

# CONFERENCE de Jean Grossmann

organisée par l'IESF



## L'eau réserve d'énergie thermique

L'énergie thermique contenue dans l'eau est une source inépuisable.

Quel est l'état de l'art actuel ? Quelles sources sont disponibles ? Quelle efficacité ?

Avril 2020 à 18h

SALLE DES FETES d'...

*Repoussé à fin 2020 en raison du confinement*

*La "Solar Water Economy"  
en région Ile de France ?*



Je suis ici parmi vous aujourd'hui pour vous expliquer à la demande de l'IESF ce qu'est ma vision d'une transition énergétique réussie. Une transition énergétique qui va devenir nécessaire en raison de l'épuisement de nos réserves d'énergie non renouvelables et pour plusieurs autres raisons que je vais évoquer avec vous. Je devais vous exposer cela fin mars mais ce qui est arrivé avec ce problème de virus a repoussé notre réunion de plusieurs mois ce qui m'a laissé le temps de la réflexion. Pour que notre transition énergétique s'effectue dans le calme, notre intérêt va être de programmer celle-ci à l'avance en ne tenant compte que de l'essentiel. On a eu en effet à propos du coronavirus un sévère avertissement de la nature et de ce qui arrive à Homo sapiens s'il laisse notre environnement se dégrader à ce point. Nous allons devoir tenir compte à propos de l'électricité que le béton vieillit et qu'il nous faudra produire l'électricité différemment en évitant les ruptures successives de barrages qui [détruiraient toutes nos constructions sur leur passage](#) et aussi en évitant de passer par la case thermique des hautes températures. Il nous faudra aussi revoir la motorisation de nos camions en évoluant aussi rapidement que possible vers l'hydrogène comme on commence à le faire pour le ferroviaire. Ceci pour tenir compte du fait que 5 tonnes de batterie pour un camion de 30 tonnes ça fait beaucoup vu nos réserves mondiales en lithium relativement limitées. Il faudra aussi tenir compte de la pollution en ville avec la motorisation actuelle des voitures individuelles. Ceci en considérant que la bicyclette n'est pas "autosuffisante" mais complémentaire à la voiture et aux transports en commun.

Paris ne s'est pas fait en un jour et notre crainte de ne pas satisfaire nos besoins est à ce point présente dans notre esprit que nous devons peut-être évoluer dans un premier temps vers les systèmes hybrides. Ceci autant pour le chauffage de l'habitat que pour la voiture individuelle. Peut-être même serons-nous amenés à raisonner de la même façon pour assurer nos besoins en électricité en associant l'éolien et le voltaïque avec le nucléaire.

Le nucléaire mis en place par homo sapiens a, on le sait, d'innombrables défauts mais il a une qualité essentielle qui pourrait éventuellement venir au secours des énergies renouvelables: il fournit une puissance continue sans intermittence. Ce qui n'est pas tout à fait le cas de l'éolien et du voltaïque confondus. *Une 1<sup>ère</sup> décision essentielle* en ce qui concerne notre transition énergétique va être à ce sujet de faire la part des choses concernant le stockage de l'énergie électrique. A savoir définir quelle pourrait être la part du nucléaire qu'il serait éventuellement souhaitable d'associer aux besoins du stockage par rapport au besoin. On verra heureusement en ce qui concerne la production électrique que le voltaïque et l'éolien sont complémentaires ce qui diminue la quantité d'énergie électrique devant être stockée. Quoi qu'il adviene à ce sujet nous devons assurer nos besoins en énergie sous toutes ses formes. Et ceci en minimisant autant que faire se peut la combustion des produits fossils et les transports aériens. On verra aussi que l'électrolyse de l'hydrogène ainsi que la combustion des ordures, voire le solaire thermique (sur de petites périodes de temps) et d'autres procédés utilisant la gravité peuvent venir à notre secours en ce qui concerne pour réduire le coût de la quantité d'énergie électrique devant être stockée. Ceci très probablement au détriment de la fabrication d'un méthane de synthèse. Ceci aussi probablement sans faire appel à la coûteuse chaîne énergétique du nucléaire peu compétitive. *La 2<sup>ème</sup> décision essentielle* de notre transition énergétique va être de tenir compte du fait que pour le poste quantitativement le plus important en terme de consommation énergétique, à savoir celui du chauffage et la climatisation de l'habitat, notre intérêt est de tenir compte de la capacité des systèmes thermodynamiques d'assurer le besoin en prélevant l'essentiel du besoin en énergie thermique dans l'énergie naturelle contenue principalement dans l'eau ( géothermale et superficielle confondus). Ceci en minimisant la quantité d'électricité requise ce qui réduit la quantité d'énergie électrique devant être stocké dans le même rapport

Je souhaite vous transmettre plus particulièrement un message d'espoir. Ce message est le suivant: compte tenu des besoins énergétiques dans une région surpeuplée comme la région Ile de France vous expliquez qu'il est réaliste de les satisfaire en minimisant voire en supprimant à terme l'usage des produits fossiles et du nucléaire au profit des énergies renouvelables. Ceci en mettant en évidence pourquoi, le soleil ainsi que les capacités thermiques de l'eau superficielle et celle de notre sous-sol sont pour l'essentiel mieux à même de les satisfaire que l'air et le vent. Ceci en abordant les changements de chaînes énergétiques\* que cela va impliquer et sans vous cachez les difficultés et les limites actuelles de ce changement en ce qui concerne le stockage de l'énergie électrique. Nous allons aborder successivement:

1. **Le besoin et sa satisfaction avec les chaînes énergétiques actuelles** ([Thermique](#), électrique, mécanique, nourriture) ... Page 5  
 Production: (nucléaire, hydroélectricité, OPEP avec le pétrole, gaz de schiste américain, gaz russe, charbon indien...)  
 La consommation: (combustion du fioul et de l'essence, radiateurs électriques, biogaz ,  
 Préliminaires: comparaison moteur thermique (combustion, nucléaire) et thermodynamique (pompes à chaleur)  
 2 chaînes énergétiques comparables mais différentes, diagramme de Mollier, chaud, froid, performances
2. **Les chaînes énergétiques nouvelles** (en IDF)..... Page 23  
 Comparaison avant–après  
 L'eau (véhicule thermique, chaleur latente, échanges thermiques avec et sans mélange,  
 Réseaux et tuyauteries, milieu urbain.  
 La thermodynamique avec la pompe à chaleur pour le chauffage de l'habitat  
 Les eaux superficielles et géothermales  
 Les systèmes hybrides  
 Le soleil: production électrique, autoconsommation, intermittence et stockage.  
 L'air (pollution et santé) et le vent (irrégularité)
3. **Les causes de l'urgence** ..... Page 63
  - La terre notre maison
  - La satisfaction de nos besoins énergétiques à l'épuisement de nos ressources non renouvelables
  - Le dérèglement climatique et ses conséquences
  - L'impuissance du Leader
4. **Complément**.....Page 74

\*On peut définir une chaîne énergétique comme étant le processus utilisé par l'homme pour générer l'énergie de son choix

# 1 Les besoins actuels du citoyen français en énergie

Ceci en dehors du transport aérien et ferroviaire, de l'industrie et de l'agriculture

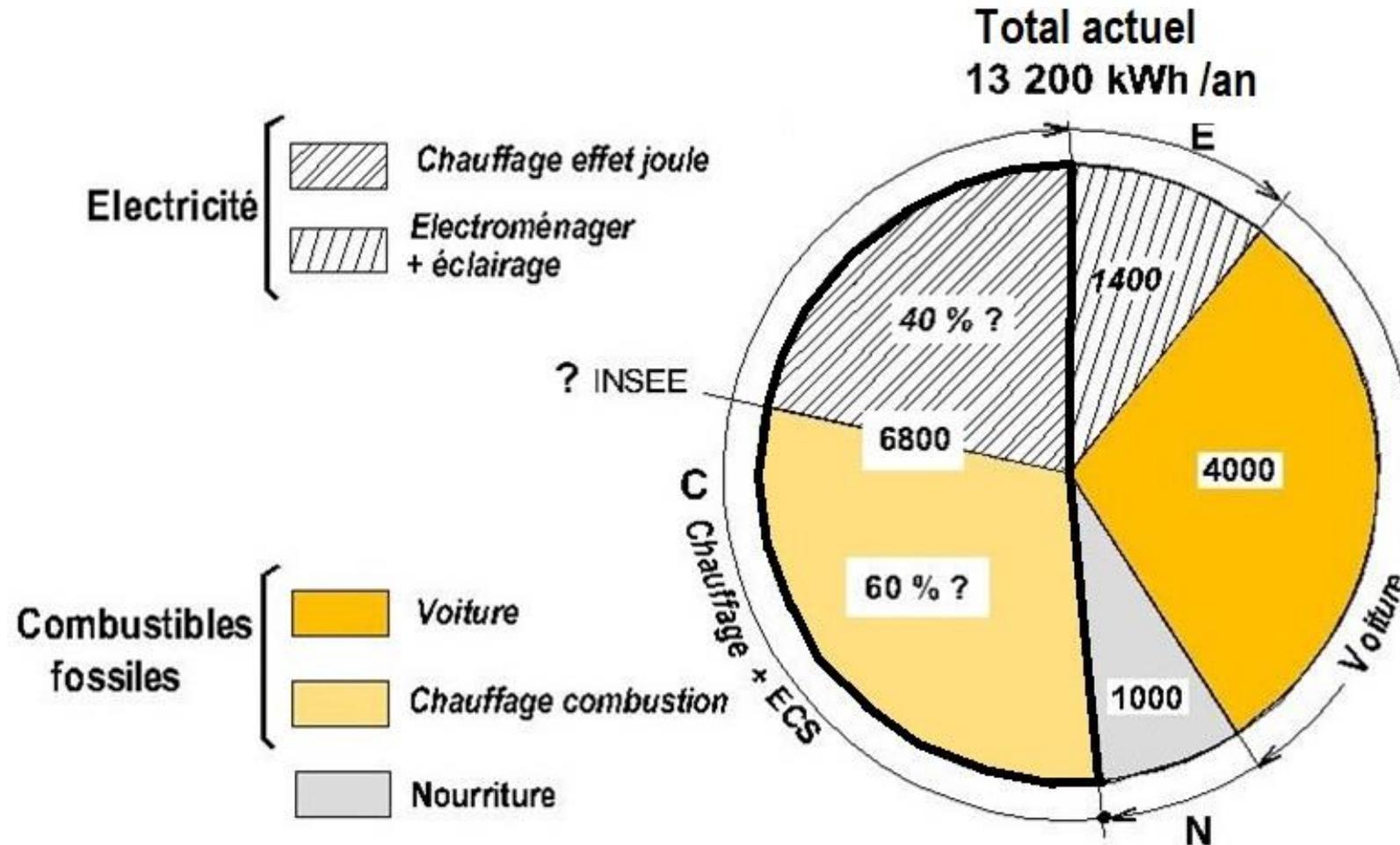


Figure 1

Etude faite pour un citoyen vivant en appartement (valeur moyenne). Voir page 56 pour la maison

L'homme a besoin d'énergie pour se **chauffer**, s'éclairer, assurer l'électroménager, faire avancer sa voiture, 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 l'aliment elle est utilisée par homo sapiens d'une part sous forme d'énergie thermique pour maintenir son corps à 37 degrés vu que la température moyenne sur notre planète de 15 degrés centigrades est plus faible que celle de son corps et qu'il a besoin d'énergie sous forme d'énergie mécanique.

- **C** Pour se chauffer, à savoir 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 d'autre part l'effet joule, dans la pratique les radiateurs électriques. Le chiffre de **6800 kWh** est une prospective de ce que pourrait être la consommation moyenne assurant le chauffage de l'appartement d'un Français de l'hexagone habitant en ville. Le besoin en énergie du citoyen français est en effet principalement le **chauffage** (Environ 50% du besoin total). Vivant en moyenne dans quelque 28 m<sup>2</sup> habitable dans un appartement qui dissipe quelque 250 kWh <sup>1)</sup> par m<sup>2</sup> habitable, la quantité d'énergie thermique qu'il consomme annuellement pour se chauffer correspond sensiblement à 6800 kWh. Ce chiffre tient compte du fait que le besoin du citoyen logé en appartement est plus faible que celui du campagnard logeant dans une maison individuelle par le fait que les surfaces de déperditions thermiques d'une maison sont très supérieures à celles d'un appartement. Cette orientation vers les immeubles et leurs appartements a été choisie pour vous donner une meilleure vision du futur et tenir compte d'un accroissement de la population urbaine qui va se faire progressivement au détriment de la population rurale <sup>2)</sup>. Il n'y a pas encore à ma connaissance de statistique faisant la répartition combustion-chauffage électrique en France mais il a été estimé ici que 60% des français se chauffe avec la combustion et les 40% restant avec des radiateurs électriques. Cela ne devrait pas être trop loin de la réalité.
- **E** Le chiffre de **1400 kWh** correspond à **l'électroménager et à l'éclairage**
- **V** Pour satisfaire ses besoins en énergie **mécanique**, c'est-à-dire pour alimenter sa voiture, le français utilise actuellement presque exclusivement la combustion de l'essence et de ses dérivés. Ceci avec le moteur à combustion interne utilisant des produits fossiles que ce soit pour sa voiture ou plus généralement pour le transport routier. Quant à l'incidence sur notre environnement et les performances de cette chaîne énergétique, tout est malheureusement clair : mauvaises performances et pollution des villes avec les gaz de combustion (particules fines dangereuses pour nos poumons). Le chiffre de **4000 kWh** correspond à la consommation de sa voiture individuelle : ceci à raison de 10 000 km par an et d'une consommation de 8 litres d'essence au 100 km. Les 800 litres d'essence consommées annuellement par la voiture du couple fiscal homme-femme correspondent compte tenu du pouvoir calorifique de l'essence proche de 10 kWh par litre à une quantité d'énergie thermique de 4000 kWh pour chacun d'eux. (Voir complément page 74)

Le chiffre **N** de 1000 kWh correspond à des **aliments** consommés et produit localement par homo sapiens. (Voir complément page 78)

On sait en effet qu'un individu a besoin en moyenne de 2500 calories par jour pour se nourrir. Ce chiffre étant majoré de 150 calories pour un individu actif et diminué de la même valeur pour un individu n'ayant aucune activité physique. Un grand sportif pouvant consommer plus de 3000 calories. Mais attention il s'agit ici de la calorie alimentaire. Il faut dans la pratique multiplier ces chiffres par 1000 pour évaluer la consommation énergétique moyenne d'un individu si l'on raisonne dans le système international (SI). L'équivalent mécanique de la calorie égal à 4,18 joules de l'anglais James Prescott, cela revient à dire qu'un individu consomme en moyenne 2500 kilocalories par jour où  $2500 \times 4,18 = 10\,450$  kilojoules par jour ou encore  $10\,450 \times 365 = 3\,815\,000$  kilojoules par an. Ou encore vu que 3600 kilojoules correspondent à 1 kWh sensiblement **1000 kWh annuellement**

On observe donc sans crainte de se tromper et aussi incroyable que cela puisse paraître qu'homo sapiens consomme beaucoup plus d'énergie pour se chauffer et alimenter sa voiture que pour se nourrir. Il suffit pour cela de comparer les chiffres pour constater qu'il consomme en pratique environ 6 fois plus d'énergie pour se chauffer que pour s'alimenter. La différence étant un peu plus faible lorsque l'on fait la comparaison par rapport à la voiture.

### **Agriculture locale ?**

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 si homo sapiens fait venir sa nourriture des antipodes par avion. On estime en effet que la consommation moyenne pour transporter un passager d'une centaine de kg (bagages inclus) par avion à beau être sensiblement deux fois plus faible qu'avec la voiture (environ 3 litres de kérosène pour 100 km) 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 . Si ce n'est la mauvaise qualité du carburant utilisé la situation semble toutefois moins grave avec le transport maritime par portes conteneurs qui traite sensiblement 80% des exportations-importations mondiales (voir figure 2 page suivante)

En effet, si l'on en croit les caractéristiques générales du porte-conteneurs accessible à partir [du lien suivant](#) un tel porte-conteneurs peut transporter une charge de 185 000 tonnes (port en lourd) et ceci en navigant à 23 kns correspondant à 42 km/h (1 kns = 1,85 km/h) ce qui lui permet de parcourir ces 20 000 km s'il vient des antipodes en 480 heures ( 20 jours)

Compte tenu de la puissance de ses moteurs diesel de 54 000 kilowatts ou 73 500 CV (1CV = 0,835 kW) et de la consommation moyenne d'un moteur thermique de 150 g/CV heure, il consomme pour faire ce trajet de 20 000 km  $0,15 \times 73\,500 \times 480 \times 10^{-3} = 5\,280$  tonnes de gasoil ce qui correspond à environ 3% de la masse de marchandise transportée ce qui est quand même nettement moins grave que l'aviation. Vu que ces 5 280 tonnes de gasoil correspondent à 6 400 000 litres compte tenu de la densité du gasoil proche de 0,82 c'est tout de même une quantité d'énergie égale à 64 millions de kWh qui est consommée pour le transport de ces 185 000 tonnes de marchandise (à raison de 10 kWh par litre ). Ceci alors que sur la base d'une valeur énergétique moyenne d'un aliment égale à 15 kJ par gramme, l'énergie contenue dans ces 185 000 tonnes d'aliments est égale à  $(185\,000\,000\,000 \times 15)/3600 = 770$  millions de kWh

Bien que les porte-conteneurs soient proches du [toujours +](#) on observe toutefois que sauf erreur de ma part, on peut estimer que le transport maritime génère une situation nettement moins grave qu'avec l'aviation. Certes, pour réduire les coûts, le combustible est parfois du fuel lourd de très mauvaise qualité mais on constate au travers de ces chiffres que dans le cas des très longs trajets l'énergie nécessaire au transport de l'aliment avec les portes conteneurs est sensiblement 10 fois inférieure à l'énergie contenue dans l'aliment lui même au lieu d'être 8 fois supérieure comme on vient de le voir pour l'aviation

### Notas

1 Nous serons probablement amené 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 degrés 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 67degrés C inférieure à celle de son corps alors que ces deux températures sont pratiquement au même niveau dans le deuxième cas.

2 Il est plus que probable que l'agriculture purement urbaine sera insuffisante pour nourrir le citoyen

3 Suite au dérèglement climatique une notion associant l'aliment absorbé par l'homme et la quantité de gaz à effet de serre émise par kg d'aliment absorbé fait surface (Voir figure ci-contre et la page 86 du complément)

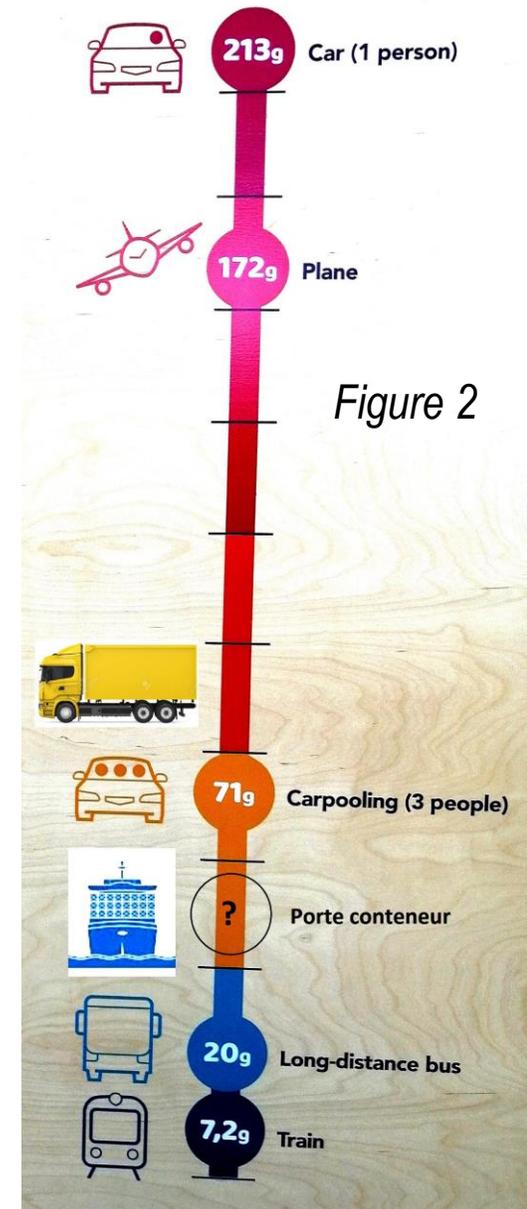
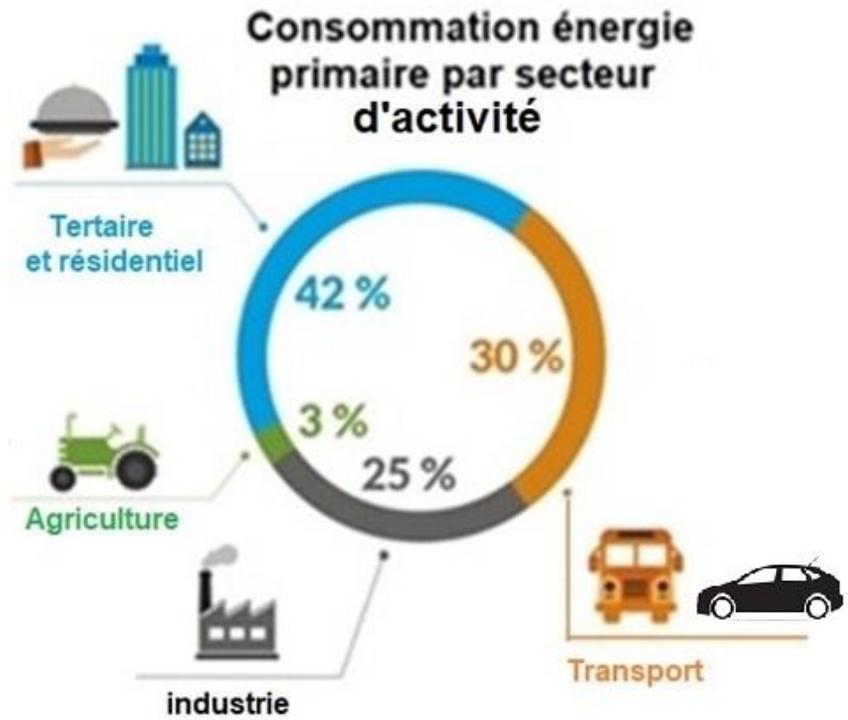


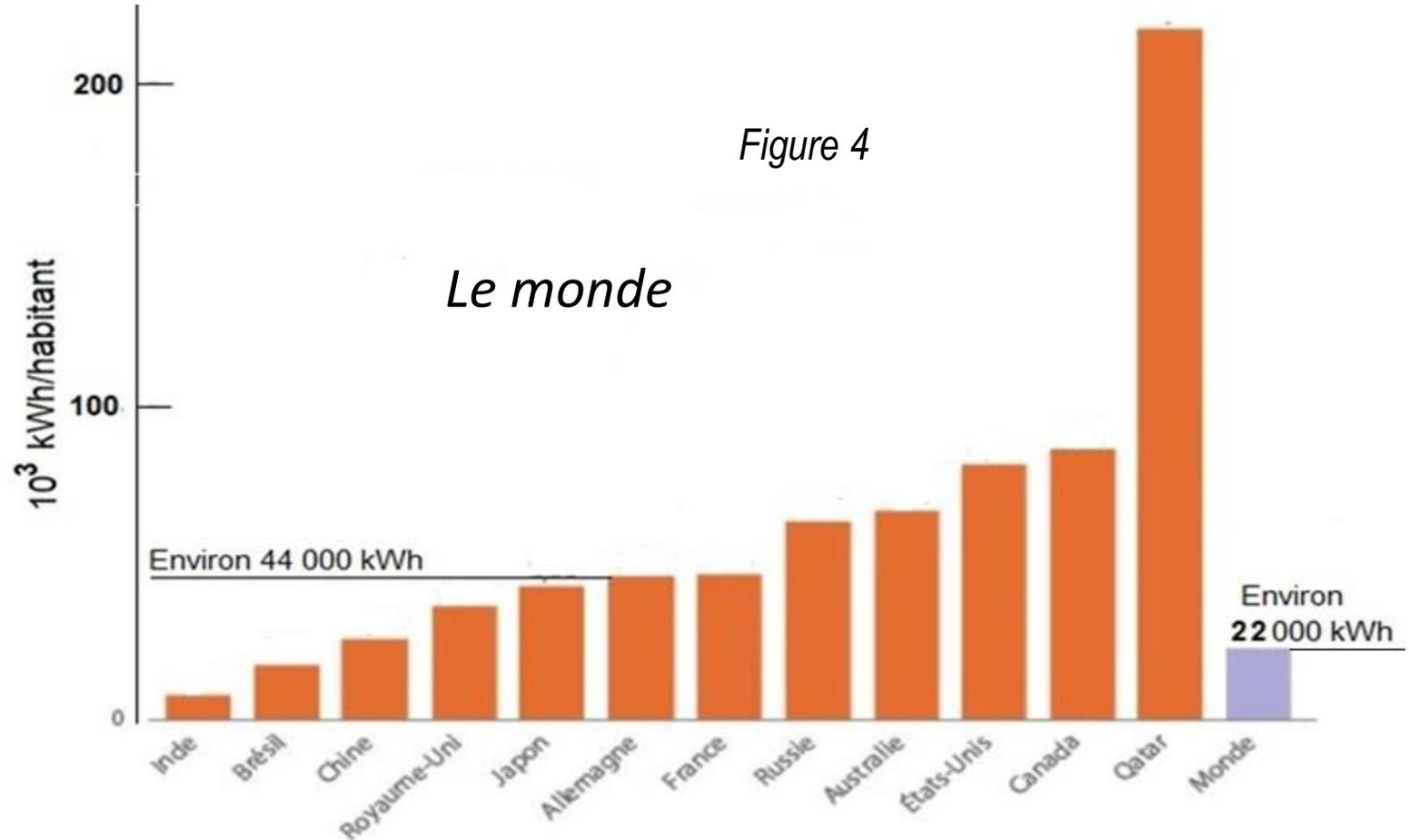
Figure 2

# Ce qu'homo sapiens consomme selon les pays



*La France*

Figure 3



*Le Canada les USA l'Australie et la Russie sont les gloutons énergivores de la planète terre*

# La combustion du fioul

## Le chiffre 10

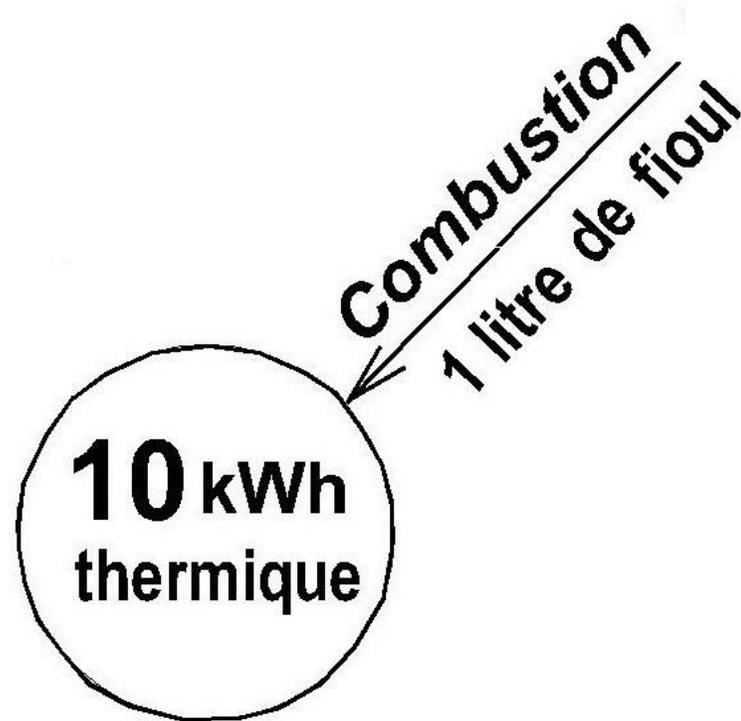


Figure 4



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

$$\text{On a } P = Q_f \times PCI \quad \frac{\cancel{\text{litre}}}{\cancel{h}} \times \frac{\text{kW.h}}{\cancel{\text{litre}}}$$

La pollution aux particules fines

# La combustion du gaz naturel

*Consommation*

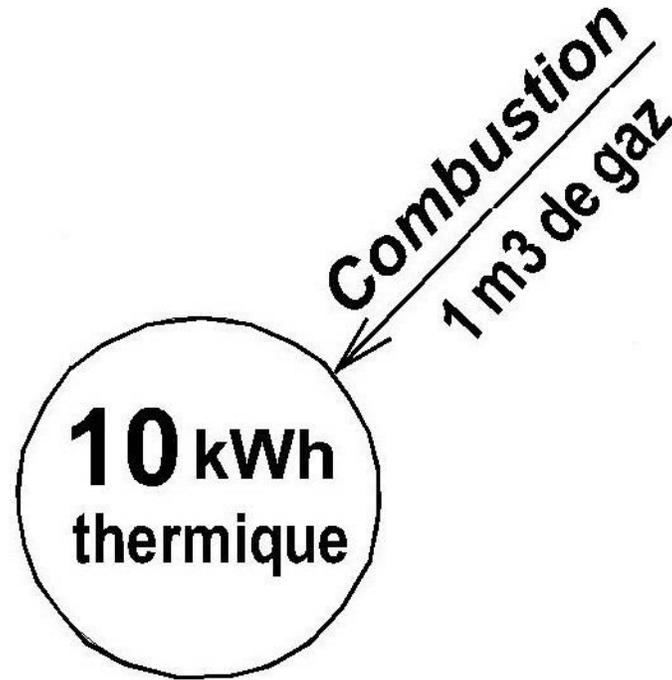


Figure 5

Le biogaz 2 m<sup>3</sup> de biogaz c'est sensiblement 1 m<sup>3</sup> de gaz naturel (méthane)

# Rappel sur l'effet Joule (Les radiateurs électriques)

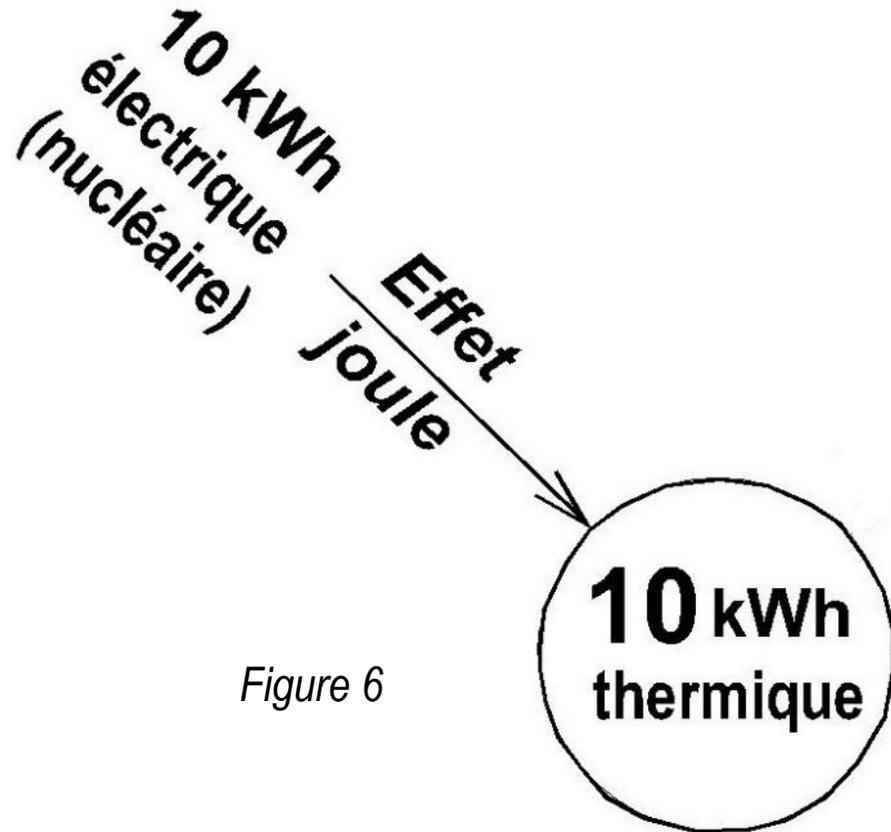
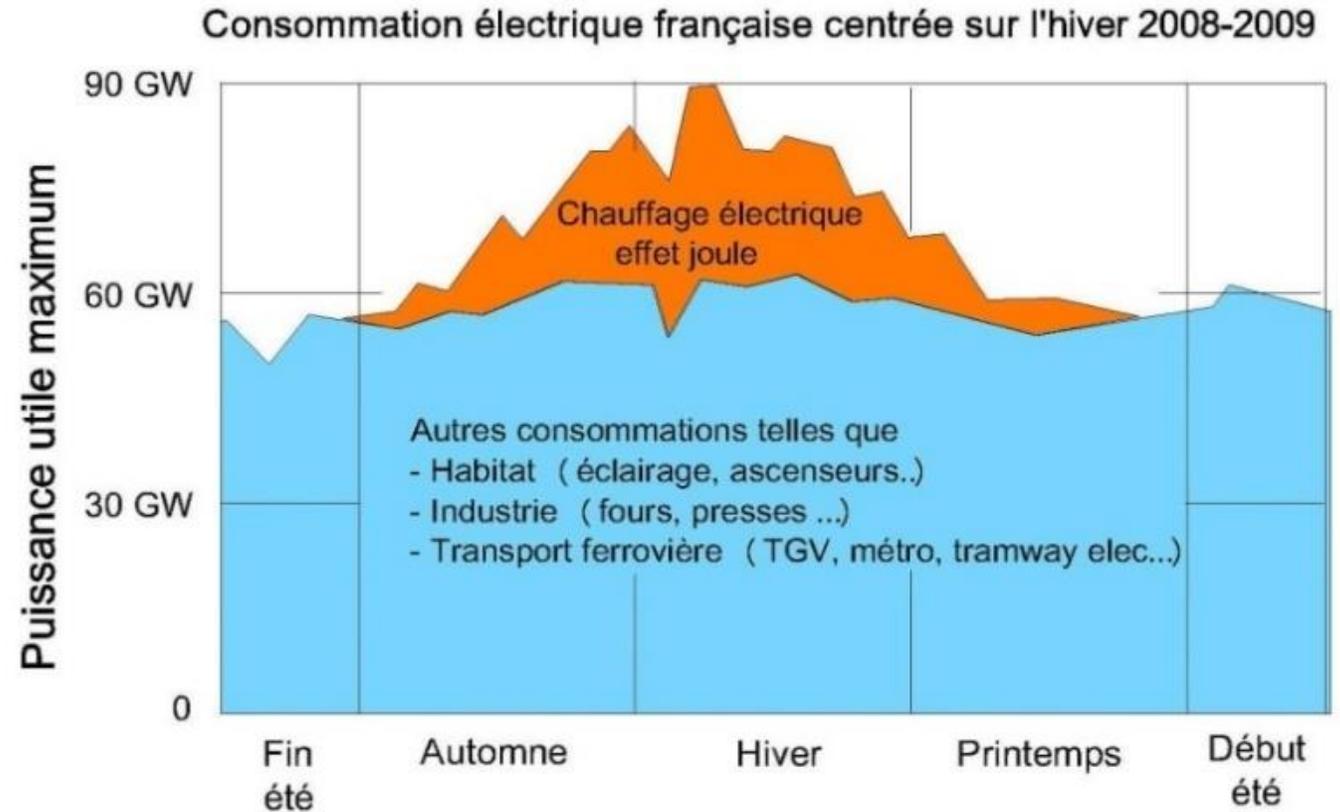


