La conservation de l'énergie

Le site Wikipédia sur la loi de conservation de l'énergie évoque les multiples aspects de cette loi fondamentale. Les Lutins thermiques l'abordent ici suivant 3 approches différentes numérotées de 1 à 3. Tout d'abord dans le cadre des performances de la combustion, puis dans celui de l'étude thermique du système formé par l'immeuble et sa chaufferie en régime transitoire. Cette dernière approche sert en quelque sorte d'introduction à la modélisation du système formé par l'immeuble et sa chaufferie permettant d'aborder la régulation électronique et les boucles de régulation. (Voir page 226)

La 3ème approche est faite en régime établi et utilise également la loi de conservation de l'énergie pour quantifier les ***EnR*** produites par le chauffage thermodynamique. Ceci en s'appuyant sur l'étude des flux thermiques mis en jeu dans une pompe à chaleur (Voir l'étude précédente sur le principe de fonctionnement des pompes à chaleur consistant à isoler le fluide caloporteur page 88 permettant de mieux appréhender cette partie).

Enfin une 4ème approche de la loi de conservation de l'énergie non évoquée ici pourrait valablement être utilisée pour dimensionner les ballons parfois utilisés pour stocker l'énergie thermique. Elle consiste à écrire que le gradient de baisse ou de montée en température dans le ballon est proportionnel à la différence entre la puissance délivrée par la génération et celle nécessaire à l'utilisation. (Voir à ce sujet en page 403 la régulation d'une chaufferie hybride)

Approche 1 *: Performances de la combustion*

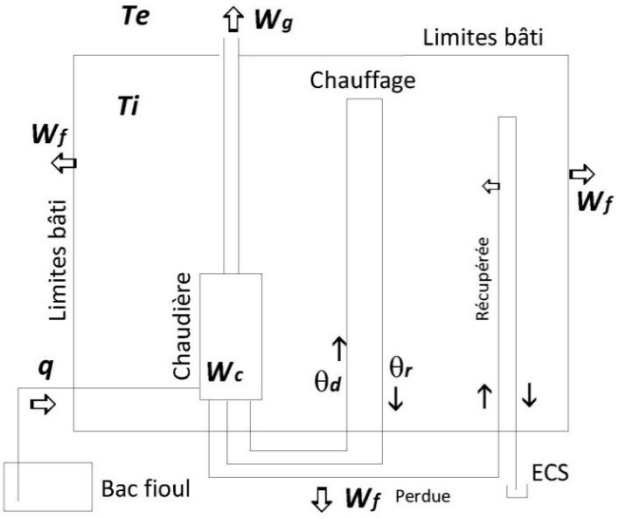
Lors de la combustion du fioul 3 énergies thermiques sont mises en jeu :

1. L'énergie primaire ***Wc*** provenant de la combustion du produit fossile. Cette énergie primaire peut être évaluée de deux façons : en termes de puissance délivrée par le brûleur en faisant le produit du débit instantané de fioul ***q*** exprimé en kg/s par le pouvoir calorifique inférieur du fioul (PCI= 12 kWh/kg) ou sur une année complète en multipliant la consommation annuelle de fioul en litres par 10 kWh/litre (densité du fioul 0,84)

2. L'énergie ***Wg*** contenue dans les gaz de combustion fonction du débit d'air de combustion et de la différence de température entre les gaz brûlés et la température extérieure

Les déperditions dans les tuyauteries verticales, perdues inutilement en été sont récupérées au titre du chauffage en hiver et ne doivent pas être déduites pour le calcul de ***Wf.***

Les gaz brûlés de la combustion ***Wg*** participent come les moteurs thermiques à combustion interne de nos voitures à la pollution de l'air dans nos villes



3. L'énergie envoyée par la chaufferie vers l'immeuble ***Wf***, ou ce qui revient au même l'ensemble des déperditions thermiques du bâti majorée des déperditions par défaut de calorifugeage des tuyauteries hors bâti et de l'énergie utile à l'ECS. La solution consistant à évaluer ces déperditions par le calcul est relativement longue et complexe. Il est peut être envisagé de mesurer ***Wf*** en faisant le produit suivant: Débit d'eau partant vers les radiateurs au départ de la chaufferie x la chaleur spécifique de l'eau x la différence de température entre le départ radiateur et le retour ($\theta_d - \theta_r$).

