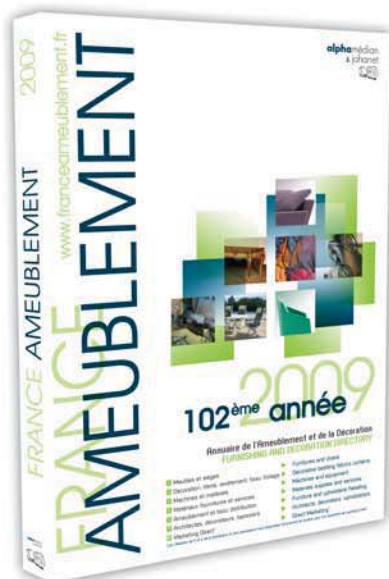




^{Le} **Bois** **INTERNATIONAL**

Le cahier du bois-énergie n°42

Efficacité énergétique du chauffage au bois



Une base de données de près de
28000 entreprises du monde de la
décoration et de l'ameublement

L'accès à l'information structurée en 6 chapitres :

- Meubles et Sièges
- Décoration, Literie, Revêtement, Tissu Voilage
- Machines et Matériels
- Matériaux Fournitures et Services
- Ameublement et Tissu (Distribution)*
- Architectes, Décorateurs, Tapissiers*

*Les chapitres de la distribution et des prescripteurs sont disponibles exclusivement en location pour vos opérations de marketing direct

Un outil efficace de développement pour :

- Générer des contacts et dynamiser vos ventes
- Faire du télémarketing et obtenir directement les décisionnaires
- Lancer un nouveau produit ou une nouvelle prestation...



101^{ème} 2009 année

Annuaire de l'Ameublement et de la Décoration
FURNISHING AND DECORATION DIRECTORY

BON DE COMMANDE

A retourner à ALPHAMEDIAN & JOHANET 38 bd Henri Sellier - 92156 SURESNES Cdx T 01 47 28 70 70 Fx 01 47 28 73 83

POUR VOTRE PARUTION GRATUITE DANS L'ANNUAIRE

COUPON A COMPLETER PUIS A NOUS RETOURNER PAR FAX

Nom
Fonction
Raison Sociale
Adresse
Code Postal Ville
Pays
Tél Fax
E-mail
Site Web
Activité

Je commande l'annuaire France Ameublement

Prix unitaire €	Quantité	Total €	Remise	Total € TTC
90.00	1	90.00		90.00
90.00	2	180.00	-20%*	144.00

* offre valable à partir de 2 exemplaires commandés

Ci-joint mon règlement (une facture justificative vous sera adressée)

☐ Par chèque montant total de la commande à l'ordre de ALPHAMEDIAN & JOHANET

☐ Par carte bancaire VISA N° Validité N° au dos
 0000 0000 0000 0000 0000 0000

Je désire également recevoir des informations

☐ Sur les insertions annuaire papier et internet ☐ Sur vos actions de marketing direct

Date :

Cachet et Signature :

CAHIER N° 42

Efficacité énergétique
du chauffage au bois

Sommaire

- Edito, par Serge Defaye p.21
- De la source primaire à l'utilisation finale,
toutes les filières énergétiques
supportent des pertes ! Le bois-énergie
plutôt moins que les autres p.22
- La condensation des fumées
émises par la combustion du bois
ou comment valoriser l'eau
contenue dans le combustible p.28
- Améliorer les performances énergétiques
de réseaux techniques de distribution
d'énergie calorifique existants par la fourniture
de chaleur à des tiers p.30

Les Cahiers du bois-énergie, co-édités par Biomasse Normandie
et le Comité interprofessionnel du bois-énergie (CIBE),
sont publiés avec le soutien de l'Ademe
(direction des énergies renouvelables, des réseaux
et des marchés énergétiques - département bioressources)
et du Bois International, sous la responsabilité éditoriale
de Biomasse Normandie.

Ce cahier a été préparé par Stéphane COUSIN et Mathieu FLEURY
(Biomasse Normandie) et Serge DEFAYE (CIBE).
Nous remercions les membres de la commission
"Etat des lieux et promotion des réseaux de chaleur au bois"
du CIBE et tout particulièrement Yann OREMUS (Amorce),
ainsi que Dominique PLUMAIL (Ceden) pour leur contribution.
Mise en page par la rédaction du Bois International.

Édito

Traquer les pertes

Les fleuves ne remontent pas vers leur source. De même l'entropie, second principe de la thermodynamique (dit d'évolution ou de dissipation), veut que l'énergie se dégrade (s'évapore au sens propre et au sens figuré) au fil de ses transformations successives, de la source primaire à l'exutoire final. Sur la foi de cette donnée incontournable, les professionnels s'emploient à traquer les pertes (c'est un véritable cauchemar d'énergéticien !) tout au long de la chaîne de production / distribution / utilisation de l'électricité, de la chaleur...

La biomasse n'échappe pas à la règle. Tout débute plutôt bien pourtant puisque la plante, grâce à la photosynthèse, fabrique des hydrates de carbone à partir de l'énergie solaire, "mise en conserve" en quelque sorte. La consommation d'énergie fossile commence avec le recours à des carburants pétroliers sur des chantiers forestiers pour faire fonctionner les abatteuses, débardeurs, broyeurs... Elle se poursuit avec le transport par camions de la matière première brute ou du combustible bois vers la chaufferie, avec ou sans rupture de charge sur une plateforme intermédiaire de conditionnement / stockage. Lors du séchage de produits broyés et humides interviennent des pertes de matière sèche par fermentation.

Combustion et échange fumées / eau n'ont évidemment pas un rendement de 100% : pertes par les gaz de combustion (dégagement de vapeur d'eau, imbrûlés gazeux et particulaires), dans les cendres (imbrûlés solides) et par rayonnement des parois font que le rendement d'une chaudière dépasse rarement 85% en moyenne, sauf avec un système de condensation des fumées (solution exceptionnelle car elle suppose un réseau et des émetteurs de chaleur à basse température). Les consommations d'auxiliaires électriques pour faire fonctionner l'installation (extracteur de fumée, ventilateurs d'air comburant, pompes de recyclage et de charges...) ne sont pas négligeables.

Le transport et la distribution de l'énergie calorifique par canalisations enterrées, même très bien isolées, supportent des pertes d'autant plus importantes que le rapport "volume d'énergie véhiculée / longueur du réseau" s'avère faible. Ceci est particulièrement vrai pour les bâtiments à forte intermittence d'usage ou pour les fournitures d'eau chaude sanitaire en période estivale par exemple.

Phase ultime du processus : la livraison de l'énergie calorifique jusqu'aux planchers chauffants ou radiateurs du bâtiment génère des pertes de distribution / régulation / émission. Reste à espérer que l'utilisateur ait un comportement vertueux et ne régule pas, en hiver, sa température intérieure... en ouvrant ses fenêtres !

L'ensemble des pertes cumulées peut représenter plus d'un tiers du contenu de l'énergie primaire. On pourrait rétorquer que les pertes de la centrale au convecteur électrique (chauffage dit par effet Joule, véritable hérésie thermodynamique) dépassent quant à elles les 70% ! La médiocrité d'un concurrent ne saurait cependant exempter "les énergéticiens renouvelables" d'un souci obsessionnel de la performance énergétique et par voie de conséquence environnementale : plus les pertes sont faibles, plus l'empreinte écologique de l'utilisation du combustible l'est aussi.

La biomasse est une énergie renouvelable particulière car elle se reconstitue sur des cycles longs. Elle ne pourra satisfaire l'ensemble des besoins énergétiques de la planète, assurés actuellement en grande partie par des énergies fossiles et fissiles, sur la base des niveaux de consommation et de gaspillage atteints par les pays développés, hélas suivis par les pays émergents. Même si la biomasse forestière est aujourd'hui sous-exploitée dans les pays tempérés, elle doit être utilisée avec efficacité et discernement. Les générations futures auront besoin, peut-être dans un avenir proche, de toutes les ressources renouvelables disponibles.