Figure 6

Figure 7



# Les moteurs thermiques

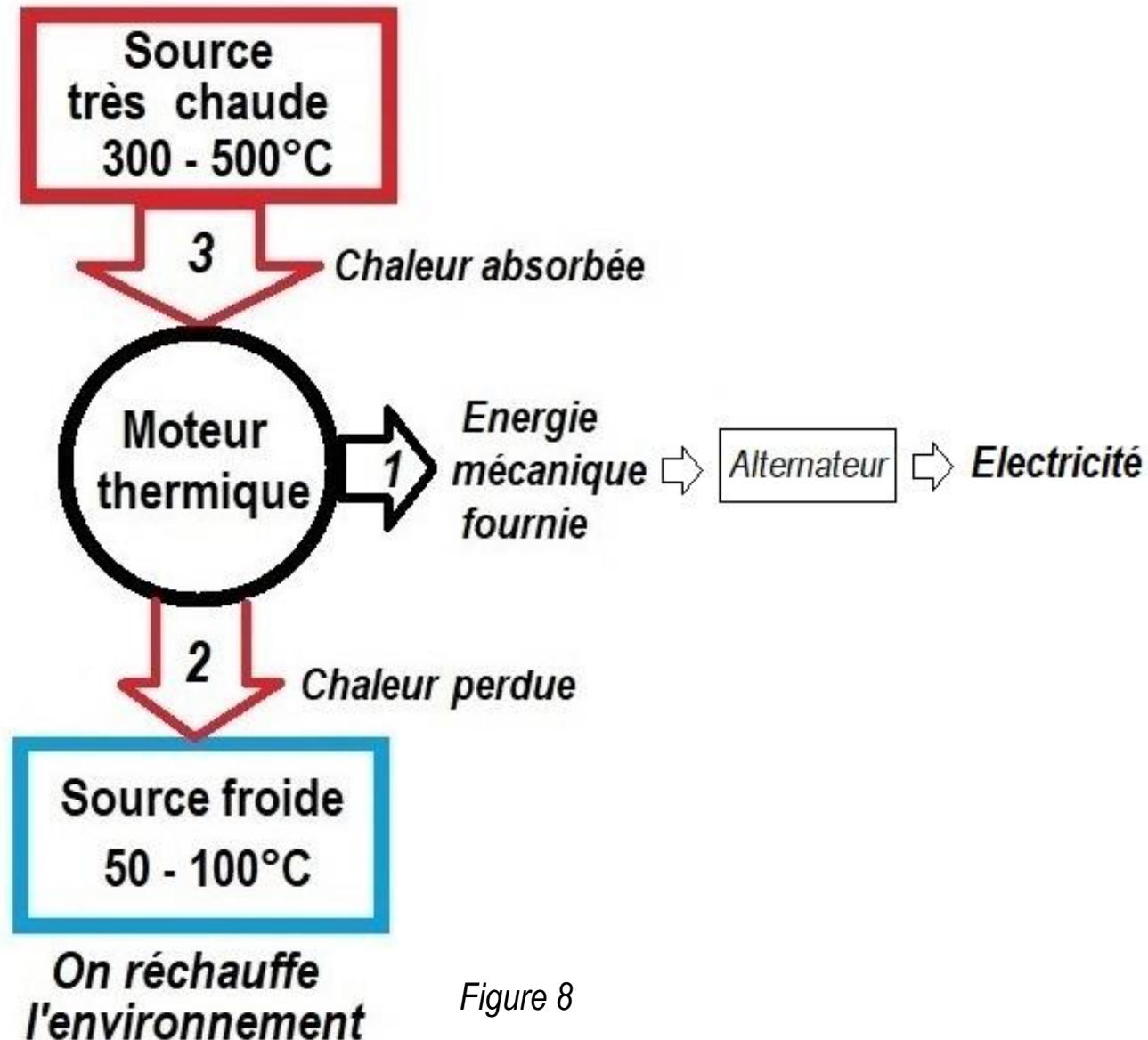


Figure 8

*Il s'agit des moteurs thermiques du type moteur à essence et turbine à gaz.*

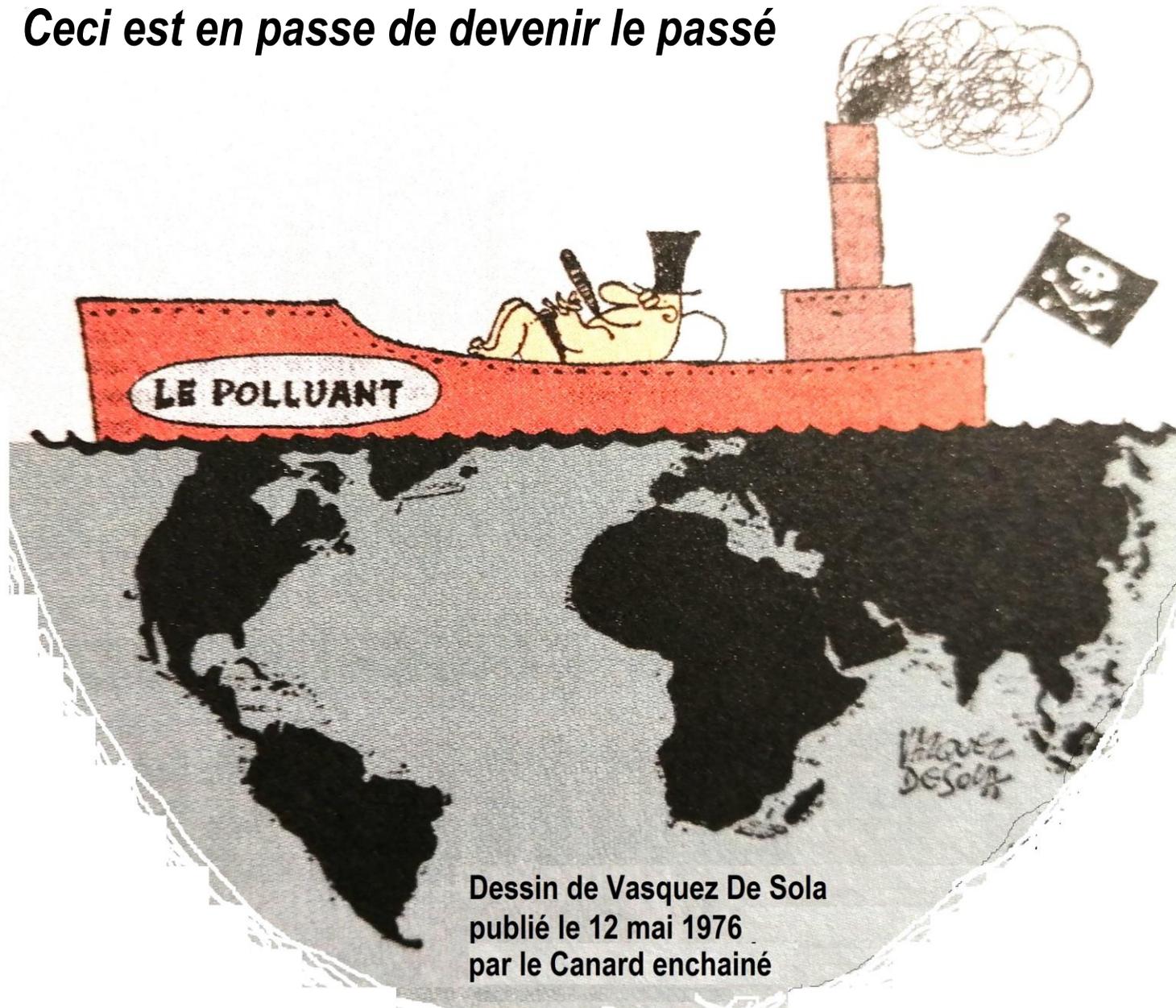
*Ces deux systèmes très comparables passent par les hautes températures. Ils polluent et réchauffent l'environnement (2) en fournissant de l'énergie mécanique (1)*

*La loi de conservation de l'énergie est respectée.*

*Le système émet autant d'énergie qu'il en reçoit :  $1+2 = 3$*

*Rendement  $r$   
 $1$  que divise  $3 = 0,33$*

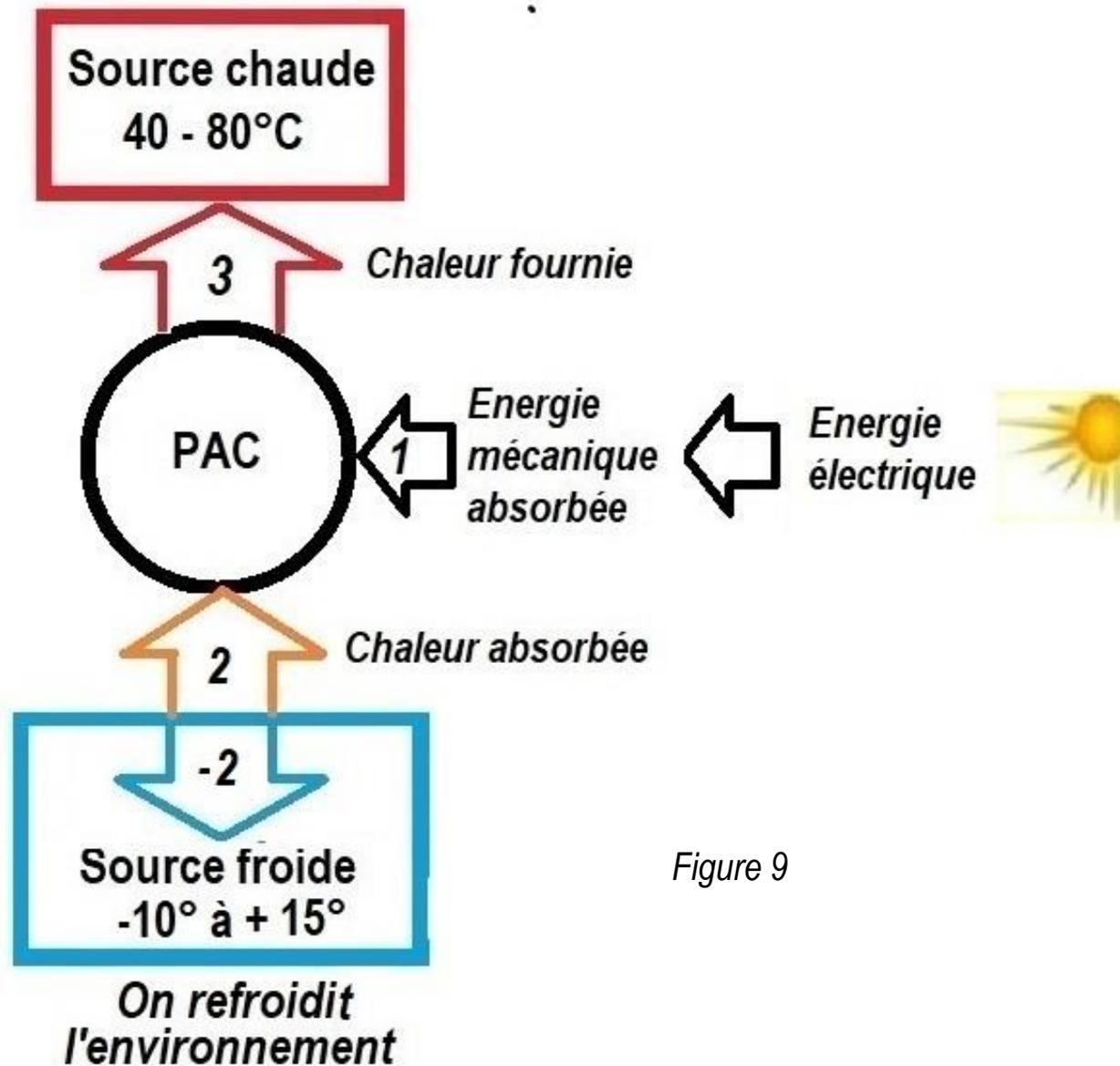
*Ceci est en passe de devenir le passé*



### Cours du baril de brent en dollars



# Les pompes à chaleur



La pompe à chaleur (PAC),  
comme les moteurs  
thermiques émettent autant  
d'énergie qu'ils en reçoivent  
et respectent les lois de  
conservation de l'énergie :

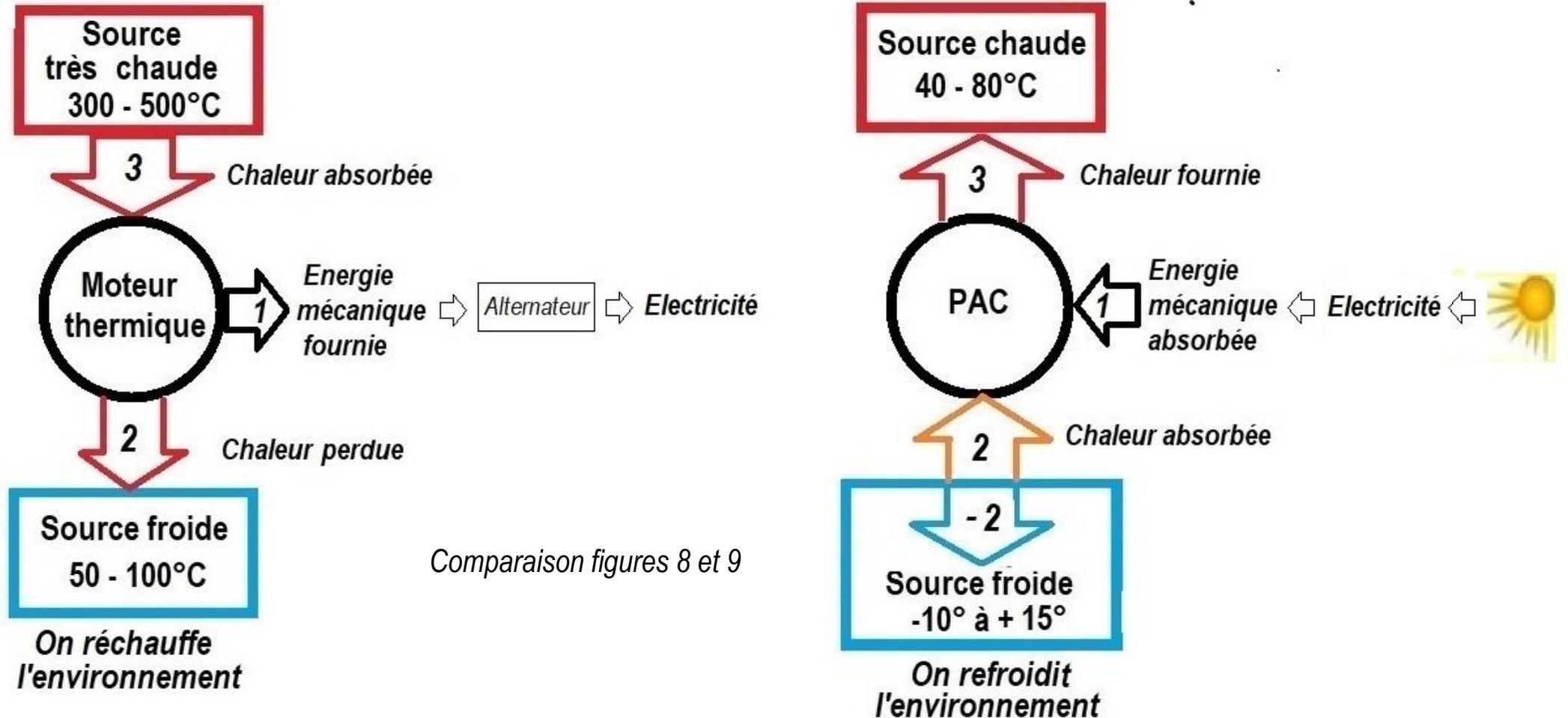
$$2 + 1 = 3$$

Performance ( $p$ )

$$p = 1/r = 3/1 = 3 \text{ (COP)}$$

Figure 9

# Deux chaînes énergétiques comparables mais différentes



Les performances de la chaîne énergétique utilisant le moteur thermique pour assurer le chauffage et la climatisation de l'habitat à partir de l'électricité produite par cette chaîne énergétique est l'évidence déplorable en terme de performance. Pour une même quantité d'énergie électrique la PAC produit à minima trois fois plus de chaleur (Dans la pratique 5 à 6 fois plus si l'on prélève l'énergie thermique renouvelable dans l'eau et non dans l'air).

# La bonne et la mauvaise chaîne énergétique

On commence je crois en 3<sup>ème</sup> à manipuler les équations algébriques. Je ne vous expliquerais pas les détails et la signification de cette formule vu que vous ne comprendriez probablement pas mes explications. Je vous demande seulement de la retenir, de vous rappeler que la grande lettre *T* représente des températures (*c* quand c'est chaud, *f* quand c'est froid. Il y a une chose que vous pouvez je pense vérifier: son exactitude vu que le produit des deux termes est bien égal à 1

$$\text{Le passé} \leftarrow \left( \frac{r (T_c - T_f)}{T_c} \right) \times \left( \frac{T_c}{r (T_c - T_f)} \right) = 1 \rightarrow \text{Le futur}$$

Figure 10

Je vous demande seulement de me croire si je vous dis que le 1<sup>er</sup> terme  $r (T_c - T_f) / T_c$  représente le comportement des chaînes énergétiques basées sur le « **moteur thermique** » que nous utilisons actuellement pour nous chauffer en hiver et assurer la motorisation de nos voitures. Ces chaînes énergétiques 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 pour produire notre électricité. Ces deux chaînes énergétiques sont celles qu'il va falloir que nous abandonnions sans trop attendre pour assurer le confort thermique de notre l'habitat. Cela pour ne pas affecter dangereusement notre environnement. On a grosso modo  $r = 0,33$  (ce qui revient à dire que l'on perd inutilement 66 % de l'énergie)

Quant au 2<sup>ème</sup> terme  $1/r \times T_c / (T_c - T_f)$ , il représente le comportement 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  $p = 1/r$  de cette 2<sup>ème</sup> chaîne énergétique est nettement améliorée par rapport à la précédente.

avec  $p = 1/r = 1/0,33 = 3$  (ce chiffre beaucoup plus intéressant résultant du prélèvement important de chaleur renouvelable dans notre environnement)

## Le bon et le mauvais COP

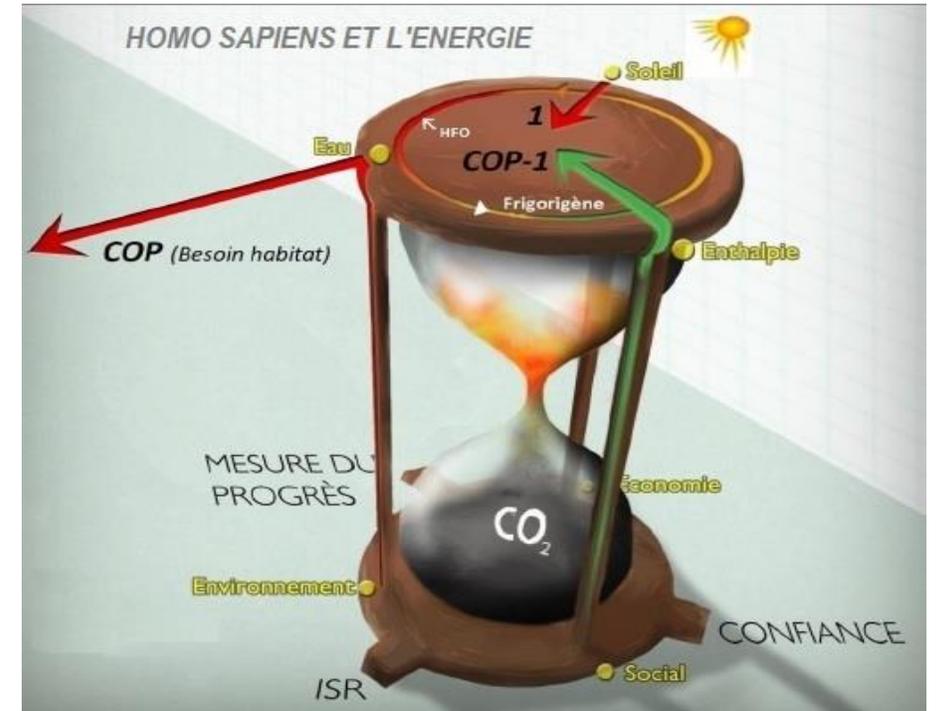
Améliorer rapidement la qualité de l'air dans nos villes en diminuant nos charges chauffage sans déséquilibrer notre économie et sans aggraver le réchauffement climatique devraient être les principaux objectifs de notre transition énergétique. Ceci de telle sorte que la médecine pulmonaire et le médiateur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

- Le "mauvais COP" c'est l'enfer du "consommer plus" avec tous ces voyages internationaux convergeant vers le pays organisateur de ces COP, 22, 23, 24 25 et bientôt 26 en novembre 2020 à Glasgow en Écosse etc... Un enfer pavé de bonnes intentions certes, mais absent de pragmatisme qui nous entraîne années après années vers l'aggravation de notre empreinte écologique

- Le "bon COP", c'est celui du "consommer moins" associé comme on vient de l'évoquer à la pompe à chaleur qui est par définition le rapport entre l'énergie thermique devant arriver 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 : elle refroidit notre environnement au lieu de le réchauffer. Quant aux performances de cette deuxième chaîne énergétique on observe que la performance s'améliore

- si la température à la source froide augmente.

- si l'on diminue la température à la source chaude. voir à ce sujet les [radiateurs basse température](#)



**ISR** investissement socialement responsable

# Le diagramme de Mollier

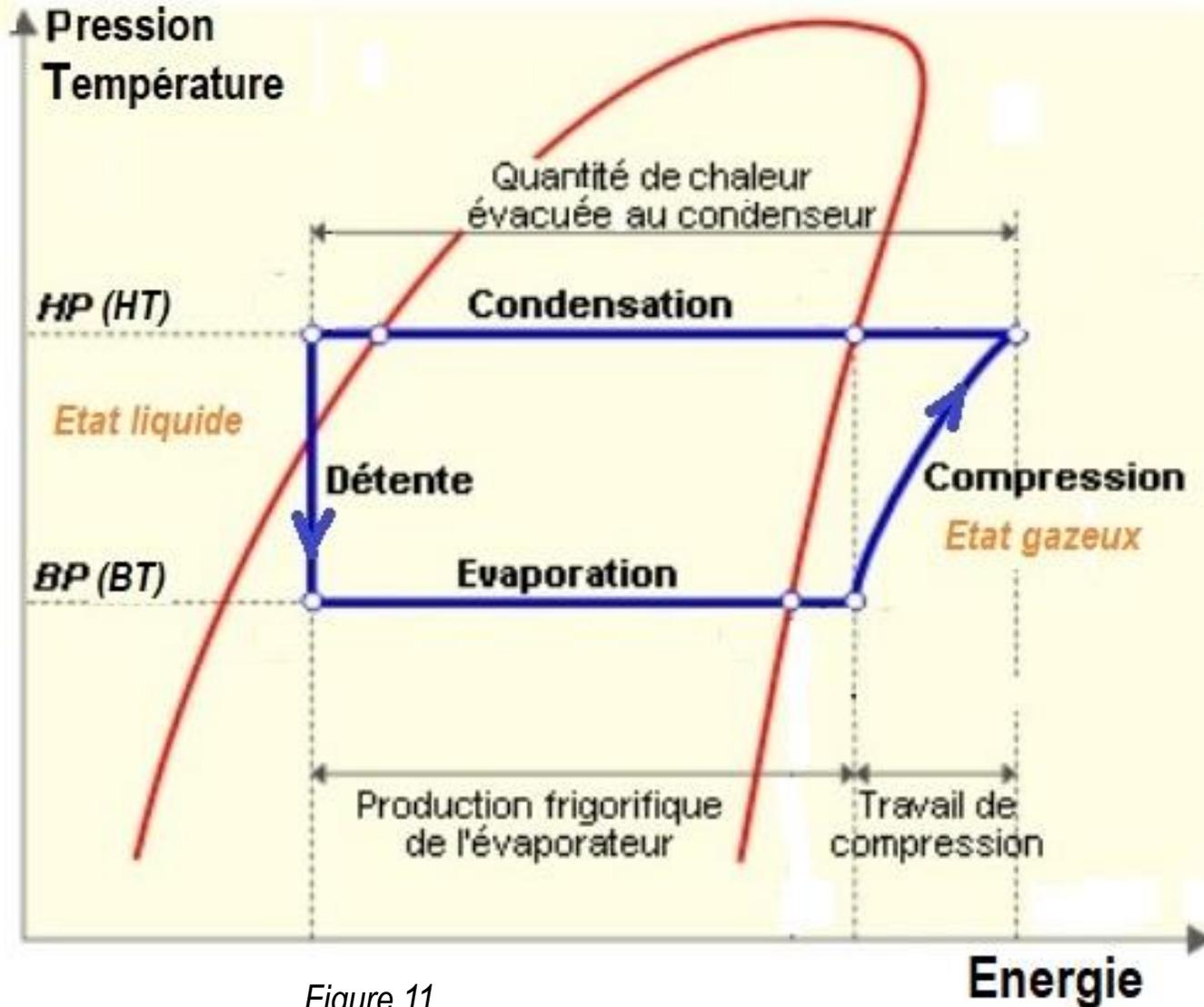


Figure 11

Lorsque le fluide caloporteur de la pompe à chaleur à fait un tour 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 reçu, 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 émis dans le condenseur. [Voir théorie](#)

# Chaud Froid Performance (CFP)

Une PAC peut fonctionner selon deux modes de fonctionnement

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

*En été*, une pompe à chaleur peut fonctionner en *mode froid* (mode climatisation) et refroidir l'intérieur du logement au lieu de le réchauffer. Ceci grâce à une vanne 4 voies qui inverse les fonctions assurées par l'évaporateur et le condenseur de telle sorte que le système réchauffe l'environnement au lieu de le refroidir.

Lors de son cycle de fonctionnement le *fluide caloporteur* de la pompe à chaleur passe alternativement de l'état liquide à l'état gazeux pour revenir à l'état liquide. L'énergie qu'il émet lorsqu'il est à l'état liquide dans le condenseur (entropie) est égale à la somme des énergies qu'il reçoit: celle lorsqu'il est à l'état gazeux et à très 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 chaînes 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

voir démonstration au lien suivant [http://www.infoenergie.eu/riv+ener/LCU\\_fichiers/RSE-cop.pdf](http://www.infoenergie.eu/riv+ener/LCU_fichiers/RSE-cop.pdf)

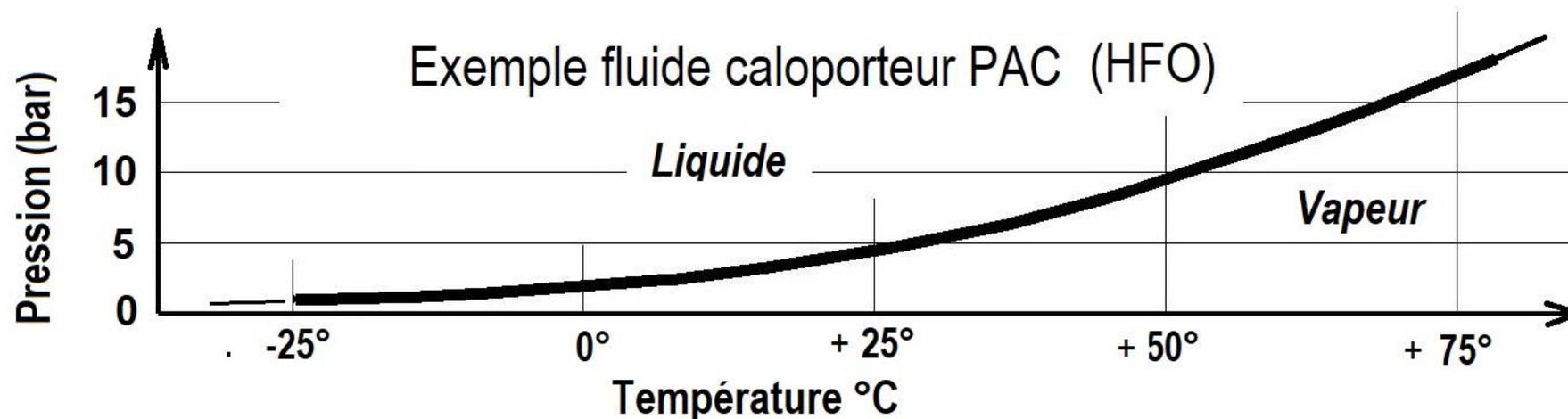


Figure 12

# Chaud ou froid dans l'habitat avec l'eau (douce ou [salée](#))

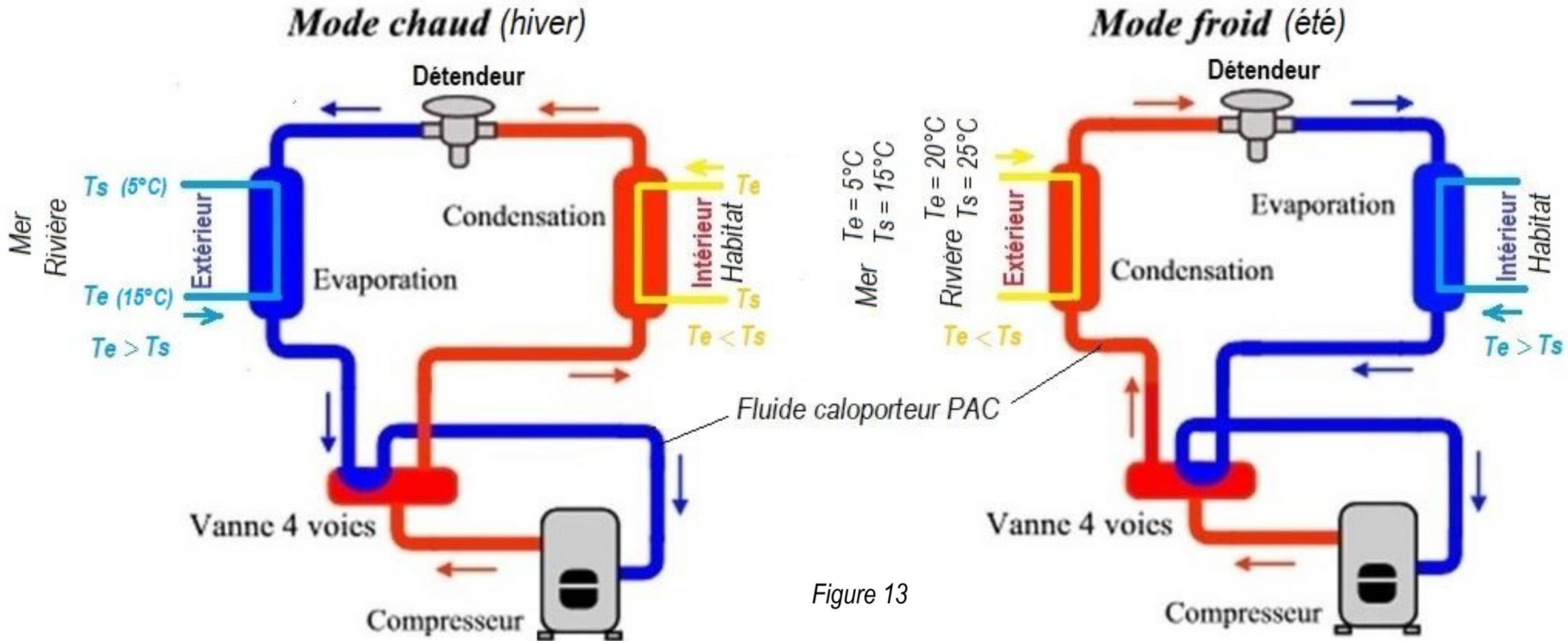
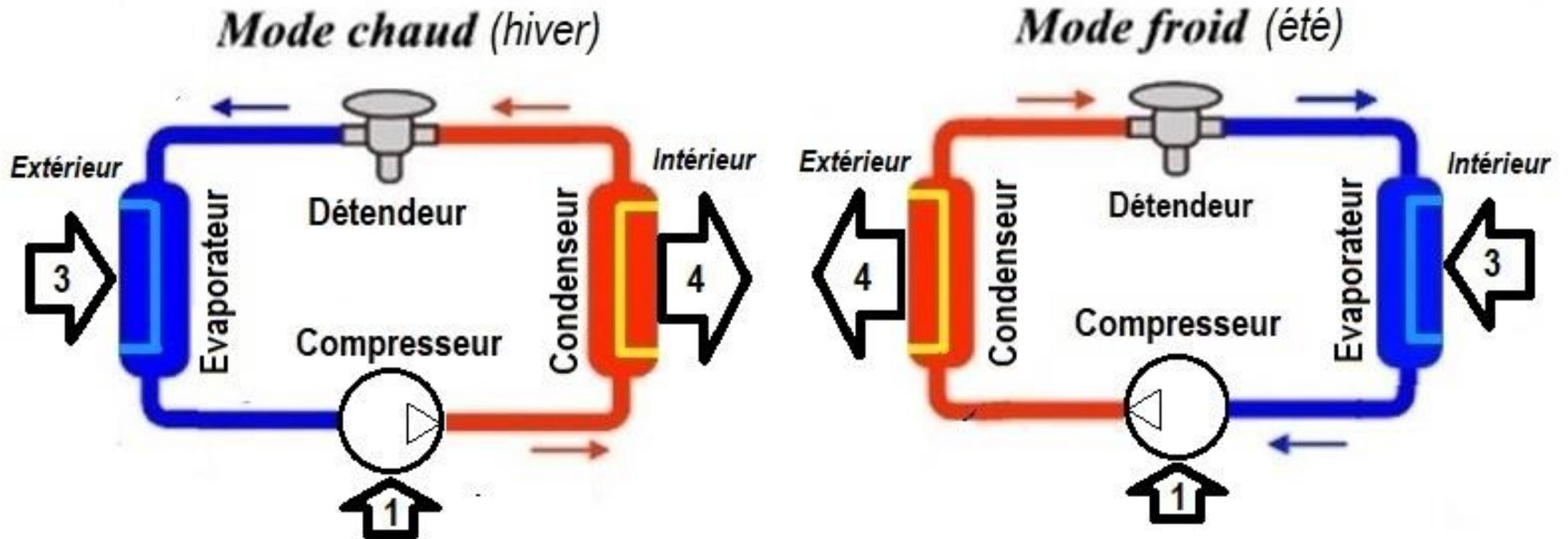


Figure 13

Mode pompe à chaleur (PAC)

Mode climatisation habitat

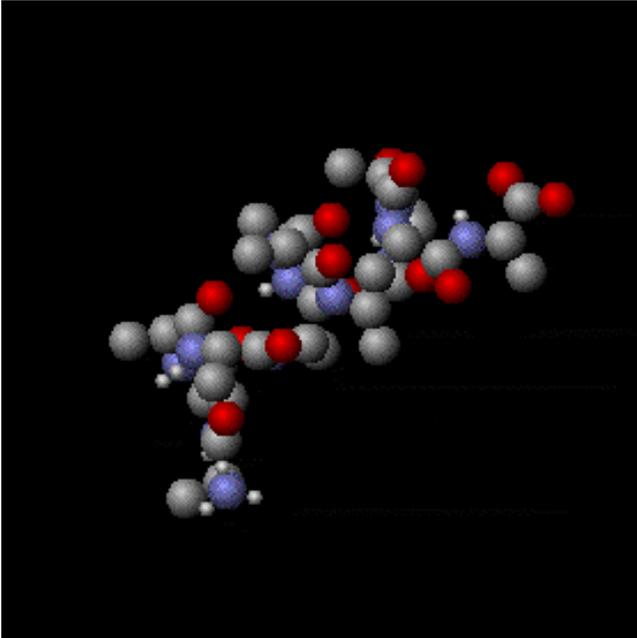
# Le fluide caloporteur reçoit et émet de l'énergie thermique



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 rentrantes). 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).

# La pompe à chaleur:

## L'égalité de Clausius



A -273° C rien ne bouge  
Pour voir ce qui se passe lorsque la  
température augmente [cliquer ici](#)

[Une chaîne énergétique nouvelle](#)

*On ne peut évoquer les systèmes type pompe à chaleur sans introduire les études de Rudolf Clausius sur l'entropie de la matière et le fait que l'énergie contenue dans celle-ci ainsi que sa désorganisation augmente avec sa température. A la température de - 273 ° C soit 0 ° Kelvin la matière est figée comme représenté sur la figure de gauche. Par contre si la température augmente la désorganisation de la matière augmente en proportion.*

*Il y a beaucoup de paramètres qui caractérisent la qualité du fluide circulant dans le cœur de la pompe à chaleur mais les 2 caractéristiques principales du fluide dit caloporteur <sup>17)</sup> d'une pompe à chaleur est sa capacité à générer du froid dans l'évaporateur à la sortie du détendeur et du chaud dans le condenseur (Ce que le thermodynamicien appelle son **enthalpie E** et qui s'exprime en kilojoule/kg) lorsqu'il vient d'être comprimé à l'état gazeux par le compresseur. Pour une pompe à chaleur décrivant un cycle thermodynamique (en principe réversible), l'application du second principe au système ditherme, permet d'écrire que **E3 / Tc = E2 / Tf** (Egalité de Clausius).*

La quantité d'énergie contenue dans la matière étant d'autant plus grande que la température de celle-ci est élevée. À la température de 0 ° Kelvin (-273 ° C), la matière est figée et l'énergie contenue dans celle-ci est nulle.

