



PROGRAMME D'ACCOMPAGNEMENT DES PROFESSIONNELS
« Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »
www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr

GUIDE

**CHAUDIÈRES À MICRO-
COGÉNÉRATION À MOTEUR
STIRLING FONCTIONNANT
AU GAZ NATUREL EN HABITAT
INDIVIDUEL**

CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT

SEPTEMBRE 2015

NEUF

ÉDITO

Le Grenelle Environnement a fixé pour les bâtiments neufs et existants des objectifs ambitieux en matière d'économie et de production d'énergie. Le secteur du bâtiment est engagé dans une mutation de très grande ampleur qui l'oblige à une qualité de réalisation fondée sur de nouvelles règles de construction.

Le programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » a pour mission, à la demande des Pouvoirs Publics, d'accompagner les quelque 370 000 entreprises et artisans du secteur du bâtiment et l'ensemble des acteurs de la filière dans la réalisation de ces objectifs.

Sous l'impulsion de la CAPEB et de la FFB, de l'AQC, de la COPREC Construction et du CSTB, les acteurs de la construction se sont rassemblés pour définir collectivement ce programme. Financé dans le cadre du dispositif des certificats d'économies d'énergie grâce à des contributions importantes d'EDF (15 millions d'euros) et de GDF SUEZ (5 millions d'euros), ce programme vise, en particulier, à mettre à jour les règles de l'art en vigueur aujourd'hui et à en proposer de nouvelles, notamment pour ce qui concerne les travaux de rénovation. Ces nouveaux textes de référence destinés à alimenter le processus normatif classique seront opérationnels et reconnus par les assureurs dès leur approbation ; ils serviront aussi à l'établissement de manuels de formation.

Le succès du programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » repose sur un vaste effort de formation initiale et continue afin de renforcer la compétence des entreprises et artisans sur ces nouvelles techniques et ces nouvelles façons de faire. Dotées des outils nécessaires, les organisations professionnelles auront à cœur d'aider et d'inciter à la formation de tous.

Les professionnels ont besoin rapidement de ces outils et « règles du jeu » pour « réussir » le Grenelle Environnement.

Alain MAUGARD

Président du Comité de pilotage du Programme
« Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »
Président de QUALIBAT



PROGRAMME D'ACCOMPAGNEMENT DES PROFESSIONNELS

« Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »

Ce programme est une application du Grenelle Environnement. Il vise à revoir l'ensemble des règles de construction, afin de réaliser des économies d'énergie dans le bâtiment et de réduire les émissions de gaz à effet de serre.

www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr

AVANT- PROPOS

Afin de répondre au besoin d'accompagnement des professionnels du bâtiment pour atteindre les objectifs ambitieux du Grenelle Environnement, le programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » a prévu d'élaborer les documents suivants :

Les **Recommandations Professionnelles** « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont des documents techniques de référence, préfigurant un avant-projet NF DTU, sur une solution technique clé améliorant les performances énergétiques des bâtiments. Leur vocation est d'alimenter soit la révision d'un NF DTU aujourd'hui en vigueur, soit la rédaction d'un nouveau NF DTU. Ces nouveaux textes de référence seront reconnus par les assureurs dès leur approbation.

Les **Guides** « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont des documents techniques sur une solution technique innovante améliorant les performances énergétiques des bâtiments. Leur objectif est de donner aux professionnels de la filière les règles à suivre pour assurer une bonne conception, ainsi qu'une bonne mise en œuvre et réaliser une maintenance de la solution technique considérée. Ils présentent les conditions techniques minimales à respecter.

Les **Calepins de chantier** « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont des mémentos destinés aux personnels de chantier, qui illustrent les bonnes pratiques d'exécution et les dispositions essentielles des Recommandations Professionnelles et des Guides « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 ».

Les **Rapports** « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » présentent les résultats soit d'une étude conduite dans le cadre du programme, soit d'essais réalisés pour mener à bien la rédaction de Recommandations Professionnelles ou de Guides.

Les **Recommandations Pédagogiques** « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont des documents destinés à alimenter la révision des référentiels de formation continue et initiale. Elles se basent sur les éléments nouveaux et/ou essentiels contenus dans les Recommandations Professionnelles ou Guides produits par le programme.

L'ensemble des productions du programme d'accompagnement des professionnels « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » est mis gratuitement à disposition des acteurs de la filière sur le site Internet du programme : <http://www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr>



Sommaire

1 - Domaine d'application	6
2 - Références	7
2.1. • Références réglementaires	7
2.2. • Références normatives	8
2.3. • Autres documents	9
3 - Définitions	11
4 - Description des systèmes	12
4.1. • Composants d'une chaudière à micro-cogénération	12
4.2. • Principe général du moteur Stirling	14
5 - Etude de faisabilité	17
5.1. • Calcul des déperditions	17
5.1.1. • Principe du calcul des déperditions	17
5.1.2. • Déperditions surfaciques par transmission à travers les parois	18
5.1.3. • Déperditions linéiques aux liaisons des différentes parois	18
5.1.4. • Déperditions par renouvellement d'air et infiltrations	18
5.1.5. • La température extérieure de base du lieu	19
5.2. • Caractéristiques techniques d'une chaudière à micro-cogénération	20
5.2.1. • Vérification de la couverture totale des besoins par la chaudière à micro-cogénération	21
5.2.2. • Performance électrique et consommation directe de l'électricité produite	23
5.3. • Spécifications acoustiques	24
5.3.1. • Réglementation sur le bruit intérieur	24
5.3.2. • Réglementation sur le bruit de voisinage	24
6 - Implantation de la chaudière à micro-cogénération	26
6.1. • Spécifications d'implantation	26
6.2. • Ventilation du local	28
7 - Schémas hydrauliques	29
7.1. • Circuit avec volume tampon à quatre piquages	30
7.2. • Circuit avec ballon d'eau chaude sanitaire et alimentation directe du circuit de chauffage	32
8 - Régulation de la chaudière à micro-cogénération	34

9 - Spécificités des raccordements hydrauliques, de gaz et d'évacuation des produits de combustion 35

9.1. • Raccordement hydraulique	35
9.1.1. • Accessoires hydrauliques de protection de la chaudière à micro-cogénération	36
9.1.2. • Circulateur	37
9.1.3. • Vase d'expansion.....	37
9.1.4. • Vanne directionnelle de priorité eau chaude sanitaire.....	38
9.2. • Raccordement gaz.....	39
9.3. • Evacuation des produits de combustion et des condensats.....	39
9.3.1. • Evacuation des produits de combustion.....	40
9.3.2. • Evacuation des condensats	41

10 - Raccordement électrique 42

10.1. • Protection de découplage	42
10.2. • Réalisation du raccordement	43
10.3. • Revente du surplus de production électrique.....	44

11 - Démarches administratives pour le raccordement électrique 45

11.1. • Démarches obligatoires pour le raccordement d'une chaudière à micro-cogénération au réseau public de distribution d'électricité	46
11.2. • Démarches supplémentaires à effectuer en cas de revente du surplus d'électricité produite	47

1

Domaine d'application



Ce guide traite des installations de chaudières à micro-cogénération :

- De puissance électrique produite de l'ordre du kilowatt ;
- A moteur Stirling ;
- Fonctionnant au gaz naturel ;
- Destinées au chauffage. La production d'eau chaude sanitaire pourra également être assurée par la chaudière.

Il concerne l'habitat individuel lors d'une construction neuve.

Il fournit les prescriptions relatives à la conception et au dimensionnement de l'installation de chaudière à micro-cogénération mais aussi des composants du circuit hydraulique (circulateur...) ainsi que des émetteurs et de la régulation.

Les émetteurs alimentés peuvent être des radiateurs ou des planchers chauffants.

Les spécifications des raccordements aux réseaux de gaz et d'électricité ainsi que la fumisterie sont également traitées.

Bien que ces produits puissent être installés en production centrale (mini-chaufferie) ou en production individuelle en logement collectif, ces applications ne sont pas traitées dans ce guide.



Références

2



2.1. • *Références réglementaires*

- Directive européenne 2009/142/CE du 30 novembre 2009 concernant les appareils à gaz
- Directive européenne 2004/8/CE du 11 février 2004 concernant la promotion de la cogénération sur la base de la demande de chaleur utile dans le marché intérieur de l'énergie en modifiant la directive 92/42/CE
- Article R231-72 du Code du travail relatif aux charges maximales pouvant être soulevée par un travailleur
- Circulaire du 9 août 1978 modifiée relative à la révision du Règlement Sanitaire Départemental Type (RSDT)
- Arrêté du 22 octobre 1969 relatif aux conduits de fumée desservant les logements
- Arrêté du 2 août 1977 modifié relatif aux règles techniques et de sécurité applicables aux installations de gaz combustibles et d'hydrocarbures liquéfiés situées à l'intérieur des bâtiments ou de leurs dépendances
- Arrêté du 23 juin 1978 modifié relatif aux installations fixes destinées au chauffage et à l'alimentation en eau chaude sanitaire des bâtiments d'habitation et de bureaux ou recevant du public
- Arrêtés du 30 juin 1999 relatifs aux caractéristiques acoustiques des bâtiments d'habitation et aux modalités d'application de la réglementation acoustique
- Décret et arrêté du 24 décembre 2007 relatifs aux niveaux de qualité et aux prescriptions techniques en matière de qualité des réseaux publics de distribution et de transport d'électricité



- Article R1334-33 du Code de la Santé publique, relatif à la valeur d'émergence globale en période diurne et en période nocturne
- Décret du 23 avril 2008 relatif aux prescriptions techniques générales de conception et de fonctionnement pour le raccordement d'installations de production aux réseaux publics d'électricité
- Arrêté du 23 avril 2008 relatif aux prescriptions techniques de conception et de fonctionnement pour le raccordement à un réseau public de distribution d'électricité en basse tension ou en moyenne tension d'une installation de production d'énergie électrique
- Arrêté du 26 Octobre 2010 relatif aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments
- Arrêté du 22 novembre 2011 portant modification de l'arrêté du 17 octobre 1973 portant agrément du Comité national pour la Sécurité des usagers de l'électricité (CONSUEL) pour exercer le contrôle de la conformité des installations électriques intérieures aux règlements et normes en vigueur
- Annexe de l'arrêté du 22 novembre 2011 : Règlement d'intervention du CONSUEL

2.2. • *Références normatives*

- NF DTU 24.1 : Travaux de fumisterie – Systèmes d'évacuation des produits de combustion desservant un ou des appareils
- NF DTU 60.1: Plomberie sanitaire pour bâtiments
- NF DTU 60.11 : Règles de calcul des installations de plomberie sanitaire et d'eaux pluviales
- NF DTU 61.1 : Installations de gaz dans les locaux d'habitation
- NF DTU 65.14 : Travaux de bâtiments – Exécution de planchers chauffants à eau chaude
- NF DTU 68.3 : Installations de ventilation mécanique
- NF EN 1264-1, Systèmes de surfaces chauffantes et rafraîchissantes hydrauliques intégrées Partie 1 : Définitions et symboles
- NF EN 1264-2, Systèmes de surfaces chauffantes et rafraîchissantes hydrauliques intégrées Partie 2 : Chauffage par le sol : méthode de démonstration pour la détermination de l'émission thermique utilisant des méthodes par le calcul et à l'aide de méthodes d'essai
- NF EN 1264-3, Systèmes de surfaces chauffantes et rafraîchissantes hydrauliques intégrées Partie 3 : Dimensionnement

