

Concevoir une chaufferie automatique au bois déchiqueté de moins de 300 kW

Edition 2004

Version non mise en page pour le public

LES BONNES PRATIQUES DU BOIS-ENERGIE



Avant Propos

Cette bonne pratique est destinée à fournir aux **bureaux d'études et conseillers de la filière bois-énergie** des informations techniques de base pour concevoir une chaufferie automatique au bois déchiqueté de moins de 300 kW.

Cette bonne pratique réalisée par l'ITEBE est la cinquième de la série dédiée au bois déchiqueté et a été réalisée avec le concours financier de l'agence française de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, ADEME.

L'ITEBE est une association professionnelle internationale agissant pour le développement des bioénergies dans le cadre d'un développement durable de nos sociétés.

L'ITEBE a pour vocation à renseigner et à documenter les demandes techniques et économiques des acteurs des bioénergies, et en l'occurrence ici des professionnels du bois-énergie. Pour valider et confirmer ses informations, l'ITEBE anime régulièrement des séances de travail dans ses différents secteurs d'activités par le biais de ses clubs professionnels.

Les actions de l'ITEBE sont neutres de toute considération commerciale ou politique et sont promulguées aux seules fins de favoriser l'amélioration des technologies et des pratiques dans le secteur des bioénergies.

Chaque bonne pratique est élaborée et enrichie en permanence avec le concours des professionnels. Afin d'en améliorer sans cesse la qualité, nous invitons nos lecteurs à nous transmettre leurs remarques voire propositions aux coordonnées figurant au dos de ce document.



Avertissement général concernant les bonnes pratiques de l'ITEBE

Une bonne pratique a pour objet de contribuer à optimiser les activités des professionnels en proposant des outils et des pratiques opératoires validées par les spécialistes de la filière.

Ces documents contiennent des informations relatives aux règles de l'art et aux réglementations. En aucun cas, les éléments techniques contenus dans ces documents ne peuvent être utilisés tels quels sans une planification propre à chaque projet. Ces documents ne sont ni réglementaires ni universels et doivent être considérés comme des auxiliaires à la conception et à la décision.

Une bonne pratique doit en particulier souvent faire l'objet d'adaptations en fonction de contraintes du pays ou du contexte régional dans le quel on veut exercer l'activité.

L'ITEBE ne pourrait être tenu pour responsable des malheurs consécutives au suivi stricto sensu de ces bonnes pratiques. La responsabilité incombe au concepteur, avec l'aide des recommandations, d'analyser chaque cas et de proposer la solution adaptée.

Remerciements sont faits à toutes les personnes, institutions et entreprises ayant fourni des informations ou ayant participé aux rédactions et relectures successives.

Editeur : ©ITEBE

2004

Prix : 10 €

Commande : Voir dernière page

Sommaire

1 – CONNAITRE LA REGLEMENTATION	4
2 – CONNAITRE LES COMBUSTIBLES BOIS.....	5
3 - DIMENSIONNER LES BESOINS.....	5
3.1- CALCUL DES BESOINS	5
3.1.1 - CALCUL DE LA PUISSANCE TOTALE DE LA CHAUFFERIE	5
3.1.2 – CALCUL DES BESOINS EN ENERGIE	6
3.2 - CHOIX DE LA PUISSANCE A INSTALLER EN BOIS	8
4 – CHOISIR LA TECHNOLOGIE DE LA CHAUDIERE.....	11
4.1 – DESCRIPTION DES TECHNOLOGIES EXISTANTES	11
4.1.1 - LES CHAUDIERES A GRILLE FIXE	11
4.1.2 - LES CHAUDIERES A GRILLE MOBILE	11
4.2 – RECOMMANDATIONS POUR CHOISIR LA CHAUDIERE ADAPTEE	12
5 –CONCEVOIR LA CHAUFFERIE.....	13
5.1 – EMBLACEMENT DU LOCAL CHAUFFERIE	13
5.2 – ALIMENTATION EN COMBU STIBLE	13
5.3 – AMENAGEMENT DE LA CHAUFFERIE	13
5.3.1 - INDICATIONS SUR LE LOCAL	13
5.3.2 - REGLES DE SECURITE RELATIVES AUX RISQUES D'INCENDIE DE LA CHAUFFERIE	13
5.3.3 - CONCEVOIR LES ORIFICES D'AERATION POUR LA VENTILATION DE LA CHAUFFERIE	14
5.4 – EVACUATION DES CENDRES ET CONDUIT DE FUMEEES	14
5.4.1 - EVACUATION DES CENDRES	14
5.4.2 – CONDUIT DE FUMEEES	14
5.5 – HYDRAULIQUE DE LA CHAUFFERIE	15

1 – CONNAITRE LA REGLEMENTATION

Parallèlement aux recommandations présentes dans ce document, il sera indispensable de se conformer aux textes officiels en vigueur, normes et réglementations. En voici les principales.

Description	Référence
Normes européennes	
Sécurité des appareils électrodomestiques	EN 60 335-1
Équipement électrique des appareils non-électriques pour usage domestique	EN 50 165
Sécurité électrique des machines	EN 60 204-1
Chaudières spéciales pour combustibles solides, à chargement manuel et automatique, puissance utile inférieure ou égale à 300 kW Définitions, exigences, essais et marquage.	EN 303-5
Normes et réglementations françaises	
Chaudières à eau chaude	Arrêté du 9 mai 1994
Équipements et exploitation	Arrêté du 20 juin 1975
Installations fixes destinées au chauffage et à l'alimentation en eau chaude sanitaire des bâtiments d'habitation, de bureaux ou recevant du public	Arrêté du 23 juin 1978
Sécurité d'exploitation des générateurs	NF E 32-020
Tuyaux et coude de fumée en tôle	NF D 35-302
Conduits de fumées	NF D 35-303
Caractéristiques des conduits de fumée	NF D 35-304
Briques de terre cuite pour la construction de conduits	NF P 51-301
Briques réfractaires pour la construction de conduits	NF P 51-302
Fumisterie, boisseaux de terre cuite	NF P 51-311
Conduits de fumée en béton	XP P 51-321 + E1
Chaudière de chauffage central	D 300 004
Plomberie sanitaire en habitation	DTU 60.1
Installations de chauffage central	DTU 65.3
Sécurité des installations de chauffage	DTU 65.11
Règle de calcul des cheminées	DTU P 51-701
Travaux de fumisterie	DTU 24.1, 24.2.1, ...
Installations de chauffage central	DTU 65
Normes et réglementations suisses	
Ordonnance sur la protection de l'air (OPair)	16 décembre 1985
Recommandations sur la hauteur minimale des cheminées sur toit, dernière modification du 1er février 1995	OFEFP, 15 décembre 1989
Directive de protection incendie pour les installations thermiques, ajout en 1999	AEAI, 1993
Recommandations relatives à la mesure des émissions de polluants atmosphériques du 15 janvier 1990	OFEFP, 3003 Berne
Directives suisses de l'homologation pour chaudières à bois	Energie-bois Suisse

Pour en savoir plus, se référer au **Recueil des textes réglementaires du bois-énergie** (Fascicule n°1 de la série Outils de ITEBE Editions).

Adresses utiles :

AFNOR : Association Française de Normalisation

Tour Europe
F-92049 PARIS LA DEFENSE Cedex
Tél. : +33 -1 42 91 55 55
Fax : + 33 -1 42 91 56 56
Web : www.afnor.fr

CSTB : Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

4, avenue du Recteur Poincaré
F-75782 PARIS Cedex 16
Tél. : +33 -1 64 68 84 3
Fax : +33 -1 64 68 84 78
Web : www.cstb.fr

Association Suisse de Normalisation

Bürglistr. 29
8400 Winterthur
Tel. +41 52 224 54 54
Fax +41 52 224 54 74
Web : www.snv.ch

CEN Comité Européen de Normalisation

36 rue de Stassart
B - 1050 Brussels
Tel: + 32 2 550 08 11
Fax: + 32 2 550 08 19
Web : www.cenorm.be

2 – CONNAITRE LES COMBUSTIBLES BOIS

Il existe une grande gamme de combustibles bois d'origines et de caractéristiques différentes, utilisables dans des chaudières automatiques. Ces combustibles sont les suivants :

- ❑ **Bois déchiqueté** : combustible obtenu par déchiquetage de sous-produits forestiers, industriels ou de bois en fin de vie.
- ❑ **Sciures, copeaux et poussières de ponçage** : sous-produits du bois en provenance des industries de transformation du bois.
- ❑ **Ecorces** : sous-produits issus de l'écorçage des grumes de sciages.

