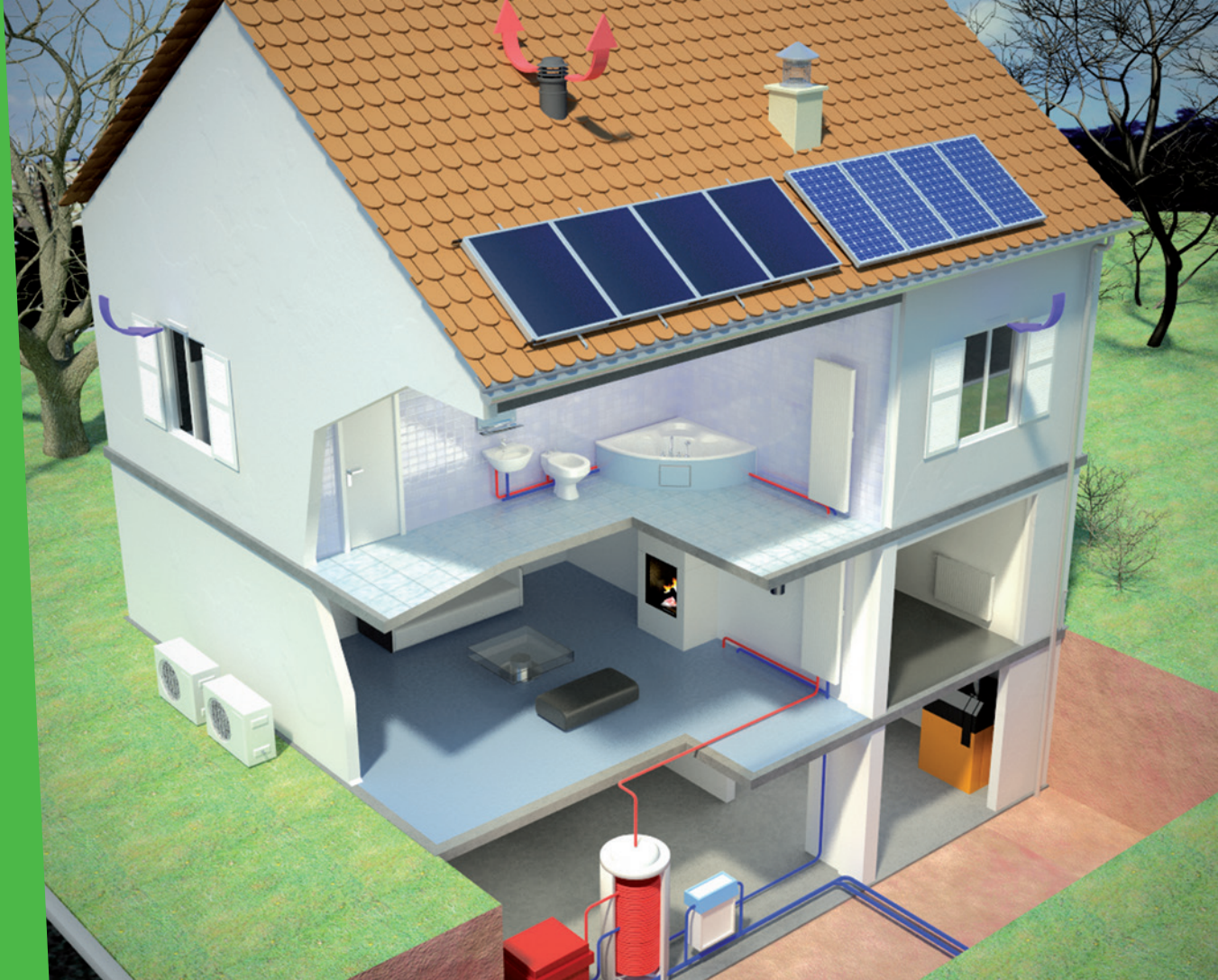




Performance énergétique : chauffage, ECS, photovoltaïque, ventilation

Choix et mise en œuvre des procédés

- > Performances et références réglementaires
- > Plus de 20 solutions techniques analysées



E-ressources à télécharger
www.batipedia.com

Références réglementaires et normatives,
coûts, liens utiles, aides financières...

**Performance énergétique :
chauffage, ECS,
photovoltaïque, ventilation**

Établissement public au service de l'innovation dans le bâtiment, le CSTB, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, exerce quatre activités clés : la recherche, l'expertise, l'évaluation, et la diffusion des connaissances, organisées pour répondre aux enjeux de la transition écologique et énergétique dans le monde de la construction. Son champ de compétences couvre les produits de construction, les bâtiments et leur intégration dans les quartiers et les villes.

Avec plus de 900 collaborateurs, ses filiales et ses réseaux de partenaires nationaux, européens et internationaux, le groupe CSTB est au service de l'ensemble des parties prenantes de la construction pour faire progresser la qualité et la sécurité des bâtiments.

Le présent guide ne se substitue en aucun cas aux textes de référence, qu'ils soient réglementaires (lois, décrets, arrêtés...), normatifs (normes, DTU ou règles de calcul) ou codificatifs (Avis Techniques, « CPT »...) qui doivent être consultés.

Le CSTB décline toute responsabilité quant aux conséquences directes ou indirectes de toute nature qui pourraient résulter de toute interprétation erronée du contenu du présent guide.

Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans le présent ouvrage, faite sans l'autorisation de l'éditeur ou du Centre Français d'Exploitation du droit de copie (3, rue Hautefeuille, 75006 Paris), est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions strictement réservées à l'usage du copiste et non destinées à une utilisation collective et, d'autre part, les analyses et courtes citations justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'œuvre dans laquelle elles sont incorporées (Loi du 1^{er} juillet 1992 - art. L 122-4 et L 122-5 et Code Pénal art. 425).

BÂTIR LE DÉVELOPPEMENT DURABLE

Performance énergétique : chauffage, ECS, photovoltaïque, ventilation

Choix et mise en œuvre des procédés

Laurent BONNIÈRE (Air Efficienc), Emmanuelle BRIÈRE, Laura CAENEN, Christian FELDMANN, Thierry GUIOT, Christelle HUGUET, Céline MEHL, Vincent PARTENAY, Charles PELÉ, Laurent REYNIER, Emmanuel TRAYNARD, Jean-Baptiste VIDEAU

CSTB
ÉDITIONS

Couverture : Jean-Marc LAUBY

Illustrations : Thierry BEL
Jean-Marc LAUBY

De nombreuses fiches ont pour base des travaux de recherche intitulés « Bâtiments à énergie positive » et « Modernisation durable de l'existant » impliquant de nombreux chercheurs et ingénieurs du CSTB. Ces travaux de recherche ont reçu le soutien financier de plusieurs partenaires : le MEEDDM (DHUP, PUCA), le ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie, OSEO, l'ADEME, l'ANR et l'Union européenne (FP7).

Compléments numériques

Téléchargez gratuitement les références réglementaires et normatives ainsi que les éléments de coût propres à chaque technologie sur **www.batipedia.com**

Dans la mesure où le référentiel technique et réglementaire est en constante évolution tout comme les données financières (coût, aides fiscales, etc.) liées à la mise en œuvre et à l'exploitation d'une technologie, les Éditions du CSTB ont fait le choix de ne pas mentionner ces éléments dans votre guide mais de vous les proposer sous la forme de fiches à télécharger gratuitement sur **www.batipedia.com**.

Vous bénéficiez ainsi d'informations régulièrement mises à jour et de la possibilité d'effectuer des « copier/coller » pour réaliser ou actualiser plus facilement vos CCTP, par exemple.

D'autre part, après inscription gratuite sur Batipedia, le site incontournable des professionnels de la construction, pour chercher, consulter, comprendre et suivre en temps réel le référentiel technique et réglementaire de la construction, vous pourrez :

- utiliser nos outils de recherche et identifier immédiatement le ou les texte(s) susceptible(s) de répondre à vos questions ;
- accéder à la notice descriptive de tous les documents et aux Avis Techniques en vigueur ;
- suivre en temps réel l'actualité et vous abonner à la newsletter ;
- télécharger de nombreux documents et dossiers ;
- consulter les rubriques Questions/Réponses.



Activation du service – Mode d'emploi

Afin d'activer ce service, vous devez être en possession du présent guide.

- Connectez-vous à **www.batipedia.com/activation-guides** ;
- Identifiez-vous (si vous possédez déjà un compte sur Batipedia) ou créez votre compte ;
- Sélectionnez le guide « Performance énergétique : production de chauffage, d'ECS, photovoltaïque et ventilation » ;
- Répondez, à l'aide de votre guide, aux deux questions posées.



Vous recevrez alors un mail de confirmation pour l'accès gratuit aux documents.

Vous pourrez retrouver ces documents à tout moment en vous connectant sur **www.batipedia.com**, rubrique « Téléchargez » puis « Ressources complémentaires », puis guide « Performance énergétique : production de chauffage, d'ECS, photovoltaïque et ventilation ».

Sommaire

Partie I : Le chauffage7

Fiche 1 : Les chaudières à condensation	9
Fiche 2 : Les chaudières à microcogénération	21
Fiche 3 : Les poêles à bois	35
Fiche 4 : Les poêles à granulés	49
Fiche 5 : Le chauffage bois collectif.....	63
Fiche 6 : Les réseaux de chaleur.....	85
Fiche 7 : Le chauffage électrique.....	99
Fiche 8 : La PAC aérothermique	125
Fiche 9 : La PAC géothermique	137
Fiche 10 : La chaudière hybride	153
Fiche 11 : Les Systèmes Solaires Combinés (SSC)	177

Partie II : L'eau chaude sanitaire199

Fiche 1 : La production d'eau chaude sanitaire instantanée	201
Fiche 2 : Le préparateur d'eau chaude sanitaire à accumulation	213
Fiche 3 : Le chauffe-eau solaire individuel (CESI).....	233
Fiche 4 : Le chauffe-eau solaire collectif.....	253
Fiche 5 : Le chauffe-eau thermodynamique	283
Fiche 6 : Les systèmes de récupération de la chaleur des eaux grises	301

Partie III : Le photovoltaïque321

Fiche 1 : Le photovoltaïque	323
-----------------------------------	-----

Partie IV : La ventilation.....345

Fiche 1 : La VMC simple flux en habitat neuf	347
Fiche 2 : La ventilation mécanique simple flux en rénovation.....	369
Fiche 3 : La ventilation mécanique double flux en habitat	387
Fiche 4 : La ventilation mécanique basse pression en rénovation.....	413
Fiche 5 : La ventilation hybride en rénovation ..	433
Fiche 6 : La ventilation mécanique double flux thermodynamique	459

Liste des abréviations483

Avant-propos

L'amélioration de la performance énergétique des bâtiments constitue un enjeu majeur de la maîtrise des impacts environnementaux. Bien choisis et bien mis en œuvre, les procédés de production de chauffage, d'eau chaude sanitaire, le photovoltaïque et la ventilation permettent de maîtriser les besoins en énergie tout en assurant le confort des occupants, particulièrement en hiver.

La production de chauffage, d'eau chaude sanitaire, d'électricité et la ventilation répondent également à d'autres enjeux : économiques (la maîtrise des consommations, en particulier dans les bâtiments existants, constitue un gisement important d'économies) et réglementaires. En effet, la RT 2012 prend en compte divers équipements pour permettre de répondre au niveau de performance global exigé.

Au travers de plus de 20 fiches, tous les procédés de production de chauffage, d'eau chaude sanitaire, d'électricité et de la ventilation dans le neuf et dans l'existant sont analysés sous l'angle des critères de choix et de mise en œuvre ainsi que des performances. Les références réglementaires spécifiques à chaque procédé sont aussi listées (elles sont à retrouver en téléchargement gratuit sur www.batipedia.com). Les procédés présentés sont regroupés par fonction.