Introduite par Rudolf Clausius dans ses études sur l'entropie de la matière, l'égalité de Clausius qui peut s'écrire **E3 / E2 = Tc / Tf** caractérise le degré de désorganisation des particules constituant cette dernière. Cette désorganisation ainsi que l'énergie contenue dans la matière prouve la potentialité du chauffage thermodynamique. En effet, lorsque la température de la source chaude est égale à la température de la source froide, par exemple lorsque l'on commence à chauffer l'eau froide sanitaire à 10 ° C en utilisant l'eau de la nappe phréatique également à 10° C , **Tc** étant égal à **Tf**, il en résulte que **Tc / Tf** est égal à 1 ainsi que **E3 / E2** . Cela signifiant que toute l'énergie thermique **E3** disponible à la source chaude est théoriquement de l'énergie renouvelable **E2** prélevée dans l'environnement, l'énergie électrique **E2** nécessaire pour entrainer le compresseur étant théoriquement nulle

Il y a bien sur des limites physiques mais la page suivante illustre la potentialité de la thermodynamique. Cette limite physique semble être actuellement un COP voisin de 6 (voir la revue CFP et le constructeur de PAC Carrier aux USA qui évoque des COP de 7)

# 2 Chaînes énergétiques nouvelles en IDF

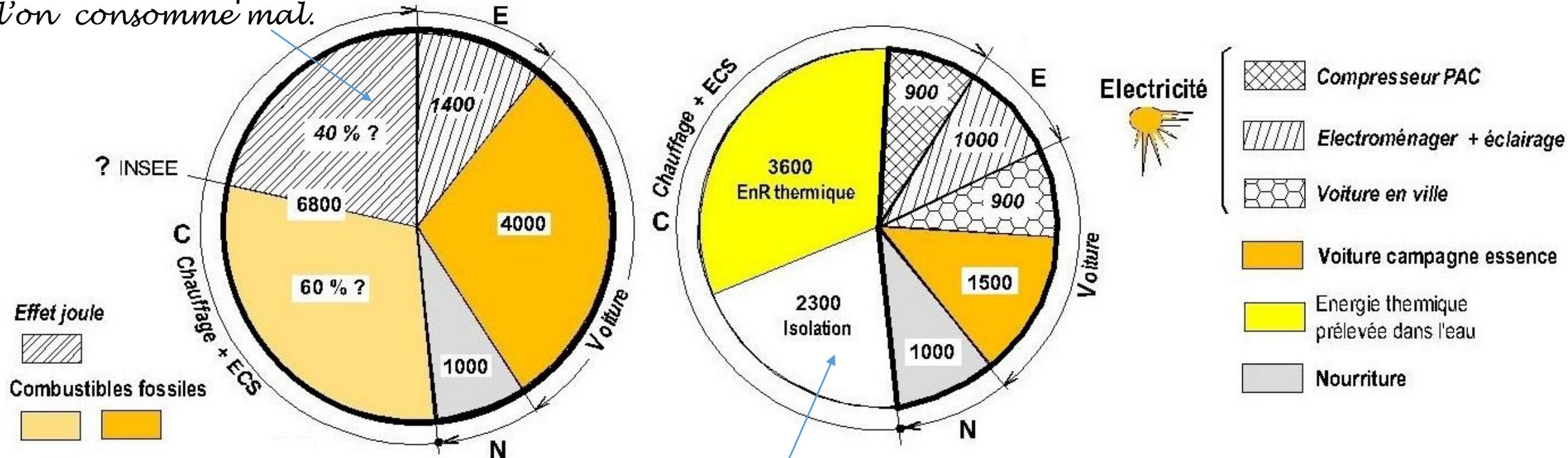
## Consommation par citadin (chauffage + voiture + nourriture)

*L'énergie la plus chère est celle que l'on consomme mal.*

Maintenant  
13 200 kWh

Après "SWE"  
Consommation réduite à 5 300 kWh

Figure 14



*L'énergie la moins chère est celle que l'on ne consomme pas*

## Nouvelle façon de satisfaire nos besoins énergétiques avec la « Solar Water Economy » (SWE)

La "SWE" est la vision de ce que pourrait être une transition énergétique allant dans le sens de l'abandon de nos 2 principales chaînes énergétiques actuelles à savoir la combustion des produits fossiles et l'effet joule devenues obsolètes en raison de leur piètres performances. Ceci en ne faisant appel qu'au soleil et à l'eau pour satisfaire nos besoins en énergie. La figure 14 compare les besoins en électricité avant et après mise en place des nouvelles chaînes énergétiques assurant la climatisation de l'habitat et la motorisation de la voiture individuelle. La partie gauche montre comment l'on satisfait nos besoins en énergie avec les chaînes énergétiques utilisées actuellement et la partie droite comment le besoin en énergie pourrait être satisfait avec le concept énergétique "SWE" Un concept résumé pour ce qui concerne les généralités dans la dernière partie de mon [ebook](#) dans lequel l'eau occupe une position centrale. Une position centrale par le fait que l'utilisation de l'eau au lieu de l'air minimise le besoin liée aux apports solaires électrique et est mieux adaptée que l'air pour la santé de l'homme\*. Si nous procédons sans trop attendre, il ne semble pas trop tard d'espérer mettre en place ce nouveau concept sans remettre trop gravement en cause notre modèle économique. On va se rendre compte qu'avec ces nouvelles chaînes énergétiques on pourra préserver nos ressources grâce à l'eau et au soleil en consommant nettement moins d'énergie finale qu'actuellement. Ceci particulièrement pour le poste le plus lourd quantitativement celui du chauffage de l'habitat. On va voir comment, en assurant son confort, la nouvelle consommation en énergie d'un citoyen français après mise en place de ces nouvelles chaînes énergétiques que nous allons évoquer maintenant peut devenir égale à 5300 kWh au lieu de 13 200 . Ceci moyennant un effort abordable pour l'isolation de l'existant 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 + 900 kWh électrique = **4500 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** inchangée représentant l'énergie contenue dans la **nourriture** produite localement\*\*\*
- **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)

\* 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 consiste en effet à refroidir notre environnement en hiver et à le réchauffer en été pour assurer notre confort thermique à l'intérieur de notre habitat. A ce sujet chacun d'entre nous peut en effet comprendre que si le chauffage thermodynamique refroidit au plus froid de l'hiver l'air extérieur dans les villes de 4 ou 5 ° C alors qu'il fait -20 ° 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 chacun d'entre nous 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 les échanges thermiques avec l'air en ville pour assurer la climatisation des logements.

\*\* Concernant la consommation d'électricité pour laver le linge voir par exemple le dispositif à ultrasons [Dolfi](#)

\*\*\* Ceci dit la tendance du [toujours+](#) et des 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. Nos kayakistes ont trouvé comment supprimer cette [résistance de vague](#) ce qui permet d'augmenter la vitesse sans consommer plus d'énergie

# Ceci avec l'air, la terre, ou eau ?

Vu la tendance à l'élévation de la température dans les villes en raison de la densité urbaine et du réchauffement climatique, nous n'allons pas pouvoir satisfaire le besoin de confort thermique à l'intérieur de l'habitat en y supprimant la climatisation. Il va s'agir à ce sujet de comprendre que l'air n'est pas le véhicule thermique adapté pour réguler la température à l'intérieur de l'habitat.

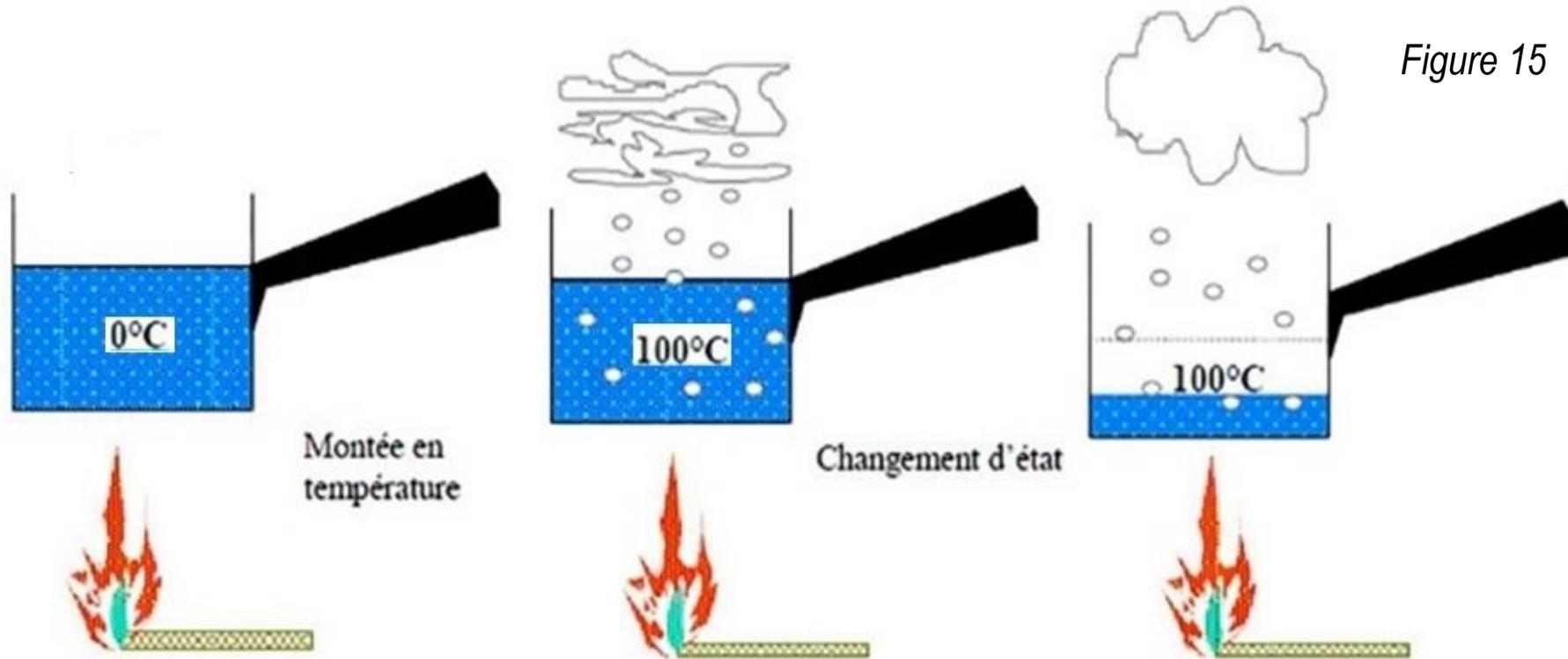
En raison du bruit qu'ils génèrent et de leur encombrement les évaporateurs des pompes à chaleur *air air* sont certes gênants mais pour l'essentiel c'est une autre raison qui va condamner cette technologie en ville.

Dans nos régions relativement tempérées cette condamnation n'est pas le fait que ces évaporateurs prélèvent de la chaleur en hiver dans l'air ambiant en le refroidissant un peu plus. Elle est dans le fait que pour créer du froid à l'intérieur de l'habitat au plus chaud de l'été ces évaporateurs (qui fonctionnent comme le fait un réfrigérateur) réchauffent dangereusement l'air ambiant extérieur des villes qui est déjà très élevée. La température à l'intérieur des villes deviendrait intenable si l'on devait généraliser ce type de régulation à l'ensemble de l'habitat urbain\*.

On mesure en écrivant ces lignes tout l'intérêt de la SWE qui échange l'énergie thermique renouvelable dans l'eau et non dans l'air comme je viens de vous l'expliquer. Ceci dans la mesure où il est possible au plus chaud de l'été de restituer dans l'eau géothermale des nappes captives profondes l'énergie thermique que l'on y a prélevée en hiver. Un avantage déterminant pour généraliser un chauffage urbain en ville tirant principalement son énergie thermique dans la nature. Ceci en raison du potentiel relativement faible de l'eau géothermale en regard du besoin important résultant de la densité urbaine élevée d'une capitale comme Paris intra-muros et sa proche banlieue ne laissant sensiblement que 50 m<sup>2</sup> au sol disponible par parisien (20 000 habitants au km<sup>2</sup>)

\*Homo sapiens craint en effet plus le chaud que le froid. Lors de la canicule de l'été 2003 qui a fait selon l'Inserm plus de 70 000 morts en Europe, les températures enregistrées n'ont guère dépassées les 40 degrés soit seulement 3 degrés au-dessus de la température intérieure naturelle du corps humain de 37 degrés C. Ceci alors que lorsque la température extérieure est de 7 ° C il supporte sans problème en se couvrant une différence de 30° C 10 fois supérieure

# L'eau véhicule thermique



Sa chaleur spécifique 4,18 kJ/kg et degréC

$$\text{on a : } W = 1,16 \ V \ x \ \Delta T$$

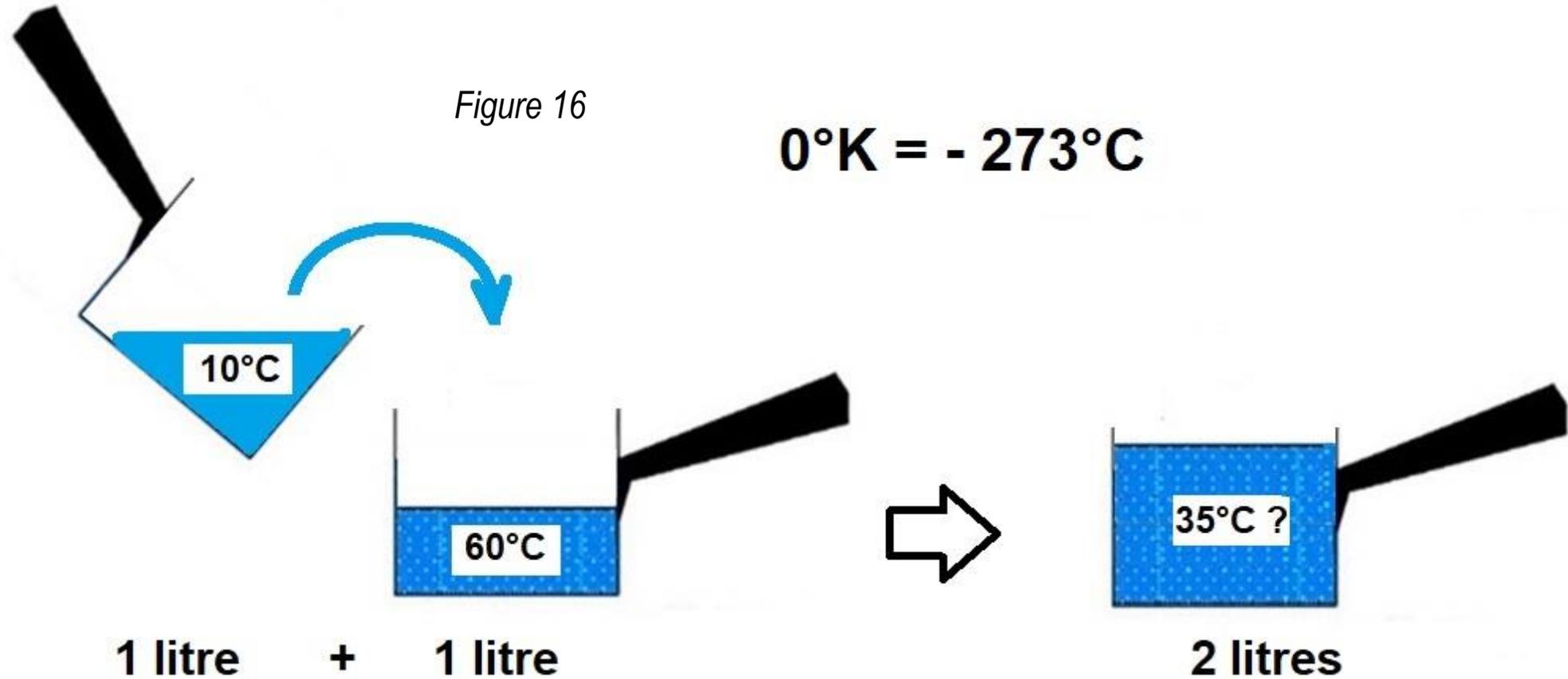
énergie en kWh    volume en m<sup>3</sup>    écart de température en ° C

ou en puissance :

$$\text{Puissance en kW} \cong \text{débit en m}^3/\text{h} \ x \ \text{écart de température en } ^\circ \text{C}$$

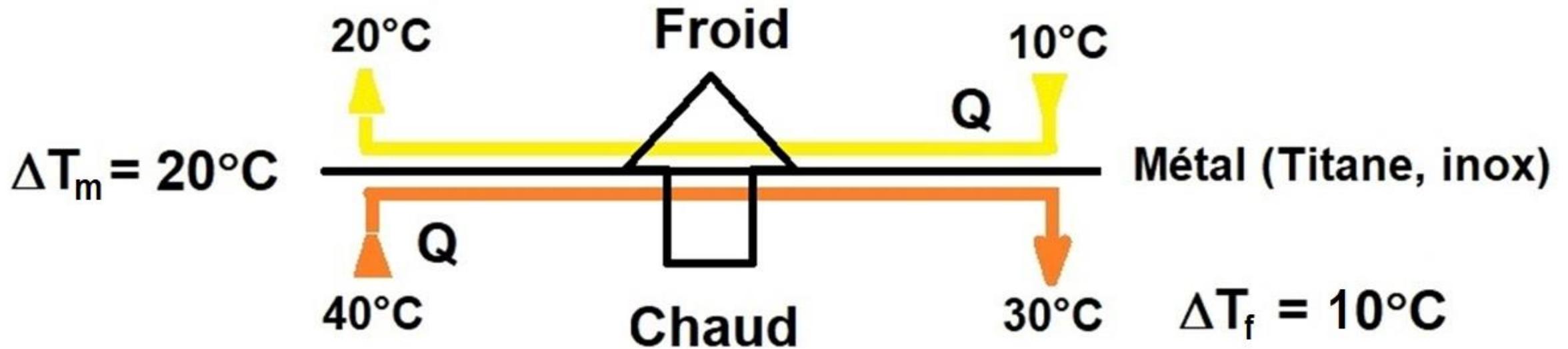
Sa chaleur latente 2250 kJ/kg

# Flux thermique eau avec mélange physique



# Flux thermique sans mélange physique

Figure 17



*Le milieu froid reçoit une puissance thermique venant du milieu chaud*

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

*Cette puissance traverse la paroi métallique avec un écart de température  $\Delta T_m$  de  $20^\circ\text{C}$  la surface d'échange étant calculée par le constructeur de l'échangeur de température (Voir le complément concernant les échangeurs à plaques page 76 et les transferts thermiques envisageables selon la nature du métal et son épaisseur)*

# Les réseaux d'eau sous-terrain et les égouts de Paris

Le sous-sol Parisien abrite en plus du métro ancien et de celui du « grand Paris » à venir un réseau de chauffage urbain associé à la combustion des ordures ainsi que [3 réseaux d'eau distincts](#) : 2 réseaux d'eau l'un d'eau potable, l'autre d'eau non potable avec un réseau d'assainissement et de drainage. Ce dernier, constituant les égouts de Paris est long de 2 500 km et a pour fonction de collecter et d'évacuer la pluviométrie ainsi que les eaux usées produites par les différentes activités humaines des parisiens. Souvent décrits comme un lieu obscur et nauséabond (notamment dans « [Les Misérables](#) » où Jean Valjean se perd en 1832), les égouts de Paris ont fortement évolués depuis les travaux entrepris par le préfet Haussmann et l'ingénieur Eugène Belgrand, tous deux à l'origine du réseau contemporain. Sous leur impulsion, toutes les rues de la capitale ont en effet été doublées d'une galerie en sous-sol, faisant alors de Paris l'une des villes les plus modernes au monde à ce sujet.

L'ensemble des égouts de Paris du type [gravitaire](#) permettent d'évacuer vers la Seine un débit important proche de 300 m<sup>3</sup>/s correspondant à la pluviométrie d'une violent orage. Ils sont interconnectés selon la hiérarchie suivante:

1. branchements particuliers de chaque immeuble,
2. égouts élémentaires de 1,30 m de large sous chaque rue,
3. collecteurs secondaires de 3 m de large avec cunette de 1,20 m
4. collecteurs principaux de 5 à 6 m de large avec cunette de 3,50 m, en général sous les boulevards ([photos](#))

Ceci sans compter les émissaires (égouts ronds de 2,50 à 6 m de diamètre, non visitables qui transportant les eaux usées vers les stations d'épuration)

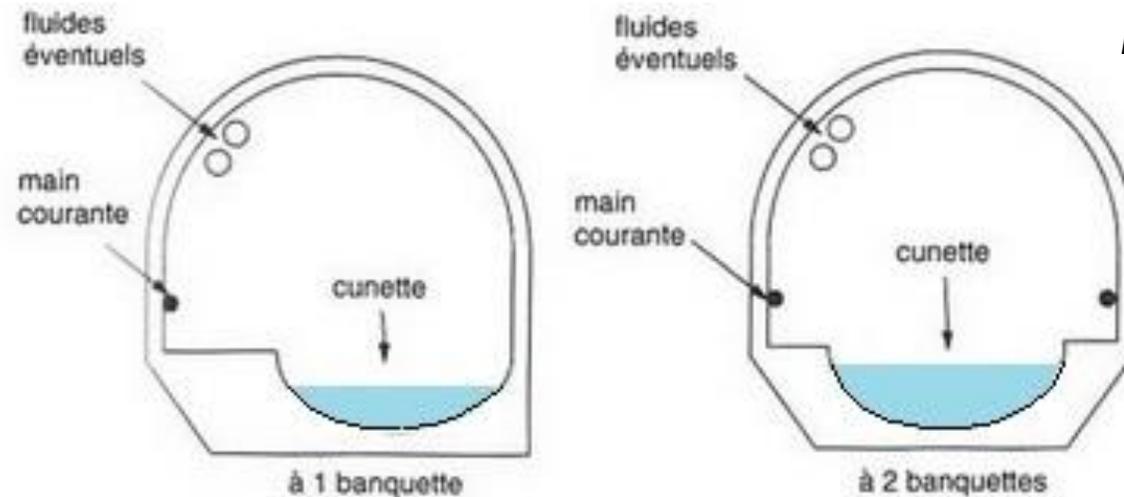


Figure 18

# Les effets de parois

Avec l'eau dans les tuyaux

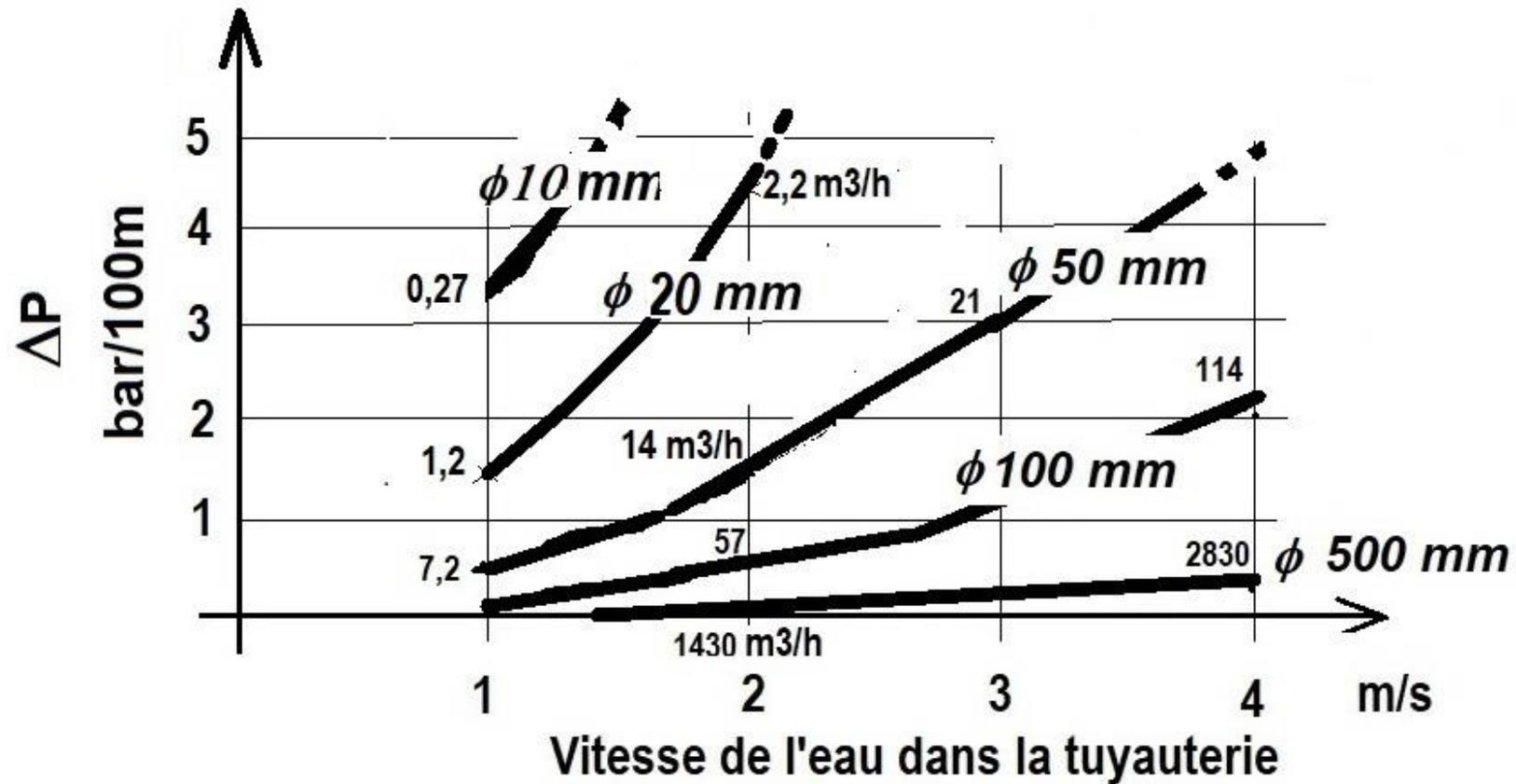


Figure 23

[Calcul des pertes de charges linéaire avec l'eau](#)

Avec l'air à la surface de la terre

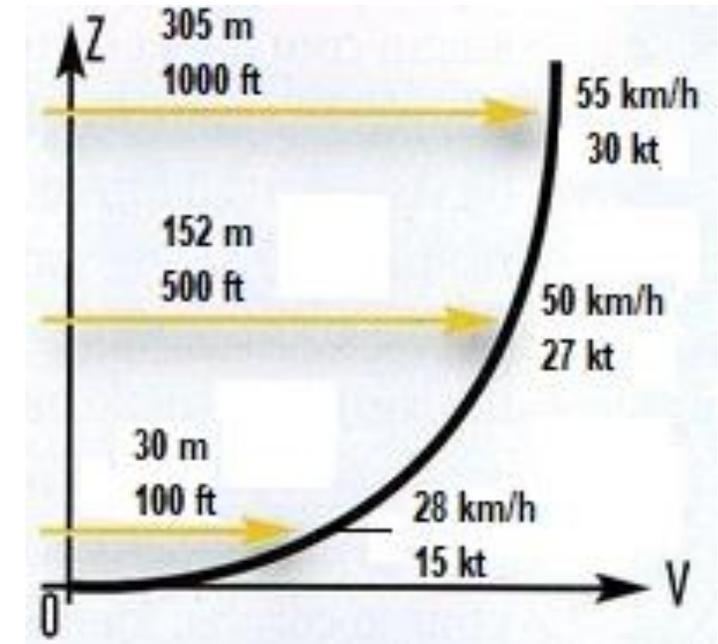
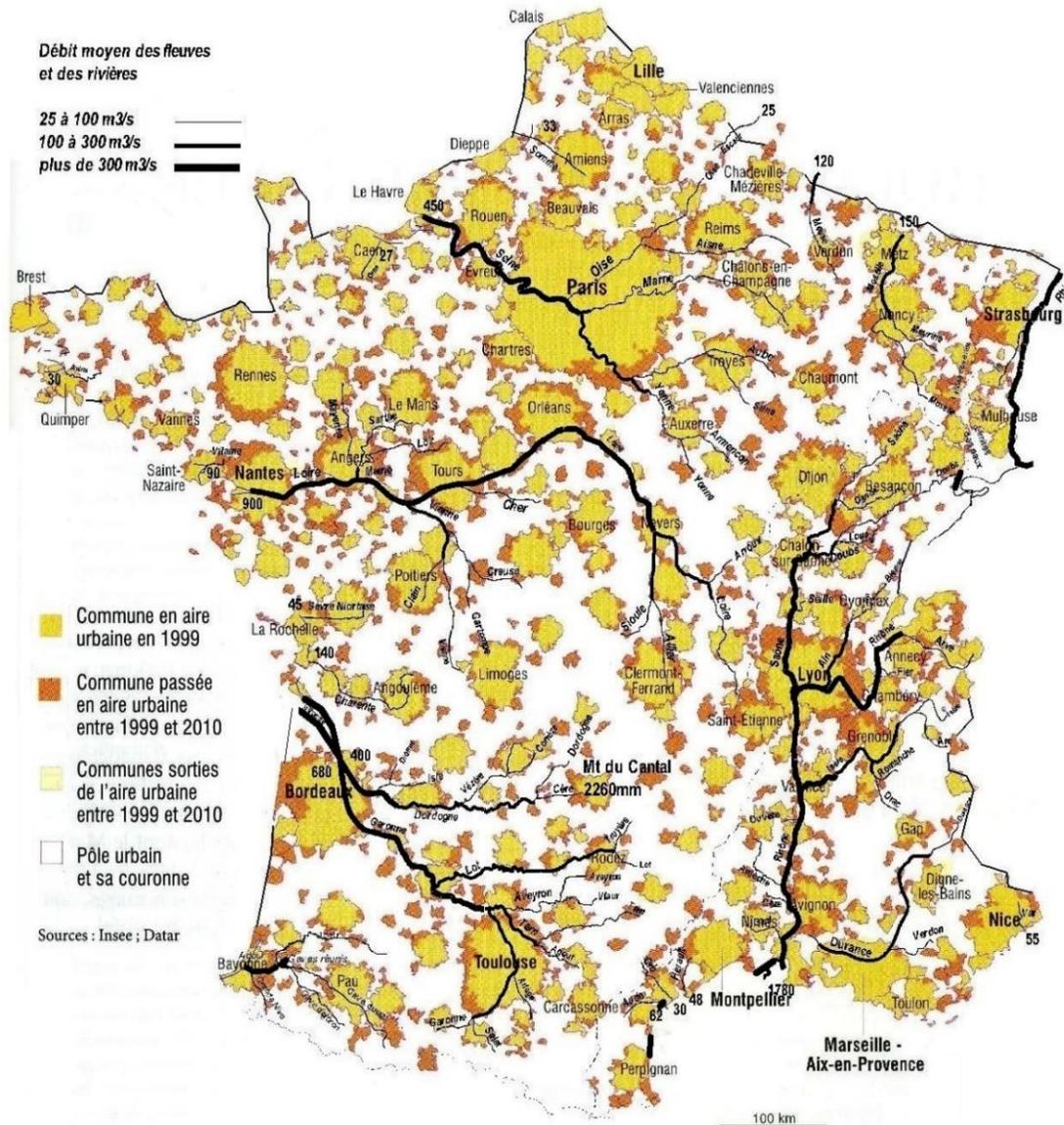


Figure 19

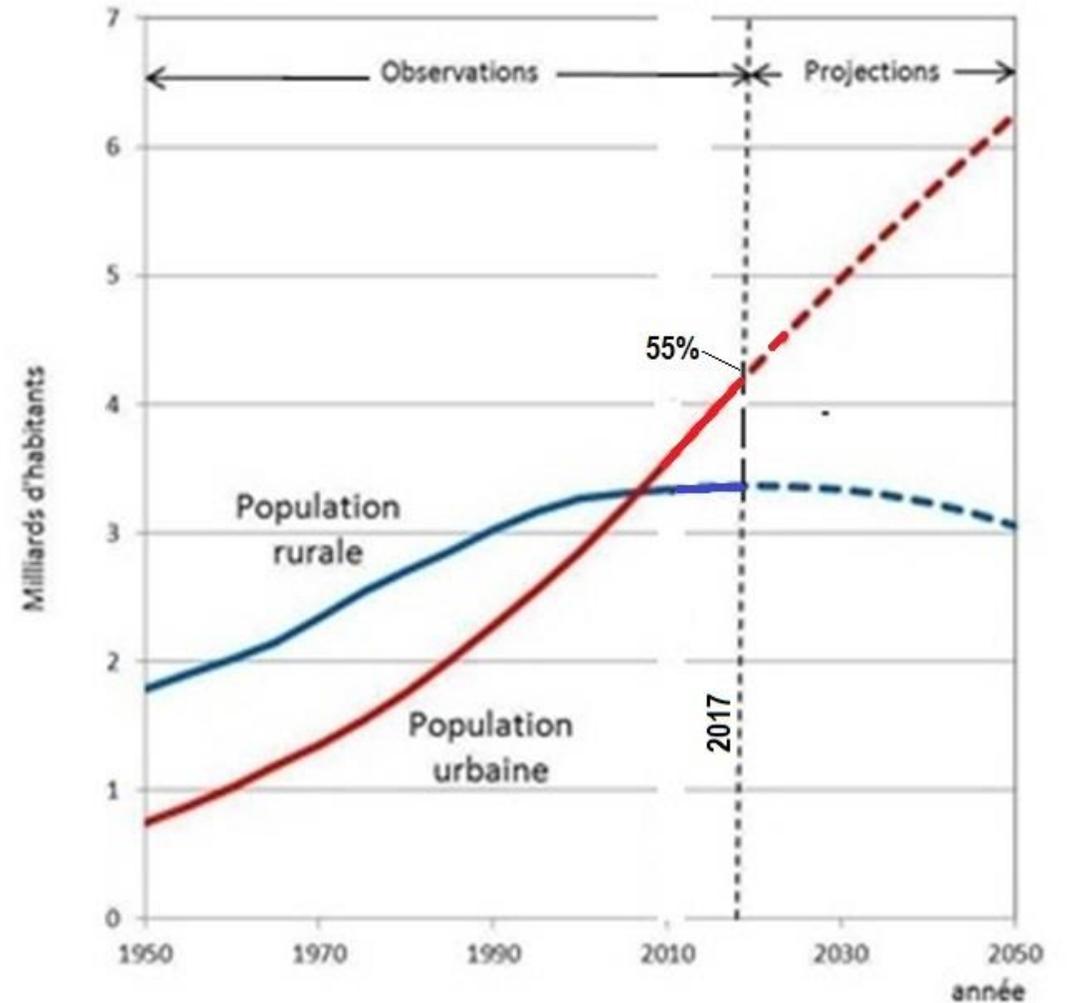
[Vers le gigantisme](#)

# L'étalement urbain



# La ville et la campagne

*Répartition moyenne mondiale*



Figures 20

# Le chauffage de l'habitat et la thermodynamique

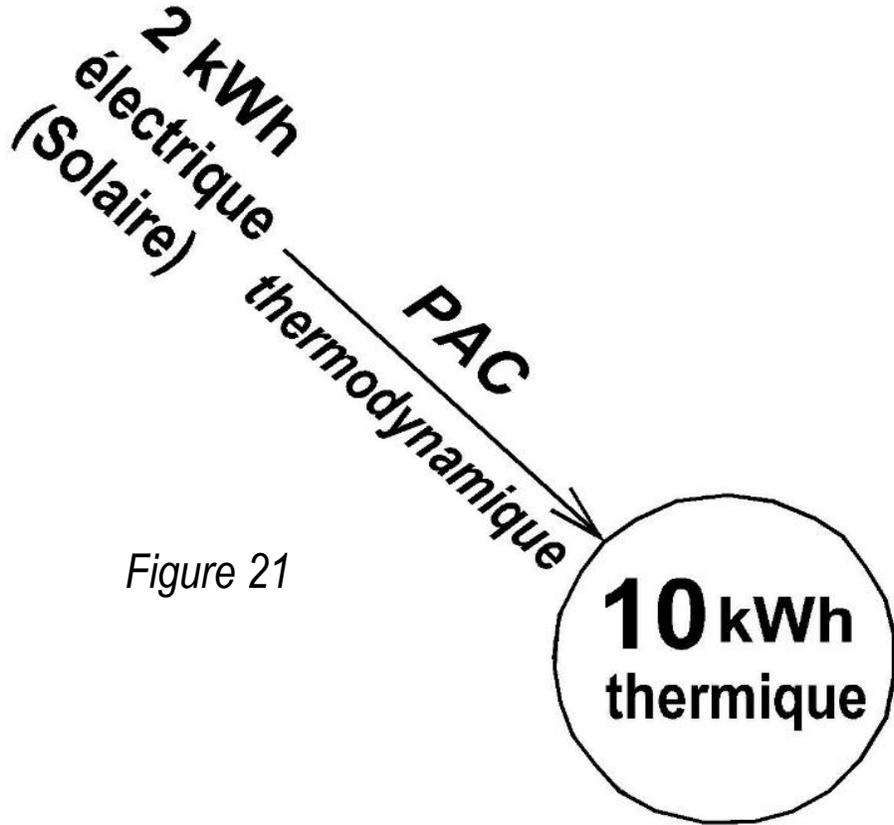
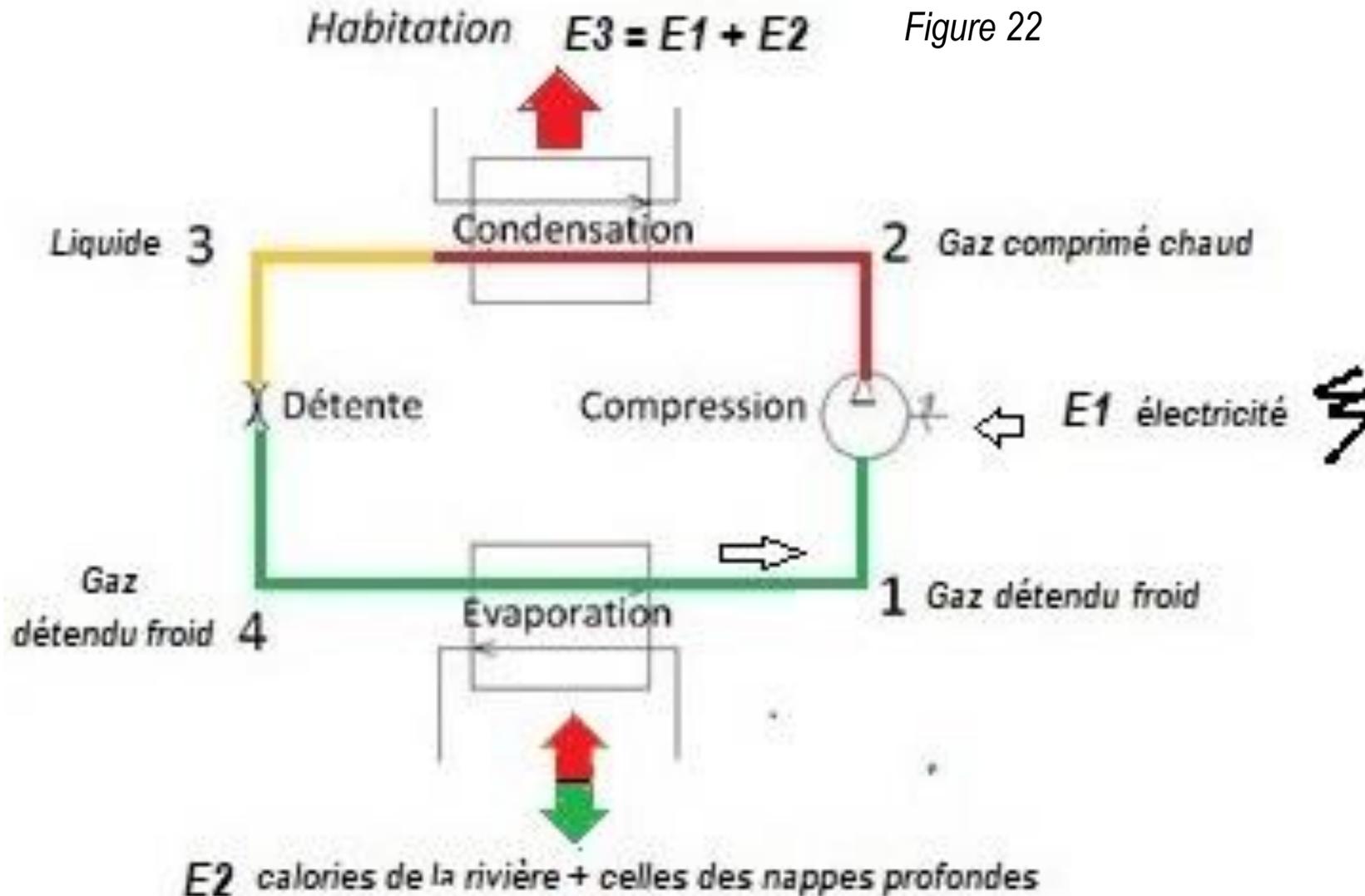


Figure 21

Alors qu'il faut 10 kWh électrique (correspondant à 1 litre de fioul ou 1 m<sup>3</sup> de gaz) avec les chaînes énergétiques actuelles et leur COP de 1 pour fournir 10 kWh thermique, 2 kWh électrique sont suffisant pour fournir la même quantité de chaleur 10 kWh thermique avec le COP égal à 5 du chauffage thermodynamique. La consommation pour satisfaire le besoin thermique assurant la climatisation de l'habitat est totalement bouleversée. Ceci particulièrement lorsque les échanges thermiques prélevant l'énergie thermique renouvelable se font sur l'eau. On va voir par la suite comment, en prenant en compte des 1<sup>ère</sup> et 2<sup>ème</sup> loi de la thermodynamique, on obtient les 10 kWh thermique avec seulement 2 kWh électrique comme source d'énergie extérieure. Ceci 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.