Le choix de la technologie de la chaudière dépendra du combustible et de ses caractéristiques.

Les principales caractéristiques sont les suivantes :

- les dimensions ou la granulométrie (taille des particules de bois),
- l'humidité (teneur en eau du bois),
- la quantité d'énergie (énergie contenue dans la quantité de bois considérée).

Les caractéristiques secondaires sont :

- le taux de cendres (taux de minéraux incombustibles contenu dans les cendres)
- le taux de fines (taux de particules très fines présentes dans le bois)

Pour plus de précisions, consulter la brochure n°3 de la série Outils de l'ITEBE : « Caractéristiques commerciales des combustibles bois ».

L'influence des caractéristiques du combustible bois sur les choix technologiques pour l'installation sont précisés dans le tableau suivant :

Caractéristiques	Influence sur l'installation
Granulométrie	Choix des technologies pour les systèmes d'extraction et de transfert du combustible
Humidité	Choix du type de foyer
Contenu énergétique volumique	Calcul de la taille du silo
Taux de cendre	Choix du type de foyer
Taux de fines	Ajout d'un filtre à poussières

3 - DIMENSIONNER LES BESOINS

3.1- Calcul des besoins

Une installation thermique fournit principalement l'énergie nécessaire au chauffage et peut également participer à la production d'eau chaude sanitaire.

Dans le dimensionnement d'une installation, la puissance nécessaire à la production d'ECS (eau chaude sanitaire) peut donc se rajouter à la puissance nécessaire au chauffage.

3.1.1 - Calcul de la puissance totale de la chaufferie

Puissance de chauffage

La puissance totale se définit par rapport aux besoins nécessaires par grand froid pour une température intérieure de consigne maximale. Les températures de consigne intérieures (T_{in}) sont variables suivant le type des bâtiments considérés: 14 à 15 °C pour des ateliers, 19°C pour des logements, 21 à 24°C pour des maisons de retraite ou des hôpitaux. Le grand froid est défini par la température extérieure de base selon les conditions climatiques du lieu d'implantation des bâtiments. Ces données sont disponibles auprès des services météorologiques.

Quelques exemples de températures de base

Zone géographique	Température extérieure de base (Text)
Alpes	- 10°C
Ardennes	- 12°C
Bassin parisien	-5 à -10 °C
Flandres	- 9°C
Jura	-12°C
Vosges	-15°C
Zones côtières	-4°C

Les températures de base varient également avec l'altitude du lieu.

Pour un bâtiment donné, la puissance de chauffage se calcule en kW grâce à la formule :

$$P_{chauff} = \frac{G \times V \times (T_{int} - T_{ext})}{1000}$$

G est le coefficient de déperditions volumique du bâtiment en W/°C.m³, il se calcule à partir des caractéristiques du bâtiment et de ses matériaux. Se référer à la réglementation thermique RT 2000.

V est le volume chauffé du bâtiment en m³,

T_{int} est la température de consigne intérieure en °C,

T_{ext} est la température extérieure de base en °C.

La plage de variation du G est de :

- Environ 0.5 W/°C.m³ pour des bâtiments récent très bien isolés,
- Environ 1 W/°C.m³ pour des bâtiments conforme à la réglementation en vigueur en 1984.
- Environ 2 – 2,5 W/°C.m³ pour des bâtiments non isolés et anciens (construit il y a plus de vingt ans).

Puissance nécessaire à la production d'eau chaude sanitaire

Elle se définit par rapport aux deux paramètres suivants :

- **les besoins journaliers**, en fonction du type et du nombre d'utilisateurs,
- **le type d'installation de production** : accumulation ou instantané.

Les besoins d'eau chaude sanitaire se calculent en kilowattheures par an d'après la formule suivante :

$$Q \text{ (énergie à fournir en kWh)} = \text{consommation ECS en litre par jour} \times (T_{ECS} - T_{EFS}) \times 1,16$$

La production d'eau chaude sanitaire est généralement négligeable dans le calcul de la puissance pour le petit collectif, une habitation individuelle normale ou des établissements à faible utilisation d'eau chaude (par exemple une école ou des bureaux).

Elle n'est plus négligeable dans les établissements gros consommateurs d'eau chaude sanitaire besoins (ECS >10 % des besoins d'énergie totaux) tels que les établissements touristiques et de santé, les maisons de retraite et les piscines. Dans ces cas, il faudra effectuer une étude thermique pour évaluer la puissance nécessaire à ces besoins.

Si l'habitation individuelle est très bien isolée (puissance de chauffage faible) il faudra éventuellement prévoir une puissance un tout petit peu plus élevée pour répondre aux besoins en ECS mais de toute manière, les plus petits modèles de chaudières sont souvent de puissance plus élevée que ce dont on a besoin.

On peut cependant faire les remarques suivantes :

- les systèmes de production d'ECS par accumulation permettent de diminuer la puissance nécessaire (par écrêtage des appels de puissance), d'autant plus que les capacités de stockage sont importantes.
- pour les rénovations d'installations existantes, la puissance nécessaire peut être estimée s'il existait préalablement un générateur voué à la production d'ECS.

Puissance totale de l'installation de chauffage

Elle correspond à la somme des deux puissances précédentes :

$$P_{totale} = P_{ecs} + (P_{chauff} \times P_{pertes})$$

P_{totale} : puissance nécessaire

P_{chauff} : puissance de chauffage

P_{ecs} : puissance pour l'eau chaude sanitaire (si besoin est)

P_{pertes} : Pour les chaufferies alimentant un réseau de chauffage à distance, il faut prendre en compte les pertes du réseau, généralement le % de perte est très faible. Se référer aux prescriptions du fabricant de tuyaux, à la longueur du réseaux, aux températures mises en œuvre et à la vitesse de circulation.

3.1.2 – Calcul des besoins en énergie

Les besoins de chauffage (correspondant à l'énergie utile - BesoinChauff) se calculent en kWh par an d'après la formule suivante :

$$BesoinChauff = \frac{B \times V \times DJU \times 24}{1000}$$

- **B** est le coefficient de déperdition volumique du bâtiment en W/°C.m³ diminué des apports gratuits, solaires ou internes. Il représente en général 70 à 90 % du coefficient G.
- **V** est le volume chauffé du bâtiment en m³,
- **DJU** représente le nombre de Degrés Jour Unifiés défini par les conditions climatiques du lieu d'implantation des bâtiments en °C.jours. Les DJU représentent le cumul annuel des écarts entre les

températures extérieures (données par les statistiques météorologiques) et la température intérieure désirée par exemple 18 °C.

DJU base 18 pour quelques villes

Bruxelles	2690	Lyon	2500	Paris	2510	Lausanne	2760	Namur	2900
Belfort	2940	Nice	1470	Perpignan	1460	La Chaux de Fonds	3500	Luxembourg	2750
Bordeaux	2040	Orléans	2530	Rennes	2290	Oostende	2300		

Les DJU sont disponibles auprès du COSTIC pour la France, auprès du service de normalisation en Suisse et auprès de l'Institut Royal Météorologique en Belgique.

