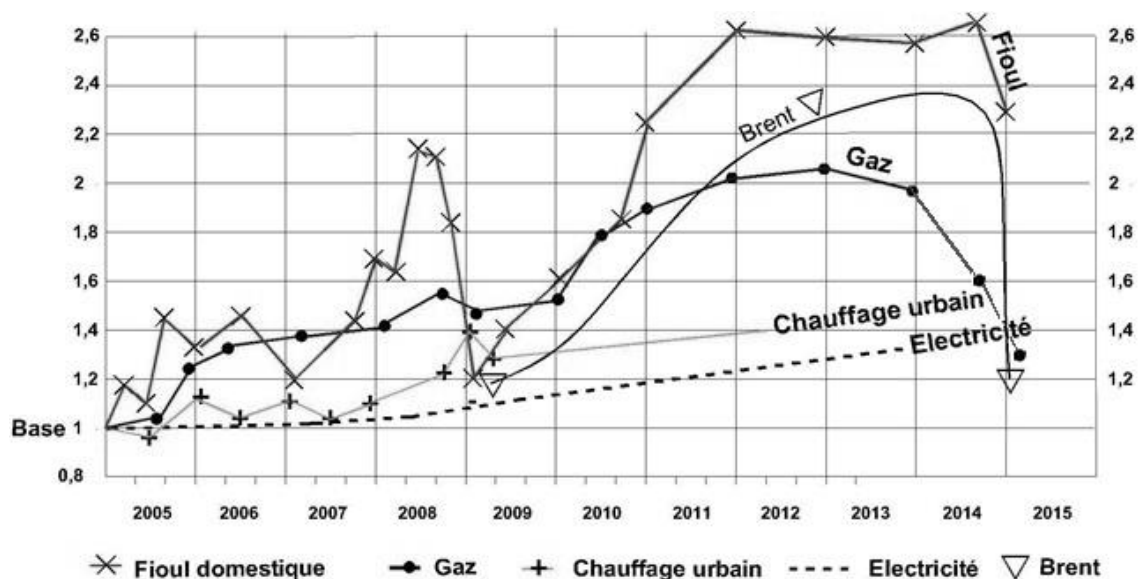


Le coût de l'énergie thermique

Le prix payé par les Français pour le kWh thermique rendu dans leurs pièces de vie diffère selon le type de générateur de chaleur adopté. Ce générateur peut être privatif ou collectif, il peut, au sein d'une même chaufferie, tirer son énergie d'un combustible liquide ou gazeux, de l'électricité ou de plusieurs sources à la fois. Une chaufferie peut aussi générer une partie de l'énergie thermique produite en prélevant celle-ci dans son environnement (*EnR*). Les coûts d'élimination du CO₂, la plus grande rareté du fioul ainsi que l'indexation du prix du gaz sur le fioul, vont inévitablement faire monter les prix des énergies primaires basées sur la combustion et particulièrement celle du fioul et du gaz.



Attention à l'interprétation de ces courbes !

Ces courbes comparent l'évolution des prix d'achat par l'utilisateur français des 4 principales formes d'énergies thermiques. Ceci entre 2005 (Base 1) et 2014 et non leur valeur relative. La Base 1 de janvier 2005 ne signifie pas que ces différentes énergies étaient au même prix à cette date. Les deux courbes en position basse représentent la courbe du chauffage urbain obtenue par la combustion des ordures et celle en pointillé l'électricité. Les deux courbes supérieures concernent la combustion des énergies fossiles fioul et gaz naturel. On remarque que l'évolution des prix, régulière pour le chauffage urbain et l'électricité, est particulièrement irrégulière voire erratique pour le fioul domestique, le gaz naturel, suivant sensiblement ce dernier avec un léger décalage dans le temps. Concernant le prix du pétrole, le lecteur se rappelle probablement la situation monétaire instable de 2008 provoquée par la spéculation et le pic suivi d'une chute brutale que cela a provoqué. On observe qu'il vient de se produire encore une fois dans l'économie mondiale de l'énergie une chute brutale du prix du pétrole (Brent) celui-ci ayant retrouvé le niveau 1,2 qu'il avait début 2009 alors que son prix avait doublé en six ans. Pour une comparaison du prix du kWh thermique rendu dans les pièces de vie de l'utilisateur selon le fluide utilisé (combustible ou électricité), voir le tableau page 135. On y observe que mis à part le Kerdane, l'électricité est en pratique le fluide le plus onéreux.