- NF EN 1264-4, Systèmes de surfaces chauffantes et rafraîchissantes hydrauliques intégrées Partie 4 : Installation
- NF EN 1264-5, Systèmes de surfaces chauffantes et rafraîchissantes hydrauliques intégrées Partie 5 : Surfaces chauffantes et rafraîchissantes intégrées dans les sols, les plafonds et les murs – Détermination de l'émission thermique
- NF EN 1717, Protection contre la pollution de l'eau dans les réseaux intérieurs et exigences générales des dispositifs de protection contre la pollution par retour
- NF EN 12828, Systèmes de chauffage dans les bâtiments – Conception des systèmes de chauffage à eau
- NF EN 12831, Systèmes de chauffage dans les bâtiments – Méthode de calcul des déperditions calorifiques de base
- NF EN 15316-4-4, Systèmes de chauffage dans les bâtiments – Méthode de calcul des besoins énergétiques et des rendements des systèmes Partie 4-4 : systèmes de génération de chaleur, systèmes de co-génération intégrés au bâtiment
- NF P 52-612/CN, Systèmes de chauffage dans les bâtiments – Méthode de calcul des déperditions calorifiques de base – Complément national à la norme NF EN 12831 – Valeurs par défaut pour les calculs des articles 6 à 9
- NF EN 1443 : Conduits de fumée – Exigences générales
- FD CEN/TR 1749 : Modèle européen pour la classification des appareils utilisant les combustibles gazeux selon le mode d'évacuation des produits de combustion (types)
- NF C 14-100 : Installation de branchement à basse tension
- NF C 15-100 : Règles d'installations électriques à basse tension
- Guide UTE C 15-400 : Raccordement des générateurs d'énergie électriques dans les installations alimentées par un réseau public de distribution
- DIN VDE 0126-1-1 : Dispositif de déconnexion automatique entre un générateur et le réseau public basse tension
- NF EN 50438 : Prescription pour le raccordement de micro-cogénérateurs en parallèle avec les réseaux publics de distribution à basse tension

2.3. • *Autres documents*

- Cahier des Prescriptions Techniques relatif à la conception et la mise en œuvre des planchers réversibles à eau basse température (cahier du CSTB n° 3164, octobre 1999)



- Cahier des Prescriptions Techniques relatif aux systèmes de canalisations sous pression à base de tubes en matériaux de synthèse : tubes en couronnes et en barres (cahier du CSTB n° 2808-V2, novembre 2011)
- Installation de Gaz : Le guide Qualigaz, Edition 2011, Qualigaz (et son additif)

Définitions

3



Cogénération

La cogénération est la production simultanée d'une énergie mécanique (le plus souvent transformée en électricité) et d'une énergie thermique à partir d'une source unique d'énergie primaire.

Chaudière à micro-cogénération

Dans ce guide, il est désigné par chaudière à micro-cogénération un système :

- Régulé sur les besoins thermiques du bâtiment (chauffage avec ou sans production d'eau chaude sanitaire) et assurant la totalité de ses besoins thermiques ;
- Fonctionnant au gaz naturel provenant du réseau public de distribution ;
- Intégrant un moteur Stirling pour la production d'électricité ;
- Produisant environ un kilowatt électrique.

4

Description des systèmes

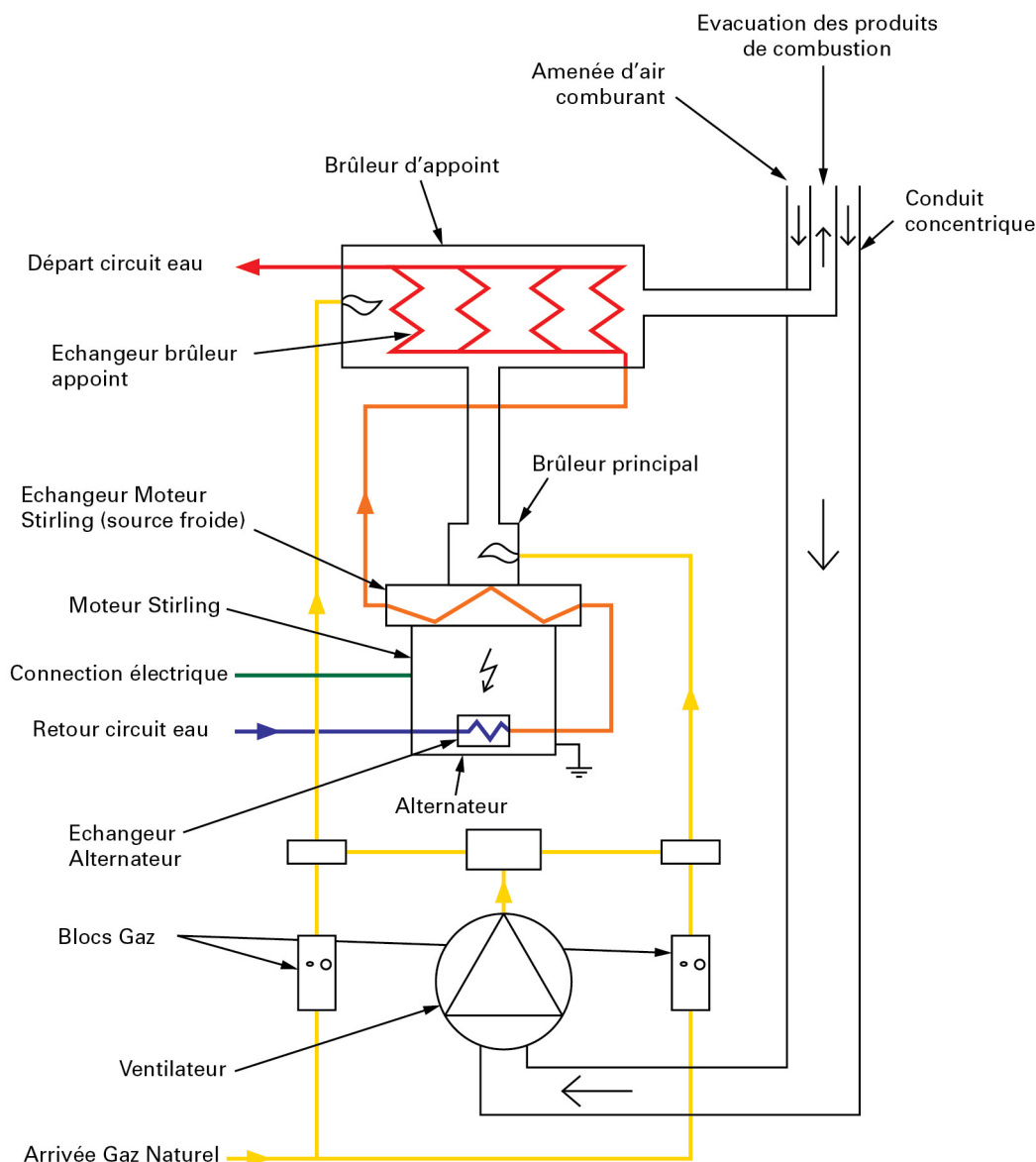


Dans ce document, seules les chaudières à micro-cogénération à moteur Stirling fonctionnant au gaz naturel telles que définies dans le chapitre « Définitions » (cf. 3) sont traitées.

4.1. • Composants d'une chaudière à micro-cogénération

Une chaudière à micro-cogénération intègre généralement cinq éléments principaux :

- Un brûleur principal (fonctionnant au gaz naturel) destiné à participer à la fois aux besoins de chaleur et au fonctionnement du moteur Stirling ;
- Le moteur Stirling permettant de créer, à partir de l'énergie thermique (issue du brûleur principal), un mouvement mécanique ;
- Un alternateur produisant l'électricité (environ un kilowatt électrique) à partir de l'énergie mécanique fournie par le moteur Stirling ;
- Un brûleur d'appoint (fonctionnant au gaz naturel) qui apporte le complément d'énergie pour subvenir à la totalité des besoins thermiques du bâtiment ;
- Un système de régulation piloté par rapport au besoin thermique.



▲ Figure 1 : Schéma de principe d'une chaudière à micro-cogénération

En complément de ces principaux composants, différents accessoires peuvent être intégrés aux chaudières :

- Bloc(s) gaz ;
- Circulateur ;
- Vase d'expansion ;
- Echangeur pour la production d'eau chaude sanitaire (selon les modèles) ;
- Vanne de priorité eau chaude sanitaire (suivant le modèle et le type de montage) ;
- Purgeur d'air ;
- Pot de décantation et/ou filtre à tamis ;
- Siphon d'évacuation des condensats ;
- Ventilateur ;
- Dispositif de découplage électrique ;

- Dispositif de protection anti-pollution ;
- Soupape de sécurité...

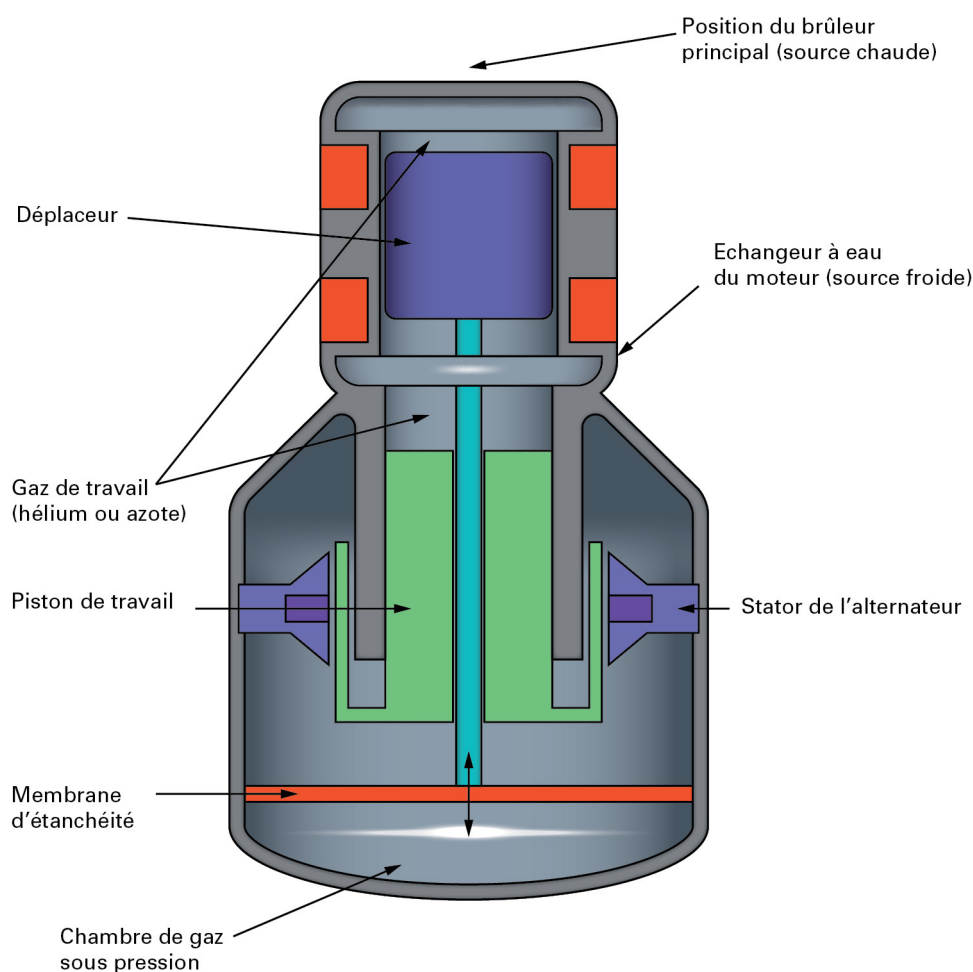
La majorité des accessoires couramment intégrés aux chaudières à micro-cogénération sont listés ci-dessus. D'autres accessoires (éventuellement externes à la chaudière) peuvent être ajoutés en complément par le fabricant. Ces accessoires sont souvent asservis et alimentés par la chaudière.