   Il est aussi possible d'utiliser la loi de conservation de l'énergie en écrivant que :

   $$Wc - Wg - Wf = 0$$

Prenons l'exemple d'un immeuble consommant bon an mal an 100 m3 de fioul par an pour assurer le chauffage et la fourniture d'eau chaude sanitaire. On peut évaluer approximativement la part de fioul à affecter à l'eau chaude sanitaire à partir des relevés en été lorsque l'énergie est utilisée uniquement pour l'ECS et en la supposant égale à cette même valeur toute l'année : 365x 100 litres de fioul/jour = 36 500 litres soit
Wc(ECS) = 365 000 kWh. On peut ainsi estimer par différence l'énergie primaire utilisée au titre du chauffage ***Wc(Chauffage)*** 1 000 000 – 365 000 = 635 000 kWh cette énergie comprenant les déperditions des tuyauteries chauffage circulant hors bâti

Pour évaluer ***Wg***, on estime une amélioration du rendement proche de 1 % lorsque l'on baisse de 15°C la température des gaz brûlés qui se trouve la plupart du temps être à une température supérieure à 150°C. En d'autres termes si la température des gaz brulés est de 100°C on estime que la dissipation dans l'atmosphère de la chaleur contenue dans ces gaz entraîne une perte de rendement voisine de 7 %
soit ***Wg*** = 70 000 kWh.

On peut donc ainsi estimer la part de ***Wf*** correspondant au chauffage:

Wf (Chauffage) = ***Wc(Chauffage)*** - ***Wg*** = 635 000 - 70 000 = 565 000 kWh

Un DJU de 2200°C en proche banlieue parisienne et une période de chauffe de 220 jours (5280 heures) entraîne un ΔT moyen ***Ti*** -***Te*** de 10 °C entre l'extérieur et l'intérieur et une puissance moyenne départ chaufferie de ***Wf (Chauffage)***/5280 = 565 000/ 5280 = 107 kW
Pour un ΔT de 30 °C (- 10 °C + 20 °C), la puissance utile maximum est Pu = 321 kW
Pour un ΔT de 36 °C (- 18 °C + 18 °C), la puissance utile maximum est Pu = 385 kW

Avec la récupération de la chaleur latente de l'eau contenue dans les gaz brulés obtenue avec la condensation on peut déduire environ 5 % des chiffres ci-dessus lors du dimensionnement des nouvelles chaudières à condensation. Une vérification de ***Wf*** est possible à partir de la connaissance des courbes de débit de la pompe de circulation du circuit chauffage et de la mesure de la différence $\theta_d - \theta_r$ de température entre le départ et le retour radiateurs avec un thermomètre contact différentiel.

Approche 2 *: Etude en régime transitoire*

Trop souvent les études thermiques ne sont que partielles et ne font intervenir que la chaleur spécifique ou les effets de paroi en régime établi. Ceci alors qu'une étude en régime transitoire montre que la puissance de la chaudière est d'abord utilisée pour réchauffer l'air ambiant à l'intérieur de l'immeuble puis mettre en température les planchers. Au fur et à mesure que cet air se réchauffe une partie d'autant plus grande de la puissance consommée est dissipée vers

l'extérieur par conduction au travers des murs, des fenêtres, et des plafonds terrasses. Lorsque l'on atteint le régime permanent la température de l'air ambiant n'augmente plus et la puissance fournie par la chaudière est entièrement dissipée vers l'extérieur. *Le principe de la conservation de l'énergie* permet d'écrire que pendant un temps *dt* l'énergie fournie par la chaudière a été utilisée à deux fins:

- La première a servi à élever de $d\theta$ la température du volume d'air V soit $V_a c_a d\theta$
  c_a étant la chaleur spécifique de l'air exprimée en joule/m^3 et °C sensiblement égale à 10^4 joule/m^3 et °C
- La deuxième a été rayonnée vers l'extérieur et a pour valeur $\zeta S \theta dt$
  (ζ étant le coefficient de déperdition des parois exprimé en Watt/m² °C et S la surface des parois)

On a donc P étant la puissance de la chaudière en watt $Pdt = Vc_a d\theta + \zeta S \theta dt$ 1)
En divisant par dt on a : $P = Vc_a d\theta/dt + \zeta S \theta$ soit en utilisant la transformée de Laplace p $P = Vc_a p \theta + \zeta S \theta$ et $\frac{\theta}{P} = \frac{1}{\zeta S(1+\tau p)}$ 2)

Avec une constante de temps $\tau = \frac{V c_a}{\zeta S}$ 3)

CQFD

Le comportement thermique de notre immeuble en fonction du temps est donc régit par une fonction linéaire du premier ordre. Si l'on coupe la chaudière en hiver alors qu'il fait une température extérieure de 0°C (échelon de Dirac) on peut donc savoir qu'elle est la variation de la température de l'air dans les appartements en fonction du temps $\theta = f(t)$.
La fonction est exponentielle :