Dans le cas où le générateur de chaleur tire son énergie uniquement de l'électricité, comme cela est le cas avec les convecteurs électriques (effet Joule) ou avec une pompe à chaleur (PAC) du type compresseur, le prix de revient du kWh thermique est fonction du coût de l'électricité, le fluide le plus noble, mais aussi le plus onéreux. L'évolution erratique des prix du fioul rend l'étude comparative du prix de l'énergie thermique rendue dans les pièces de vie difficile à faire.

La chaleur d'origine électrique

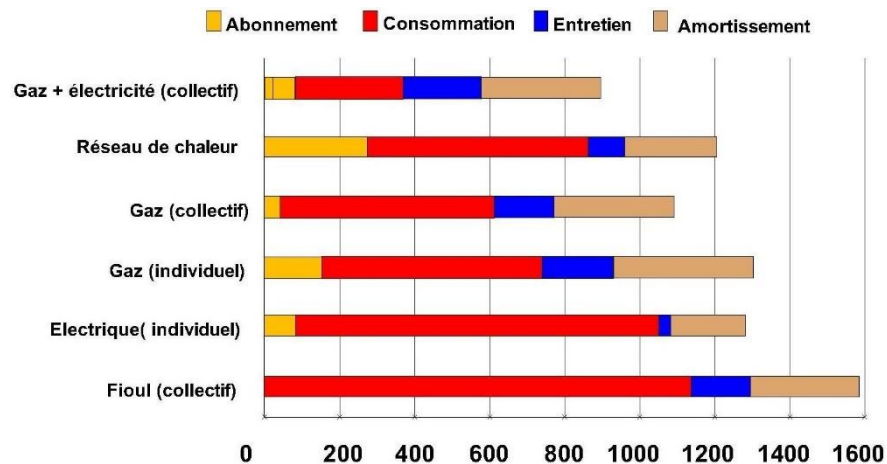
Le véritable prix de revient du kWh électrique d'origine *nucléaire* en France n'est pas bien connu. Il serait compris entre 2,8 et 4,5 cts d'euro par kWh. Cette fourchette importante s'explique par le fait que le prix de l'électricité à la sortie de la centrale nucléaire devrait couvrir l'ensemble des coûts d'exploitation, d'installation de la centrale, l'achat du combustible nucléaire (uranium), la gestion des déchets, les assurances, les frais d'amortissement ainsi que la mise hors service future des réacteurs et surtout leur démantèlement avec remise de la nature à l'identique, dernier facteur qui, à l'évidence, a été négligé dans le passé, ce qui explique probablement en partie la lenteur des démantèlements. Le prix de revient du kWh électrique d'origine nucléaire divulgué par la Suisse, tenant compte de ces paramètres, serait proche de 3,5 cts d'€ par kWh (source Association d'entreprises électrique suisse). Une provision, placée sous la surveillance de la Confédération Suisse, a été constituée pour faire face au démantèlement des centrales nucléaires après usage. Le prix du kWh d'origine *hydroélectrique* en France serait-il similaire à celui de la Suisse, avec une fourchette haute de 4,5 cts d'euro par kWh ? *L'électricité éolienne* a un prix de revient nettement plus élevé évalué entre 14 et 35 cts d'euro par kWh, tandis que celui de *l'énergie photovoltaïque* avoisinerait une fourchette proche de 50 cts voire plus par kWh. Seul le rachat par l'EDF de l'énergie photovoltaïque à des taux artificiellement élevés a permis de maintenir cette filière intéressante pour l'utilisateur. (Ce taux qui était variable selon la région et voisin de 30 cts d'euro le kWh, voire plus lorsque les panneaux sont intégrés au bâtiment, a été revu à la baisse.) On ne connaît pas encore le prix de revient de l'électricité d'origine marémotrice générée par les *hydroliennes*. On peut maintenant espérer avoir un premier retour de l'EDF à ce sujet suite à l'expérimentation du *premier parc* de quatre hydroliennes de 500 kW installées au large de l'île de Bréhat. Le réseau cumulant toutes ces énergies électriques, le prix de vente à l'utilisateur français du kWh électrique est fonction de tous les prix de revient respectifs ci-dessus au prorata de leur importance. Il était voisin de 14 cts d'euro aux heures pleines et 8 cts d'euro la nuit aux heures creuses en 2010 et il augmente régulièrement au rythme de 5 % par an. Il est influencé par deux facteurs principaux :