La formule précédente permet de calculer les besoins de chauffage sur une année complète avec une température intérieure de consigne équivalente sur toute l'année. Or les bâtiments ne sont pas chauffés durant toute la saison et toute la journée à la même température. Afin de calculer les besoins plus précisément, il faut intégrer un facteur supplémentaire, l'intermittence :

L'intermittence

L'intermittence représente la répartition dans le temps des besoins thermiques. Dans la formule de calcul des besoins, l'intermittence va pondérer les DJU. Trois exemples sont donnés pour appréhender ce facteur d'intermittence :

- logement principal
 - saison de chauffe : mi-octobre mi-mai
 - température de consigne : 19°C le jour, 17°C la nuit
- groupe scolaire
 - saison de chauffe : mi-octobre mi-mai
 - température de consigne :
 - période scolaire : 5 jours/7 à 19°C le jour, 15°C la nuit et 2 jours/7 à 15°C 24h/24,
 - congés scolaires : hors-gel (8°C) 24h/24.
- maison de retraite
 - saison de chauffe : septembre à juin
 - température de consigne : 19°C à 21°C 24h/24

Pour calculer les besoins de chauffage au plus près, il faudrait déterminer le facteur DJU de manière complexe en prenant par exemple, pour le logement principal, la somme des DJU journaliers (2/3 avec Tint à 19°C et 1/3 avec Tint 17°C) et ceci de la mi octobre à la mi mai.

Ce calcul étant complexe pour une évaluation rapide des besoins, on peut généralement se satisfaire d'une approximation globale de l'intermittence, pour une évaluation plus précise, il est conseillé de faire appel à un bureau d'études.

$$DJU = DJU \times \text{coeff I}$$

L'intermittence dépend aussi du type de bâtiment : plus elle est proche de 1 (faible intermittence), plus les besoins thermiques sont réguliers (sur la journée, sur la semaine et sur la saison de chauffe). Les intermittences s'échelonnent ainsi de 0.4 à 1 selon l'occupation du bâtiment.

Exemples d'intermittences selon le type de bâtiments :

Coefficient d'intermittence		
Fort (coeff I > 0,9)	Moyenne (0,6 < coeff I < 0,9)	Faible (coeff I < 0,6)
Hôpitaux	Logements collectifs	Groupes scolaires
Maison de retraite	Etablissements scolaires avec internat	Collèges, lycées
Piscines	Bâtiments communaux	Salle des fêtes, gymnase
Logements collectifs	Process industriel	Bâtiments industriels

Calcul des besoins d'énergie pour l'ECS

Ils se calculent en kWh par an d'après la formule suivante :

$$BesoinEcs = V \times 1.16 \times (Tecs - Tefs)$$

- **V** est le volume annuel d'eau chaude consommée en m³.
- **Tecs – Tefs**, la différence de température entre la consigne d'ECS et le réseau d'eau froide (5 - 15°C).

Production d'eau chaude sanitaire en période estivale

En période estivale, si les besoins à fournir sont faibles, la production d'eau chaude sanitaire peut être assurée par un autre générateur (gaz, électrique, solaire, chaudière d'appoint), permettant ainsi d'arrêter celle-ci.

Calcul de la consommation de bois

Exprimée en kWh/an elle est déduite des besoins thermiques précédents par la formule :

$$\text{ConsommationBois} = \frac{\text{BesoinChauff} + \text{BesoinEcs}}{h \times \text{PCI}}$$

h est le rendement global de l'installation thermique : rendement annuel de chaudière, de transport (réseau de chaleur), de distribution et d'émission. En première approximation on peut estimer qu'il est compris entre 60 et 85 %.

PCI pouvoir calorifique inférieur du combustible exprimé en kWh par tonne ou en kWh par mètre cube apparent. La consommation en combustible sera donc exprimée en tonne ou en mètre cube apparent selon l'unité du PCI.

3.2 - Choix de la puissance à installer en bois

	Choix de la puissance bois	Couverture des besoins annuels par le bois	Puissance de la chaudière bois	Conditions et commentaires
Cas 1	Une chaudière bois dimensionnée à la puissance totale	100 %	100 %	<ul style="list-style-type: none">✓ Pas de chaudière d'appoint,✓ Pas de chaudière de secours, éventuellement un brûleur escamotable au gaz ou au mazout en cas de panne sur l'approvisionnement
Cas 2	Une chaudière bois légèrement sous dimensionnée et un ballon d'accumulation	100 %	90 à 95 %	<ul style="list-style-type: none">✓ La taille du ballon donne la puissance déductible de la puissance de la chaudière✓ Pas de chaudière d'appoint✓ Pas de chaudière de secours, éventuellement brûleur escamotable
Cas 3	Une chaudière bois avec une installation d'appoint / secours	80 à 95 %	50 à 75 %	<ul style="list-style-type: none">✓ La majorité des besoins sont satisfaits par la chaudière bois✓ La chaudière bois est utilisée au maximum✓ Une chaudière gaz ou mazout assure l'appoint et le secours

Figure 7 : résumé des différents choix possibles pour le dimensionnement et la conception de l'installation.

Cas 1 – Une chaudière bois dimensionnée à la puissance totale

Cette solution convient aux petites installations domestiques ou micro réseaux qui fonctionnent avec un combustible sec et bien calibré, donc sans problème. En effet, comme la chaudière fonctionnera seule, elle sera très souvent à bas régime. Or, ce type de fonctionnement n'est pas recommandé avec des combustibles humides, car la combustion à faible charge sera moins bonne en raison de températures du foyer insuffisantes pour ce type de produits.

Un brûleur de dépannage gaz ou mazout peut éventuellement être monté sur une porte escamotable de la chaudière. Ce brûleur doit être ressorti dès que le fonctionnement au bois reprend.

Pour des puissances plus importantes, cette solution est économiquement peu intéressante car les coûts d'investissement sont généralement importants, et on va investir dans une puissance qui sera sous-utilisée.

Pour limiter cet inconvénient, on choisira les solutions de dimensionnement 2 ou 3.

Cas 2 – Une chaudière bois avec un ballon d'accumulation

Le ballon d'accumulation permet d'emmagasiner de la chaleur en dehors des appels de puissance et de la restituer en cas de demande. La puissance du ballon peut être déduite de la puissance à installer au niveau de la chaudière bois.

Ordre de grandeur : minimum une heure de fonctionnement à pleine charge.

Exemple : ballon de 4000 litres pour une chaudière de 100 kW, à $\Delta T = 20^{\circ}\text{C}$.

L'installation d'un ballon permet également à l'installation de mieux répondre aux **appels de puissance** importants et de courte durée.

Par ailleurs, un ballon d'accumulation associé à une réduction significative de la puissance de la chaudière **réduit notablement le nombre de phases de relance**, car la chaudière arrive moins rapidement à la température de consigne. Elle fonctionne donc plus longtemps, ce qui améliore les performances générales de l'installation.

Si dans ce cas de faible sous-dimensionnement, malgré la ballon durant de petites périodes de grand froid ou de fort vent, la puissance s'avère limite, il restera l'opportunité de délester certaines parties de l'installation pour conserver le service maximum sur la majorité de l'installation.

Enfin, en cas de faible demande, par exemple en intersaison, l'utilisation d'un ballon permet même un arrêt périodique de la chaudière, le temps de décharger le ballon : arrêt automatique sur certains modèles sinon manuel.

Cas 3 – Une chaudière bois avec appoint et secours

Comme nous l'avons déjà évoqué ce choix sera d'autant plus rationnel que la puissance de l'installation est importante. La chaudière bois est sous dimensionnée et l'appoint permet de compléter sa production ou de servir de secours. Cet appoint est constitué d'une deuxième chaudière à gaz ou mazout, dimensionnée pour couvrir 100 % des besoins, secours oblige. Dans les chaufferies pré-existantes, on pourra conserver la chaudière précédente si elle reste en état, car cette deuxième chaudière sera peu sollicitée.

Les chaudières sont montées en cascade : un signal de commande met en marche la chaudière d'appoint lorsque la température de consigne de départ n'est plus atteinte.

Choix de la puissance bois dans le cas 3

Le coût d'investissement d'une chaudière automatique au bois est généralement plus important que celui des chaudières pour énergies fossiles. En revanche, le combustible bois est quant à lui en général bon marché.

