



Matériels et techniques

Soigner la conception  
de l'installation

p.4

Matériels et techniques

Mettre en œuvre  
l'exploitation

p.9

Synthèse

Garantir la sécurité  
des personnes et des biens

p.17



Bonnes pratiques  
pour l'optimisation de l'exploitation  
des chaufferies collectives  
et industrielles au bois

Matériel forestier

# Ets VIGNEAU

LA RÉVOLUTION BIOÉNERGIE



**CARROSSAGE FORESTIER  
COMPLET TOUTES MARQUES**

**CISAILLES BOIS-ÉNERGIE  
JUSQU'À 45 CM DE DIAMÈTRE  
POUR PORTE-OUTILS  
DE 5 À 30 TONNES**

# Bonnes pratiques pour l'optimisation de l'exploitation des chaufferies collectives et industrielles au bois

## Sommaire

- Edito, par Serge DEFAYE p. 3
- Soigner la conception / réalisation de l'installation afin d'en faciliter l'exploitation p. 4
- Bien effectuer la mise en service et la réception de l'installation et assurer le transfert du constructeur / installateur vers l'exploitant p. 7
- Mettre en œuvre les opérations d'exploitation adaptées grâce à une bonne connaissance du combustible et des composants de l'installation et à la maîtrise de leurs interactions p. 9
- Garantir la sécurité des personnes et des biens en limitant voire supprimant les situations à risques p. 17

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 productions et énergies durables - service 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 pour leur contribution les membres de la commission "Retour d'expériences de conception, construction et exploitation" du CIBE et Jean-Pierre TACHET (CIBE, secrétaire / animateur de cette commission). Mise en page par la rédaction du Bois International.

## *L'exploitant au centre du dispositif de production / distribution de chaleur*

Pour bien réussir un projet et en assurer la pérennité, on a coutume de dire qu'il faut réunir cinq conditions :

- tout d'abord, un **maître d'ouvrage** (un client) qui sait où il veut aller, accompagné en cela par un assistant (AMO) compétent et motivé ;
- un **concepteur** connaissant son métier (dimensionnement), **retenant des fournisseurs d'équipements** ne lésinant pas sur le choix et la qualité des matériels ;
- un **maître d'œuvre** rigoureux appliquant strictement les règles de l'art et des entreprises et installateurs attentifs et très soucieux de la qualité de leur livraison (le diable se niche dans les détails !)
- un **exploitant** qui va prendre en main un ensemble d'équipements et devoir les faire fonctionner à leur optimum (rendement, performances environnementales) et ce, pendant une très longue période ;
- un **fournisseur de combustible bois**, conscient dorénavant d'être un vrai professionnel, en capacité de livrer des produits "normalisés", aux caractéristiques constantes, là aussi dans la durée.

Toutes ces conditions peuvent sembler difficiles à obtenir. **Mais ces professionnels existent.** Encore faut-il que les différents acteurs / intervenants s'entendent entre eux et que la coordination soit sans faille, tout au long du projet par l'AMO et plus spécifiquement en phase chantier, pour les entreprises, par le maître d'œuvre. Les difficultés en effet surgissent en général à l'**intersection des différentes pratiques / cultures professionnelles**, qui souvent sont à l'origine de divergences de points de vue, voire de quiproquos entre personnes ne parlant pas le même langage.

Au cœur de ce dispositif, en phase opérationnelle (après la mise à feu), l'**exploitant de chauffage joue un rôle central.** Il va avoir la responsabilité de marier une technologie (dont il hérite), un combustible (dont il découvre souvent les caractéristiques précises sur le tas) et ses propres savoir-faire requérant des connaissances très variées (énergétique, mécanique, électronique...).

Des savoir-faire qu'il lui faudra adapter, au fil du temps, aux spécificités des équipements dont il a la charge et aux combustibles qu'il réceptionne, mais aussi à la réalité mouvante du terrain qui réserve parfois quelques surprises.

Ainsi faut-il sans doute **renforcer l'accompagnement et la formation** des personnels d'exploitation, salariés des sociétés prestataires de services mais plus encore agents territoriaux qui assurent le suivi / maintenance / entretien des petites chaufferies en régie.

Ce sont des tâches auxquelles le CIBE, avec le support de ses adhérents, s'attache désormais et qu'il va renforcer au cours des années à venir.

Serge DEFAYE  
CIBE



# Soigner la conception / réalisation de l'installation afin d'en faciliter l'exploitation

La fourniture de chaleur à partir de bois par une installation collective ou industrielle est l'aboutissement d'un processus qui peut se décomposer en trois phases :

- l'aide à la décision, de l'émergence du projet jusqu'à la prise de décision d'engager sa réalisation ;

- la conception / réalisation, aboutissant à la mise en service industriel de l'installation ;

- l'exploitation de cette dernière, permettant la production de chaleur et la satisfaction des besoins thermiques du (des) usager(s).

La conception / réalisation est une étape charnière qui doit aboutir à une installation fonctionnelle et performante. Pour cela, il est essentiel que chaque professionnel intervenant lors de cette phase fasse bien tout et uniquement ce qu'il doit faire (pas de lacune ni doublon) et que le maître d'ouvrage puisse

orienter, canaliser et cadrer les choses comme il le souhaite. Il convient d'avoir à l'esprit que toute problématique mal prise en compte au cours de cette phase cruciale aura des répercussions durant toute la période d'exploitation et occasionnera des surcoûts. Deux acteurs sont ainsi incontournables pour que la conception, la réalisation et l'exploitation soient maîtrisées : l'assistant à maîtrise d'ouvrage (AMO) et le maître d'œuvre.

## L'assistant à maîtrise d'ouvrage, garant de la cohésion globale du projet

A l'issue de la phase d'aide à la décision, grâce à une première approche effectuée par l'animateur du programme bois-énergie (note d'opportunité) et à une étude de faisabilité technico-économique menée par un bureau d'étude, le maître d'ouvrage dispose d'informations sur les compo-

santes techniques du projet, l'intérêt économique de l'opération et le montage juridique le mieux adapté pour sa concrétisation. Il peut alors faire un choix éclairé quant à l'engagement de la réalisation.

Dans l'idéal, il ne faudrait pas démarrer la conception / réalisation d'une installation sans savoir exactement dans quel cadre le projet sera monté :

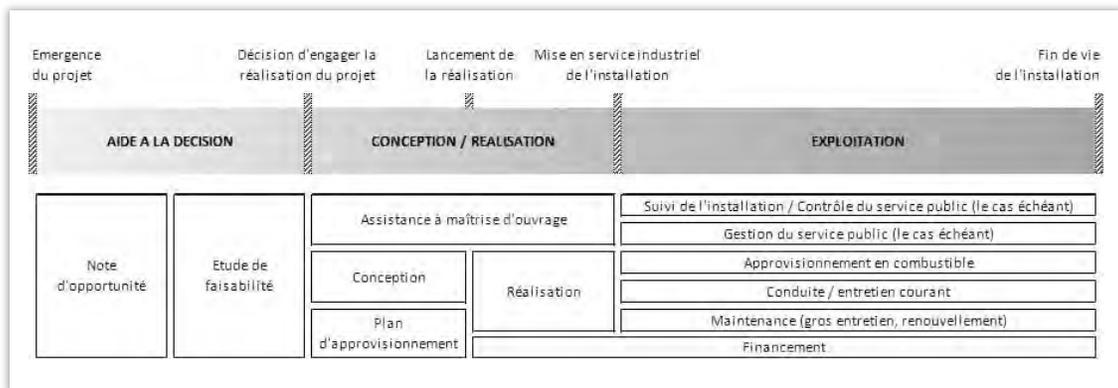
- chaufferie ou réseau de maîtrise d'ouvrage privée ;

- chaufferie dédiée d'un établissement public ou d'une collectivité territoriale pour le chauffage de ses propres bâtiments (il n'y a pas de vente de chaleur à des tiers) ;

- réseau de chaleur urbain : vente de chaleur à plusieurs usagers, en régie ou en délégation de service public (concession ou affermage).