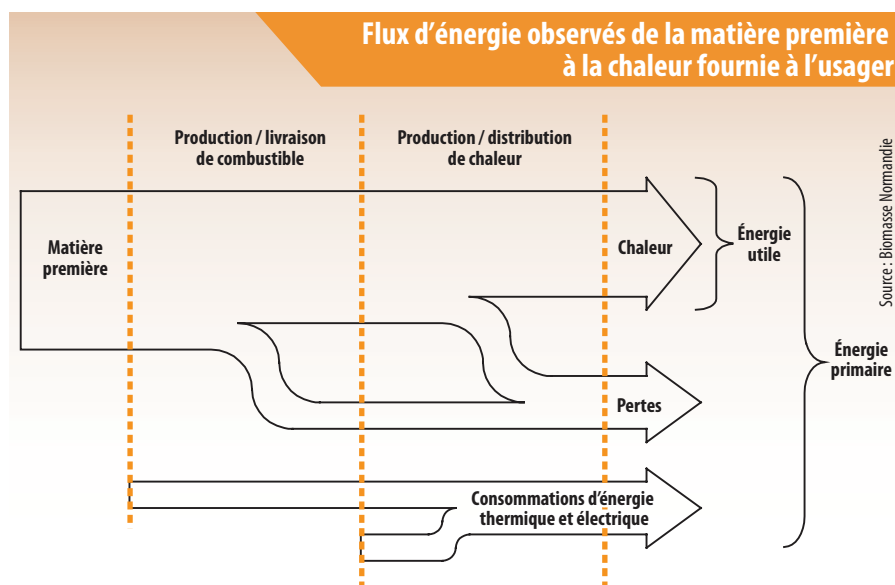
Serge DEFAYE
Président du CIBE

■ Efficacité énergétique du chauffage au bois

De la source primaire à l'utilisation finale, toutes les filières énergétiques supportent des pertes ! Le bois-énergie plutôt moins que les autres

L'utilisation énergétique du bois, matière première renouvelable, comporte des atouts sur les plans environnemental (neutralité vis à vis de l'effet de serre, entretien du territoire forestier et rural, maintien de la biodiversité...) et social (création d'activité et d'emplois). La production / distribution / utilisation de combustible bois exige toutefois de faire appel en partie à des énergies "conventionnelles" d'origine fossile ou fissile. Par ailleurs, le rendement de cette filière n'est pas de 100% et elle supporte, comme les autres, des pertes tout au long de la chaîne (de la forêt jusqu'à la livraison de l'énergie calorifique à l'utilisateur).

La comparaison entre fioul domestique, gaz naturel et électricité d'un côté et **chauffage collectif et industriel au bois** de l'autre, est toutefois favorable à ce



dernier. Il en va de même pour le chauffage domestique au bois, pour

peu que les matériels de combustion utilisés soient performants.

Production et livraison du combustible bois

Les combustibles bois ont diverses origines : boisements forestiers ou bocagers, produits connexes de scierie, emballages en fin de vie. Ils ont cependant tous pour point commun d'être issus de végétaux dont la croissance est assurée par photosynthèse (transformation de l'énergie solaire en hydrates de carbone). Le bois est donc une énergie renouvelable dès lors que les conditions d'exploitation sont compatibles avec le rythme de reconstitution du stock sur pied.

Combustibles forestiers et bocagers

Sous nos latitudes, la foresterie suppose des interventions humaines (plants en pépinière, plantation, opérations sylvicoles...) justifiées par la volonté d'obtenir des peuplements de qualité, de préserver les milieux naturels... Les boisements à des fins exclusivement énergétiques (taillis à courte ou très courte rotation) sont assez rares en France. Les consommations d'énergie relatives aux

travaux de sylviculture et d'exploitation forestière doivent donc être imputées à toutes les valorisations du bois et pas seulement à son application énergétique. Deux types de combustibles sont fournis par la forêt et le bocage : les bûches et les plaquettes. Les premières sont utilisées en chauffage domestique. C'est le combustible bois le plus consommé en France, selon trois modes :

- l'autoconsommation (produites par l'utilisateur sur la propriété familiale ou à proximité, sans transaction financière) ;

- l'auto approvisionnement (produites par l'utilisateur à partir de bois acheté sur pied) ;

- l'achat de bûches, livrées ou non, utilisables en l'état ou à faire sécher.

Lorsque les bûches sont produites et utilisées en circuit court, la consommation d'énergie est faible et représente environ 3% du contenu énergétique du combustible :

- huile de chaîne et carburant des tronçonneuses (respectivement 1 et 2 litres environ par stère), éventuellement gazole ou électricité si des équipements de recoupe / fendage sont utilisés (dans ce cas, il y a un moindre usage des tronçonneuses) ;

- gazole pour le débardage et le transport des bois (de l'ordre de 2,5 litres par stère).

Toutefois **des pertes d'énergie importantes sont dues au brûlage des rémanents** (qui représentent généralement 20 à 25% de la masse de bûches), **pratique interdite mais pourtant encore couramment observée** en milieu bocager et chez les particuliers.

Les plaquettes forestières et bocagères sont utilisées dans des installations à alimentation automatique. Elles sont obtenues par déchiquetage d'arbres entiers (premières éclaircies, taillis, haies bocagères) ou de rémanents d'exploitation forestière (coupes rases de futaies), sur parcelle ou en bord de route. De la production à la livraison, les plaquettes nécessitent l'utilisation de **carburants pétroliers** pour l'abattage, le débardage, le déchiquetage et le transport (environ 6 litres par tonne de bois frais, dont un quart à un tiers pour l'opération de déchiquetage), à hauteur de **2 à 2,5% de leur contenu énergétique**. Une bonne organisation des chantiers et surtout une réduction des distances de transport permettent de limiter ces consommations.

Lors du séchage de plaquettes humides en tas, le processus de fermentation est responsable d'une diminution de 10 à 15% de la masse de matière sèche. L'augmentation du pouvoir calorifique des plaquettes compense heureusement (et au-delà) cette perte d'énergie.

Combustibles d'origine industrielle

Les produits connexes de scierie (dosses, délignures, sciures, écorces) et les emballages en fin de vie sont utilisables en chaufferie collective ou industrielle moyennant des opérations



Déchiquetage de bois forestiers.

de conditionnement, variables selon le produit. **Le poids des énergies fossiles et fissiles est de 1 à 3% du pouvoir calorifique du combustible, réparti entre :**

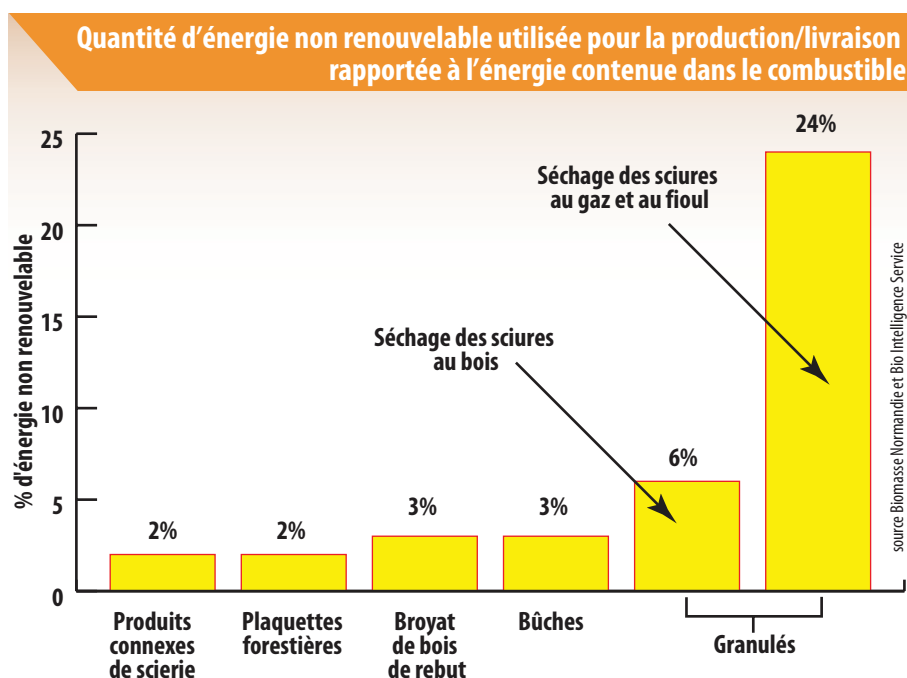
- la préparation (de 0,5 L/t pour le criblage d'écorces à 5 L/t pour le concassage / broyage / criblage des bois de rebut) ;

- le transport (environ 2 L/t pour les emballages bruts, comme pour le combustible livré en chaufferie).