Variation de la température dans les appartements lorsqu'on arrête la chaudière
$\theta = \theta_o e^{-At}$ avec $A = 1/\tau$
Temps nécessaire pour élever la température de θ: $t = -\tau \ln(1- (4{,}18 \zeta S \theta/P))$

En pratique la constante de temps donnée par la formule 3) est considérablement majorée en raison de la quantité d'énergie très importante contenue dans les planchers en béton. Lorsque l'isolation du bâtiment est prévue par l'intérieur les murs ont peu d'effet sur la constante de temps. L'équation 1) devient :

$P = (V_a c_{a+} m_b c_b) p \theta + \zeta S \theta$, m_b étant la masse des planchers en béton *avec une nouvelle constante de temps* nettement plus importante. $\tau = \tau_1 + \tau_1 = (V_a c_{a+} m_b c_b)/\zeta S$ 4)

Application numérique simplifiée

Hypothèses

Prenons les chiffres précédents et supposons que l'immeuble comprend une centaine de petits appartements de 50m² soit une surface habitable totale approximative de 5 000 m² + 1000 m² de parties communes chauffées soit 6000 m² au total et avec une hauteur sous plafond de 2,5 m un volume d'air à chauffer de 15 000 m³. Compte tenu de l'énergie dissipée annuellement du fait des déperditions dans le bâti voisines de 635 000 kWh son coefficient moyen de déperdition annuel par m² habitable est de l'ordre de 106 kWh, très sensiblement inférieur à la moyenne constatée dans l'ancien mais très supérieur aux 50 kWh de la RT 2012. Si l'on considère la surface

totale des parois ***S*** en m² voisine de 5000 m² (terrasses, murs, surfaces vitrées et sous-sol) et le fait qu'une puissance de 215 kW est nécessaire pour maintenir 20°C lorsqu'il fait – 0°C dehors le coefficient moyen ζ (Voir page 146) de déperdition du bâti de cet immeuble exprimé en watt/m² et °C a pour valeur

ζ_{moyen}= 215 000 / (5000 x 20) = 2,15 watt* / m² et °C

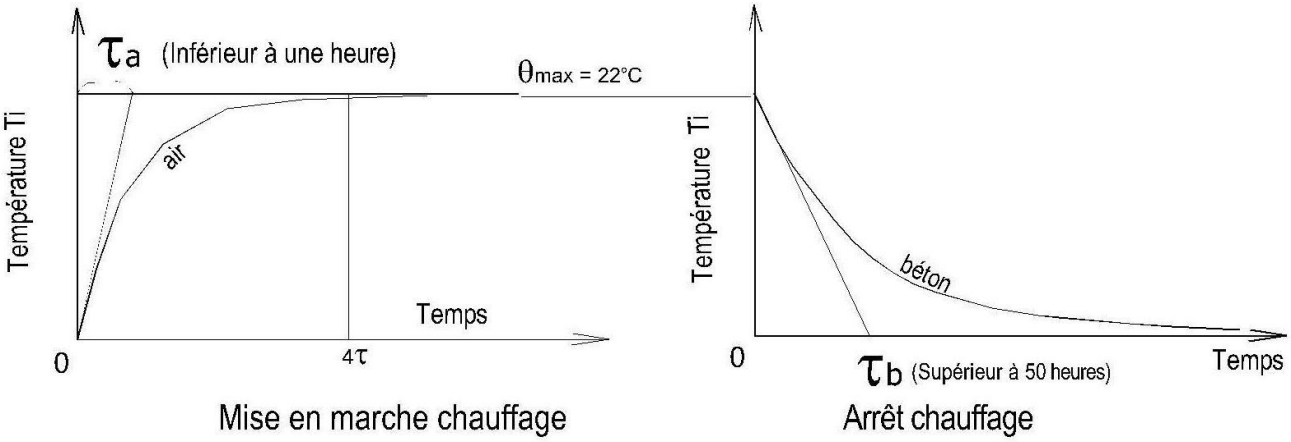
1 Gradient maximum de montée en température en régime transitoire.