En effet, le mode de gestion retenu détermine l'ossature sur laquelle s'ap-

**Phases et étapes d'un projet bois-énergie**  
(source : Biomasse Normandie)



| Type de gestion  | Maître d'ouvrage public   |                          |   |   |                          |          | Maître d'ouvrage privé  |                  |             |
|--|---|--------------------------|---|---|--------------------------|----------|---|------------------|-------------|
|  | Réseau de chaleur (service public)  |                          |   | Chaufferie dédiée   |                          |          |   |                  |             |
| Directe  | Régie avec conduite et entretien courant assurés par du personnel en propre |                          | Fréquent  | Conduite et entretien courant assurés par du personnel en propre                            |                          | Fréquent | Conduite et entretien courant assurés par du personnel en propre  |                  | Fréquent    |
|  | Régie avec marché d'exploitation  | Contrat de type P2       | Fréquent  | Marché d'exploitation   | Contrat de type P2       | Fréquent | Contrat d'exploitation  | De type P2       | Fréquent    |
|  |   | Contrat de type P2/P3    | Fréquent  |   | Contrat de type P2/P3    | Fréquent |   | De type P2/P3    | Fréquent    |
|  |   | Contrat de type P1/P2/P3 | Fréquent  |   | Contrat de type P1/P2/P3 | Fréquent |   | De type P1/P2/P3 | Fréquent    |
|  | Régie avec marché de réalisation et d'exploitation ou de maintenance (REM)  |                          | Rare  | Marché de réalisation et d'exploitation ou de maintenance (REM)                             |                          | Rare     | Externalisation de certaines opérations, outre celles relatives aux contrats d'exploitation de types P1, P2 et P3 |                  | Occasionnel |
| Régie avec marché de conception, de réalisation et d'exploitation ou de maintenance (CREM) |   | Rare                     | Marché de conception, de réalisation et d'exploitation ou de maintenance (CREM) |   | Rare                     |          |   |                  |             |
| Déléguée   | Délégation de service public de type affermage                              |                          | Occasionnel   | - (sans objet)  |                          | -        | - (sans objet)  |                  | -           |
|  | Délégation de service public de type concession                             |                          | Fréquent  | Partenariat public-privé - contrat de partenariat ou bail emphytéotique administratif (BEA) |                          | Rare     | Externalisation complète  |                  | Fréquent    |

puiera l'installation pendant les phases de conception / réalisation puis exploitation et découvrir sur le tard que le mode de gestion est inadapté (c'est-à-dire qu'il y a situation d'illégalité ou que les moyens administratifs, techniques ou financiers du maître d'ouvrage sont insuffisants) amène bien des difficultés, tant sur le plan technico-économique que sur le plan juridico-financier.

Bien souvent, le maître d'ouvrage n'est pas en mesure de conduire le projet tout seul et il est nécessaire qu'il s'adjoigne les services d'un AMO qui a pour mission de l'aider à suivre le projet, à prendre les multiples décisions qui lui incombent durant son déroulement et à le réceptionner. L'AMO a un rôle de conseil et de proposition (le décideur reste le maître d'ouvrage), facilite la coordination du projet et permet au maître d'ouvrage de remplir pleinement ses obligations au titre de la gestion du projet. Il doit ainsi avoir des connaissances pointues sur les plans technique (dimensionnement et fon-

ctionnement d'une installation bois-énergie, spécificité des combustibles bois...) et juridique (Code des marchés publics, loi MOP, loi Sapin...).

Dans le cas d'une gestion directe, l'AMO va aider le maître d'ouvrage à retenir un maître d'œuvre ainsi que, avant le démarrage des travaux si possible et sur la base de cahiers des charges précis, un exploitant (si l'exploitation n'est pas réalisée en interne) et un fournisseur de combustible (en l'absence de contrat P1 avec l'exploitant). Si le maître d'ouvrage a choisi de déléguer la gestion de son projet, son assistant va l'aider à retenir le concessionnaire, le fermier ou l'emphytéote et s'assurer que l'approvisionnement en combustible bois est bien contractualisé.

Lorsque le projet implique un service public de distribution de chaleur, l'AMO accompagne la collectivité ou son délégataire dans les démarches d'information des usagers puis de signature des polices d'abonnement, qui doit interve-

**Principaux montages de projets bois-énergie dans le secteur collectif / tertiaire**

(source : Biomasse Normandie)

**✓ ZOOM**

**Eco-conditionnalité des aides Fonds chaleur et "RGE Etude"**

Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2015, l'Ademe conditionne l'attribution des aides Fonds chaleur : en application du principe d'éco-conditionnalité, l'agence apporte désormais un soutien financier uniquement aux maîtres d'ouvrage ayant fait appel à des prestataires titulaires du signe de qualité "RGE" (reconnu garant de l'environnement) pour l'assistance à maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre.



## ✓ ZOOM

### Pour aller plus loin

Des informations complémentaires sur la conception / réalisation et l'exploitation d'installations bois-énergie sont disponibles dans les Cahiers du bois-énergie suivants :

- CBE n° 65 : "Combustion du bois, réduction des émissions polluantes et réglementation des chaufferies collectives et industrielles";
- CBE n° 62 : "Bois-énergie collectif et industriel : meilleures techniques et bonnes pratiques";
- CBE n° 59 : "Optimisation de l'efficacité énergétique des installations bois-énergie collectives et industrielles";
- CBE n° 58 : "Collectivités territoriales et professionnels : coopération incontournable pour développer le bois-énergie";
- CBE n° 56 : "Génie civil des chaufferies et réseaux de chaleur au bois"

Ces Cahiers sont disponibles auprès du Bois International ([www.leboisinternational.com](http://www.leboisinternational.com)).

L'Ademe met à disposition des cahiers des charges pour l'étude de faisabilité et l'AMO ([www.diagademe.fr](http://www.diagademe.fr)) ainsi que des référentiels définissant les caractéristiques et exigences techniques liées aux combustibles bois ([www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)).

Enfin, l'Ademe Poitou-Charentes a réalisé un guide des bonnes pratiques, des guides de réception des chaufferies (bois déchiqueté et granulés) ainsi qu'un cahier des charges pour la maintenance des installations ([www.poitou-charentes.ademe.fr](http://www.poitou-charentes.ademe.fr)).

nir avant le lancement des travaux pour garantir la présence effective d'un nombre suffisant d'usagers. Le cas échéant, l'AMO aide la collectivité à créer la régie.

Dans tous les cas, l'AMO validera que **l'avancée du projet (études, travaux, réception) est conforme aux exigences du maître d'ouvrage** (qu'elles soient liées aux aspects techniques, économiques, environnementaux, de sécurité...) et s'assurera du **bon fonctionnement de l'installation au minimum sur l'année suivant sa mise en service**.