Le transport est l'étape sur laquelle il est le plus possible d'agir en réduisant les distances parcourues, ce qui implique de chercher à livrer des chaufferies proches des sites de production du combustible.

Les sciures peuvent également être transformées en granulés, produits en France par une trentaine d'établissements industriels. **Les distances sont donc importantes**, pour l'approvisionnement en sciures de ces unités (dans un rayon de 100 km et plus) et pour la distribution du combustible (plus de 200 km avec de surcroît souvent une rupture de charge). **L'étape de séchage des sciures est la plus énergivore** (de l'ordre de 850 kWh par tonne de produit fini) : elle requiert les trois quarts de l'énergie nécessaire à l'ensemble de la filière granulés, du site de production à la livraison finale.

La fabrication / distribution des granulés requiert donc beaucoup d'énergie :



environ 25% de leur contenu calorifique. Ce ratio est difficilement abaissable. Le recours à des sciures humides est inévitable (le gisement de sciures sèches produites par les indus-

tries de la seconde transformation du bois est réduit et diffus) et l'étape de séchage reste incontournable. De même, réduire les distances de transport relève souvent de la quadrature du

cercle : se rapprocher de la ressource, localisée en milieu forestier et rural, revient en général à s'éloigner des consommateurs, majoritairement situés en milieu urbain ou semi urbain.

■ Efficacité énergétique du chauffage au bois

Itinéraires techniques de production/livraison des combustibles bois

Bûches

Les itinéraires de production / livraison diffèrent selon la filière considérée :

- production forestière professionnalisée : abattage des arbres à l'aide d'une tronçonneuse, rarement avec une abatteuse, puis façonnage en billons de 1 ou 2 m ; débardage de ces derniers en bord de route par porteur forestier, transport sur plateforme de conditionnement où les billons sont recoupés en bûches de 50 cm, parfois 33 cm, et fendus – des équipements fixes ou mobiles plus ou moins automatisés existent dans une large gamme de capacité ; stockage et séchage des bûches, livraison au particulier par camion de petite capacité ; une étape supplémentaire d'ensachage et palettisation est effectuée pour la vente à des détaillants, livrés par camion de moyenne à forte capacité ;
- production par le particulier ou l'agriculteur : abattage des arbres à la tronçonneuse, façonnage en bûches de 50 cm sur place, transport / livraison par tracteur et benne agricoles, voire voiture et remorque, stockage / séchage chez le consommateur.

Plaquettes forestières et bocagères

La coupe d'arbres entiers est réalisée à l'aide d'une abatteuse en forêt ou d'une tronçonneuse dans les petits boisements ou en milieu bocager.

Les chantiers sur parcelle sont effectués avec une déchiqueteuse portée sur l'attelage "3 points" d'un tracteur forestier ou agricole et entraînée par la prise de

force de celui-ci ou avec un matériel sur roues et tracté, disposant alors fréquemment de sa motorisation propre. Les plaquettes sont éjectées dans une remorque (second attelage) puis déversées dans des caissons en bord de route, lesquels sont ensuite évacués vers une plateforme de stockage par camion porte conteneur. Sur les chantiers agricoles de taille modeste, il n'y a pas de rupture de charge entre production et stockage. Les chantiers en bord de route nécessitent un débardage préalable des bois par porteur forestier. Le déchiquetage est réalisé avec un matériel sur remorque routière ou sur camion, entraîné par un moteur auxiliaire monté sur le même châssis et fonctionnant à poste fixe. Les plaquettes sont déversées dans des bennes à fond mouvant de 90 m³ et acheminées sur plateforme ou directement livrées à la chaufferie.

Les camions assurant les rotations doivent être en nombre suffisant pour permettre un fonctionnement optimum de la déchiqueteuse. Le stockage sur plateforme intermédiaire permet de découpler production et utilisation des plaquettes (éventuellement d'opérer des mélanges avec d'autres combustibles bois). La livraison en chaufferie est effectuée par benne à fond mouvant, conteneur ou remorque agricole selon la taille du silo de la chaufferie et la distance à parcourir.

Produits connexes de scierie

Le déchiquetage des dosses et délinures produit des plaquettes "de scie-

rie", directement livrées (ou après criblage) à des installations de moyenne ou forte puissance. Un séchage sous abri est nécessaire pour les petites chaufferies. Les écorces subissent en général un criblage, éventuellement précédé d'un broyage. Les sciures ne nécessitent aucune opération particulière, mais ne peuvent, sauf technologie de combustion adaptée, être consommées qu'en mélange avec d'autres produits (écorces notamment). La livraison des produits connexes en chaufferie est effectuée par bennes à fond mouvant.

Granulés

Les sciures doivent être séchées avant leur introduction dans une presse via une trémie équipée d'un système de dosage et de mélange. La compression est assurée par la rotation d'un rouleau dans un cylindre percé de trous appelé filière. L'apport de vapeur d'eau permet la lubrification et facilite la granulation qui se fait sans ajout d'agent de liaison, la lignine du bois jouant ce rôle. A leur sortie de la filière, les granulés sont coupés à la longueur souhaitée puis dirigés vers un refroidisseur (la compression provoque une augmentation importante de la température du bois), tamisés afin de séparer les fines (recyclées en tête de process) et enfin stockés. S'ils sont destinés au marché des particuliers équipés de poêles, les granulés sont conditionnés en sacs de 15-20 kg que le consommateur peut acheter dans les grandes surfaces de bricolage, chez les vendeurs de matériels de chauffage... La livraison des chaudières

domestiques et collectives est effectuée en vrac, généralement par des camions équipés d'un système de déchargement pneumatique, éventuellement par des conteneurs, des bennes à fond mouvant ou des big-bags.

Bois en fin de vie

Seuls les bois de rebut propres, non souillés, non traités et sans adjuvants susceptibles de contenir des éléments traces métalliques ou des composés

organo-halogénés sont considérés, d'un point de vue réglementaire, comme combustibles : palettes, caisses, cagettes...

Ces bois sont collectés auprès de leurs détenteurs (industriels, grandes surfaces commerciales...) et regroupés sur plateforme. Pour être transformés en combustible, ils doivent subir une série d'opérations : tri visuel et manuel, concassage pour réduire grossièrement les déchets, broyage, déferailage, criblage / dépoussiérage pour éliminer les

morceaux grossiers et les fines, stockage. Les matériels utilisés peuvent être fixes pour le conditionnement des bois sur une plateforme unique ou mobiles pour intervenir sur plusieurs sites de taille plus modeste. Les broyeurs, à vitesse lente pour le concassage et rapide pour le broyage, et les cribles sont généralement équipés de leur propre moteur thermique (des modèles à alimentation électrique existent pour les matériels opérant à poste fixe).

