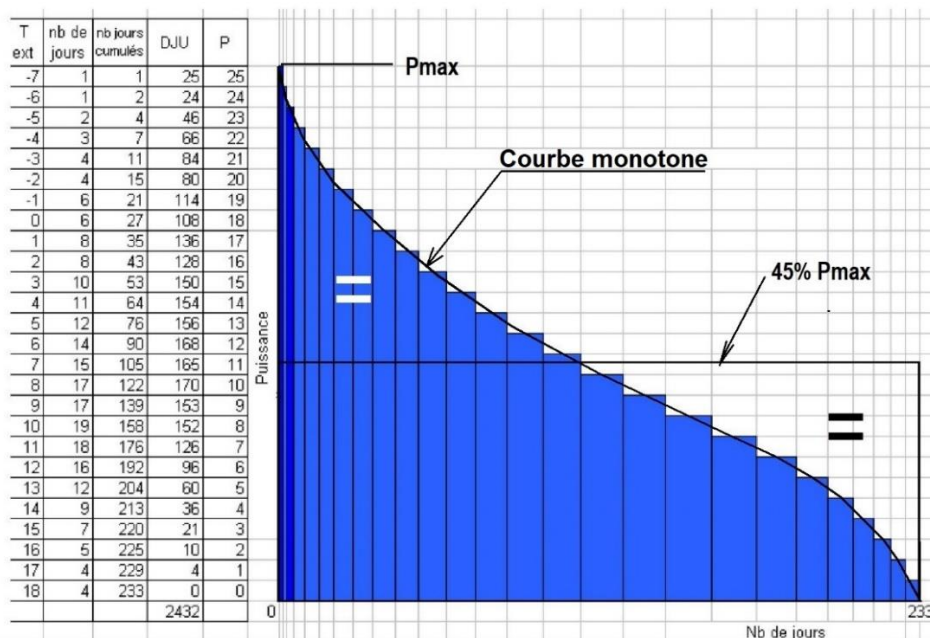


Performance en mode pompe à chaleur : $COP = (E1 + E2) / E1 = (36 + 9) / 9 = 5$

Les 2 figures qui suivent permettent de comprendre comment, en fonction de la courbe monotone, le gaz et l'électricité se partagent le travail pour assurer le besoin. Si l'habitation se situe à la campagne et sans réseau gaz, la phase combustion peut être réalisée avec des pellets préférentiellement à l'effet Joule.



Puissance de la chaufferie hybride durant l'année calendaire



Avec une chute de température de 10 degrés (15 à 5 degrés) sur les évaporateurs des pompes à chaleur c'est une puissance thermique voisine de 30 000 kW qui serait disponible pour les 40 000 Boulonnais. Soit 0,75 kW par Boulonnais ou 1,5 kW par logement à raison de deux personnes par appartement.

Les travaux qui seraient nécessaires pour mettre en place le réseau de tuyauteries sont certes à l'échelle de ceux, colossaux, entrepris au 19^{ème} siècle par le baron Haussmann lorsque 600 km d'égouts ont été installés dans notre capitale.

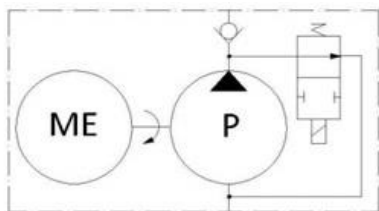
Les composants de la pompe à chaleur

Le compresseur avec le condenseur, le détendeur et l'évaporateur sont les composants les plus importants d'une pompe à chaleur. Le compresseur doit faire varier le débit du fluide caloporteur de la pompe à chaleur à la demande. Pour obtenir ce résultat, le compresseur est composé d'une pompe et d'un moteur électrique. Ce dernier peut être un moteur à vitesse constante ou à vitesse variable selon la puissance thermique souhaitée. Lorsque le besoin thermique est inférieur à environ 300 kW, la meilleure solution est de prévoir un entraînement à vitesse constante avec un moteur asynchrone standard et de choisir des pompes du type Copeland particulièrement silencieuses et résistantes. Le groupe motopompe à axe vertical a alors un faible encombrement au sol. Ces pompes sont équipées d'un dispositif de variation de débit en dérivation incorporé. Il est ainsi possible d'implanter 2, 3 voire 4 petits groupes de motopompes raccordées en parallèle. Pour les gros immeubles et les puissances supérieures, les groupes motopompes sont constitués de pompes à vis entraînées par des moteurs électriques à vitesse variable et à courant continu comparables à ceux équipant les presses à forger modernes. L'expérience acquise par des sociétés comme *Oilgear* dans le domaine du forgeage avec une plage de vitesse importante sera utile pour solutionner ce type de chaîne énergétique.

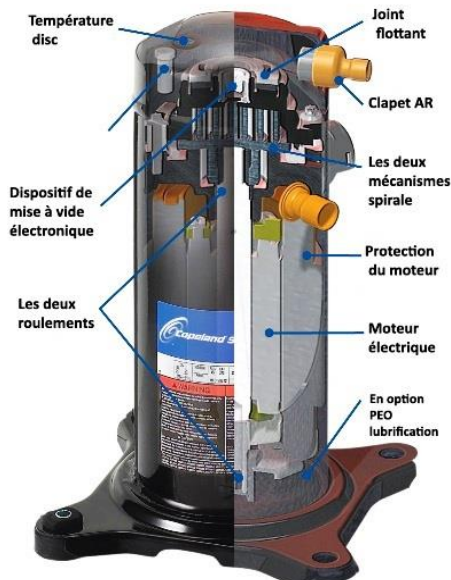
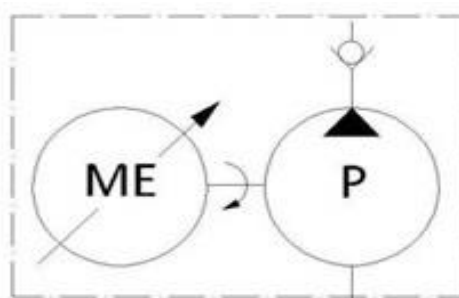
Nous allons maintenant, en complément de ce qui est évoqué dans le livre sur la « Solar Water Economy » aborder plus en détail les principaux composants constituant une pompe à chaleur.