Les fiches sont subdivisées en trois types :

- une « fiche synthèse » décrivant chaque procédé et précisant son domaine d'emploi et les points sensibles de sa mise en œuvre ;
- une « fiche performances », évaluation objective de chaque procédé sur la base de nombreux critères (confort, performance thermique, acoustique, santé, durabilité, sécurité, etc.) ;
- une « fiche références » récapitulant l'ensemble des textes techniques (DTU, CPT, normes) et réglementaires ainsi que les certifications et coûts à télécharger gratuitement sur www.batipedia.com

PARTIE I

Le chauffage

Vous bénéficiez du téléchargement gratuit des « fiches références » reprenant les références réglementaires et normatives, les éléments de coût et aides fiscales propres à chaque technologie sur www.batipedia.com, rubrique « Téléchargez », « Ressources complémentaires », guide « Performance énergétique : production de chauffage, d'ECS, photovoltaïque et ventilation ».

Les chaudières à condensation

1

1. Description du procédé

Les chaudières à condensation sont conçues de façon à pouvoir récupérer la chaleur latente de condensation contenue dans la vapeur d'eau des fumées. En effet, la combustion de combustible liquide ou gazeux produit de l'énergie qui est récupérée sur l'échangeur principal de la chaudière. Les produits de combustion issus d'une combustion stœchiométrique entre ces combustibles et l'oxygène sont du dioxyde de carbone (CO_2) et de la vapeur d'eau (H_2O). C'est cette vapeur d'eau qui, au contact de la surface froide de l'échangeur, se condense en libérant de la chaleur, appelée « chaleur latente de condensation » qui s'ajoute à l'énergie déjà produite lors de la combustion. L'échangeur sur lequel se condense la vapeur d'eau peut être l'échangeur principal de la chaudière ou un autre échangeur associé à l'échangeur principal. Dans les deux cas, les chocs thermiques et l'acidité des condensats sont supportés par les échangeurs grâce à une conception et aux matériaux constitutifs adaptés.

Le comburant utilisé est de l'air qui contient du diazote. Dans les conditions de la combustion, l'azote se combine avec l'oxygène pour former des oxydes d'azote (NO_x). Un mélange comburant combustible homogène et des brûleurs performants permettent de minimiser la production d'oxydes d'azote. Enfin, du monoxyde de carbone est également produit mais dans des proportions très faibles.

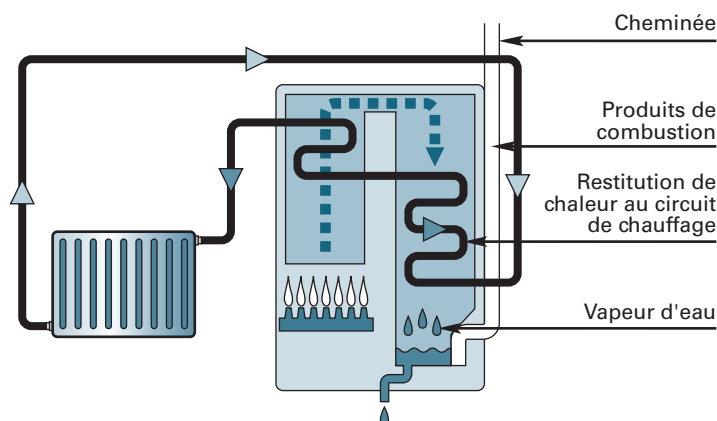


Figure 1 : Schéma de principe d'une chaudière à condensation

Les éléments constitutifs d'une chaudière sont :

- l'échangeur-condenseur ;
- le foyer de combustion ;
- les électrodes d'allumage et d'ionisation ;
- la vanne gaz ou la pompe à fioul ;
- la sonde de température sur le départ et sur le retour chauffage ;
- la sonde de température sanitaire (pour les chaudières qui produisent aussi l'eau chaude sanitaire [ECS]) ;

FICHE SYNTHÈSE

1

Les chaudières à condensation

- le brûleur ou gicleur (fioul) ;
- l'alimentation gaz et les vannes de sécurité ;
- le tube d'évacuation des fumées et le tube d'amenée d'air comburant ;
- le départ et le retour de l'eau de chauffage ;
- le départ et le retour de l'eau chaude sanitaire (pour les chaudières qui produisent aussi l'ECS) ;
- le purgeur d'air automatique. Ce dispositif automatique est en général placé en son point le plus haut et permet d'en évacuer l'air ;
- le ventilateur modulant ;
- le pressostat pour éviter le manque d'eau. Ce dispositif détecte le dépassement d'une valeur prédéterminée de la pression de l'eau ;
- le by-pass réglable. Il permet de toujours assurer un débit d'eau minimal ;
- la soupape de sécurité. Ce dispositif permet de protéger le circuit d'une montée de pression dangereuse en laissant le fluide surcomprimé s'échapper ;
- l'évacuation des condensats ;
- le thermostat limiteur de sécurité. Il permet de limiter la température du circuit d'eau ;
- le robinet de vidange ;
- la pompe de circulation de l'eau de chauffage.

1.1 Types de chaudières

Selon l'énergie utilisée (gaz ou fioul) et la puissance de l'appareil pour le chauffage des locaux, différents appareils ont été développés. mais c'est bien le combustible utilisé qui implique une différence notable au niveau du brûleur entre une chaudière fioul et une chaudière gaz. Nous ne traitons ici que de chaudières étanches, qui sont la grande majorité des chaudières installées.

1.1.1 Chaudière gaz

La ligne gaz d'une chaudière est constituée de vannes de sécurité permettant l'arrêt du gaz dès qu'une coupure d'électricité se produit. Ces vannes peuvent être également activées en cas d'anomalies nécessitant la mise en sécurité de la chaudière. Puis une vanne modulante permet d'ajuster le débit de gaz en fonction des besoins de chauffage. Le gaz est ensuite mélangé à l'air comburant pour être brûlé dans le brûleur.

L'air est aspiré à l'extérieur du bâtiment à travers un réseau de conduits étanches et par un ventilateur. La vitesse de rotation de ce ventilateur est également ajustée aux besoins de chauffage. Ainsi, le *ratio* débit d'air sur débit de gaz est maintenu constant quels que soient les besoins de chauffage dans la plage de modulation de puissance de la chaudière.

Les chaudières à condensation

1

Les rendements sur pouvoir calorifique inférieur (PCI) des appareils gaz peuvent atteindre 109 % en fonctionnement à l'allure minimale atteinte en modulation (maximum théorique de rendement sur PCI égal à 111 %). Cette grande plage de modulation permet un ajustement de la puissance de la chaudière aux faibles besoins de bâtiments basse consommation tout en permettant une relance rapide lors de la remontée de consigne de température intérieure du logement.

Le choix du brûleur est réalisé en cohérence avec la forme de la chambre de combustion. Il est généralement composé de « fentes » par lesquelles est expulsé le mélange air + gaz. La flamme se développe alors à partir de cette fente. Les nouveaux brûleurs gaz modulants sont dotés d'un contrôle de la combustion, qui permet de maintenir un excès d'air correct en minimisant la production d'imbrûlés sur toute la plage de modulation. Les brûleurs rayonnants ou radiants ont pour objectif de réduire la température de la flamme. Si la surface d'accrochage de la flamme est en matériau réfractaire (céramique ou acier inoxydable réfractaire), elle va absorber une partie de la chaleur de réaction et la restituer par rayonnement au foyer. La température de combustion s'en trouve abaissée sous 1200 °C, ce qui réduit fortement la production d'oxydes d'azote ($\text{NO}_x < 15 \text{ mg/kWh}$).

Les chaudières gaz peuvent être murales ou au sol suivant leurs poids et leurs puissances.

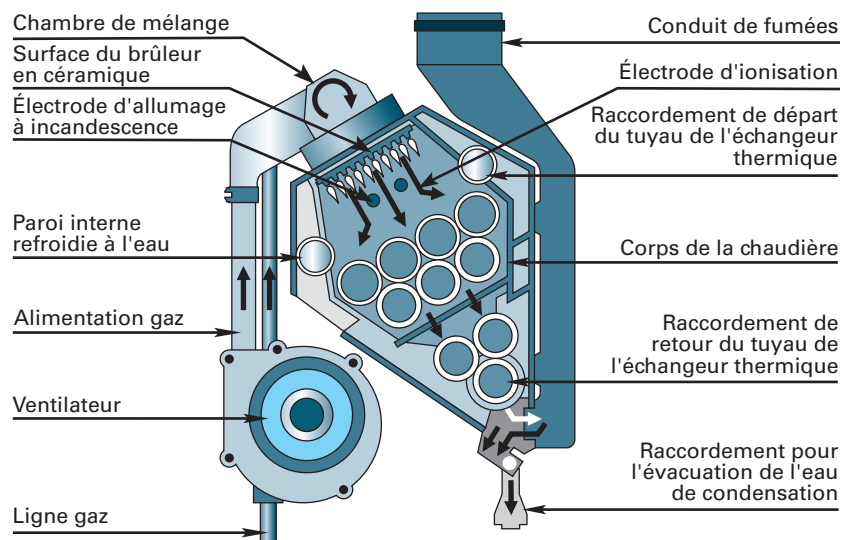


Figure 2 : Schéma de principe d'une chambre de combustion et des éléments associés

FICHE SYNTHÈSE

1

Les chaudières à condensation

1.1.2 Chaudière fioul

La ligne fioul est composée d'une pompe qui débite le fioul à travers des canalisations jusqu'à un gicleur. Ce gicleur a pour fonction de pulvériser le fioul en très fines gouttelettes. Ces gouttelettes forment un cône creux. Autour de ce cône, l'air est apporté. Le mélange air-fioul ainsi formé est brûlé dans la chambre de combustion.

Comme pour les chaudières gaz, l'air est aspiré à l'extérieur du bâtiment à travers un réseau de conduits étanches et par un ventilateur. La vitesse de rotation de ce ventilateur est également ajustée aux besoins de chauffage. Ainsi, le ratio débit d'air sur débit de fioul est maintenu constant quels que soient les besoins de chauffage dans la plage de modulation de puissance de la chaudière.

Les solutions techniques possibles utilisées ou en cours de développement pour améliorer la combustion sont de deux types :

- effectuer un prémélange air/fioul afin de faciliter l'évaporation du fioul. La combustion devient alors indépendante de la qualité de la pulvérisation. Concrètement, on sépare la partie prémélange et évaporation du fioul de la zone de combustion principale qui s'effectue soit sur un tube de flamme soit en milieu poreux. Pour évaporer le fioul, on utilise le principe de la flamme froide qui nécessite un préchauffage pour initier la réaction ou le principe de l'atomisation. Cette technique est la plus diffusée ;
- utiliser un gicleur classique et faire varier la pression de pulvérisation. Dans ce cas, la plage de modulation de la chaudière correspond à la racine carrée de la variation de pression de pulvérisation et peut atteindre 40 %. La modulation de puissance est obtenue par la variation de vitesse du moteur pour ajuster le débit de fioul et d'air comburant. La variation de la vitesse du moteur est déterminée en fonction de la charge demandée à la chaudière.

Les produits innovants permettent d'atteindre des rendements sur PCI de l'ordre de 103 % (maximum théorique égal à 107 %) et des émissions de NOx aux alentours de 50 mg/kWh à la puissance minimale. Les chaudières au fioul sont généralement au sol du fait de leur poids.