Production et distribution de la chaleur

La combustion du bois se déroule en quatre phases : séchage, pyrolyse / gazéification, oxydation des gaz, combustion du résidu charbonneux. Des pertes d'énergie sont observées :

- dans les gaz de combustion (dégagement de vapeur d'eau, imbrûlés gazeux et particulaires, température de fumées élevée) ;
 - dans les cendres (imbrûlés solides) ;
 - par rayonnement des parois pour les chaudières (installées dans un local qu'il n'est pas nécessaire de chauffer).
- Que l'installation soit domestique, collective ou industrielle, un rendement de production élevé sera recherché :
- en identifiant le plus précisément possible les besoins thermiques à couvrir et en ne surdimensionnant pas l'installation ;
 - en choisissant un générateur de chaleur dont le rendement à puissance nominale est élevé ;
 - en utilisant un combustible adapté à celui-ci ;
 - en réglant et entretenant correctement l'équipement.

Les installations domestiques

A l'échelle nationale, les appareils indépendants en fonctionnement sont encore pour une large part de conception ancienne et leurs performances sont médiocres. **Les nouveaux foyers fermés, inserts et poêles peuvent par contre désormais atteindre des rendements élevés, allant de 65 à 80%** (contre 10 à 20% pour les cheminées à feu ouvert). Ces équipements récents bénéficient d'innovations techniques significatives : foyers en matériaux réfractaires, combustion à plus haute

température, préchauffage de l'air primaire et secondaire... L'alimentation des poêles à granulés et l'arrivée d'air comburant sont régulées afin d'optimiser les paramètres de combustion, la chaleur étant transmise à l'air ambiant par convection forcée ; cette gestion automatisée (pour laquelle une alimentation électrique est nécessaire) permet d'atteindre des **performances énergétiques excellentes, avec des rendements de combustion de l'ordre de 85-90%**.

Le confort du chauffage central est obtenu grâce à des chaudières à bûches, à granulés ou à plaquettes.

Les chaudières à bûches les plus anciennes, fonctionnant sur le principe d'une combustion montante avec un tirage naturel, ont un rendement médiocre de 50 à 60%. Les équipements de nouvelle génération (turbo bois) permettent de scinder séchage / pyrolyse et combustion des gaz. Un ventilateur pour forcer le tirage permet d'optimiser la récupération de chaleur et d'atteindre **des rendements de 75 à 85%**. **Les chaudières à granulés et à plaquettes** disposent d'une alimentation en combustible entièrement automatisée. **Les rendements atteignent 85 à 90%**.

La phase de combustion est source :

- de consommations d'électricité pour toutes les chaudières et les poêles à granulés ;
- de pertes d'énergie pour tous les appareils.

Les consommations d'électricité sont largement compensées par les améliorations des performances qu'elles entraînent. A l'inverse, il faut s'attacher à réduire au maximum les pertes liées à

la combustion, échange gaz de combustion / eau... **Un rendement amélioré abaisse les besoins en combustible, donc l'énergie consommée pour sa mise à disposition.**

Les rendements affichés par les fabricants sont toujours "optimistes" et atteints uniquement à plein régime, avec un combustible de bonne qualité. Lorsque ces conditions optimales ne sont pas remplies, le rendement est plus faible.

Il est donc impératif de dimensionner l'installation de manière à couvrir les besoins au plus juste. Sous-estimer la puissance nécessaire conduit à ne pouvoir garantir les températures de consigne (19 °C) les jours les plus froids.

A l'inverse, un surdimensionnement entraîne un fonctionnement fréquent à bas régime et une combustion mal maîtrisée : le rendement chute du fait

des pertes par imbrûlés gazeux, qui sont également des polluants. Grâce à une régulation fine des arrivées de combustible et d'air, le rendement des équipements à alimentation automatique est élevé, même au ralenti (jusqu'à 30% de la puissance nominale sur les appareils performants). Un fonctionnement intermittent à bas taux de charge peut cependant endommager une chaudière à bûches, à plaquettes ou à granulés.

Un ballon à hydro-accumulation écarte ce risque en favorisant une combustion à plein régime : l'énergie calorifique est stockée dans le ballon, puis restituée au rythme des besoins (solution exigée pour la production d'eau chaude sanitaire en été).

Les équipements domestiques sont conçus pour brûler du bois sec. Un combustible humide ne permet pas d'atteindre une température suffisante

pour la pyrolyse / gazéification et l'oxydation des gaz et aboutit à la formation de goudrons et polluants (oxydes, acides...), à un encrassement de l'appareil et du conduit de fumée ainsi qu'à une consommation accrue de combustible. Dans certains cas, on ne réussit même pas à atteindre une puissance suffisante pour couvrir les besoins de chauffage.

Les chaufferies collectives et industrielles

La performance énergétique d'une installation relève en premier lieu d'un **bon dimensionnement du projet**. Deux options sont envisageables : la mono-énergie ou la bi-énergie.

Dans le premier cas, la chaudière bois doit pouvoir assurer à elle seule la totalité de la production de chaleur nécessaire. Cette solution est intéressante pour une entreprise dont les besoins de process sont relativement constants dans le temps, beaucoup moins pour une installation collective pour laquelle il faut tenir compte des jours exceptionnellement froids. La chaudière doit alors avoir une puissance élevée et fonctionne donc en demi-saison à un taux de charge inférieur au minimum recommandé par le constructeur (généralement 25 à 30%), occasionnant une combustion incomplète et une dégradation des performances énergétiques et environnementales. La mise en place de deux chaudières bois (l'une d'une puissance équivalente aux

2/3 de la puissance totale, l'autre à 1/3) augmente notablement le coût d'investissement, mais doit être envisagée si elle n'obère pas la rentabilité du projet. En France, on opte généralement pour la **bi-énergie** : bois en base et combustible fossile (fioul, gaz naturel) en relève automatique. Dimensionnée à 40-60% de la puissance totale nécessaire par grand froid, la chaudière bois est conçue pour assurer l'essentiel des besoins énergétiques (80 à 90%) : sollicitée de façon prioritaire, elle fonctionne toujours à un taux de charge supérieur au minimum recommandé avec **un bon rendement**. La chaudière d'appoint assure le complément de puissance pendant les périodes les plus froides de l'année.

Pour lisser les appels de puissance dans des cas où la demande en énergie est très fluctuante (serres horticoles par exemple) ou pour assurer une production d'eau chaude sanitaire (ECS) en été, il faut prévoir un système **d'hydro-accumulation**. Lorsque la puissance d'une installation collective dépasse 4 à 5 MW, il est souvent pertinent de mettre en place **deux chaudières bois** dont une produira l'ECS en été. Le fractionnement des générateurs est également à envisager lorsqu'un usager présente un profil énergétique particulier générant d'importants besoins thermiques l'été.

Dès lors qu'une chaufferie dessert plusieurs bâtiments, **un réseau de distribution de la chaleur** est nécessaire. Le concepteur doit chercher à limiter

les pertes réseau, ce qui suppose de **maximiser la quantité d'énergie véhiculée dans les canalisations**, en desservant en priorité des usagers fortement consommateurs dans le périmètre le plus restreint possible. Le raccordement de bâtiments à forte intermittence d'usage augmente les pertes d'énergie relatives car ces branches sont irriguées en eau chaude en permanence alors même que les besoins sont faibles, voire nuls. Ces pertes sont d'autant plus importantes que la distance est grande. On peut toutefois les limiter en utilisant **une pompe à débit variable et des sous-stations régulées** qui permettent de moduler la circulation du fluide caloporteur dans le réseau primaire en fonction des besoins réels des usagers. Pour les mêmes raisons, raccorder des bâtiments à très haute performance énergétique (et donc à faibles besoins thermiques) à un réseau de chaleur au bois, n'est envisageable que si l'on dispose d'un bâti dense, collectif ou mitoyen. On distingue quatre situations selon la densité thermique du réseau :

- projet difficilement envisageable (moins de 1 MWh par mètre linéaire et par an) ;
- réseau en milieu rural de petite puissance (de 1 à 3) ;
- ville moyenne avec une puissance bois de 2 à 4 MW (de 3 à 5) ;
- réseau urbain avec forte densité de population (plus de 5).

On comprend aisément que plus la densité est faible, plus les pertes



Intérieur de la chaufferie bois de Rouen Grammont (4,8 MW, Seine-Maritime).