Pour plus de précisions sur le rôle de l'AMO, on se référera utilement au CBE n° 58 : "Collectivités territoriales et professionnels : coopération incontournable pour développer le bois-énergie".

### **Le maître d'œuvre, garant d'une installation performante et fonctionnelle**

Lors de la conception, le maître d'œuvre (ou, le cas échéant, le concessionnaire ou l'emphytéote) réalise des études :

- l'avant-projet sommaire (APS) a pour but de consolider l'étude de faisabilité : confirmation des hypothèses, définition des principes de fonctionnement et des contraintes, proposition architecturale et fonctionnelle, estimation du montant des travaux, détermination des études complémentaires éventuelles ;
- l'avant-projet définitif (APD) : réalisé suivant la variante retenue par le maître d'ouvrage, il permet d'obtenir un engagement sur le prix des travaux et l'estimation précise par poste, sur la base de solutions techniques figées et d'études techniques détaillées avec notices par corps d'état. Doivent être tout particulièrement pris en considération :

- **le dimensionnement de l'installation** : les besoins thermiques du (des) utilisateur(s) doivent être satisfaits à tout instant, à l'aide notamment d'une chaudière bois fonctionnant le plus possible

à puissance nominale (cf. CBE n° 59 : "Optimisation de l'efficacité énergétique des installations bois-énergie collectives et industrielles") ;

- **le combustible bois** : celui-ci doit être adapté à l'équipement de combustion (cahier des charges strict) et disponible en quantité suffisante dans un périmètre raisonnable et sur la durée ; le matériel de livraison envisagé doit pouvoir accéder à la chaufferie et manœuvrer sur site, le stockage doit être correctement dimensionné et réalisé (cf. CBE n° 56 : "Génie civil des chaufferies et réseaux de chaleur au bois") ;

- **les contraintes réglementaires**, en particulier les valeurs limites d'émission des polluants (cf. CBE n° 65 : "Combustion du bois, réduction des émissions polluantes et réglementation des chaufferies collectives et industrielles") ;

- **la maintenabilité des équipements** : accessibilité, facilité de démontage, possibilité d'isolement... ; le remplacement des pièces doit être bien prévu (liste, périodicité, coût...);

- **la protection des personnes et des biens** ;

- les modalités de **suivi des performances énergétique et environnementale de l'installation** en phase d'exploitation.

Lors de la réalisation, le maître d'œuvre (ou le concessionnaire) finalise les études, prépare la sélection des entreprises, supervise l'exécution des travaux (une attention particulière devant être portée aux interactions entre les lots) puis valide les performances de l'installation, consigne les réserves et gère leur levée.

# Bien effectuer la mise en service et la réception de l'installation et assurer le transfert du constructeur / installateur vers l'exploitant

## **Mise en service et réception de l'installation**

La réception est un constat contradictoire entre un client et son fournisseur en vue de contrôler la bonne correspondance entre la commande et les équipements livrés et installés : c'est une phase contractuelle et administrative. En revanche, la mise en service industriel (MSI) n'est pas définie réglementairement mais doit l'être dans le contrat de construction. Elle intervient souvent en amont de la réception officielle.

## **Des tests exigeant la pleine puissance de l'installation**

Phase placée sous la responsabilité du constructeur, la MSI se déroule selon un planning prédéfini et comporte :

- les tests à froid ;
- le séchage des réfractaires ;
- les réglages de combustion ;
- le déverminage ;
- les tests d'endurance ;
- les tests de performances.

Pour les chaudières à eau chaude, les durées habituelles de MSI sont de une à deux semaines au maximum pour les équipements de moins de 2 MW et de l'ordre de trois semaines pour ceux de puissance supérieure. Pour les chaudières à vapeur, la MSI dure cinq à six semaines. Il n'est pas rare que la MSI et la levée des réserves soient effectuées hors période de

chauffe (en juillet, par exemple) : l'appel de charge est cependant insuffisant pour faire tous les essais et sécher les réfractaires.

Deux possibilités se présentent alors pour pouvoir tester la chaudière à pleine puissance et ainsi effectuer la réception selon le cahier des charges contractuel :

- certains constructeurs proposent des événements ou source froide (aéroréfrigérants) provisoires pour s'affranchir de l'insuffisance ou absence de débouché pour la chaleur ; pour les chaudières vapeur, il faut prévoir un système de mise à l'événement qui peut être loué pour la durée des essais ;
- la MSI peut être planifiée sur plusieurs mois au cours desquels sera atteint un niveau suffisant de besoins en chaleur pour que la chaudière fonctionne à puissance maximale : les étapes de réception pourront ainsi être validées en conditions réelles d'utilisation (charge, rendement, émissions atmosphériques...).

Il convient de noter qu'il est **essentiel que le combustible utilisé lors de la MSI réponde strictement au cahier des charges du constructeur de la chaudière**, ce qui n'est malheureusement pas toujours le cas.

## **L'implication de tous les acteurs est souhaitable**

La MSI est certes une phase d'essais visant à valider les performances de l'installation,

mais elle est aussi une **opportunité pour que les professionnels qui interviendront au cours des mois et années suivants se familiarisent avec l'outil et ses particularités.**

Ainsi, il est souhaitable que soient réunis à cette occasion :

- le maître d'ouvrage et son assistant (AMO) ;
- le maître d'œuvre, qui fournit une grille de tests sous la forme d'un protocole de performances ;
- le fournisseur de la chaudière bois et de ses équipements périphériques, responsable de la MSI ;
- le futur exploitant de la chaufferie ; dans ce cas, il assure généralement la conduite de l'installation sous le pilotage du chaudériste ;
- le futur fournisseur de combustible bois.

Si les trois premiers acteurs sont nécessairement impliqués pour la MSI, la présence des deux derniers suppose que les appels d'offres pour l'exploitation et la fourniture de combustible aient été lancés suffisamment tôt pour que le maître d'ouvrage ait pu retenir des prestataires. Trop souvent, l'exploitant prend en main un outil qu'il ne connaît pas, faute d'avoir été impliqué lors de sa réalisation. L'optimum est qu'il puisse assister aux réunions de chantier afin qu'il s'approprie l'installation,



condition importante de la réussite de sa mission.

## Transfert du constructeur / installateur vers l'exploitant

### Formation

Une formation est dispensée sur site par le constructeur à l'exploitant. Elle dure environ deux semaines lors du démarrage et comporte des éléments liés :

- pour 80% aux connaissances techniques (thermique, mécanique, électricité...) et aux procédures de maintenance ;
- pour 20% à la conduite de l'installation (réglages...).

Elle est en général bien perçue par leurs bénéficiaires mais semble toutefois lacunaire sur la partie conduite. En effet, dans la plupart des cas, un seul combustible a été livré pendant la durée de la formation et les exploitants n'ont pu expérimenter qu'un mode de réglage ; comme il n'y a alors pas de procédures écrites ou formalisées dans le système automate hors du réglage "courant", ils ne savent pas toujours gérer les modifications de conduite imposées par un changement des caractéristiques du combustible (exception faite des conducteurs de chaudières de faible puissance, pour lesquelles le cahier des charges est souvent réalisé sur la base d'un combustible très calibré de façon à limiter les problèmes de combustion).