Pour l'obtenir, il suffit d'écrire que l'énergie fournie par la chaudière au début de la chauffe part uniquement en élévation de la température de l'air (température dans les appartements suffisamment proche de la température extérieure pour que la déperdition par les murs soit négligeable). Soit $P\,dt = V\,c\,d\theta$ ou

$d\theta / dt = P / Vc$ = 215 x 10^3 / 15 000 x 10^4 = 0,0014 °C/s **(0,086 °C/mn)**

Soit une constante de temps du transitoire τ_a égale à 20/0,0014 = 14 250 s.
Si la chaudière est mise en marche alors que la température dans les appartements est égale à la température extérieure de 0°C la température maximum de 20°C dans les appartements est sensiblement atteinte après un temps de montée en température de 4 τ_1 soit après environ 15h. La connaissance de la constante de temps du transitoire $\tau_a = Vc^* / \zeta S$ = 14 250s permet de recalculer et de confirmer le coefficient de déperdition moyen des parois

$\zeta_1 = Vc / \tau S$ = (15 000 x 10^4) / (14 250 x 5000) ≈ 2,1 watt /m² et °C



* Pour information: Densité de l'air sec à la pression atmosphérique : environ 1,25 kg/m^3

2 Gradient maximum de chute de température lorsque l'on arrête la chaudière

- En tenant compte uniquement de la chaleur spécifique de l'air

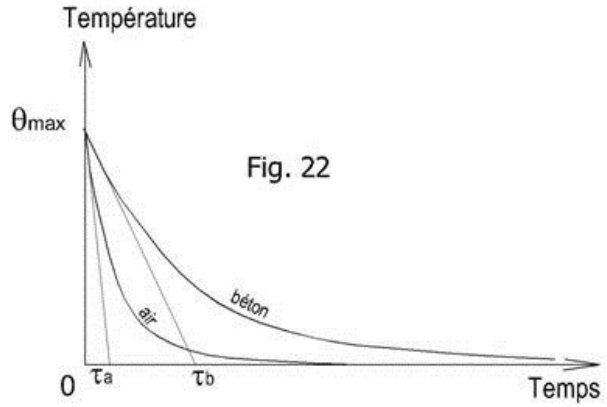
Pour l'obtenir il suffit d'écrire que lorsque l'on coupe la chaudière alors que l'on avait atteint la température maximum de stabilisation θ_{max} = 20°C dans les appartements, l'énergie dissipée par les murs continue à être égale momentanément à celle qui était fournie par la chaudière avant la coupure. Soit en faisant ***P*** = 0 dans la formule 1).

$Vc\,d\theta + \zeta S\,\theta_{max}\,dt = 0$ soit

$d\theta / dt = - \zeta S\,\vartheta_{max} / Vc$ = - 2,1 x 5000 x 20 / 15 000 x 10^4 = - 0,0014 °C/s.

On retrouve (en valeur absolue) le même gradient maximum au début du refroidissement. Ce résultat est d'ailleurs conforme aux deux formules 2) et 3), la constante de temps du transitoire

étant la même que l'on soit en phase de réchauffement ou de refroidissement. Au bout d'un temps $t = \tau$ soit en environ 4 heures, la température dans les appartements aurait chutée de plus de 10°C ce qui laisserait bien peu de temps pour réparer la chaudière !
En pratique l'inertie thermique des planchers en béton et à degré moindre des murs augmentent beaucoup ce temps.



- *En tenant compte de la chaleur spécifique des planchers en béton*

La constante de temps tenant compte de l'inertie thermique du béton s'obtient à partir de la formule 4) $\tau = (V_a c_{a+} m_b c_b) / \zeta S = \tau_a + \tau_b$
Elle montre que la constante de temps ne tenant compte que de l'inertie thermique de l'air τ_a de 14 200 s est majorée de $\tau_b = m_b c_b / \zeta S$
Si l'on se reporte à la page 145 pour les valeurs numériques on trouve :
Soit de τ_b = (2 590 000 x 840) / (2,1 x 5 000) = 207 000 secondes*
La nouvelle constante de temps de l'ordre de 57 heures, est beaucoup plus confortable.

Nota : A partir des deux constantes de temps ci-dessus on met en évidence que lorsque l'on arrête le chauffage la température dans les appartements chute sensiblement de 3°C en passant par exemple de 21 à 18°C plus rapidement