Certains fabricants n'intègrent pas dans la chaudière à micro-cogénération l'ensemble des accessoires couramment intégrés dans une chaudière classique. Ils sont alors externes et sont fournis ou spécifiés par le fabricant.

4.2. • Principe général du moteur Stirling

La (Figure 2) est un schéma de principe du moteur Stirling.



▲ Figure 2 : Schéma de principe d'un moteur Stirling

Le moteur Stirling est un moteur à combustion externe. La combustion de l'énergie primaire s'effectue en dehors de la chambre des pistons.

Il est composé :

- D'un piston dit « déplaceur » (placé à proximité de la source chaude) permettant le déplacement du fluide de travail entre les deux pistons. Ce piston est, dans certains cas, relié à l'alternateur (suivant le type de moteur retenu) ;
- D'un piston dit « de travail » ou « piston moteur » (placé à proximité de la source froide qui est, dans le cas de la chaudière à micro-cogénération, l'eau de chauffage) relié à l'alternateur ;
- D'un régénérateur de chaleur placé sur la liaison de gaz de travail entre les deux chambres des deux pistons. Il permet de récupérer une partie de la chaleur contenue dans le gaz de travail lors de son passage du piston « chaud » au piston « froid » et de la restituer lorsque le gaz circule en sens inverse. Cet élément permet d'augmenter le rendement du moteur ;
- D'un gaz de travail enfermé dans les chambres supérieures des deux pistons. Ce gaz fournit l'énergie aux pistons. C'est généralement de l'azote ou de l'hélium.



La source froide (l'eau du circuit de chauffage) doit permettre de refroidir le moteur Stirling aussi bien en fonctionnement que durant sa phase d'arrêt qui débute à l'arrêt du brûleur principal. En effet, du fait de la forte inertie du gaz de travail, le moteur Stirling continue à fonctionner suite à l'interruption de la source chaude (brûleur principal).

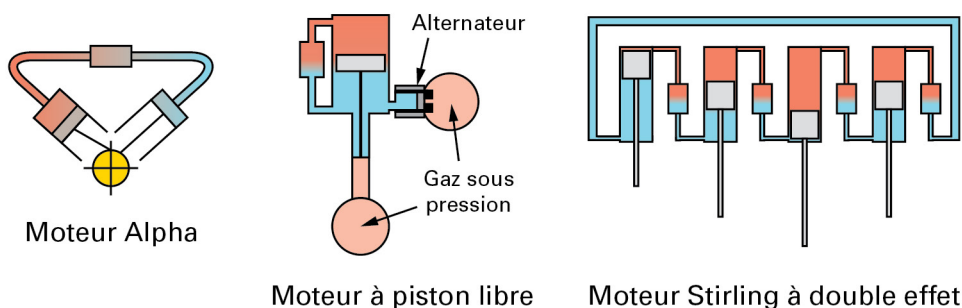
A ce jour, plusieurs types de moteurs Stirling existent. Ils sont caractérisés par deux aspects principalement :

- Le positionnement des pistons l'un par rapport à l'autre ;
- Leur liaison entre eux.

Plusieurs types de moteurs Stirling peuvent être présents dans les chaudières à micro-cogénération :

- Le moteur Alpha, caractérisé par un angle d'environ 40 à 60° réalisé entre le déplaceur et le piston de travail. Les deux pistons sont reliés mécaniquement sur le même axe (système bielle manivelle) ;
- Le moteur dit à piston libre. Le déplaceur et le piston de travail peuvent être orientés à 90°. La particularité de ce moteur est que chaque piston est relié à une chambre de gaz maintenue sous pression : il n'y a aucun lien mécanique entre le déplaceur et le piston de travail ;

- Le moteur Stirling à double effet, les quatre pistons le constituant sont reliés les uns aux autres. Chaque piston joue le rôle de déplaceur puis de piston de travail. Mécaniquement, les quatre pistons sont reliés par un vilebrequin ou un système mécanique créant un mouvement rotatif.



▲ **Figure 3** : Les trois types de moteur Stirling les plus rencontrés sur les chaudières à micro-cogénération

Etude de faisabilité

5



L'étude de faisabilité permet de vérifier que la chaudière à micro-cogénération peut subvenir aux besoins thermiques du bâtiment auquel elle est raccordée. Cette étude est également essentielle afin d'estimer la production électrique (et, a fortiori, la rentabilité de la chaudière).

5.1. • *Calcul des déperditions*

Les déperditions thermiques sont calculées selon la norme NF EN 12831 et le complément national NF P 52-612/CN.

5.1.1. • Principe du calcul des déperditions

Les déperditions se décomposent en :

- Déperditions surfaciques à travers les parois (murs, fenêtres, portes, toit, plancher) ;
- Déperditions linéiques au niveau des liaisons des différentes parois, comme par exemple le mur et le plancher ;
- Déperditions par renouvellement d'air par les bouches d'entrée d'air par ventilation naturelle ou mécanique ;
- Déperditions par les infiltrations : jointures des huisseries des fenêtres, des portes, par les trous en façade...

Les déperditions sont calculées pour les pièces dont le chauffage est assuré par la chaudière à micro-cogénération.

5.1.2. • Déperditions surfaciques par transmission à travers les parois

Les déperditions surfaciques sont calculées à partir de la formule suivante :

$$\text{Déperditions surfaciques} = \text{Somme de } U \times A \times (T_{\text{int}} - T_{\text{ext}})$$

Avec :

- U : Coefficient de transmission surfacique, en W/(m².K) ;
- A : Surface intérieure de la paroi, en m² ;
- $T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}$: Ecart de température entre l'intérieur et l'extérieur, en K.

5.1.3. • Déperditions linéiques aux liaisons des différentes parois

Les déperditions linéiques sont calculées à partir de la formule suivante :

$$\text{Déperditions linéiques} = \Psi \times l \times (T_{\text{int}} - T_{\text{ext}})$$

Avec :

- Ψ : Coefficient de transmission linéique (psi), en W/(m.K) ;
- l : Longueur des liaisons, en m ;
- $T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}$: Ecart de température entre l'intérieur et l'extérieur, en K.

Commentaire

La norme NF EN 12831 propose une méthode simplifiée consistant à majorer les coefficients de transmission surfacique des parois en fonction de leurs liaisons.

5.1.4. • Déperditions par renouvellement d'air et infiltrations

Le calcul des déperditions s'effectue à partir de la formule suivante :

$$\text{Déperditions par renouvellement d'air} = 0,34 \times q_v \times (T_{\text{int}} - T_{\text{ext}})$$

Avec :

- 0,34 : Chaleur volumique de l'air, en Wh/(m³.K) ;
- q_v : Débit de renouvellement d'air par ventilation et infiltrations, en m³/h ;
- $T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}$: Ecart de température entre l'intérieur et l'extérieur ; en K.

Commentaire

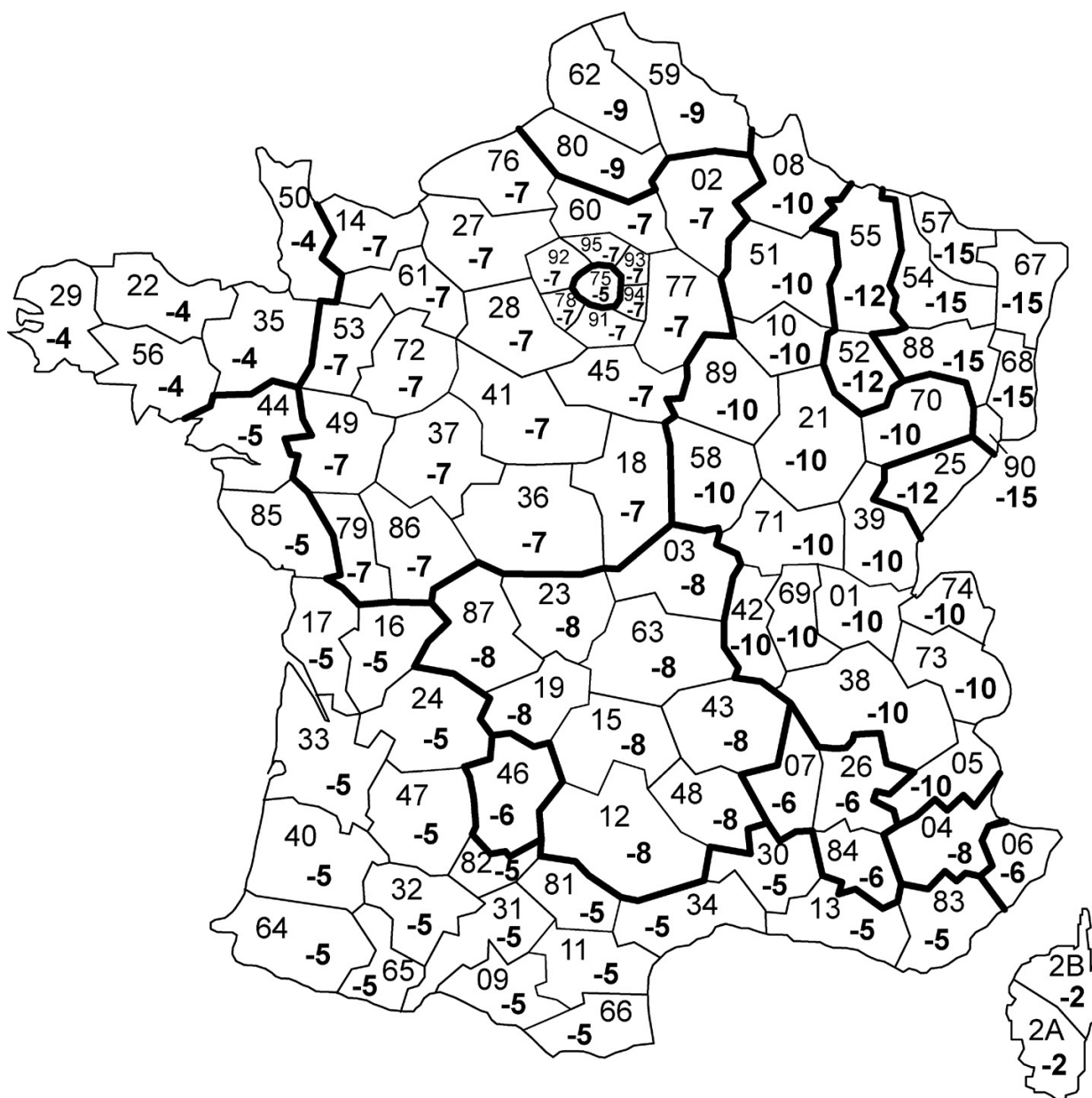
Les entrées d'air induites par l'utilisation de hottes en tout air neuf, de cheminées à foyer ouvert ou de tout autre système ne sont pas prises en compte dans la formule.