Ceci avec un COP de 5. Il ne s'agit pas de miracles comme on va le voir suivantes

# La pompe à chaleur (Transferts thermiques)



Coefficient de performance

$$COP = E3/E1$$

[La théorie](#)

Pour augmenter  $E3/E1$  on a intérêt à [baisser la température dans les radiateurs hydrauliques](#)

[Les fluides frigorigènes](#)

# La thermodynamique

Electricité > chaleur

Voir figure 29 page 40

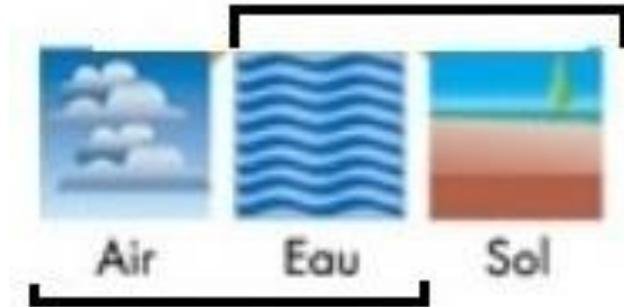


Figure 23



Questions réponses

Air ou eau?

Air + eau ?

Exemple avec l'air seul

Exemple avec l'eau seule

**E2**  
66 à 85% d'énergie naturelle gratuite



100 % d'énergie chauffage



34 à 15% d'énergie électrique

$$E1 + E2 = E3$$

$$E3 / E1 = COP$$

Calcul du COP selon les températures aux sources froides et chaude

# Consommation chauffage seul

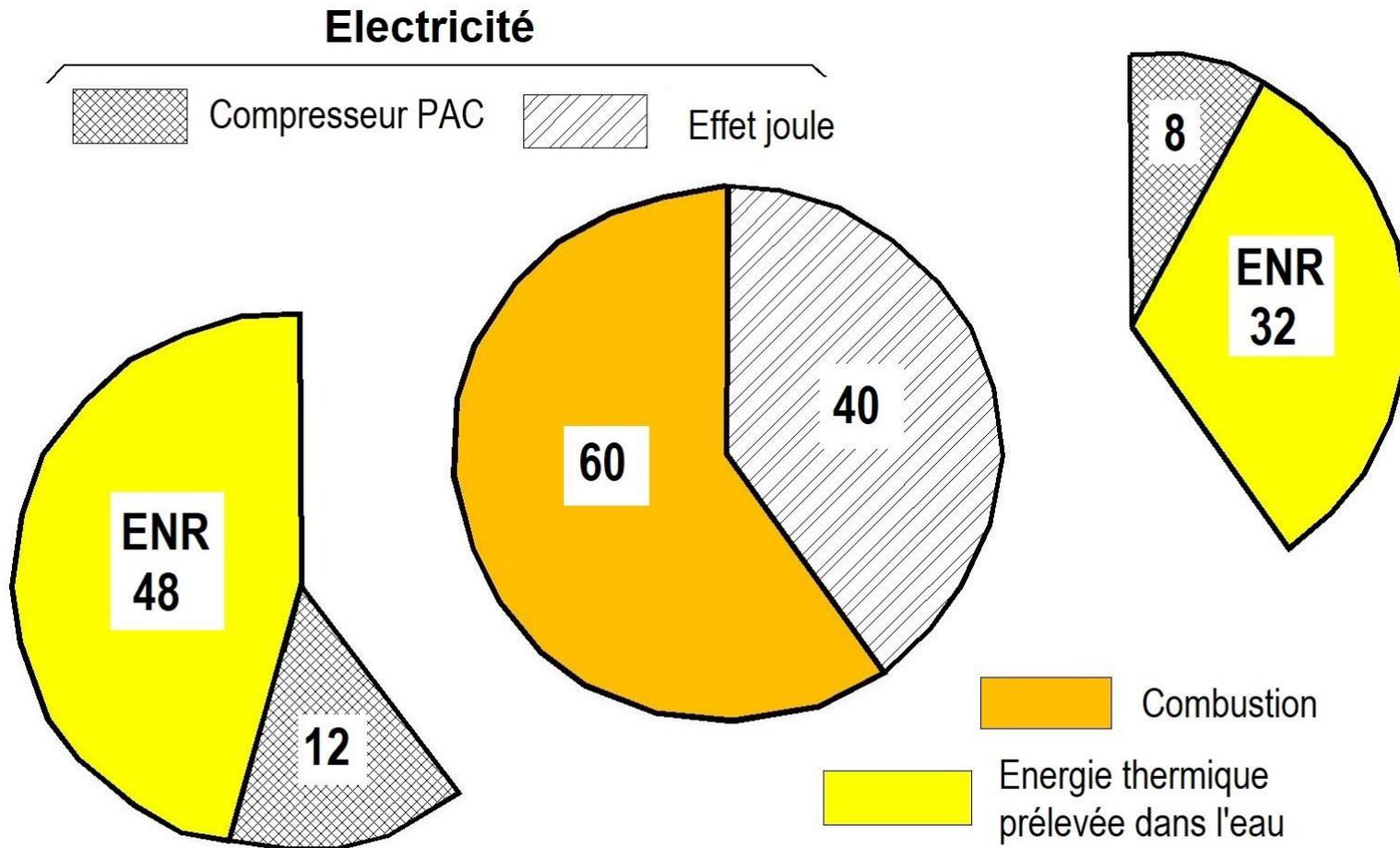


Figure 24

## Conservation énergie

### 1) Energie globale

- avant  $60 + 40 = 100$
- après
  - ENR  $(48 + 32) = 80$
  - Electricité  $(12 + 8) = 20$
  - Total 100

### 2 Par secteur avec COP de 5

- combustion
  - $48 + 12 = 60$      $60 / 12 = 5$
- effet joule
  - $32 + 8 = 40$      $40 / 8 = 5$

# La région IDF et les eaux superficielles (débits moyens)

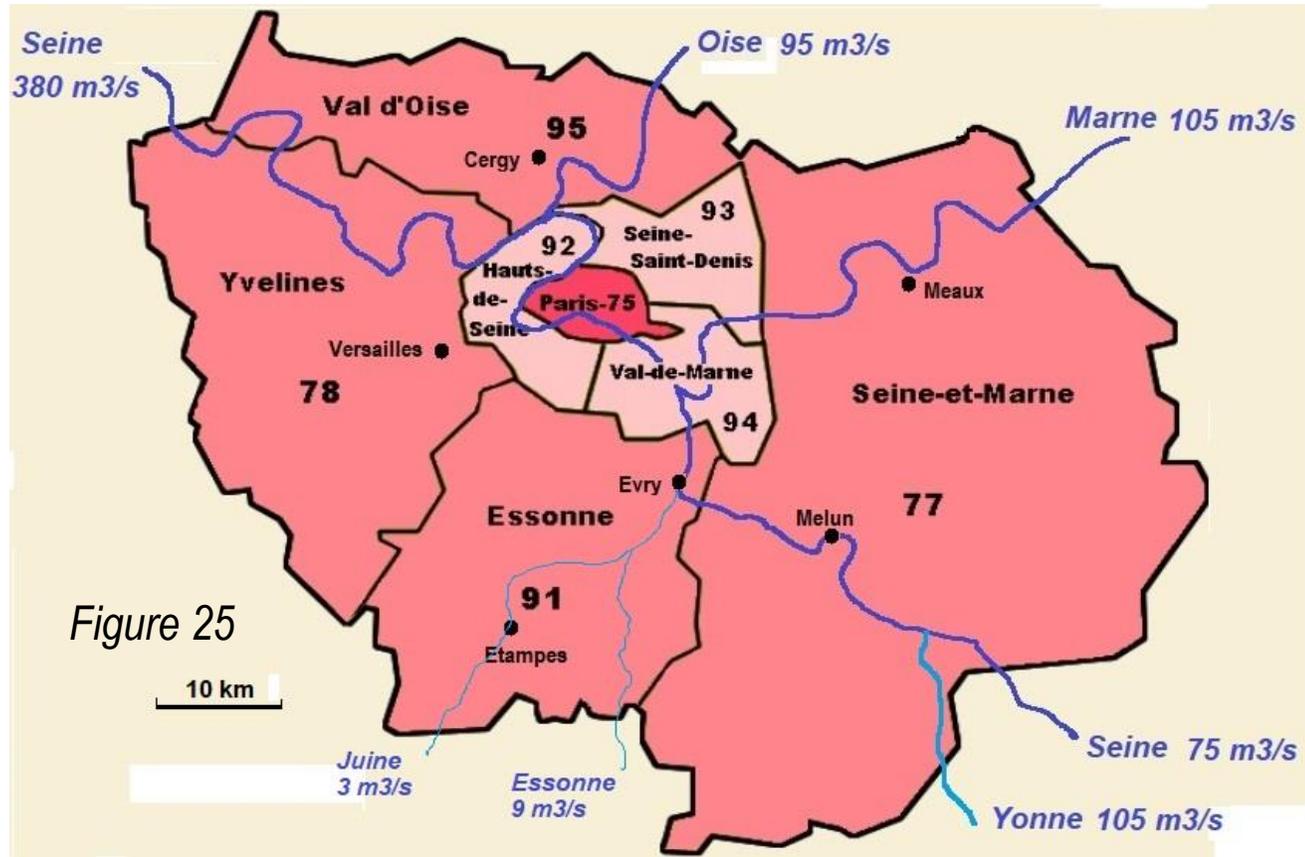


Figure 25



Figure 26

Chiffres clés : 8 départements, 12 millions d'habitants, 12 000 km, 1000 m<sup>2</sup> au sol par francilien

# Paris intramuros

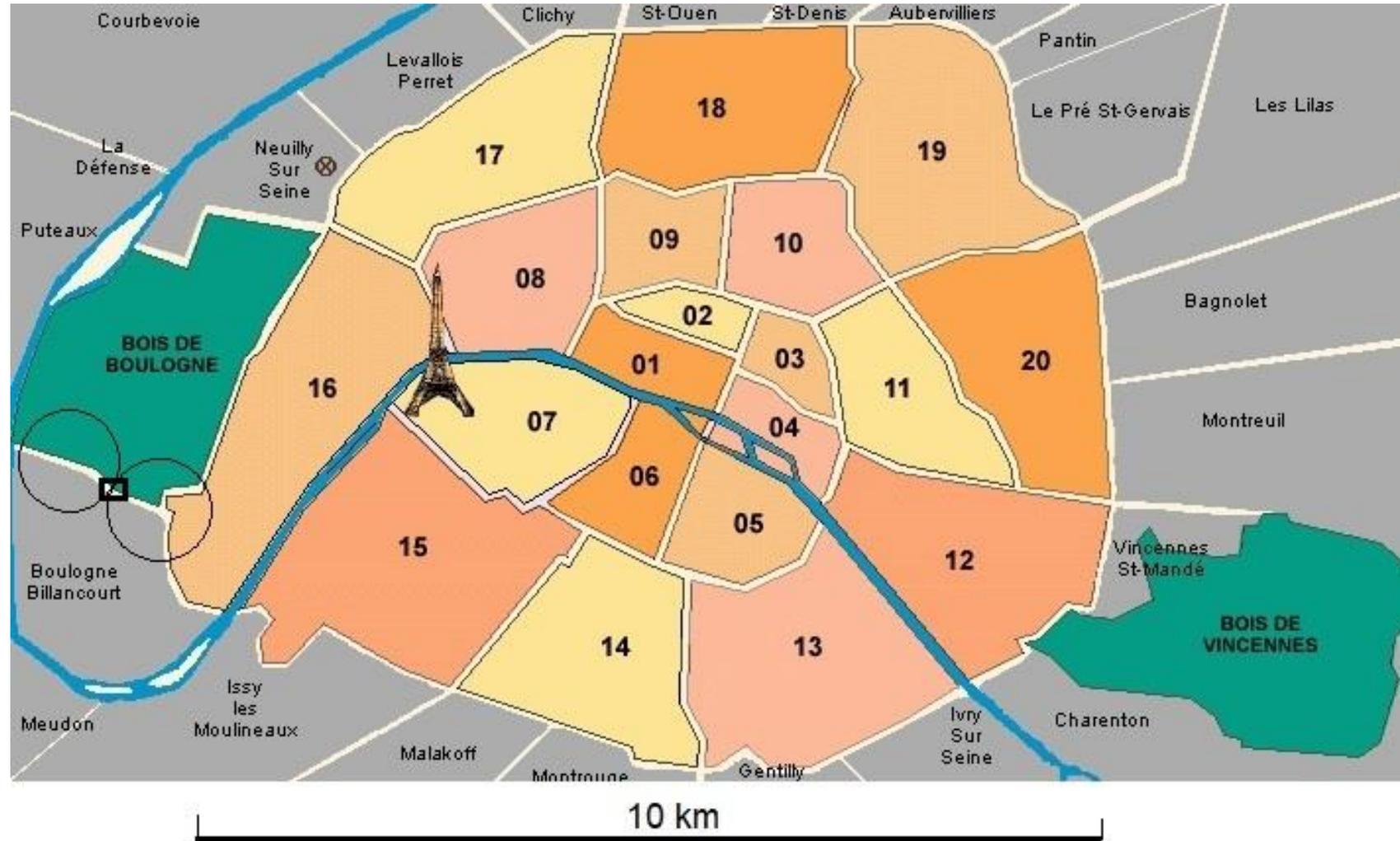


Figure 27

Métro parisien

Chiffres clés : 20 arrondissements, 2 millions d'habitants, 100 km<sup>2</sup>, soit 20 000 habitants au km<sup>2</sup> et 50 m<sup>2</sup> au sol par parisien. Beaucoup de communes à l'extérieur de Paris intramuros comme Boulogne ont environ la même densité urbaine.

# Les eaux superficielles et géothermales

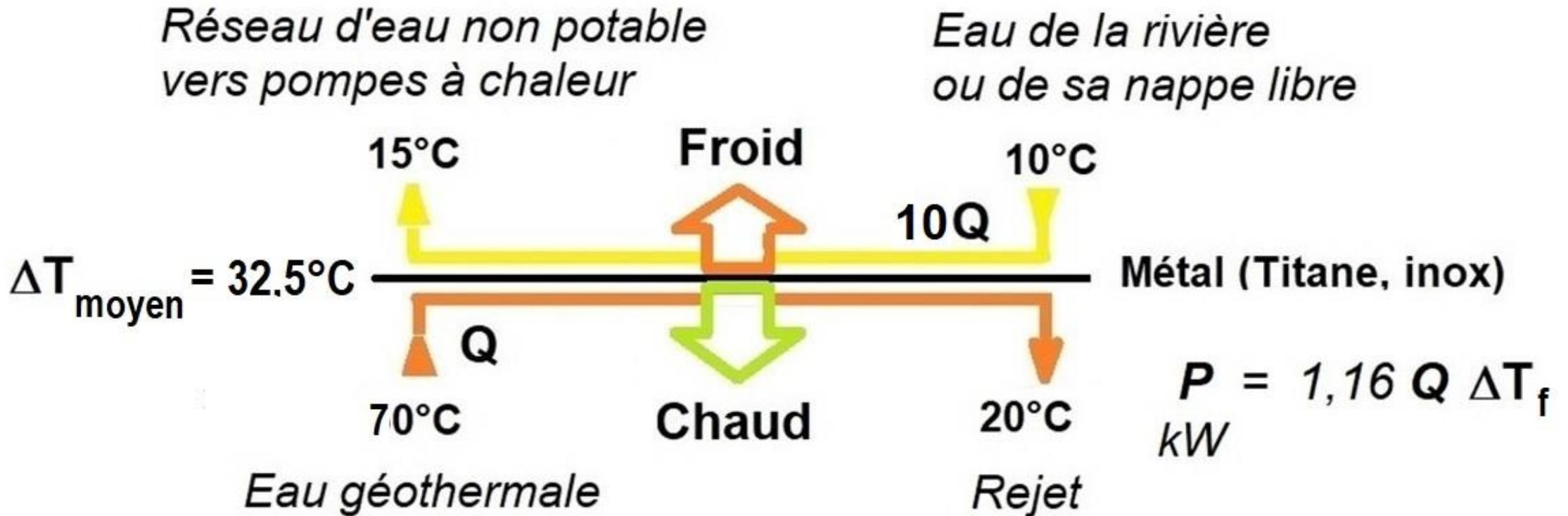


Figure 28

Chaleur spécifique de l'eau  
1,16 kWh/degré et par m3

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

$$\frac{\text{kWh}}{^\circ\text{C} \cdot \text{m}^3} \times \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times ^\circ\text{C}$$

# Leur association

[Cartes géologiques du BRGM](#)

Le dogger en région parisienne, c'est un gradient géothermique d'environ 3 degrés par 100m  
Un forage type gaz de schiste comme ceux réalisés au USA est adapté à nos besoins et à l'exemple des quelques doublets géothermiques réalisés à Villejuif

[Réseau de Villejuif](#)

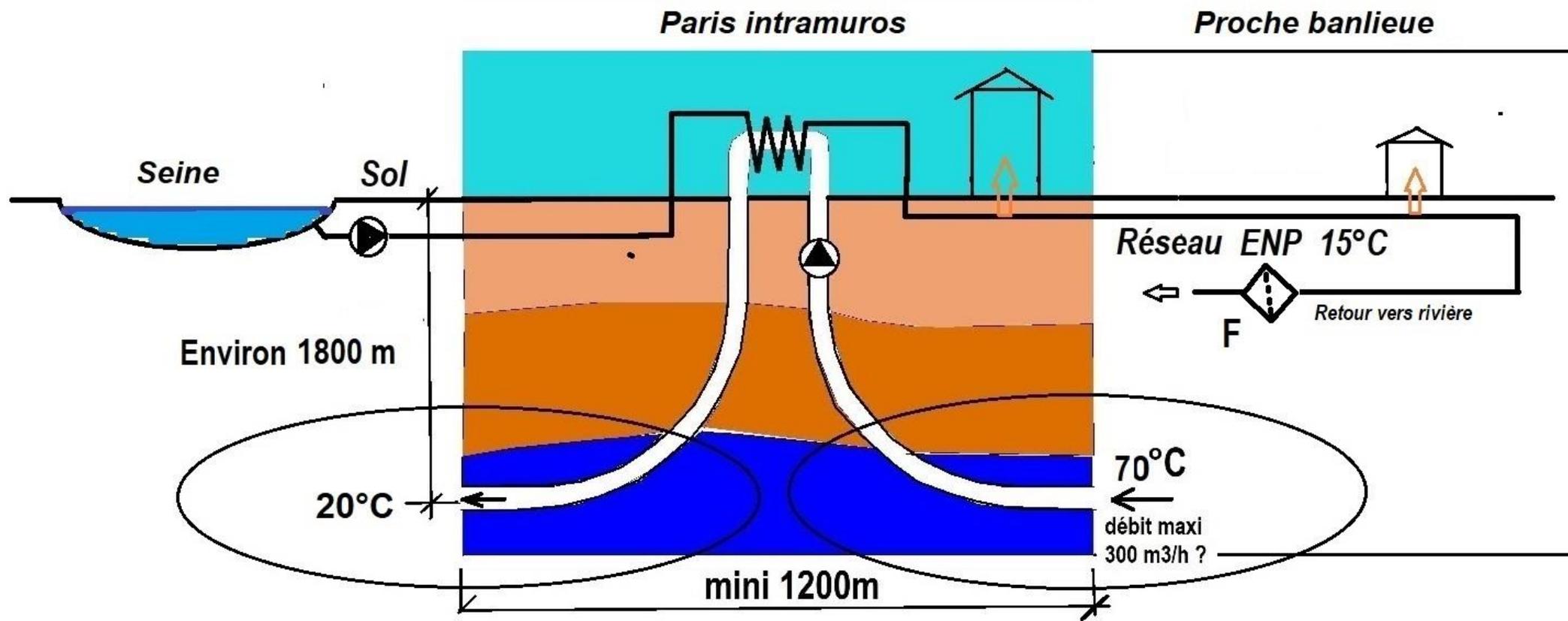
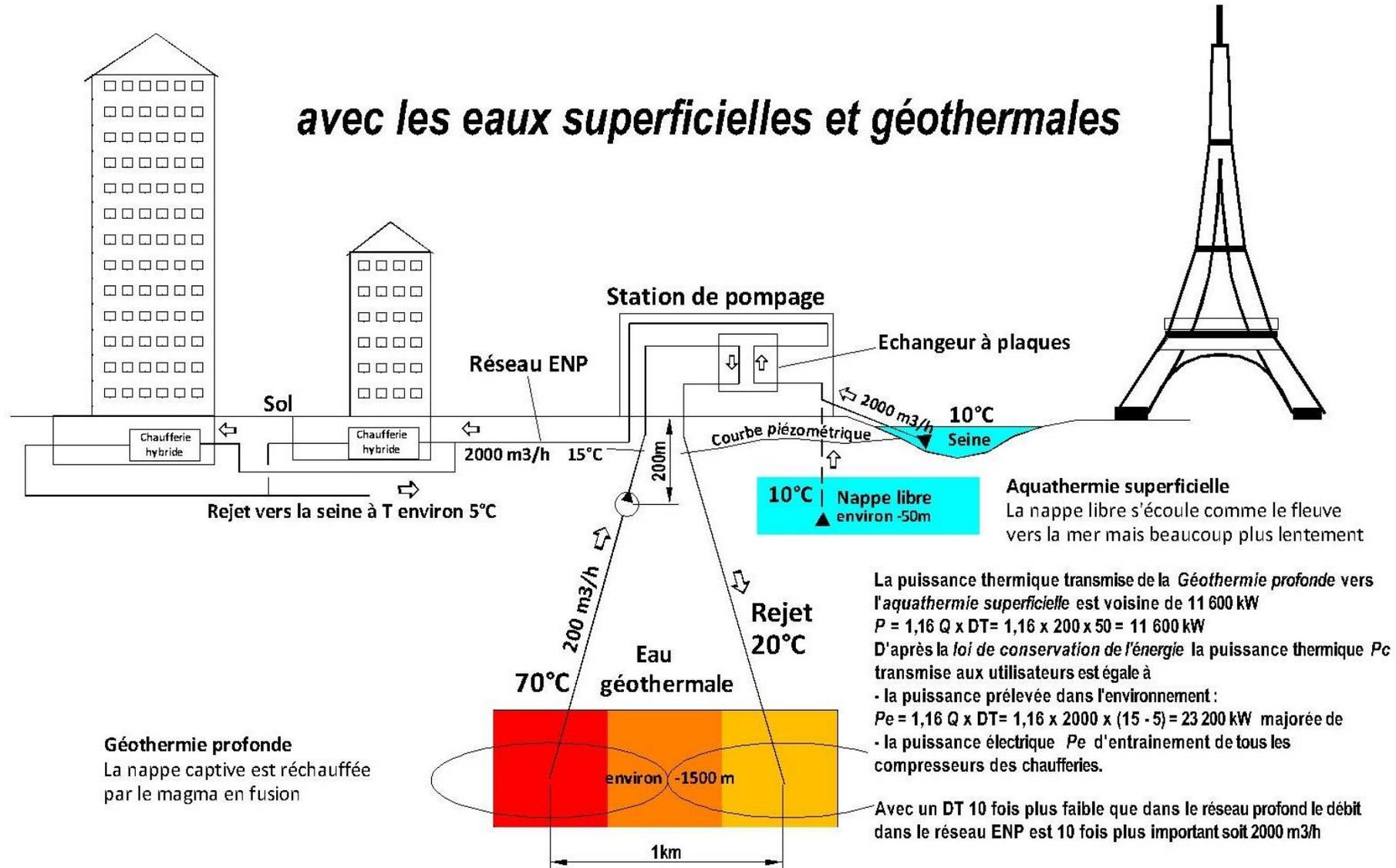


Figure 29 se reporter à la figure précédente pour compréhension

# Le chauffage urbain généralisé en région parisienne

## avec les eaux superficielles et géothermales

Figure 30



La puissance thermique transmise de la *Géothermie profonde* vers l'*aquathermie superficielle* est voisine de 11 600 kW  
 $P = 1,16 Q \times DT = 1,16 \times 200 \times 50 = 11\ 600\ kW$   
 D'après la loi de conservation de l'énergie la puissance thermique  $P_c$  transmise aux utilisateurs est égale à  
 - la puissance prélevée dans l'environnement :  
 $P_e = 1,16 Q \times DT = 1,16 \times 2000 \times (15 - 5) = 23\ 200\ kW$  majorée de  
 - la puissance électrique  $P_e$  d'entraînement de tous les compresseurs des chaufferies.

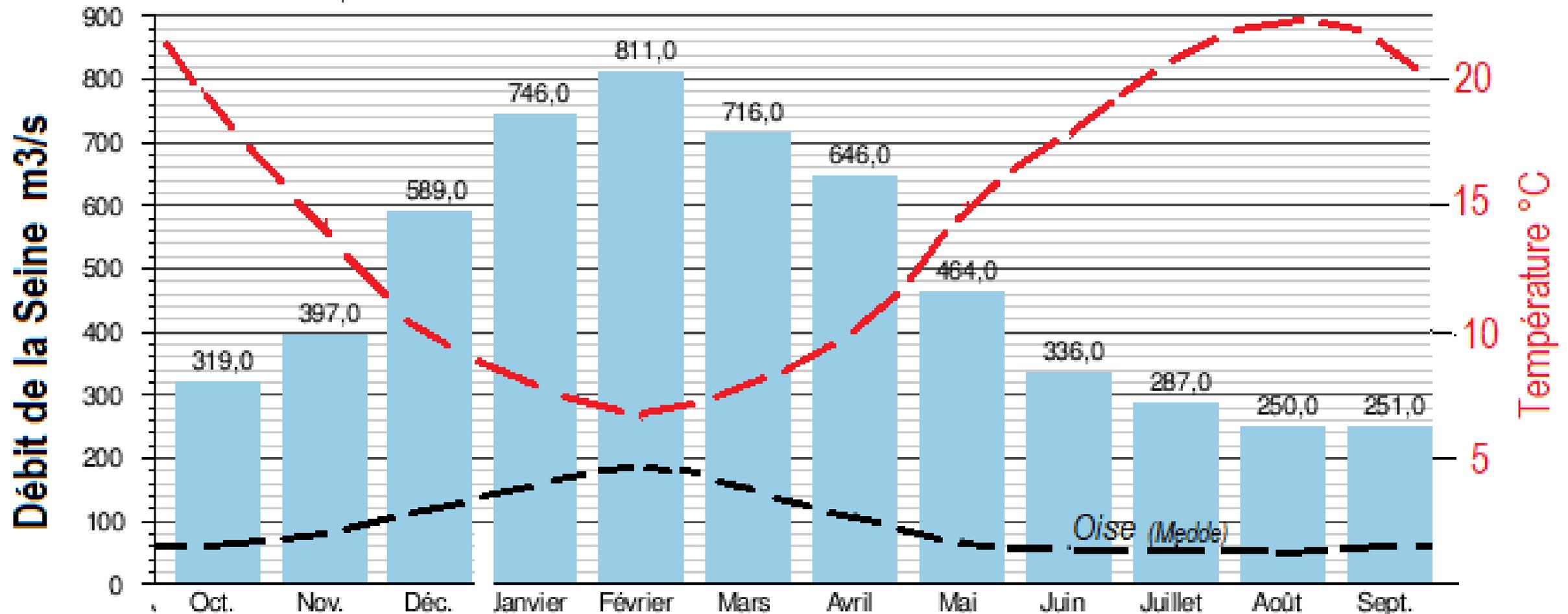
Avec un DT 10 fois plus faible que dans le réseau profond le débit dans le réseau ENP est 10 fois plus important soit 2000 m<sup>3</sup>/h

Etude lorsque la température de la Seine change

Débit des rivières françaises en temps réel

# Débit de la Seine à Poissy en aval de Paris

Figure 31



Valeurs moyennes observées sur plusieurs dizaines d'années selon WIKI

[selon CSLT](#)

# Potentiel thermique de la Seine (pour Paris intramuros + proche périphérie)

		octobre	novembre	décembre	janvier	fevrier	mars	avril	mai	juin	juillet	aout	septembre
Seine	Potentiel débit m3/s	272	327	485	600	650	580	535	360	272	240	207	200
	Potentiel température degrés C	15	11	7	4	3	2	7	12	15	19	21	19
	Potentiel puissance kW	17038080	15021072	14177520	10022400	8143200	4844160	15639120	18040320	17038080	19042560	18153072	15868800
	Potentiel par parisien (base 5 millions parisien) kW	3.4	3.0	2.8	2.0	1.6	1.0	3.1	3.6	3.4	3.8	3.6	3.2
	Périodes	période de chauffe du 15 septembre à la mi avril											
	Besoin	Moyen	-----	Maximum	-----	faible hors période de chauffe							
Géothermie	Potentiel par parisien kW	0.3625	0.3625	0.3625	0.3625	0.3625	0.3625	0.3625	0.3625	0.3625	0.3625	0.3625	0.3625
	base 250 m3/h ΔT =50°C avec 50 m2 au sol par parisien soit sur 2 km2: 40 000 parisiens												
Total kW	Σ des POTENTIELS	3.8	3.4	3.2	2.4	2.0	1.3	3.5	4.0	3.8	4.2	4.0	3.5
Besoin	Moyen presque 1kW (cas pratique 800 000 kWh pour 150 hab)	satisfait sans la partie gaz de la chaufferie hybride qui est plutôt en secours en cas d'incident sur la pompe à chaleur (Voir pages 90 à 92)											
	Et au plus froid de l'hiver de l'ordre de 2 kW. Les dérèglements climatique sont là mais ce n'est tout de même pas au mois de mars que les tempéatures sont les plus basses												

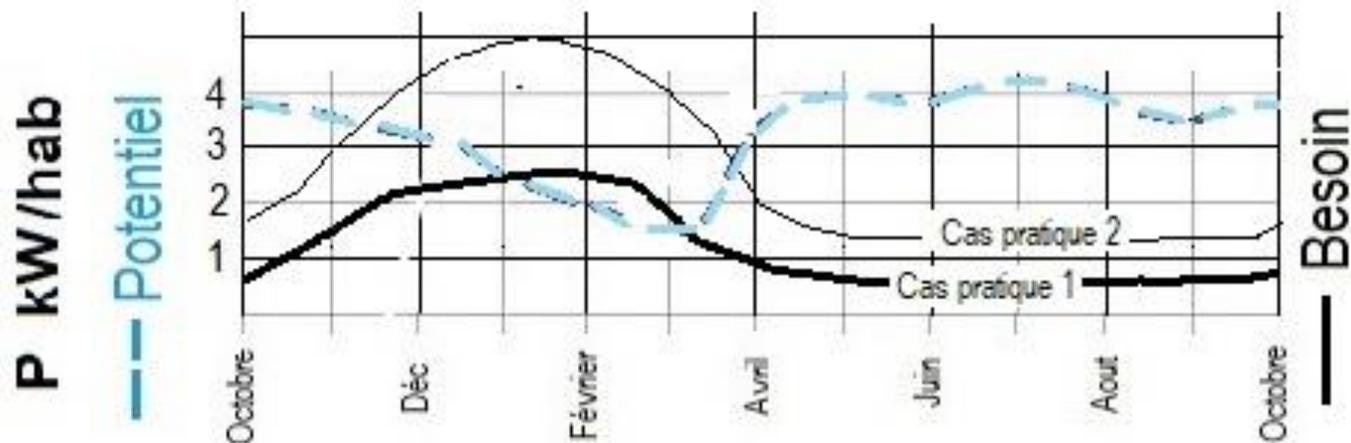


Figure 32

Le potentiel thermique a été défini en tenant compte 18 avec un rejet dans la Seine en sortie des évaporateurs à 3° C - du fait que le débit de l'Oise (voir figure 19) qui se jette dans la Seine en aval de Paris n'est pas à prendre en compte.

Quant au besoin on peut se reporter au 2 cas pratiques de mon livre sur l'énergie (Voir page 621 de [mon livre](#))

C'est peut-être un peu juste si dans le cas d'un hiver rigoureux. Dans ce cas le gaz peut venir au secours du chauffage thermodynamique avec la chaufferie hybride décrite aux pages 47 à 49.

La "Solar Water Economy" est la vision de ce que pourrait être une transition énergétique allant dans le sens de l'abandon des 2 principales chaînes énergétiques actuelles à savoir la combustion et l'effet joule assurant le chauffage de l'habitat et devenues obsolètes en raison de leurs piètres performances. Ceci en ne faisant appel qu'à l'eau pour satisfaire l'essentiel de nos besoins en énergie thermique. Je vais maintenant tenter de faire sans me tromper une approche chiffrée de ce que pourrait être ce type de transition dans une région à forte densité de population comme la nôtre, celle de la région Parisienne. En raison d'une densité urbaine de 20 000 habitants au km<sup>2</sup> dans Paris intramuros et sa proche banlieue chaque parisien ne dispose que de 50 m<sup>2</sup> au sol, ce qui n'est pas grand chose. Pour ce qui concerne dans un premier temps l'énergie thermique associée à l'eau, pilier central de la "Solar **Water Economy**". Le potentiel thermique de l'eau en région IDF s'établit comme suit:

- le potentiel thermique des nappes captives profondes
- celui des eaux superficielles à savoir de la Seine qui traverse votre région
- la capacité que nous offre l'hydraulique d'additionner ces deux potentiels pour assurer nos besoins thermiques

## **1) Doublet géothermique avec l'eau géothermale profonde**

### *Hypothèses*

- surface doublet 2 km<sup>2</sup> (ou 2 millions de m<sup>2</sup>) soit compte tenu de la densité urbaine en région Parisienne (20 000 habitants au km<sup>2</sup>)  
2 000 000 / 50 = 40 000 habitants
- débit doublet Q = 250 m<sup>3</sup>/h ( Ce débit devant toutefois être confirmé par le BRGM) avec un  $\Delta T$  de 50 ° C ( 70 à 20 ° C)

Ceci en perçant à un peu moins de 2000 m (voir page 75)

Puissance géothermique disponible par doublet  $P = 1,16 \times 50 \times 250 = 14\,500$  kW soit  $14\,500 / 40\,000 = 0,36$  kW disponible pour chacun de ces 40 000 parisiens 24h sur 24. Soit une énergie disponible à l'année par parisien de  $0,36 \times 8760 = 3100$  kWh.

A l'appui de ces chiffres la formule  $P = 1,16 Q \times \Delta T = 1,16 \times (250/40\,000) \times 50 = 0,36$  kW qui fait que chaque parisien dispose bien en effet d'une puissance moyenne de 0,36kW

## **2 Eaux superficielles (Seine)**

Le débit moyen de la Seine à Paris étant de 300 m<sup>3</sup>/s chaque Parisien dispose d'un débit moyen en eau superficielle égal à  $(300 \times 3600)/10\,000\,000 = 0,108$  m<sup>3</sup>/h. Ceci sur la base d'une région IDF peuplée de 10 millions d'habitants. Le potentiel thermique de l'eau superficielle augmente avec la température de la Seine. Si l'on décide que la température de rejet dans la Seine est de 5° C, le potentiel thermique lorsque la Seine est à 15° C est deux fois plus important comparativement à ce qu'il est lorsque la Seine est à 10° C. Nous allons maintenant expliquer comment il est possible d'augmenter la température des eaux superficielles avec l'eau géothermale sans affecter les deux écosystèmes.

