

Le rendement de la combustion

Les chaufferies des immeubles équipés d'un chauffage collectif par chaudières fioul, lorsqu'elles sont rénovées vers le gaz naturel, comprennent le plus souvent deux voire un nombre plus important de chaudières à condensation de même puissance. Cette disposition assure la pérennité du chauffage en cas d'incident sur une des chaudières et permet de fournir le besoin en cas d'hiver exceptionnellement froid, avec un fonctionnement des chaudières en cascade.

Les quatre facteurs principaux qui améliorent le rendement de la génération thermique sont dans l'ordre d'importance décroissante :

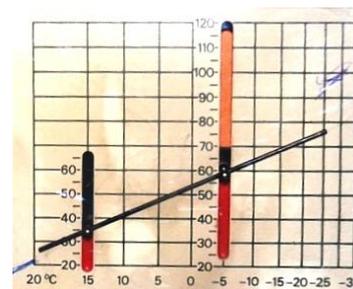
- les variateurs de débit sur l'air de combustion et sur le combustible (gaz ou fioul) ;
- une basse température sur les gaz brûlés ;
- la condensation de l'eau contenue dans ces gaz rendue possible par la basse température ;
- le préchauffage de l'air de combustion.

Fournir le besoin pas plus

Assurer un fonctionnement en continu de la chaudière, en ne fournissant que le besoin avec un brûleur modulant adaptant le débit de gaz ou de fioul à la puissance utile, améliore de façon significative le rendement de la combustion. (Voir comparaison de la dépense en combustible avant fioul – après gaz dans le cas d'une maison individuelle.) Le besoin en puissance pour assurer une température constante dans le logement varie selon la saison, comme l'indique la *courbe monotone*. Cette puissance est en effet proportionnelle à la différence entre la température extérieure et la température de confort à l'intérieur du logement. Le cycle *tout ou rien* des chaudières ancienne génération, particulièrement lorsqu'elles sont surdimensionnées, entraîne des temps de fonctionnement très courts avec des temps d'arrêt trop importants, particulièrement en mi-saison, entraînant une surconsommation inutile. La combustion est moins bonne, les rejets d'imbrûlés augmentent et le rendement diminue. Les deux figures ci-dessous permettent d'évaluer les pertes de puissance avec ces anciennes chaudières. L'Ademe attire l'attention sur les pertes d'énergie inutiles qui résultent du surdimensionnement de la génération. L'implantation d'un variateur de vitesse, permettant de contrôler le débit d'air de combustion à l'entrée du brûleur ainsi que le débit de gaz naturel, présente l'avantage d'assurer un fonctionnement en continu de la chaudière avec une plage importante allant de 20 à 100 % de la puissance de chauffe maximum. Il est ainsi possible de mieux satisfaire le besoin thermique variant suivant la saison. Le rendement est grandement amélioré par rapport au fonctionnement tout ou rien d'un brûleur (voir les figures ci-dessous).

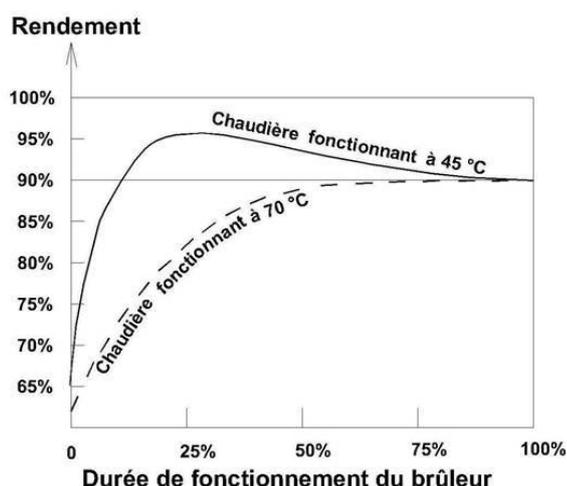
La courbe de chauffe de la chaufferie

Cette courbe, en théorie une droite, est affichée en chaufferie. Elle est tracée pour une température dans les appartements faisant l'objet d'un consensus des copropriétaires occupants. Elle permet de faire la relation entre la température de départ vers les radiateurs ou les planchers chauffants et la température extérieure mentionnée en abscisse. Sa connaissance est importante puisqu'elle fixe le besoin thermique de l'immeuble à chauffer. La pente appelée aussi loi d'eau (voir page 402) de cette droite est réglable sur le régulateur.