Les chaudières à condensation

1

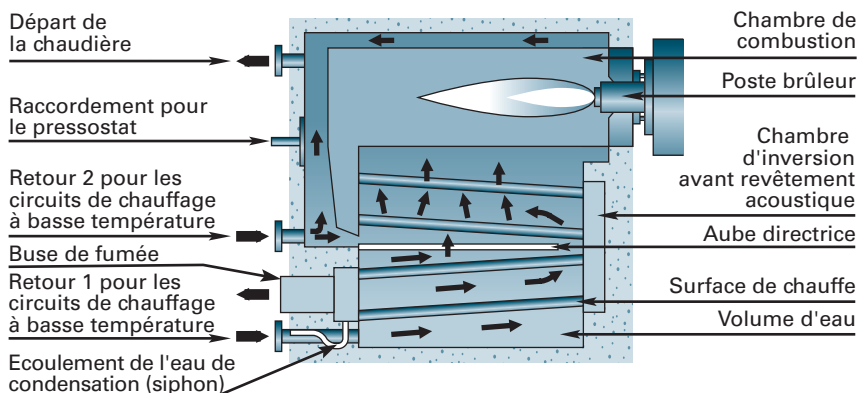


Figure 3 : Schéma de principe d'une chaudière fioul

1.2 Les éléments communs aux deux types de chaudières

1.2.1 Le système de gestion régulation

Nous n'aborderons pas dans ce paragraphe les composants et les organes de sécurité indispensables au bon fonctionnement et à la sécurité des biens et des personnes.

La chaîne de gestion et de régulation est généralement composée de sondes de température de *feedback* des composants commandés (ventilateur, pompe, vanne gaz modulante), d'un panneau de commande permettant la saisie des consignes, et d'un processeur commandant les différents composants.

L'ajustement de la puissance de la chaudière aux besoins du bâtiment chauffé est la clef essentielle de la consommation d'énergie. Les besoins d'énergie d'un bâtiment dépendent de ce bâtiment (consigne de température, surface au sol, isolation des murs extérieurs, architecture, etc.) et de l'écart entre la température extérieure et la température intérieure.

La mise en place d'une sonde extérieure et l'ajustement de la loi d'eau de la chaudière au bâtiment permettent ainsi de fixer la température de départ chaudière aux besoins estimés du bâtiment. Plus la température extérieure sera basse, plus la température de départ chaudière sera élevée. Ainsi, les pertes thermiques du bâtiment seront compensées par un apport d'énergie plus élevé. La mise en place d'une sonde de régulation interne (ou thermostat d'ambiance) permet l'arrêt ou la mise en marche de la chaudière. En effet, les apports internes dus aux occupants et les apports solaires ne sont pas constants au cours de la journée et de la saison de chauffe. Le thermostat permet ainsi de réguler finement les apports d'énergie de la chaudière aux besoins des occupants grâce à cette sonde de température interne.

FICHE SYNTHÈSE

1

Les chaudières à condensation

C'est bien le triplet thermostat d'ambiance, sonde extérieure et réglage chaudière, qui fait que la consommation d'énergie pour le chauffage des locaux sera optimisée.

1.2.2 Les conduits d'évacuation des fumées et d'amenée d'air

Les chaudières à combustion ont besoin d'air pour la combustion et elles doivent être connectées vers l'extérieur pour le rejet des produits de combustion. Il s'est ainsi développé des conduits étanches pour l'amenée d'air et l'évacuation des produits de combustion. Ces conduits sont réputés étanches car le fluide (air ou fumées) qui s'écoule à l'intérieur ne peut pas fuir vers l'extérieur du conduit sous l'effet de la différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur du conduit. De fait, le montage et le raccordement des différents conduits doivent être effectués avec soin et selon les recommandations du constructeur.

Les deux conduits (air et fumées) peuvent être séparés ou concentriques. Dans ce dernier cas, les fumées s'écoulent dans le conduit central, et l'air circule dans l'anneau autour du conduit de fumées.

Les sorties ou terminaux doivent être choisis selon les prérogatives du constructeur et installés conformément aux règles en vigueur.

1.2.3 Les autres composants

D'autres composants sont généralement positionnés dans la chaudière :

- un vase d'expansion. Il permet d'absorber l'augmentation de volume d'eau lorsque celle-ci est chauffée ;
- un système hydraulique. Certaines chaudières peuvent avoir deux niveaux de départ de chauffage :
 - un départ pour les planchers chauffants. La température de l'eau de ce départ est maintenue à un niveau bas,
 - un départ pour les émetteurs de type radiateurs. Dans ce cas, la température de départ peut évoluer dans un domaine plus étendu que pour le précédent départ,
 - et des connections hydrauliques pour des ballons de stockage en cas de chauffage par capteur solaire ;
- un système d'évacuation des condensats ;
- un système de production d'ECS. Dans ce cas, la production peut être instantanée et par accumulation. La partie combustion de la chaudière est utilisée pour cette production d'ECS. Ceci nécessite des composants supplémentaires qui sont intégrés dans la carrosserie. Le stockage peut être également dans la carrosserie (ballon de quelques litres jusqu'à 20 litres environ) ou extérieur pour les ballons de 50 litres et plus. Pour plus de détails, le lecteur se référera aux fiches ECS Accumulation.

Les chaudières à condensation

1

2. Domaine d'emploi et champ d'application

2.1 Domaine d'emploi

Le domaine d'emploi est donc le chauffage des locaux. Les sources d'énergie sont le gaz et le fioul. Certaines chaudières à bois à condensation apparaissent sur le marché, mais la combustion du bois produit des suies qui, mélangées aux condensats, encrassent les échangeurs de chaleur et les conduits d'évacuation. Ces mélanges sont également corrosifs. Cette technologie de chaudière bois condensation est en cours de développement.

Tableau 1 : Domaine d'emploi

Secteur visé					
Type d'installation		Installation collective ¹		Installation collective ²	
		Gaz	Fioul	Gaz	Fioul
Résidentiel	Maison individuelle	X	X		
	Logement collectif	X		X	X
	Tertiaire			X	X

1. Installation individuelle : une unité de production par logement.
2. Installation collective : production centralisée desservant tous les logements ou toutes les zones d'un bâtiment.

2.2 Champ d'application

Remarque

Un préalable au choix du mode de chauffage consiste en un audit de l'installation existante, tant au niveau des besoins qu'au niveau de l'état des installations de production, de distribution et d'émission.

L'installation d'une chaudière à condensation est possible en rénovation aussi bien dans le résidentiel que dans le tertiaire.

Le chauffage par chaudière à condensation est particulièrement bien adapté aux bâtiments bien isolés situés dans toutes les zones géographiques.

FICHE SYNTHÈSE

1

Les chaudières à condensation

3. Caractéristiques et performances

La performance d'une chaudière à condensation est difficile à appréhender simplement. En effet, ce rendement est la résultante :

- de la température extérieure, et donc de la température départ chaudière ;
- des types d'émetteurs (radiateurs basse température et leur dimensionnement) et de la régulation associée (robinet thermostatique), et donc de la température retour ;
- de la position de cette chaudière en local chauffé ou non, et donc des pertes thermiques de la chaudière ;
- des besoins requis tout au long de la saison de chauffe et du dimensionnement de cette chaudière par rapport à ces besoins.

Les valeurs minimales de la directive rendement 92/42/CEE ont été abrogées par la Commission Européenne et remplacées par les valeurs indiquées dans le règlement UE N° 813/2013 de la Commission du 2 août 2013 portant application de la directive 2009/125/CE du Parlement européen et du Conseil en ce qui concerne les exigences d'écoconception applicables aux dispositifs de chauffage des locaux et aux dispositifs de chauffage mixtes.

Dans son annexe II, le règlement détaille les valeurs minimales des chaudières :

Exigences applicables à l'efficacité énergétique saisonnière pour le chauffage des locaux

(Annexe II du règlement UE n° 813/2013 de la Commission du 2 août 2013)

« À compter du 26 septembre 2015, l'efficacité énergétique saisonnière pour le chauffage des locaux et les efficacités utiles des dispositifs de chauffage ne sont pas inférieures aux valeurs suivantes :

Dispositifs de chauffage des locaux par chaudière à combustible ayant une puissance thermique nominale ≤ 70 kW et dispositifs de chauffage mixtes par chaudière à combustible ayant une puissance thermique nominale ≤ 70 kW, à l'exception des chaudières de type B1 ayant une puissance thermique nominale ≤ 10 kW et des chaudières de type B1 mixtes ayant une puissance thermique nominale ≤ 30 kW :

- l'efficacité énergétique saisonnière pour le chauffage des locaux n'est pas inférieure à 86 %.

Chaudières de type B1 ayant une puissance thermique nominale ≤ 10 kW et chaudières de type B1 mixtes ayant une puissance thermique nominale ≤ 30 kW :

- l'efficacité énergétique saisonnière pour le chauffage des locaux n'est pas inférieure à 75 %.

Dispositifs de chauffage des locaux par chaudière à combustible ayant une puissance thermique nominale > 70 kW et ≤ 400 kW et dispositifs de chauffage mixtes par chaudière à combustible ayant une puissance thermique nominale > 70 kW et ≤ 400 kW :

- l'efficacité utile à 100 % de la puissance thermique nominale n'est pas inférieure à 86 %, et l'efficacité utile à 30 % de la puissance thermique nominale n'est pas inférieure à 94 %.

La communication de la Commission dans le cadre du règlement UE n° 813/2013 détaille la procédure et les normes permettant de déterminer les efficacités énergétiques saisonnières des chaudières.

Les chaudières à condensation

1

1. Critère d'analyse : conception, mise en œuvre, exploitation

1.1 Confort thermique

- Le bon fonctionnement d'une installation de chauffage à condensation nécessite un dimensionnement juste du générateur au regard du besoin du bâtiment et des émetteurs installés.
- Les émetteurs basse température engendrent plus d'économies d'énergie, et valorisent les performances des chaudières à condensation. Ils peuvent être équipés d'un robinet thermostatique, excepté pour les émetteurs dans la pièce dans laquelle est déjà installé le thermostat d'ambiance général.
- Un thermostat d'ambiance est fortement conseillé pour adapter la consigne de température à la présence humaine.

1.2 Confort acoustique

Les équipements de chauffage sont généralement silencieux. Ils sont soumis à la nouvelle réglementation acoustique.

Cette réglementation précise que « dans le cas des bruits d'équipement, les performances requises correspondent cette fois à un niveau sonore maximum à ne pas dépasser dans le local de réception (niveau de pression acoustique normalisé L_{nAT}) ».

Tableau 1 : Performances acoustiques requises

Niveau de pression acoustique normalisé L_{nAT}		Local de réception	
		Pièce principale	Cuisine
Appareil individuel de chauffage ou de climatisation (article 5)		35 dB(A)	50 dB(A)
	Si cuisine ouverte sur une pièce principale	45 dB(A) pour les logements dont le permis de construire a été déposé entre le 1 ^{er} janvier 2000 et le 31 décembre 2000	
		40 dB(A) à compter du 1 ^{er} janvier 2001	
Équipement individuel		30 dB(A)	35 dB(A)

1.3 Qualité d'usage

- Le couplage avec des capteurs solaires est possible.
- La production mixte chauffage et ECS est également possible.

FICHE PERFORMANCES

1

Les chaudières à condensation

2. Sécurité et fonctionnement de l'installation

2.1 Système

Les appareils au gaz et au fioul sont potentiellement dangereux. Il convient donc que l'installation de tels appareils soit effectuée par du personnel qualifié et conformément aux réglementations en vigueur.

2.2 Installateurs

- Pour le personnel qualifié, les risques sont réduits.
- La présence et la qualité du thermostat de régulation sont essentielles.
- Un groupe de sécurité (comprenant un robinet d'arrêt, un clapet de retenue, une soupape de sûreté et un dispositif de vidange) permettant de limiter la pression dans le circuit ainsi que sa vidange est indispensable.