Le compresseur

Type spirale (Copeland Scroll)



à vis



Alors que le moteur électrique du compresseur type spirale Copeland est un moteur asynchrone standard à vitesse constante, celui entraînant la pompe à vis à cylindrée constante est un moteur électrique à courant continu à vitesse variable.



Les échangeurs de température

Deux fluides de nature différente peuvent échanger de la chaleur. Un des deux fluides refroidit l'autre ou au contraire le réchauffe sans aucun mélange entre les deux fluides. Cette fonction importante est assurée par des échangeurs de température.

A plaques

Le principal avantage des échangeurs à plaques est leur modularité (on ajoute ou on supprime des plaques). Ils peuvent être utilisés pour deux fonctions essentielles :

- En tant que condenseur ou évaporateur d'une pompe à chaleur comme on l'a vu précédemment,
- Pour assurer le transfert thermique provenant des nappes captives profondes ou l'eau de la rivière.



Fluides	Pression maxi de service	Température maxi de service	Matériaux		Coefficient d'échange eau/eau	Surface maxi d'échange par appareil	Débit maxi par fluide
			Joints	Plaques			
Liquide/liquide ou Vapeur/liquide	25 bar	150°C à 200°C selon le type de joint ²	Nitrile Viton Hypalon Téflon Néoprène	Inox Titane Titane-palladium	3500 à 7500 W/m ² K	2200m ²	3500 m ³ /h

Domaine d'utilisation des échangeurs à plaques Alfa Laval (Courtesy INSA)

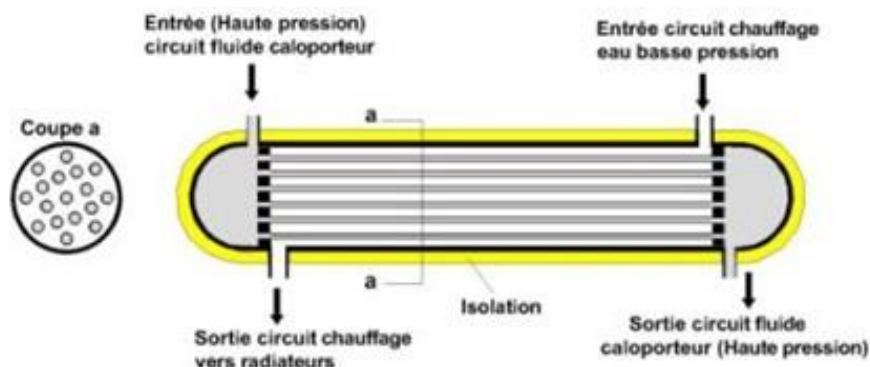
Les échangeurs à plaques vont jouer un rôle important dans la mise en œuvre de la nouvelle chaîne énergétique. Ils vont servir à cumuler le potentiel thermique des eaux superficielles (par exemple la Seine) avec celui des nappes captives et profondes (par exemple le dogger) sans mélange physique entre ces deux fluides.

On a vu précédemment qu'avec un débit sur le circuit du milieu froid alimentant les pompes à chaleur 10 fois plus élevé que celui du milieu chaud associé à l'eau géothermale, on peut compter sur une élévation de température voisine de 5 degrés sur le circuit alimentant le compresseur des pompes à chaleur. Ceci avec une chute de température sur le circuit du milieu chaud de l'eau géothermale de 50 degrés.

Les constructeurs d'échangeurs à plaques tels que *Alpha Laval* sont les bienvenus pour affiner l'étude succincte faite ici.

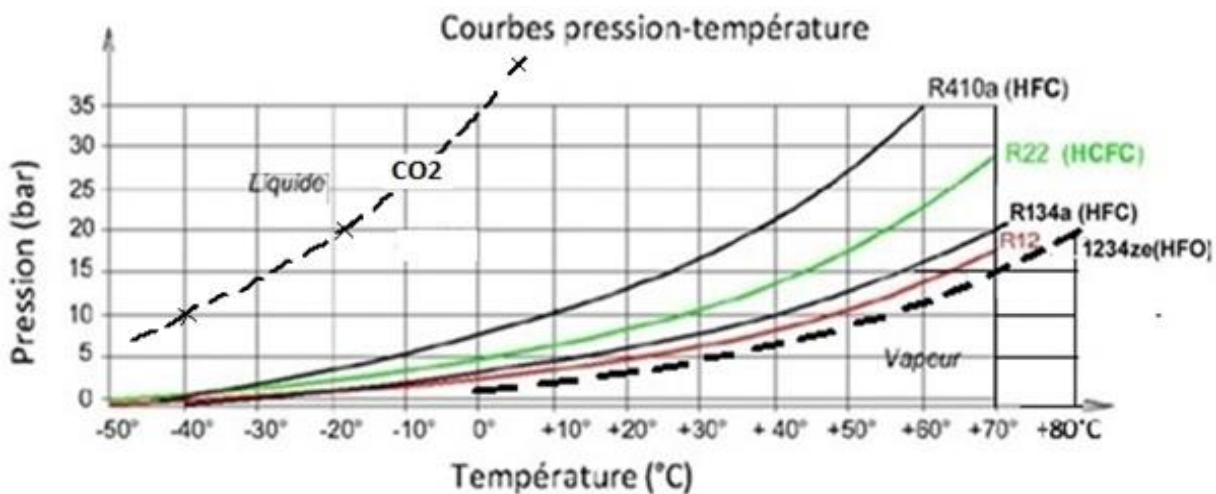
A tubes

Ils sont moins flexibles que les échangeurs à plaques si l'on a mal évalué le dimensionnement. Par contre les échangeurs à tubes résistent mieux à la pression que les échangeurs à plaques.