- le poids plus important des *énergies électriques renouvelables* dont le prix de revient évolue progressivement vers le bas ;
- une prise de conscience que le démantèlement en fin de vie du réacteur et la remise de la nature à l'identique ainsi que le prix à payer pour une sécurité renforcée augmente notablement le prix de revient réel de *l'énergie électrique d'origine nucléaire*. Celui-ci est probablement plus proche de 7 cts d'euro le kWh que de 4,5 cts d'euro. Il serait dangereux pour la sécurité de la filière électrique nucléaire qu'une concurrence s'installe entre les fournisseurs afin de faire baisser les prix au détriment de la qualité et de la sécurité.

Coût réel de la chaleur selon la chaîne énergétique utilisée

La pire des chaînes énergétiques en termes de coût est probablement celle consistant à générer de l'électricité par la combustion des combustibles fossiles avec des installations telles que les turbines à gaz ou, pire encore, les moteurs diesels entraînant un alternateur. Non seulement le rendement de ces chaînes énergétiques est mauvais (proche de 30 %), avec un coût du kWh électrique obtenu élevé voisin de 20 à 30 cts d'euro par kWh, mais il devrait encore augmenter en raison des quantités importantes de CO₂ générées lors de la production qu'il faudra bien éliminer avec un coût de l'élimination voisin de 80 euros la tonne de CO₂ stocké. On imagine avec des prix de revient aussi élevés, le gâchis énergétique du *chauffage électrique* lorsqu'en fin de chaîne énergétique, le kWh thermique est obtenu avec *l'effet Joule* des convecteurs électriques, qu'ils soient équipés ou non d'un dispositif de stockage d'énergie interne ou d'une soufflante. Quoi

qu'on en dise, ces convecteurs convertissent 1 kWh électrique en 1 kWh thermique, kWh qui est facturé à l'utilisateur 14 cts d'euro aux heures pleines (8 cts d'euro la nuit aux heures creuses en 2010). Il serait temps que les publicités mensongères cessent à ce sujet et qu'une action sociale soit engagée très rapidement dans le cadre de la précarité énergétique des immeubles anciens mal isolés chauffés par effet Joule. Le coût du kWh thermique obtenu avec le chauffage thermodynamique par *pompe à chaleur à compresseur* est assurément plus intéressant pour le portefeuille de l'utilisateur. Il est en grande partie fonction du COP de la pompe à chaleur. L'estimation consistant à diviser le prix de vente à l'utilisateur du kWh électrique par le COP de la pompe à chaleur pour évaluer le prix de revient du kWh thermique obtenu avec cette dernière est proche de la réalité sur le long terme. Par exemple, avec un kWh électrique à 15 cts TTC, le kWh thermique avec une pompe à chaleur aquathermique ayant un COP moyen de 5, sera proche de 3 cts pour l'utilisateur. Les économies réalisées avec une PAC aérothermique et un COP de 4 étant moindre. Il n'en reste pas moins qu'avec un tel COP, pourtant relativement modeste, le prix du kWh thermique rendu dans les pièces de vie sera deux fois plus élevé avec le gaz naturel comparativement au chauffage thermodynamique (voir ci-après tableau comparant le prix du kWh thermique selon les fluides).