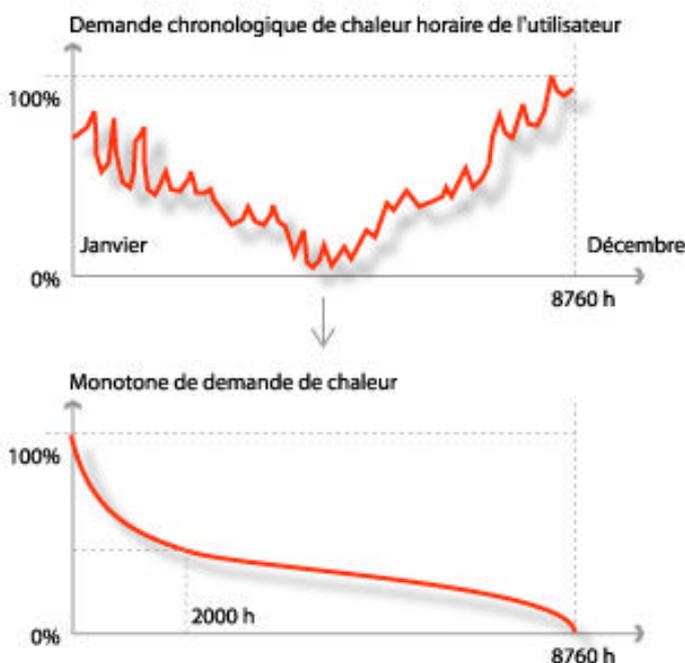
Pour amortir ce surcoût d'investissement, on doit rechercher à dimensionner la chaudière bois de manière à l'utiliser le plus longtemps possible à sa puissance maximale, de manière à favoriser l'usage du bois, et pas le combustible de la chaudière d'appoint.

La répartition des besoins de chauffage sur la saison de chauffe montre que la puissance maximale de la chaudière n'est appelée que peu de jours par an.

Etablissement de la monotone de puissance

La courbe monotone est un graphique (cf graphique 3.2.1) représentant l'évolution de la fréquence cumulée de la puissance appelée en chaufferie au cours de l'année :

- en abscisse est représenté le nombre de jours (ou d'heures)
- en ordonnée : la puissance appelée.



Graphique 3.2.1 de la région Wallonne – Site portail de l'énergie

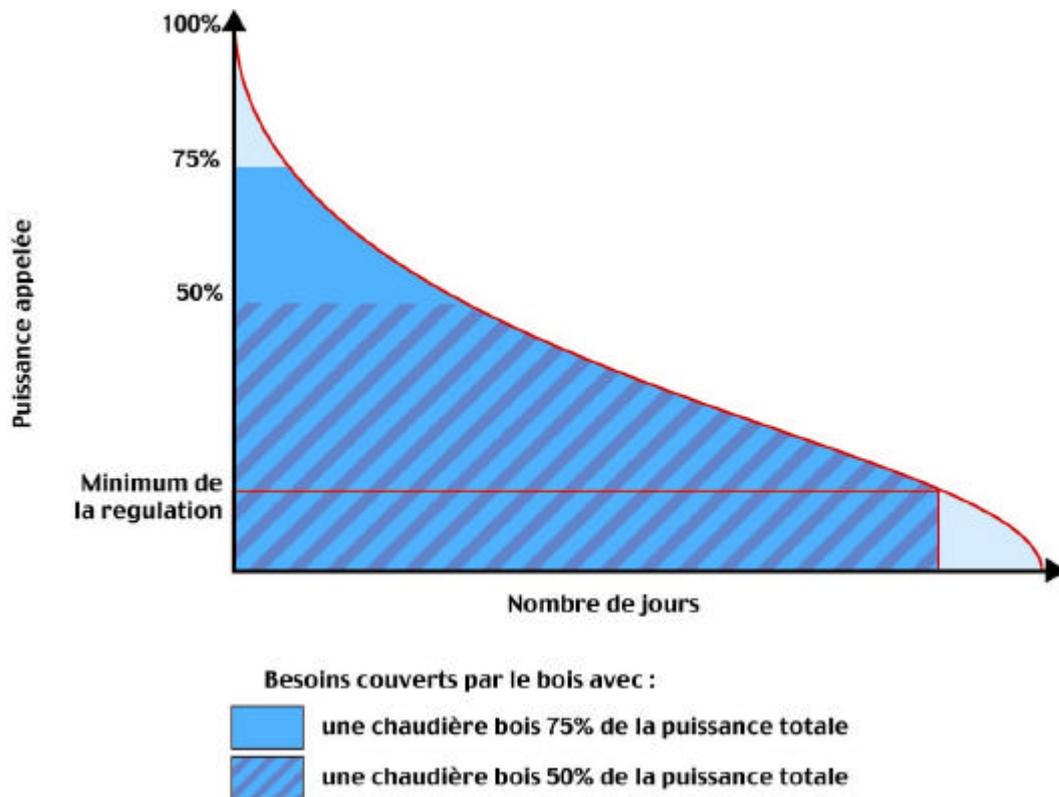
La puissance appelée (demande de chaleur) se décompose en deux parties :

- les besoins pour le chauffage des locaux, qui se calculent à partir des déperditions, et évoluent donc avec la température extérieure
- les besoins pour les services (indépendants de la température extérieure) : ECS, procédés divers

L'aire sous jacente à la courbe monotone est proportionnelle à la quantité d'énergie (exprimée en kWh ou MWh) à fournir. A partir de cette courbe, il est possible de déterminer la puissance de la chaudière bois à installer pour couvrir le maximum de besoins sur l'année soit 80 à 95 % de l'aire sous jacente, pour un investissement minimum.

Le tracé de la courbe se fait grâce au calcul de la puissance appelée durant l'année en fonction des données météorologiques. Ces calculs peuvent être programmés sur un tableur.

Le graphique suivant montre un exemple de ces appels de puissance sur l'année et de l'utilité de la chaudière d'appoint. Dans cette configuration, on s'arrangera pour que la puissance de la chaudière bois assure de 50 à 75 % de la puissance maximale, ce qui correspondra généralement à un taux de couverture des besoins de 80 à 95 %.



Graphique 3.2.2 Choix de la puissance à partir de la monotone

Vérification du choix de la puissance par le nombre d'heures de fonctionnement à pleine charge

Lorsque la puissance de la chaudière est déterminée (P_{bois} en kW), ainsi que les besoins couverts par le bois (B_{bois} en kWh), il conviendra alors de vérifier que la puissance bois moyenne utilisée sur l'année est satisfaisante. Cette vérification s'effectue en calculant le nombre d'heures de fonctionnement de la chaudière bois à pleine charge par la

formule suivante : $n = \frac{B_{\text{bois}}}{P_{\text{bois}}}$

Le résultat doit être supérieur à 1 800 heures de fonctionnement, sachant que l'optimum se situe à 2 000 heures. En deçà de cette valeur la chaudière est surdimensionnée et au delà la chaudière est sous-dimensionnée. Les consommateurs à forte intermittence seront donc ici économiquement pénalisés.

4 – CHOISIR LA TECHNOLOGIE DE LA CHAUDIERE

4.1 – Description des technologies existantes

Les chaudières automatiques à bois se partagent en deux catégories : celles à grille fixe et celles à grille mobile.

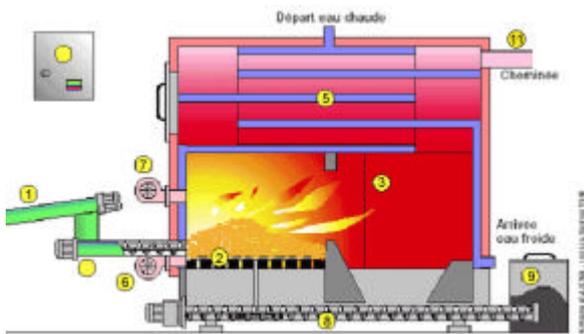
4.1.1 - Les chaudières à grille fixe

Les chaudières à alimentation totalement automatique

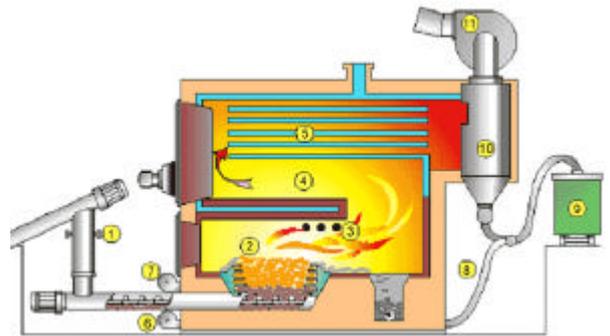
Ces chaudières intègrent dès leur conception, l'ensemble des dispositifs utiles à l'alimentation, la combustion, l'échange et la régulation dans la production de chaleur à partir du bois. Elles ont la particularité d'être équipées d'une grille fixe, adaptée à des combustibles de bonne qualité : granulométrie fine, taux de cendres faible et humidité modérée. De ce fait, elles sont de conception relativement simple. Elles sont toujours alimentées à partir d'un silo à combustible de forte contenance.