Le fluide caloporteur de la pompe à chaleur

Les fluides caloporteurs du type gaz fluorés (F) qui circulent dans le circuit rigoureusement fermé d'une pompe à chaleur avec compresseur ou dans celui d'un réfrigérateur sont l'élément essentiel de leur fonctionnement. Certains de ces gaz sont réputés nuisibles par le fait qu'ils provoquent une décomposition de la couche d'ozone à haute altitude. Afin d'éviter toute dispersion de ces gaz dans l'atmosphère, de sérieuses précautions associées à leur recyclage doivent être prises lorsque ces équipements arrivent en fin de vie après quelques décennies de bons et loyaux services ; précaution à prendre également avec les gaz de substitution du type HFC réputés non nocifs. Leur qualité essentielle réside dans leur capacité à générer du chaud dans le condenseur lorsqu'ils passent de la phase gazeuse à l'état liquide lorsqu'ils sont comprimés puis leur capacité à générer ensuite du froid dans l'évaporateur lorsque la pression chute dans le circuit et qu'ils repassent à l'état gazeux. Ils sont ainsi capables de générer à volonté du chaud ou du froid dans une enceinte en prélevant dans l'environnement la plus grande partie de l'énergie thermique. Il serait possible de généraliser le chauffage urbain dans une grande métropole comme Paris en mettant en œuvre la chaîne énergétique décrite dans les pages précédentes étant donné que le potentiel thermique naturel disponible de la Seine conjugué à celui du dogger est proche voire sensiblement supérieur aux besoins.



Les différents fluides caloporteurs.

Vouloir utiliser le gaz carbonique (CO₂) comme fluide caloporteur ne semble pas être une bonne idée.

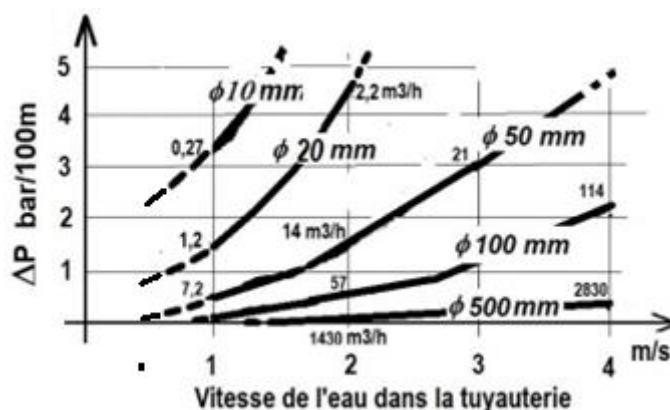
Le temps de mise en œuvre

La transition vers le chauffage thermodynamique de l'habitat telle que nous venons de la décrire sera certes une action à long terme et ne va pas être simple à réaliser. Ceci non seulement en raison des tuyaux et du dimensionnement des échangeurs thermiques à plaques mais aussi par le fait qu'il va falloir calculer ce que devra être la quantité de fluide caloporteur permettant de généraliser ce mode de chauffage. Les compétences d'un organisme comme *négaWatt* sont probablement adaptées à ce calcul et à son extension permettant de satisfaire un besoin mondial. Dans un premier temps cet organisme composé à la fois d'une association et d'un institut s'appuyant sur une expérience de plus de 10 ans publie une [série de mesures réalistes](#) qui devraient permettre d'économiser d'ici 2 ans environ 10 % de notre consommation d'énergie dans le secteur du bâtiment. Et ceci alors que le potentiel réel d'économie d'énergie cumulé dans les 2 secteurs bâtiment et transport est à cette échéance de l'ordre de 25 %.

Les tuyauteries

L'essentiel du problème à résoudre pourrait bien être celui de la matière, de l'approvisionnement et de la pose des tuyauteries. Une fois compris comment l'on peut tirer profit du potentiel thermique cumulé des eaux géothermales profondes et des eaux superficielles sans qu'il y ait pour autant d'échange physique entre ces 2 écosystèmes, on comprend que l'étude de l'eau qui circule dans les tuyauteries ainsi que l'évaluation des pertes de charge qui en résultent, entraînent des pertes de puissance qu'il convient d'évaluer pour dimensionner correctement les réseaux de chaleur. Le constat est le suivant : le réseau à 15°C proposé au début de ce chapitre limite globalement les pertes de puissance. Ceci comparativement aux pertes thermiques des réseaux haute température comme cela se pratique encore en région parisienne et qui deviennent prédominantes dès que les longueurs augmentent.

On comprend avec les courbes ci-contre qu'il faudra impérativement en raison des effets de paroi éviter les trop grandes longueurs avec les petites tuyauteries. Une grosse tuyauterie \varnothing 500 mm, c'est, avec une vitesse de circulation de l'eau de 2 m/s et un débit de 1400 m³/h une perte de charge linéaire inférieure à 1 bar/km et ceci pour une puissance thermique transmise dans l'échangeur à plaques de 14 000 kW.



Une fois compris comment l'on peut cumuler le potentiel thermique des eaux géothermales profondes et celui des eaux superficielles, on comprend que l'étude des tuyauteries ainsi que l'évaluation des pertes de charge qui en résultent entraînent des pertes de puissance qu'il convient d'évaluer pour dimensionner correctement les réseaux de chaleur. Le constat est le suivant : le réseau à 15 °C proposé au début de ce chapitre limite globalement les pertes de puissance.

La conductivité des matériaux évoquée à la page 16 du 1^{er} chapitre est un facteur important lorsque la tuyauterie est utilisée pour transmettre l'énergie thermique avec un fluide et ceci particulièrement lorsqu'elle est métallique.

Le lecteur intéressé par ce sujet peut se reporter au [fichier sur l'isolation](#)



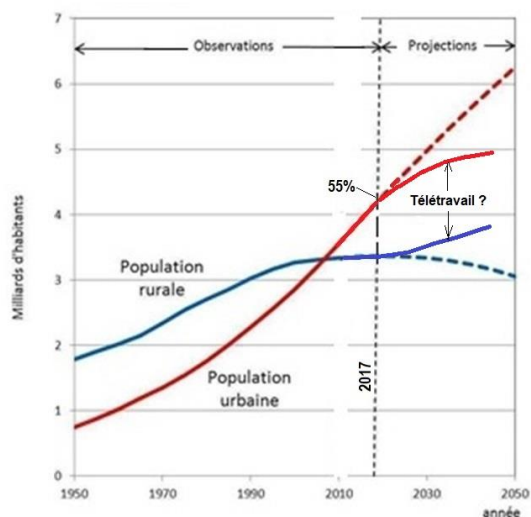
Il n'y a pas d'innovation sans contraintes *Jean-Marc Jancovici*