## **3 Comment profiter des 2 potentiels**

La figure de la page 37 permet de comprendre comment l'hydraulique nous offre la possibilité grâce aux échangeur de température à plaques (Voir page 73) d'additionner ces deux potentiels. Ceci en portant la température de l'eau superficielle de 10 à 15° C. Cela permet de disposer d'un potentiel thermique plus important par le fait que la différence de température utile dans les évaporateurs des pompes à chaleur aquathermiques est portée de 5 à 10° C. Le  $\Delta T$  dans le primaire des échangeur à plaques étant de 50° C alors qu'il n'est que de 5° C dans le primaire on comprend que le débit mis à disposition dans le secondaire de l'échangeur à plaque est 10 fois supérieur à celui du secondaire.

C'est donc en conséquence un débit d'eau à 15° C de 2500 m<sup>3</sup>/h 10 fois supérieur à celui du doublet géothermique qui est disponible pour les 40 000 parisiens. Il n'y a donc pas de souci à se faire sur la potentialité des eaux superficielles dans la mesure où le besoin débit en eau superficielle pour les 10 millions de parisiens est sensiblement 2 fois inférieur au débit moyen de la Seine

$$[(2500 / 40\,000) \times 10\,000\,000]/3600 = 173 \text{ m}^3/\text{s}$$

Le potentiel thermique en énergie thermique renouvelable mis à la disposition de chaque parisien à partir d'un tel réseau est donc de  $[1,16 (2500 \times 8760) \times (15-5)] / 40\,000 = 6350$  kWh. Cela signifiant que le besoin en énergie électrique permettant de satisfaire ce besoin thermique de 6300 kWh nécessaire au chauffage de l'habitat pourrait être limité à 1000 kWh.

Si l'on ne procédait à aucune amélioration de l'isolation des bâtiments existants, on observe que ce potentiel thermique de 6300 kWh reste supérieur au besoin maximum correspondant de 5900 kWh (Voir page 24). On verra cependant par la suite dans le cadre de la "**Solar Water Economy** que notre intérêt ne nous dispense pas de procéder à une isolation sommaire des bâtiments existants. Et ceci même si le besoin en électricité pour entraîner le compresseur des pompes à chaleur est sensiblement divisé par 2 par rapport à ce qu'est le besoin en France avec les chaînes énergétiques actuelles. Il va falloir en effet prendre en compte que le toujours+ est derrière nous. Ceci aussi par le fait qu'il va falloir tenir compte non seulement du besoin électrique de l'éclairage, de l'électroménager et surtout de la voiture hybride rechargeable. Ceci en tenant compte du fait qu'avec les chaînes énergétiques actuelles associant la combustion et l'effet joule et l'isolation inconsistante de l'habitat existant il est proche en France du besoin chauffage ( $6800 \times 0,4 = 2700$  kWh) majoré de 1400 kWh pour l'éclairage et l'électroménager soit 3120 kWh au total.

A ceux qui m'accuseraient d'un excès d'optimisme je dirais qu'il est toujours possible grâce à la chaufferie hybride évoqué aux pages 45, 46 et 47 de satisfaire le besoin thermique en cas d'hiver particulièrement rigoureux avec un complément thermique assuré par la combustion gaz

Il faut toutefois relativiser. La dernière fois que la Seine a gelé c'était il y a bien longtemps ( en 2006 je crois ?). Quoiqu'il en soit lorsqu'elle est à 5° C son potentiel thermique pour le chauffage de l'habitat est effectivement bien faible, voire nul.

Une société comme la CIAT bien au fait de ces techniques de chauffage thermodynamique basée sur l'aquathermie estime à juste titre qu'une pompe à chaleur échangeant sur l'eau ne peut fonctionner valablement si la température à la source froide est inférieure à 8° C)

### **Généralisation du réseau**

Il faut maintenant aussi tenir compte que l'étude ci-dessus a été faite en raisonnant à partir d'un seul doublet géothermique assurant le besoin pour 2 km<sup>2</sup> de surface au sol CAD pour 40 000 parisiens. Ceci alors que Paris intra-muros c'est 20 arrondissements et sensiblement 2 millions d'habitants sur environ 100 km<sup>2</sup>. Il est pour cette raison nécessaire de se faire à l'idée que pour subvenir aux besoins de l'ensemble des parisiens, il faudra en moyenne sensiblement 3 voire 4 doublets de ce type par arrondissement parisien ou par commune accolé au périphérique attenante à Paris Intramuros (Voir exemple pour la commune de Boulogne Billancourt page 79). Cela permet de situer le projet dans son ampleur. Ceci dit il faudra aussi tenir compte que certains arrondissements sont plus vastes que d'autres. La surface au sol nécessaire pour implanter les groupes de pompages ainsi que les échangeurs à plaques est heureusement faible. Reste les tuyauteries et la gêne temporaire que va entraîner leur mise en oeuvre. Pour ce poste je me réfère au commentaire de Jean-Marc Jancovici: "*Il n'y a pas d'innovation sans contrainte* "

# Le chauffage de l'habitat avec les systèmes hybrides et l'eau

Paris ne s'est pas fait en un jour

Performance en mode pompe à chaleur

$$COP = (E1 + E2) / E1 = 5$$

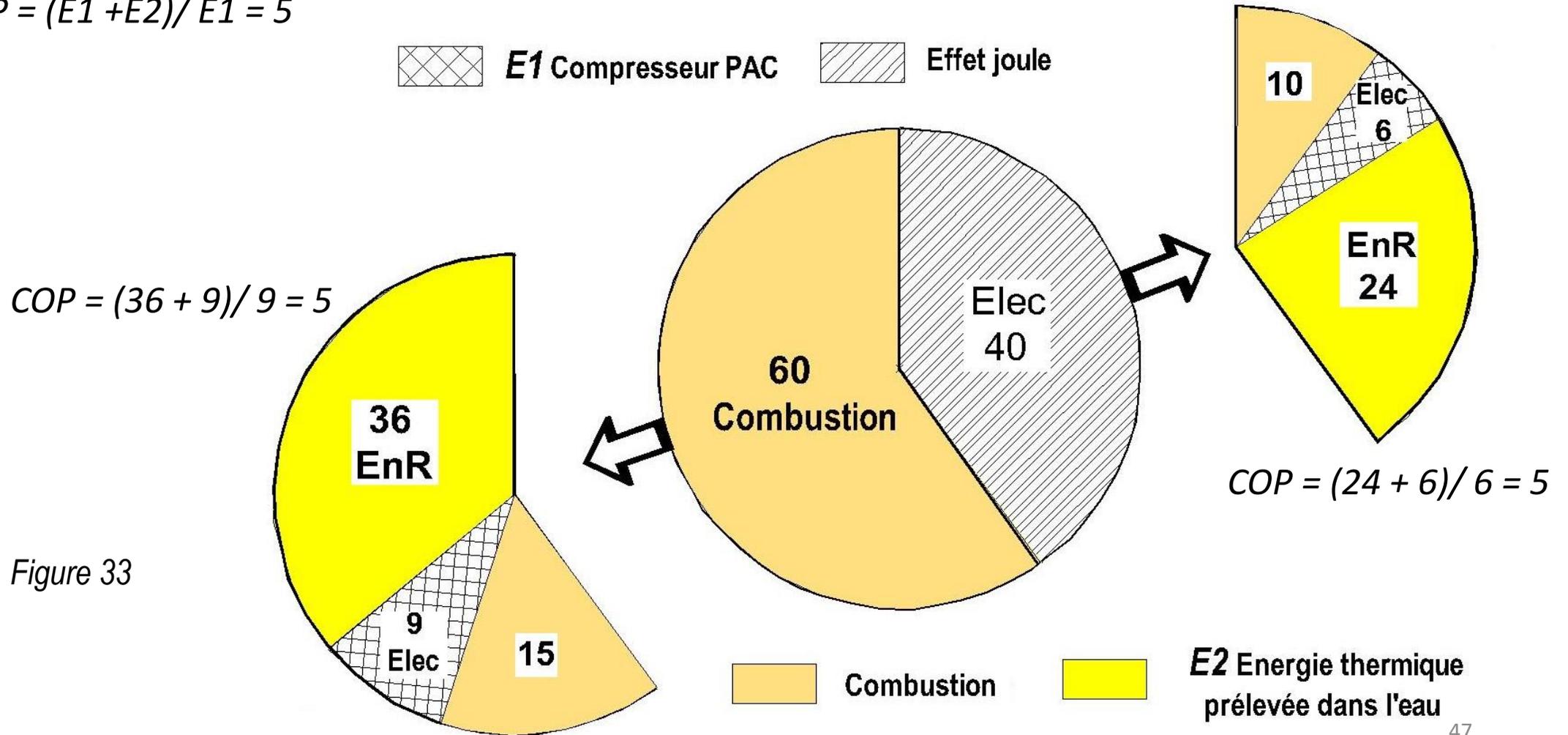


Figure 33

# La puissance de la chaufferie hybride durant l'année calendaire

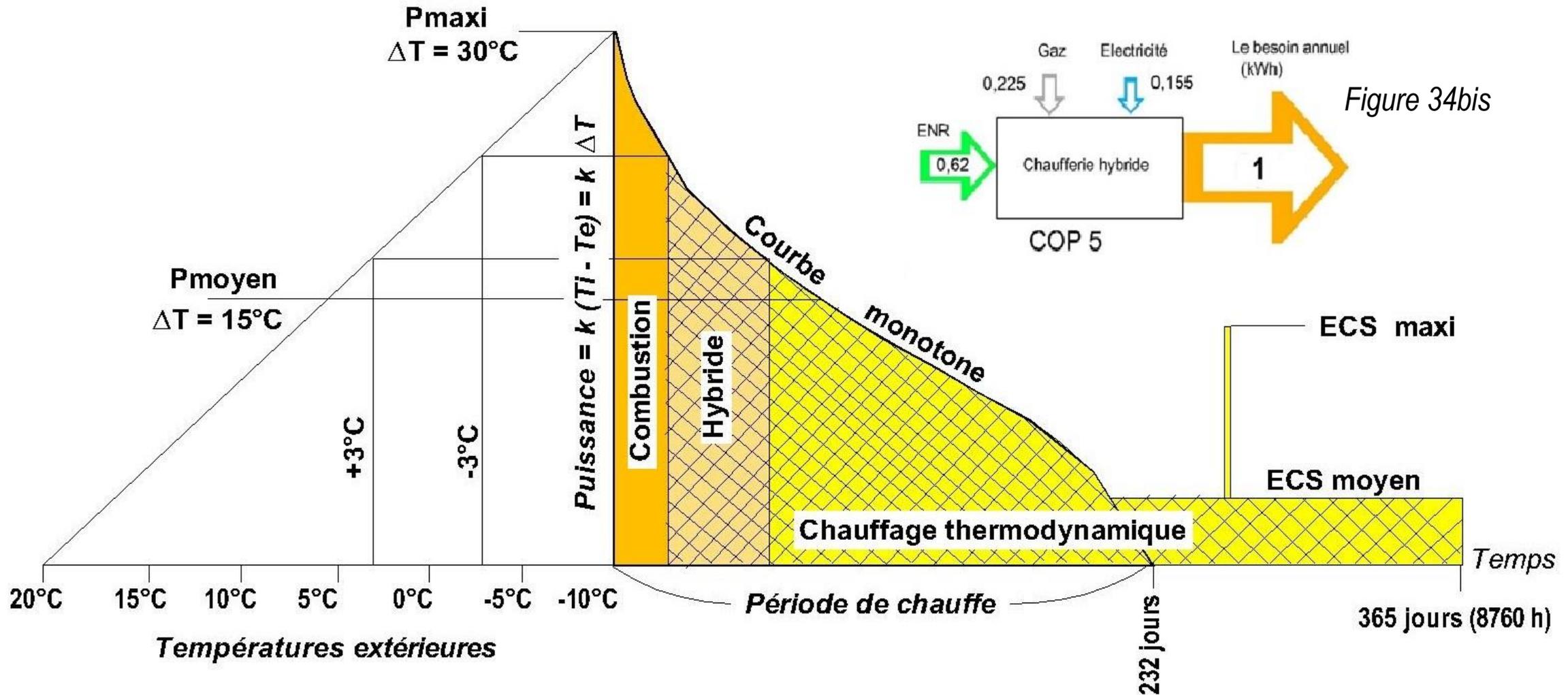


Figure 34

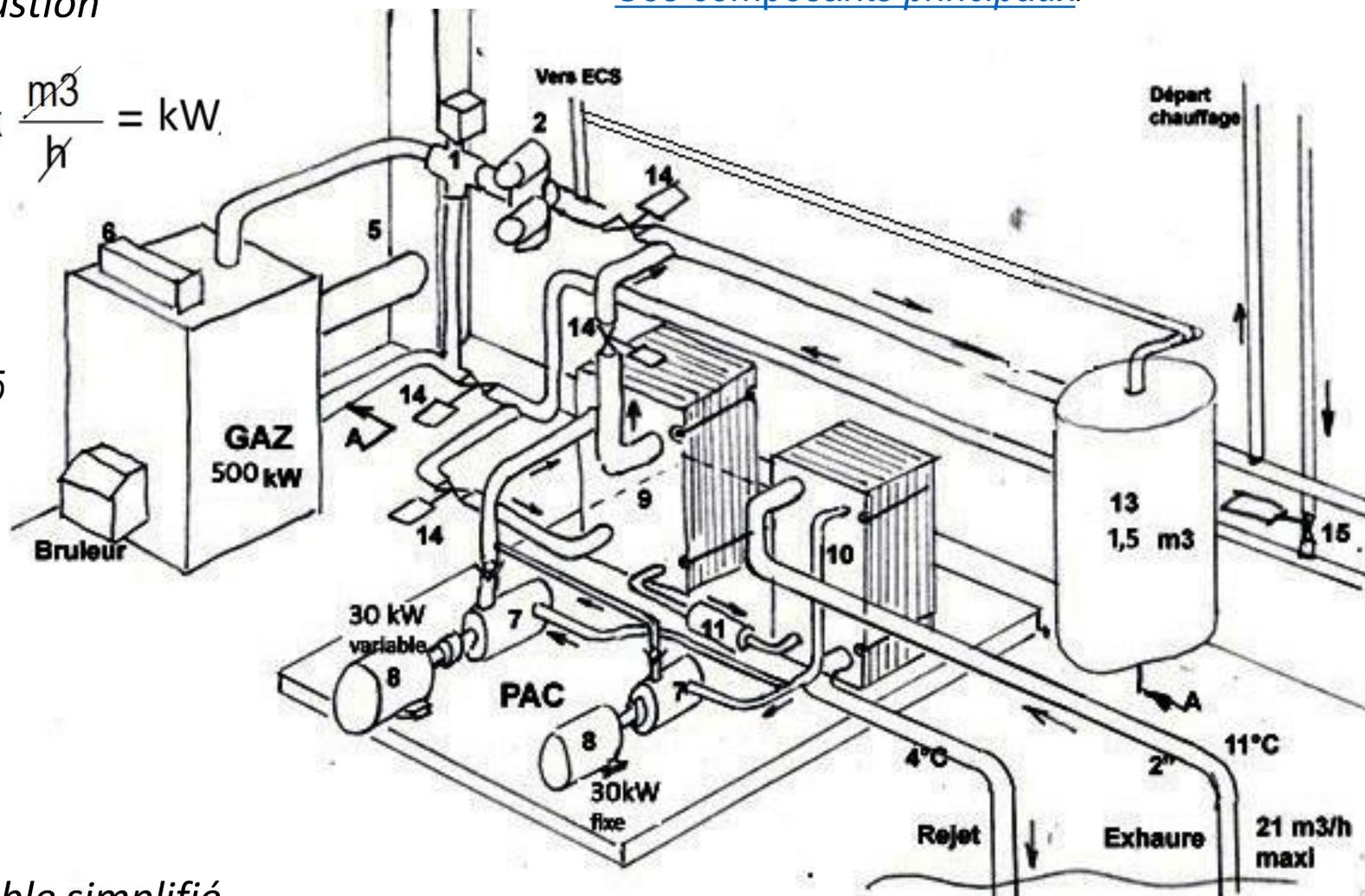
# Les chaufferies hybrides (gaz + électricité)

Ses composants principaux:

Combustion

$$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} \times \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = \text{kW}$$

Figure 35



Ensemble simplifié

PAC en relève  
 **$P = Qf \times E$**

$$\frac{\text{kg}}{\text{s}} \times \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} > \text{kW}$$

Conseil PAC sur nappes libres en IDF

# La température à la source chaude

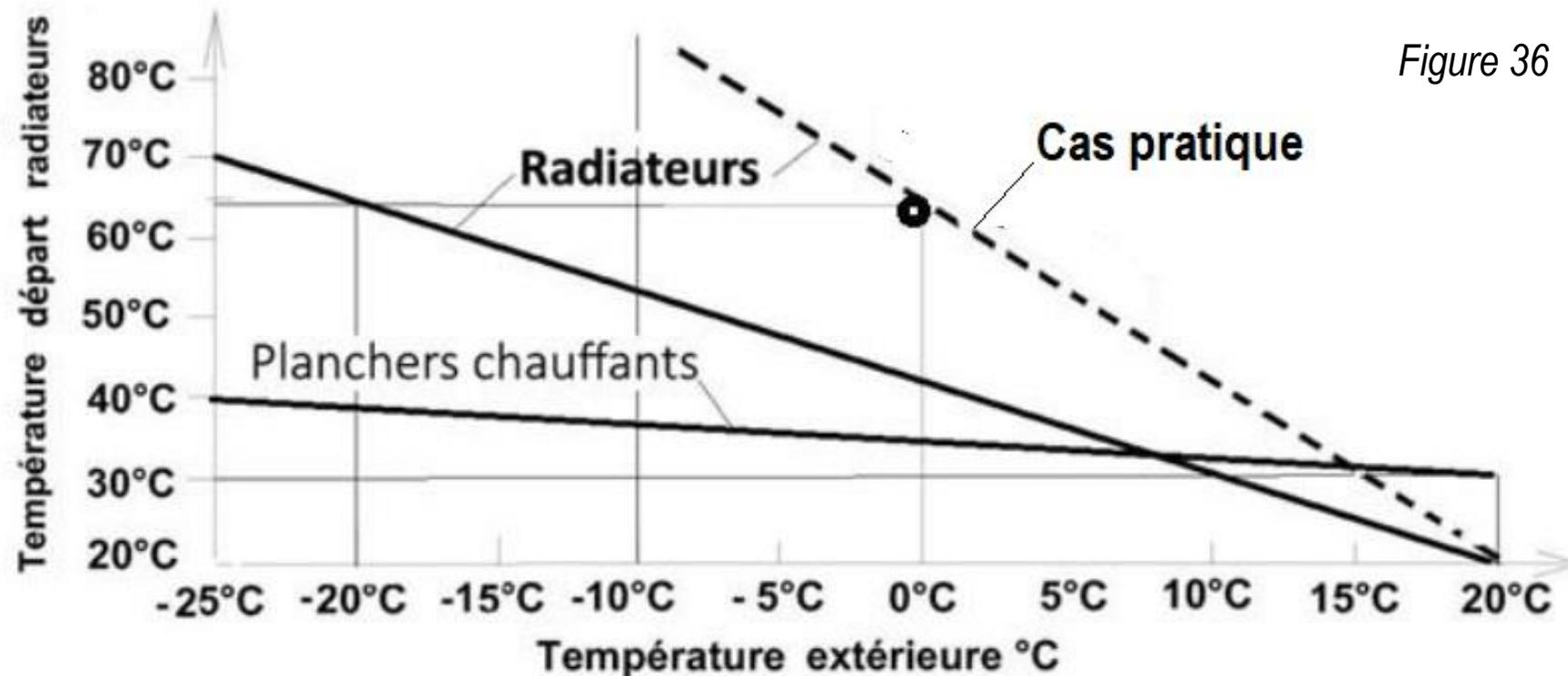


Figure 36

La figure ci-dessus montre la loi d'eau (en traits pleins) de plusieurs systèmes de chauffage collectifs en Finlande, un pays plus froid que le nôtre. L'auteur a ajouté en pointillé pour comparaison la loi d'eau de l'immeuble objet du « cas pratique » de son livre sur l'énergie avec les radiateurs hydrauliques existants de son appartement. On observe l'avance technologique de la Finlande qui a déjà standardisé les [radiateurs basse température](#). Il est triste de constater le retard technologique de notre pays à ce sujet. Le calcul prouve en effet une amélioration des performances du chauffage thermodynamique lorsque l'on adopte ce type de radiateurs. On a intérêt à doubler, voire à tripler la surface des radiateurs hydrauliques existants pour diminuer la température à la source chaude. Quant à la construction neuve, le plus efficace est de prévoir des planchers chauffants.

## Projet de chaufferie hybride (Cas pratique)



Gaz  
+  
électricité

Chiffres clés

800 000 kWh annuel  
5000 m<sup>2</sup> habitables  
60 appartements

Faisabilité Ademe

Pour assistance locale forage  
vers nappe libre

*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)*

Assistance à mise en œuvre

Comportement thermique de l'ensemble chaufferie-immeuble

# Schéma hydraulique

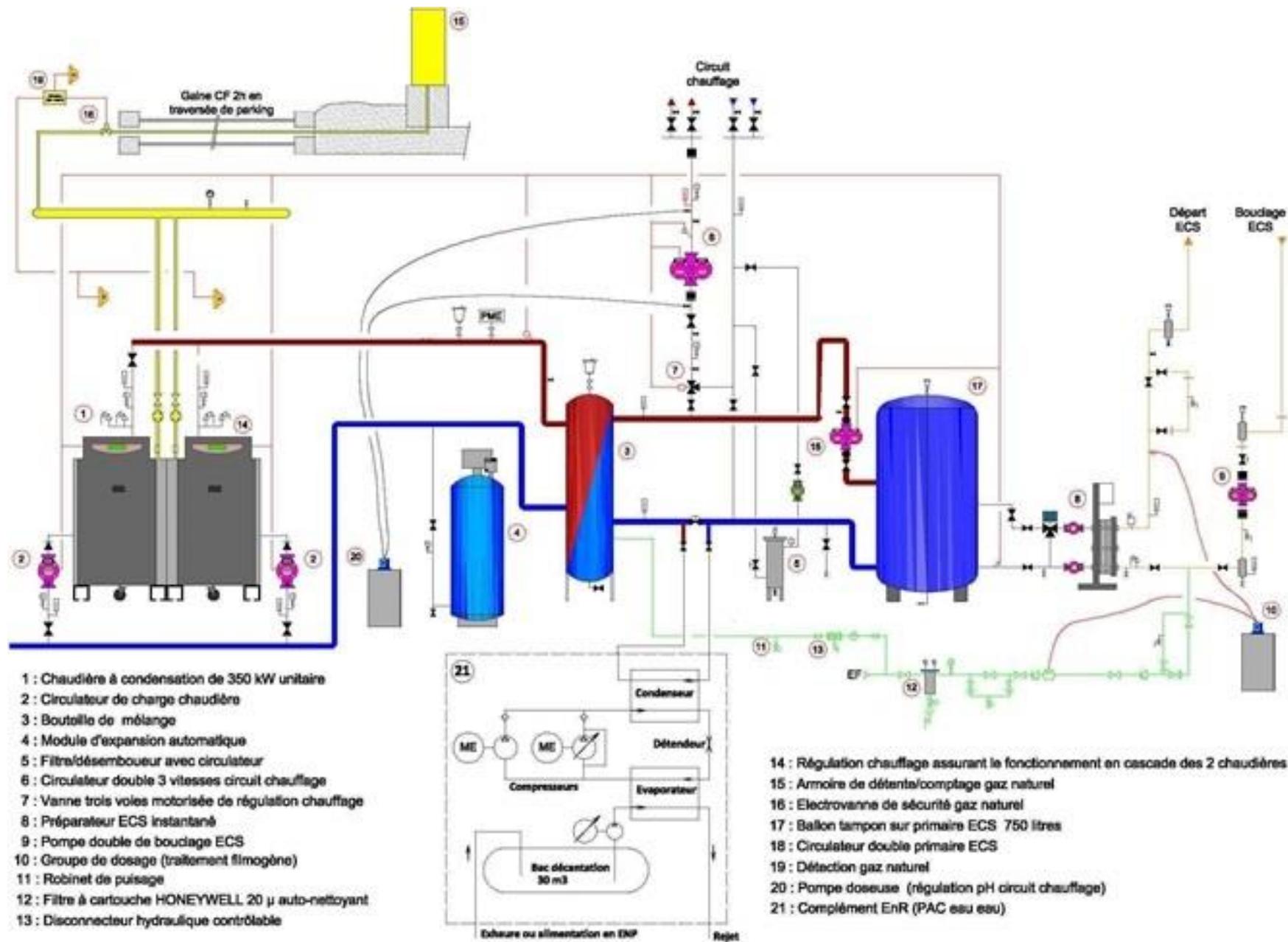


Figure 37

# Le soleil

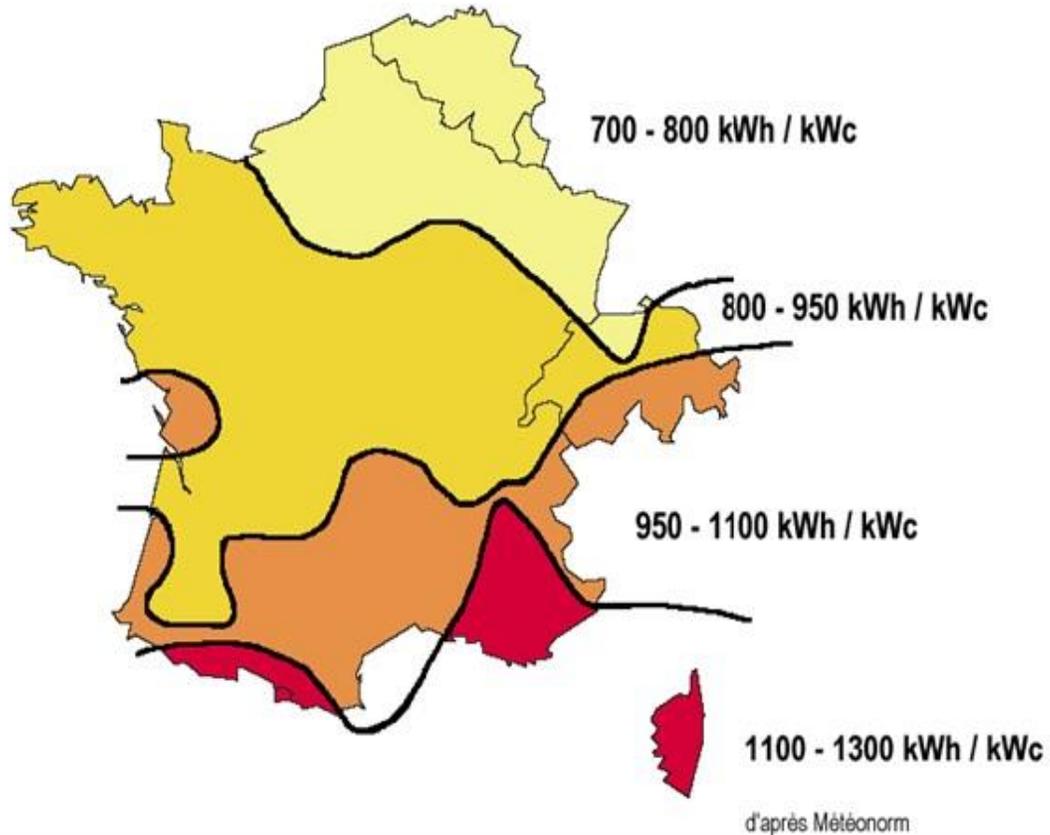


Figure 38

Production : [méthode calcul approximative](#)

## Production et besoin électrique

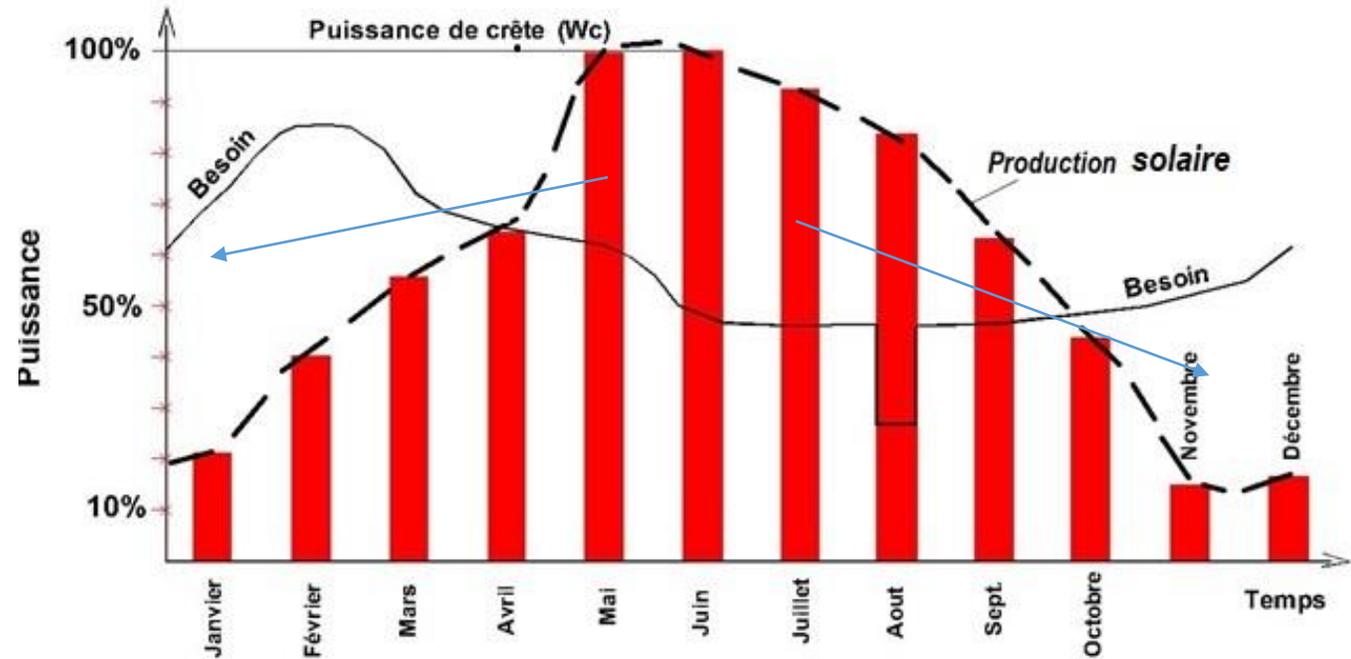
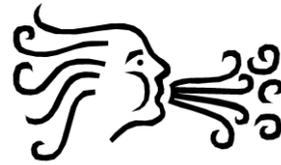


Figure 39

*Autoconsommation*

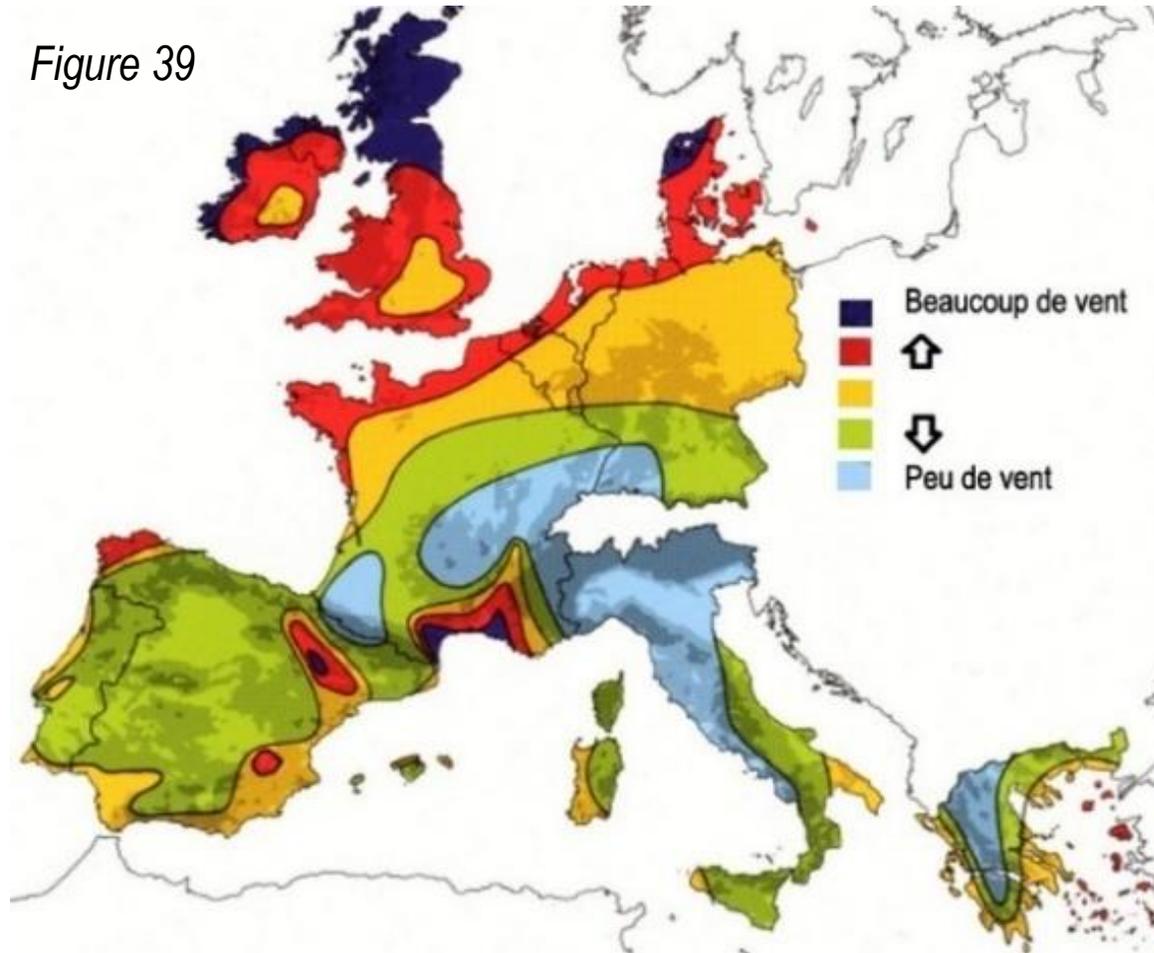
On sait maintenant qu'en région parisienne 25 m<sup>2</sup> de panneaux solaire soit une surface sensiblement deux fois plus faible que la surface disponible au sol par parisien permettrait de générer annuellement une quantité d'énergie électrique proche de 2500 kWh proche du besoin global de 2800 kWh défini page 22 pour assurer les besoins confondus du chauffage urbain, de la voiture hybride rechargeable ainsi que de l'éclairage et de l'électroménager. Il ne serait donc pas nécessaire comme certains l'ont envisagé de recouvrir Paris d'une grosse bulle voltaïque pour assurer son besoin en électricité. Ceci dit les toitures n'étant pas toujours disponibles et parfois orientées au nord, il sera pour des raisons pratiques nécessaire afin d'assurer le besoin en énergie de notre grande métropole d'adjoindre quelques centrales voltaïques en Beauce.