Il existe deux types de grilles fixes comme on peut le voir sur les schémas ci-dessous.

Chaudière à grille plane et vis de poussée horizontale



Chaudière à pot foyer

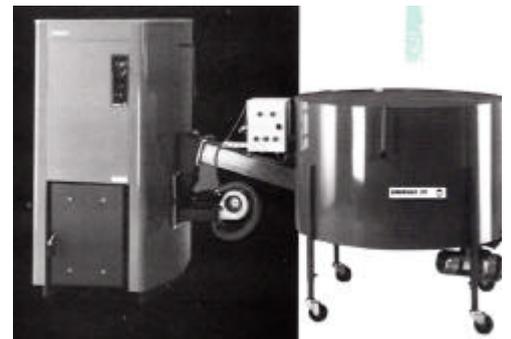


1. Alimentation en combustible.
2. Zone de pyrolyse – injection d'air primaire.
3. Chambre de combustion des gaz – Injection d'air secondaire.
4. Chambre de post-combustion pour la combustion totale des gaz.
5. Transfert de la chaleur dans l'échangeur de chaleur – production d'eau chaude.

6. Ventilateur d'injection de l'air primaire
7. Ventilateur d'injection de l'air secondaire
8. Evacuation mécanisée des cendres et des poussières.
9. Bac à cendres
10. Filtres cycloniques.
11. Evacuation mécanisée des fumées

Les petits brûleurs

Les petits brûleurs sont des dispositifs simplifiés des chaudières à grille fixe, en particulier pour le secteur domestique. Ils peuvent être vendus soit intégrés dans une chaudière ou séparément. Ils sont constitués d'un creuset ou d'un tunnel de combustion, d'un dispositif d'alimentation en combustible et d'une trémie à combustible de faible capacité. On considère que ces équipements ont par conséquent un fonctionnement semi-automatique. Ils n'acceptent que des plaquettes fines et bien sèches.



4.1.2 - Les chaudières à grille mobile

Les chaudières à grille mobile ont des capacités supérieures en matière d'acceptabilité du bois :

- elles sont équipées d'une grille mobile permettant l'étalement du combustible sur une grande surface de séchage et de gazéification, et garantissant l'évacuation mécanisée des cendres
- elles disposent d'un foyer de plus forte inertie permettant le séchage de bois plus humides
- elles disposent d'une chambre de combustion plus longue, plus vaste, acceptant ainsi des volumes de gaz plus importants. Ces volumes plus importants sont générés lors de l'usage de bois humide, par l'apport supplémentaire d'eau pour un même volume de combustible.

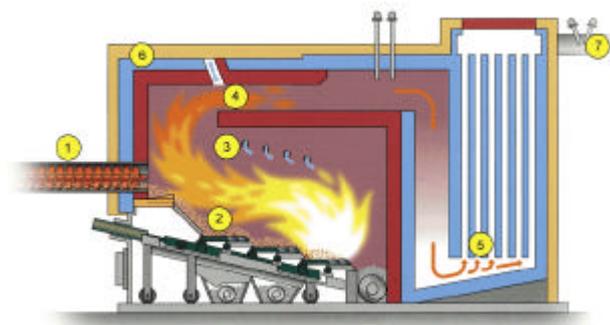


Schéma d'une chaudière automatique à grille mobile

1. Alimentation en combustible.
2. Zone de pyrolyse – injection d'air primaire.
3. Chambre de combustion des gaz – Injection d'air secondaire.
4. Chambre de post-combustion pour la combustion totale des gaz.
5. Transfert de la chaleur dans l'échangeur de chaleur – production d'eau chaude.
6. Bonne isolation thermique pour limiter les pertes par rayonnement.
7. Evacuation mécanisée des fumées.

Les avant foyers

Les avant-foyers sont aux chaudières à grille mobile ce que sont les petits brûleurs aux chaudières à grille fixe. Ce sont des foyers à forte inertie que l'on place devant des chaudières qui ne sauraient accepter certains combustibles humides : par exemple des plaquettes forestières dans une chaudière à mazout de conception ancienne ou des plaquettes humides dans une chaudière à bûches ou à bois sec. Les avant foyers peuvent utiliser en fonction de la puissance choisie les technologies de grille fixe ou mobile et sont soit semi-automatiques, soit automatiques. Dans les toutes petites puissances, ils permettent d'accéder à l'usage des bois fortement humides.

4.2 – Recommandations pour choisir la chaudière adaptée

D'une manière générale, les choix doivent s'orienter vers un bon rapport qualité prix, une adéquation parfaite avec le combustible choisi, des performances optimales (rendement, émissions) et des contraintes d'utilisation minimales. Ces contraintes peuvent être abaissées grâce à une régulation poussée, une autonomie accrue, une automatisation du déchargement et du chargement du silo.

Critères pour le choix du matériel

Technologie	Rendement global	Plage de puissance	Granulométrie & humidité du combustible	Autonomie	Utilisation	Investissement
Chaudières avec petits brûleurs	70 à 85 %	8 à 35 kW	1 à 3 cm 8 < H < 25 %	1 jour à une semaine	Chargement manuel de la trémie	Peu élevé
Chaudières automatiques à grille fixe	75 à 85 %	15 à > 300 kW (10 MW)	3 cm 8 < H < 45 %	3 jours à un an	Entièrement automatique	Elevé
Avant foyers	70 à 80%	25 à > 300kW (25 MW)	1 à 3 cm 30 < H < 45	12 heures à un an	Système peu courant	Elevé
Chaudières automatiques à grille mobile	70 à 80 %	200 à > 300 kW (25 MW)	3 cm Maximum 10 cm 25 < H < 55 %	3 jours à un an	Entièrement automatique	Très élevé

H = humidité sur poids brut

Automatismes en option

- Déchargement du foyer (Sauf pour grilles mobiles)
- Dépoussiérage des tubes de fumée
- Pour un fonctionnement entièrement automatisé, on peut recourir à un dispositif d'allumage automatique dans le cas des combustibles secs.

Qualité des rejets atmosphériques – optimisation de la combustion

Niveau de régulation	Modulant ou linéaire. La plupart des installations automatiques au bois sont désormais équipées d'une régulation de puissance linéaire entre 100 et 30 % de la puissance nominale, dans cette gamme 0 à 300 kW. En dessous de 30 % de la puissance, les installations sont exploitées en mode marche arrêt avec des rendements moindres. Les organes les plus fréquemment utilisés sont la sonde de foyer et la sonde ?.
Rejets de poussières	Filtres cycloniques

5 – CONCEVOIR LA CHAUFFERIE

La chaufferie est constituée principalement d'un système d'alimentation en combustible, d'une chaudière, d'un système d'évacuation des cendres, et d'un dispositif de traitement des fumées. Pour les chaudières à alimentation semi-automatique, la chaufferie comprend également une trémie. Dans le cas des chaudières automatiques, un silo d'alimentation jouxtera la chaufferie. En aval de la chaudière, une installation hydraulique permet de distribuer la chaleur.

5.1 – Emplacement du local chaufferie

Le choix d'implantation du local chaudière doit permettre de disposer dans un rayon de 10 m, du réseau de distribution de la chaleur, du conduit de fumée, de la chaudière, du silo d'alimentation et d'un accès facile aux livraisons de bois. Le local chaufferie doit disposer d'une hauteur et d'un accès permettant le montage, voire le démontage de la chaudière.