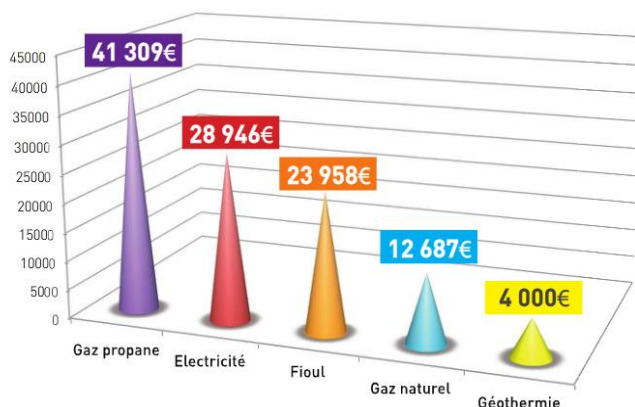


La figure ci-dessus indique la dépense annuelle globale chauffage en euros pour un logement de 70 m² ayant un diagnostic de performance énergétique de D de 200 kWh/m². (Voir page Error! Bookmark not defined.). La première ligne pour une chaufferie hybride par PAC aquathermique avec production d'EnR générant nettement moins de gaz à effet de serre.

La combustion, l'électricité effet Joule et la géothermie

Le coût du kWh thermique obtenu par la *combustion* est très élevé avec le *kerdane* et reste très important avec le *propane*. Il avoisine 7 cts d'euro par kWh pour le *gaz naturel*, passe à 9,5 cts d'euro par kWh avec le *fioul*, avec assez souvent un mauvais rendement de la chaudière. Le coût du kWh thermique obtenu avec le chauffage thermodynamique par *pompe à chaleur à absorption* dans laquelle l'énergie extérieure apportée à la pompe à chaleur n'est plus électrique mais thermique (par exemple, procédés De Dietrich avec le gaz) est plus intéressant que la combustion seule.

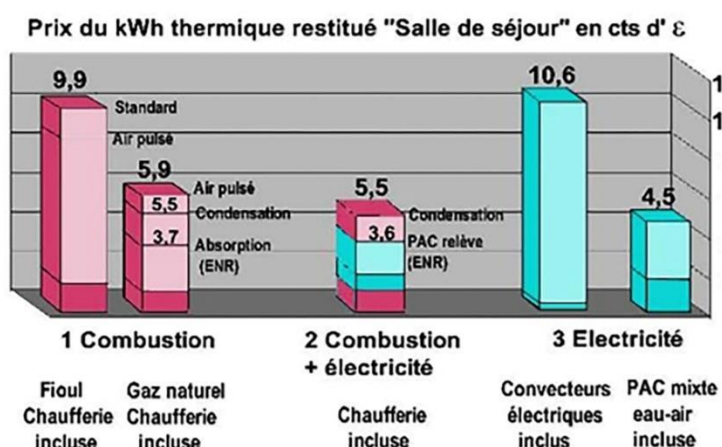
Par contre, le COP modeste de la pompe à chaleur à *absorption* (voisin de 2) est moins intéressant pour le portefeuille de l'utilisateur que la PAC à compresseur ou de la géothermie (droite de la figure). Le coût du kWh thermique obtenu avec le *chauffage urbain* par la combustion des ordures est quant à lui encore peu répandu en France. Il est inférieur à celui du gaz naturel, ce dernier ne servant qu'à entretenir la combustion, environ 65 % de l'énergie thermique provenant de la combustion des ordures



Courtesy firme **Enthalpie** (2012)

La figure compare le prix de l'énergie thermique rendue dans les pièces de vie selon l'énergie choisie. Cette société s'est emparée du mot-clé « enthalpie » un peu comme l'a fait la marque « Frigidaire » il y a près d'un siècle.

La figure ci-dessous compare le prix du kWh thermique restitué dans les appartements d'un immeuble ancien, selon la technique retenue pour le générateur de chaleur.