La ville ou la campagne

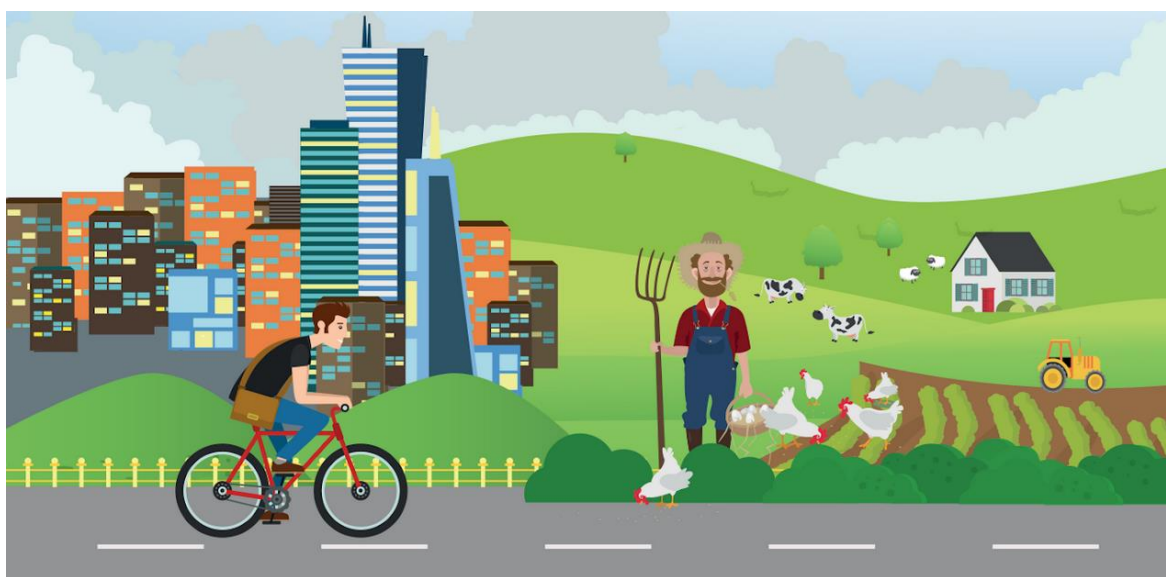
La tendance à l'urbanisation semble inexorable et va se faire au détriment de la surface habitable, de l'agrément de vie, des encombrements et de la santé. Le coronavirus a toutefois mis en avant une nouvelle méthode de travail basée sur le télétravail. Cette méthode qui permet de diminuer les déplacements n'est bien évidemment pas valable pour tous les corps de métier mais ceux faisant appel pour l'essentiel à l'ordinateur et au téléphone seront accessibles au télétravail.

Au moment où le monde se voit contraint pour des raisons sanitaires de cesser le contact direct "l'orgie numérique actuelle" semble être un mal nécessaire. Même si la quantité d'énergie requise pour alimenter la "toile mondiale Internet" représente un pourcentage de l'énergie consommée dans le monde non négligeable, l'opportunité qu'elle nous offre de communiquer très rapidement est assurément à prendre en compte vu l'urgence qu'il a à agir sans se tromper. Le télétravail va changer un peu la courbe mais la figure qui suit explique la raison pour laquelle cette étude est concentrée vers les villes plutôt que vers les zones rurales : aller à l'essentiel étant donné que c'est là où la majorité d'entre nous allons vivre. Au moment de la crise de l'énergie, il va falloir s'impliquer dans une intense réflexion à ce sujet vu que 2 jours de télétravail par semaine c'est une économie d'énergie d'environ 30 % (transport, chauffage, climatisation et éclairage)

En 2023, c'est déjà 4,4 milliards d'habitants soit 58 % de la population mondiale qui est urbaine avec un pourcentage qui pourrait passer à 70 % en 2050 selon l'Organisation des Nations Unies (ONU). En 2023 c'est Dacca, la capitale du Bangladesh qui est la ville la plus densément peuplée au monde avec une surface disponible par habitant de 22 m² environ, deux fois plus faible que Paris intramuros. La situation à Paris est malgré tout moins grave en raison des travaux envisagés dans notre capitale sous le Second Empire. Paradoxalement, alors qu'Homo sapiens s'agglutine de plus en plus dans les villes composées majoritairement d'appartements, de nombreux organismes associés au bâtiment constatent par sondages que l'homme préfère vivre en maison individuelle alors qu'elle est plus énergivore.



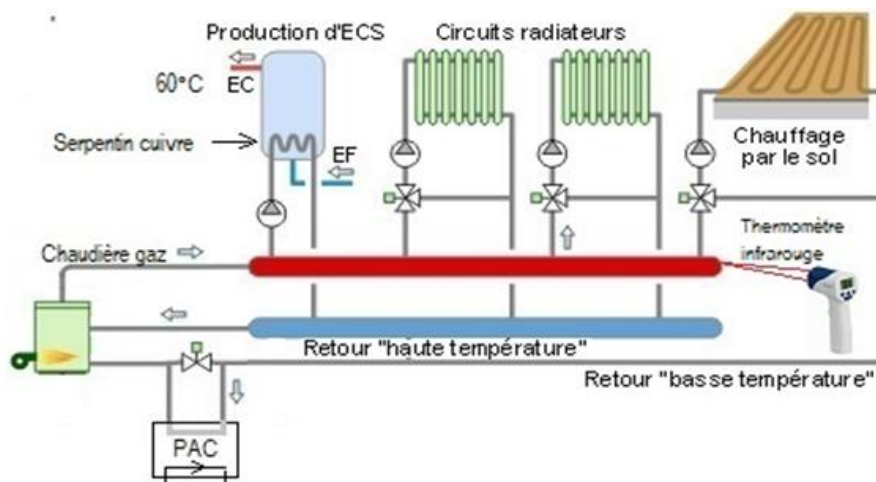
Reflet de la situation mondiale, on estime qu'en France la population rurale vit dans un désert médical.