5.2 – Alimentation en combustible

Toutes les informations concernant la conception et l'implantation d'un silo ou d'une trémie à bois déchiqueté sont décrites dans la Bonne Pratique ITEBE n°5 du bois déchiqueté « Concevoir un silo ou une trémie à bois déchiqueté ».

5.3 – Aménagement de la chaufferie

Les choix d'implantation doivent permettre de simplifier l'entretien de la chaudière et le fonctionnement de l'installation, tout en respectant les règles de sécurité.

5.3.1 - Indications sur le local

- Le local doit être suffisamment grand pour permettre des interventions faciles sur la chaudière.
- La taille de la chaufferie doit également permettre le démontage et l'évacuation de l'ensemble des composants en cas de grosse réparation.
- Lorsque c'est possible, il est conseillé de placer la chaufferie dans un bâtiment voisin, même si cela nécessite quelques mètres de réseau supplémentaires.
- Les équipements de production de chaleur doivent être installés sur un sol incombustible en les dégageant suffisamment des murs environnants pour permettre les opérations d'entretien, ramonage, démontage éventuel, accès aux appareils de sécurité, régulations, contrôle de la robinetterie.
- Pour le nettoyage des échangeurs horizontaux, prévoir un espace à l'avant de la chaudière au moins aussi long que celle-ci pour manœuvrer les hérissons et pour les échangeurs verticaux, une hauteur sous plafond suffisante.

5.3.2 - Règles de sécurité relatives aux risques d'incendie de la chaufferie

- Si la chaufferie est intégrée ou accolée à un bâtiment, **l'ensemble des murs, plafonds et sols** doivent être **non-combustibles**
- Dans les cas où la **chaufferie est distincte** de l'espace de stockage, le local chaufferie pourra être constitué en partie de **bois**, s'il présente **les durées coupe-feu** recommandées. La **porte d'entrée** de la chaufferie doit être **coupe-feu**, se fermer seule et s'ouvrir dans le sens de la sortie en cas d'urgence. Les portes qui mènent à l'extérieur doivent être **inflammables**.
- S'il existe un **danger de propagation** du feu par les portes qui mènent à l'extérieur, vers des ossatures, des éléments de construction du toit, un site de stockage etc., les **portes** doivent être **coupe-feu**.
- Les **fenêtres** de chaufferie doivent être **inflammables** et impossibles à ouvrir s'il existe un risque de propagation vers l'extérieur.
- **Les portes et trappes** dans les murs et plafonds **entre la chaufferie et le stockage** de bois doivent être **coupe-feu**.
- Des **extincteurs** à utilisation manuelle doivent être disposés à **l'entrée** de la chaufferie.

5.3.3 - Concevoir les orifices d'aération pour la ventilation de la chaufferie

Toute chaufferie doit être équipée d'un dispositif de renouvellement d'air d'une part pour l'alimentation de la combustion et d'autre part pour l'aération du local. On prévoit pour cela une ventilation haute et une ventilation basse du local chaufferie.

L'air de combustion et de ventilation du local sont apportés par la ventilation basse : sa section est au moins égale à la somme des sections des conduits de fumées (cf paragraphe 5.4.2) additionnée de la section de renouvellement d'air du local avec un minimum de 4 dm².

Le renouvellement d'air du local est assuré par la ventilation haute dont la section doit être égale au dixième de la surface de la chaufferie (exprimée en m²) avec un minimum de 2,5 dm².

Ces orifices d'aération doivent être pourvus d'une grille ininflammable à petits maillons de moins de 10 mm de côté.

Pour les chaufferies enterrées, l'amenée d'air basse doit être effectuée par un conduit qui aboutit près du sol de la chaufferie. L'amenée haute part du plafond de la chaufferie et s'élève au dessus des fenêtres les plus hautes du bâtiment.

5.4 – Evacuation des cendres et conduit de fumées

5.4.1 - Evacuation des cendres

Au niveau de la sécurité contre les incendies, les cendres sont à conserver dans un conteneur ininflammable comprenant un couvercle hermétique.

Choix du type de système d'évacuation des cendres

- A partir d'une certaine taille de chaudière (70 à 100 kW), il est nécessaire de disposer d'un décendrage automatique, car l'opération manuelle devient fastidieuse à partir de ces tailles. Un décendrage automatique récupère les cendres de foyer au pied de la grille et les convoie vers un conteneur par un jeu de vis sans fin. Si la chaudière comporte un dépoussiérage des fumées, l'évacuation des poussières peut également être automatisée, ces cendres fines ne représentent que 10 % environ du total des cendres lorsqu'elles sont collectées. Dans ce cas, il est préférable de ne pas mélanger ces poussières avec les cendres de foyers. Les poussières sont en effet beaucoup plus riches en métaux, et les mélanger aux cendres de foyer reviendrait à condamner l'ensemble à la décharge.
- Sur les petites installations, l'automatisation complète n'est pas une nécessité car la fréquence du décendrage, peu élevée permet sa réalisation à l'occasion d'une autre opération d'entretien.

Influence du combustible sur le volume du conteneur et la fréquence du décendrage

Il est important de connaître le taux de cendres du combustible utilisé et la quantité de bois consommée pour connaître le volume de cendres à évacuer, et déterminer ainsi le volume du conteneur.

Le volume du conteneur va déterminer la fréquence du décendrage.

Les taux de cendre varient de 0.5 à 1 % de la masse anhydre pour du bois propre, et peut doubler voire plus si le bois est riche en écorces ou sale. Les écorces quant à elles possèdent un taux de cendre bien supérieur : 3 à 7 %.

Par exemple, une chaufferie de 200 kW consommant 130 tonnes de bois par an, produira environ une à deux tonnes de cendres à l'année.

Mode d'évacuation et de vidange du conteneur :

Il est nécessaire d'évaluer le **poids** du conteneur pour prévoir un **mode d'évacuation** adéquat :

- Poids faible : manuel (petit conteneur de 30 à 70 l)
- Poids élevé : conteneur sur roulettes (environ 600 l) si la chaufferie est de plain pied, mécanique si la chaufferie est enterrée (monte-charge, palan)

5.4.2 – Conduit de fumées

Le conduit de fumées doit être bien conçu afin que le tirage soit conforme aux prescriptions du fabricant de la chaudière pour assurer une bonne combustion.

Les fumées doivent atteindre l'extrémité de la cheminée avant de condenser (50°C pour du bois sec, 60°C pour du bois humide) ce qui implique :

- des températures de sortie de chaudière de 120°C minimum
- une isolation des conduits notamment dans les combles inoccupées.
- une isolation et/ou un tubage souvent indispensables dans une vieille cheminée.

Quelques points délicats demandent plus d'attention :

- sortie dégagée sur le toit,
- conduit propre et étanche surtout aux emboitements,
- section adaptée à l'appareil choisi,
- pas de courbes dans les conduits,
- pas de diminution de diamètre dans le conduit
- un seul appareil par conduit
- sortie décalée des autres conduits de fumée éventuelle.

La section S_c du conduit de fumée peut se calculer d'après la formule suivante :

$$S_c = \frac{P \times 0,86}{3,5 \times V \times H}$$

S_c , la section en dm^2 ,

P , puissance en kW,

H , hauteur du conduit de fumée en mètre.

5.5 – Hydraulique de la chaufferie

L'installation hydraulique est composée de :

- ✓ De la ou des chaudières raccordées au réseau de chauffage avec recyclage
- ✓ Un système d'expansion
- ✓ De soupapes de sécurité
- ✓ De circulateurs
- ✓ De vannes de distribution
- ✓ D'une régulation raccordée à la consigne intérieure et à une sonde extérieure
- ✓ D'une production d'eau chaude sanitaire
- ✓ Eventuellement d'un ballon tampon ou d'accumulation
- ✓ D'une arrivée d'eau
- ✓ D'une évacuation d'eau
- ✓ D'un raccordement des sécurités incendie par extinction du feu au réseau d'eau

Vase d'expansion

Il est obligatoire de prévoir un dispositif capable d'absorber les différences de pression et de volume du fluide caloporteur, dues aux variations de température : c'est un vase d'expansion. Dans le cas d'une installation automatique, le vase d'expansion est fermé, il garde le circuit sous pression. Il est raccordé au circuit primaire de l'installation, généralement sur le retour.