2.3 Occupants

Pour que l'installation conserve ses performances et dure longtemps, il faut la faire surveiller et entretenir par un spécialiste tous les ans. En cas d'incident sur la chaudière, seul le personnel qualifié peut intervenir.

3. Environnement

3.1 Énergie

- Le couplage à l'énergie solaire (utilisation d'énergie gratuite) est réalisable.
- La présence d'un stockage génère, de fait, des pertes de stockage et des consommations associées.
- En cas d'absence prolongée, il est possible de choisir une consigne hors gel (environ 7 °C). Le passage en consigne normale doit se faire au moins 24 heures avant l'arrivée des occupants.
- Si des conduites d'eau passent dans des zones non chauffées, il convient alors de les isoler.

Les chaudières à condensation

1

3.2 Eau

Les condensats doivent être traités avant envoi à l'égout.

3.3 Environnement

Les fumées contiennent au moins du CO_2 , des NO_x et du CO . Ces gaz sont toxiques, mais ils sont inévitablement produits par la combustion à des taux variables. Il convient donc de sélectionner des appareils peu polluants et de faire vérifier la combustion régulièrement.

3.4 Recyclage

Les équipements électroniques doivent être récupérés selon la directive n° 2002/96/CE du 27 janvier 2003, transposée en droit français par le décret n° 2005-829 du 20 juillet 2005 relatif à la composition des équipements électriques et électroniques et à l'élimination des déchets issus de ces équipements, codifié dans le code de l'environnement par le décret n° 2007-1467 du 12 octobre 2007.

4. Santé

Les appareils à combustion à condensation sont généralement des appareils étanches vis-à-vis de la pièce dans laquelle ils sont installés. Cependant, les risques liés à l'usage d'appareil à combustion au gaz et au fioul sont :

- la fuite de gaz et le risque d'explosion ;
- pour les appareils au fioul, la fuite de fioul qui engendre une pollution ;
- la fuite des produits de combustion dans des pièces avec un risque d'intoxication au CO et au CO_2 .

5. Durabilité

Durée de vie de l'ordre de 15 ans.

Les chaudières à microcogénération

2

1. Description du procédé

1.1 Fonctionnement d'une chaudière à cogénération

Les chaudières à cogénération ont pour fonction la production simultanée d'électricité et de chaleur au sein d'un bâtiment. La chaleur peut être utilisée pour le chauffage et/ou l'Eau Chaude Sanitaire (ECS) et l'électricité produite peut être soit consommée sur place, soit revendue au réseau national. Ces chaudières comportent un moteur pouvant être alimenté par du gaz ou du fioul.

L'intérêt de cette technologie est d'obtenir une production d'électricité locale en valorisant la chaleur produite à partir d'une même source d'énergie.

Le fonctionnement de la production d'électricité et de chaleur par cogénération est le suivant : l'énergie thermique dégagée par la combustion est transformée en énergie mécanique. L'électricité est produite par la conversion de l'énergie mécanique du moteur grâce à un alternateur, qui transforme le mouvement rotatif d'un arbre en un courant électrique. La chaleur contenue dans les gaz d'échappement, dans l'eau de refroidissement et dans l'huile de lubrification peut être valorisée pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire.

Il existe différents types de cogénération suivant la taille de l'installation, le combustible utilisé et le type de moteur.

Le schéma suivant représente une installation de cogénération à l'échelle du bâtiment.

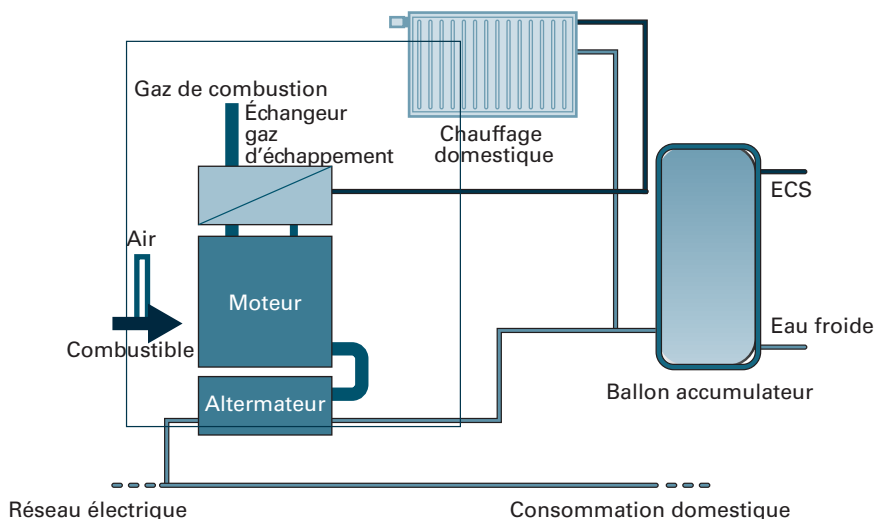


Figure 1 : Schéma de principe d'une cogénération à l'échelle du bâtiment

FICHE SYNTHÈSE

2

Les chaudières à microcogénération

À l'échelle du bâtiment, les types de cogénération les plus répandus sont les cogénérations utilisant comme combustible le gaz naturel ou le fioul. Les moteurs les plus souvent utilisés à cette échelle et pour ce type de combustible sont les moteurs à combustion interne et les moteurs à combustion externe.

La différence entre les moteurs à combustion interne et ceux à combustion externe réside dans le lieu de combustion du combustible. Dans les moteurs à combustion interne, le carburant est brûlé à l'intérieur du cylindre moteur, tandis que dans les moteurs à combustion externe, le carburant est utilisé pour réchauffer le gaz ou la vapeur à travers les parois d'une chambre extérieure. Le gaz ou la vapeur réchauffée est ensuite introduit à l'intérieur du cylindre. Les moteurs à combustion externe sont donc équipés d'un échangeur de chaleur ou d'une chaudière pour emmagasiner la chaleur.

Ces deux types de moteur ont des rendements énergétiques différents et des ratios électricité/chaleur différents, ils n'auront donc pas les mêmes applications.

Il existe également des chaudières cogénération à partir de biomasse : matière organique d'origine végétale animale ou fongique pouvant devenir source d'énergie par combustion. La cogénération biomasse utilise des moteurs à cycle *Rankine* organique ou des turbines à gaz. Ce type de cogénération est cependant moins répandu.

1.2 Les différents types de cogénération

1.2.1 Les moteurs à combustion interne

Au sein de ce type de moteur, du gaz est mélangé à de l'air aspiré et, avec une étincelle d'allumage, amené à une explosion contrôlée. Des produits de combustion chauds sont alors générés et se répandent dans le cylindre, repoussant un piston qui entraîne ainsi un alternateur qui produit à son tour du courant électrique. D'un autre côté, les produits de combustion chauds, expulsés ultérieurement par le piston, sont utilisés pour le chauffage des pièces et la production d'eau chaude.

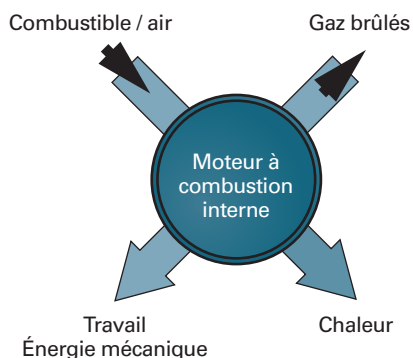


Figure 2 : Schéma d'un moteur à combustion interne

Les chaudières à microcogénération

2

Un module de cogénération à combustion interne se présente sous la forme d'une enceinte compacte et monobloc intégrant les composants suivants:

- un moteur à combustion interne au gaz naturel ou au fioul ;
- un alternateur qui produit un courant alternatif triphasé BT ;
- des échangeurs sur les fumées et sur l'eau de refroidissement pour récupérer l'eau chaude jusqu'à 90 °C ;
- une isolation phonique ;
- une armoire électrique permettant de réguler la charge électrique entre 50 et 100 % ;
- une évacuation des produits de combustion.

Le schéma suivant représente un module de cogénération à combustion interne :

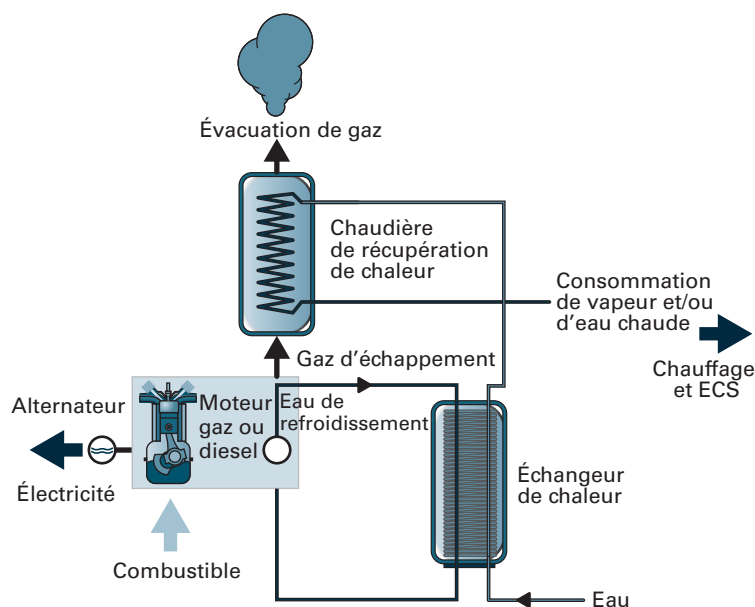


Figure 3 : Schéma d'une microcogénération à moteur à combustion interne

Le module s'installe dans une chaufferie classique et s'associe généralement à une chaudière gaz dans une logique base/appoint. L'installation d'un volume tampon est fortement recommandée afin d'éviter les courts cycles de fonctionnement du module qui pourraient altérer sa durée de vie.

1.2.2 Les moteurs à combustion externe

Contrairement au moteur à combustion interne, où le carburant est brûlé dans la chambre à combustion avec transformation en énergie mécanique, le moteur à combustion externe fonctionne en circuit fermé.

FICHE SYNTHÈSE

2

Les chaudières à microcogénération

Le moteur à combustion externe le plus répandu pour ce type de technologie est le moteur *Stirling*. Il est constitué d'un cylindre renfermant du gaz (hélium ou azote) et d'un piston récupérant l'énergie mécanique. Le gaz dans le cylindre fermé est chauffé : c'est la combustion. Par son expansion, il s'écoule le long du piston de compression pour rejoindre le côté opposé du cylindre où il refoule le piston moteur. Puisque le piston de compression est lié à un rappel, il revient à nouveau en arrière de manière à ce que l'air derrière le piston de compression se refroidisse et produise en réponse une dépression. Celle-ci agit pour que le piston moteur soit à nouveau aspiré vers l'arrière. L'énergie mécanique produite par le déplacement des pistons permet d'entraîner un générateur produisant de l'énergie électrique. La puissance produite avoisine 1 kW.