Les énergies thermiques d'origine renouvelable telles que le solaire thermique ainsi que la combustion du bois, pourtant très intéressante en termes de coût, n'ont pas été mentionnées dans ce graphique. Ceci en raison du fait que ces deux possibilités intéressantes en zone rurale ne sont pas adaptées au besoin du chauffage en zone urbaine en raison du manque de place. D'autre part, en raison de l'état actuel de la technique, les frais d'installation initiaux des panneaux solaires thermiques sont trop importants en regard de l'énergie fournie (voir énergie solaire). La production d'énergie thermique obtenue par la géothermie profonde des nappes captives n'a pas été non plus mentionnée pour la raison que son caractère renouvelable à long terme est remis en cause par les experts. Les valeurs indiquées tiennent compte de la part imputable aux frais d'installation initiaux du générateur de chaleur et d'une estimation approximative de sa durée de vie. Ces frais sont indiqués en partie basse des graphiques en couleur plus foncée. On peut ainsi se faire une idée de l'importance relative de ces frais initiaux. La solution 2 indiquée au centre correspond sensiblement à une chaufferie hybride prélevant son énergie renouvelable dans l'air.

La comparaison de prix est faite dans 4 cas différents :

- *Combustion seule* avec le fioul ou le gaz naturel et avec ou sans condensation. Une option envisageable : production d'EnR avec une PAC à absorption.

- *Combustion + électricité avec une chaufferie mixte* combinant la combustion GAZ (avec condensation) et la production d'énergie renouvelable par PAC à compression *air eau en relève*.
- Dans le cas du *chauffage individuel par convecteurs électriques* avec un investissement de départ faible mais des frais d'exploitation importants. Ceci avec un comparatif en partie droite de la figure, dans le cas où la PAC *air eau* à compresseur fonctionne en *substitution de chaudière*.

Les coûts résultant de la *taxe carbone* pour les modes de chauffage basés sur la combustion (partie gauche) ne sont pas inclus dans ce comparatif. Ces prix (en rouge) correspondant à la combustion seront pour cette raison appelés à augmenter plus rapidement en valeur relative par rapport à l'électricité peu émettrice de GES (surtout pour le fioul qui émet sensiblement deux fois plus de CO₂ que le gaz).

Le tableau ci-dessous compare le prix utilisateur du kWh thermique selon le mode de chauffage.
Comparaison par rapport au fioul domestique pris comme référence
0,1 euro/kWh TTC début 2013

<i>Inadapté en ville</i>		
Bois décheté (plaquettes forestières)	0,26	
Bois en bûche	0.52	Encombrement, livraison, et automatiser inenvisageable (sauf chauffage urbain)
Granulé de bois en sac	0.84	
Granulé de bois en vrac	0.68	Non admis en ville
Gaz propane	1,3	Utilisé à la campagne en milieu rural
Kerdane	2,1	Très cher
<i>Adapté en milieu urbain</i>		
Gaz naturel (Comparaison fioul/gaz naturel dans l'individuel)	0.8	Une énergie assez abondante et encore indexée sur le pétrole
Fioul domestique (référence)	1	Une énergie chère et fluctuante* qui a augmentée de plus de 20 % en 2011
Électricité** (chaleur obtenue par effet Joule)	1,6	Une énergie coûteuse qui va augmenter régulièrement pendant les 15 prochaines années
Électricité (chaleur par effet thermodynamique avec COP de 4)	0,30	Réseau hydraulique d'alimentation en eau froide ou puits + réseau électrique
Combustion des ordures	0,5***	Réseau hydraulique en eau chaude

*Ce qui complique la réalisation de ce tableau

*** voir page *Error! Bookmark not defined.*

Les valeurs indiquées ci-dessus sont approximatives et sujettes à variation. Ceci par le fait que le prix du pétrole, pris comme valeur de référence, est étroitement associé au prix du fioul par nature relativement fluctuant.

****Tribune libre des Lutins concernant le prix de l'électricité**

Cette valeur relative du prix de l'électricité par rapport au fioul s'entend pour le prix de l'électricité facturé au particulier pour sa maison individuelle. Les prix du kWh électrique pratiqués dans le cadre des copropriétés sont 2 à 3 fois plus faibles que ceux consentis pour l'individuel. Les Lutins thermiques doutent que cette différence résulte d'une volonté des pouvoirs publics de développer la pompe à chaleur à compresseur dans le collectif. Ils ressentent cette différence comme un accroissement des inégalités et une injustice sociale vis-à-vis du particulier.

*Quant au prix de revient de l'électricité celui-ci dépend fortement du **mode de production***