Règle de sécurité thermique

Sur un circuit fermé, la ou les soupapes de sécurité homologuée sont obligatoires (tarées à 3 bars).

Le recyclage des retours froids

C'est un dispositif qui mélange l'eau de retour de distribution vers la chaudière avec l'eau chaude de départ. Il s'effectue avec un circulateur et une vanne. Il est mis en place pour maintenir les retours dans la chaudière au-dessus du pont de rosée des gaz du bois, environ 70°C . Le point de rosée est d'autant plus bas que le bois est humide.

Quelques exemples de schémas hydrauliques d'installations avec une chaudière automatique au bois.

Se reporter au chapitre 3.2 pour les explications sur le choix de l'installation (chaudière seule, avec un ballon ou avec appoint).

Attention, les schémas hydrauliques présentés ci-dessous ne sont que des exemples et doivent être aménagés selon les caractéristiques de chaque projet.

De plus, les nouvelles chaudières comportent de plus en plus souvent des régulations embarquées permettant non seulement la régulation des paramètres de la chaudière mais également une régulation de certains éléments du circuit de distribution. La notice du constructeur doit donc être lue attentivement et les consignes y figurant doivent être respectées de manière à bien adapter le fonctionnement de l'installation à celui de la chaudière.

Schémas de principe des circuits primaires

Schéma 5.5.1 - Chaudière au bois avec pompe de recyclage

C'est la solution la moins coûteuse en vannes. Le circulateur de recyclage prélève une partie des départs pour réchauffer les retours. Il est très important de dimensionner correctement son débit. Se reporter pour cela aux données du constructeur de la chaudière.

Pour plus de sécurité, il faut asservir la pompe de distribution à une sonde de température sur les retours, réglée à une consigne indiquée par le constructeur. Ainsi en cas de forte chute de la température des retours d'eau, le pompe de distribution s'arrête et laisse au recyclage le temps de réchauffer la chaudière.

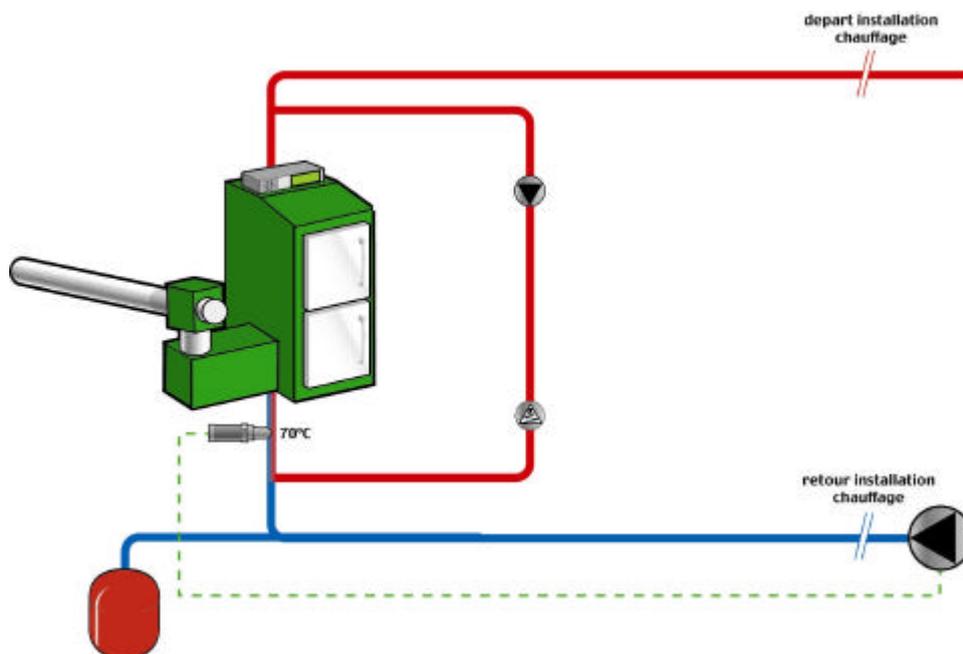


Schéma 5.5.2 - Chaudière au bois avec recyclage par vanne trois voies thermostatique

La vanne thermostatique permet le recyclage sur le circuit primaire tant que la température de retour n'atteint pas la consigne affichée sur la sonde de température sur les retours généralement 70°C. Dès que la température de consigne est atteinte, la sonde commande l'ouverture de la vanne et l'enclenchement de la pompe de distribution.

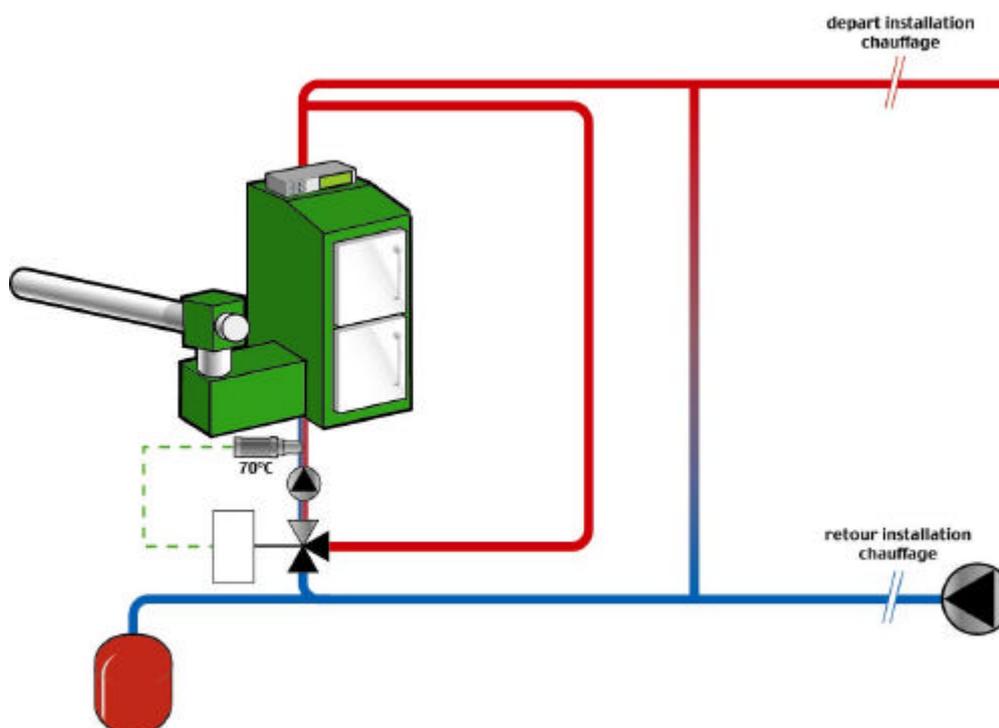
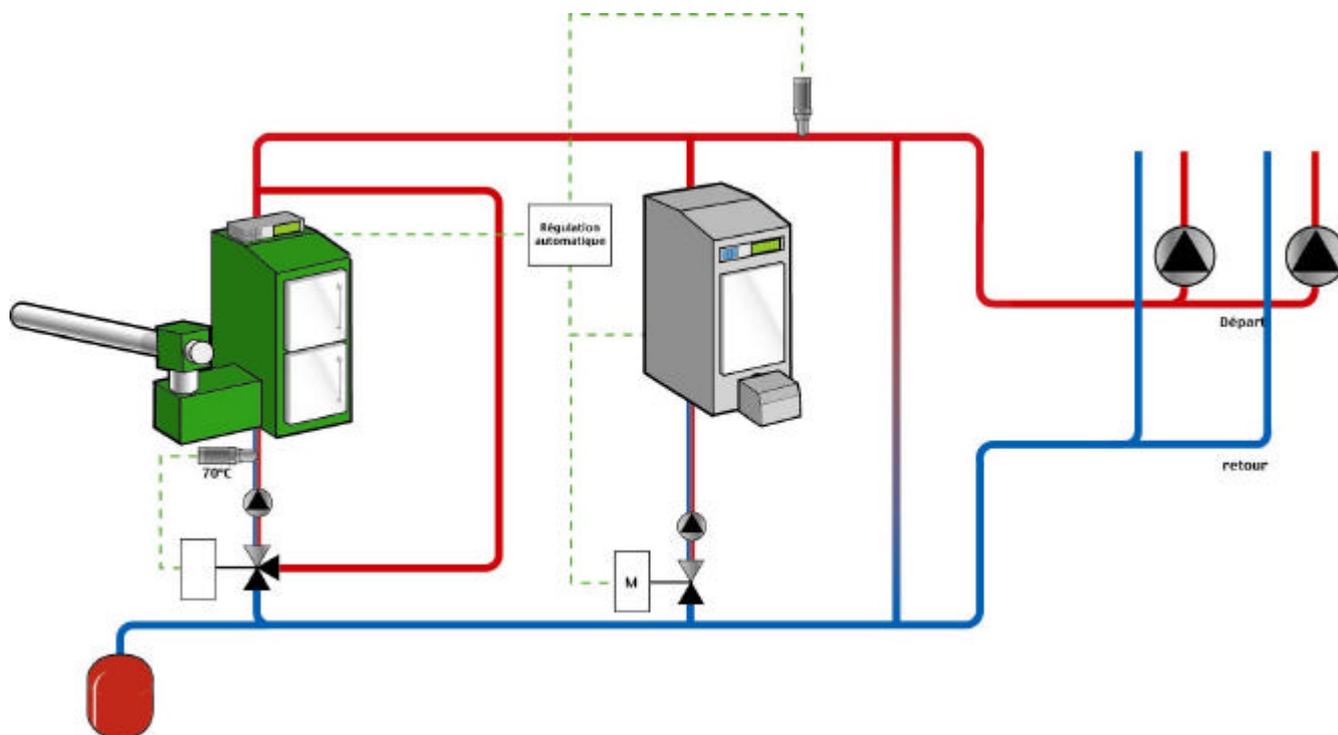