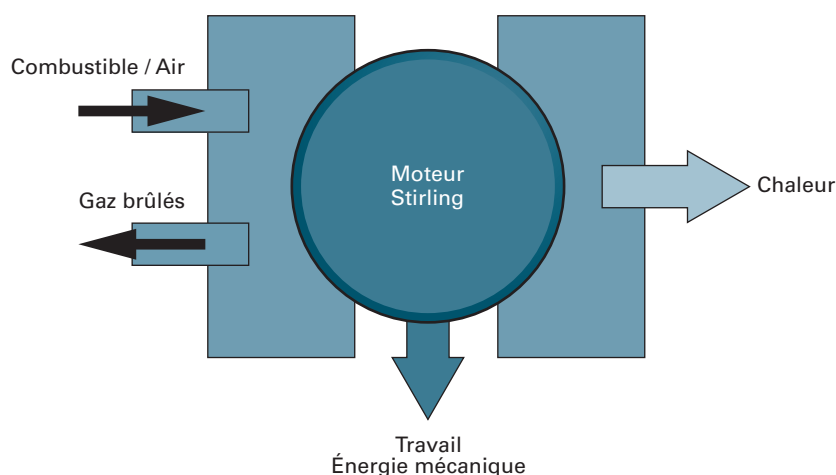


Figure 4 : Schéma d'un moteur à combustion externe

Les chaudières cogénération comprenant un moteur *Stirling* sont appelées des « écogénérateurs » ou encore des « chaudières électrogènes ».

Le moteur *Stirling* qui permet de générer de l'électricité peut être combiné à un système de chaudière à condensation, permettant ainsi d'obtenir un très bon rendement de chaudière. Quand les besoins en chauffage sont très importants, du gaz est injecté dans un deuxième circuit avec un brûleur d'appoint, ne produisant que de la chaleur.

Les schémas suivants représentent les différents composants de l'écogénérateur.

Les chaudières à microcogénération

2

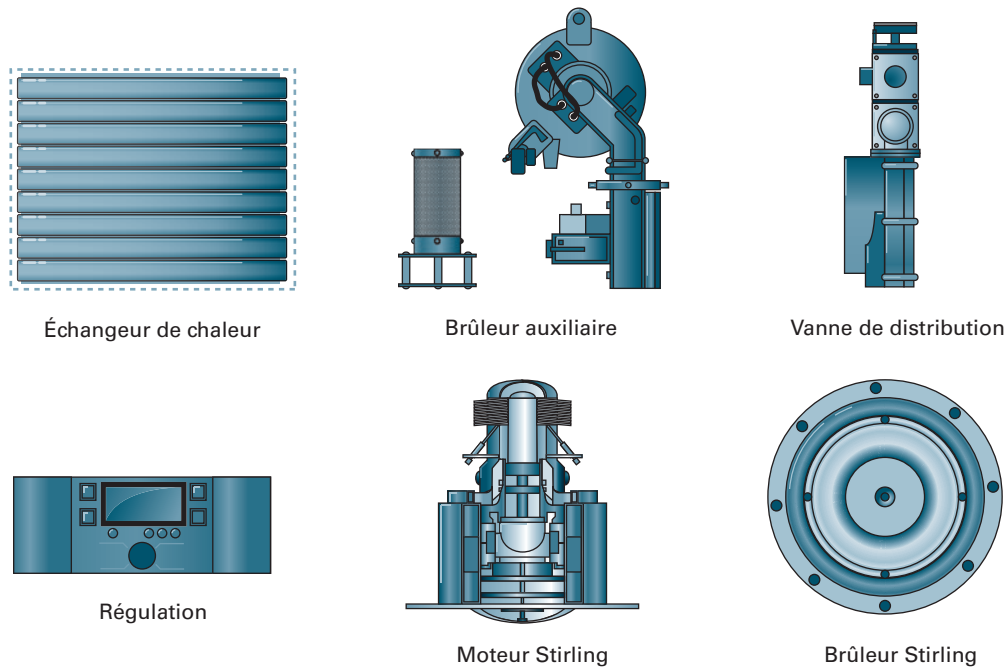


Figure 5 : Schéma des composants d'un éco-générateur

Le schéma suivant montre les détails de l'installation d'un éco-générateur.

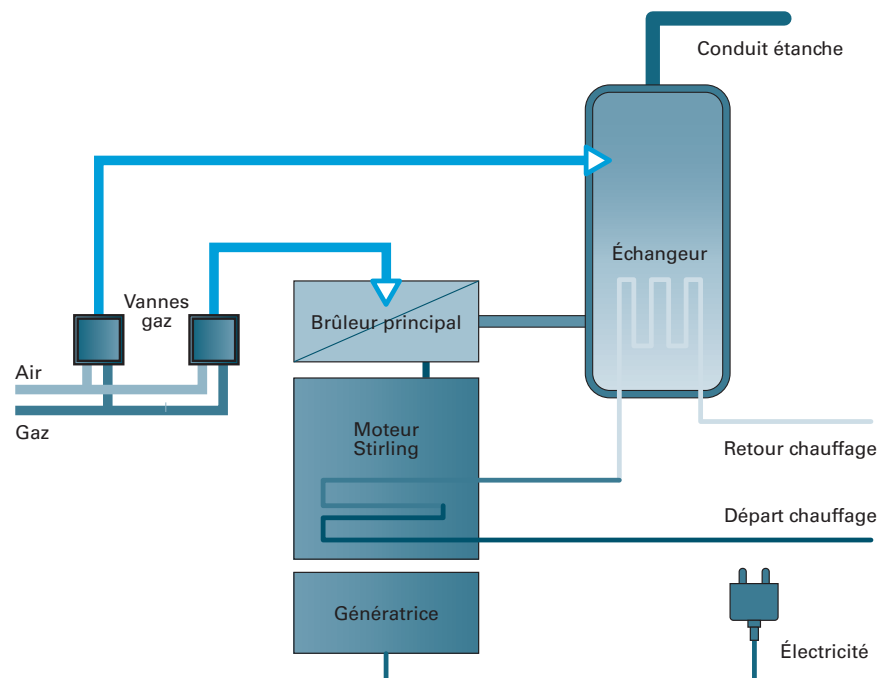


Figure 6 : Schéma de l'installation d'un éco-générateur

FICHE SYNTHÈSE

2

Les chaudières à microcogénération

La technologie à moteur *Stirling* est une technologie moins mature que le moteur à combustion interne. Ses coûts sont donc plus élevés, cependant son fonctionnement est plus silencieux et moins polluant. En effet, le moteur à combustion interne doit comporter un pot catalytique pour limiter les émissions de NOx, CO et autres imbrûlés (comme pour l'automobile).

De plus, ces deux technologies ont des composantes électriques et thermiques différentes.

2. Domaine d'emploi et champ d'application

2.1 Domaine d'emploi

Les chaudières à cogénération à combustion interne ou externe peuvent être installées dans le secteur résidentiel mais aussi dans le secteur tertiaire. Le système de cogénération dépendra des besoins du bâtiment, la « taille » du système est paramétrée selon sa puissance électrique.

Tableau 1 : Domaine d'emploi

Secteur visé					
Type d'installation		Installation individuelle ¹		Installation collective ²	
		Gaz	Fioul	Gaz	Fioul
Résidentiel	Maison individuelle	X	X		
	Logement collectif			X	X
Tertiaire				X	X

1. Installation individuelle : une unité de production par logement.
2. Installation collective : production centralisée desservant tous les logements ou toutes les zones d'un bâtiment.

2.2 Champ d'application

L'Europe fixe la limite supérieure de la « microcogénération » à 50 kWe (kiloWatt électriques) selon la directive 2004/8/CE. En France, compte tenu des plages d'abonnement EDF, le seuil est plutôt de 36 kWe.

La microcogénération est comprise entre 5 et 36 kWe et est adaptée pour des maisons individuelles ou des petits bâtiments collectifs.

La minicogénération est comprise entre 36 et 250 kWe et est adaptée pour des bâtiments collectifs résidentiels ou tertiaires.

La petite cogénération est comprise entre 250 et 600 kWe et est adaptée pour des bâtiments collectifs résidentiels ou tertiaires de taille importante.

Le schéma suivant représente les gammes de cogénération en fonction des tarifs EDF et des moteurs.

Les chaudières à microcogénération

2

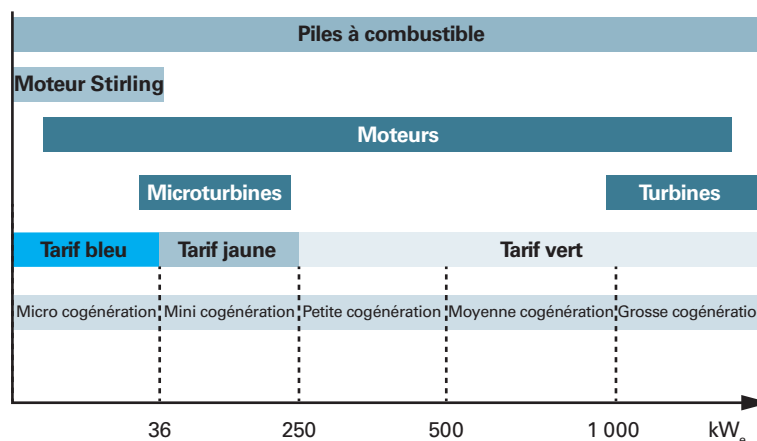


Figure 7 : Technologies de cogénération suivant la plage de puissance électrique

3. Caractéristiques et performances

3.1 Caractéristiques d'une microcogénération

Seules les caractéristiques de la microcogénération seront énoncées car cette fiche synthèse couvre l'échelle du bâtiment.

Les grandeurs permettant de caractériser les chaudières à microcogénération sont les suivantes :

- la puissance électrique ;
- la puissance thermique ;
- le rendement électrique ;
- le rendement thermique ;
- le ratio E/C.

Les notions de rendement électrique et de rendement thermique sont des rendements partiels, c'est-à-dire que pris séparément, ils ne donnent pas d'indication sur la performance de la microcogénération. Ces deux rendements s'additionnent pour donner le rendement énergétique ou rendement global, dont la valeur est généralement comprise entre 80 et 95 % pour une microcogénération. On parle aussi de composante électrique et de composante thermique du rendement.

Une autre caractéristique rencontrée est le ratio Électricité/Chaleur (E/C), qui traduit le rapport entre l'électricité et la chaleur utile produite.

Le tableau suivant donne les ordres de grandeurs des caractéristiques des deux technologies : moteurs à combustion interne et moteur à combustion externe.

FICHE SYNTHÈSE

2

Les chaudières à microcogénération

Tableau 2 : Caractéristiques des technologies à moteur à combustion interne et externe

	Moteur à combustion externe	Moteur à combustion interne
Puissance électrique	1-30 kW	3-36 kW
Puissance thermique utile	6-300 kW	8-70 kW
Ratio E/C	De 1/10 à 1/5	De 1/3 à 1/2

3.2 Performances d'une microcogénération

Pour traduire la valeur de la production d'électricité d'une microcogénération, on utilise aussi la notion d'efficacité sur énergie primaire. En France, le coefficient de conversion de l'énergie primaire en électricité est pris par l'État par convention à 2,58. Il rend compte de l'efficacité globale des moyens de production et d'acheminement d'électricité jusque chez l'utilisateur.

L'efficacité en énergie primaire d'une microcogénération se définit comme la somme du rendement électrique et du rendement thermique pondéré du coefficient de conversion :

$$\text{Eff Ep} = (\text{Rendement thermique}) + 2,58 * (\text{Rendement électrique}).$$

Le rendement global traduit également les performances d'une microcogénération. C'est le rapport entre l'énergie totale transmise à l'eau pour le chauffage et l'ECS durant toute la saison de chauffe et l'énergie contenue dans le combustible consommé durant cette période. On parle souvent de rendement global sur PCI (Pouvoir calorifique inférieur). Le PCI est la chaleur que peut dégager la combustion complète d'une unité de combustible, mesurée en conservant l'eau à l'état vapeur. Le rendement global sur PCI tient compte de l'énergie thermique récupérée du moteur.

Le tableau suivant donne des ordres de grandeur des performances des deux technologies : moteurs à combustion interne et moteur à combustion externe.