# Le vent et l'air



## Production

Figure 39



Ça souffle ou pas



[Le gigantisme](#)

*En raison de sa puissance industrielle et de son souhait de s'orienter vers les renouvelables l'Allemagne s'est engagée résolument dans cette voie mais elle se rend maintenant compte au moment où l'éolien fourni sensiblement le cinquième de ses besoins en électricité qu'il lui faut regarder ailleurs.*

*Protéger nos paysages en éloignant la source de production électrique de nos habitations va à l'encontre de notre intérêt de rapprocher la source de production du lieu d'utilisation. Cette considération importante est moins contraignante avec le voltaïque qui présente peut-être l'inconvénient d'être intermittent mais qui en contrepartie est moins aléatoire que l'éolien. Une autre considération aussi importante est celle concernant le prix de revient du kWh électrique qui fait qu'avec l'éolien, celui-ci est supérieur à celui du voltaïque en raison de la complexité de la chaîne énergétique avec présence de boîtes mécaniques, d'alternateurs et de couteuses pales en matériaux stratifié. Ceci facteur aggravant avec un risque de casse en zone cyclonique*

*Le potentiel éolien « on shore » de l'Europe est peut-être comme le pense Mr Deboyser dans le blog "révolution énergétique" plus important que l'estimation qui en avait été faite jusqu'à présent mais prétendre que cette chaîne énergétique pourrait satisfaire à elle seule en mettant tout dans le même panier l'ensemble des besoins en électricité de l'Europe en ne faisant appel ni au nucléaire ni aux centrales thermiques avec la combustion des produits fossiles et en oubliant le Soleil n'est assurément pas la solution.*

*Le soleil ne brille pas tout le temps , le vent ne souffle pas toujours .  
Jeremy Rifkin*

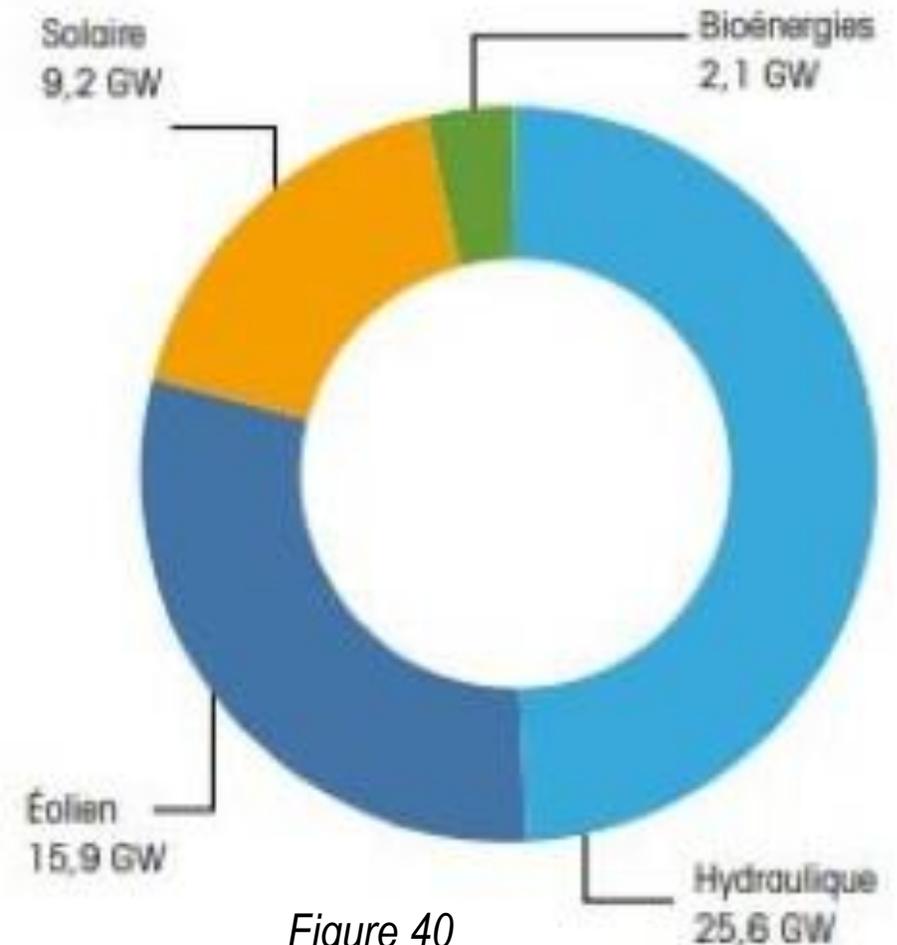


Figure 40

*Electricité renouvelable en France en 2019*

# Stockage de masse de l'électricité

Station de Transfert d'Énergie par Pompage (STEP)  
(Exemple [Grandmaison](#))

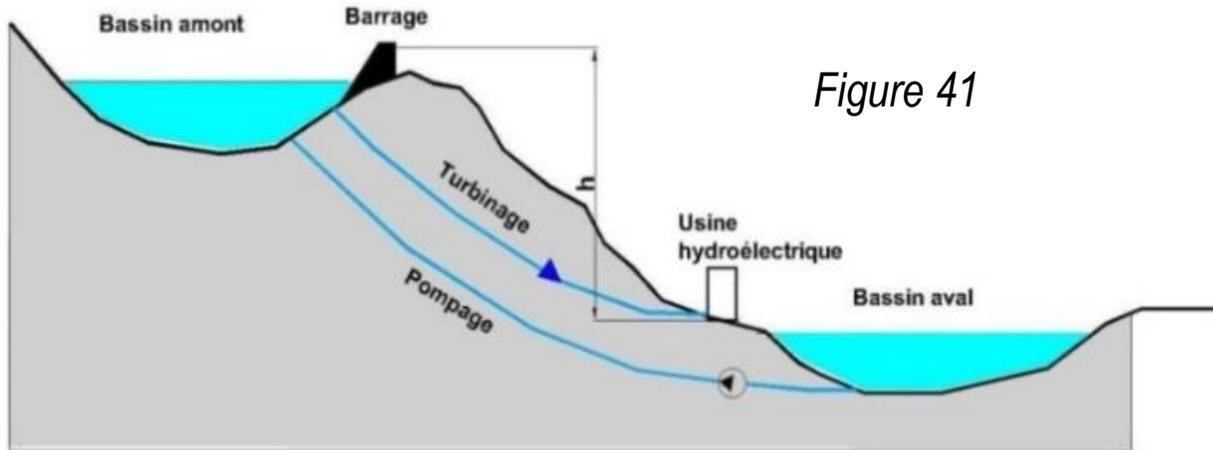


Figure 41

Voir STEP marine page 120

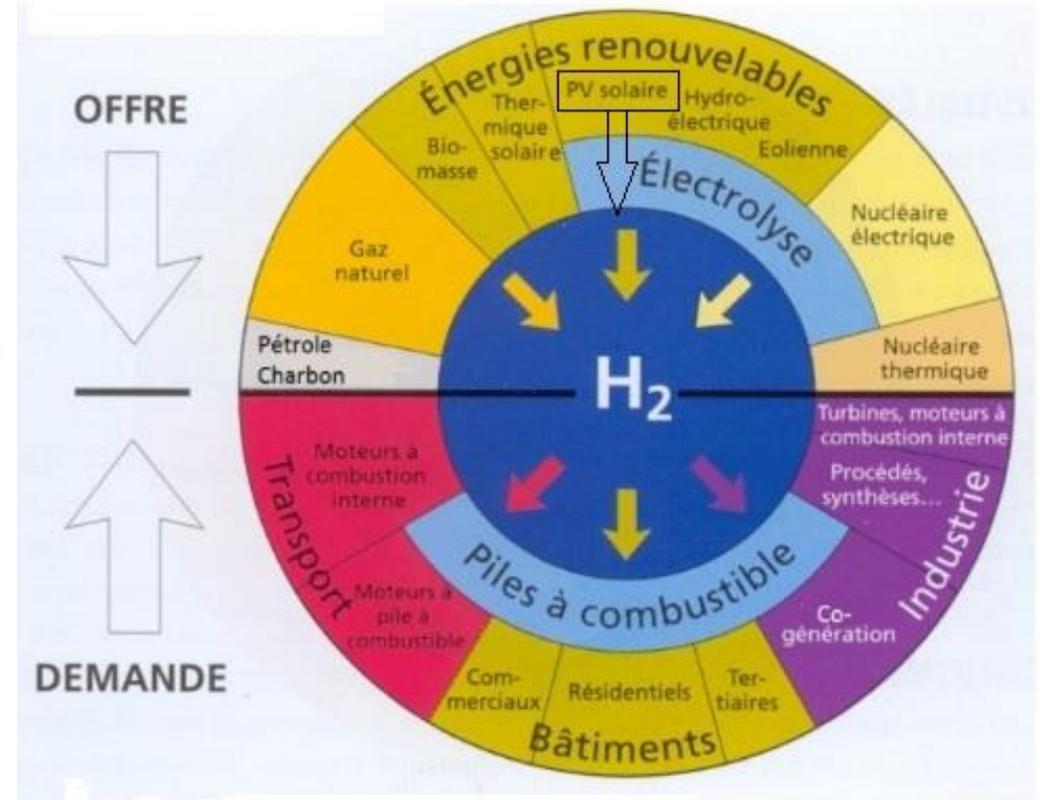


[Bio gaz](#) ? 30 kg de paille = 10 kWh elec



Batteries 10 kWh ?

Pile à combustible avec l'hydrogène  
Un exemple : les taxis *Hype* conçus par Toyota



(document U.E.)

Figure 42

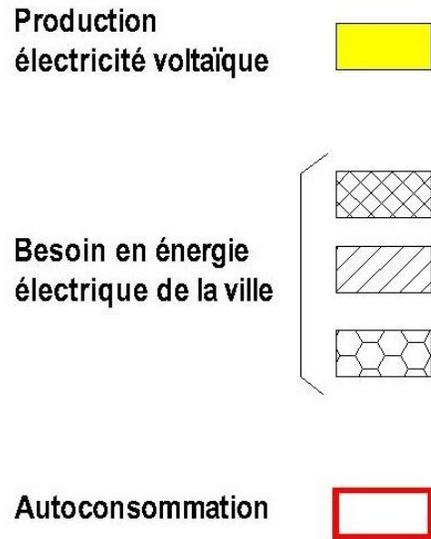
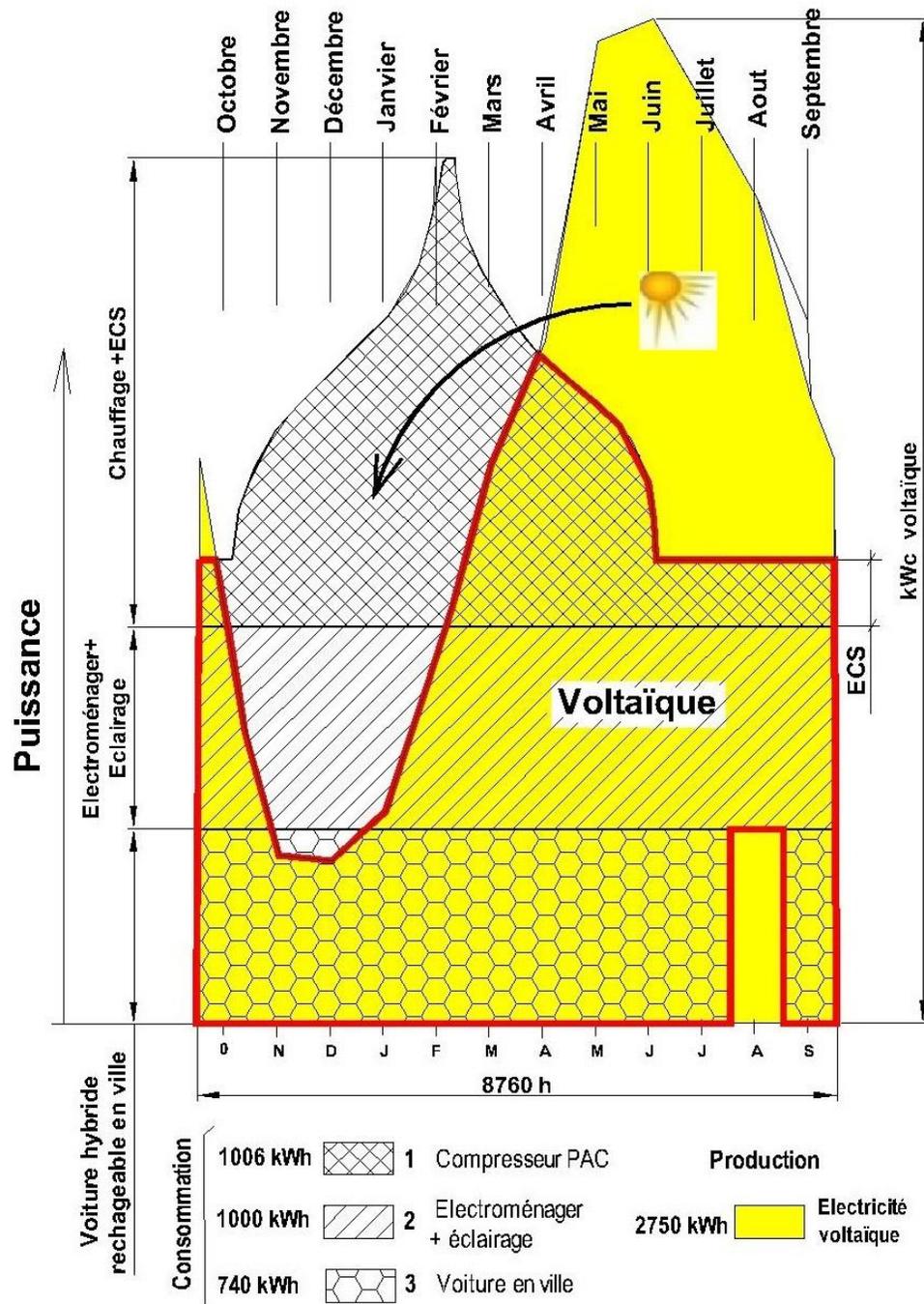


Figure 43



Le stockage de masse de l'électricité assuré localement !

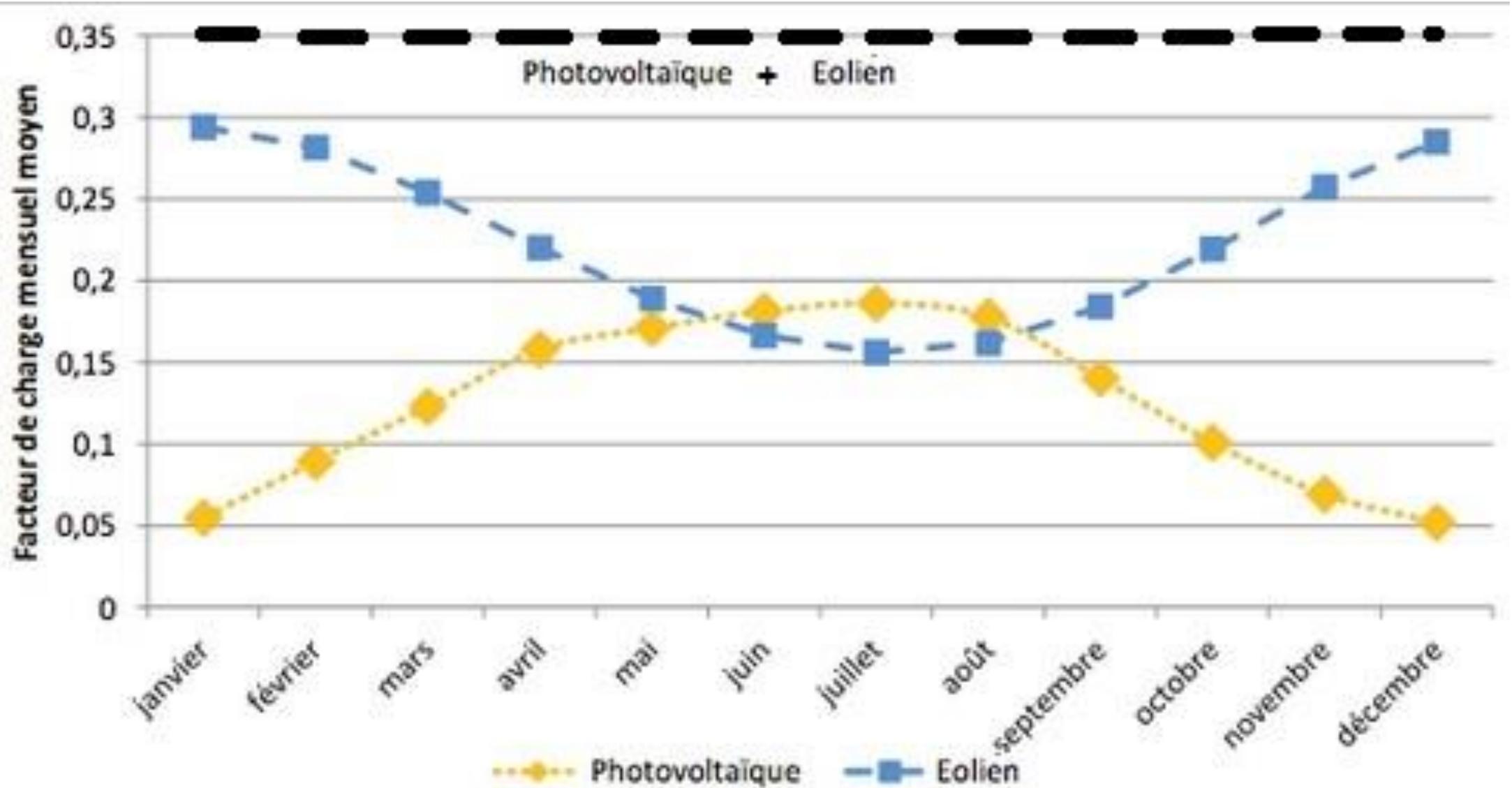
[Bio gaz ?](#)

30 kg de paille = 10 kWh elec

Combustion bois et ordures

# Intermittence vent + soleil

Figure 44



# Satisfaction du besoin électrique avec vent + soleil

Le solaire voltaïque produit presque 4 fois plus en été qu'en hiver

L'éolien produit environ 2 fois plus en hiver qu'en été

Stockage été-hiver environ 10% du besoin total, soit sensiblement 280 kWh / parisien (voir page 25)

[Notion positif négatif](#)

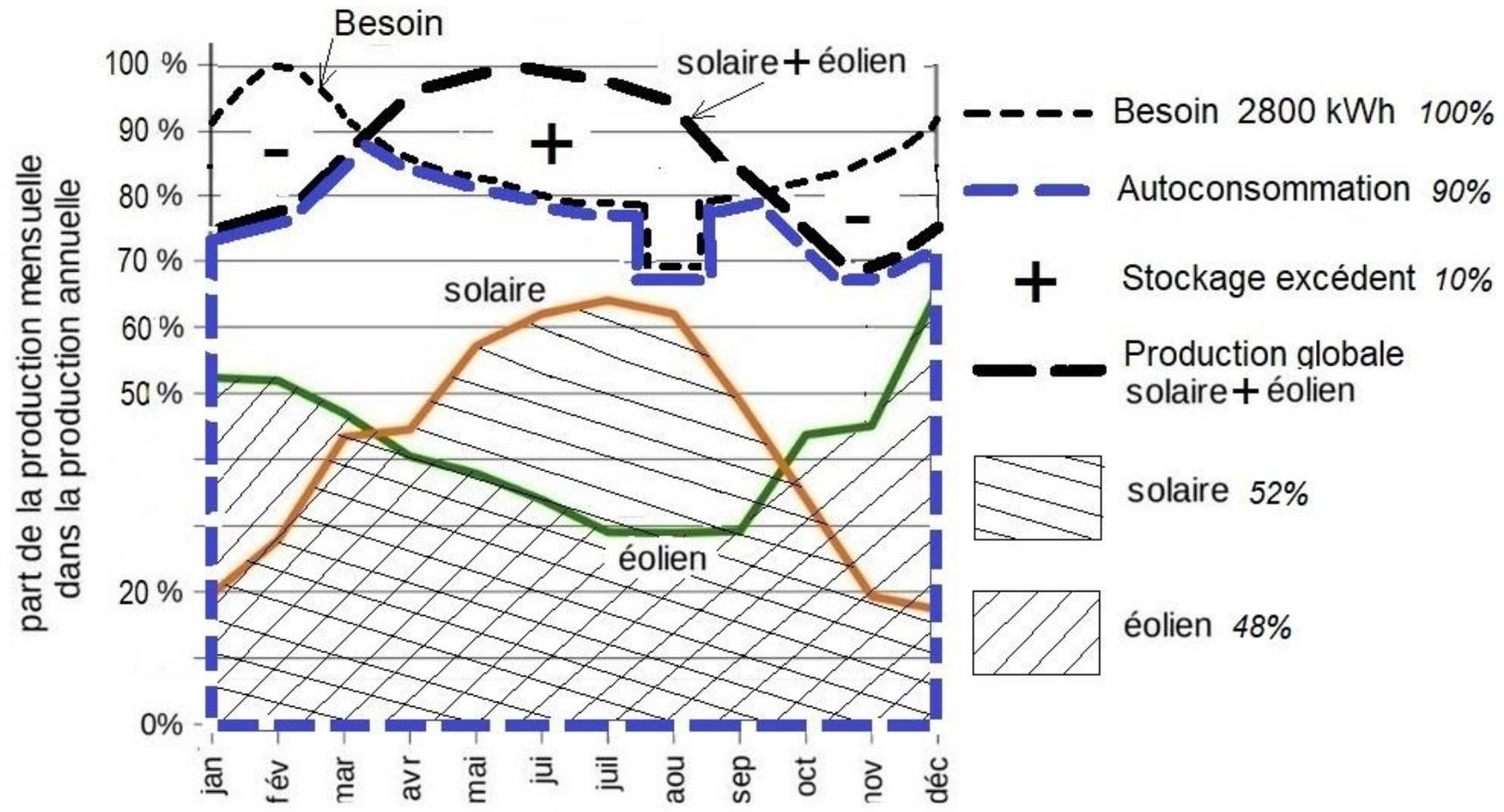


Figure 45

# Stockage thermal de l'énergie électrique (Technique allemande)



*En complément de ce qui précède,  
les 4 liens ci-dessous aident à mieux comprendre ce qu'est la*

## ***Solar Water Economy “SWE”***

[\*Formes d'énergie et potentiel\*](#)

[\*Les voitures hybrides rechargeables\*](#)

[\*Isolation après coup\*](#)

[\*Le fichier du site sur l'énergie européenne\*](#)

# 3 Les causes de l'urgence

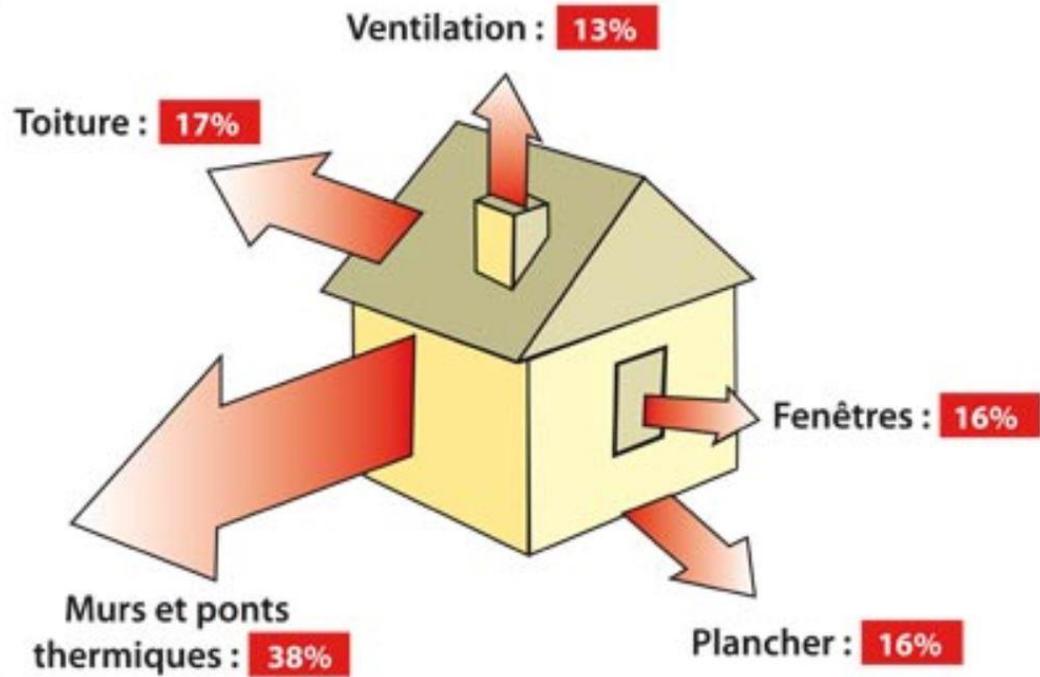


Figure 47

## Nos deux maisons

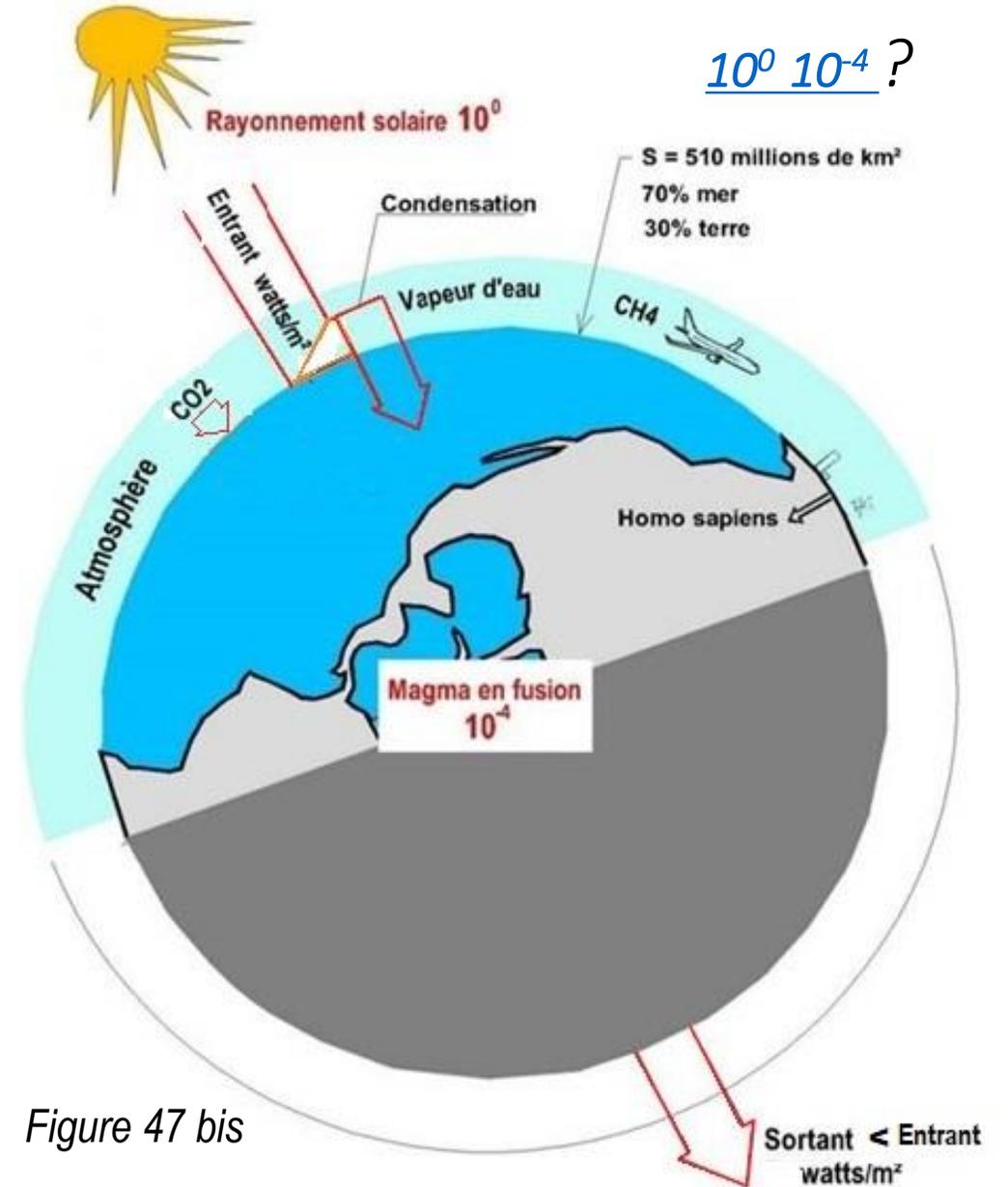
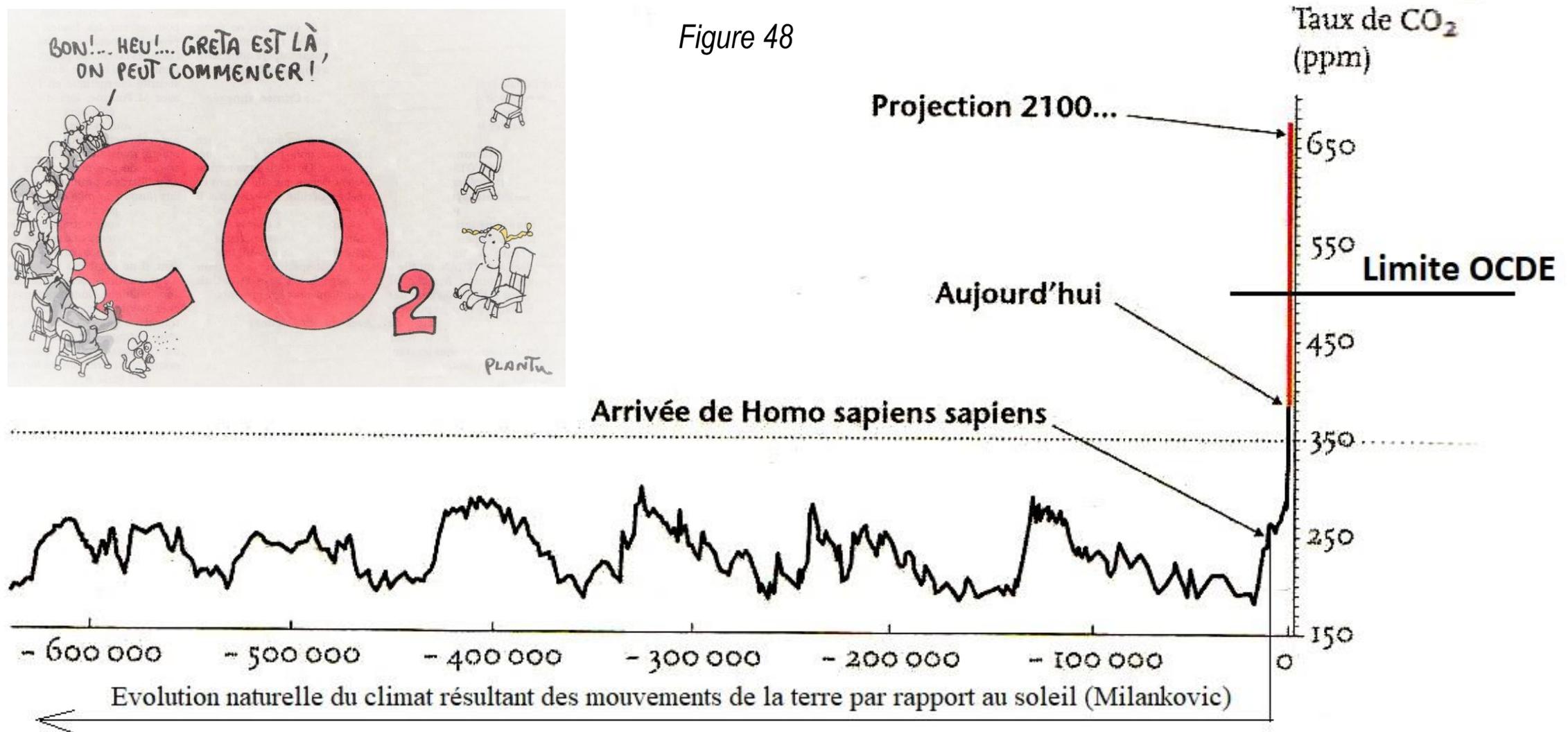


Figure 47 bis

# A Le changement climatique 600 000 ans de variation climatique ([Milankovic](#))



Figure 48



La température sur terre augmente:  
la machine est lancée avec la durée  
de vie du CO2 dans l'atmosphère  
voisine de 100 ans !

Quelques liens vers les Gaz à Effet de Serre (GES):

[Jancovici](#)

[WIKI](#)

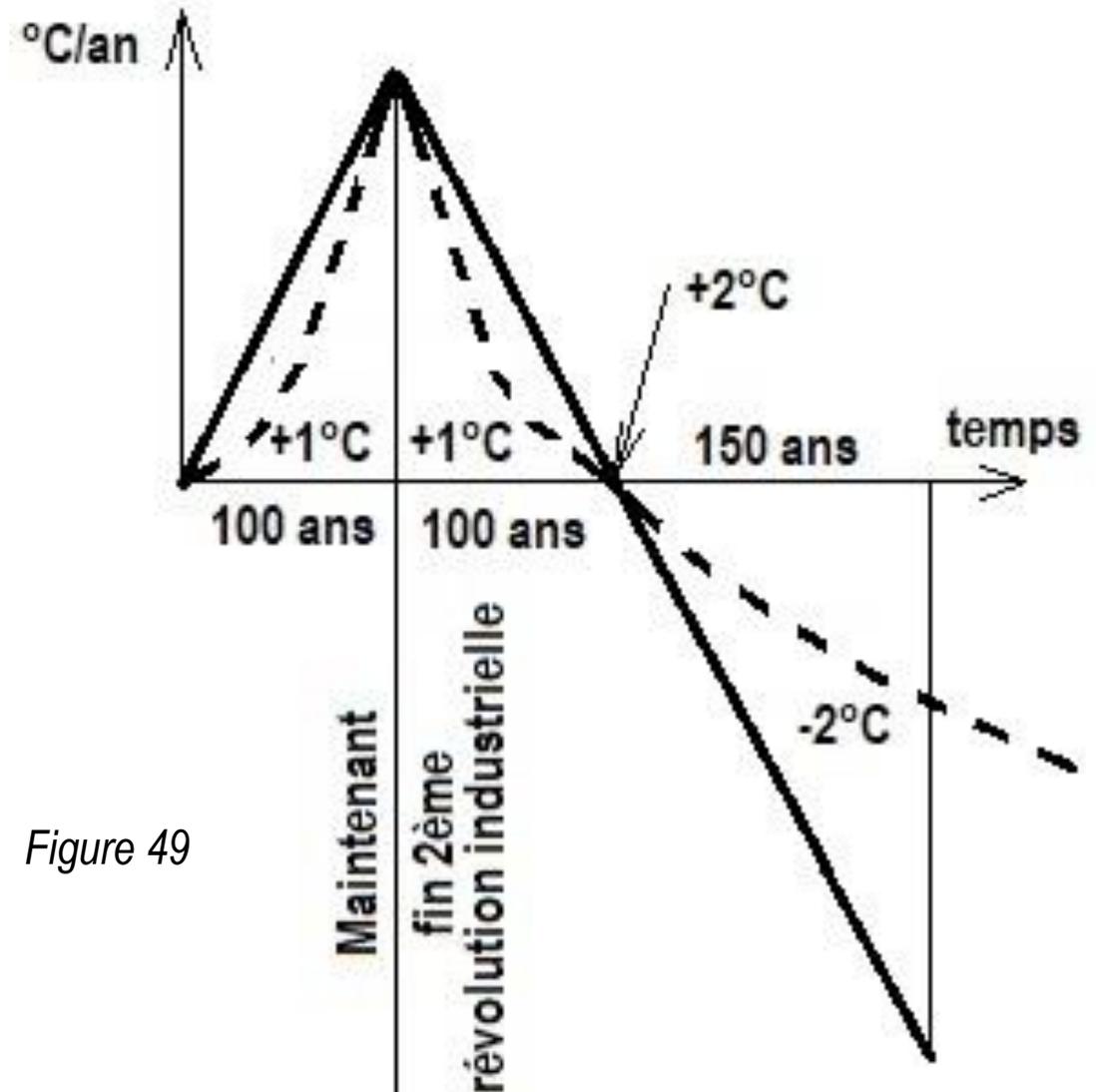
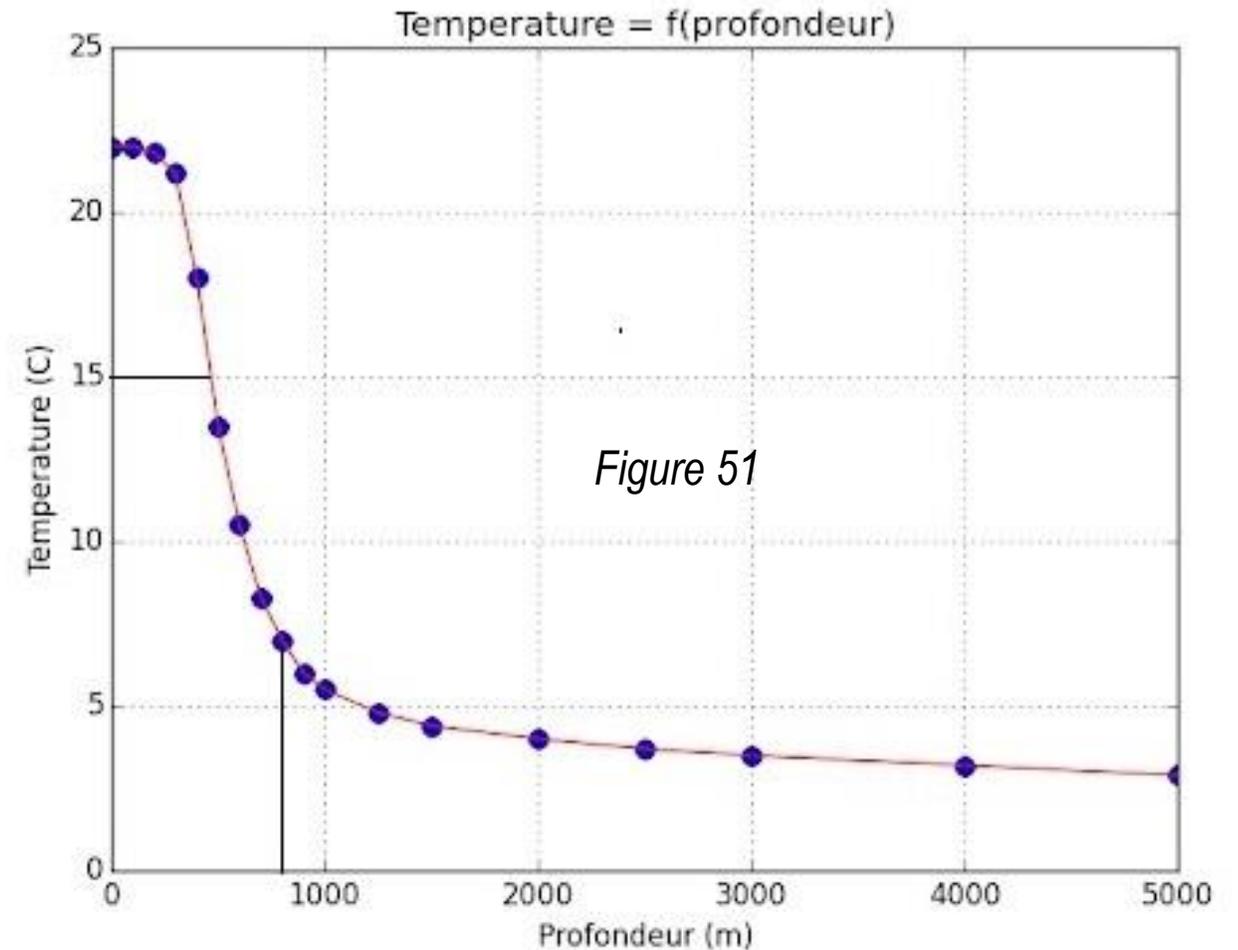
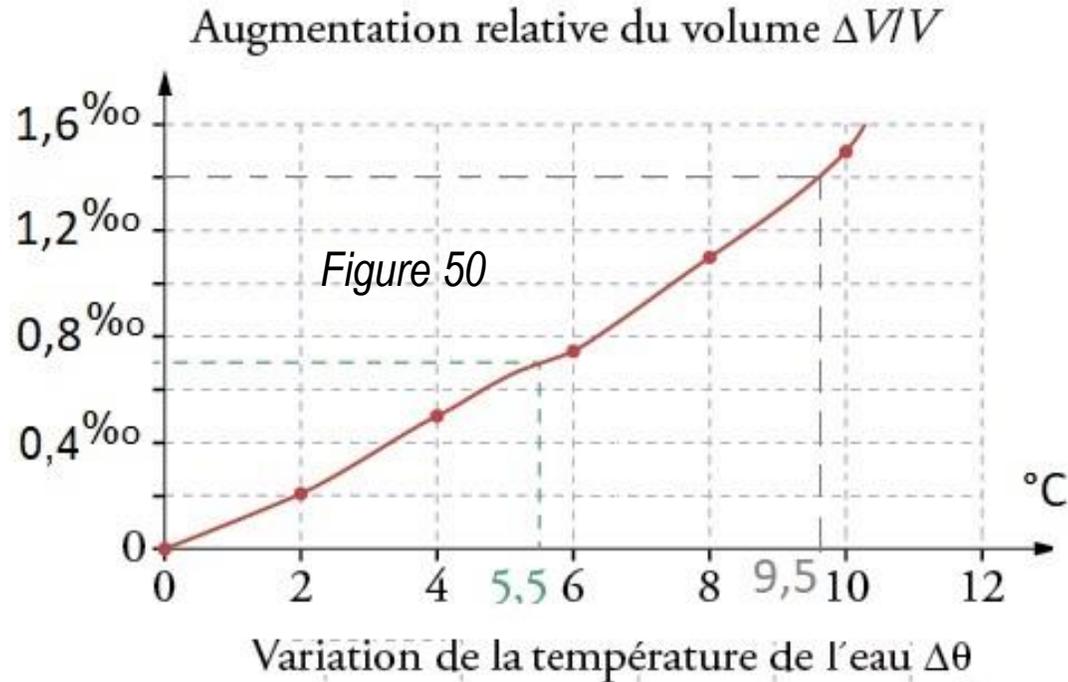