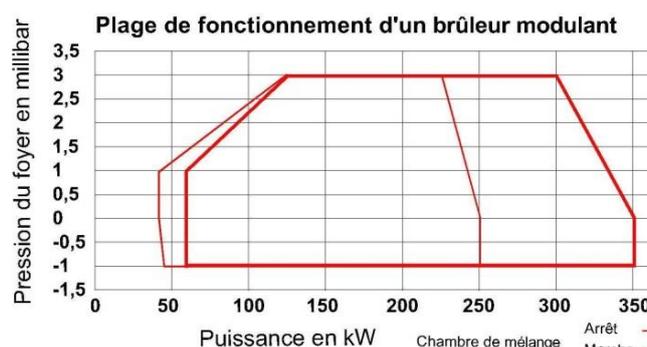


Elle aide, dans le cas de la chaufferie équipée d'un complément *EnR*, à définir la température à laquelle le système doit commuter du gaz vers le chauffage thermodynamique et inversement de telle sorte que le *COP* soit le meilleur possible. En raison de l'inertie thermique du bâtiment, cette température de départ peut être baissée de quelques degrés pendant la nuit sans que la température dans les appartements ne chute de façon significative. La courbe de chauffe est souvent plus basse dans le cas des planchers chauffants.

Fonctionnement en tout ou rien selon le taux de charge



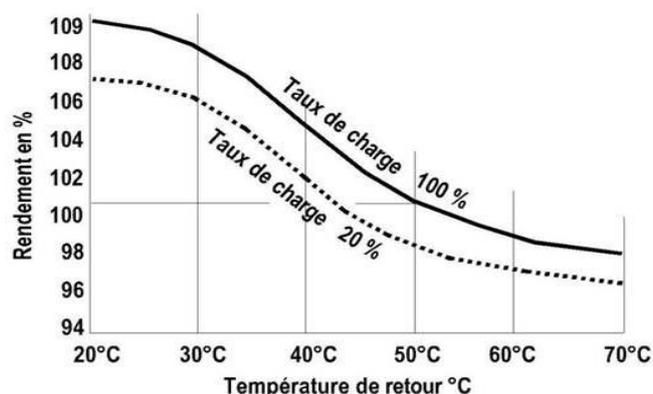
Rendement d'une chaudière ancienne génération fonctionnant en tout ou rien (d'où l'intérêt des radiateurs basse température).



Courbes de fonctionnement d'un brûleur modulant.

La gestion numérique de la combustion gaz ou fioul permet au brûleur modulant de couvrir une plage de puissance pouvant aller jusqu'à 12 % de sa puissance nominale. L'amélioration du rendement par rapport à un fonctionnement en tout ou rien peut aller jusqu'à 40 %, Courtesy Weishaupt.

Avec les anciennes chaudières, l'énergie utilisée pour produire de la vapeur d'eau est perdue et s'échappe dans l'atmosphère alors qu'elle est récupérée avec les chaudières à condensation. Le PCI (pouvoir calorifique inférieur) est l'énergie thermique libérée par la combustion d'une quantité donnée de fioul ou de GN à l'exclusion de l'énergie qui a servi à vaporiser l'eau lors de la réaction de combustion. Le PCS et le PCI s'expriment en kWh par unité de combustible (courbes de Dietrich).



Un rendement ne peut être en pratique supérieur à 1, ce qui serait contraire à toute logique, mais l'eau a une chaleur latente de vaporisation qui est récupérée lors de la condensation. De ce fait, les performances des chaudières à condensation sont améliorées (10 % au mieux), ce pourcentage diminuant lorsque la température augmente. Le rendement est aussi fonction des conditions d'utilisation de la chaudière, comme l'indique la figure ci-dessus et le tableau indiquant le point de rosé page suivante.



Figure montrant le variateur de vitesse sur l'arrivée d'air de combustion et de gaz naturel d'un brûleur de chaudière moderne
(Courtesy de Dietrich).

La possibilité de moduler la puissance de 20 à 100 % en faisant varier les débits d'air et de gaz permet d'obtenir un fonctionnement à charge réduite avec une perte de rendement beaucoup plus faible par rapport au fonctionnement tout ou rien d'un brûleur.