5.1.5. • La température extérieure de base du lieu

Les déperditions sont calculées pour la température extérieure de base du lieu définie dans le complément national à la norme NF EN 12831, référencé NF P 52-612/CN.

La (Figure 4) ci-dessous présente la carte de France des températures extérieures de base.

Des corrections sont à apporter en fonction de l'altitude du lieu considéré, selon le tableau donné ci-dessous.



▲ Figure 4 : Températures extérieures de base non corrigées par l'altitude

Température extérieure du site °C	Température extérieure de base au niveau de la mer du site °C									Température extérieure du site °C			
	-2	-4	-5	-6	-7	-8	-10	-12	-15				
-2	0 à 200	0 à 200	↓							-2			
-3	201 à 400									-3			
-4	401 à 600									-4			
-5	601 à 700									201 à 400	0 à 200	-5	
-6	701 à 800	401 à 500	201 à 400	0 à 200					-6				
-7	←	401 à 600	201 à 400	0 à 200					←	Prise en compte de l'altitude du lieu en mètre			-7
-8		601 à 800	401 à 500	201 à 400					0 à 200				-8
-9		801 à 1000	501 à 600	401 à 500					201 à 400				-9
-10		1001 à 1200	601 à 700		401 à 500	0 à 200			-10				
-11		1201 à 1400	701 à 800		501 à 600	201 à 400			-11				
-12		1401 à 1700	801 à 900		601 à 700	401 à 500	0 à 200	→	-12				
-13		1701 à 1800	901 à 1000		701 à 800	501 à 600	201 à 400		-13				
-14		1801 à 2000	1001 à 1100		800 à 901	601 à 700	401 à 500		-14				
-15						901 à 1000	701 à 800	501 à 600	0 à 400	-15			
-16						1001 à 1100	800 à 901	601 à 700	401 à 500	-16			
-17						1101 à 1200	901 à 1000	701 à 800	501 à 600	-17			
-18						1201 à 1300	1001 à 1100	800 à 901	601 à 700	-18			
-19						1301 à 1400	1101 à 1200	901 à 1000	701 à 800	-19			
-20								1201 à 1300	1001 à 1100	800 à 901	-20		
-21							1301 à 1400	1101 à 1200	901 à 1000	-21			
-22							1401 à 1500	1201 à 1300	1001 à 1100	-22			
-23							1501 à 1600	1301 à 1400	1101 à 1200	-23			
-24							1601 à 1700	1401 à 1500	1201 à 1300	-24			
-25							1701 à 1800		1301 à 1500	-25			
-26							1801 à 1900			-26			
-27							1901 à 2000			-27			

▲ Figure 5 : Corrections en fonction de l'altitude

5.2. • Caractéristiques techniques d'une chaudière à micro-cogénération

Les principaux éléments à considérer sont :

- Les caractéristiques propres à la machine : la puissance thermique du brûleur principal, la puissance thermique du brûleur auxiliaire, la puissance électrique de production au régime nominal, le poids ;
- Les contraintes liées à l'installation : le type de fixation (pose au sol ou fixation au mur), le type de raccordement du conduit d'évacuation des produits de combustion, la présence des raccordements aux réseaux (électrique, gaz naturel, eau froide, eau chaude sanitaire si production, chauffage et eaux usées), la place requise (encombrement).

Ces différentes données doivent être prises en compte pour déterminer si l'installation d'une chaudière à micro-cogénération s'avère possible dans le bâtiment considéré.

Les caractéristiques propres à la machine (puissances) sont à considérer dans l'étude de faisabilité technique. Les contraintes d'installation sont à prendre en compte lors du choix du lieu d'implantation et de la faisabilité pratique de l'installation.

Caractéristiques	Unités	Valeurs
Généralités		
Plage de puissance thermique du moteur Stirling (base)	kW	
Plage de puissance thermique du brûleur d'appoint	kW	
Plage de puissance de la production électrique	kW	
Rapport électricité/chauffage	-	
Rendement thermique à pleine charge	%	
Rendement thermique à charge partielle	%	
Rendement électrique à pleine charge	%	
Rendement électrique à charge partielle	%	
Alimentation en gaz naturel		
Types de gaz acceptés		
Pressions d'alimentation tolérées	Mbar	
Consommation de gaz	m ³ /h	
Produits de combustion		
Type de raccordement (Bxx, Cxx)	-	
Température des fumées	°C	
Contre pression maximale (à la buse)	Pa	
Circuit hydraulique		
Pressions admissibles de l'eau de chauffage	Bar	
Température maximale de l'eau	°C	
Données électriques		
Puissance électrique absorbée grande vitesse	W	
Puissance électrique absorbée petite vitesse	W	
Puissance électrique absorbée en veille	W	
Puissance électrique produite nominale	kW	
Autre		
Type de fixation (au mur / pose au sol)	-	
Poids à vide	Kg	
Poids en fonctionnement	Kg	
Pression acoustique moyenne à ____ m de la chaudière	dB(A)	
Encombrement de la machine seule (l*L*H)	m	
Espace nécessaire à l'installation / maintenance (l*L*H)	m	

▲ **Figure 6** : Données caractéristiques de la chaudière à micro-cogénération, essentielles au dimensionnement et à la conception de l'installation

5.2.1. • Vérification de la couverture totale des besoins par la chaudière à micro-cogénération

Les chaudières à micro-cogénération disposent généralement de deux brûleurs afin de couvrir la totalité des besoins thermiques du bâtiment.

Le brûleur principal, placé sur le moteur Stirling, fonctionne généralement en mode tout ou rien. Sa puissance thermique est généralement

comprise entre 5 et 8 kW. Cette puissance constitue la puissance thermique minimale de l'équipement.

Le brûleur auxiliaire joue le rôle d'appoint. Sa puissance thermique est généralement comprise entre 6 et 16 kW. Ce brûleur est souvent modulant, tout comme ceux présents sur les chaudières gaz classiques.

Couverture thermique de la chaudière à micro-cogénération

Afin de s'assurer que la totalité des besoins thermiques puissent être couverts par la chaudière à micro-cogénération, l'équation suivante doit être vérifiée :

$$P_{\text{nomChaudièreMicro-Cogénération (principal + appoint)}} \geq 100\% \text{ Déperditions}$$

Avec :

- Déperditions : Les déperditions du bâtiment à la température extérieure de base, en Watt ;
- $P_{\text{nomChaudièreMicro-Cogénération (principal + appoint)}}$: La puissance nominale (au régime d'eau retenu) de la chaudière à micro-cogénération (brûleur principal et brûleur auxiliaire), en Watt.

Fonctionnement général et performances de la chaudière

En règle générale, une chaudière à micro-cogénération à moteur Stirling produit environ 1 kW électrique à son régime nominal. Le brûleur principal (présent sur le moteur Stirling) est allumé lorsqu'un besoin thermique est détecté.

La production annuelle d'électricité est ainsi déterminée par la durée de fonctionnement du moteur Stirling (et donc du brûleur principal).

Du fait de l'inertie du moteur et de la consommation nécessaire à son démarrage, la conception de l'installation doit permettre des cycles de fonctionnement les plus longs possibles afin de limiter le nombre de phases de démarrage et d'arrêt.

Le fonctionnement du moteur étant régulé sur le besoin thermique, de faibles demandes thermiques engendrent de nombreux cycles de courte durée.

Un accumulateur de chaleur est recommandé pour éviter des cycles courts. Il peut être constitué par un volume tampon à quatre piquages placé sur le circuit de chauffage ou par un ballon d'eau chaude sanitaire (cf. 7).

5.2.2. • Performance électrique et consommation directe de l'électricité produite

L'évaluation globale des performances électriques d'une chaudière à micro-cogénération passe par quatre critères :

- La quantité d'électricité annuelle produite ;
- La quantité d'électricité consommée sur place ou autoconsommée par l'utilisateur. Cet aspect est directement relié à la simultanéité entre production et consommation ;
- La quantité d'électricité injectée sur le réseau électrique (revenue ou non) ;
- La quantité d'électricité achetée par l'utilisateur.

Production électrique annuelle

Sur une chaudière à micro-cogénération, la production d'électricité dépend directement des besoins thermiques.

L'évaluation de la production d'électricité annuelle nécessite donc de connaître les besoins thermiques du bâtiment sur l'ensemble de l'année. Des scénarios peuvent être utilisés à cet effet.



Un bâtiment ayant de faibles besoins thermiques annuels engendre une faible production électrique et, de fait, une plus faible rentabilité de la machine.

Taux d'autoconsommation de l'électricité produite

Actuellement, une chaudière à micro-cogénération est nécessairement raccordée au réseau électrique intérieur d'une habitation. Du fait de cette connexion, l'électricité produite est consommée directement par le logement si un besoin électrique existe lorsque la chaudière à micro-cogénération fonctionne. Cette quantité d'électricité consommée par le logement est dite « auto-consommée ». A l'inverse, si le besoin électrique est inférieur à la quantité produite, le surplus d'électricité est renvoyé sur le réseau public d'électricité.

L'objectif est d'avoir un taux d'autoconsommation le plus important possible, notamment en cas de non revente de l'électricité renvoyée sur le réseau.

Le taux d'auto-consommation dépend surtout de la puissance électrique « de base », c'est-à-dire celle engendrée par les appareils fonctionnant en permanence.

Il peut également être augmenté en sensibilisant l'occupant du logement à l'adaptation de ses usages électriques.



Les taux d'autoconsommation de l'électricité produite rencontrés peuvent être très faibles (inférieurs à 25%) comme très élevés (supérieurs à 75%). Ils dépendent fortement du nombre d'occupants, de leurs comportements et de leurs usages des appareils électriques.

5.3. • *Spécifications acoustiques*

L'installation d'une chaudière à micro-cogénération dans une pièce de vie n'est pas recommandée. Malgré son faible niveau sonore en fonctionnement, le fonctionnement du moteur Stirling engendre des vibrations qui peuvent perturber les occupants. Ces vibrations peuvent être transmises soit par le sol (pour les machines posées au sol) soit par les murs (pour les machines fixées au mur).

La transmission acoustique dans les parois est inversement proportionnelle à la masse de celle-ci. Pour cette raison (mais également du fait de son poids), une chaudière à micro-cogénération doit être fixée sur une paroi lourde et porteuse, et non sur des parois de séparation légères.

Dans tous les cas, l'installation doit respecter la réglementation sur le bruit intérieur et sur le bruit extérieur.

5.3.1. • *Réglementation sur le bruit intérieur*

L'arrêté du 30 juin 1999 impose des valeurs maximales de niveau de pression acoustique normalisé L_{nAT} du bruit engendré dans des conditions normales de fonctionnement par un appareil individuel de chauffage. Il ne doit pas dépasser 35 dB(A) dans les pièces principales et 50 dB(A) dans la cuisine. Si la cuisine est ouverte sur une pièce principale, la pression acoustique ne doit pas dépasser 40 dB(A) dans la pièce principale.



Tenir compte des niveaux de pression acoustique de la chaudière à micro-cogénération et des limites imposées par la réglementation.

5.3.2. • *Réglementation sur le bruit de voisinage*

L'article R1334-33 du Code de la santé publique fixe les valeurs limites d'émergence sonore admises :

- 5 dB(A) en période diurne (de 7 h à 22 h) ;
- 3 dB(A) en période nocturne (de 22 h à 7 h).