Figure 49

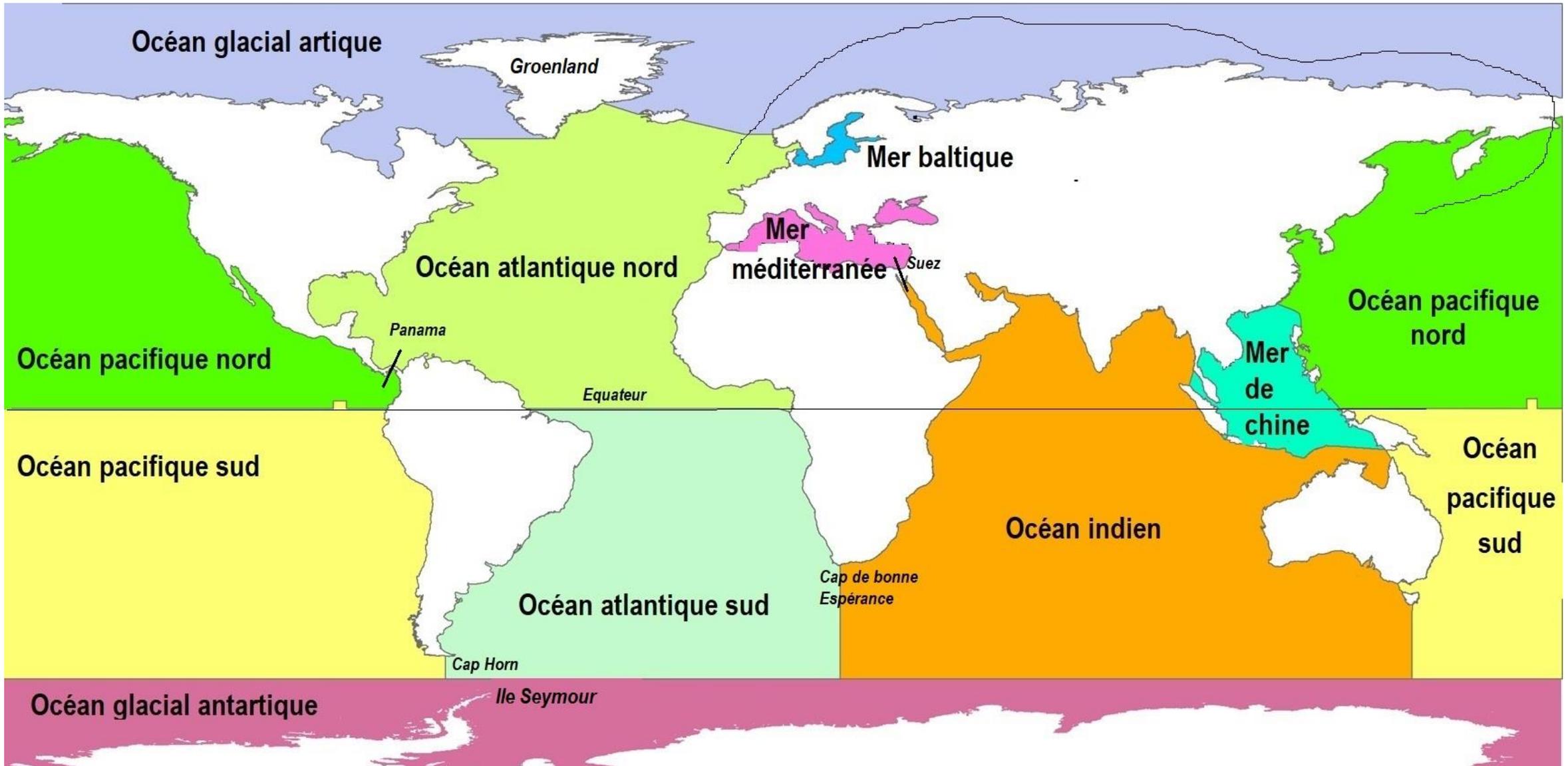
# La montée des océans



Avec l'augmentation de la température sur terre de  $4^{\circ}\text{C}$  à l'horizon 2100 annoncé par TF1, la dilatation\* de l'eau de mer provoquerait une augmentation relative de volume des océans de 0,7 pour-mille (figure 58) dans la zone sensible comprise entre 0 et 700 m (figure 59). Compte tenu de la surface des océans de  $357\text{ km}^2$  cette zone sensible représente un volume de  $357 \times 0,7 = 250\text{ m}^3$ . Compte tenu du  $\Delta V/V$  0,35 pour mille l'augmentation de volume de est de  $(250 \times 0,35)/1000 = 0,075\text{ km}^3$  sur une surface de  $357\text{ km}^2$  cela fait environ  $0,00025\text{ km}$  ou  $0,25\text{ m}$  d'élévation du niveau des mers. Ceci alors qu'au XX<sup>ème</sup> siècle la mer a montée de 17 cm.

\* La dilatation est l'augmentation de volume d'un corps quand sa température augmente. Cette dilatation s'explique par l'augmentation de l'agitation thermique des particules qui constituent le corps. voir complément page 149)

# Mers et océans



# B L'épuisement de nos ressources non renouvelables

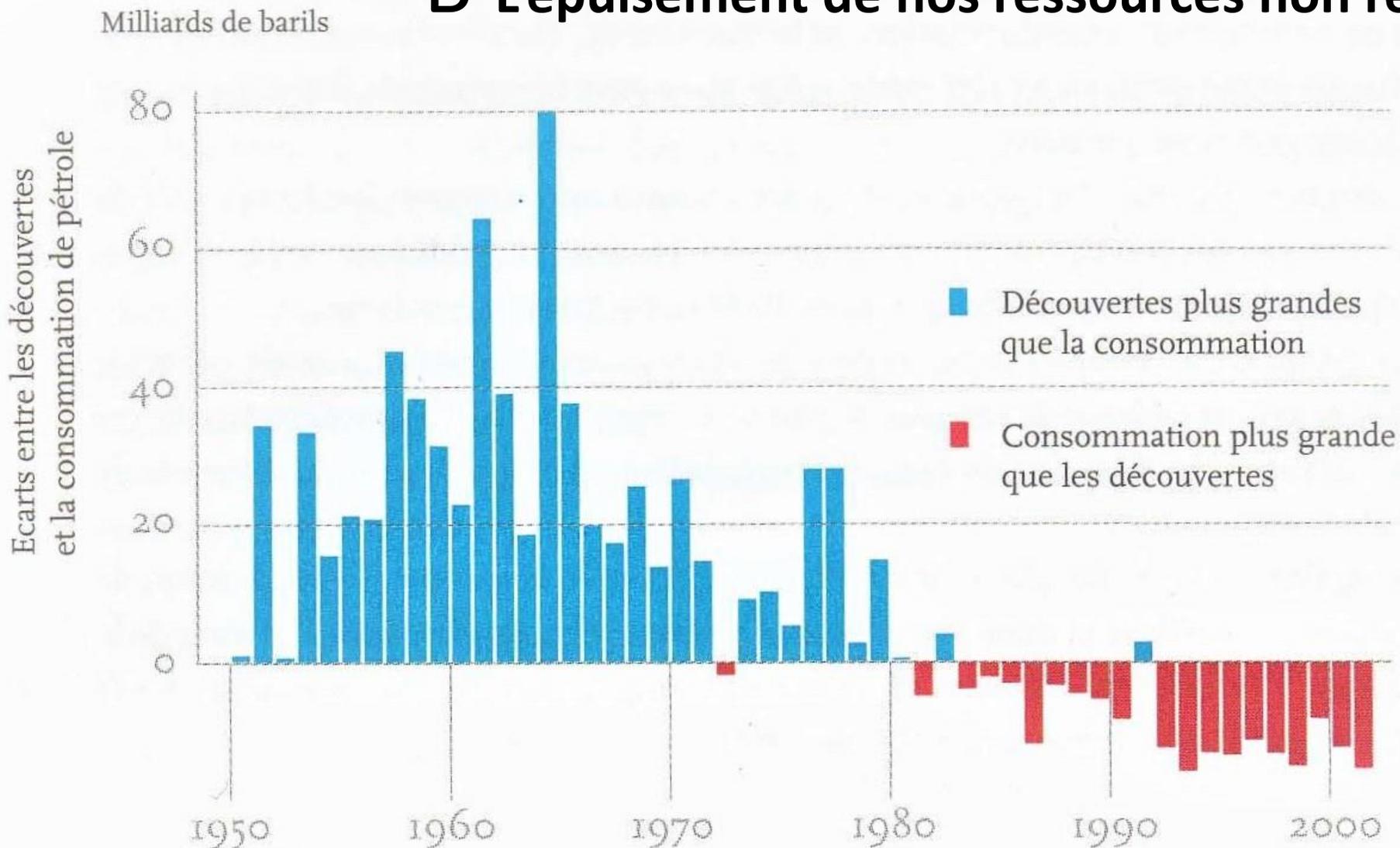


Figure 52

Le "pic pétrolier" est-il déjà derrière nous ?

[Selon l'OCDE](#)

# La terre, notre 2<sup>ème</sup> maison (Voir [un océan pour la vie](#))

## A) Ses dimensions

- **Les longueurs** : Rayon  $R = 6371$  km Circonférence  $2\pi R = 40\,075$  km
  - **Les surfaces** Totales terre + mer  $S = 4\pi R^2 = 510$  millions de  $\text{km}^2$  . Dont 153 millions de  $\text{km}^2$  terre (30%) et 357 millions mer (70%)
  - **Les volumes** Totales terre + mer  $V = 4/3 \pi R^3 = 1083$  milliards de  $\text{km}^3$  dont "seulement" 1,4 milliards de  $\text{km}^3$  d'eau de mer
- Voir aussi [la Terre en chiffres](#)

## B) Le changement climatique

En raison de l'action humaine l'énergie réfléchiée par la terre devient plus faible que l'énergie reçue par radiation du soleil ce qui provoque une augmentation de la température sur terre. Malgré la gravité de cette situation, il y a peu d'avancées et la question du "comment Faire" pour atténuer le réchauffement climatique, question pourtant essentielle, est trop souvent passée sous silence. Je suis heureux d'avoir l'occasion d'exposer à l'IESF ce qui pourrait être fait dans notre grande métropole Paris, qui deviendrait le point de départ d'une prise de conscience mondiale de ce qui nous attend si nous ne faisons rien. Au moment où notre parc nucléaire prends de la bouteille, va connaître de nombreux arrêts pour entretien du fait des visites de contrôle de l'ASN associées à l'autorisation ou non de fonctionner 10 années supplémentaires, il va falloir accroître nos efforts en matière d'efficacité énergétique pour diminuer le besoin en électricité et en produit fossiles. Ceci particulièrement dans le secteur du bâtiment existant, un secteur dans lequel les performances de nos chaînes énergétiques sont actuellement nettement en retrait de ce qu'elles devraient être. Entre le climato-sceptique Claude Allègre et le climato-réaliste Jean Jouzel, il y a la réalité des faits: un climat qui se dégrade rapidement avec des conséquences financières et humaines parfois catastrophiques. Il nous faut considérer notre planète comme notre maison et réaliser que si l'on améliore l'isolation d'une maison, la température à l'intérieur de celle-ci augmente progressivement dans la mesure où l'on ne change pas le réglage sur la chaudière. Le climatologue Jean Jouzel a eu raison de nous alerter il y a 5 ans en ce qui concerne le réchauffement climatique. L'incendie de plusieurs milliers d'hectare de forêt en Corse pendant le mois de février prouve qu'il avait raison. C'est peut-être de bonnes nouvelles d'apprendre par l'AIE que les émissions de gaz carbonique aux Etats-Unis ainsi que dans l'Union européenne sont en baisse par rapport aux années précédentes malgré une croissance économique mondiale de 2,9% mais quoiqu'en dise l'AIE il est peut probable que les émissions mondiales se soient stabilisées en 2019 en raison des émissions qui ont augmenté de 400 millions de tonnes en Asie en raison des centrales à charbon .

Nous allons devoir nous préoccuper activement de ce qu'il va falloir [FAIRE](#) pour atténuer le réchauffement climatique

L'équilibre de température dans une maison est atteint lorsque l'énergie émise par la chaufferie est égale à l'énergie dissipée dans les parois de la maison. Ce qui rentre est alors égal à ce qui sort en quelque sorte. Si on améliore l'isolation de la maison sans modifier la puissance de la chaufferie, la température à l'intérieur du logement augmente. On peut définir la courbe de variation de la température à l'intérieur de la maison en fonction du temps en calculant la fonction de transfert d'un immeuble et de sa chaufferie. C'est un peu ce qui se passe actuellement avec notre planète terre, la puissance de la chaufferie à savoir la radiation qui nous vient du soleil reste constante à l'échelle d'une dizaine de génération mais du fait de la combustion des combustibles fossiles et des gaz à effet de serre qu'elle génère dans les couches supérieures de l'atmosphère, la quantité de chaleur réfléchi diminue. Ceci ayant pour effet de provoquer une augmentation de la température moyenne sur terre et les dérèglements du climat que nous constatons actuellement. Un climatologue aura peut-être plus de facilité pour quantifier le phénomène dans le cas de la terre [comme je l'ai fait pour la maison](#). Toujours est-il que le phénomène peut aussi se comprendre en assimilant notre planète à notre maison et sa chaufferie. Lorsque la puissance dissipée dans les parois d'une maison diminue alors que la puissance émise par la chaufferie reste constante la température augmente progressivement dans les pièces de vie. Notre planète c'est un peu la même chose, moins le rayonnement solaire est réfléchi vers le cosmos du fait de l'augmentation de la teneur en gaz à effet de serre plus la surface de la terre se réchauffe. Nous trébuchons trop souvent sur le long chemin qui mène à la transition énergétique. Nous sommes même en passe de basculer dans le vide avec l'Australie et son projet d'implantation d'une nouvelle centrale à charbon. Il faut se rendre à l'évidence: le conservatisme, l'ignorance, le mensonge, les fiscalités inadaptées, l'appât du gain, voire l'obscurantisme et la bêtise humaine sont au cœur de nos problèmes. Il semblerait bien que la courbe d'augmentation de la teneur en gaz carbonique dans l'atmosphère pendant la deuxième révolution industrielle soit exponentielle comme le laisse supposer l'examen de la figure 58. De là à dire que la courbe de l'augmentation de la température à la surface de notre planète pourrait l'être aussi ... La catastrophe climatique n'est peut être pas encore là mais il semblerait bien que nous n'ayons que 2 à 3 générations devant nous pour faire le travail ceci impliquant qu'il ne faut pas traîner vu le travail important qui reste à faire. S'endormir comme la grenouille d'Al Gore serait la pire des attitudes. Je vais tenter de vous expliquer pourquoi. On constate sur cette figure que la très faible période de temps de l'ordre du siècle correspondant à la 2<sup>ème</sup> révolution industrielle qui suit les [cycles de Milankovic](#) et la 1<sup>ère</sup> période industrielle a vu la température sur terre augmenter de 1 ° C. La machine est lancée. L'Antartique nous laisse pour l'instant tranquille mais certains organismes associées au GIEC [prévoient que c'est +3 ° C sur terre à l'horizon 2100](#)

*On parle beaucoup dans les réunions internationales sur le climat de la neutralité carbone en 2050. Dans la pratique cette neutralité consiste pour un pays ou un continent tel que l'Europe à ne pas émettre plus de gaz à effet de serre, responsable du réchauffement climatique, qu'il ne peut en absorber.*

*Diminuer chaque année de 7 % les émissions de gaz carbonique jusqu'en 2030 c'est diviser par 2 la quantité de gaz carbonique émise à annuellement à cette échéance. Continuer à ce rythme jusqu'en 2050 c'est diviser par 9 les émissions par rapport à ce qu'elles sont actuellement début 2020 et c'est probablement vu la capacité naturelle d'absorption du carbone de la terre la neutralité à cette échéance. L'Europe y arrivera-t-elle ? Vu le retard que nous prenons jour après jour que ça va être extrêmement difficile voire impossible. Le problème évoqué sur la figure 59 est le fait que la durée de vie du gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) dans l'atmosphère le principal gaz à effet de serre étant approximativement d'une centaine d'années, il faut se faire à l'idée que même si nous arrivions à supprimer dès à présent les émissions de gaz à effet de serre en fermant brutalement toutes les centrales à charbon et à pétrole de la Chine des Indes et des USA (Voir page 9), ce qui est naturellement impossible la quantité de gaz à effet de serre déjà contenues dans l'atmosphère arrêterait certes d'augmenter mais la durée de vie du gaz carbonique dans l'atmosphère étant d'une centaine d'années l'énergie réfléchiée par la terre continuerait malgré tout de diminuer ceci moins rapidement certes mais elle continuera de diminuer. Cela vous l'avez deviné ayant pour conséquence que les températures sur terre vont continuer d'augmenter moins rapidement certes mais elle vont continuer d'augmenter. Ceci d'une façon comparable à une maison dans laquelle on maintiendrait la puissance de chauffe constante en améliorant l'isolation.*

*Pour l'instant on constate "heureusement" que ce sont uniquement les glaces de l'océan glacial Arctique coté pôle nord et Groenland qui fondent à un rythme accéléré. Ceci alors que côté pôle Sud la calotte glacière de l'Antarctique ne nous a pas encore inquiétée. Il faut toutefois savoir que le chercheur brésilien Carlos Schaeferd a enregistré aux antipodes et à proximité du pôle Sud dans l'île Seymour une température record de plus de 20° C en février 2020. Ce chercheur a beau nous dire que cette température anormalement élevée n'est pas un signal lié au réchauffement climatique on ne peut que s'en inquiéter. Ceci étant donné que l'océan glacial Antarctique contient plus des deux-tiers de l'eau douce de la planète. Si l'action de l'homme devenait prépondérante comparativement au mouvement naturel de la terre par rapport au soleil décrit par Milankovic on pourrait parler cette fois non plus de réchauffement climatique mais de chaos climatique*

## C) L'épuisement de nos ressources non renouvelables

Selon WIKI la puissance du rayonnement solaire reçu par les couches les plus élevées de l'atmosphère est d'environ 340 W/m<sup>2</sup> en moyenne soit une énergie reçue annuellement par m<sup>2</sup> égale à environ 3000 kWh (0,34x 8760). Compte tenu de la surface de la terre égale à 510 millions de km<sup>2</sup> et vu qu'un km<sup>2</sup> c'est un million de m<sup>2</sup>, cela correspond à une quantité d'énergie par habitant égale à environ 200 millions de kWh .  $(510\ 000\ 000 \times 1\ 000\ 000 \times 3000)/7\ 000\ 000\ 000 = 218\ 571\ 428$  kWh. En ce qui concerne le timing, le problème le plus grave à venir sur terre n'est donc peut-être pas le réchauffement climatique mais la satisfaction de nos besoins lorsque les énergies non renouvelables seront épuisées. En effet la quantité d'énergie naturelle qui nous vient du soleil est sensiblement dix mille fois supérieure à celle qui serait dissipée dans l'atmosphère sur terre si l'on devait généraliser mondialement le nucléaire et la combustion des produits fossiles. Ceci vu la consommation énergétique moyenne mondiale par habitant sur terre sensiblement égale à 20 000 kWh ( Voir page 7)

La figure 62 extraite du manifeste négawatt nous fait comprendre que [le monde du pétrole va bientôt être derrière nous](#). Les découvertes qui étaient plus grandes que la consommation ne le sont plus. Il convient toutefois à ce sujet de relativiser , les énergies dites non renouvelables ne sont pas encore totalement épuisées. Les États-Unis ne nagent pas dans un océan d'hydrocarbure et on presse le citron avec les gaz de schiste. [Les prévisions de Delphine Batho](#) lorsqu'elle était ministre de l'écologie vont se réaliser à moyen terme et il est peu probable que les États-Unis qui ont importé le pétrole de l'OPEP pendant plusieurs décennies vont exporter leur gaz de schiste. Il faut toutefois constater que comble de l'inconscience, plusieurs pays comme le Canada le Brésil la Norvège ainsi que l'Australie seraient en passe de lancer en 2020 l'exploitation de nouveaux champs. L'année fatidique au cours de laquelle il sera constaté une baisse du volume d'hydrocarbure produit avec l'augmentation dramatique des prix et les conséquences sociales que l'on peut imaginer n'est donc pas encore atteinte. Sans faire de pessimisme l'ère du pétrole bon marché pourrait donc être encore devant nous plutôt que derrière compte tenu de la tendance naturelle d'homo sapiens d'acheter au moins cher malgré les conséquences graves que cela implique pour le climat.

[L'AFPAC](#) qui tient des statistiques sur le nombre de pompes à chaleur installées sur le territoire français a dévoilé que le NB de réalisations de ce type est passé - hors systèmes **air air** - d'environ 1 500 avant 1997 pour atteindre environ 70 000 réalisations en 2007, soit 13 ans plus tard. Cela correspond à une progression annuelle de 35% ( $1,35^{13} = 50$ ). Cela signifie que si cette progression de 35 % se poursuit les 20 années qui viennent c'est sensiblement tous les Français qui vivent en ville soit presque la moitié d'entr'eux qui pourraient être équipée d'une pompe à chaleur en 2040 ( $1,35^{20} = 400$ ) . L'AFPAC qui a exclus les PAC **air air** de ses statistiques avait probablement déjà pressenti que ce type de pompe à chaleur n'était pas généralisable en ville. Un seul grave problème concernant ces statistiques subsiste: le fait qu'il s'agit uniquement de PAC privative individuelle destiné à l'échelle de la maison et non aux immeubles prouvant en quelque sorte qu'un individu tout seul raisonne mieux qu'en groupe. (Voir [RT2012](#))

## **D) Les lois et l'impuissance du Leader**

On aborde ici les causes qui expliquent le retard de l'action et du non respect de notre loi française la [LTECV](#) . La cause principale étant probablement [l'impuissance du Leader à se faire entendre](#) individuellement. Il faut dire à ce sujet qu'il n'est pas toujours aidé par les [journalistes](#). En se groupant, les écologistes français (voir page 165) et [allemands](#) ont parfois réussi à se faire entendre collectivement et leurs revendications directes ont parfois été couronnées de succès. A ce sujet je réponds ici à Jennifer Morgan directrice générale de l'ONG Greenpeace qui, lors de la COP 25 cherchait en vain le "Leader" et s'inquiétait de la fracture qui existe entre ce qui se passe entre les murs de toutes ces COP et ce qui se passe dans la pratique à l'extérieur. En France, le "Leader" c'est le petit " vers solitaire " qui essaye sans y parvenir de convaincre son entourage et qui tente de remonter le millefeuille français en traversant sa commune, son intercommunalité, son canton, son arrondissement, son département, sa région afin d'atteindre l'exécutif et l'Etat, voire l'Europe pour prendre avec elle les actions qui s'imposent. Un taux en gaz carbonique supérieur à 500 ppm est selon l'OCDE une limite à ne pas dépasser. Ceci alors que selon l'IAP associé au GIEC ce gaz est responsable pour quelque 20% de [l'effet de serre](#)

Pour ce qui concerne le climat Voir aussi [http://www.infoenergie.eu/riv+ener/LCU\\_fichiers/G-prospective.pdf](http://www.infoenergie.eu/riv+ener/LCU_fichiers/G-prospective.pdf)

En finançant les énergies fossiles [les banques françaises ont une lourde responsabilité dans la dégradation du climat](#).

Domage que des leaders tels que Nicolas Hulot ou le porte parole du CSLT n'aient pas véritablement réussis à se faire entendre en France. Cela aurait permis de réduire les inégalités trop criantes qui comme chacun sait sont le ferment qui provoque la radicalisation des mouvements sociaux actuels. Pour justifiée qu'elle soit, cette radicalisation doit cependant avoir ses limites et ne doit pas incorporer des actions qui puissent nuire aux personnes en état de handicap tels que des coupures d'électricité au niveau des hôpitaux et des écoles qui arrêtent les ascenseurs électriques et condamnent le fonctionnement des équipements et des systèmes de chauffage. On peut comprendre à ce sujet que des sanctions soient prises à l'encontre de ceux qui sont responsables de ces coupures volontaires.

Ceci dit, on pourrait aussi inverser le raisonnement et considérer que l'exécutif ne faisant aucun effort qui soit à la hauteur du besoin peut, en quelque sorte être tenu pour responsable. Ceci par le fait qu'il se refuse à admettre qu'il va falloir changer de chaîne énergétique pour éviter de se placer dans une situation dangereuse avec risque de provoquer des coupures de courant. Ceci par le fait qu'il persiste par exemple à utiliser le chauffage électrique individuel à effet joule, une chaîne énergétique d'un autre âge pour assurer le chauffage des bâtiments existants en allant à l'encontre de ses résolutions lors des accords de Paris sur le climat. Ceci dans la mesure où cette chaîne énergétique associale qui accroît la douloureuse de fin de mois entraîne aussi une consommation électrique inacceptable pour notre réseau au plus froid de l'hiver. Une consommation qui pourrait être 5 à 7 fois plus faible qu'actuellement de telle sorte qu'une STEP comme celle de [Grand-Maison](#) devienne significative en terme de satisfaction du besoin.

# 4 Complément aspect biosystème (Voir IESF)

## A Sur les pompes à chaleur pages 63 à 65

- Le compresseur
- Les échangeurs de température
- Les fluides caloporteurs (Enthalpie, entropie)

## B Sur la géothermie pages 66 à 67

- La tête de forage du doublet géothermique
- Le derrick
- La géothermie en Ile de France et à BB

## C Sur l'eau, l'air et le soleil page 161 (Voir IESF)

## D La Cartographie de la France, de l'Europe, du monde (Voir IESF)

## E. Les nombres page 190

- équations aux dimensions
- Puissance 10

## F. La maison, l'appartement, la nourriture et la voiture

## G . Contacts, état d'âme

Pour prendre connaissance des travaux sur l'énergie effectués par l'auteur de ce fichier voir

[www.infoenergie.eu](http://www.infoenergie.eu) et [www.rivieres.info](http://www.rivieres.info) ainsi que [les livres](#) et le logiciel [OCES](#).

Accès à la [SWE](#)

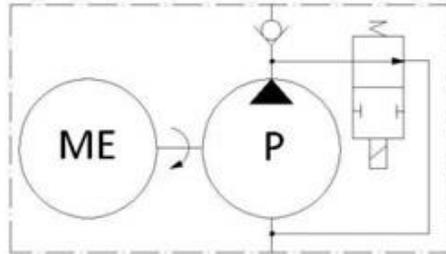
[La rivière et sa pollution](#)

# A Les composants d'une pompe à chaleur

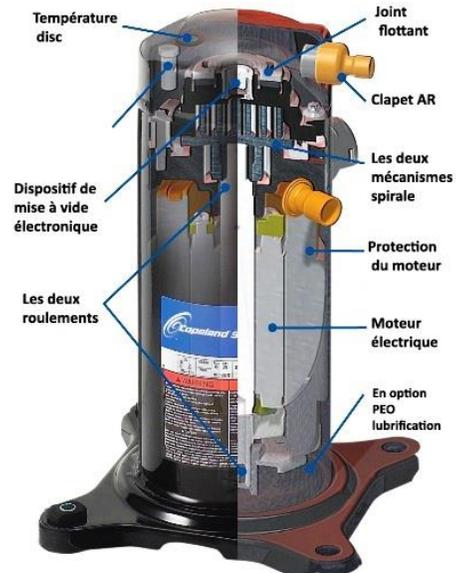
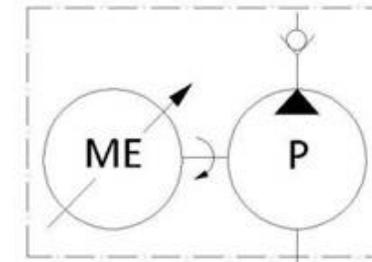
## Le compresseur

Type spirale (Copeland Scroll)

à vis Figures 54



Figures 53



Introduction des moteurs électriques à courant continu et à vitesse variable <sup>23)</sup> pour assurer la variation de débit

# Les échangeurs de température

condenseur et évaporateur

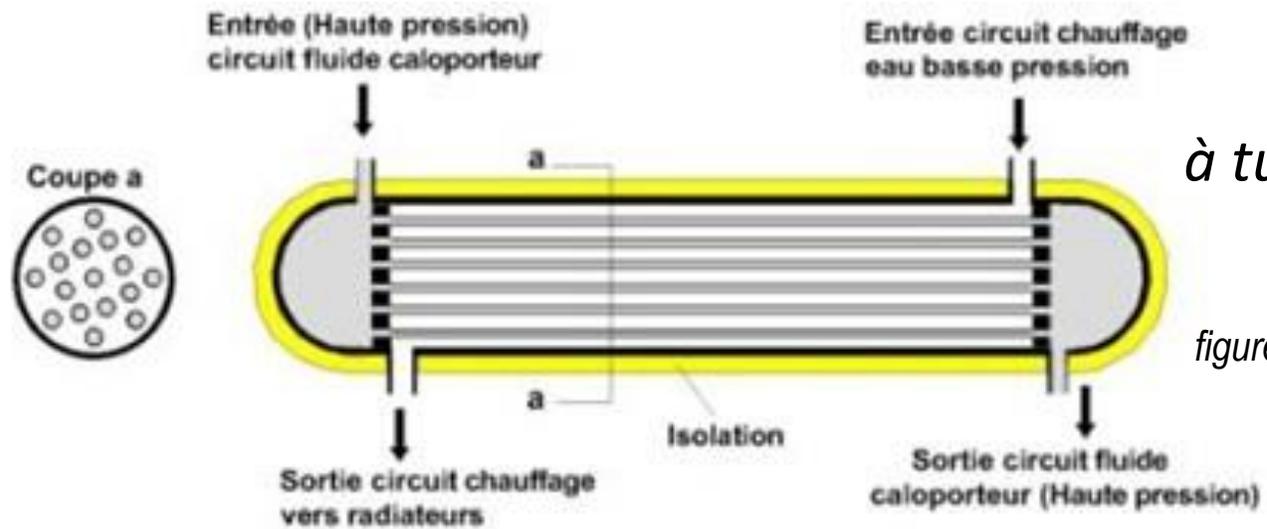


figure 55

à plaques

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 <sup>2</sup>	Nitrile Viton Hypalon Téflon Néoprène	Inox Titane Titane-palladium	3500 à 7500 W/m <sup>2</sup> K	2200m <sup>2</sup>	3500 m <sup>3</sup> /h

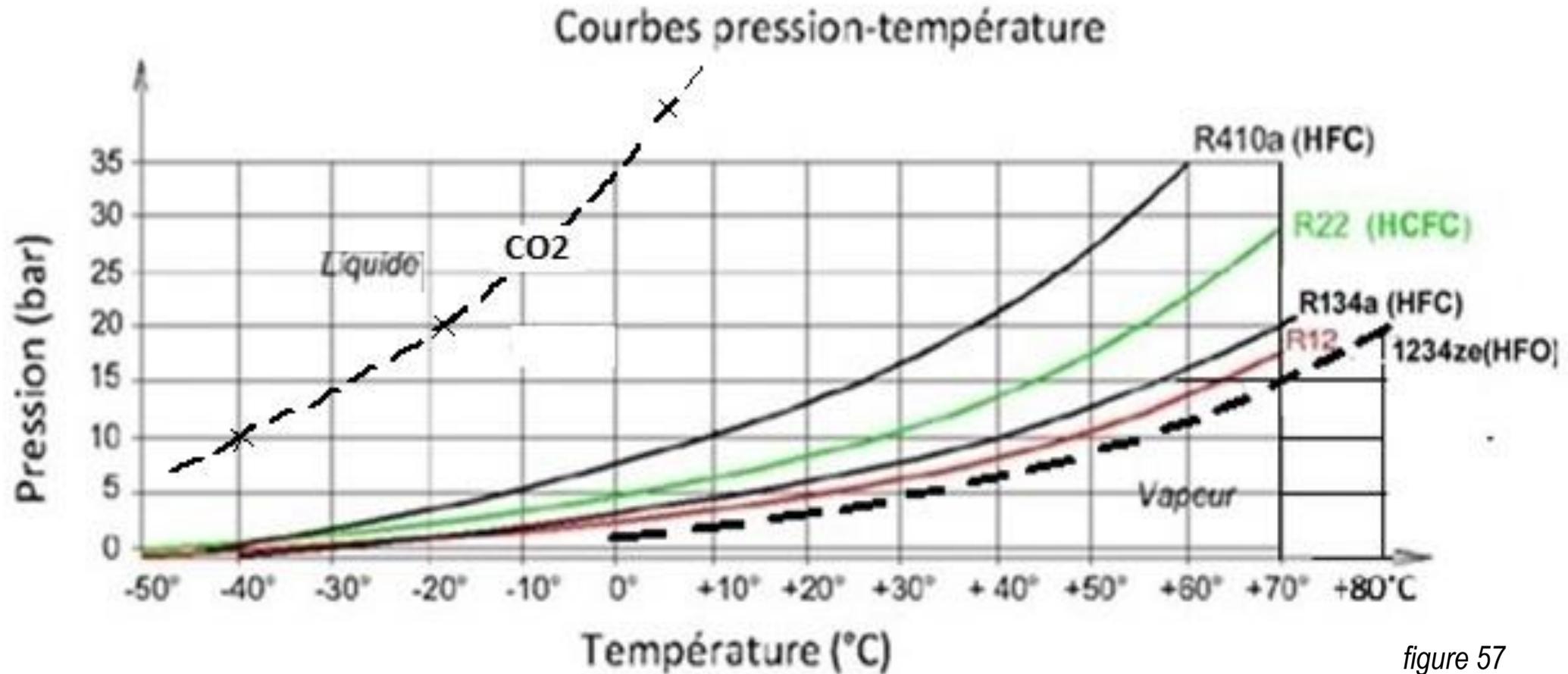
Domaine d'utilisation des échangeurs à plaques Alfa Laval (Courtesy INSA)



à tubes

figure 56

# Les fluides caloporteurs



Info sur les [fluides caloporteurs](#)