Schéma 5.5.2 - Chaudière bois couplée à une chaudière d'appoint

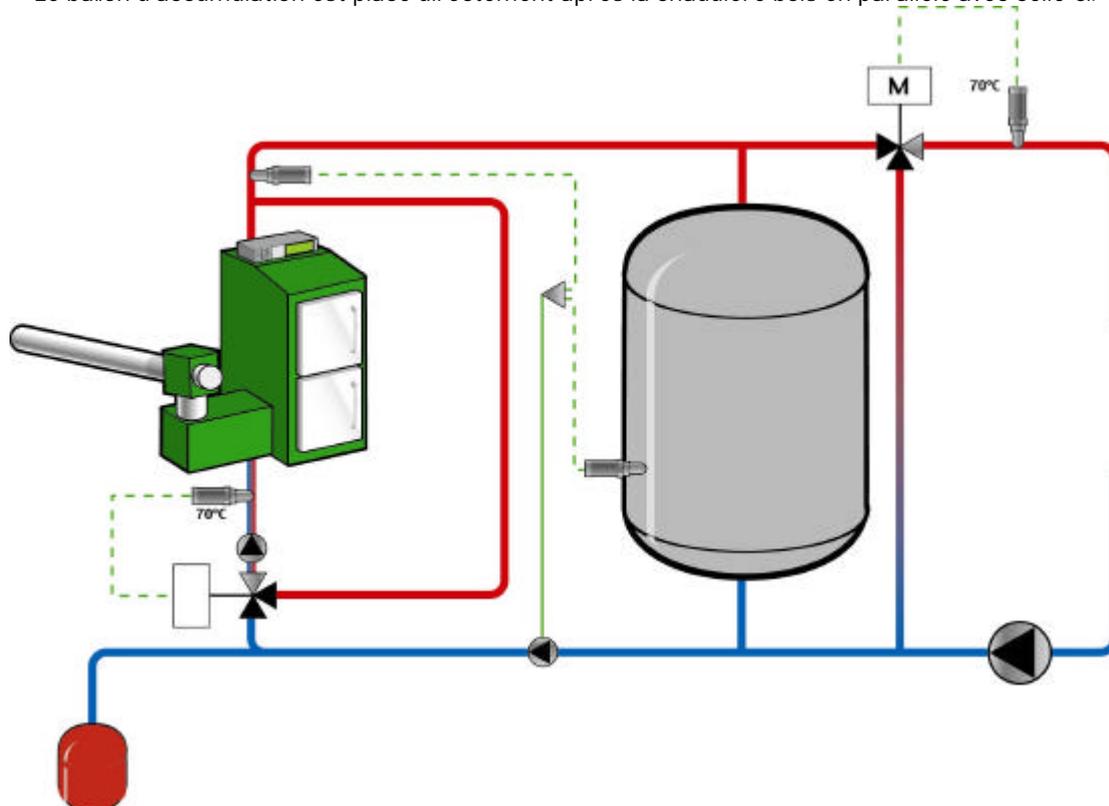
Le schéma ci-dessous présente un circuit ne détaillant pas la régulation du circuit de distribution.

Cette installation peut alimenter un réseau de chaleur connecté par une boucle de mélange par vanne trois voies.



- Schéma 5.5.3 - Chaudière bois couplée avec un ballon d'accumulation

Le ballon d'accumulation est placé directement après la chaudière bois en parallèle avec celle-ci.



ITEBE EDITIONS

Le portail du bois-énergie : www.itebe.org

Espace tous publics

- Informations générales sur l'ensemble de la filière bois-énergie (Approvisionnements en combustibles bois, installations de chauffage au bois individuelles et collectives)
- Lettre électronique mensuelle ITEBE INFO,
- Annuaire des professionnels du bois-énergie,
- Librairie en ligne, forums thématiques, galerie photos, petites annonces, téléchargement de documents, répertoire de sites Internet sur le bois-énergie.

Espace professionnel

Plate-forme interactive d'échanges sur Internet pour la capitalisation et la diffusion des savoirs des professionnels, documents techniques, études, publications, événements et retours d'expérience sur la filière bois-énergie.

Vidéos



1. Le bois-énergie Maintenant !
2. Le chauffage automatique au bois

Disponible en français, anglais et allemand

Revue BOIS ENERGIE



En 3 langues : français, anglais, italien ou allemand
Rubriques : actualité, portraits, chauffage, combustibles, stratégies, cogénération et dossiers thématiques

Annuaire ITEBE des professionnels du bois-énergie



Les bonnes pratiques du bois-énergie

Série information

1. Mémento ITEBE du bois-énergie
2. Chauffage domestique : choisir un chauffage à bois

Série outils

1. Répertoire des textes réglementaires relatifs au bois-énergie en France
2. Tableur pour l'usage des plaquettes forestières
3. Caractéristiques commerciales des combustibles bois

Série Les bonnes pratiques du bois bûche

1. La production professionnelle de bois de chauffage
2. Production de bois de chauffage et sécurité du travail
3. Concevoir une installation de chauffage central aux bûches

Série Les bonnes pratiques du bois déchiqueté

1. La production de plaquettes forestières
2. Production de plaquettes forestières et sécurité du travail
3. Les contrats d'approvisionnement pour les chaufferies automatiques au bois
4. Concevoir une chaufferie automatique au bois déchiqueté de moins de 300 kW
5. Concevoir un silo ou une trémie à bois déchiqueté
6. Envisager un réseau de chaleur au bois
7. La valorisation énergétique des bois souillés

[Fascicules téléchargeables au format PDF sur le site \[www.itebe.org\]\(http://www.itebe.org\) Espace Pro](#)



Fiches de réalisations de la Route du bois-énergie ©



- **Chaufferies et réseaux de chaleur** (dans des collectivités publiques ou privés, des industries du bois, dans l'agriculture, ...)
- **Plate-formes de production de combustible** (granulés, écorces, plaquettes forestières, bois de rebut, ...)

LES BONNES PRATIQUES DU BOIS-ENERGIE



ITEBE EDITIONS, 28 boulevard Gambetta, BP 149
F - 39004 LONS-le-SAUNIER Cedex
Tél. : +33 (0)384 47 81 00 - Fax. : +33 (0)384 47 81 19
Email : info@itebe.org - Web : www.itebe.org