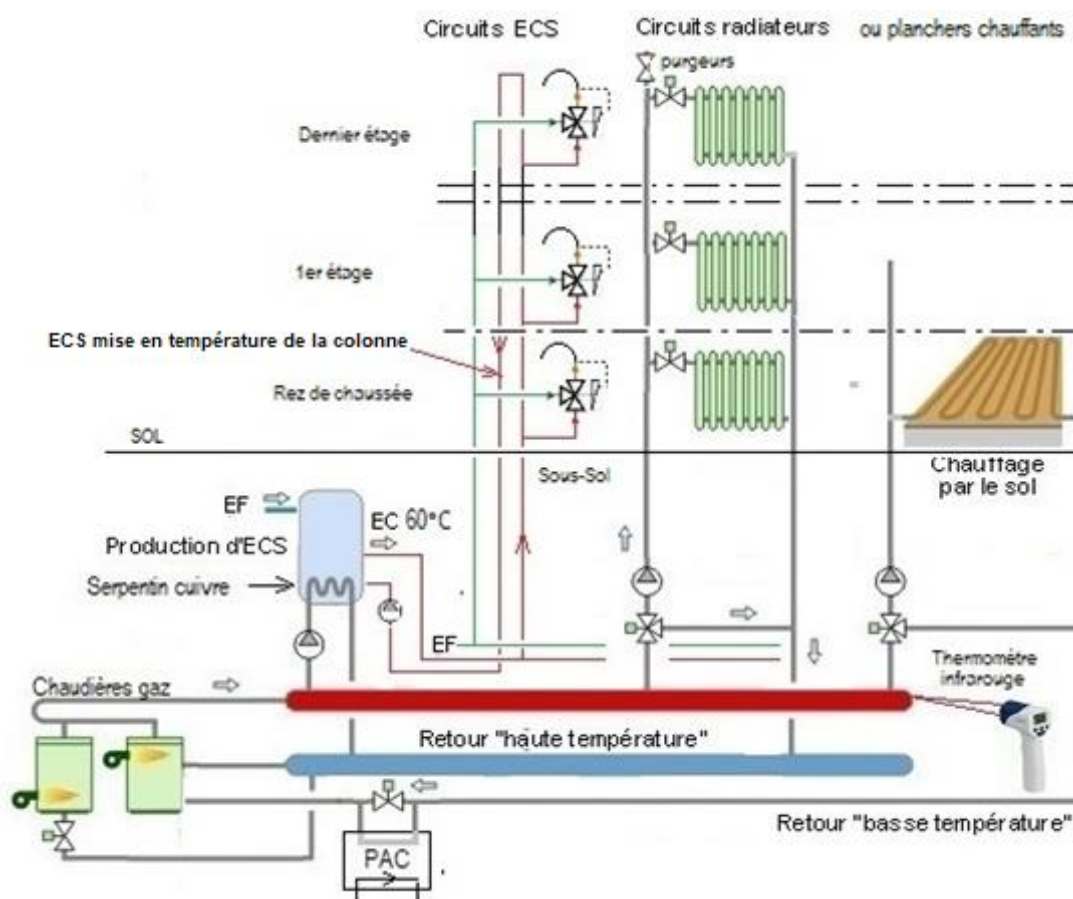
Un seul « s » sépare demeure et démesure. Et ceci avec « Goodplanet » qu'il va peut-être falloir renommer « Badplanet » en raison du réchauffement climatique

Maison ou immeuble

Les 2 schémas qui suivent montrent comment pourrait être conçu le circuit hydraulique dans le cas d'une chaufferie hybride associée à la maison individuelle ou à un immeuble. Dans la pratique le condenseur du système thermodynamique produisant la chaleur sera raccordé sur le circuit de retour basse température venant des radiateurs ou des planchers chauffants hydrauliques. À noter que dans le cas des immeubles, le circuit comprend un bouclage permettant de disposer plus rapidement de l'eau chaude sanitaire.



Maison : représentation en échangeant sur l'eau (voir sur la clé USB un exemple avec échange sur l'air).



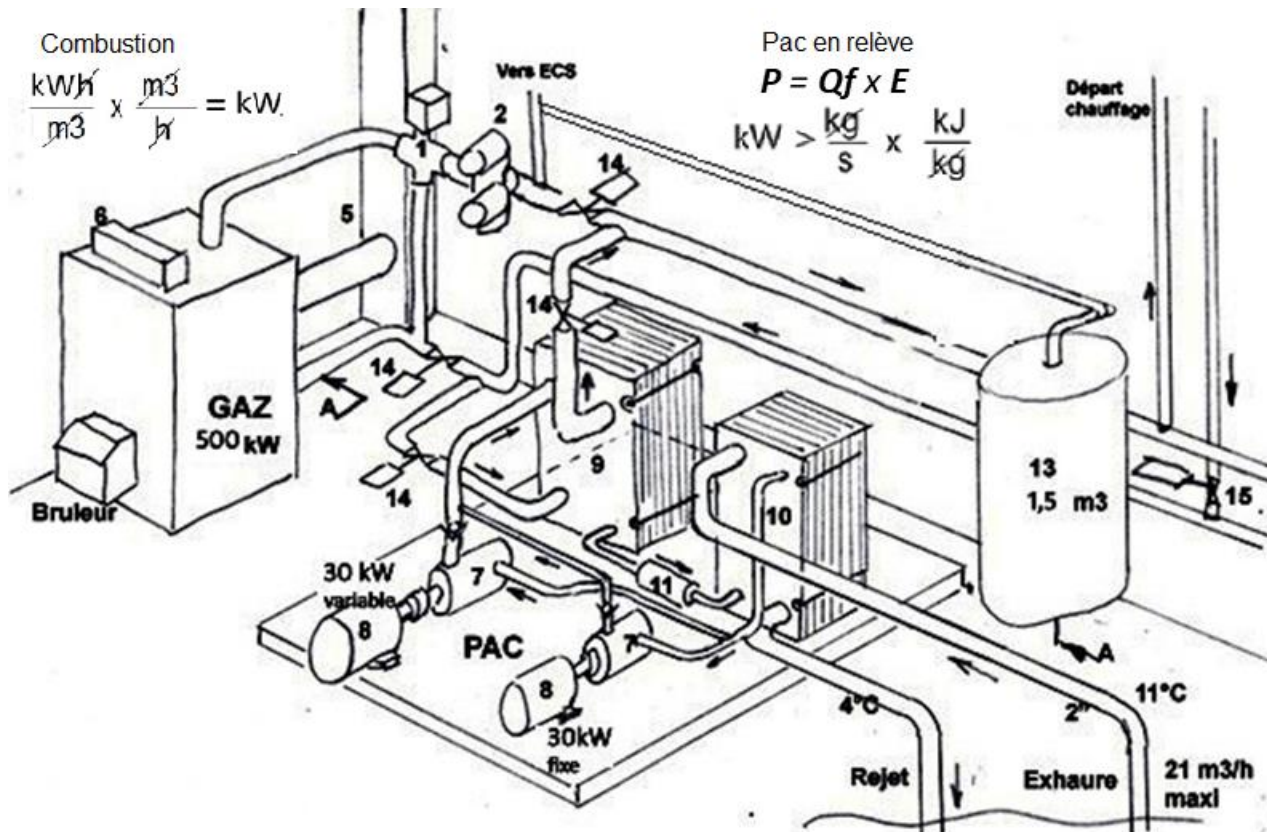
Immeuble : représentation en échangeant sur l'eau