Photo : Biomasse Normandie

thermiques sont élevées. Par ailleurs, plus la rentabilité économique est difficile à atteindre, non seulement en raison des pertes, mais surtout du coût du réseau (de son amortissement) rapporté à la quantité d'énergie distribuée.

La performance énergétique d'une chaufferie collective ou industrielle au bois exige également une bonne exploitation au quotidien : **maîtrise des caractéristiques du combustible, réglages adaptés des paramètres de combustion et maintien de l'installation en bon ordre de marche** sont incontournables,

nécessitant des compétences spécifiques des techniciens en charge des installations. **Les rendements classiquement observés pour les chaufferies collectives avec réseau de chaleur sont de l'ordre de 80 à 85% pour la production, 92 à 98% pour la distribution et 94 à 96% pour la régulation, soit un rendement global d'exploitation compris entre 70 et 80%.** Les consommations d'électricité des auxiliaires sont de 1 à 2% de l'énergie produite en chaufferie et également 1 à 2% de l'énergie distribuée pour le réseau.

Comparaison bois / énergies conventionnelles

L'efficacité énergétique globale d'une solution bois-énergie est définie par le rapport entre :

- l'énergie utile correspondant aux besoins thermiques d'un usager ;
- l'énergie primaire nécessaire à la fourniture de la précédente tout au long de la chaîne (cumul de la chaleur fournie, des pertes liées à la production / distribution du combustible et de la chaleur, des consommations thermiques et électriques des équipements de conditionnement / transport du combustible et des auxiliaires de l'installation de combustion). Plus ce rapport est proche de 100%, plus la filière fait preuve d'efficacité.

Pour le bois-énergie, l'efficacité globale se situe autour de :

- **70-80% pour les chaufferies collectives ;**
- **65-75% pour les équipements domestiques récents,** mais moins de 50% pour les matériels anciens.

Paradoxalement, pour les énergies conventionnelles, les chiffres sont très approximatifs et entachés d'incertitudes, concernant aussi bien les consommations intermédiaires que les pertes réelles associées à la production, au transport et à la distribution des combustibles fossiles ou de l'électricité nucléaire :

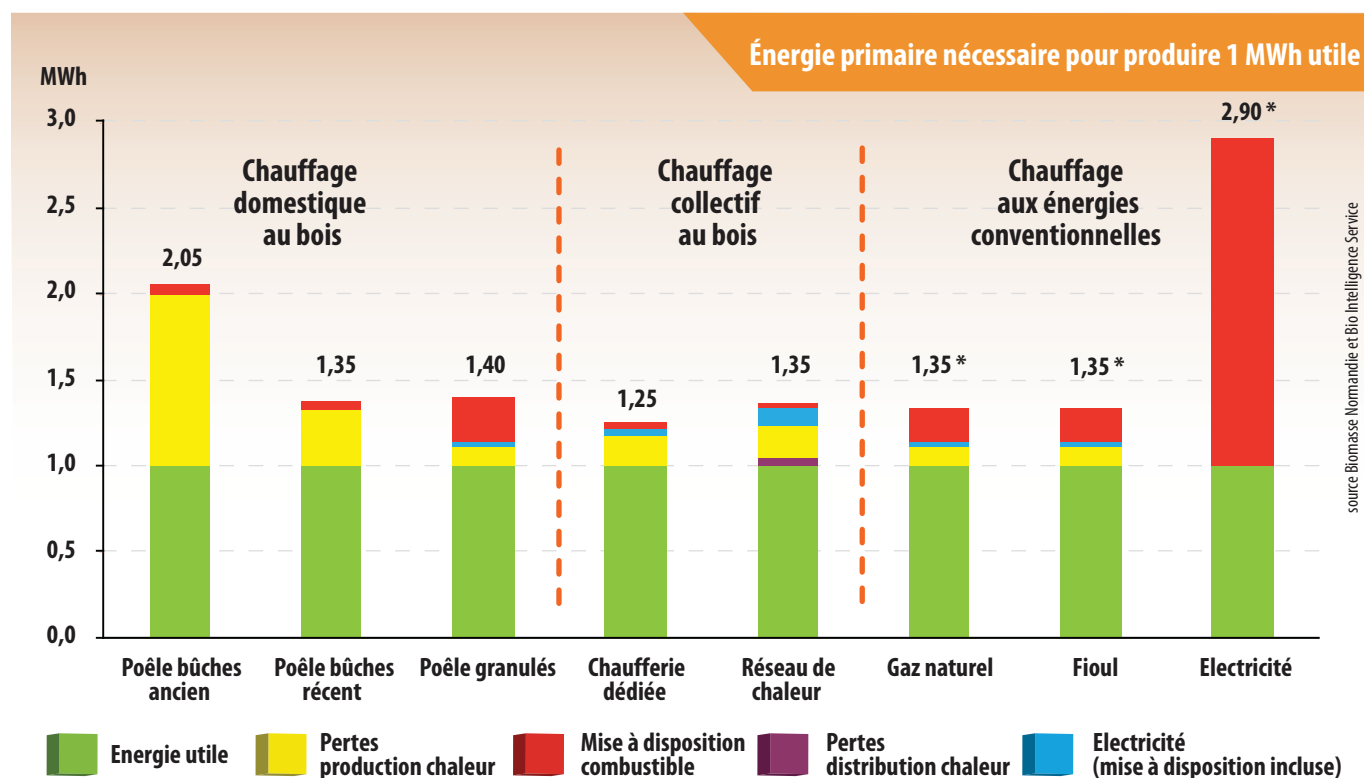
- extraction, transport par gazoduc / oléoduc, stockage, raffinage du pétrole... ;
- extraction, transport et enrichissement de l'uranium, retraitement des déchets radioactifs.

Par recoupement de plusieurs sources, on peut avancer un chiffre d'efficacité globale de 70-75% pour le fioul ou le gaz naturel.

La production centralisée d'électricité nucléaire ou thermique à flamme présente un rendement de production très faible (de l'ordre de 30-35%) puisque la chaleur dégagée par les centrales est dissipée dans l'atmosphère. Le transport de l'électricité supporte aussi des pertes non négligeables (5 à 10%).

Pour le chauffage, de la centrale au convecteur, l'efficacité globale de la filière électrique est inférieure à 30%, ce qui est une aberration énergétique et environnementale. L'électricité est une énergie "noble" qu'il conviendrait de réserver à des usages spécifiques (froid, éclairage, électroménager, informatique...).

Le chauffage au bois présente un bilan énergétique honorable, notamment en collectif. Avec des équipements récents, son efficacité globale est supérieure ou au moins équivalente à celle du fioul ou du gaz. Quant aux usages thermiques de l'électricité, ils devraient être bannis, sauf via des pompes à chaleur ayant un coefficient de performance élevé (COP supérieur à 3). Cet article se base en partie sur l'étude Ademe - Bio Intelligence Service concernant le bilan environnemental



* chiffres entachés d'incertitudes, concernant aussi bien les consommations intermédiaires que les pertes réelles associées à la production, au transport et à la distribution des combustibles fossiles ou de l'électricité nucléaire.

■ Efficacité énergétique du chauffage au bois

>>> Dominique PLUMAIL (Ceden)

La condensation des fumées émises par la combustion du bois ou comment valoriser l'eau contenue dans le combustible

En comparaison avec les combustibles fossiles, le bois contient beaucoup d'eau même lorsqu'il est sec : de 10% pour les granulés jusqu'à 55% pour les plaquettes de bois blanc.

Quand l'humidité est élevée, le pouvoir calorifique est évidemment plus faible et l'investissement que doit consentir le maître d'ouvrage de la chaufferie bois, plus important. Ce dernier attend en conséquence du fournisseur de bois un effort sur le prix, alors que celui-ci est déjà pénalisé par un combustible

pondéreux, dont le transport est plus onéreux.