* Ce chiffre élevé s'explique en raison de l'énergie importante emmagasinée par les planchers lorsqu'ils ont atteint 20°C en régime établi après une longue montée en pression en régime transitoire lorsqu'il fait zéro degré à l'extérieur (Voir chaleur spécifique de la matière page 144). Compte tenu des valeurs ci-dessus on conçoit qu'un cycle de nuit ne peut valablement être envisagé avec des planchers chauffants à 40°C alors qu'il peut l'être avec des radiateurs ayant une inertie thermique beaucoup plus faible. Reste que la valeur de 14 000 s est en deçà des valeurs réelles, l'appartement continuant à bénéficier de la chaleur induite par les murs si l'isolation est assurée par l'extérieur. Lorsque l'on isole l'habitation par l'intérieur, l'influence de l'inertie thermique des murs est négligeable, ceux-ci étant en effet pratiquement à la même température que la température extérieure. Si l'on procède à une double isolation intérieure/extérieure (ITI/ITE) de qualité équivalente pour chacune d'elle on comprend intuitivement que le béton se trouve sensiblement à la moitié de la température de la pièce. Lorsque l'on coupe la chaudière on profite alors de l'inertie thermique du béton et la constante de temps de l'immeuble augmente. Lorsque l'immeuble n'est pas isolé, les murs emmagasinent sensiblement la même quantité d'énergie que dans le cas de l'isolation double**.** Avec une isolation par l'extérieur, les murs en béton sont pratiquement à la température de la pièce et ils emmagasinent une quantité de chaleur plus importante. L'inertie thermique des murs joue alors un rôle plus important sur le comportement thermique de l'habitation et lorsque la chaudière s'arrête, la température dans les pièces chute un peu moins rapidement. La plupart du temps, les planchers haut (terrasses) et bas (plafonds des caves) peuvent être considérés comme des murs ayant une isolation par l'extérieur du type **3**). La constante de temps d'une habitation est importante dans la mesure où elle influe sur la façon de concevoir la régulation.

Approche 3 *: En régime établi*

La loi de conservation de l'énergie peut aussi être utilisée pour définir la répartition des énergies *« finales »* consommées et *« renouvelables »* générées annuellement par le système immeuble-chaufferie (hybride ou non) en régime établi. Il convient alors d'isoler l'immeuble et sa chaufferie et non plus le fluide caloporteur de la pompe à chaleur comme nous l'avons fait page 89 pour expliquer son principe de fonctionnement et justifier ses performances. La quantité d'énergie qui rentre annuellement dans le système formé par l'immeuble et sa chaufferie est l'énergie provenant du combustible fossile lorsque la chaufferie est en mode combustion majorée de l'énergie thermique prélevée à la source froide et de l'énergie électrique qui alimente le compresseur lorsqu'elle est en mode thermodynamique. Toutes ces quantités d'énergie qui *rentrent* dans le système formé par le système immeuble-chaufferie doivent être comptées positivement et ceci qu'il s'agisse de l'énergie provenant de la combustion, de l'énergie électrique d'entrainement du compresseur, ou de l'énergie renouvelable provenant de l'environnement. Par contre l'énergie perdue qui *sort* vers l'extérieur du fait des déperditions thermiques dans le bâti de l'immeuble et dans les gaz brûlés est à compter négativement. Le positif équilibrant le négatif au titre de la conservation de l'énergie.

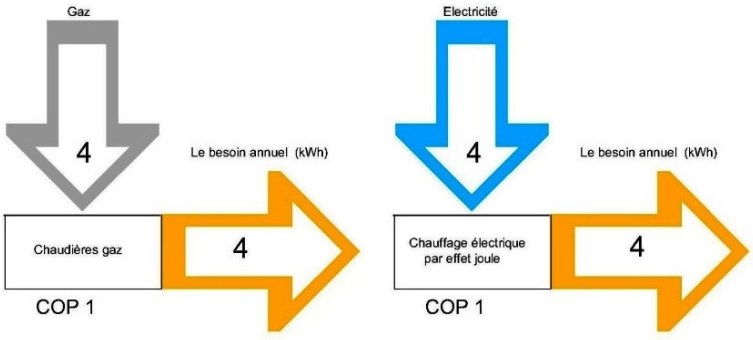
Les *situations 0 à 3* ci-dessous sont établies pour un même besoin thermique de 4.
Ce chiffre 4 est en rapport avec les quelques 200 KWh /m² de la RT 2005. Il représente l'énergie dissipée par déperdition dans les parois du bâtiment en une année. Cette énergie est équivalente à l'énergie thermique produite par la chaufferie de 100 tep et a été supposée égale à 1,16 MWh

La *situation 4* ci-dessous est établie pour un besoin thermique de 1.
Ce chiffre 1 est en rapport avec les quelques 50 KWh /m² de la RT 2012. Il représente l'énergie dissipée par déperdition dans les parois du bâtiment en une année. Cette énergie est équivalente à l'énergie thermique produite par la chaufferie et a été supposée égale à 1,16 MWh

Situation 0) Actuelle la plupart du temps pour un bâtiment conforme à la RT2005:

Les 100 tep d'énergie primaire en gaz ou en électricité sont converti dans leur équivalent thermique de 1,16 MWh (4 – 4 = 0)