L'émergence est définie par la différence entre le niveau de bruit ambiant, comportant le bruit particulier en cause, et le niveau du bruit

résiduel constitué par l'ensemble des bruits habituels, extérieurs et intérieurs, correspondant à l'occupation normale des locaux et au fonctionnement habituel des équipements, en l'absence du bruit particulier en cause.

Le bruit résiduel est le bruit moyen que l'on mesure sur une période de référence lorsque l'équipement incriminé ne fonctionne pas. Il s'agit du bruit de fond.

Le bruit ambiant est le bruit mesuré pendant une période équivalente lorsque l'équipement fonctionne : le bruit ambiant est donc la somme du bruit de l'équipement seul et du bruit résiduel.

Implantation de la chaudière à micro-cogénération

6



Ce chapitre est indirectement lié à l'étude de faisabilité. Son objectif est de déterminer l'emplacement idéal pour l'installation de la chaudière à micro-cogénération, en tenant notamment compte du type de pose (au mur ou au sol), de l'encombrement, du poids de la chaudière, de la nuisance sonore et de la ventilation des locaux.

6.1. • *Spécifications d'implantation*

Le local d'installation d'une chaudière à micro-cogénération doit être déterminé en suivant les aspects suivants :

- Dimensions du local ;
- Isolation phonique du local ;
- Charge admise par la dalle du local ou le mur (suivant le type de fixation) ;
- Disponibilité des raccordements aux différents réseaux (gaz, hydraulique, électrique et eaux usées) ;
- Possibilité de réaliser une évacuation des produits de combustion vers l'extérieur ainsi qu'une amenée d'air comburant provenant de l'extérieur.

Dimensions du local

La taille du local doit être prise en compte. La chaudière à micro-cogénération est installée en laissant un espace libre autour afin de respecter les préconisations du fabricant et de pouvoir réaliser la maintenance.



Il est vérifié que l'implantation d'une chaudière à micro-cogénération au gaz est compatible avec les autres usages et appareils présents dans le local.

Isolation phonique du local

Il est conseillé d'adapter l'isolation phonique du local dans lequel la chaudière à micro-cogénération est implantée. Le bruit peut se propager de manière directe par l'air ou à travers la structure du bâtiment (par les parois et les planchers). Dans tous les cas, l'installation doit respecter la réglementation sur le bruit intérieur et sur le bruit au voisinage (cf. 5.3).



Bien que les chaudières intègrent des dispositifs de fixation ou de pose anti-vibratiles, le choix du local d'installation doit tenir compte du phénomène de propagation sonore à travers les parois et planchers. Ainsi, l'installation sur ou contre une paroi en contact direct avec une pièce de vie (notamment les chambres) ou un logement voisin est déconseillée.

Support de fixation ou de pose

Une chaudière à micro-cogénération est un système relativement lourd (entre 100 et 200 kg généralement). La structure de la paroi doit résister à cette charge et notamment :

- Le mur pour les chaudières à fixation murale. Il est recommandé de fixer la chaudière à un mur porteur ;
- La dalle pour les chaudières posées au sol. Il est recommandé de poser la chaudière sur un sol solide.



Le poids des chaudières à micro-cogénération dépasse souvent le poids pouvant être soulevé par une seule personne. Deux personnes (au minimum) sont donc nécessaires au positionnement de la machine.

En effet, l'article R4541-9 du code du travail stipule que :
« Lorsque le recours à la manutention manuelle est inévitable et que les aides mécaniques prévues au 2° du premier alinéa de l'article R. 4541-5 ne peuvent pas être mises en œuvre, un travailleur ne peut être admis à porter d'une façon habituelle des charges supérieures à 55 kilogrammes qu'à condition d'y avoir été reconnu apte par le médecin du travail, sans que ces charges puissent être supérieures à 105 kilogrammes. ».

Commentaire

Certains fabricants ont développé des systèmes facilitant le levage et la pose au mur de chaudières lourdes.

Accessibilité aux raccordements

Lors de la conception des réseaux, il doit être prévu sur le lieu d'implantation de la chaudière à micro-cogénération :

- Un raccordement au réseau d'eau froide (pour le remplissage du réseau de chauffage et pour la production d'eau chaude sanitaire) ;
- Un raccordement au réseau d'eau chaude sanitaire (si une production instantanée ou accumulée est assurée) ;
- Un raccordement au réseau de chauffage ;
- Un raccordement par siphon au réseau d'eaux usées ;
- Une ligne électrique directe avec le tableau principal, dédiée à la chaudière à micro-cogénération ;
- La localisation du percement de la paroi extérieure permettant la pose du conduit concentrique d'amenée d'air et d'évacuation des produits de combustion.

6.2. • Ventilation du local

Quel que soit le cas considéré, la ventilation du local d'implantation doit être conforme aux textes réglementaires en vigueur relatifs à l'aération des logements ainsi qu'aux préconisations du fabricant.

Ces exigences sont identiques à celles s'appliquant aux chaudières à condensation et sont décrites dans l'arrêté du 2 août 1977 modifié et le NF DTU 61.1.

En neuf, le raccordement des produits de combustion de la chaudière à micro-cogénération de type C (à circuit étanche) est exigé dès que la machine est installée au sein de l'enveloppe étanche du bâtiment.

Schémas hydrauliques

7



Afin d'éviter tout court-cycle (dégradation du rendement de production électrique) et toute surchauffe du moteur Stirling (détérioration irréversible), il est recommandé d'installer un dispositif d'accumulation de chaleur.

A cette fin, les circuits hydrauliques de raccordement d'une chaudière à micro-cogénération intègrent :

- Soit un volume tampon à quatre piquages placé en découplage (Figure 7) ;
- Soit un ballon d'eau chaude sanitaire (Figure 8).

Ce chapitre décrit le principe de fonctionnement de chacun des circuits.

Certains fabricants proposent d'autres schémas de raccordement hydrauliques non présentés dans ce guide.



Le schéma hydraulique est choisi conformément aux prescriptions du fabricant. Le choix du schéma hydraulique doit notamment être compatible avec les fonctionnalités de la régulation.

Commentaire

Ne sont pas traités ici les schémas couplant une chaudière à micro-cogénération à une autre énergie renouvelable (solaire...) ou à un autre générateur.

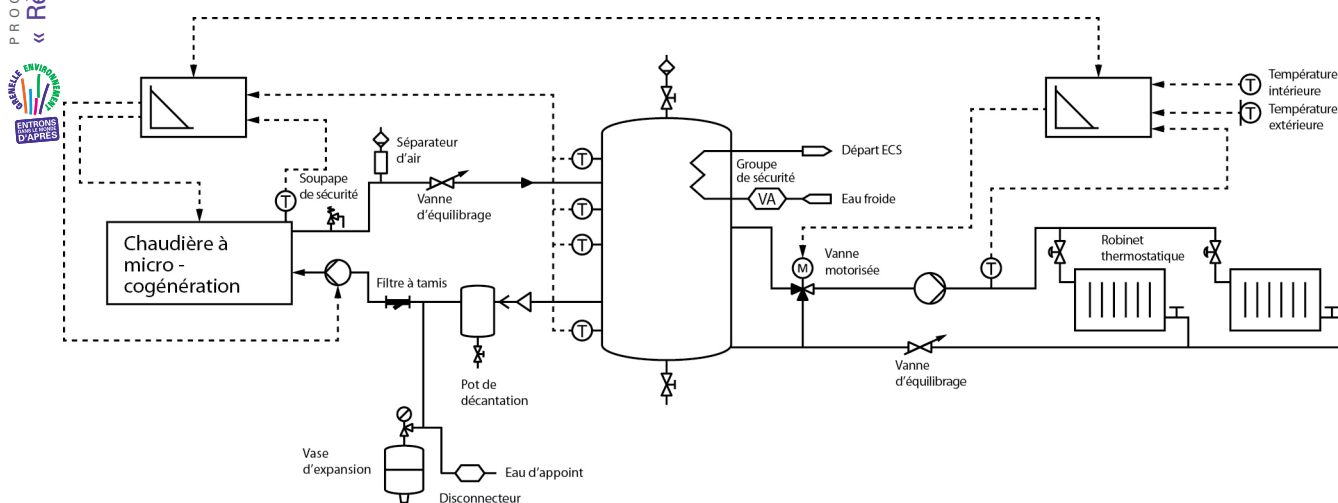
Si de telles solutions sont envisagées avec une chaudière à micro-cogénération, les préconisations du fabricant doivent être suivies.

Si aucune préconisation n'est fournie dans les notices, prendre contact avec le fabricant afin de s'assurer de la compatibilité entre le montage souhaité et la chaudière.

7.1. • Circuit avec volume tampon à quatre piquages

Le circuit avec volume tampon à quatre piquages permet de découpler les circuits production et usage (Figure 7). Ce type de montage est recommandé sur des installations fonctionnant en charge/décharge ou lorsque les circuits sont séparés physiquement, par exemple par échangeur intégré au volume tampon.

Avec une chaudière à micro-cogénération, un temps de fonctionnement minimal d'une demi-heure est recommandé.



▲ Figure 7 : Exemple de schéma de principe du raccordement d'une chaudière à micro-cogénération sur un volume tampon à quatre piquages

Le volume tampon est fourni ou prescrit par le fabricant. Dans cette configuration, il est choisi afin d'éviter tout court-cycle de la chaudière à micro-cogénération. Sa contenance minimale conseillée (en litres) s'exprime par la formule suivante :

$$\frac{\text{PuissanceChaudière} \times \text{TempsFonctionnementMini.} \times 1000}{\rho \times C_p \times \text{DifférentielRégulation}}$$

Avec :

- PuissanceChaudière : la puissance du régime le plus faible du brûleur principal, en kW ;
- TempsFonctionnementMini. : le temps minimal de fonctionnement recommandé, en seconde. A défaut d'une autre valeur, une durée de 1800 secondes (30 minutes) est retenue ;
- DifférentielRégulation : le différentiel de régulation de la chaudière à micro-cogénération, en Kelvin. A défaut d'une autre valeur, un différentiel de 10 K est retenu ;
- Cp : la capacité thermique massique du fluide caloporteur de l'installation de chauffage (égale à 4,185 kJ/kg.K pour de l'eau pure non glycolée), en kJ/kg.K ;

- ρ : la masse volumique du fluide caloporteur de l'installation de chauffage (égale à 1000 kg/m^3 pour de l'eau pure non glycolée), en kg/m^3 .

La contenance du réseau de la chaudière peut être soustraite à la valeur fournie par la formule. La contenance du circuit de chauffage n'est pas comptabilisée car la circulation est interrompue lorsque la vanne à trois voies est fermée.

Le volume tampon doit être isolé avec une épaisseur minimale d'isolant de 100 mm sur toute sa surface, y compris sous le fond.

Le volume tampon intègre parfois un échangeur à serpentin (ou un bain marie) permettant la production d'eau chaude sanitaire, comme à la (Figure 7). Afin d'assurer le confort et la production d'eau chaude sanitaire, une température d'eau minimale en partie supérieure est nécessaire.

Dans ce cas, la contenance du volume tampon permet d'assurer à la fois les besoins en chauffage et en eau chaude sanitaire. Un contrôle spécifique est nécessaire quant à la prise en compte de cette fonctionnalité par la chaudière à micro-cogénération.