Mise en température de la colonne d'eau chaude

Prévoir une température de départ vers les mitigeurs au moins égale à 50 °C en raison de la légionellose. Les clapets anti-retour (non représentés) qui ne sont pas toujours implantés sur les arrivées d'eau chaude (ES) et d'eau froide (EF) du circuit ECS devraient l'être pour éviter des pertes d'énergie inutiles et assez importantes.

La chaufferie hybride gaz-électricité échangeant sur l'eau serait implantée dans le sous-sol des immeubles. Pour les puissances thermiques supérieures à 250 kW, les groupes motopompes 7 qui symbolisent le compresseur de la pompe à chaleur seraient disposés horizontalement comme représenté ci-dessous. Pour les puissances inférieures, ils pourraient être disposés avantageusement à axe vertical plutôt qu'horizontal pour tenir compte du manque de place dans le sous-sol des immeubles (technologie spirale Copeland).

Les deux échangeurs à plaques 9 et 10 constituant le condenseur et l'évaporateur de la pompe à chaleur seraient naturellement capotés thermiquement pour supprimer les déperditions thermiques.



Vue en perspective de ce que pourrait être, dans le cas de l'immeuble où j'habite à Boulogne-Billancourt, la chaufferie hybride associant le gaz et l'électricité. Le compresseur pourrait être composé de GMP à axe vertical pour réduire l'encombrement au sol.

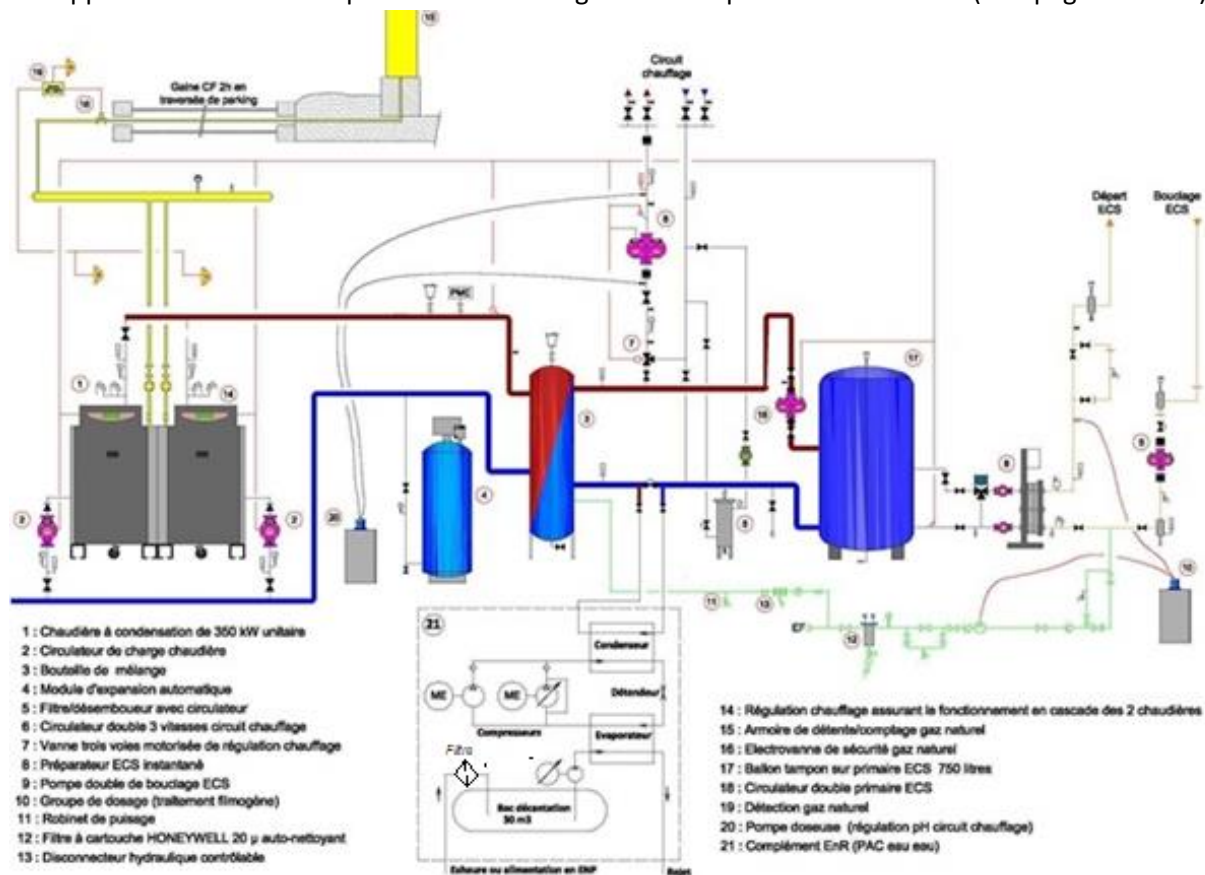
On ne peut pas dire à propos de cet immeuble que les radiateurs sont à basse température mais cette température étant malgré tout raisonnable, (voir page 31) j'ai essayé de convaincre ma copropriété pour réduire les charges chauffage de s'orienter vers une chaufferie hybride à l'occasion de l'abandon de la chaufferie fioul. Sans y parvenir complètement, il a seulement été décidé :

- de concevoir un circuit gaz autorisant cette évolution
- de mettre en place les 2 connexions de la PAC sur le circuit de retour du circuit chauffage,
- de conserver le réservoir fioul enterré dans le jardin, avec un additif antirouille, aux fins d'utilisation comme bac de décantation en amont de l'évaporateur. Il faut noter à ce sujet que lors de l'établissement du schéma hydraulique de la page qui suit, il y a une petite dizaine d'années, un mail resté sans réponse a été envoyé au centre de recherche VEOLIA pour attirer son attention sur le fait qu'il est possible de donner une seconde vie à nos anciens réservoirs à fioul en ville. Ceci en les réutilisant dans le cadre des chaufferies hybrides gaz-PAC aquathermique comme réservoir de décantation sur le circuit d'alimentation en eau des évaporateurs plutôt que de les laisser mourir dans le sous-sol de nos cités. Cela en tirant profit de ces modifications pour régénérer l'eau de nos rivières qui en a bien besoin.