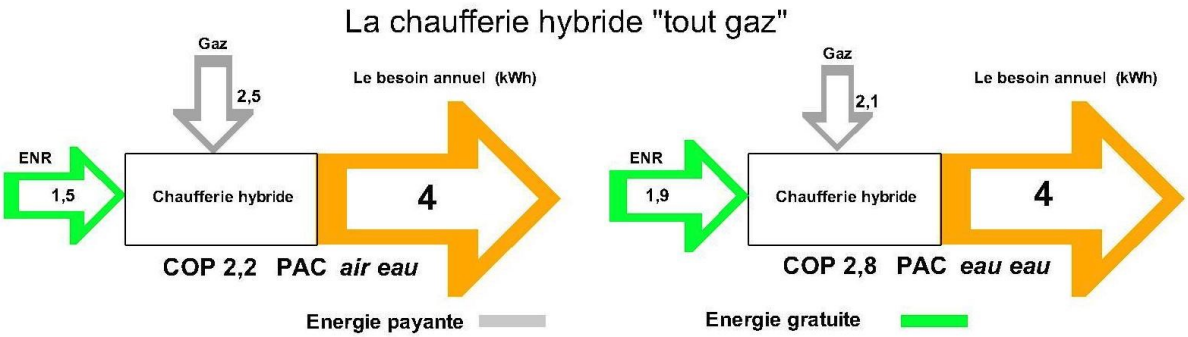
Combustion ou radiateurs électriques



On conçoit que ce mode de chauffage réchauffe notre environnement

Situation 1) Combustion + chauffage thermodynamique avec la PAC à absorption

Avec la PAC *air eau* les 62,5 tep d'énergie finale gaz sont converti dans leur équivalent thermique de 1,16 MWh à la source chaude du fait d'un prélèvement à la source froide d'une quantité d'Enr dans l'air de 37,5 tep (2,5+1,5 – 4 = 0). Dans ce cas la chaufferie hybride est dépendante du gaz à 100%. Le COP de ces types de pompe à chaleur dite à absorption est moins élevé que celui des pompes à chaleur à compresseur décrite ci-après.



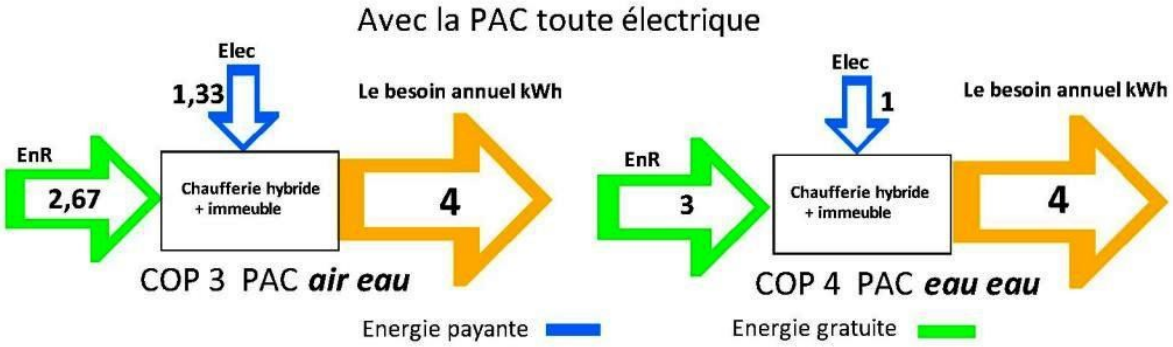
Dans cette configuration le lecteur doit comprendre que la combustion du gaz est utilisée à deux fins. Une première fin relevant du chauffage conventionnel, l'autre de la fourniture de l'énergie thermique nécessaire au fonctionnement du chauffage thermodynamique dans lequel l'énergie renouvelable peut être prélevée dans l'air ou dans l'eau. Voir le lien ci-dessous pour accéder à la théorie de la PAC à absorption.
http://www.infoenergie.eu/riv+ener/complements/Liens_fichiers/Pompe_a_chaleur.pdf

Situation 2) Avec la PAC à compresseur seule sans combustion

Avec la PAC à compresseur, le gaz est remplacé par l'électricité. Le COP est amélioré par rapport au cas précédent et l'énergie électrique nécessaire à l'entrainement du compresseur est cette fois comparativement plus faible que celle prélevée dans l'air ou dans l'eau pour peu que la pompe à chaleur soit raisonnablement performante.