Plusieurs sondes de température servent à réguler l'installation :

- Une sonde de départ placée en sortie de chaudière pour contrôler la température produite et la comparer à la consigne de régulation (cf. 8). Cette sonde peut être intégrée à la chaudière. Il peut aussi s'agir de la température de retour mesurée en entrée de chaudière ;
- Une ou plusieurs sondes de température sont placées dans le volume tampon afin de vérifier si l'énergie contenue dans le volume tampon permet ou non de subvenir aux besoins en chaleur. Le cas échéant, la chaudière est mise en marche.

Commentaire

Le volume tampon joue le rôle d'organe de sécurité lors de l'arrêt du brûleur principal. En effet, lorsque le brûleur principal est stoppé, le moteur Stirling est encore « chaud ». Il continue de fonctionner de par sa forte inertie.

Le volume tampon permet d'améliorer les performances du moteur Stirling en évitant les cycles courts de fonctionnement.



La mise en œuvre d'un volume tampon à quatre piquages nécessite l'utilisation d'une régulation adaptée, contrôlant le fonctionnement des circulateurs primaire et secondaire.

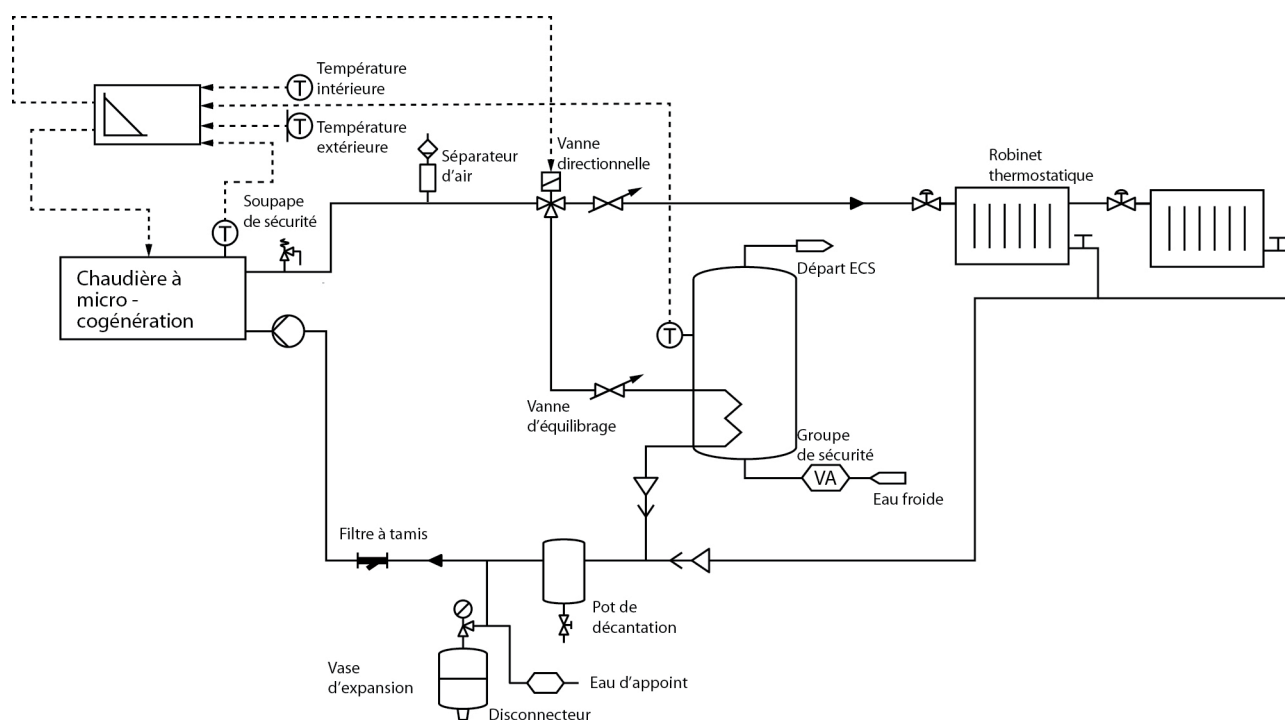
Dans certains cas, un échangeur à serpentin peut être positionné sur le circuit primaire reliant la chaudière à micro-cogénération. Il a deux fonctions :

- éviter de traiter l'eau de l'ensemble du réseau de chauffage (en cas de traitement de l'eau circulant dans la chaudière) ;
- éviter le brassage de l'ensemble du volume tampon dans le cas où les circuits production et émission fonctionnent simultanément.

7.2. • Circuit avec ballon d'eau chaude sanitaire et alimentation directe du circuit de chauffage

Ce type de montage (Figure 8) comprend généralement une vanne à trois voies directionnelle externe assurant la priorité de la production d'eau chaude sanitaire.

Cette vanne est aussi utilisée pour orienter le débit vers le ballon d'eau chaude sanitaire lors de l'arrêt du brûleur principal afin de refroidir le moteur Stirling.



▲ Figure 8 : Exemple de schéma de principe du raccordement d'une chaudière à micro-cogénération avec ballon d'eau chaude sanitaire

Dans cette configuration, le ballon d'eau chaude sanitaire est dimensionné pour les besoins d'eau chaude sanitaire.

Il est toutefois préférable que son volume respecte la contenance minimale indiquée en chapitre 7.1 (cf. 7.1). Dans la formule, le différentiel à retenir est le différentiel de régulation de la production d'eau chaude sanitaire.

La contenance du réseau de la chaudière et de l'échangeur du ballon d'eau chaude sanitaire peut être soustraite à la valeur fournie par la formule.



Il est nécessaire de vérifier auprès du fabricant du ballon d'eau chaude sanitaire que l'échangeur à serpentin peut supporter une eau traitée au primaire.

Régulation de la chaudière à micro-cogénération

8



Une chaudière à micro-cogénération est régulée sur les besoins thermiques du logement desservi.

La logique de régulation est liée au schéma hydraulique (cf. 7).

La régulation est couramment basée sur la mesure de la température d'eau en entrée de la chaudière à micro-cogénération.

Une régulation en fonction de la température extérieure est recommandée (pour certaines machines elle est obligatoire) afin de moduler la température d'eau délivrée par la chaudière selon une courbe de chauffe.



Le régulateur est intégré à la machine ou fourni par le fabricant.

Certains fabricants proposent une fonction de programmation horaire. Une sonde de température ambiante est alors disposée dans la pièce principale de la maison. Dans ce cas, les radiateurs de cette pièce peuvent être équipés de robinets manuels maintenus à pleine ouverture.

Sur certaines régulations, un mode hors gel peut être présent. Ainsi, lors des périodes d'absence prolongée, une température ambiante minimale, de l'ordre de 8°C est assurée.

Le circulateur est généralement asservi au fonctionnement de la chaudière à micro-cogénération et alimenté par cette dernière. Il est alors commandé par la régulation de la machine.

Une temporisation peut être prévue entre l'arrêt du (des) brûleur(s) et l'arrêt du circulateur afin de refroidir le moteur Stirling durant sa phase d'arrêt.

Spécificités des raccordements hydrauliques, de gaz et d'évacuation des produits de combustion

9



Hormis les quelques spécificités mentionnées dans ce chapitre, les raccordements hydraulique, de gaz et d'évacuation des produits de combustion sont communs à ceux d'une chaudière à condensation.

9.1. • *Raccordement hydraulique*

Les principaux organes hydrauliques à prévoir sur une installation de chaudière à micro-cogénération sont les mêmes que ceux à installer pour une chaudière à condensation (soupape de sécurité, vannes d'isolement, dispositif de protection anti-pollution...).

Ce chapitre reprend uniquement quelques spécificités propres notamment aux accessoires de protection à installer avec une chaudière à micro-cogénération ainsi que quelques rappels sur le vase d'expansion, le circulateur et la vanne directionnelle à trois voies de priorité à la production d'eau chaude sanitaire.



Afin de connaître et de dimensionner les éléments obligatoires à installer sur un circuit de chauffage et d'eau chaude sanitaire, se référer aux réglementations, normes et DTU en vigueur.

9.1.1. • Accessoires hydrauliques de protection de la chaudière à micro-cogénération

Plusieurs accessoires de protection sont nécessaires sur les circuits comprenant une chaudière à micro-cogénération, notamment : un dispositif d'élimination des gaz et un dispositif de retenue des boues et de filtration des impuretés. De plus, le traitement de l'eau de chauffage contre la corrosion est recommandé.

Le dispositif de dégazage

Le dispositif de dégazage efficace repose sur une bouteille de dégazage ou mieux sur un séparateur d'air. Ils sont associés à un purgeur. La chaudière constitue généralement un des principaux points de dégazage par élévation de température et par son point haut.

Le volume tampon, comme à la (Figure 7) assure cette fonction, il est équipé d'un purgeur en partie supérieure.

La majorité des chaudières à micro-cogénération intègrent un séparateur et/ou un purgeur d'air.



Le dispositif de dégazage (bouteille de dégazage, séparateur d'air) doit être installé suivant les préconisations du fabricant.

Prévoir également des purgeurs aux points hauts de l'installation et sur chaque émetteur.

Le pot de décantation et le filtre à tamis

La source froide du moteur Stirling est l'eau de chauffage qui circule au travers d'un échangeur thermique. Pour éviter tout encrassement de celui-ci (et par conséquent toute dégradation du moteur Stirling), il est nécessaire d'installer un pot de décantation et un filtre à tamis en amont de la chaudière à micro-cogénération.

Comme à la (Figure 7), le volume tampon doit être équipé d'un robinet de vidange en partie basse pour permettre d'évacuer les dépôts.



Les dispositifs de décantation et de filtration doivent être prévus selon les préconisations du fabricant.

Le traitement de l'eau de chauffage

Afin d'éviter de charger l'eau du circuit de chauffage en particules de corrosion et d'encrasser l'échangeur à eau du moteur Stirling, il est recommandé de traiter l'eau de chauffage contre la corrosion. Pour cela, un inhibiteur de corrosion est employé.

De plus, le pH et la dureté de l'eau injectée dans le circuit de chauffage doivent respecter les préconisations du fabricant. Dans le cas contraire, un traitement particulier est nécessaire.



Suivre les préconisations du fabricant quant au traitement de l'eau de chauffage. Certains fabricants imposent un traitement particulier.

9.1.2. • Circulateur

Certaines chaudières à micro-cogénération intègrent un circulateur. Dans ce cas, la compatibilité entre ses caractéristiques et celles du réseau hydraulique doit être vérifiée.

Si une incompatibilité est rencontrée (par exemple entre le débit de la chaudière à micro-cogénération et celui du réseau de chauffage), un découplage est nécessaire (bouteille de découplage, bipasse, volume tampon à quatre piquages...).

Dans tous les cas, les préconisations du fabricant quant au montage hydraulique doivent être respectées afin d'assurer la sécurité de l'installation (notamment du moteur Stirling).

9.1.3. • Vase d'expansion

Le dimensionnement d'un vase d'expansion consiste à déterminer :

- Sa pression de gonflage ;
- Sa capacité.

La pression de gonflage

La pression de gonflage du vase doit être supérieure à la pression statique de l'installation de sorte que, à froid, l'eau n'entre pas dans le vase et que le volume soit maximal pour absorber la dilation de l'eau.