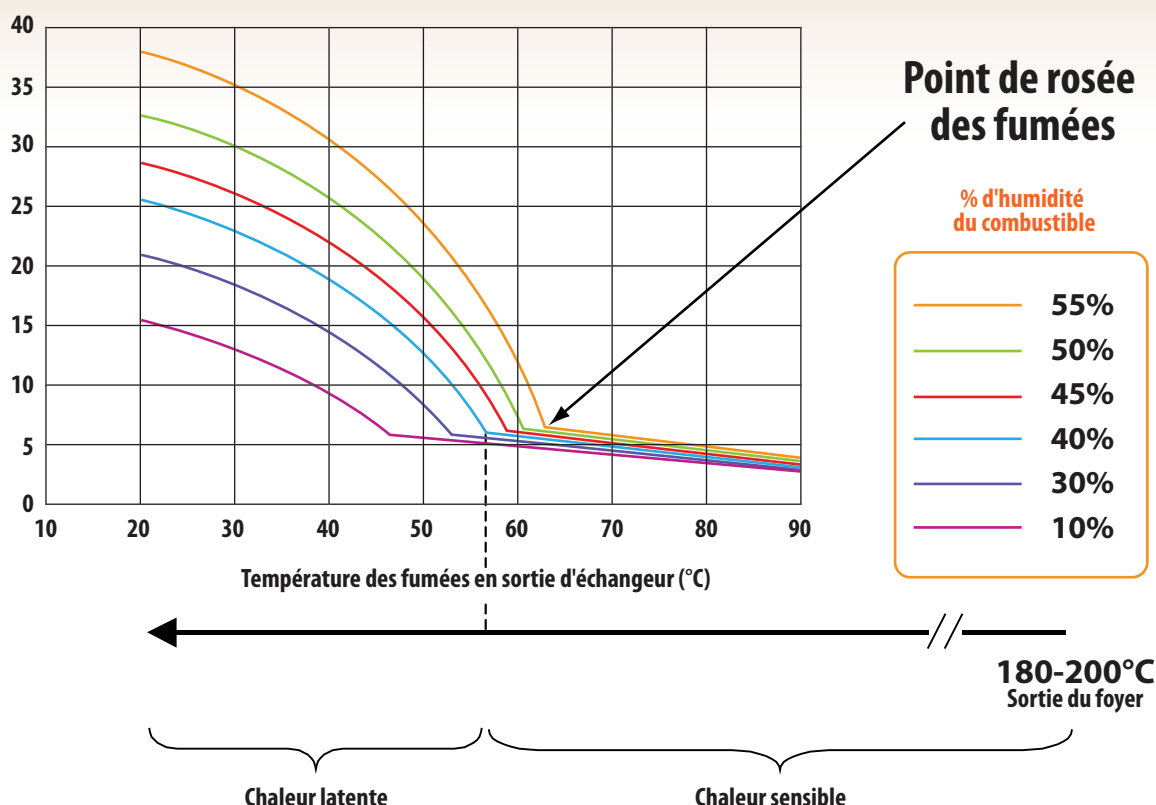
En début de combustion, l'énergie est d'abord employée pour évaporer l'eau du combustible. On retrouve intégrale-ment cette énergie de vaporisation dans les fumées, dont la température s'élève à 180 à 200 °C, sous deux formes :

- la **chaleur sensible** correspond à la quantité d'énergie récupérée en abaissant la température des fumées jusqu'au point de rosée, celles-ci restant à l'état gazeux ;

- au-delà du point de rosée, l'eau des fumées condense ; l'énergie contenue dans cette eau, également appelée **chaleur latente**, provient du changement de phase (condensation).

L'eau contenue dans le bois est en principe un handicap, mais elle devient un atout dès lors que la chaleur qu'elle contient, en phase vapeur, est valorisée. Cette énergie peut être récupérée en recourant à deux technologies : l'économiseur et le condenseur.

Rendement supplémentaire (en %) en fonction de l'humidité du combustible et de la température des fumées en sortie d'échangeur



source : Ceden, d'après "Wood for energy production" - Centre for biomass technology

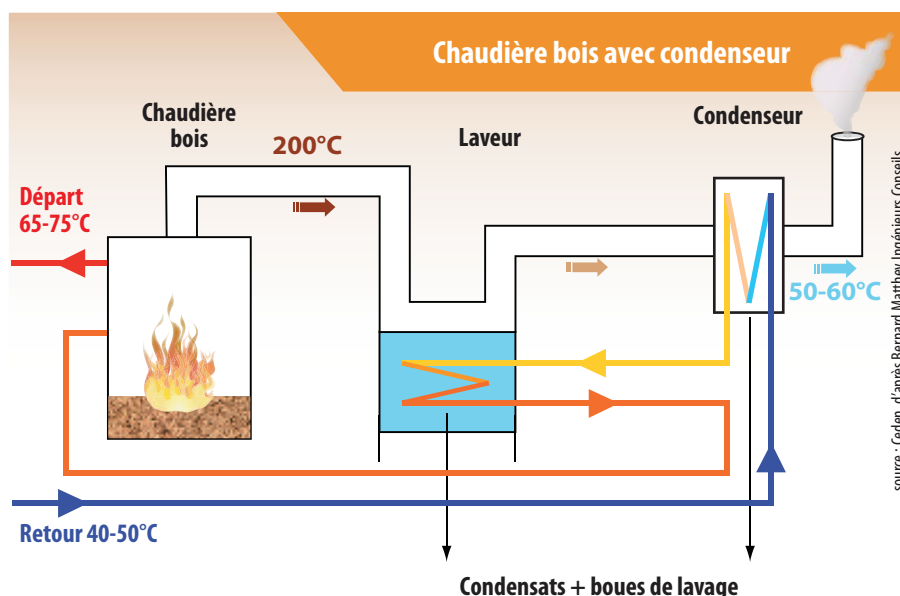
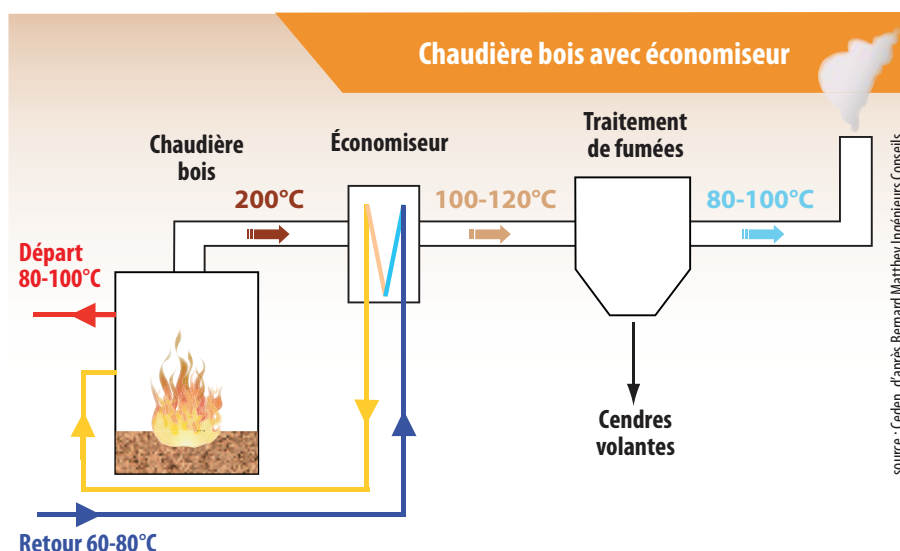
Les technologies

L'économiseur permet de valoriser la chaleur sensible et de gagner 3 à 5% de rendement supplémentaires en abaissant la température des fumées de l'ordre de 50 °C. Installé au pied du conduit de fumée, un simple échangeur de chaleur fumées / eau permet de récupérer la chaleur sensible ; l'économiseur peut équiper une chaufferie alimentant un réseau à eau chaude "classique" (régime d'eau : 90-70 °C). C'est une technologie simple à mettre en œuvre et dont les coûts d'exploitation sont bien maîtrisés.