On a avec l'air et un COP de 3 : 1,33 (Elec) + 2,67 (EnR) – 4 =0 ce qui revient à dire que 0,385 MWh électrique assure 1,16 MWh thermique

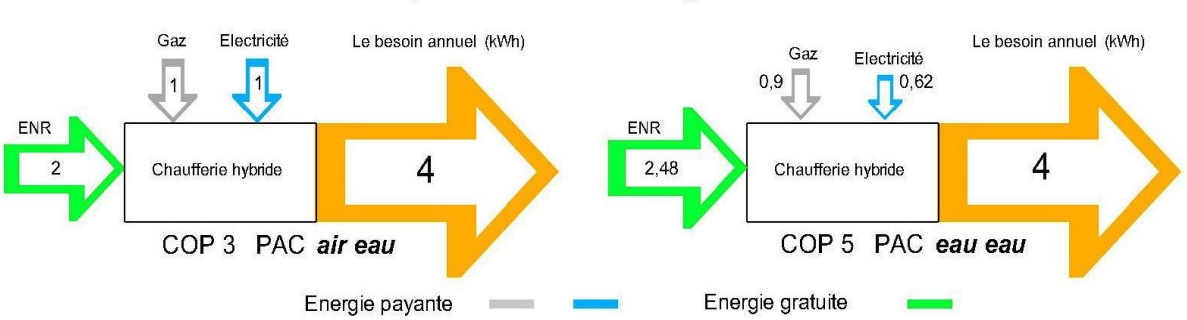
On a avec l'eau et un COP de 4 : 1 (Elec) + 3 (EnR) – 4 =0 et l'énergie prélevée dans l'eau est trois fois plus importante que l'énergie électrique consommée. Les 1,16 MWh thermique sont assuré par une consommation électrique de 1 MWh



On conçoit que ce mode de chauffage réchauffe déjà nettement moins notre environnement

Situation 3) Avec la chaufferie hybride associant le gaz et l'électricité

Deux types de chaufferie hybrides associant la combustion du gaz et l'électricité avec une pompe à chaleur à compresseur sont dès à présent envisageables l'avantage allant vers le prélèvement de l'énergie renouvelable dans l'eau en raison d'un COP plus élevé



Au travers des images ci-dessus le lecteur comprendra qu'il est temps que ce combat fratricide entre le gaz et l'électricité cesse et que ces deux fluides collaborent au sein d'une même chaufferie hybride dans l'habitat ancien difficile et surtout couteux à isoler après coup. L'énergie primaire payante consommée par la chaufferie hybride peut être de 2 à 2,5 fois moins importante pour un même besoin thermique selon qu'elle prélève son énergie dans l'air ou dans l'eau comparativement à une chaufferie conventionnelle utilisant uniquement la combustion du gaz ou du fioul ou uniquement l'électricité avec l'effet joule.

Figure de gauche (Cas de la PAC *air eau* avec un COP de 3)
L'énergie mise en jeu en mode thermodynamique comprend deux termes :
- L'énergie électrique transformée en chaleur lors de la compression du fluide frigorigène par le compresseur lorsqu'il est à l'état gazeux (1)
- l'énergie prélevée dans l'eau de la nappe phréatique obtenue en la refroidissant (2)

On retrouve bien 1 (gaz) + 1 (elec) + 2 (EnR) - 4 = 0
La moitié du besoin thermique de 1,16 MWh est constituée d'énergie renouvelable prélevée dans l'air

Figure de droite (Cas de la PAC *eau eau* avec un COP de 5)
L'énergie mise en jeu en mode thermodynamique comprend deux termes :
- L'énergie électrique transformée en chaleur lors de la compression du fluide frigorigène par le compresseur (0,62)
- l'énergie prélevée dans l'eau de la nappe phréatique obtenue en la refroidissant (2,48)

On retrouve bien 0,9 (gaz) + 0,62 (elec) + 2,48(EnR) - 4 = 0
62% du besoin thermique de 1,16 MWh est constituée d'énergie renouvelable prélevée dans l'eau.