Un axe de progrès serait ainsi de proposer aux exploitants une formation ayant pour objectif de bien appréhender l'impact de la modification des réglages sur la combustion (tests dans des situations réelles variées). Certains constructeurs réfléchissent à proposer une telle prestation sur un site dédié.

## Dossier des ouvrages exécutés et plan de maintenance

Le dossier des ouvrages exécutés (DOE) est une pièce essentielle qui fournit au maître d'ouvrage et à l'exploitant de

l'installation toutes les informations nécessaires sur celle-ci :

- description : plans, synoptiques, liste du matériel installé, notes de calcul... ;
- fonctionnement et exploitation : notice de fonctionnement, guides de conduite et de maintenance...

Le descriptif du DOE doit être adapté au projet (il est souvent contre-productif d'en surcharger le contenu, cela ne facilite pas la transmission de ses pièces essen-

tielles) et contractuellement défini dans le cahier des clauses techniques particulières (CCTP). Il est recommandé de demander une version informatique du DOE, afin de garantir sa pérennité et de faciliter sa mise à jour en cas d'évolution de l'installation. Lors des réceptions de chaufferies, il est constaté qu'un DOE sur cinq est correctement réalisé : il y a donc sur ce point une large marge de progression possible pour optimiser l'exploitation des ouvrages.

### Contenu indicatif du dossier des ouvrages exécutés (DOE) pour une chaufferie biomasse

(source : Dauchez Payet)

| Description des installations : pièces graphiques  |  |
|--|--|
| Plans <sup>1)</sup>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Génie civil</li> <li>- Voirie et réseaux divers</li> <li>- Fluides</li> <li>- Electricité</li> <li>- Sécurité incendie</li> </ul>   |
| Synoptiques  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fluides (hydraulique, aéraulique, air comprimé...)</li> <li>- Electricité (courants forts et courants faibles)</li> <li>- Comptage <sup>2)</sup></li> </ul>   |
| Description des installations : pièces écrites   |  |
| Liste et coordonnées des entreprises ayant participé à l'opération   |  |
| Liste du matériel installé   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Équipements de silo (trappes, acheminement du combustible...) et autres équipements de réception et de stockage</li> <li>- Convoyeurs et autres équipement de transfert</li> <li>- Chaudières</li> <li>- Dispositifs aérauliques (ventilateurs, clapets...) et de filtration</li> <li>- Dispositifs de régulation et de supervision</li> <li>- Equipements hydrauliques (pompes, vannes, ballons...)</li> </ul> |
| Notes de calcul  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Eléments de dimensionnement thermique de l'installation <sup>3)</sup> (charges thermiques, taux de couverture prévisionnel, températures de fonctionnement, caractéristique du combustible, autonomie...)</li> <li>- Note de dimensionnement de puissance électrique des auxiliaires</li> </ul>   |
| Fonctionnement et exploitation   |  |
| Résultats des essais et tests de mise en service   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Protocole de mesure des performances <sup>4)</sup> : charge thermique, combustible (taux d'humidité, granulométrie, densité...), avancement des lots annexes</li> <li>- Températures de fluides (eau / vapeur, air)</li> <li>- Fonctionnement des équipements électromécaniques <sup>5)</sup></li> </ul>  |
| Notice de fonctionnement   | Ce document présente l'installation d'un point de vue fonctionnel  |
| Guide de conduite (documentation fournisseur)  | Ce guide doit permettre à l'exploitant de non seulement garantir le fonctionnement de l'installation mais également de l'optimiser au regard des enjeux économiques, et environnementaux.  |
| Guide de maintenance : opérations à prévoir, avec fréquence et modalités   |  |
| Supports de formation de l'exploitant de la chaufferie   |  |
| Détails de garantie : récapitulatif des durées et modalités, décliné par catégorie   |  |
| Liste des pièces à renouvellement fréquent, avec détails sur leur approvisionnement (fournisseur, modalités, délais)   |  |
| Constats d'évacuation et de traitement des déchets de chantier (basés par exemple sur les bordereaux de suivi de déchets)  |  |
| Annexes  |  |
| Dossier des interventions ultérieures sur l'ouvrage (DIUO) <sup>6)</sup>   |  |
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Les plans remis doivent être conformes à l'exécution des travaux (plans de règlement) : ce ne sont pas des documents de conception qui ont pu faire l'objet de modifications.</li> <li>2) Pour plus de lisibilité, un synoptique de comptage séparé des synoptiques fluides et électricité est conseillé.</li> <li>3) Les éléments de dimensionnement thermique sont très utiles pour permettre au maître d'ouvrage d'appréhender les évolutions futures de son projet (notamment le périmètre d'alimentation de la chaufferie dans le cas d'une rénovation ou d'une extension).</li> <li>4) La définition des conditions d'essais est importante pour garantir au maître d'ouvrage un bon fonctionnement de son installation ; des essais à charges thermiques partielles et totales sont recommandés, mais impliquent une planification du processus de réception des installations.</li> <li>5) Cet aspect est souvent négligé, mais est à l'origine de la majorité des dysfonctionnements d'une chaufferie biomasse.</li> <li>6) Réalisé par le coordonnateur SPS de l'opération, il est relatif à la santé et à la sécurité. Il présente les modalités des opérations de maintenance du projet et apporte des compléments utiles sur les consignes de sécurité à respecter pour les intervenants. Il est important de s'assurer que le coordonnateur SPS intègre la chaufferie et ses équipements dans sa mission.</li> </ol> |  |

Les éléments constituant le DOE sont en très grande majorité établis et donc communicables dès la phase projet par le concepteur de l'installation. Il peut s'avérer très pertinent pour l'exploitant d'obtenir de ce dernier, bien avant la remise contractuelle de ce dossier, tous éléments partiels utiles lui permettant de préparer

efficacement l'élaboration des consignes et procédures (conduite, maintenance, sécurité) et la formation de son personnel. On constate souvent que des éléments fournis trop tardivement, voire non fournis, nuisent quelquefois gravement à la prise en main correcte et sûre de l'installation par le personnel d'exploitation.

En outre, pour être pleinement source d'efficacité, le plan de maintenance devrait faire l'objet d'un document spécifique, simplifié, adapté à l'installation réalisée et comprenant les documents strictement nécessaires à l'exploitant.

# Mettre en œuvre les opérations d'exploitation adaptées grâce à une bonne connaissance du combustible et des composants de l'installation et à la maîtrise de leurs interactions

Après avoir été conçue, réalisée et mise en service, l'installation bois-énergie va fonctionner durant une vingtaine d'années : il convient donc d'en soigner l'exploitation afin qu'elle réponde à l'ensemble des attendus énergétiques, économiques et environnementaux.

Désormais, ses performances dépendront essentiellement de quelques éléments-clés :

- la connaissance de l'installation et du cadre d'exploitation ;
- la qualité du combustible bois ;
- la maîtrise de la combustion ;
- l'efficacité du système de dépoussiérage des fumées ;
- l'entretien et la maintenance des équipements.

Mener à bien toutes ces opérations nécessite des compétences certaines : la formation du personnel d'exploitation

est essentielle et le **partage d'expérience** ne peut qu'être encouragé afin que l'ensemble des professionnels concernés par la conception / réalisation, l'approvisionnement et l'exploitation des installations bois-énergie soit dans une démarche de perfectionnement continu.