Le condensat

Figure montrant la tuyauterie de récupération des eaux du condensat. L'autorisation est donnée de rejeter le condensat dans les eaux usées, mais seulement après traitement. Le non-respect de la réglementation peut entraîner deux ans d'emprisonnement et 75 000 euros d'amende. Le condensat est en effet acide pour la raison que le gaz carbonique CO_2 soluble dans l'eau H_2O forme un acide carbonique CH_2O_3 très acide ayant un pH voisin de quatre dans le cas de la condensation avec le gaz alors que le rejet doit avoir un pH supérieur à 6,5. Le passage du condensat acide dans du charbon actif élimine tout d'abord les traces éventuelles de combustible dans le cas du fioul. On le fait ensuite traverser un lit de graviers calcaires ce qui suffit à « neutraliser » l'acidité avant le rejet. À noter que le condensat non traité attaque les métaux (cette attaque éventuelle ne concerne que la tuyauterie de couleur bleue). La fonte d'aluminium au silicium, le cuivre, et l'acier inoxydable sont les métaux qui résistent le mieux à cet acide. Les fournisseurs de chaudières travaillent en collaboration avec des sociétés assurant la fourniture des tuyauteries d'évacuation des gaz brûlés. Celles-ci sont prévues en inox pour les chaudières de forte puissance alors que pour l'individuel, ces tuyauteries sont parfois prévues en PVC. Ce sont ces mêmes sociétés qui traitent le condensat avant rejet.

L'estimation approximative du rendement

Le lecteur qui a assimilé la notion de DJU en page 139 et celle de PCI en page 374 comprend que l'énergie W_c exprimée en kWh envoyée par les chaudières est égale $W_c = 0,024 G \times V_h \times DJU = V_f \times PCI \times \mu$ soit $\mu = (0,024 G \times V_h \times DJU) / (1000 \times V_f \times PCI)$

Avec :

G coefficient de déperdition volumique exprimé en watt/m³ et °C

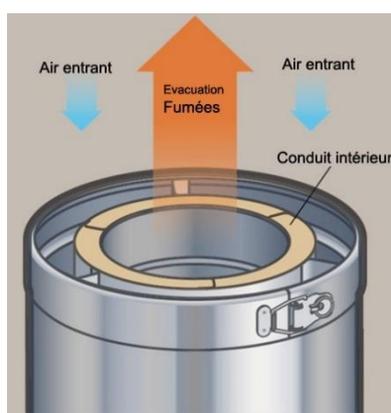
V_h et V_f respectivement le volume de l'habitation et celui du fioul consommé pendant la période de chauffe exprimé en m³.

DJU les degrés jour unifiés pendant la période de chauffe et μ le rendement de la combustion

Pour $G = 1,21$ $V_h = 12\,500$ m³ $DJU = 2\,061$ °C $V_f = 113$ m³ $PCI = 10$ kWh/litre correspondant au cas pratique lors de l'année 2007-2008 (voir tableau page 140) on trouve un rendement modeste de $\mu = 0,66$.

Chaudière basse température

Considérons une chaudière fonctionnant avec une température extérieure de 0 °C et une température des gaz brûlés dans le conduit d'évacuation de 200 °C, valeur malheureusement encore trop courante avec les chaudières anciennes génération. Un chimiste a établi qu'il fallait sensiblement 10 m³ d'air pour brûler correctement un litre de fioul domestique. Compte tenu de la densité de l'air sec (1,25 kg par m³ et °C la quantité de chaleur perdue par litre de fioul consommé est de $W = 1 \times 1,25 \times 200 \times 10 = 2\,500 \text{ kJ}$ ou 0,7 kWh, ceci alors que l'équivalent thermique d'un litre de fioul est voisin de 10 kWh. On observe donc que la perte de rendement est proche de 7%. Si l'on réchauffe l'air entrant avec les gaz brûlés, on peut améliorer le rendement. Voir figure ci-dessous.



Une solution pour y parvenir est par exemple de faire fonctionner le conduit d'évacuation des gaz brûlés comme un échangeur à contre-courant. L'air froid de combustion circulant dans l'anneau extérieur de deux tubes concentriques est réchauffé par les gaz brûlés à haute température circulant dans le tube central avant leur rejet dans l'atmosphère. L'air de combustion arrive plus chaud dans la chambre de combustion améliorant le rendement (Courtesy Poujoulat).