Schéma hydraulique et photo de notre chaufferie

Chiffres clés : 800 000 kWh annuel, 5000 m² habitables, 60 appartements

A noter principalement la partie 21 correspondant à la partie PAC eau-eau. Le terrain relativement grand sur lequel est implanté notre immeuble dispose de terrain en pleine terre ce qui permettrait d'utiliser l'eau de la nappe libre en limitant la profondeur du forage à une cinquantaine de mètres (voir page suivante).



A l'image de ce qui commence à se pratiquer en Uruguay (voir la page 56 de [cartographie.pdf](#)) l'eau douce pompée dans la nappe captive profonde pourrait être filtrée et traitée pour satisfaire le besoin sanitaire



Les deux orifices permettant de connecter le condenseur de la pompe à chaleur aquathermique sont prévus sur le circuit retour des radiateurs (voir à droite de la photo).

Cabinet Christian Boissavy
35, boulevard de Magenta 75010 Paris
01 42 39 30 89 Bureau
00 377 6 78 63 37 56 Mobile
christian.boissavy@orange.fr

Monsieur Jean Marc Lenoir
15 rue Vauthier
92100 Boulogne-Billancourt

A l'attention de Messieurs Lenoir et Grossmann

Paris le 9 février 2013,

**Objet: Proposition d'étude géothermique pour le site de la copropriété
au 15 rue Vauthier à Boulogne-Billancourt (Hauts de Seine)**

Messieurs,

Ce courrier fait la suite à la visite du site effectuée le vendredi 8 février, pour lever l'incertitude quant à la possibilité de réaliser un doublet de forages géothermique sur l'emprise foncière de votre copropriété. Je vous prie de bien trouver ci-joint ma meilleure proposition pour l'étude des ressources géothermiques basse température et cela en vue d'exploiter les ouvrages à un débit prévisionnel compris entre 20 et 30 m³/h. Dans un premier temps, une approche rapide a permis d'envisager une puissance de 250 kW pour la pompe à chaleur, mais ces éléments thermiques et en particulier la puissance maximum appelée en pointe (chaud et ECS) devront être validés, avec plus de précision, par un bureau d'étude thermique que vous aurez mandaté. La visite du site permet donc d'envisager la réalisation du doublet de forage directement depuis la surface ou en alternative depuis le parking enterré qui offre une hauteur sous plafond de l'ordre de 3,5m.

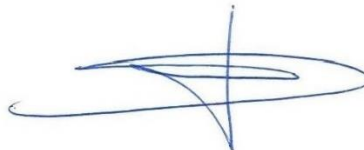
Cette étude comprendra les éléments décrits ci- après :

- 1 Généralités
- 2 Géologie et hydrogéologie
 - 2.1 Contexte général
 - 2.2 Etude géologique
 - 2.3 Hydrogéologie et qualité des eaux
- 3 Faisabilité et risques techniques
- 4 Description des ouvrages de production
 - 4.1 Doublet de forages
 - 4.2 Implantation et calcul de l'espacement nécessaire
 - 4.3 Equipements hydrauliques et électriques
 - 4.4 Tête de puits et systèmes de pompage
- 5 Evaluation économique prévisionnelle
 - 5.1.1 Investissements (P4)
 - 5.1.2 Evaluation des consommations énergétiques du doublet et estimation des coûts d'entretien et de maintenance (P1 - P2 - P3)
- 6 Aspects administratifs
- 7 Synthèse
- 8 Planning et délais de réalisation

Nous pouvons réaliser cette étude pour un montant forfaitaire de 4500€HT. Notre prestation comprend : le rapport, la visite du site (déjà réalisée) et la participation à une réunion de présentation avec le conseil syndical de votre copropriété. Le délai de réalisation de cette étude est de 4 semaines à compter de la réception de votre ordre de service. Le paiement s'effectuera par chèque bancaire à réception de facture.

Dans l'attente de votre ordre pour cette étude, veuillez recevoir nos salutations distinguées.

Christian Boissavy



SIRET N° 411 225 543 00023- CODE APE 742 C- Coordonnées bancaires : Banque Populaire RIVES DE PARIS – 18 Place
Bonsergent – BPBRIVESBONSERGERENT 75010 PARIS- France- Account Number : 04175053630
IBAN : FR76 1020 7000 7504 1750 5363 021- BIC : CCBPFRPPMTG

Faisabilité d'un forage vers nappe libre en région parisienne

Boulogne-Billancourt 92100, point de départ de la SWE ?

La Seine qui entoure Boulogne-Billancourt est une opportunité qu'il serait regrettable de ne pas saisir. Il faut espérer que les boulonnais vont prendre conscience que 3 doublets géothermiques DG (les 3 cercles) réalisés selon les techniques décrites au chapitre 3 devraient être suffisants pour assurer le chauffage de leur commune avec l'apport thermique de la Seine. Ceci en implantant 3 stations de pompage SP1 à SP3 à l'emplacement de ces 3 doublets géothermiques pour assurer la distribution d'un réseau d'eau non potable à la température de 15° à l'emplacement des 3 gros points noirs. Cette commune pourrait ainsi disposer à moindre coût d'une énergie thermique annuelle voisine de $3 \times 14\ 000 \times 8760 = 368\ 000\ 000$ kWh pour une température moyenne de la Seine variant entre 5 et 15°. La population de cette commune étant selon l'INSEE de 117 282 habitants avec une densité de population proche de celle de Paris intramuros cela correspond sensiblement à 3 150 kWh thermique par boulonnais proche du nouveau besoin de 3600 kWh (voir figure de la page 41). Ces travaux permettraient après consultation du BRGM de généraliser le chauffage urbain pour l'habitat existant dans cette commune moyennant une amélioration du débit d'eau chaude géothermique qui a été limité par sécurité à 200 m³/h par doublet. Ceci sans desservir les habitants d'Issy les Moulineaux des avantages de leur centrale de combustion des ordures. De tels travaux auraient pu être mieux contrôlés que ne l'a fait jusqu'ici l'entreprise française IDEX qui a déjà réalisé à proximité d'Issy les Moulineaux un début de réseau ayant permis à quelques habitants de Boulogne situés coté Issy les Moulineaux de bénéficier des avantages du chauffage urbain. Il apparait toutefois que l'intérêt de cette société est d'évoluer vers l'intérêt général et un réseau hydraulique comme celui proposé dans le cadre de la SWE.