## **Connaissance de l'installation et du cadre d'exploitation**

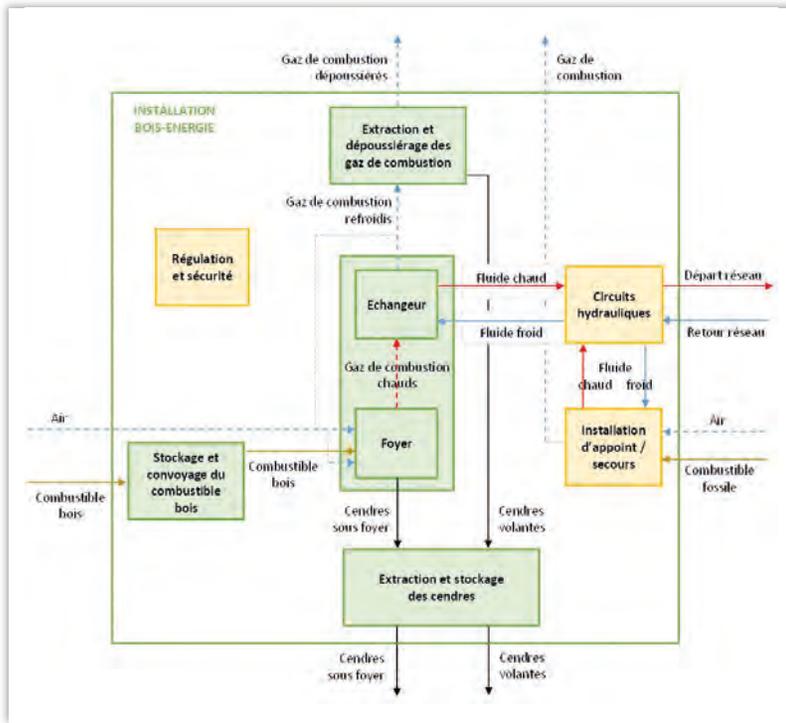
Le personnel en charge de l'exploitation doit avoir connaissance des informations concernant l'installation et liées :

- à sa conception / réalisation : caractéristiques des **matériels et équipements**, obligations **réglementaires**, usages de la **chaleur produite** ;
- à son exploitation : quantités et caractéristiques des **matières entrantes et**

**sortantes** (combustibles, résidus, rejets), quantité de **chaleur produite**, opérations de **conduite, entretien et maintenance**. Ces **informations doivent être accessibles à tout instant**, la disponibilité de certaines étant exigées par la loi (cf. notamment les arrêtés relatifs aux installations de combustion soumises à déclaration, enregistrement ou autorisation au titre de la rubrique 2910 des installations classées pour la protection de l'environnement – ICPE).

## **Matériels et équipements, réglementation, usages de la chaleur**

Le **dossier des ouvrages exécutés** (DOE, cf. article précédent) permet à l'exploitant de connaître l'installation : caractéristiques générales, architecture, localisation dans



## Combustibles, résidus, rejets, chaleur et opérations d'exploitation

Le rôle de l'exploitant est de satisfaire, à tout instant, les besoins thermiques du (des) utilisateur(s) et, grâce à la bonne maîtrise de la combustion du bois, d'assurer la valorisation maximale de l'énergie contenue dans le combustible en respectant les contraintes réglementaires sur les résidus et rejets, tout en préservant l'état de son installation. Pour cela, il lui est nécessaire de bien connaître, outre les éléments cités précédemment :

- les caractéristiques des combustibles admissibles, tant du point de vue réglementaire que technique, et leurs plages de variation possibles (nature, contenu énergétique, taux d'humidité, granulométrie, masse volumique, taux de cendres, température de fusion des cendres, éventuellement taux de chlore, de soufre et d'azote... – cf. DOE) ; en la matière, les exigences de l'exploitant doivent être précisées dans les contrats d'approvisionnement ;
- les quantités et caractéristiques réelles des combustibles consommés ;
- les valeurs limites d'émission de polluants pour les rejets atmosphériques ;
- les teneurs réelles des fumées en éléments polluants ;
- les quantités et caractéristiques attendues des cendres, définies par la réglementation et les contrats ou conditions de valorisation / élimination ;
- les quantités et caractéristiques réelles des cendres produites ;
- la quantité de chaleur produite par la chaudière bois ;
- la quantité de combustible d'appoint consommée.

Des analyses périodiques du combustible bois, des résidus et des rejets et un relevé quotidien du compteur d'énergie thermique doivent être réalisés et les

l'espace des ensembles et composants, principes de fonctionnement, guide de conduite et de maintenance. Des documents de référence spécialisés externes (définitions et vocabulaire, retours d'expériences...) peuvent utilement compléter le DOE.

Par ailleurs, il est indispensable que soient bien connus le cadre législatif et réglementaire général et spécifique (textes relatifs aux ICPE, arrêté d'autorisation d'exploiter le cas échéant...) et les textes régissant la sécurité et les interactions de l'installation avec son voisinage (règlements locaux, règlement intérieur...).

Enfin, la bonne gestion des interfaces entre production et distribution de chaleur requiert, outre les éléments de dimensionnement thermique de l'installation figurant dans le DOE, une concertation régulière avec le (les) gestionnaire(s) du (des) réseau(x) secondaire(s) et/ou

utilisateur(s) de la chaleur afin de bien cerner les besoins, anticiper les éventuels problèmes et apporter les solutions correctrices adaptées.

Des notes et tableaux de synthèse, schémas synoptiques, aide-mémoire... seront réalisés pour faciliter l'utilisation de ces documents, tenus à jour par l'intégration des modifications de l'installation, des évolutions réglementaires..., et dont la connaissance permet :

- la rapidité et la pertinence des diagnostics et interventions ;
- la réduction des risques d'arrêts et incidents techniques ;
- la limitation des nuisances et des risques sur les matériels et personnes ;
- la réduction des risques d'arrêt sur injonction administrative (avec mise en cause de la responsabilité civile ou pénale) ;
- l'augmentation de la disponibilité de l'installation.

### Installation bois-énergie : ensembles constitutifs et flux de matières / énergie

(source Biomasse Normandie)

| Ensembles                             |  | Principaux composants   |
|---------------------------------------|--|---|
| Ensembles spécifiques au bois-énergie | Stockage et convoyage du combustible bois                                  | Silo<br>Système de désilage<br>Système de convoyage<br>Système d'introduction du combustible dans le foyer  |
|                                       | Production et échange de chaleur à partir du bois (cœur de l'installation) | Foyer<br>Ventilateurs d'air primaire et secondaire<br>Echangeur de chaleur<br>Système de recirculation des fumées   |
|                                       | Extraction et dépolluissage des gaz de combustion                          | Multicyclone<br>Filtre à manches ou dépolluiseur électrostatique (électrofiltre)<br>Ventilateur d'extraction des gaz de combustion<br>Cheminée  |
|                                       | Extraction et stockage des cendres   | Système d'extraction, de convoyage et de stockage des cendres sous foyer<br>Système d'extraction, de convoyage et de stockage des cendres volantes  |
| Autres ensembles                      | Installation d'appoint / secours   | Citerne (le cas échéant) et système d'alimentation en combustible<br>Brûleur / ventilateur d'alimentation en air / chaudière<br>Cheminée  |
|                                       | Circuits hydrauliques  | Circulateurs des boucles chaudières<br>Compteur d'énergie thermique (chaleur produite par la chaudière bois)<br>Ballon d'hydro-accumulation (le cas échéant)<br>Bouteille de découplage<br>Vase d'expansion / groupe de maintien de pression<br>Vanne « 3 voies »<br>Circulateur du réseau de distribution<br>Compteur d'énergie thermique (chaleur injectée dans le réseau urbain, le cas échéant) |
|                                       | Régulation et sécurité   | Armoire de commande<br>Automate programmable<br>Sondes / capteurs   |

résultats consignés. En fonction de ces derniers, des **modifications de réglages pour améliorer la combustion du bois** (augmentation du rendement, réduction des émissions de polluants) **ou optimiser la mise en cascade des chaudières bois et d'appoint** (lissage de la courbe de production, meilleure gestion de la demande) **ainsi que des opérations d'entretien** peuvent être nécessaires. Si tel est le cas, elles doivent être inscrites dans le cahier de chaufferie, qui doit également compiler les **déclenchements de sécurité de l'installation et les opérations correctrices** qui en ont découlé.