Chaudière à condensation

	Ambiance °C	Point de rosé selon température °C					
		-7	4	16	27	38	49
Humidité relative %	90 %	-8	3	14	25	36	47
	80 %	-9	1	12	23	34	43
	70 %	-11	-1	10	20	31	41
	60 %	-12	-3	7	18	28	38
	50 %	-14	-5	4	15	25	34
	40 %	-17	-8	2	11	21	31
	30 %	-21	-11	-2	7	16	25

Les gaz brûlés contiennent de la vapeur d'eau. En observant la partie droite du tableau ci-dessus, on remarque qu'en abaissant la température des gaz brûlés à des températures de 30 à 40 °C, on peut condenser cette vapeur d'eau. La chaleur latente de condensation de l'eau, voisine de 2 250 kJ par kg d'eau condensé, peut ainsi être récupérée. Cette chaleur est loin d'être négligeable. Si l'on récupère un litre d'eau condensée par litre de fioul consommé, valeur souvent mise en avant par les sociétés assurant la fumisterie⁵⁰, c'est une énergie thermique de 0,6 kWh qui peut être récupérée soit une deuxième amélioration du rendement voisine de 6 % compte tenu de l'équivalent thermique d'un litre de fioul voisin de 10 kWh. Le lecteur comprendra aussi l'utilité de ce tableau pour appréhender le phénomène de givrage des PAC air eau en relève (partie gauche du tableau) qui limite leur fonctionnement lorsque les températures extérieures sont trop basses.

⁵⁰ Installation des tuyauteries d'évacuation des gaz brûlés et traitement du condensat.

Conclusion

Une chaufferie moderne équipée de chaudière(s) à condensation avec brûleur modulant bien dimensionnée faisant varier le débit d'air de combustion et de gaz naturel adapte sa puissance en fonction du besoin et peut voir son rendement global s'améliorer de 30 % voire plus. Dans le même esprit, si une ancienne chaufferie comprend deux chaudières de puissance inégale, il peut être souhaitable d'utiliser la plus petite chaudière le plus longtemps possible en mi-saison, la chaudière la plus puissante n'étant mise en route qu'au début de la période de chauffe la plus petite chaudière pouvant continuer à fonctionner pour assurer la fourniture de l'ECS.

L'avis des lutins

Les lutins thermiques estiment que l'état, à raison d'encourager l'utilisateur à s'orienter vers des techniques plus performantes telles qu'une chaudière basse température et à condensation en accordant une aide fiscale à l'immeuble sous sa forme collective avec le certificat d'économie d'énergie (CEE) ou individuelle sous la forme d'un crédit d'impôt.

Par contre, les lutins thermiques s'offusquent de l'aide fiscale qui est parfois accordée aux plus démunis pour des raisons sociales sous la forme d'une prime à la cuve. Ils considèrent cette aide comme une incitation à la consommation des énergies fossiles. Il serait, selon eux, préférable d'interdire purement et simplement la vente de ces chaudières ancienne génération, la plupart du temps surdimensionnées par rapport au besoin et fonctionnant en tout ou rien, qui consomment en exagérant à peine autant d'énergie lorsque le brûleur est arrêté que lorsqu'il fonctionne.

En ce qui concerne notre environnement, ils soulignent aussi que même avec une chaudière nouvelle génération correctement dimensionnée et équipée de brûleurs modulants, un point négatif de la combustion est la génération de gaz à effet de serre.

Ils constatent également le point suivant : avec la combustion, aucune énergie gratuite n'est prélevée dans l'environnement. En conséquence, même avec les améliorations ci-dessus, la combustion du gaz, actuellement et à part le bois le moins cher des produits fossiles, procure une énergie thermique dont le coût reste plus élevé comparativement à celle produite par une chaufferie nouvelle génération prélevant dans son proche environnement de l'énergie renouvelable (EnR). Ce dernier type de chaufferie souffre du même mal que la combustion : elle doit être dimensionnée pour s'adapter au besoin en fonctionnant en continu sans s'arrêter. Le *tout ou rien*, ça ne vaut pas grand-chose. L'avenir est probablement à la boucle fermée.