Tableau 3 : Performances des technologies à moteur à combustion interne et externe

	Moteur à combustion externe	Moteur à combustion interne
Efficacité sur énergie primaire	115 à 130 %	130 à 145 %
Rendement global sur PCI	90 à 107 %	80 à 100 %

Les chaudières à microcogénération

2

1. Critères d'analyse : conception, mise en œuvre, exploitation

1.1 Dimensionnement et installation

La puissance à installer dépend des besoins thermiques de l'habitat. Il faut pouvoir assurer la base des besoins thermiques afin d'éviter les phases de démarrages et arrêts intempestifs qui consomment beaucoup. Il faut éviter de revendre trop d'électricité produite au réseau afin de valoriser l'électricité produite au meilleur tarif.

La situation la plus rentable en maison individuelle est obtenue quand toute l'électricité produite est autoconsommée au même instant.

Les trois critères importants permettant une utilisation optimale de la microcogénération sont les suivants :

- des besoins en chaleur importants et un profil journalier, hebdomadaire et mensuel ;
- des besoins en électricité assez constants journaliers, hebdomadaires et mensuels ;
- la possibilité d'intégration dans site: place accès, raccordement, charge au sol.

Une unité de cogénération mal dimensionnée peut poser les problèmes suivants :

- si la puissance installée est trop grande: le moteur ne fonctionne pas de manière optimale, il y a des phases d'arrêt et de redémarrage fréquents entraînant une usure prématurée un coût d'entretien élevé, ainsi qu'une chute des rendements ;
- si la puissance installée est trop faible : cela ne représente pas un problème technique mais il y a un manque à gagner.

L'unité de cogénération peut être installée avec une chaudière d'appoint, selon son utilisation et son dimensionnement.

Dans le cas d'une chaudière d'appoint, la cogénération couvre les besoins de base du bâtiment. Ainsi, le temps de fonctionnement peut être long s'il y a présence d'un ballon tampon, on n'obtient pas de surplus de chaleur et l'auto-consommation d'électricité est importante.

Dans le cas sans chaudière d'appoint, la cogénération couvre la totalité de la demande en chaleur, la production d'électricité est importante et il y a donc un risque important d'injection dans le réseau et le nombre de marche/arrêt du moteur est plus fréquent. Cette installation est rentable avec un ballon tampon de volume important.

L'installation de microcogénération prend la même place qu'une chaudière à condensation. Il existe des chaudières murales.

FICHE PERFORMANCES

2

Les chaudières à microcogénération

La chaudière à microcogénération est compatible avec tous les types d'émetteurs de chaleur mais pour que son rendement soit le plus élevé possible, les émetteurs de chaleur basse température sont conseillés.

Le local d'implantation de la chaudière microcogénération doit pouvoir offrir la possibilité de raccorder la chaudière aux réseaux de gaz, au réseau d'eau froide, au réseau d'eau chaude sanitaire et au réseau d'eaux usées. Le local doit permettre également de se raccorder à une ligne électrique directe basse tension et d'effectuer une évacuation des produits de combustion vers l'extérieur (se référer au Cahier des Prescriptions Techniques communes « Systèmes individuels d'évacuation des produits de combustion, raccordés à des appareils à gaz, à circuit de combustion non étanche, de débit calorifique $< 1 \text{ mW}$ » e-Cahiers du CSTB n° 3627, mai 2008). La ventilation du local doit également être mise en œuvre et il doit être possible d'effectuer une amenée d'air comburant.

1.2 Confort thermique

La microcogénération permet un confort thermique optimal au sein de l'habitation puisqu'elle peut répondre à l'ensemble des besoins en chauffage et en eau chaude sanitaire selon son dimensionnement.

1.3 Confort acoustique

Le niveau sonore des chaudières à microcogénération à un mètre de distance est compris entre 40 et 60 dB.

Le fonctionnement du moteur *Stirling* entraîne des vibrations pouvant gêner les occupants. Ces vibrations sont transmises par les différentes parois auxquelles est rattaché le système : le mur ou le sol. Par conséquent, il est préférable de fixer les chaudières microcogénération sur des parois lourdes et porteuses plutôt que sur des parois légères.

Une isolation acoustique est la plupart du temps mise en place pour améliorer le confort acoustique des occupants : cette isolation peut être composée d'une feuille en acier galvanisé percée, d'un absorbeur phonique et de laine de roche, le tout renforcé par une tôle extérieure en acier peint.

Comme pour tous les systèmes de chauffage, l'installation doit respecter la réglementation sur le bruit intérieur et sur le bruit extérieur.

Les chaudières à microcogénération

2

2. Sécurité et fonctionnement de l'installation

2.1 Installateurs

L'installation d'une chaudière à microcogénération est identique à celle d'une chaudière traditionnelle du point de vue de l'évacuation des produits de combustion et des raccordements de combustible et hydraulique. Au niveau du raccordement électrique, la chaudière doit avoir un circuit et un disjoncteur qui lui est dédié. Compte tenu de cela, elle doit être mise en place par un professionnel.

La masse de la chaudière étant importante (une centaine de kilogrammes, voire 200 kg dans certains cas), il est important d'être minimum deux personnes pour installer le système. La fixation doit également être analysée attentivement afin d'installer la chaudière sur des parois suffisamment résistantes à cette charge.

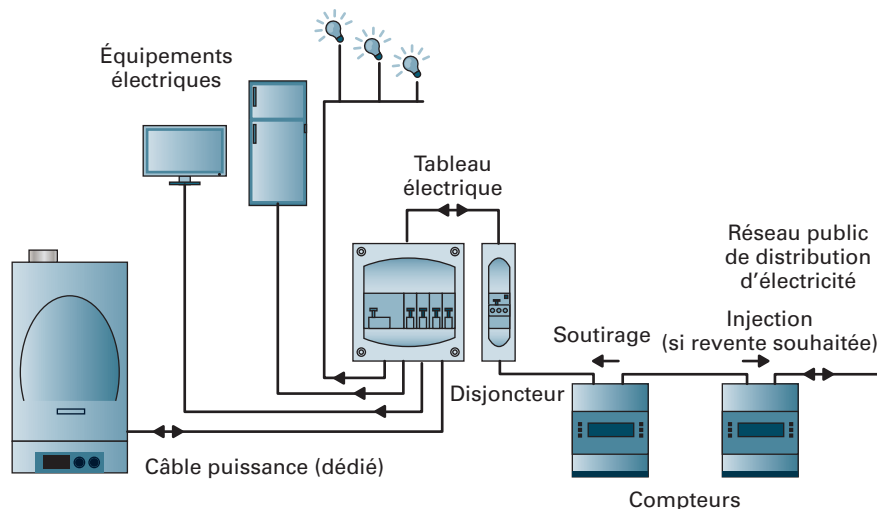


Figure 1 : Schéma de l'installation d'une chaudière à microcogénération

Quelques industriels en proposent sur le marché français. Il existe peu d'installateurs formés à cette nouvelle technologie à ce jour en France car le marché des chaudières à microcogénération en est à ses débuts. Cependant, les premiers retours d'expérience montrent que la chaudière à microcogénération s'installe aussi facilement qu'une chaudière à condensation (la formation des installateurs sera donc facilitée). D'autres pays ont un marché plus développé (Allemagne, Belgique, Pays-Bas), notamment parce que cette technologie correspond bien à leur climat et également au prix de l'énergie.

FICHE PERFORMANCES

2

Les chaudières à microcogénération

Afin d'obtenir l'éco-conditionnalité pour les travaux bénéficiant d'aides financières, les professionnels RGE (Reconnu Garant de l'Environnement) font certifier leurs compétences et leur savoir-faire par un organisme reconnu par l'État. Leur formation spécifique dans le domaine des microcogénérations leur permettent d'apporter leur savoir-faire à l'installation et de faire bénéficier l'utilisateur d'aides financières.

2.2 L'entretien

L'entretien annuel de la chaudière microcogénération ou de l'écogénérateur est obligatoire et identique à celui d'une chaudière traditionnelle.

Pour l'écogénérateur, le moteur *Stirling* étant scellé, il n'y a pas de maintenance spécifique à prévoir pour cette partie de l'équipement.

La maintenance de l'installation peut être effectuée par une entreprise de SAV ou un chauffagiste classique, formé à la technologie dédiée.

3. Environnement

3.1 Énergie

L'installation d'une microcogénération fait réaliser des économies en énergie primaire et réduit le recours aux centrales thermiques polluantes. La production d'électricité par un écogénérateur a essentiellement lieu au moment du chauffage, c'est-à-dire aux heures de pointe de la demande d'électricité. Cette technologie contribue donc à la sécurité d'approvisionnement électrique puisqu'elle agit directement sur ces zones de défaillance. Les pics saisonniers de besoins de chaleur correspondent également aux pics de demande électrique et la microcogénération permet de répondre à ces deux besoins simultanément. Ainsi, en remplaçant les chaudières habituelles par cette technologie, on fournit plus d'unités de production d'électricité pendant les pics de demande, permettant ainsi de lisser les pointes électriques. De plus, la microcogénération récupère les pertes thermiques liées à la production d'électricité pour les réutiliser dans la production de chaleur.

Les systèmes de microcogénération utilisent l'énergie thermique perdue dans le système de production d'énergie mécanique pour chauffer le logement et le fournir en eau chaude sanitaire. Le fait de récupérer cette chaleur maximise le rendement global du système, lui permettant d'atteindre en moyenne 90 % contre environ 60 % pour les technologies classiques. L'économie en énergie primaire de la microcogénération par rapport à une production centralisée d'électricité qui occasionne des pertes entre la production et l'utilisation est de 30 % environ, comme le montre la figure 2.