La connaissance de ces données, leur interprétation et leur utilisation (ponctuellement et sur la durée) permet d'optimiser l'exploitation :

- affinement de l'appréciation (pertinence et justesse) des contrôles visuels courants des combustibles et des cendres ;

- limitation des risques induits de dérive des performances de combustion ;
- réduction des risques d'acceptation (combustible) ou de refus (cendres) de lots non conformes ;
- meilleure maîtrise de la combustion grâce à la connaissance des réactions de l'installation aux variations des caractéristiques du combustible ;
- utilisation optimale des combustibles bois et d'appoint.

### Qualité du combustible bois

Le combustible bois est le seul élément présent en entrée de l'installation bois-énergie (exception faite du combustible d'appoint) : de sa qualité et de son adéquation à l'équipement de combustion dépendent la chaleur et les matières (résidus et rejets) issues de la chaufferie.

Il est donc essentiel de **contrôler que le combustible fourni répond effecti-**

vement aux exigences de l'exploitant figurant dans le contrat d'approvisionnement. Ce dernier, résultant d'un cahier des charges précis et d'une discussion sérieuse aboutissant à un compromis entre les deux parties, est donc la **première étape de la démarche qualité pour le combustible.**

### Bonnes pratiques

Outre établir un contrat d'approvisionnement précis, il convient de :

- faire réaliser par un laboratoire indépendant une **analyse complète des caractéristiques du combustible avant la première utilisation en chaufferie** ;
- assurer la **traçabilité des livraisons** : ordre de livraison, bon de livraison, lettre de voiture, bon de réception, fiche navette, badge encodé ;
- **livrer en sécurité** : protocole de déchargement, équipement de protection individuelle, sensibilisation et formation ;
- **connaître la quantité de combustible livré** : pesée à l'aide d'un pont-bascule sur site, sur plateforme ou dans la commune (exiger les tickets de pesée) ;
- **réaliser des prélèvements** en nombre suffisant et selon une méthodologie permettant d'aboutir à des **échantillons représentatifs** du combustible livré (ce qui nécessite beaucoup de rigueur), la fréquence étant fonction de la quantité consommée et de l'homogénéité du produit ;
- **évaluer rapidement le taux d'humidité** : four à micro-ondes plutôt que seau "autrichien" ;
- réaliser des **analyses de taux d'humidité** (étuve sur site ou mutualisée) **et de granulométrie à réception** ;
- faire réaliser régulièrement, par un laboratoire indépendant, des **analyses complètes des caractéristiques** du combustible.

En pratique, les opérations effectuées diffèrent selon les moyens humains et

**Ensembles et principaux composants d'une installation bois-énergie**  
*(source Biomasse Normandie)*



| BON DE RECEPTION BIOMASSE  |                           | N° : _____   |
|--|---------------------------|--|
| Réception pour le compte de :<br><input type="checkbox"/> Site A <input type="checkbox"/> Site B <input type="checkbox"/> Site C <input type="checkbox"/> Site D<br><input type="checkbox"/> _____<br><input type="checkbox"/> Autre : _____   |                           | Produit réceptionné :<br>la (date) : _____<br>à (heure) : _____<br>par (nom) : _____   |
| Fournisseur : _____<br>Contrat de fourniture N° : _____<br>Provenance ou lieu de chargement : _____  |                           | Nature / Catégorie de Biomasse :<br><input type="checkbox"/> Bois déchiqueté (Plaquette, flottage, etc.)<br><input type="checkbox"/> Plaquette forestière<br><input type="checkbox"/> Résineux <input type="checkbox"/> Feuillus<br><input type="checkbox"/> Ecorces<br><input type="checkbox"/> Produits de scierie<br><input type="checkbox"/> Bois de Classe A<br><input type="checkbox"/> Refus de compostage<br><input type="checkbox"/> Bois de flottage<br><input type="checkbox"/> Autre : _____ |
| Transporteur<br>Immatriculation Camion : _____<br>Immatriculation Remorque : _____<br>Chauffeur / Livreur (nom) : _____<br>Lettre de voiture : <input type="checkbox"/> Agrahée au présent BR<br><input type="checkbox"/> N° : _____<br>Poids annoncé : _____ t<br>Volume annoncé : _____ m3 |                           | Observations / Réserves :<br><input type="checkbox"/> Humidité<br><input type="checkbox"/> Apparence : <input type="checkbox"/> Mesurée : _____<br><input type="checkbox"/> Taux de fines apparent : _____<br><input type="checkbox"/> Corps étrangers : _____<br><input type="checkbox"/> Qualité du dépotage : _____<br><input type="checkbox"/> Autre : _____   |
| <small>Cette fiche a été élaborée et harmonisée à l'initiative coordonnée des instructions du responsable du site de réception.</small>  |                           |  |
| Pesée sur le site de réception :<br>Poids total entrant : _____ t<br>Poids à vide : _____ t<br>Poids livré : _____ t<br>Bon(s) de Pesée : <input type="checkbox"/> Agrahés(s) au présent BR<br><input type="checkbox"/> N° : _____<br><input type="checkbox"/> N° : _____                    |                           |  |
| Visa du réceptionnaire :<br><input type="checkbox"/> Livraison déposée (Agrément visuel)<br><input type="checkbox"/> Livraison refusée<br>Motif : _____  | Visa du chauffeur : _____ |  |

## Exemple de bon de réception de combustible bois

(source : CIBE)

peut être mesurée avec précision par pesée du camion à son arrivée et après déchargement. La lettre de voiture du transporteur et/ou le bon de livraison du fournisseur sont conservés voire validés par le réceptionnaire. Le poids qui y est inscrit est pris en considération, mais c'est la pesée sur le site de réception qui fait foi pour la facturation.

En cas d'absence de système de pesée sur site, le camion utilise un pont-bascule public à proximité du trajet. La quantité de combustible livrée est alors obtenue par déduction du poids à vide (connu ou estimé). Malgré la contrainte qu'elle représente, cette pesée en cours de trajet est souvent exigée par le destinataire (les ratios au volume de combustible sont trop imprécis pour en déduire la masse). Dans de très rares cas, la masse de produit livrée retenue sera celle annoncée par le fournisseur en l'absence de pesée.

La pesée par essieu au moyen d'un dispositif mobile n'est pas utilisée car n'apportant pas une garantie suffisante sur la justesse de mesure.

## Observation visuelle du chargement

Le personnel exploitant doit être formé au contrôle visuel afin d'être capable de refuser une livraison (non-conformité de la nature du combustible, présence de corps étrangers, d'impuretés...).