Le condenseur est une technologie plus complexe dont la performance dépend du couple humidité du bois / température en sortie d'échangeur. Les combustibles des chaufferies collectives présentent en général une humidité variant de 30 à 45% de la masse brute. Dans ce cas, le gain de rendement fluctue entre 7 et 15%. D'un point de vue technique, deux processus se succèdent dans le condenseur :

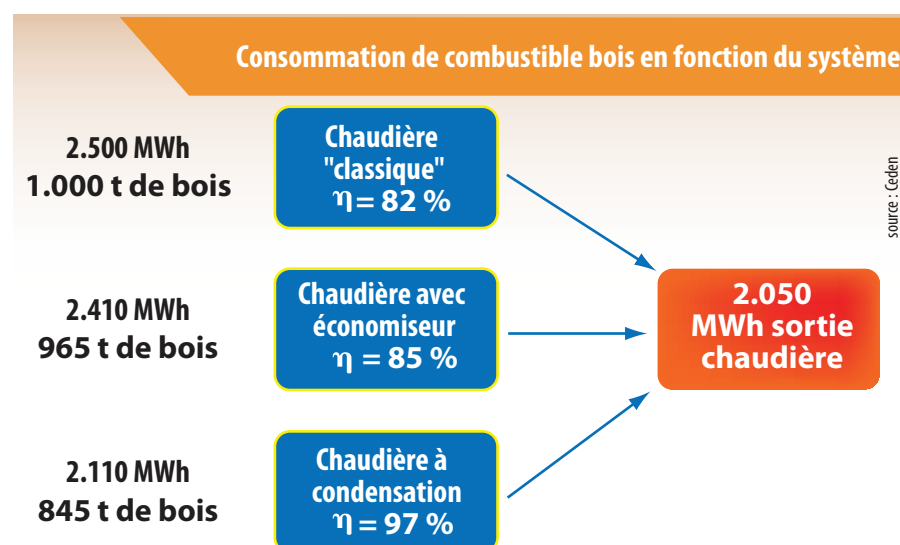
- d'abord l'injection de fines gouttelettes, qui permet de saturer en eau les fumées et d'en abaisser la température ;
- ensuite la récupération de la chaleur dans un échangeur à plaques, sous réserve de disposer d'un fluide dont le niveau de température est inférieur au point de rosée des fumées (50 °C maximum) pour les condenser.

Cette technologie est donc adaptée aux serres maraîchères et horticoles chauffées, aux piscines, au chauffage par des planchers chauffants, en particulier dans les logements neufs...



L'intérêt environnemental de la condensation

L'injection d'eau permet de capter certains polluants (poussières...). C'est un moyen de lavage des fumées, qui permet en général de s'affranchir de la mise en place d'un électrofiltre ou d'un filtre à manches. Les condensats sont dirigés vers un bassin de décantation afin de précipiter les éléments en suspension (boues de lavage) puis vers une installation de traitement. La composition des boues de lavage dépend, comme pour les cendres, de la composition du combustible. Pour éviter le traitement des eaux de lavage, le condenseur est parfois installé en aval de l'électrofiltre ou du filtre à manches. A énergie utile délivrée constante, un condenseur permet d'améliorer le ren-



dement de la chaudière et par voie de conséquence de diminuer la consommation de bois de 15% ou plus selon l'humidité du combustible et les émissions de polluants subséquentes. Enfin, la condensation est une technologie

largement répandue dans d'autres pays d'Europe (Suède, Danemark, Autriche...), son intérêt étant renforcé par la présence de réseau de chaleur "basse température" (retour à 50 °C), par l'utilisation en chaufferie d'une

forte proportion de plaquettes forestières humides et par la volonté de réduire l'impact visuel de l'installation (suppression du panache de vapeur en sortie de cheminée).

✓ ZOOM

Une première française à Beauvais (Oise)

Sur le quartier Saint-Jean, la ville de Beauvais a décidé de mettre en place un service public de distribution d'énergie calorifique, qui délivrera à compter de fin 2010 près de 40.000 MWh/an à une vingtaine d'usagers : lycées Truffaut, Corot et Saint-Esprit, collège Fauqueux, 650 logements de l'Opac de l'Oise, 700 logements privés, piscine, écoles primaires et maternelles, restaurants d'entreprises, futurs hôtel de police et maison de retraite... La chaleur sera produite à partir d'une chaufferie centrale au bois de 11 MW (deux chaudières de 5,5 MW) qui consommera 15.000 t/an de bois livrées par la SCIC régionale Picardie énergie bois. Le réseau de chaleur s'étend sur environ 7 km. La société Cram, délégataire retenu en mars 2008 par la collectivité, a proposé de réaliser deux branches distinctes.

La première présente des caractéristiques classiques (régime d'eau 105-75 °C). Dans la perspective d'installer un condenseur sur la chaufferie bois, la seconde est constituée d'un réseau "basse température" (régime d'eau 90-50 °C), qui dessert le lycée Corot, son internat et 200 logements de l'Opac chauffés par le sol (température de 40 °C). Toutes les sous-stations de ce dernier sont régulées afin de garantir en toute saison une température de retour à 50 °C. Ces équipements permettent en outre de réduire sensiblement les consommations d'énergie électrique du réseau. Le condenseur, d'une puissance de 500 kW, pourra fonctionner alternativement sur les deux chaudières bois. Ce dispositif autorise un gain de rendement moyen de 3% sur l'ensemble de l'année avec un bois relativement sec en phase de démarrage (3 MWh/t).

■ Efficacité énergétique du chauffage au bois

Améliorer les performances énergétiques de réseaux techniques de distribution d'énergie calorifique existants par la fourniture de chaleur à des tiers

Réseaux de chaleur et réseaux techniques

En 2007, une enquête menée par le Comité Interprofessionnel du bois-énergie (CIBE) a permis de dénombrier 91 réseaux de chaleur au bois, "au sens juridique", c'est-à-dire avec vente de chaleur à au moins un usager distinct du maître d'ouvrage du réseau. Le cumul des puissances des chaudières bois représentait 175 MW.

Il existe par ailleurs un grand nombre de réseaux dits "techniques", constitués d'une chaufferie centrale distribuant de la chaleur vers plusieurs bâtiments via des canalisations enterrées, mais sans vente de chaleur. En 2008, le CIBE a recensé 340 installations alimentant un réseau technique d'une longueur supérieure à 100 m. Plus de la moitié d'entre

elles sont sous maîtrise d'ouvrage de collectivités territoriales (communes ou groupements intercommunaux principalement), les établissements d'enseignement et de santé en représentent près de 20% et les ensembles de logements collectifs 10%. Elles cumulent une puissance bois de 170 MW (soit presque autant que les réseaux de chaleur à part entière) et délivrent **250 à 350 GWh/an** d'énergie calorifique.

Les chaudières bois de faible puissance étant souvent surdimensionnées, **ces réseaux techniques pourraient desservir des bâtiments voisins, devenant ainsi des réseaux de chaleur au sens juridique**. Une extension de la desserte permet une amélioration du résultat économique de l'opération (amortissement des équipements sur une quantité d'énergie délivrée supérieure, à com-

parer au surcroît d'amortissement des travaux de raccordement supplémentaire) mais également de son efficacité énergétique :

- la chaudière bois fonctionne plus longtemps à pleine puissance ;
- en demi-saison, celle-ci peut couvrir les besoins des usagers qui, sans extension, ne seraient pas suffisants pour qu'elle atteigne le taux de charge minimal requis pour un fonctionnement correct (la chaudière bois resterait alors à l'arrêt et la chaleur serait produite par l'énergie fossile d'appoint) ;
- lorsque le volume d'énergie calorifique véhiculée dans des canalisations augmente, les pertes relatives de celles-ci diminuent (puisqu'elles sont pratiquement constantes en valeur absolue) ; de fait la desserte de logements contrebalance en partie

celle de bâtiments communaux à très forte intermittence d'usage, le réseau étant irrigué en permanence même les jours ou aux heures où ces locaux sont fermés et donc "au ralenti".