**Le lecteur qui s'intéresse à la diminution de consommation en énergie finale résultant de la généralisation de la chaufferie hybride aquathermique type eau eau en remplacement du « tout gaz »* « ou du « tout électrique effet joule » peut utiliser le principe de la conservation de l'énergie.*
Le calcul montre que si l'on conserve l'isolation existante ce qui revient à dire pour un même besoin thermique cette diminution diffère sensiblement selon le pourcentage combustion/effet joule avec une quantité d'énergie renouvelable produite dans les deux cas identique (62%)

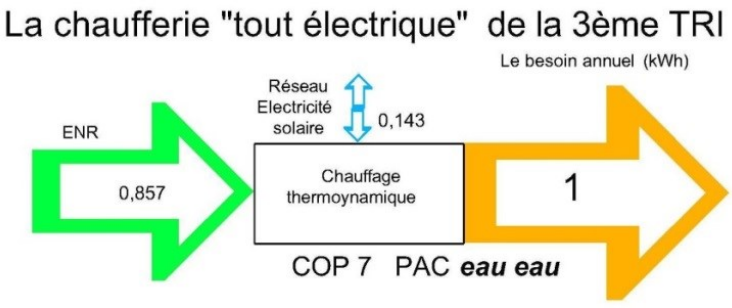
- *La consommation en énergie finale ne représente que 38% du besoin thermique lorsque les immeubles se répartissent à part égale entre le gaz et l'électricité. Ceci avec des consommations en électricité et en gaz équivalente. Le reste de l'énergie 68% est de l'énergie renouvelable*
- *Ce pourcentage est le même pour une répartition de 60% d'immeuble chauffés au gaz et 40% chauffés par effet joule. Dans ce dernier cas qui est probablement assez proche de la réalité en France (Ce qui peut être vérifié par les statistiques), la répartition des consommations en gaz et en électricité au lieu d'être identique est sensiblement différente (59,2% gaz et 40,8% électricité)*

Le tableau ci-après confirme ces chiffres

Avec répartition 50% gaz / 50% électricité joule					
	Consommation gaz	*Consommation électricité*	*EnR*	*Energie finale Ef*	*Besoin*
Gaz	*4g*	*-*	*-*	*4*	*4*
Electricite	*-*	*4e*	*-*	*4*	*4*
	Total 4g + 4e		*-*	*8*	*8*
hybride	*(0,9g +0,62e)x2*		*2,48 x 2=4,96*	*3,04*	*8*
Avec répartition 60% gaz / 40% électricité joule					
Gaz	*4,8g*	*-*	*-*	*4,8*	*4,8*
Electricite	*-*	*3,2e*	*-*	*3,2*	*3,2*
hybride	*1,08+0,72=1,8*	*0,744+0,496=1,24*	*2,976+1,984=4,96*	*3,04*	*8*

Situation 4) Chauffage thermodynamique avec le solaire voltaïque

Cette situation 4) correspond à un immeuble ayant une déperdition dans les parois conforme à la RT 2012 de 50 KWh/m² soit sensiblement quatre fois plus faible que la RT 2005 correspondant aux 3 situations précédentes. Le besoin devient donc égale à **1** (ou 25 tep) du fait d'une l'isolation poussée. Si l'on conserve le même dimensionnement au niveau des émetteurs thermiques, qu'ils soient du type radiateur ou planchers chauffants, le besoin en température à la source chaude sur le circuit chauffage diminue ce qui a pour conséquence d'améliorer le COP. Avec un COP supposé égal à 7, valeur qui semble réalisable techniquement avec la PAC *eau eau* vu les nouvelles conditions de température, le besoin en énergie électrique pour assurer l'entrainement du ou des compresseur(s) n'est plus que de 3,57 tep (41 500 kWh).
Cette fois l'énergie thermique renouvelable prélevée dans l'eau représente 85% du besoin thermique de 290 000 kWh. La consommation électrique devient alors environ 25 fois plus faible que dans le cas 0 du *« tout électrique style effet Joule »* décrit pour la *situation 0)* correspondant à la situation actuelle de la plupart des chaufferies dans l'ancien. La PAC fonctionne en substitution de la combustion et non plus en relève. On peut raisonnablement dire que ce batiment et sa chaufferie sont déjà en autosuffisance*, le bâtiment recevant annuellement du réseau une quantité d'énergie sensiblement égale à celle pouvant être produite par l'énergie solaire délivrée par des panneaux voltaïque disposé en toiture.



Le chiffre 1 correspond au 50 KWh /m² de la RT 2012

On retrouve bien + 0,143 (elec) + 0,857 (EnR) - 1 = 0
85% du besoin thermique de 0,29 MWh est constituée d'énergie renouvelable prélevée dans l'eau.

**Le lecteur aura toutefois compris que ce bâtiment dépend du réseau pour assurer le confort thermique de ses occupants énergétique au cœur de l'hiver. Par contre dans la mesure où la quantité d'énergie qu'il reçoit du soleil annuellement à partir de ses panneaux voltaïque est équivalente à l'énergie électrique qu'il consomme pour alimenter les compresseurs pendant la même période on peut bien dire que ce bâtiment est en autosuffisance énergétique, le soleil suffisant globalement à ses besoins.*