L'observation peut avoir lieu avant déchargement, par positionnement au-dessus du camion lorsque :

- l'installation (de forte puissance) dispose d'une passerelle ou d'un dispositif équivalent ;

- la remorque est équipée d'une mini plateforme d'accès sécurisé.

Cependant, la plupart du temps, c'est par une observation au début du dépotage que le réceptionnaire peut se faire une idée de la qualité du produit livré.

Dans certains cas, une aire de décharge-

techniques présents sur le site :

- chaufferie de forte puissance : équipe sédentaire et équipements d'analyse du taux d'humidité et de la granulométrie, éventuellement pont-bascule pour la pesée et matériel pour la mesure du taux de cendres ;

- chaufferie de petite ou moyenne puissance : technicien unique (parfois à temps partiel) et matériels d'analyse plus sommaires.

Par ailleurs, l'amélioration de la qualité du combustible passe par une **meilleure communication avec les producteurs** : bien souvent, ceux-ci n'ont pas une notion précise des impératifs de l'exploitant, mais à partir d'une simple visite de l'installation, ils en prennent conscience et peuvent adapter leurs pratiques en conséquence.

De même, il semble profitable de **bâtir les commandes à partir d'un "ordre de**

**livraison"** par lequel le fournisseur, en l'acceptant, reconnaît pouvoir livrer le produit requis dans le délai demandé et s'engage notamment sur son origine et sa qualité. C'est le cas avec les fiches navettes ou les badges encodés.

## Pesée des livraisons

**La connaissance de la masse de combustible livrée est impérative** (c'est elle qui, associée au taux d'humidité, permet de connaître le contenu énergétique du produit), **faute de quoi les calculs et appréciations pour les réglages de la chaudière seront faussés : la combustion ne se fera pas dans les meilleures conditions et les performances énergétique, environnementale et économique de l'installation en seront affectées.**

Si le site de la chaufferie est équipé d'un pont-bascule, la masse de bois livrée

ment permet de vider le camion à part et de prendre, le cas échéant, des dispositions (refus, compensation...) avec le fournisseur.

### Prélèvement d'échantillon

Le réceptionnaire prélève plusieurs échantillons (en général entre un et trois, rarement plus, ce qui peut être insuffisant pour qu'ils soient représentatifs du chargement). Si les livraisons proviennent d'un même fournisseur et à forte cadence, les caractéristiques du bois sont présumées constantes, ce qui permet de réduire le nombre d'échantillons.

Le plus souvent, le prélèvement est réalisé soit :

- au moment du déversement, par seau lesté ou avec une pelle ;
- après livraison, en puisant manuellement la matière dans le tas pour remplir une barquette.

Parfois, le prélèvement est réalisé à l'aide d'un bras articulé, actionné manuellement ou motorisé.

### Evaluation rapide du taux d'humidité

La mesure est souvent faite à l'aide d'un four à micro-ondes et d'une balance qui donnent, même si le résultat dépend

partiellement de l'opérateur, une indication suffisante pour conduire correctement la chaudière.

Le seau autrichien (ou seau Pandis, Humitest...) nécessite de grandes précautions pour donner une valeur fiable (dépendant toutefois également de l'opérateur) : il faut notamment qu'il soit à la même température que le bois, et que la granulométrie soit homogène. Il est ainsi nécessaire de le calibrer à partir d'une mesure en étuve ou au four à micro-ondes.

### Mesure du taux d'humidité, de la granulométrie et du taux de cendres

La mesure du taux d'humidité est faite avec une étuve et une balance, celle de la granulométrie à l'aide d'un plateau vibrant et celle du taux de cendres avec un four et une balance. Lorsque ces appareils ne sont pas disponibles sur le site ou en utilisation partagée, ces analyses sont faites par un laboratoire indépendant.

En première approche, le taux d'humidité mesuré et la masse de combustible livré permettent de déterminer le contenu énergétique du chargement (pouvoir calorifique inférieur - PCI).

Il convient toutefois de noter que plus

le taux de cendres est élevé, moins le combustible contient d'énergie par unité de masse de matière sèche : il est donc essentiel que des mesures du taux de cendres soient effectuées régulièrement pour connaître plus précisément la quantité d'énergie consommée par la chaufferie.

### Maîtrise de la combustion

En fonction des informations communiquées par les sondes et capteurs (demande en chaleur, caractéristiques des fumées...), le système de régulation gère les actions à mener : vitesse d'introduction du combustible, ouverture des volets modulants pour l'alimentation en air primaire et air secondaire, rythme d'avancée de la grille mobile et mise en marche / arrêt des équipements.

Si les caractéristiques du combustible restent dans les limites préconisées par le constructeur, la performance énergétique de la chaudière est ainsi optimisée : le rendement de production est supérieur à 85% à puissance nominale et à 80% entre ce régime nominal et le taux de charge minimum (15 à 25% selon les constructeurs).

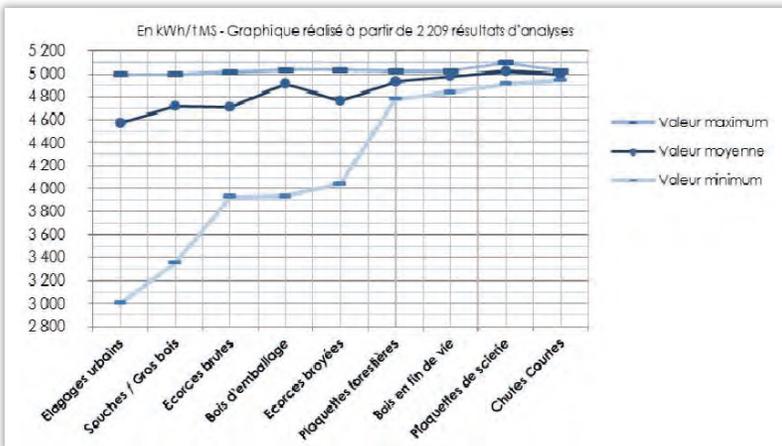
Toutefois, l'exploitant doit contrôler le débit de combustible et suivre le rendement et les caractéristiques des résidus et rejets afin d'ajuster ou modifier les paramètres de régulation, voire assurer une reprise manuelle de la gestion des arrivées d'air et de combustible ou décider d'un arrêt total ou partiel de l'installation (mise en sécurité).