Pour mémoire Boulogne-Billancourt c'est :

Population 117 282 habitants
(source : INSEE) sur une surface de 6,2 km².

Soit une densité de population de 18 900 habitants au km².

Cela revient à dire que chaque boulonnais occupe une surface au sol voisine de 50 m² comme celle de Paris intra-muros.



Nous arrivons à la fin du 2^{ème} chapitre concernant la consommation. Le lecteur aura compris que tirer profit de l'énergie thermique naturelle existant dans la nature et particulièrement dans l'eau n'est pas à proprement parlé *produire* de l'énergie. Avant de passer au chapitre concernant la production de l'énergie, nous allons devoir considérer que l'énergie produite doit être transportée du lieu de production vers le lieu d'utilisation avant d'y être consommée. Qu'il s'agisse des pertes thermiques au travers de la paroi ou des pertes de pression liées à l'écoulement, les pertes d'énergie en ligne qui résultent de la circulation de l'eau dans un tuyau sont à prendre en considération. Il faudra limiter autant que faire se peut la distance entre le lieu de production et de lieu d'utilisation et raisonner collectivement et non individuellement de telle sorte que le diamètre étant plus important les pertes de charges en ligne soient raisonnables.

La France en s'orientant vers la chaîne énergétique du nucléaire a dû se résoudre à laisser se dissiper dans l'environnement une quantité d'énergie thermique sensiblement égale à 2 fois l'énergie électrique produite. Qui plus est, la notion de perte de puissance en ligne est, elle aussi, et comme pour l'eau importante. Ceci d'autant que pour des raisons de sécurité, la distance entre le lieu d'utilisation et le lieu de production avec les centrales nucléaires est nécessairement importante.

Pour clore ce chapitre, je constate dans mon proche environnement que certains de mes amis arrivent à solutionner intelligemment le problème du chauffage de leur maison en tirant profit de l'énergie thermique contenu dans l'air ou dans l'eau qui les entoure alors que la collectivité peine à faire de même avec ses immeubles. Les efforts de notre ancien responsable du conseil syndical pour avancer ainsi que le courrier ci-dessous d'un de ses membres tous les deux décédés en sont la preuve.

Monsieur Yves LE LOUARN
15, rue Vauthier
92100 - BOULOGNE-BILLANCOURT

BOULOGNE, le 26 février 1984

sur information

Monsieur JOURDAN
Syndic

Objet : Coupure du chauffage
la nuit.

Monsieur,

Je viens de répondre par la négative à votre enquête sur l'affaire citée en objet. Je vous assure que j'ai beaucoup hésité avant de répondre, étant donné les problèmes relationnels toujours regrettables qui semblent exister au sein du Comité de Surveillance d'une part (malgré la bonne volonté de chacun de ses membres), et le caractère fallacieux, d'autre part, de l'amalgame fait dans l'enquête entre économie de combustible et coupure de chauffage, étant entendu qu'en tout état de cause on vise une température donnée (20° C).

Je voudrais bien qu'on m'explique, toutes choses égales par ailleurs, comment la recherche d'une température bien déterminée n'est pas directement liée à la seule quantité de combustible utilisée. En fait, si on coupe le chauffage la nuit, cela oblige la chaudière à fonctionner plus longuement à la remise en service du chauffage qu'elle ne l'aurait fait si le chauffage avait été maintenu, c'est-à-dire que pendant la journée on redépense sans doute le combustible économisé la nuit. La question que vous posez risque donc fort d'être un faux problème.

Par contre, ce qui est certain, c'est que la coupure du chauffage la nuit fatigue l'installation (chaudière et tuyauterie) par les dilatations thermiques différentielles que cela entraîne.

Il est sans doute difficile de chiffrer ce que cela nous coûte, mais la durée de vie de l'installation s'en trouve réduite de quelques années.

J'espère que ces quelques considérations ramèneront le débat actuel à sa juste valeur.

Par contre, je crois que pour répondre au souci louable, que nous avons tous, de faire des économies d'énergie tout en conservant le confort de l'immeuble, il serait temps de passer en revue, et donc de chiffrer, les moyens qui s'offrent à nous, aujourd'hui, pour réduire la facture de combustible. Ces moyens, je me permets de vous le rappeler, sont de deux ordres : isolation thermique et choix du combustible.

Pour ce qui est de l'isolation, il y a deux domaines qui peuvent être améliorés :

- Isolation thermique des terrasses.
- Isolation thermique des fenêtres (doubles vitres et joints).

Pour ce qui est du combustible, il y a deux améliorations possibles :

- Remplacement du fuel par le gaz nettement moins onéreux (20 %).
- Adjonction d'une pompe à chaleur en soutien de chaudière ce qui réduit environ de moitié la facture chauffage.

Les 4 solutions ci-dessus peuvent s'additionner, elles supposent un effort d'investissement persévérant et important. Cet effort me paraît indispensable pour conserver à notre immeuble vieillissant son confort et sa valeur.

En espérant que les considérations ci-dessus sont de nature à faciliter votre tâche et en vous priant de croire qu'elles ne constituent nullement une critique de qui que ce soit et surtout pas des bonnes volontés qui constituent le Comité.

Sentiments distingués.

Copies aux membres du
Comité de Surveillance : MIE GUYGUEN
MME FAUVET
MME SIMON
M. JULIEN
M. LENOIR
M. CHAMBRIER
M. LEPETIT

Yves LE LOUARN

Peut-être faudrait-il pour avancer que le maire soit associé au terme « collectivité »
Dans la pratique c'est l'Autriche qui va montrer à l'Europe l'exemple de ce qu'il faut faire en implantant dans Vienne, grâce au Danube et à la société Ochsner, des pompes à chaleur collectives