[Le CO2 comme fluide caloporteur](#) ne semble pas être une bonne idée

# B Géothermie

## Tête de forage du doublet géothermique



```
DOSBox 0.74-2, Cpu speed: 3000 cycles, Frameskip 0, Program: LIN

<ENTREES>

diamètre intérieur de la tuyauterie= 200 mm
débit= 5000 l/mn
viscosité du fluide= .5 centistokes
longueur de la tuyauterie= 250 m
densité du fluide= 850 kg/m3
nombres de coudes à 90°...= 0
nombres de coudes arrondis= 2

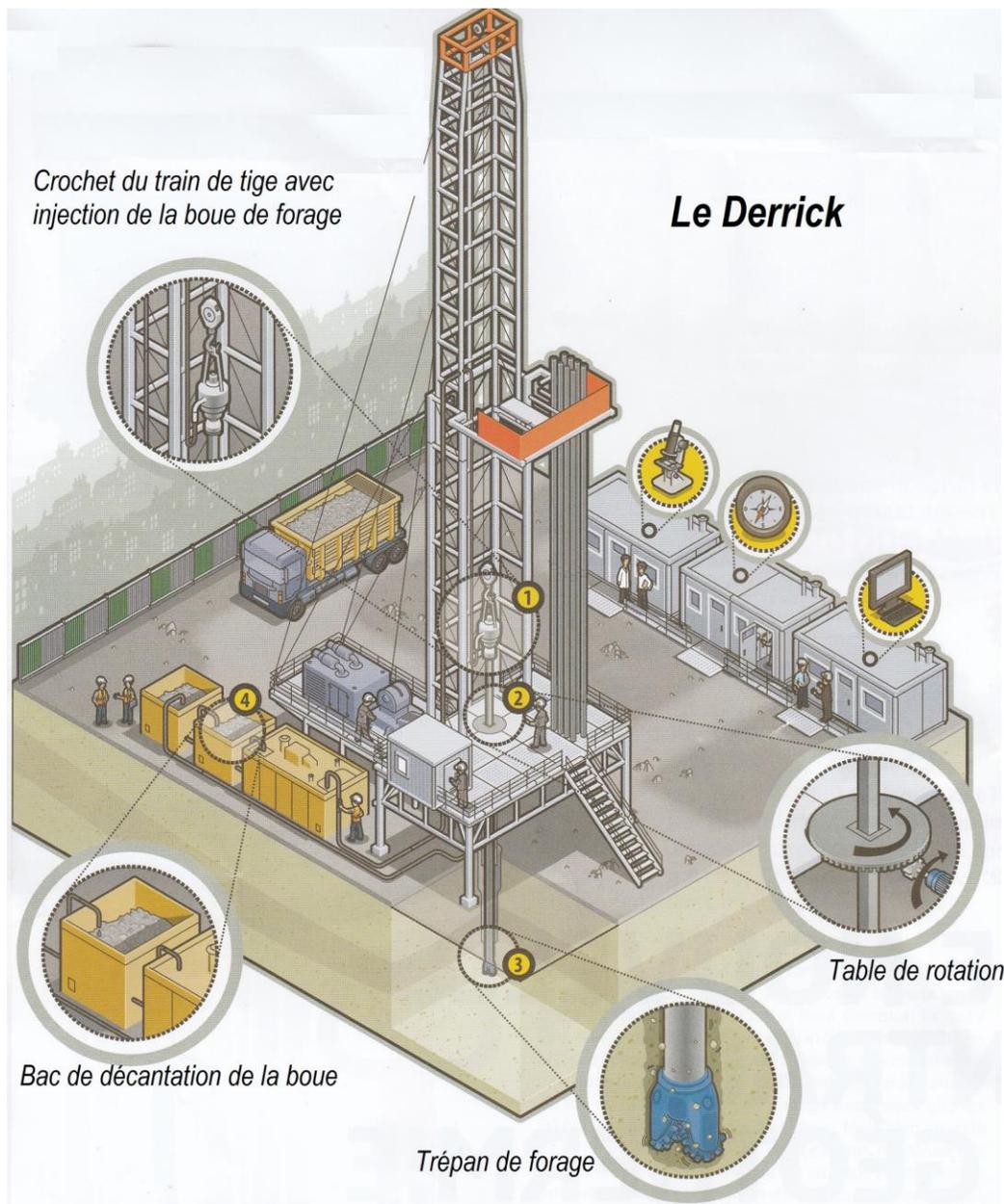
<SORTIES>

vitesse du fluide= 2.641966 m/s
écoulement turbulent
nombre de reynolds= 1056786
longueur équivalente totale= 258 mètres
perte de charge totale= .7543159 bar

puissance perdue= 6.166532 kw

voulez-vous imprimer le résultat sur votre imprimante?
```

Un débit  $Q$  de 300 m<sup>3</sup>/h avec une chute de température  $\Delta T$  de 50°  
c'est une puissance thermique  $P$  disponible pour votre région de  
 $P = 1,16 \times Q \times \Delta T = 17400 \text{ kW}$



## Construire une centrale géothermique un projet d'ampleur

La réalisation d'une centrale de géothermie passe par de nombreuses étapes. On analyse tout d'abord le contexte local, densité de logements, volonté des élus locaux puis on réalise les études techniques et économiques. Commence ensuite les démarches administratives demande de permis de forer, étude d'impact environnemental, enquête publique. Enfin on passe à la réalisation avec le forage depuis la construction de la centrale le déploiement du réseau et la création des sous-stations la réalisation d'un tel projet prend plusieurs années

### Le principe du forage Rotary

Avant de construire la centrale de géothermie en surface il faut forer le puits de production qui permet de pomper l'eau chaude et le puits de réinjection qui renvoi l'eau refroidi dans la nappe d'origine: c'est le doublet géothermal. Les puits sont forés selon une technique éprouvée issue de l'industrie pétrolière: le forage Rotary. Le trépan fixé à l'extrémité d'un train de tige est suspendu à un derrick pendant que les tiges tournent sur elle-même. Les trois roues dentées du trépan sont entraînées par la pression de la boue de forage injectée par l'intérieur du train de tige. L'ensemble grignote ainsi la roche lentement la boue remonte les résidus de forage par la périphérie du train de tiges. Elle est ensuite filtrée puis réinjectée en circuit fermé. Le train de tige est allongée au fil de l'avancement plusieurs diamètre de forage sont utilisés successivement en allant du plus gros vers le plus petit (26" à 9"). A chaque changement de diamètre les tubes sont scellés dans le puit formant alors sa structure interne. Lors du forage les deux puits peuvent être déviés progressivement vers l'horizontal grâce à la technologie issue du gaz de schiste aux USA jusqu'à ce que chaque extrémité soit éloigné d'environ 1500 m de telle sorte que l'eau de rejet ne viennent pas tiédir l'eau géothermale

[Celcius](#) et l'expérience des forages pétroliers avec Schlumberger

# L'eau géothermale en Ile de France

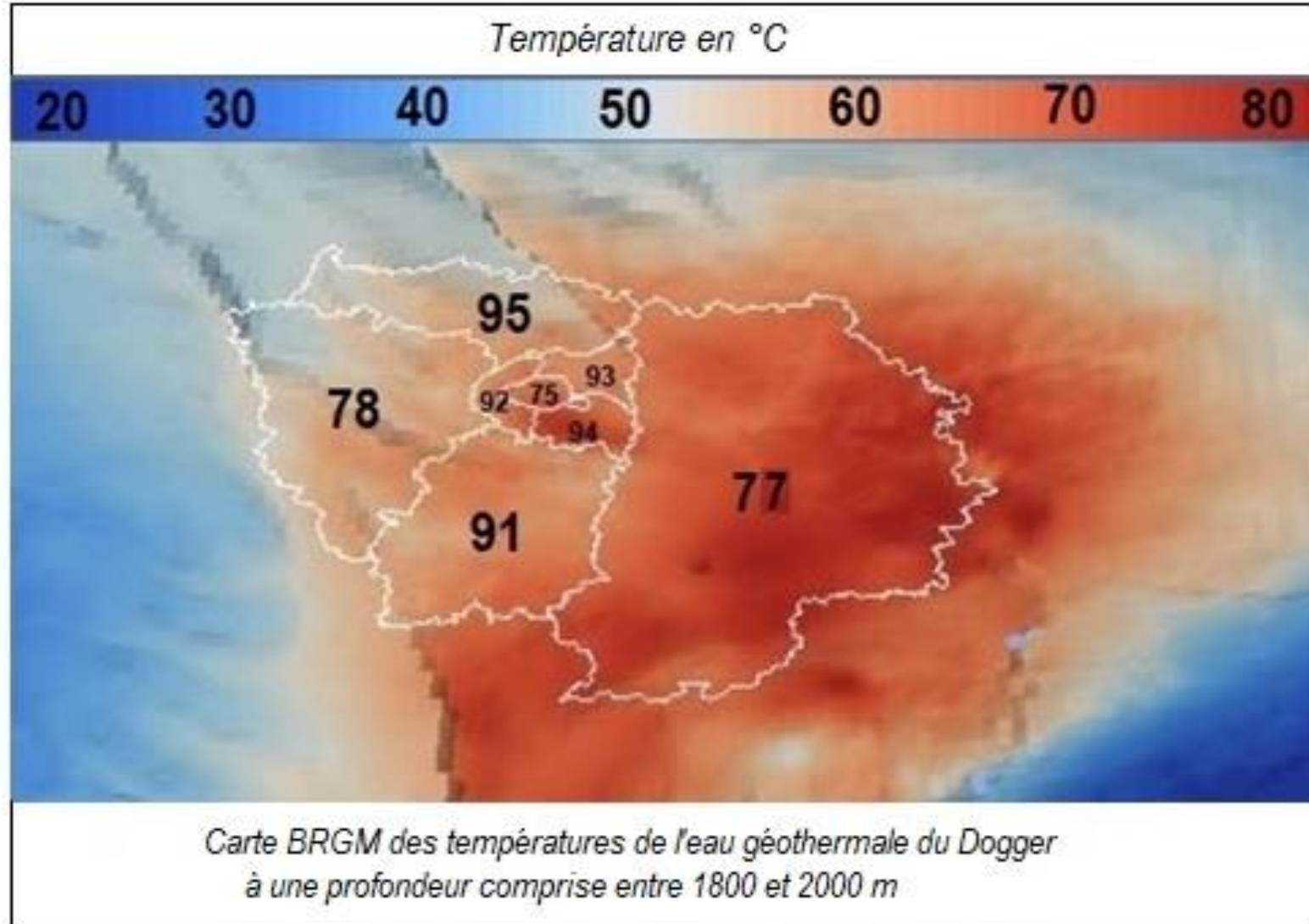


Figure 58

La région parisienne commence à tirer profit de l'eau géothermale

[Villejuif](#)



figure 86

### Boulogne Billancourt 92100 point de départ ?

La Seine qui entoure Boulogne Billancourt est une opportunité qu'il serait dommage de ne pas saisir. Il faut espérer que les boulonnais vont prendre conscience que 3 doublets géothermiques DG1 à 3 (petits cercles blancs) devraient être suffisants pour assurer le chauffage de leur commune moyennant l'apport thermique de la Seine. Ceci en implantant 3 stations de pompage SP1 à SP5 à l'emplacement de ces 3 doublets géothermiques pour assurer la distribution d'un réseau d'eau non potable à la température de 15° (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 habitant proche du nouveau besoin de 3600 kWh (voir figure 10 page 24). Ces travaux permettraient de généraliser le chauffage urbain pour l'habitat existant dans cette commune moyennant une amélioration (après accord du BRGM) du débit d'eau chaude géothermique qui a été limité par sécurité à 200 m<sup>3</sup>/h par doublet. Ceci sans desservir les habitants d'Issy les Moulineaux des avantages de leur centrale de combustion des ordures. De tels travaux aurait 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 est clair que si cette commune de raisonne dans le sens de l'intérêt général elle a intérêt à s'équiper d'un réseau hydraulique conforme à celui décrit page 61.

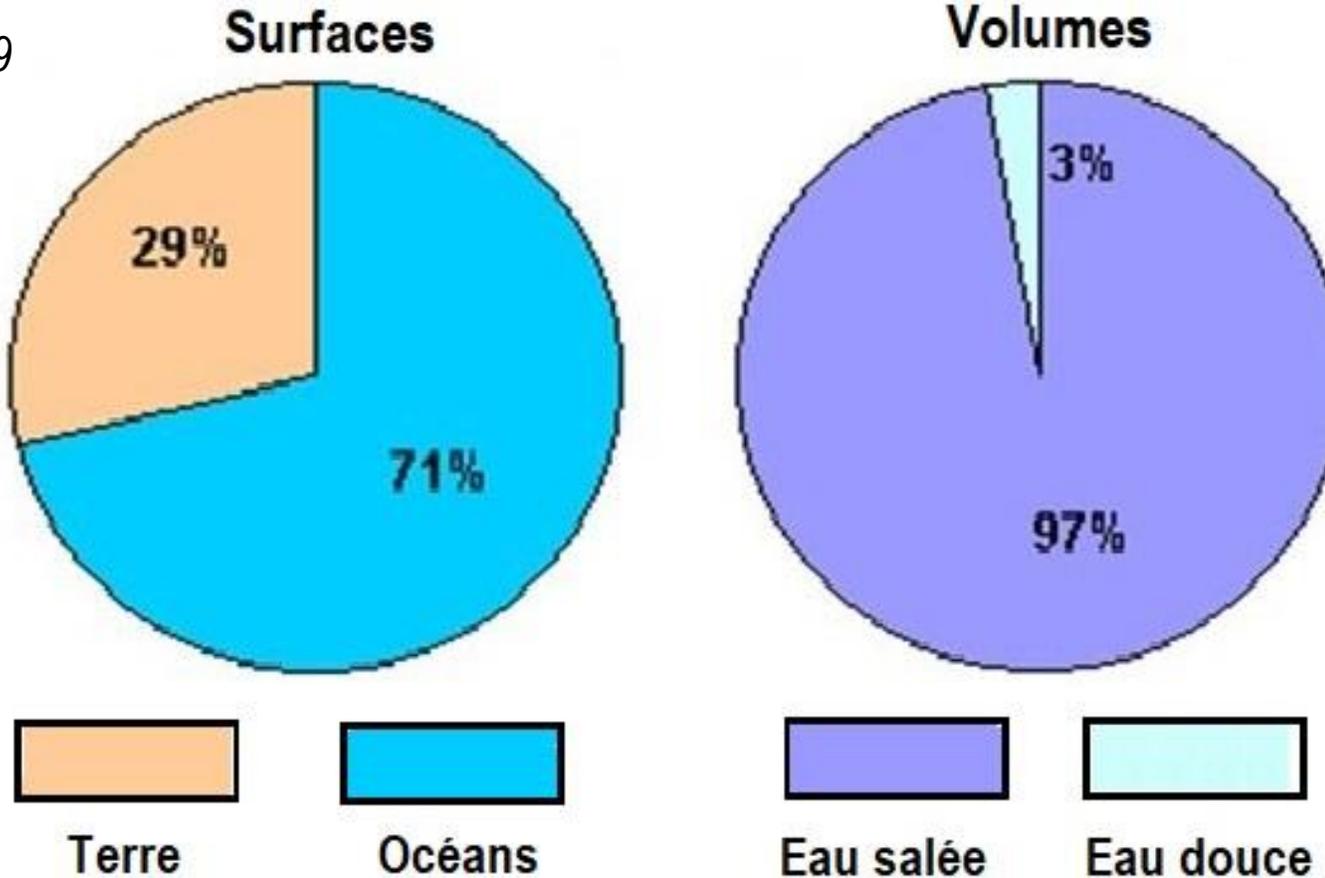
### Pour mémoire Boulogne Billancourt c'est:

Population 117 282 habitants (source : INSEE) sur une surface de 6,2 km<sup>2</sup> ( 6 200 000 m<sup>2</sup>).  
 Soit une densité de population de 17 662 habitants au km<sup>2</sup>  
 Cela revient à dire que chaque boulonnais occupe une surface au sol voisine de 50m<sup>2</sup> comme celle de Paris intra muros .

# L'eau sur terre

## La répartition de l'eau

Figure 59



*Bien que le volume d'eau douce ne représente que 3% du volume total le potentiel d'énergie thermique renouvelable mis à la disposition de l'homme à l'intérieur des terres habitées par ses rivières est le plus souvent supérieur à ses besoins thermiques.*

[Pour exemple l'hexagone français](#)

[L'eau formidable véhicule thermique](#)

## **L'approvisionnement en eau**

*La pluviométrie semble importante comparativement au besoin. Pourtant probablement en raison des irrégularités provoquées par le dérèglement climatique la disponibilité en eau douce préoccupe l'ONU.*

*Une réunion regroupant près de 200 pays et les membres du GIEC de ces pays s'est tenue mi 2019 à Genève. Un volumineux rapport de plus de 1000 pages établi à l'issue de cette réunion a mis en évidence qu'un quart de l'humanité (particulièrement dans 17 pays listés par l'IESF va faire face à des problèmes d'approvisionnement en eau*



*La solution retenue sur l'image ci-dessus, en évitant les infiltrations dans le sol et l'évaporation permettrait associer le solaire voltaïque à la rétention de la pluviométrie. Alors que le français se suffit de 150 litres d'eau potable par jour soit environ 50 m<sup>3</sup> par an, il serait ainsi possible à partir du panneau solaire de 25 m<sup>2</sup> défini page 52 de retenir à l'année sensiblement 25 m<sup>3</sup> d'eau potable soit la moitié du besoin global compte tenu de la pluviométrie moyenne en France voisine du mètre.*

# E Les nombres

## Les puissances de 10

$10^{18}$	$10^{12}$	$10^9$	$10^6$	$10^3$	$10^0$	$10^{-3}$	$10^{-6}$	$10^{-9}$	$10^{-12}$
Exa (E)	Téra (T)	Giga (G)	Méga (M)	Kilo (k)	1	milli (m)	micro ( $\mu$ )	nano ( $\eta$ )	pico(p)
← Vers l'infiniment grand $10^{24}$ (Yotta)				l'unité		Vers l'infiniment petit $10^{-24}$ (yokto) →			

Le kWh, une petite entorse au système international d'unités :

$$\begin{aligned} \text{Energie} &= \text{Puissance} \times \text{temps} \\ \text{joule} &= \text{watt} \times \text{s} \\ 1 \text{ kJ} &= 1 \text{ kW} \times \text{s} \\ 3600 \text{ kJ} &= 1 \text{ kW} \times 3600 \text{ s} = 1 \text{ kWh} \\ 1 \text{ TWh} &= 1 \text{ milliard de kWh} \end{aligned}$$

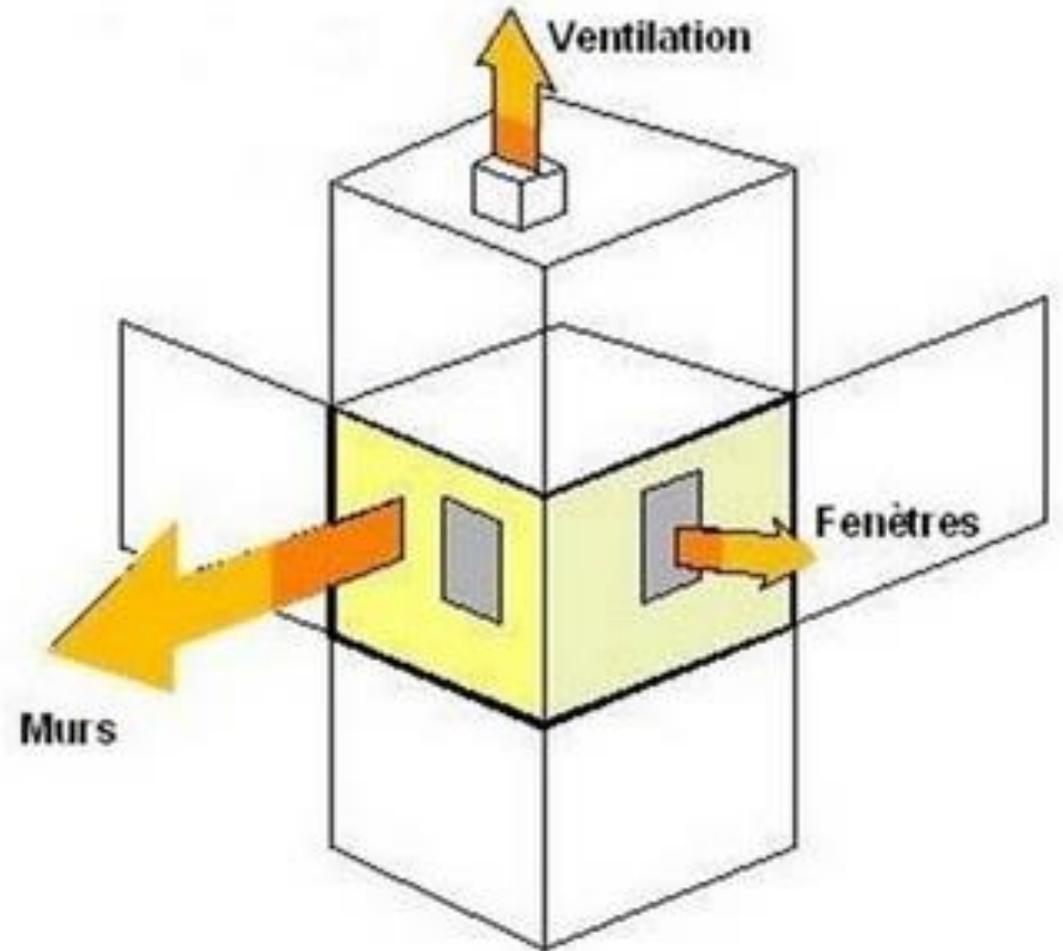
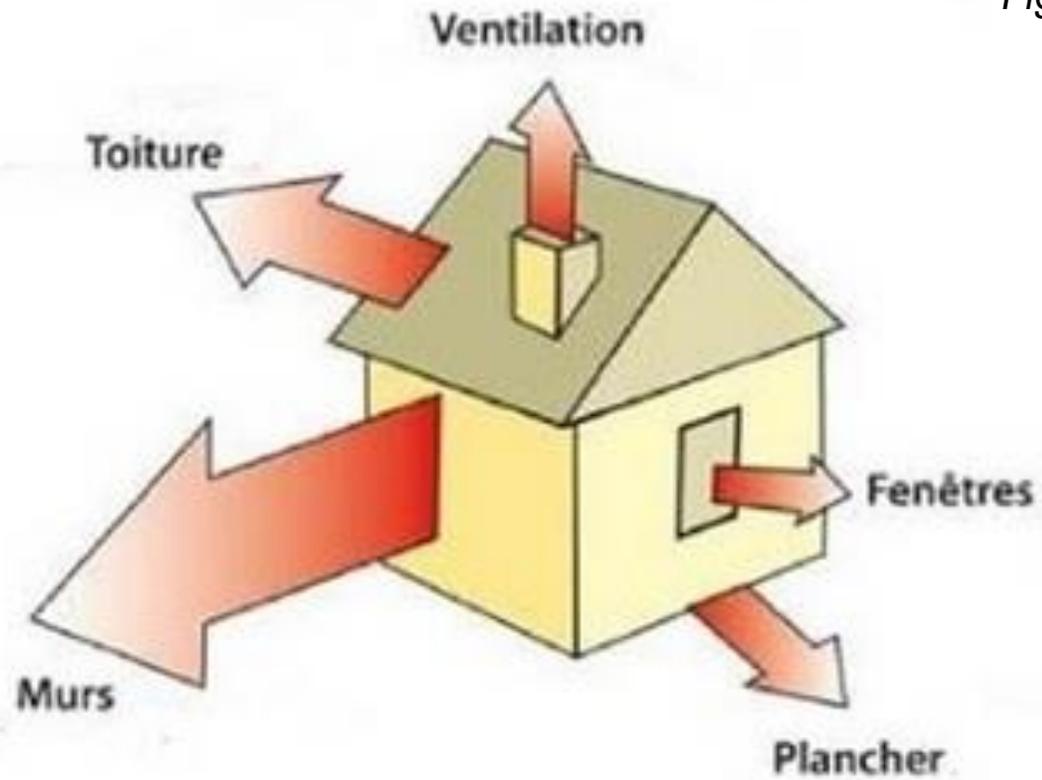
## Equations aux dimensions

<b>M</b>	<b>L</b>	<b>T</b>
masse	longueur	temps
<i>kg</i>	<i>mètre</i>	<i>secondes</i>

Ce sont les chiffres et non les mots qui m'ont convaincus

# F La maison et l'appartement

Figure 62



# Poids de gaz à effet de serre émis par kg de nourriture produite

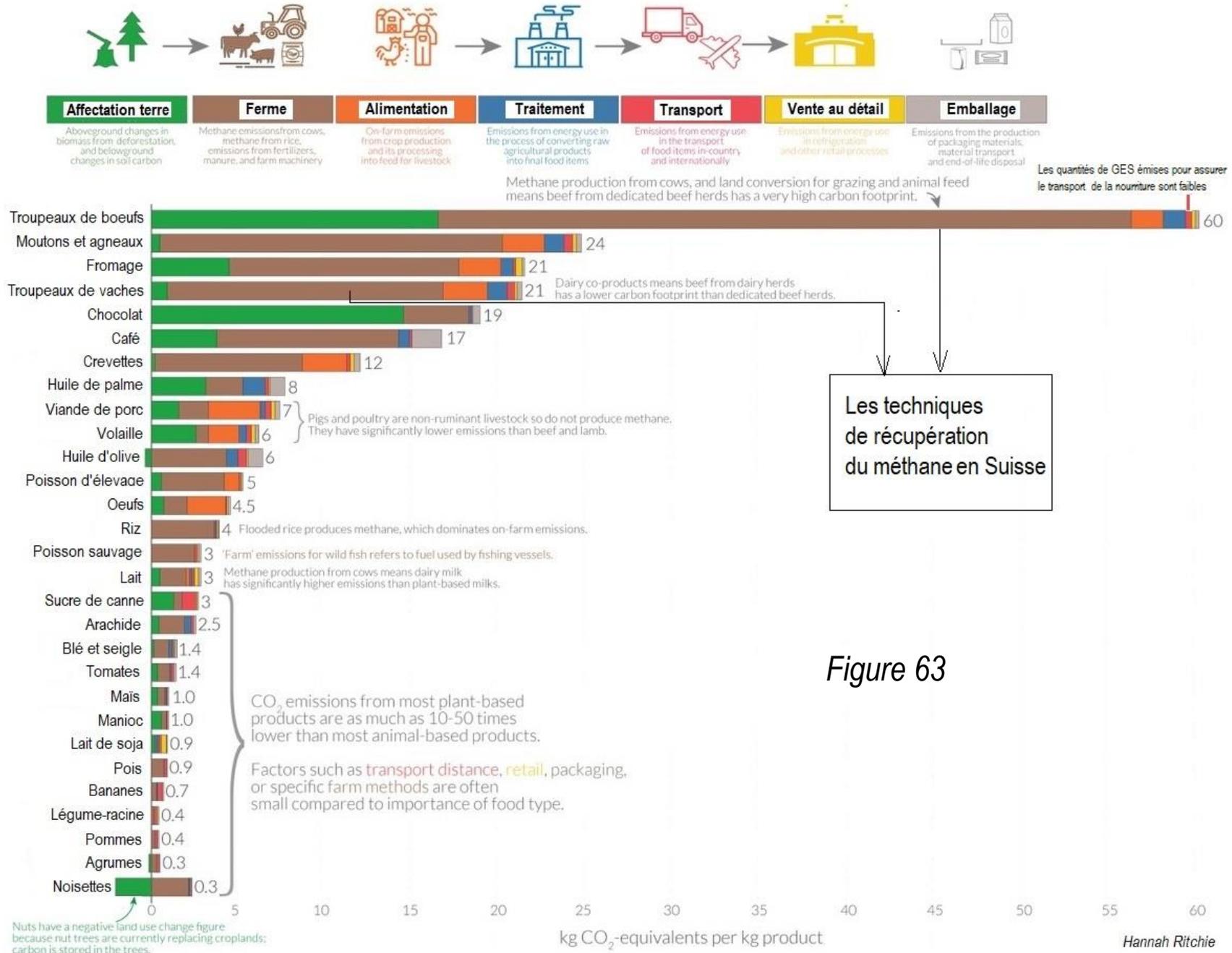


Figure 63

# La voiture électrique hybride rechargeable\*

## **A usage de l'utilisateur**

Une voiture à essence qui consomme 6 litres au 100 fait 16,6 km avec 1 litre d'essence et vu le prix de l'essence dépense pour cela 1,5 €. Ceci alors qu'une voiture hybride rechargeable est capable avec sa batterie de 10 kWh de parcourir 50 km en mode électrique. Et ceci en dépensant la même somme de 1,5 € vu le prix actuel du kWh électrique à 0,15 centime,.

On constate que pour une même dépense de 1,5 € on parcourt 3 fois plus de km en mode électrique comparativement au mode essence. En d'autres termes lorsqu'une voiture hybride rechargeable fonctionne en mode électrique en ville, le prix du km parcouru est trois fois moins onéreux qu'en mode essence avec une voiture qui ne pollue pas l'environnement.

## **A usage de l'exécutif**

La seule chance de voir l'Europe servir de modèle sur le plan international en ce qui concerne la voiture hybride rechargeable individuelle est de parvenir à assurer une production de masse en limitant sensiblement la taille et la puissance du véhicule par rapport à ce qui se fait outre-Rhin. Cela pourrait bien être la quadrature du cercle vu qu'il va falloir pour cela baisser le prix de vente du véhicule pour le rendre accessible à chacun d'entre nous. Ceci en obtenant une fiabilité comparable à celle des coûteuses voitures japonaises ou coréennes de ce type. La seule chance pour l'Europe d'y parvenir est que les sociétés allemandes et françaises et celles qui sont peut-être encore indépendantes en Suède s'associent pour ce qui concerne la motorisation et le dispositif de freinage du véhicule. Ceci avant que des sociétés comme Audi, Mercedes, Volkswagen pour l'Allemagne, Peugeot Renault et Citroën pour la France ne subissent le même sort que le petit frère de Volvo en raison de l'emprise chinoise.

\* [La voiture purement électrique](#) n'est pas envisageable mondialement



Les temps ont changé et la 2CV Citroën loin derrière nous.

# La France et la consommation d'énergie

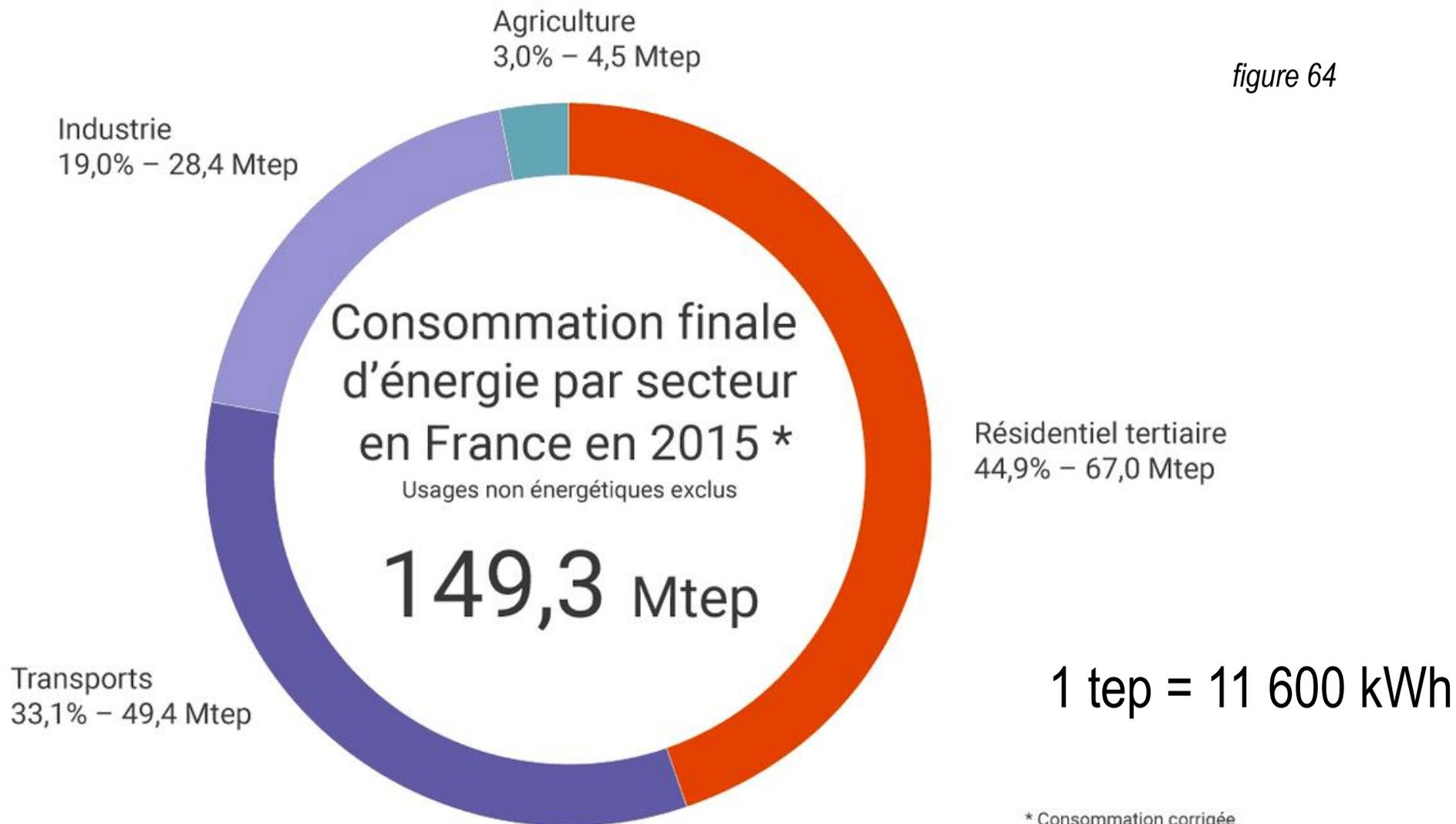


figure 64

Source : Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer

\* Consommation corrigée des variations climatiques.

# Citations

On parle parfois du changement climatique comme s'il ne concernait que la planète et non ceux qui l'habitent. *Ban Ki-moon*

Si dieu existe j'espère qu'il a une bonne excuse *Woody Allen*

"L'intelligence est la capacité d'adaptation au changement" *Stephen Hawkins,*

Des chercheurs qui cherchent on en trouve, des chercheurs qui trouvent on en cherche *De Gaulle?*

Si on arrive à se faire haïr, on sait que le boulot est bien fait *Charles Bukowski*

Ce qui me scandalise ce n'est pas qu'il y a des riches et des pauvres, c'est le gaspillage *Mère Teresa*

La politique est l'art d'empêcher les gens de se mêler de ce qui les regarde *Paul Valéry*

Ce que l'on conçoit bien s'énonce clairement et les mots pour le dire arrivent aisément *Nicolas Boileau*

La violence est le dernier refuge de l'incompétence. *Isaac Asimov*

La meilleure façon de prédire l'avenir est de le créer. *Peter Drucker*

"Que la confiance s'étiolle la crise couve ; qu'elle grandisse, l'argent circule, l'industrie s'anime, le rendement de l'ouvrier s'accroît, les relations commerciales deviennent faciles et rapides, on gagne du temps et la collectivité s'enrichit". *Auguste Detoef Barenton confiseur*

Un marché fondé sur l'idée que le partenaire ne sera pas en mesure de tenir ses engagements est un mauvais marché. *O.L Barenton confiseur*

Dieu t'a offert 86 400 secondes aujourd'hui. En as-tu utilisée une pour dire merci *William Arthur Ward*

Il y a des gens qui, à propos de certains problèmes, font preuve d'une grande tolérance. C'est souvent parce qu'ils s'en foutent. *Mark Twain*

L'homme qui est pessimiste à 45 ans en sait trop, celui qui est optimiste après n'en sait pas assez. *Mark Twain*

On apprend plus de ses propres défaites que des défaites des autres *Monica Seles*

Les malentendus sont toujours causés par l'incapacité à apprécier le point de vue d'autrui *Nicolas Tesla*

La terre est ma patrie et l'humanité, ma famille *Khalil Gibran*

On fait la guerre quand on veut, on la termine quand on peut *Machiavel*

Je crains le jour où la technologie surpassera les interactions humaines le monde connaîtra alors une génération d'idiots *Albert Einstein*

Il y a qu'une seule réponse à la défaite, c'est la victoire *Winston Churchill*

L'histoire enseigne aux hommes la difficulté des grandes tâches et la longueur des accomplissements mais elle justifie l'invincible espoir  
*Jean Jaurès*

Le courage, c'est de chercher la vérité et de la dire *Jean Jaurès*

Une idée devient une force lorsqu'elle s'empare des masses *Karl Marx*

La guerre, un massacre de gens qui ne se connaissent pas au profit de gens qui se connaissent mais ne se massacre pas *Paul Valéry*

C'est l'ignorance et non la connaissance qui dresse les hommes les uns contre les autres *Kofi Annan*

Un chef est un homme qui a besoin des autres *Paul Valéry*

La science la morale l'histoire se passe très bien de Dieu. Ce sont les hommes qui ne s'en passe pas. *Jean d'Ormesson*

La dette et une construction artificielle créée par les banques avec le consentement des états pour dépouiller les peuples et en faire des esclaves à leur solde. Les gouvernements sont au courant et ils laissent faire ! honte à eux *Michel Rocard*

Je n'aime pas l'expression devoir de mémoire. Le seul « devoir » c'est d'enseigner et de transmettre. *Simone Weil*

Pour réussir notre transition énergétique il faudrait que ceux qui pensent savoir écoute ceux qui souhaitent apprendre *Balendard*

Pour assurer leur survie les animaux ont une intelligence collective supérieure à celle d'homo sapiens *Balendard*

L'absence de concurrence est une plaie pour celui qui attend et une niche pour celui qui entreprend. *Balendard*

### ***En provenance d'auteurs inconnus***

On ne construit rien de solide en ignorant le réel

L'expérience est une petite lampe que l'on a derrière la tête et qui éclaire le chemin déjà parcouru

Seul on va plus vite, ensemble on va plus loin

Les idiots ignorent la complexité. Les génies la suppriment et les pragmatiques en souffrent.

Il est plus difficile de faire simple que de faire compliqué

Il est facile d'apprendre 1000 disciplines mais il est difficile d'en connaître une à fond. *Proverbe chinois*

Entre

Ce que je pense,

Ce que je veux dire,

Ce que je crois dire,

Ce que je dis,

Ce que vous avez envie d'entendre,

Ce que vous entendez,

Ce que vous comprenez...

il est probable que l'on va avoir des difficultés à communiquer.

Mais essayons quand même...

*Bernard Werber*

*Le monde comme le cerveau de l'homme est divisé en deux parties, l'une qui pense savoir et l'autre qui souhaite apprendre.*

*Pour réussir notre transition énergétique, il faudrait que ceux qui pensent savoir écoutent ceux qui souhaitent apprendre.*