Les chaudières à microcogénération

2

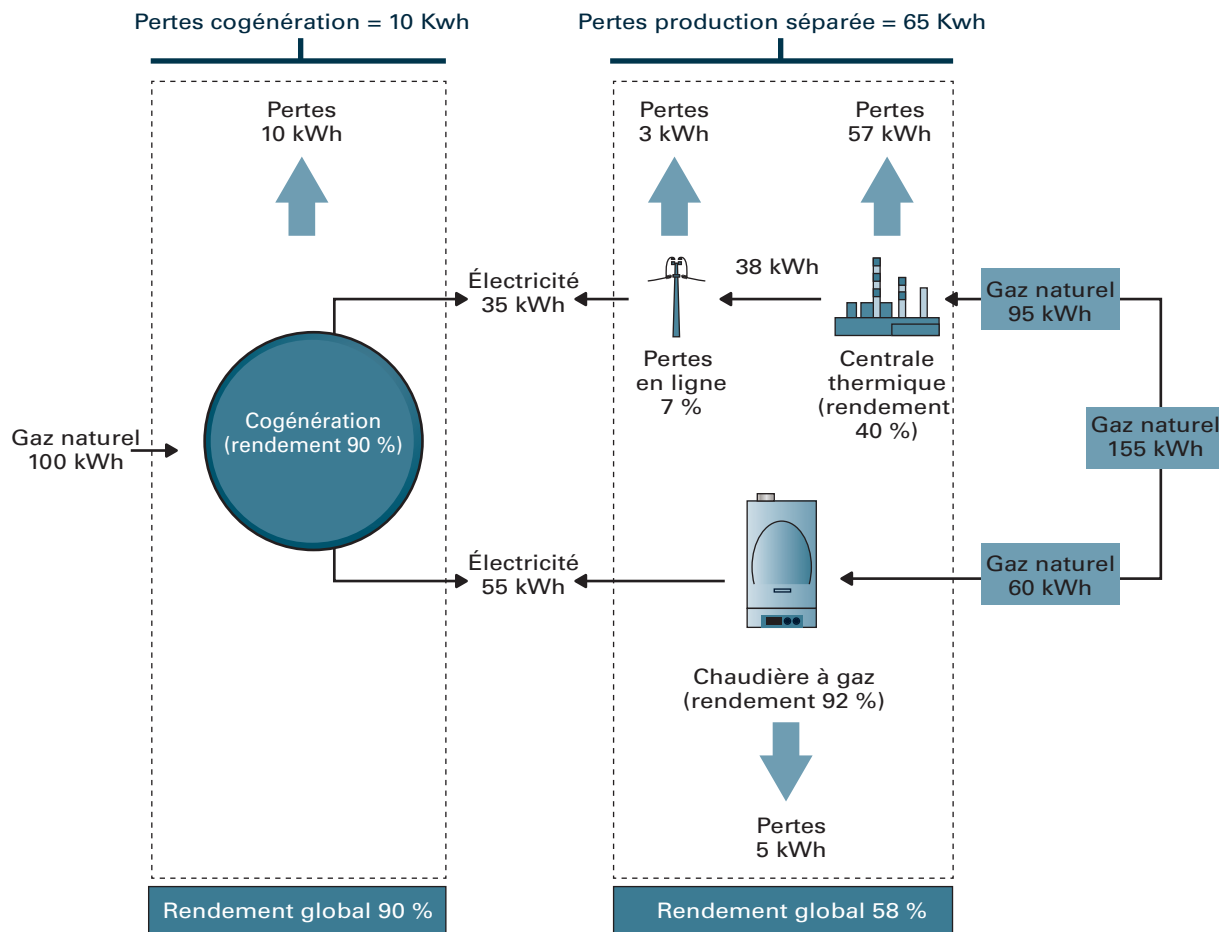


Figure 2 : Les économies en énergie primaire dues à la microcogénération

3.2 Eau

La microcogénération ne participe pas aux économies de consommations d'eau, mais peut participer totalement au chauffage de l'eau chaude sanitaire de l'habitat. Ce mode de chauffage de l'eau comporte donc les mêmes avantages environnementaux que ceux de la production de chauffage par microcogénération.

3.3 Gaz à effet de serre

La quantité de CO₂ émise par la combustion du gaz naturel est de l'ordre de 200 g/kWh. Une unité de microcogénération avec un rendement d'environ 90 % émettra environ 220 g/kWh alors qu'une centrale au gaz naturel avec un rendement de 50 % émettra 400 g/kWh.

FICHE PERFORMANCES

2

Les chaudières à microcogénération

En moyenne, l'utilisation de microcogénération permet de réduire les émissions de CO₂ jusqu'à 30 % par rapport à l'utilisation d'une chaudière à condensation et d'électricité venue de la centrale thermique séparées.

Une microcogénération au gaz naturel est moins émissive en CO₂ que la microcogénération au fioul car la quantité de CO₂ émise par la combustion du fioul est de 281 g/kWh.

4. Durabilité

La durée de vie conventionnelle d'une microcogénération est comparable à celle d'une chaudière de qualité et est d'environ une vingtaine d'années. Les cycles longs optimisent le rendement de la chaudière et améliorent sa durée de vie.

Un moteur à combustion interne a une durée de vie plus limitée qu'un moteur *Stirling*. Des entretiens programmés sont indispensables pour atteindre une durée de vie de 50 000 à 60 000 heures de fonctionnement.

Les poêles à bois

3

1. Description du procédé

Un poêle à bois est un appareil indépendant, doté d'une chambre de combustion, entièrement close avec une ou des porte(s) foyer(s) normalement fermée(s), qui fournit de la chaleur par rayonnement et/ou convection à partir de la combustion du bois sous forme de bûches.

L'appareil fonctionne exclusivement avec du bois bûche comme combustible. Les poêles à bois de nouvelle génération sont désormais munis d'arrivées d'air primaire et secondaire, d'une vitre, d'une évacuation des produits de combustion et de chambres de combustion primaire et secondaire. L'air primaire alimente la base des flammes pour assurer la combustion du bois, tandis que l'air secondaire assure la combustion des gaz dans le foyer.

Les poêles à bois bûche sont dépourvus d'alimentation mécanique en combustible.

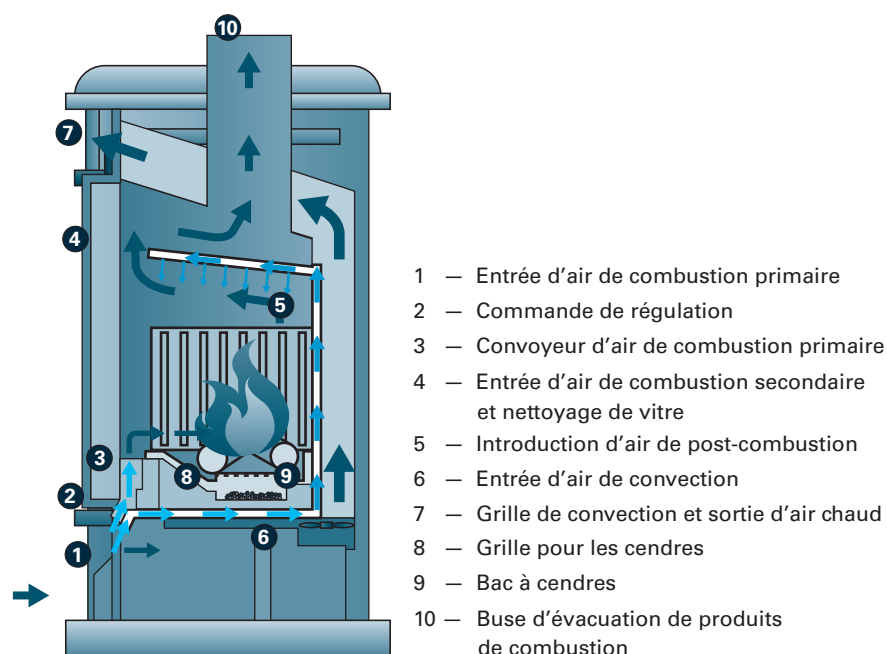


Figure 1 : Schéma d'un poêle à bois bûche

Lorsqu'il est équipé d'un bouilleur, le poêle à bois bûche peut également fournir de l'eau chaude sanitaire et/ou du chauffage central.

FICHE SYNTHÈSE

3

Les poêles à bois

1.1 Les différents types de poêles à bois bûche

Les poêles à bois bûche répondent aux exigences du Règlement Produits de la Construction et sont testés dans un laboratoire notifié pour obtenir leur marquage CE. On peut distinguer 2 familles d'appareils :

- les poêles usuels, conformes à la norme NF EN 13240 ;
- les poêles à libération lente de chaleur, conformes à la norme NF EN 15250.

1.1.1 Les poêles usuels

Les poêles usuels, conformes à la norme NF EN 13240, se différencient les uns des autres, principalement par leur habillage, le corps de chauffe étant de technologie souvent similaire (cf. figure 1) :

- le poêle en fonte ou acier est considéré comme économique. Il a pour caractéristique de monter rapidement en température, mais de ne pas diffuser la chaleur. La chaleur se concentre autour du poêle. Ce type de poêle peut être efficace pour un chauffage d'appoint ou une petite surface ;
- le poêle à inertie est considéré comme performant avec de bonnes qualités d'accumulation et de restitution de chaleur par rayonnement à l'ensemble du volume chauffé, grâce à son habillage qui peut être en pierre, en faïence ou autres matériaux réfractaires. Cette technologie de poêle offre une souplesse de fonctionnement, du fait notamment d'une restitution de chaleur homogène et progressive et d'une bonne autonomie avec un rendement élevé.

Remarque

Ces poêles à inertie ou accumulation de chaleur sont dits « mixtes », car ils combinent un chauffage par rayonnement avec un chauffage par convection (comme dans les poêles plus « classiques » en fonte ou acier) : de l'air est aspiré dans la pièce, canalisé le long du foyer de combustion pour qu'il se chauffe, puis l'air chaud sort du poêle (cf. figure 1).

Ce système permet un chauffage plus rapide de la pièce, mais le poêle chauffera moins longtemps par rayonnement qu'un poêle à accumulation standard, à moins de fermer la trappe de convection d'air chaud, l'option étant disponible sur certains modèles.

1.1.2 Les poêles à libération lente de chaleur

Le poêle à libération lente de chaleur, conforme à la norme NF EN 15250, est entièrement fabriqué avec des matériaux très lourds, comme la pierre ollaire ou la brique, et réfractaires. Il accumule la chaleur dans le matériau dont il est constitué pendant la combustion du bois via un système d'accumulation disposé autour du foyer et de la chambre de combustion.

Les poêles à bois

3

Des accumulateurs secondaires peuvent également se placer entre le poêle et le système d'évacuation des produits de combustion (banc chauffant, muret, etc.). Un poêle à libération lente de chaleur est caractéristique par son poids, qui est sa capacité à stocker la chaleur. Il peut être considéré comme un appareil de chauffage principal, mais ce mode de chauffage par rayonnement implique qu'il soit intégré et placé au centre de l'habitat pour avoir une performance optimale.

Certains de ces systèmes font l'objet d'Avis Techniques.

1.2 Les éléments communs aux poêles à bois bûche

1.2.1 Les éléments constitutifs de l'appareil

Quel que soit le type de poêles à bois bûche, les éléments suivants sont généralement communs à chaque famille d'appareils pour les technologies les plus récentes :

- une entrée d'air de combustion primaire ;
- une entrée d'air de combustion secondaire ;
- une chambre de combustion primaire et secondaire pour permettre le passage de l'air comburant primaire et secondaire ;
- une vitre ou porte foyère ;
- un tiroir à cendres ;
- une buse d'évacuation des produits de combustion.

1.2.2 Les autres composants du système

D'autres composants peuvent être intégrés au poêle à bois bûche selon sa technologie :

- un système permettant l'amenée de l'air de combustion ;
- un système d'accumulation de chaleur ;
- un circuit de production d'eau chaude sanitaire.

A. L'amenée d'air

L'amenée d'air nécessaire au fonctionnement de l'appareil peut être directement prélevée à l'extérieur du logement ou dans le local où est situé l'appareil avec une grille d'amenée d'air frais extérieur.

B. Le système d'accumulation de chaleur

Selon la technologie de poêles à bois bûche, le système d'accumulation de chaleur est un équipement qui peut faire partie intégrante de l'appareil (pour le poêle à libération lente de chaleur), ou être rajouté en tant que revêtement de l'appareil (pour le poêle à inertie).

Pour le poêle de masse à libération lente de chaleur, la chaleur est stockée dans la lourde surface de post-combustion en matériaux réfractaires et restituée lentement par rayonnement de la surface extérieure du poêle pendant 12 à 24 h.

FICHE SYNTHÈSE

3

Les poêles à bois

Pour le poêle à inertie, c'est le matériau réfractaire qui habille le foyer en acier ou en fonte qui permet d'accumuler la chaleur et de la restituer par rayonnement pendant une durée maximum de 6 h.

C. La production d'eau chaude sanitaire

Les poêles à bois bûche existent aussi avec production d'eau chaude ; on les appelle poêles chaudière, poêles bouilleur ou encore poêles à production d'eau chaude. L'eau transite au-dessus du foyer et est chauffée par un échangeur eau-air utilisant les fumées chaudes issues de la combustion des granulés. L'eau chauffée vient ainsi alimenter le circuit d'eau chaude du logement pour chauffer la maison, alimenter les radiateurs ou encore produire de l'eau chaude sanitaire. Le poêle bouilleur à bois bûche peut être placé en parallèle d'une autre installation de chauffage.