Elle est exprimée en bar et doit correspondre à la pression statique de l'installation arrondie au 0,5 bar supérieur. La pression statique équivaut à la hauteur d'eau de l'installation, depuis le vase d'expansion jusqu'au point le plus élevé du circuit de chauffage. Sachant qu'un mètre de colonne d'eau est proche de 0,1 bar.

Si le vase d'expansion est en partie haute de l'installation (sous toiture par exemple), la pression de gonflage est de 0,5 bar, sauf si une pression minimale de fonctionnement plus élevée est demandée par le fabricant.

La capacité du vase

La capacité du vase doit être telle qu'elle puisse recueillir le volume d'expansion de l'installation.

Le tableau (Figure 9) fournit la capacité du vase pour une pression de tarage de la soupape de 3 bars, en fonction du volume d'eau d'une installation à basse température (45°C) et de la hauteur statique.

Contenance maximale de l'installation (en l)	Capacité du vase d'expansion (en l) pour une hauteur statique jusqu'à		
	5 m	10 m	15 m
200	4	5	8
250	5	7	10
300	6	8	12
400	8	11	16
500	10	14	20

▲ Figure 9 : Pré-détermination de la capacité du vase d'expansion pour une pression de tarage de soupape de 3 bars



Certaines chaudières à micro-cogénération intègrent un vase d'expansion. Il convient de vérifier que sa capacité notamment est adaptée à l'installation. Dans le cas contraire, un vase supplémentaire s'avère nécessaire.



Lorsqu'il y a séparation physique entre la chaudière à micro-cogénération et le circuit de chauffage, par exemple si un échangeur est installé au primaire dans le volume tampon de la (Figure 7), deux vases d'expansion sont nécessaires : un sur le circuit de la chaudière et un sur le circuit de chauffage.

9.1.4. • Vanne directionnelle de priorité eau chaude sanitaire

Dans le cas du schéma avec ballon d'eau chaude sanitaire (Figure 8), une vanne à trois voies directionnelle de priorité eau chaude sanitaire est installée en sortie de chaudière.

La voie commune est reliée à la sortie de la chaudière à micro-cogénération. Les deux autres voies sont reliées au réseau de chauffage et au ballon d'eau chaude sanitaire, en respectant le fonctionnement du servomoteur et les préconisations du fabricant.

La vanne directionnelle est commandée par la régulation interne de la chaudière à micro-cogénération. Le signal délivré doit être compatible avec le signal de commande du servomoteur.



La vanne directionnelle de priorité eau chaude sanitaire peut être fournie avec la chaudière à micro-cogénération. Dans le cas contraire, son modèle doit être celui préconisé par le fabricant.

9.2. • *Raccordement gaz*

Le raccordement gaz d'une chaudière à micro-cogénération s'effectue de la même manière que pour une chaudière classique. La conception et le dimensionnement de l'alimentation en gaz sont stipulés par le NF DTU 61.1. L'arrêté du 2 août 1977 modifié doit également être respecté.

Comme toute installation de gaz intérieure, un certificat de conformité de type « Modèle 2 » est obligatoire.



Certaines chaudières à micro-cogénération n'intègrent pas la vanne de coupure gaz (imposée par la réglementation) à proximité de l'appareil. Dans ce cas, sa pose doit être prévue.

De plus, certains fabricants imposent l'installation d'un filtre sur l'alimentation en gaz de l'appareil.

9.3. • *Evacuation des produits de combustion et des condensats*

En installation neuve, il est recommandé des chaudières à micro-cogénération à circuit de combustion étanche de type C qui prélèvent l'air de combustion directement à l'extérieur par un conduit spécifique, afin d'éviter toute perturbation avec le système de ventilation.



Pour des raisons de sécurité, le conduit sélectionné doit pouvoir résister à la pression maximale donnée par le fabricant, aux condensats (dans le cas d'une chaudière à condensation) ainsi qu'à la température maximale des fumées. Ces données sont fournies par le fabricant de la chaudière à micro-cogénération.

9.3.1. • Evacuation des produits de combustion

La chaudière à micro-cogénération fonctionnant au gaz naturel peut être raccordée à (Figure 10) :

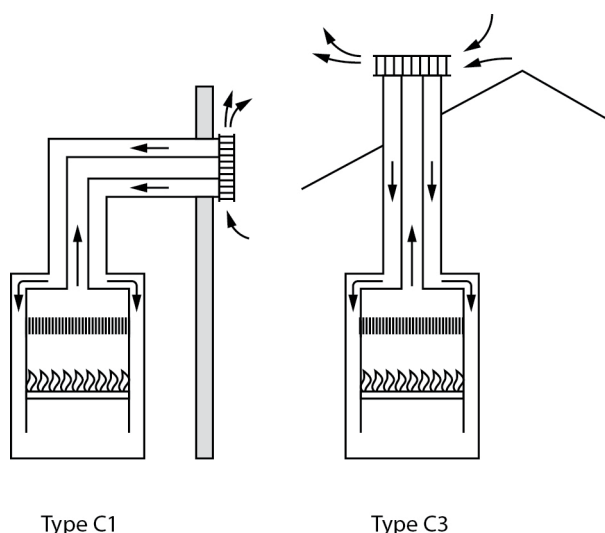
- Un conduit concentrique horizontal « ventouse » (type C1) ;
- Un conduit concentrique vertical (type C3).

Les conduits concentriques permettent d'alimenter le générateur en air comburant prélevé à l'extérieur.

Les règles d'implantation à respecter sont décrites dans le NF DTU 61.1, partie 4.

Commentaire

Lorsque le débouché du conduit d'évacuation des produits de combustion donne directement sur une voie publique ou privée à moins de 1,80 m, un déflecteur inamovible doit être prévu, hormis pour les appareils à condensation. Ce déflecteur oriente les produits de combustion dans une direction sensiblement parallèle au mur.



▲ Figure 10 : Les principaux types de raccordement de chaudières étanches (types C1 et C3)

Commentaire

Les préconisations du fabricant de la chaudière à micro-cogénération doivent être respectées, notamment en termes de type de raccordement, de diamètre et de longueur maximale du système d'amenée d'air et d'évacuation des produits de combustion.



Le NF DTU 61.1 P4 précise qu'un appareil marqué CE au titre de la Directive européenne « Appareil à gaz » doit être installé avec les éléments d'évacuation des produits de combustion et d'amenée d'air prescrits par le fabricant de l'appareil (conduits et leurs accessoires : terminal, pièce de raccordement, joint...). Le dimensionnement de l'évacuation des produits de combustion doit être indiqué par le fabricant de l'appareil dans sa notice.

9.3.2. • Evacuation des condensats

Une évacuation des condensats issus des produits de combustion doit être prévue. Il est conseillé de la raccorder à un tuyau de purge muni d'un siphon avec une garde d'eau minimale de 50 mm. Les condensats sont généralement acides ($\text{pH} < 6$). Afin de réduire leur acidité avant rejet (lorsque la réglementation locale l'impose), un dispositif de neutralisation peut être installé.

Commentaire

Les préconisations du fabricant doivent être respectées quant à l'évacuation des condensats.

Le dispositif d'évacuation doit être prévu pour résister à leur acidité (matériau plastique par exemple).

Sont également à raccorder à l'évacuation des eaux usées :

- La tuyauterie de décharge du disconnecteur ;
- La décharge de la soupape de sécurité dans le cas où le liquide caloporteur peut être déversé dans les eaux usées (liquide non traité). Dans le cas contraire, le refoulement de la soupape de sécurité est dirigé vers un récipient prévu à cet effet ;
- La vidange de la chaudière.



Il est important de raccorder la décharge de la soupape de sécurité afin d'éviter les risques de brûlure.

10

Raccordement électrique



Le réseau électrique de l'habitation doit être adapté à la chaudière à micro-cogénération installée.

10.1. • *Protection de découplage*

Les arrêtés du 17 mars 2003 et l'arrêté du 23 avril 2008 (article 7), traitant des prescriptions techniques de raccordement des installations de production et de consommation, demandent que toute installation comportant un ou plusieurs moyens de production d'électricité soit équipée d'une protection de découplage destinée à les séparer du réseau public de distribution électrique en cas de défaut sur celui-ci.



Toute production d'électricité doit disposer d'une protection de découplage du réseau public de distribution d'électricité.

Généralement, sur les chaudières à micro-cogénération, la protection de découplage du réseau public de distribution d'électricité est intégrée et est certifiée DIN VDE 0126.1.1. Dans ce cas, le certificat de découplage de la chaudière à micro-cogénération peut être demandé par l'entreprise locale de distribution d'électricité lors de la demande de raccordement au réseau public. Ce certificat est obtenu auprès du fournisseur du produit.



Si la chaudière n'est pas certifiée DIN VDE 0126.1.1, une protection de découplage externe doit être installée.



10.2. • Réalisation du raccordement

Le branchement et les raccordements électriques doivent respecter les exigences de la norme NF C 15-100 et les spécifications du fabricant de la chaudière à micro-cogénération.

Le raccordement de la chaudière à micro-cogénération s'effectue sur un circuit spécifique. Il constitue :

- Le circuit d'alimentation électrique lors des phases de démarrage et de veille du moteur Stirling ;
- Le circuit de production électrique lorsque le moteur fonctionne.

Le câble est donc parcouru par le courant dans des sens opposés selon les phases de fonctionnement de la chaudière à micro-cogénération.

Le circuit de la chaudière à micro-cogénération doit comporter :

- Un dispositif différentiel à courant différentiel résiduel assigné au plus égal à 30 mA : disjoncteur différentiel ou interrupteur différentiel ;
- Un dispositif de protection contre les surintensités et les courts-circuits : fusible ou disjoncteur au calibre adapté ;
- Un conducteur de protection relié à la terre.

Le câble d'alimentation d'une chaudière à micro-cogénération doit être de section 1,5 mm². Les préconisations du fabricant doivent être suivies.

L'alimentation électrique de certains accessoires (circulateur, vanne de priorité eau chaude sanitaire) peut parfois être raccordée directement sur la chaudière. Les autres accessoires doivent être alimentés depuis une ligne électrique différente de celle dédiée à la chaudière à micro-cogénération.



Ne jamais raccorder la chaudière à micro-cogénération sur un circuit électrique alimentant un autre appareil.



La chaudière à micro-cogénération doit être mise à la terre, sauf si le fabricant intègre une protection spécifique.



Le circuit électrique spécifique d'une chaudière à micro-cogénération est protégé par un disjoncteur de 10 A. Les préconisations du fabricant doivent être suivies.



A ce jour, la norme NF C 15-100 ne précise pas la manière dont les câbles d'alimentation provenant de la chaudière à micro-cogénération et le circuit électrique dédié doivent être raccordés.

La chaudière à micro-cogénération doit être alimentée directement sur le circuit spécifique et non par l'intermédiaire d'une prise murale.