Soulignons que cette extension des réseaux existants peut bénéficier d'un soutien financier dans le cadre du fonds chaleur si le pourcentage d'énergie renouvelable utilisée dépasse 50% et si la densité thermique est supérieure à 1,5 MWh par mètre linéaire par an.

Réseaux communaux

Les réseaux techniques des collectivités territoriales (200 installations recensées) représentent actuellement de l'ordre de 100 à 150 GWh/an de chaleur produite à partir du bois. Ce sont, à l'échelle d'un bourg, des réseaux alimentant des bâtiments municipaux ou communautaires en totalité ou en partie. Pour les projets les plus récents, la réflexion porte aussi sur la pertinence "d'étendre" la desserte à d'autres usagers et donc de vendre de la chaleur à des clients publics ou privés, y compris à des particuliers. L'extension peut être écartée pour des raisons technico-économiques si les besoins en énergie du ou des bâtiments envisagés sont trop faibles par rapport à l'investissement à consentir pour les raccorder.

Mais c'est plutôt la complexité, réelle ou supposée, du montage juridique à envisager pour vendre de la chaleur et l'obligation de créer un service public industriel et commercial (SPIC) de distribution d'énergie calorifique qui fait obstacle à ces extensions vers des

tiers dès l'origine du projet ou par la suite. Dans les deux exemples présentés ci-dessous, cette difficulté a pu être contournée dans la mesure où le changement de statut du réseau s'est fait dans un cadre juridique préexistant. Les collectivités auraient probablement hésité à mettre en place un SPIC pour le seul raccordement d'un bâtiment privé à Miribel-Lanchâtre et d'un immeuble de logements à Villard-de-Lans. Pour que le choix d'un périmètre de desserte du réseau soit d'abord guidé par des considérations technico-économiques (et pas seulement juridiques), il est nécessaire que les collectivités soient accompagnées par un assistant à maître d'ouvrage de façon effective et efficace aux différentes étapes de montage d'un SPIC (régie ou délégation de service public). Pour faciliter le développement de ces réseaux, une autre piste serait d'organiser le transfert du service public de distribution de la chaleur vers une structure intercommunale (syndicat départemental par exemple) disposant de personnel administratif compétent pour sa mise en place et sa gestion.

Réseaux de bailleurs sociaux

Les réseaux techniques gérés par des bailleurs de logements (une trentaine d'installations) représentent actuellement environ 40 GWh de chaleur renouvelable. Dans deux cas de figure étudiés s'est posée la question de la vente de chaleur au delà du strict patrimoine du bailleur :

- dans le premier, l'organisme HLM n'a pas souhaité prendre la maîtrise d'ouvrage

d'un réseau de chaleur, position confortée par le fait que théoriquement cela ne relève pas de sa compétence (principe de spécialité) ; le transfert de maîtrise d'ouvrage aurait dû alors être opéré vers la commune, qui peut toutefois refuser de s'engager dans cette voie (compétence facultative), surtout si elle se sent peu concernée (le patrimoine communal représente souvent une part très minoritaire dans les consommations de chaleur du réseau envisagé) ; - dans l'autre cas, l'organisme est prêt à prendre la maîtrise d'ouvrage mais doit au préalable en valider la légalité juridique, ce qui passe par une démarche auprès du préfet (sans garantie d'obtenir une réponse précise et sécurisante). Le développement de ces réseaux (avec vente à des tiers) passe donc par un accompagnement des collectivités ou des organismes bailleurs qui accepteraient de prendre en charge la responsabilité de ces projets, mais dans un cadre juridique sécurisé. Cette prise de responsabilité doit être assortie de conditions clairement définies : part maximale de fourniture d'énergie hors patrimoine du maître d'ouvrage (en dérogation du principe de spécialité), taux minimal d'utilisation d'énergies renouvelables, performance énergétique globale... Ces mesures pour faciliter l'extension de réseaux techniques auraient un impact plus large en favorisant la création directe de réseaux de chaleur (au sens juridique) dès la conception d'un projet, avec prise en compte systématique de fourniture de chaleur à tous les usagers potentiels situés à l'intérieur du périmètre du réseau. ●

Extension de réseaux dans deux communes de l'Isère

Villard-de-Lans

Villard-de-Lans est une commune de 4.500 habitants, station de ski du Vercors située à une trentaine de kilomètres à l'ouest de Grenoble.

En décembre 2006, elle a mis en service une chaufferie bois de 400 kW (avec 800 kW d'appoint/secours fioul), alimentant un ensemble de bâtiments

communaux : école maternelle, logements des enseignants, maison pour tous et crèche. C'est à l'occasion de la construction de la crèche que le projet a été réalisé (les autres bâtiments pré-existaient avec des systèmes de chauffage indépendants). Le réseau de distribution, de 900 mètres environ, permet

d'alimenter des sous-stations équipées d'échangeurs à plaques. Il n'y a pour l'instant qu'un comptage général au départ du réseau et un comptage spécifique à la crèche. La motivation première pour le choix du bois-énergie était la valorisation de la forêt locale, la commune étant elle-même propriétaire

forestier. Le raccordement d'un nouvel ensemble de 18 logements est aujourd'hui envisagé, nécessitant une trentaine de mètres de réseau supplémentaire. Il permettra d'optimiser le fonctionnement de la chaufferie bois, qui couvre aujourd'hui pratiquement 100% des besoins (le réseau dispose donc d'une importante réserve de puissance qui lui permettra de couvrir les besoins supplémentaires à hauteur d'environ 100 kW). Le contexte est un peu particulier car la ville est déjà autorité organisatrice d'une délégation de service public pour un réseau de chaleur de 800 kW (fonctionnant au fioul) sur une partie de son territoire. Le réseau de chaleur au bois a donc été intégré dans la concession, et l'extension sera réalisée et financée par le concessionnaire.



Chaufferie bois de Villard-de-Lans.

Photo : Ageden

Miribel-Lanchâtre



Chaudière bois de Miribel-Lanchâtre.

Photo : Ageden

Miribel-Lanchâtre est une commune de 330 habitants située à une trentaine de kilomètres au sud de Grenoble.

Elle a mis en place en 2000 un petit réseau de chaleur (au sens juridique, c'est-à-dire avec vente de chaleur) lors de l'aménagement d'un lotissement communal. Une chaufferie bois de 200 kW dessert ainsi 8 logements locatifs, 7 maisons individuelles et 2 locaux d'activité. L'installation a été créée via une régie communale avec mise en place d'un budget annexe.

A l'occasion de la construction d'un nouveau groupe scolaire, il a été décidé de réaliser une seconde chaufferie bois, alimentant aussi la mairie / salle polyvalente et l'ancienne école (transformée en bibliothèque). Un bâtiment privé situé sur le tracé du réseau a également été raccordé. La nouvelle chaufferie de 100 kW bois (sans appoint/secours) alimente, depuis sa mise en service en 2003, un réseau de distribution de 150 mètres et des sous-stations équipées d'échangeurs à plaques et de compteurs d'énergie.

Cette installation a été intégrée dans le budget annexe créé en 2000, les bâtiments communaux et le bâtiment privé étant comptabilisés comme de nouveaux abonnés du service public de distribution de chaleur. L'investissement et les frais d'exploitation (contrat d'entretien et achat de combustible) des deux réseaux sont regroupés d'un point de vue comptable. L'ensemble des deux réseaux et la création d'un hangar de stockage ont représenté un investissement de 440.000 euros HT et nécessité un emprunt de 100.000 euros, en complément des aides publiques reçues (Ademe, région, département) et des produits de cession de terrain partiellement affectés à ce projet. Le raccordement du bâtiment privé lors de la création de la seconde chaufferie bois a été rendu possible par la préexistence de la régie et l'intégration de l'opération dans le service public de distribution de chaleur déjà en place.

D'après les travaux de la commission "Etat des lieux et promotion des réseaux de chaleur au bois" du CIBE.