1.2.3 Le combustible

La qualité du chauffage et la combustion dépendent beaucoup des caractéristiques du combustible. Pour optimiser le fonctionnement de l'appareil de chauffage, il est primordial :

- d'utiliser du bois sec avec des bûches de longueur adaptée (25 cm, 33 cm, 50 cm et 1 m) à la taille de la chambre de combustion ;
- de privilégier une essence de bois dur.

Pour une bonne efficacité lors de sa combustion, le taux d'humidité du combustible doit être inférieur à 20 %.

Remarque

Un bois bûche à 30 ou 40 % d'humidité occasionne une perte de près de 25 % du rendement énergétique comparé à une bûche disposant d'un taux d'humidité de 20 %. Un combustible humide nuit au bon fonctionnement de l'appareil et accentue la formation de particules fines, dangereuses pour la santé humaine.

Le bois doit être entreposé au moins 2 ans dans un endroit sec et aéré. Pour faire sécher son bois dans les meilleures conditions, il suffit de le déposer sous un abri en laissant les côtés bien ouverts pour une ventilation efficace et en évitant de le poser à même le sol.

Le pouvoir calorifique du bois bûche varie en fonction de la nature du bois et de l'essence. Les essences de bois sont classées en deux grandes familles selon leur densité :

- Les feuillus dits « bois durs » (chêne, charme, hêtre, érable, bouleau, châtaignier, frêne, noyer, fruitier, etc.) ;
- Les feuillus dits « bois tendres » (aulne, peuplier, tilleul, etc.).

Les poêles à bois

3

L'utilisation de feuillus durs comme combustible permet d'obtenir de meilleurs rendements que les feuillus tendres. C'est l'essence la plus appréciée pour le chauffage domestique avec une combustion qui dure longtemps.

Les feuillus tendres et les résineux prennent feu plus facilement et brûlent plus vite. Ils sont appréciés pour leur montée rapide en température. Ils conviennent bien pour allumer un feu. L'usage du bois bûche issu de résineux (douglas, épicéa, sapin, pin, mélèze, saule, etc.) doit de façon générale être limité car les températures de fumée sont plus élevées et la résine issue de ces essences encrasse le conduit de fumée et l'appareil, accentuant les risques de bistrage.

Remarque

Il existe en France une certification et une marque de qualité qui offrent des garanties quant à la nature du combustible, son degré d'humidité, son pouvoir calorifique :

- Certification « NF Biocombustibles – bois de chauffage » ;
- Marque « France Bois Bûche ».

1.2.4 Le système d'évacuation des produits de combustion

Un poêle à bois bûche doit être raccordé à un conduit d'évacuation des produits de combustion, dans les conditions suivantes :

- l'air comburant peut être prélevé directement à l'extérieur du logement ou dans le local où est situé l'appareil avec une grille d'amenée d'air frais extérieur ;

Remarque

Dans le cas où la prise d'air est dans la pièce, l'amenée d'air comburant doit être permanente et respecter les dispositions de l'arrêté du 23 février 2009 relatif à la prévention des intoxications par le monoxyde de carbone dans les locaux à usage d'habitation.

- le conduit de fumée raccordé à l'appareil doit être traditionnel et sa conception doit respecter les dispositions du NF DTU 24.1 ;
- le débouché du système d'évacuation des produits de combustion doit respecter l'article 18 de l'arrêté du 22 octobre 1969.

FICHE SYNTHÈSE

3

Les poêles à bois

2. Domaine d'emploi et champ d'application

2.1 Domaine d'emploi

Tableau 1 : Fonctions possibles

Fonctions possibles	Chauffage	Eau chaude sanitaire	Climatisation ou rafraîchissement	Ventilation	Solaire
Poêle à bois bûche	X				
Poêle bouilleur à bois bûche	X	X			

Tableau 2 : Domaine d'emploi

Type d'installation Poêle à bois bûche		Installation individuelle ¹	Installation Collective ²
Résidentiel	Maison Individuelle	X	
	Logement Collectif	X	
Tertiaire			

1. Installation individuelle : une unité de production par logement
2. Installation collective : production centralisée desservant tous les logements ou toutes les zones d'un bâtiment

2.2 Champ d'application

L'installation d'un poêle à bois bûche pour sa fonction principale de production de chaleur :

- est possible en rénovation aussi bien que dans les bâtiments neufs ;
- est adaptée à une utilisation en résidentiel pour des habitations individuelles.

Les poêles à bois

3

Remarque

- Pour les constructions neuves, la RT 2012 précise par une fiche d'application les modalités de prise en compte dans les habitations individuelles des appareils indépendants de chauffage au bois dotés d'un dispositif d'arrêt manuel et de réglage automatique en fonction de la température intérieure.
- Pour les bâtiments existants, la RT existant globale précise par un titre V (arrêté du 17/04/2015) les modalités de prise en compte des appareils indépendants de chauffage au bois. La RT existant par élément impose des rendements minimum pour les poêles à bois supérieurs à 65 %.
- En rénovation d'une habitation individuelle, l'installation d'un poêle à bois bûche nécessite un diagnostic préalable de la ventilation existante des locaux.

3. Caractéristiques et performances

Les normes NF EN 13240 et NF EN 15250 définissent, entre autres, les exigences relatives aux performances (rendement et émissions) des poêles à bois bûche d'une part, et des poêles de masse d'autre part, ainsi que les méthodes correspondantes pour déterminer les caractéristiques de ces appareils, à savoir :

- Pour les poêles à bois bûche :
 - la puissance ou la gamme de puissance calorifique nominale ;
 - la puissance calorifique émise dans la pièce ;
 - la puissance calorifique délivrée à l'eau (si l'appareil est équipé d'une chaudière) ;
 - la classification de l'appareil (cf. tableau 3) ;
 - la distance minimale au matériau combustible ;
 - la température des produits de combustion ;
 - la pression maximale de service.

Les exigences minimum définies dans la norme NF EN 13240 pour les poêles à bois bûche imposent selon différentes classes un rendement énergétique minimum et des émissions minimum de CO à la puissance calorifique nominale.

FICHE SYNTHÈSE

3

Les poêles à bois

Tableau 3 : Exigences de performances, NF EN 13240

Classe	Rendement minimum η (%)	Emissions de CO (%) à 13 % d'O ₂
Classe 1	$\eta \geq 70$	CO $\leq 0,3$
Classe 2	$60 \leq \eta < 70$	$0,3 < \text{CO} \leq 1$
Classe 3	$50 \leq \eta < 60$	

- Pour les poêles à libération lente de chaleur :
 - le rendement énergétique ;
 - les émissions de CO à 13 % d'O₂ ;
 - la distance minimale au matériau combustible ;
 - la température des produits de combustion ;
 - la puissance thermique ;
 - la capacité de stockage thermique.

Les exigences minimum définies dans la norme NF EN 15250 pour les poêles de masse imposent un rendement supérieur ou égal à 70 % et des émissions de CO à 13 % d'O₂ inférieures à 0,3 %.

Remarque

Le Label « Flamme Verte » est un label de qualité des appareils de chauffage indépendants au bois. Depuis Janvier 2010, le label identifie les appareils les plus performants sur le plan énergétique et environnemental en leur attribuant de 1 à 5 étoiles. Les exigences d'obtention du label se sont renforcées depuis le 1^{er} janvier 2015 : elles ne se limitent plus qu'aux seuls appareils dotés de 5 étoiles, et deux nouvelles classes supérieures à 6 et 7 étoiles sont apparues. Pour les appareils fonctionnant au bois bûche, les exigences minimum requises sont un rendement énergétique supérieur à 70 %, des émissions de CO inférieures à 0,3 % et des émissions de particules fines inférieures à 90 mg/Nm³.

Les poêles à bois

3

1. Critère d'analyse : conception, mise en œuvre, exploitation

1.1 Conception et dimensionnement

La conception d'une installation avec un poêle à bois bûche doit respecter les préconisations de la norme NF EN 13240 et du NF DTU 24.1, ainsi que les dispositions vis-à-vis de l'amenée d'air comburant fixées dans l'arrêté CO du 23 février 2009 relatif à la prévention des intoxications par le monoxyde de carbone dans les locaux à usage d'habitation.

La pièce de raccordement éventuelle entre la sortie de l'appareil et les conduits d'évacuation des produits de combustion est définie par le fabricant. Le diamètre du conduit d'évacuation des produits de combustion doit être supérieur ou égal au diamètre de la buse.

La conception d'une installation avec un poêle de masse doit respecter les préconisations de la norme NF EN 15250 et de l'Avis Technique de l'appareil, s'il y en a un.

Le dimensionnement de l'installation doit être réalisé selon les dispositions de la norme NF EN 13384-1, sur la base des caractéristiques suivantes de l'appareil :

- la puissance calorifique ;
- le rendement ;
- le taux de CO₂ ;
- la température des fumées ;
- le débit des fumées ;
- la dépression à la buse.

Quel que soit l'appareil raccordé, le conduit d'évacuation des produits de combustion est traditionnel et sa conception doit respecter l'arrêté du 22 Octobre 1969 et le NF DTU 24.1.

1.2 Mise en œuvre

La mise en œuvre doit être réalisée par une entreprise qualifiée pour ces travaux et formée aux techniques spécifiques de montage.

Les entrées d'air frais doivent respecter les dispositions de l'arrêté CO du 23 février 2009.

Les distances minimales de sécurité de l'appareil par rapport aux éléments de la construction (mur, plafond, etc.) et aux matériaux combustibles figurent dans l'Avis Technique ou la notice de l'appareil. Les distances de sécurité du conduit d'évacuation des produits de combustion doivent être respectées conformément au NF DTU 24.1.

Il est interdit d'installer le poêle à bois bûche dans les salles d'eau et WC. Il est également interdit d'installer l'appareil dans un espace non ventilé.

FICHE PERFORMANCES

3

Les poêles à bois

1.3 Exploitation

1.3.1 Confort thermique

Le bon fonctionnement d'un poêle à bois bûche nécessite un dimensionnement juste de l'appareil au regard du besoin du logement.

Les critères essentiels pour un bon confort thermiques sont :

- une température de parois (murs, sols, baies) légèrement supérieure à celle de l'air ;
- une hygrométrie stable ;
- une faible vitesse de circulation d'air (inférieure à 2 m/s).

Le poêle à convection réchauffe l'air et peut également produire de l'air chaud dans la pièce où il se situe, mais aussi dans les autres pièces du logement via un système de distribution d'air chaud. Le poêle à convection est plus rapide, plus réactif que les poêles à rayonnement ou à longue inertie. Par contre, en réchauffant d'abord l'air, le chauffage par convection procure de nombreux désagréments tels que des courants d'air désagréables, des déperditions de chaleur d'une pièce à l'autre, de la condensation sur les surfaces froides, et surtout le dessèchement de l'air.

Le poêle à rayonnement est un chauffage basse température qui transmet la chaleur à des masses (poêles, bâti, murs, ...), qui la restituent à la pièce. Le chauffage par rayonnement réchauffe directement les corps solides environnants (murs, sols, corps, etc.) ; il n'assèche pas l'air, la température est bien homogène et il ne brasse pas de poussières. La condensation sur les parois froides et la circulation de l'air sont supprimées. Alors que la température de l'air peut rester fraîche, le rayonnement donne la sensation d'être enveloppé par une chaleur très douce.

1.3.2 Confort acoustique

Le poêle à bois bûche est vraisemblablement destiné à être installé dans une pièce de vie d'un logement. Il est par nature relativement silencieux.

Remarque

Les équipements de chauffage sont soumis à la nouvelle réglementation acoustique. Les niveaux de pression acoustique acceptables sont ceux définis dans l'arrêté du 30 juin 1999 relatif aux caractéristiques acoustiques des bâtiments d'habitation :

- 35 dB(A) dans les pièces principales ;
- 50 dB(A) dans la cuisine.