10.3. • *Revente du surplus de production électrique*

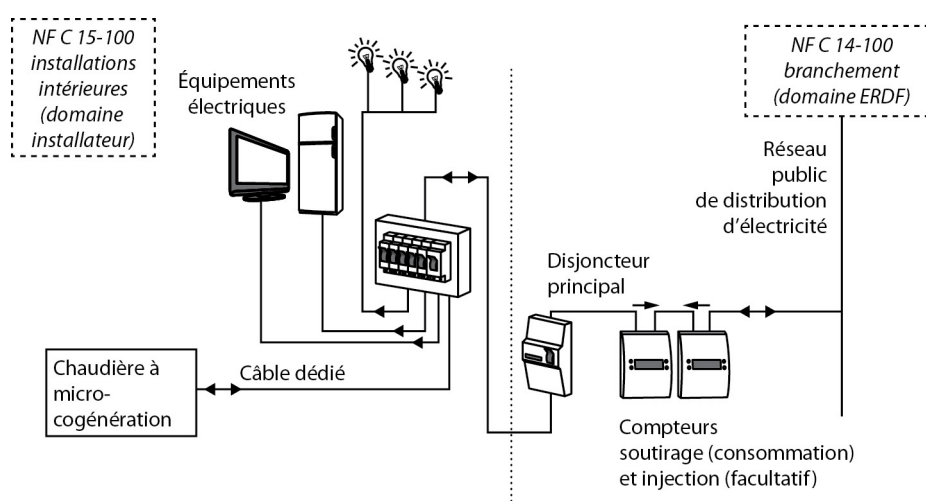
Si l'utilisateur souhaite revendre le surplus d'électricité produite, le comptage de l'énergie vendue est réalisé suivant l'une des deux solutions :

- Installation d'un unique compteur permettant le double comptage ;
- Installation d'un second compteur en « tête-bêche ».

Cette opération doit être réalisée par l'entreprise locale de distribution d'électricité.

Commentaire

Le coût du second compteur est généralement facturé par l'entreprise locale de distribution d'électricité. Par ailleurs, ce second compteur implique un abonnement spécifique. Se rapprocher de l'entreprise locale de distribution d'électricité pour connaître les modalités tarifaires (et autres).



▲ Figure 11 : Schéma de principe du raccordement électrique d'une chaudière à micro-cogénération au réseau électrique

Commentaire

Il peut être fait le choix de ne pas revendre le surplus de production d'électricité injecté sur le réseau. Dans ce cas, l'installation d'un compteur additionnel de revente n'est pas nécessaire.

Démarches administratives pour le raccordement électrique

11



Comme pour le raccordement de toute unité de production d'électricité au réseau public de distribution d'électricité, **un contrat de raccordement doit être établi** entre le propriétaire de l'unité de production et l'entreprise locale de distribution d'électricité.

Si l'utilisateur ne souhaite pas revendre le surplus d'électricité, aucune autre démarche n'est nécessaire (si ce n'est le contrat de raccordement). Le surplus d'électricité est alors renvoyé sur le réseau électrique sans compensation financière.

Si l'utilisateur souhaite revendre le surplus d'électricité (non auto-consommée), cette démarche est complétée par un contrat de rachat auprès d'un fournisseur d'énergie.



Une chaudière à micro-cogénération est obligatoirement raccordée à un réseau « consommateur » d'électricité. Ainsi, en complément du contrat de consommation, un contrat de raccordement d'une unité de production d'électricité injectant sur le réseau doit être établi.

Le titulaire du contrat de consommation doit être le même que le demandeur du contrat de raccordement de la chaudière à micro-cogénération.

Commentaire

Les informations fournies dans cette partie sont susceptibles d'évoluer. C'est pourquoi il est nécessaire de s'assurer de leur validité en se rapprochant soit de l'installateur de l'unité, soit de l'entreprise locale de distribution d'électricité.



11.1. • *Démarches obligatoires pour le raccordement d'une chaudière à micro-cogénération au réseau public de distribution d'électricité*

La démarche administrative de raccordement d'une unité de production d'électricité est une démarche obligatoire avant la mise en service de toute unité de production d'électricité raccordée au réseau public de distribution d'électricité.

Commentaire

Afin de trouver l'entreprise locale de distribution d'électricité couvrant le site concerné, consulter le site internet d'ERDF. Dans le cas où le code postal n'est pas référencé, la mairie informera sur l'entité à contacter.

Le propriétaire de l'unité de production doit faire une demande de raccordement auprès de l'entreprise locale de distribution d'électricité. Cette demande est obligatoire dans la mesure où l'unité est susceptible de réinjecter de l'électricité sur le réseau public de distribution d'électricité.

Commentaire

Les chaudières à micro-cogénération (de même que toute installation de cogénération inférieure à 3 kVA) sont dispensées de CONSUEL si l'ensemble des organes de la partie électrique (protection de découplage...) sont inclus dans le produit, installés, testés et certifiés en usine.



Le demandeur doit obligatoirement être titulaire d'une assurance responsabilité civile couvrant tous les dommages corporels, matériels et immatériels susceptibles de survenir lors du fonctionnement de l'installation de production. Elle doit clairement mentionner la présence d'une installation de production raccordée au réseau public de distribution d'électricité.

A ce jour, la procédure à suivre pour le raccordement d'une chaudière à micro-cogénération au réseau public de distribution d'électricité est la suivante :

- Remplir et envoyer la demande de raccordement d'une installation de production de puissance de raccordement ≤ 36 kVA au réseau public de distribution d'électricité ;
- L'entreprise locale de distribution renvoie une convention d'exploitation suite à cette demande. Elle prévoit que le producteur fasse lui-même un test de découplage ;

- Le producteur doit renvoyer un exemplaire signé de cette convention. Il peut ensuite coupler l'installation au réseau public.

Les principaux documents pouvant être demandés en accompagnement sont :

- Le certificat de conformité à la DIN VDE 0126.1.1 (certification de la protection de découplage) (cf. 10.1) ;
- Un plan de situation du terrain ;
- Les documents du permis de construire ;
- Des photos de l'environnement...
- Une photo du branchement extérieur et des coffrets en limites de propriétés (s'ils sont déjà installés).

11.2. • *Démarches supplémentaires à effectuer en cas de revente du surplus d'électricité produite*

L'obligation d'achat par le distributeur de l'électricité produite par une installation qui utilise des énergies renouvelables et non consommée, est prévue et encadrée par la Loi n°2000-108 du 10 février 2000, modifiée le 1^{er} janvier 2012, relative à la modernisation et au développement du service public de l'électricité. Le tarif d'achat est fixé par décret. Il est actuellement régi par l'arrêté du 13 mars 2002 fixant les conditions d'achat de l'électricité produite par les installations d'une puissance inférieure ou égale à 36 kVA pouvant bénéficier de l'obligation d'achat au tarif réglementé d'électricité.

En cas de revente du surplus d'électricité, une demande de certificat ouvrant droit à obligation d'achat est effectuée auprès :

- De la Direction Régionale et Interdépartementale de l'Environnement et de l'Energie (DRIEE) pour l'Ile-de-France ;
- De la Direction Régionale de l'environnement de l'Aménagement et du Logement (DREAL) pour les autres régions.

Une fois ce certificat obtenu, le demandeur contacte un fournisseur d'électricité pour demander un contrat d'achat.

En parallèle, le propriétaire de l'unité de production doit faire une demande de raccordement auprès de l'entreprise locale de distribution d'électricité. Cette demande est obligatoire dans la mesure où l'unité est susceptible de réinjecter de l'électricité sur le réseau public de distribution d'électricité.

Lors de cette demande, le producteur doit préciser qu'il souhaite bénéficier du dispositif d'obligation d'achat.

Les principaux documents demandés en accompagnement du contrat de raccordement sont :

- Le certificat de conformité à la DIN VDE 0126.1.1 (certification de la protection de découplage) (cf. 10.1) ;
- Un plan de situation du terrain ;
- Des photos de l'environnement...
- Une photo du branchement extérieur et des coffrets en limites de propriétés (s'ils sont déjà installés).

Commentaire

La procédure concernant le contrat de raccordement est la même que dans le cas de l'autoconsommation sans revente. Seules quelques pièces justificatives supplémentaires à celles du chapitre 11.1 (cf. 11.1) peuvent être demandées.



Dans le cas de la revente d'électricité, il est nécessaire d'avoir l'accord d'un responsable d'équilibre. Plus d'informations à ce sujet sont fournis sur les sites internet de la CRE (Commission de Régulation de l'Energie) ou de RTE (Réseau de Transport d'Electricité).

Une fois ces éléments validés (contrat de raccordement et pièces jointes et accord du responsable d'équilibre), l'entreprise locale de distribution d'électricité retourne au demandeur la convention d'exploitation, le contrat de raccordement ainsi qu'une proposition de raccordement chiffrée pour l'installation du compteur de réinjection. Quelques pièces justificatives supplémentaires peuvent être demandées à cette occasion.

Après accord du demandeur, les travaux d'installation peuvent être réalisés.



L'installation n'est pas autorisée à produire de l'électricité tant que la mise en service du raccordement n'a pas été réalisée par l'entreprise locale de distribution d'électricité.

Suite à la mise en service, il revient au producteur d'avertir l'acheteur de l'électricité produite de la mise en service du compteur de rachat.

PARTENAIRES du Programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »

- Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) ;
- Association des industries de produits de construction (AIMCC) ;
- Agence qualité construction (AQC) ;
- Confédération de l'artisanat et des petites entreprises du bâtiment (CAPEB) ;
- Confédération des organismes indépendants de prévention, de contrôle et d'inspection (COPREC Construction) ;
- Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) ;
- Électricité de France (EDF) ;
- Fédération des entreprises publiques locales (EPL) ;
- Fédération française du bâtiment (FFB) ;
- Fédération française des sociétés d'assurance (FFSA) ;
- Fédération des promoteurs immobiliers de France (FPI) ;
- Fédération des syndicats des métiers de la prestation intellectuelle du Conseil, de l'Ingénierie et du Numérique (Fédération CINOVA) ;
- GDF SUEZ ;
- Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie ;
- Ministère de l'Égalité des Territoires et du Logement ;
- Plan Bâtiment Durable ;
- SYNTec Ingénierie ;
- Union nationale des syndicats français d'architectes (UNSA) ;
- Union nationale des économistes de la construction (UNTEC) ;
- Union sociale pour l'habitat (USH).

Les productions du Programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont le fruit d'un travail collectif des différents acteurs de la filière bâtiment en France.



GUIDE

CHAUDIÈRES À MICRO-
COGÉNÉRATION À MOTEUR
STIRLING FONCTIONNANT
AU GAZ NATUREL EN HABITAT
INDIVIDUEL

CONCEPTION
ET DIMENSIONNEMENT

SEPTEMBRE 2015

NEUF

Ce guide concerne les installations de chaudières à micro-cogénération, d'une puissance électrique produite de l'ordre du kilowatt, à moteur Stirling et fonctionnant au gaz naturel, destinées au chauffage et à la production d'eau chaude sanitaire en habitat individuel neuf.

Il fournit les prescriptions relatives à la conception et au dimensionnement de l'installation de chaudière à micro-cogénération mais aussi des composants du circuit hydraulique.

Les spécifications de raccordement aux réseaux de gaz et d'électricité ainsi que la fumisterie sont également traitées.

Bien que ces produits puissent être installés en production centrale (mini-chaufferie) ou en production individuelle en logement collectif, ces applications ne sont pas traitées dans ce guide.

Des points de vigilance mettent en avant les spécifications essentielles pour la pérennité de l'installation : implantation, dimensionnement, équipements de sécurité, schéma hydraulique.



PROGRAMME D'ACCOMPAGNEMENT DES PROFESSIONNELS

« Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »

Ce programme est une application du Grenelle Environnement. Il vise à revoir l'ensemble des règles de construction, afin de réaliser des économies d'énergie dans le bâtiment et de réduire les émissions de gaz à effet de serre.

www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr