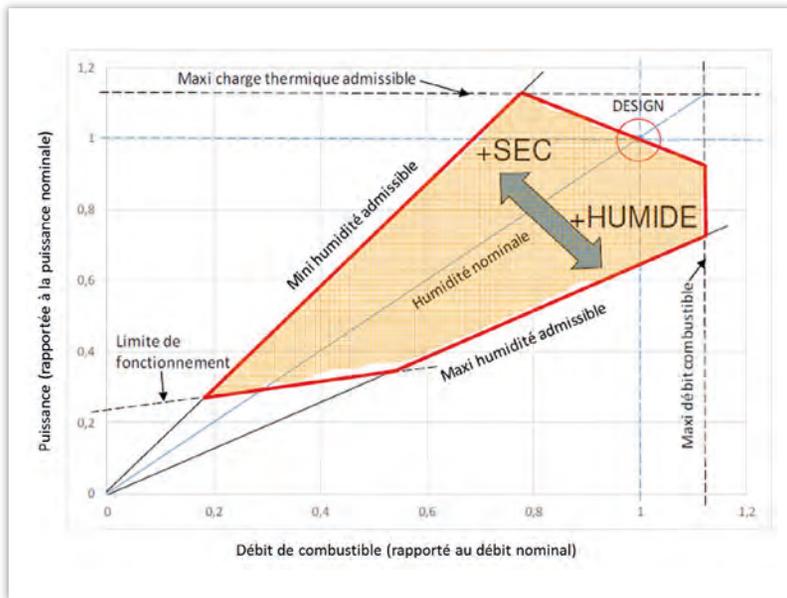
### Débit de combustible

La connaissance de la marge dont dispose l'exploitant d'une installation au regard des variations de qualité du combustible, dont on sait qu'elles sont inévitables dans certaines limites, apparaît ici essentielle. En effet, la puissance fournie par la chaudière est fonction de la quantité

#### Evolution du PCI anhydre selon le type de combustible bois (impact du taux de cendres)

(source Ceden, d'après des données collectées auprès de fournisseurs et d'utilisateurs de combustibles bois)





d'énergie contenue dans le combustible présent dans le foyer, cette dernière dépendant :

- du **débit volumétrique** du système d'introduction de bois dans le foyer ;
- de la **masse volumique apparente** du combustible ;
- de son **contenu énergétique par unité de masse brute**, lui-même fonction du **taux d'humidité** et du **taux de cendres**.

Dès lors que ce dernier reste situé dans une faible plage de variation autour de la valeur contractuelle, le fonctionnement de l'installation est possible à l'intérieur d'une aire dont les limites sont fixées par :

- les taux d'humidité minimal et maximal admissibles ;
- les charges thermiques minimale et maximale admissibles ;
- le débit massique maximal de combustible.

A l'extérieur de cette aire, il n'est pas possible d'assurer un fonctionnement correct de la combustion (températures, volumes et vitesses des gaz de combustion...) avec les caractéristiques (thermiques,

hydrauliques, géométriques...) de l'équipement de combustion.

Le système de régulation permet de gérer automatiquement les variations de caractéristiques du combustible, avec une efficacité toutefois plus ou moins grande selon la progressivité ou la brutalité de celles-ci. Ainsi, l'opérateur aura parfois des actions manuelles à effectuer pour maintenir le point de fonctionnement à l'intérieur de l'aire autorisée. Dans certains cas, il conviendra même de suspendre la production, au risque soit de voir les performances énergétiques et environnementales chuter inexorablement (taux d'humidité du combustible trop élevé, puissance en deçà du minimum technique), soit de mettre gravement en péril les équipements eux-mêmes si la situation perdure (taux d'humidité du combustible trop faible, puissance trop élevée, équipements d'alimentation du foyer en combustible trop sollicités).

**Il est donc indispensable que les exploitants d'installations définissent précisément, avec les constructeurs, les**

**Zone de fonctionnement de l'équipement de combustion selon la puissance, le débit de combustible et le taux d'humidité de celui-ci (diagramme de principe, chaque constructeur ayant ses spécifications propres)**  
(source CIBE)

limites de fonctionnement des équipements et respectent scrupuleusement les consignes qui en découlent pour ce qui concerne les contrôles sur le combustible.

## Rendement de production

Le rendement de production, établi pour une période de fonctionnement déterminée, est donné par le rapport entre l'énergie fournie en sortie de la chaudière bois (mesurée au compteur) et l'énergie contenue dans le combustible (calculée).

Pour utiliser ce rendement à bon escient, il convient tout d'abord d'être certain que les quantités d'énergie dont il est le rapport sont justes :

- compteur en sortie de chaudière fiable : matériel correctement étalonné, sondes de température opérationnelles et bien positionnées, bon fonctionnement de la chaîne de transmission de la mesure ;
- caractéristiques (masse, taux d'humidité, taux de cendres) du combustible mesurées précisément : bon fonctionnement du pont-bascule, efficacité de la procédure de prélèvements et d'échantillonnage (au besoin, multiplier les prélèvements), fréquence et qualité des analyses des taux d'humidité et de cendres (au besoin, faire appel à un laboratoire indépendant).

Si, malgré ces vérifications et la réalisation des éventuelles actions correctives nécessaires, le rendement de production est inférieur à celui escompté, les causes possibles sont :

- l'utilisation d'un **combustible non adapté** à la chaudière ;
- des **réglages de combustion non adaptés** au combustible (notamment débit d'air primaire et secondaire, débit de combustible) ;
- l'**encrassement de l'échangeur** (pertes liées à une température de fumées trop élevée) ;

- la **détérioration de l'isolation de la chaudière** (augmentation des pertes par les parois) ;

- une **mauvaise gestion des priorités d'utilisation des chaudières bois et appoint** en fonction de la demande de chaleur, induisant un fonctionnement trop fréquent de l'équipement bois à faible charge.

L'exploitant doit donc identifier la (les) cause(s) et agir en conséquence : changement de combustible, modification des réglages, opérations d'entretien et de maintenance.

### Qualité des résidus et rejets

Il est essentiel de **suivre la qualité des résidus et rejets**, non seulement pour avoir la garantie du respect des exigences réglementaires mais également pour optimiser la gestion de l'installation : les **caractéristiques des cendres et fumées se révèlent en effet de précieux aides pour gérer le couple combustible / combustion, à condition de bien connaître les caractéristiques du premier membre et les réglages pour le second et d'avoir consigné toute intervention susceptible d'en modifier les interactions. C'est en effet à ces conditions que l'analyse sera pertinente.**

Concernant les **fumées**, certaines données sont suivies en continu et prises en considération par l'automate de régulation :

- la **température** : trop élevée, elle indique le plus souvent un encrassement de l'échangeur ou, éventuellement, une température de foyer trop importante par suite de l'usage d'un combustible trop sec ; la température des fumées est basse lorsque la chaudière fonctionne en deçà de son minimum technique ou lorsque le combustible est trop humide (il y a alors risque de condensation dans les filtres ou la cheminée) ;

- le **taux d'oxygène** : il est lié à l'apport d'air primaire et secondaire, qui doit être

en excès par rapport aux conditions stœchiométriques pour assurer une bonne combustion ; toutefois, un taux d'oxygène important révèle un apport d'air superflu et implique des pertes de chaleur par les fumées ; à l'inverse, un taux faible indique une combustion incomplète ;

- le **taux de monoxyde de carbone (CO)** : sa présence est caractéristique d'une combustion incomplète.

La teneur en autres composants n'est généralement pas mesurée en continu mais fait l'objet d'analyses ponctuelles régulières, notamment :

- les **poussières** : leur présence dans les fumées en trop grande quantité indique une défaillance du système de dépoussiérage ;

- les **oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>)**, liés très majoritairement à l'azote présent dans le combustible.

Il convient de noter que le chaudiériste doit intégrer dans la conception de son équipement les caractéristiques nécessaires pour une combustion optimale du combustible prévu et s'engager sur le respect des valeurs limites réglementaires d'émissions polluantes dans ces conditions d'usage. Si l'on considère ce point acquis (dans la pratique, il convient toutefois de vérifier que c'est effectivement le cas), les **dérives observées sur les émissions peuvent donc être liées à l'utilisation d'un combustible en théorie non admissible ou à des réglages de combustion non adaptés au combustible utilisé.**

Il en est de même pour certaines caractéristiques des **cendres** produites :

- les **imbrûlés** (identifiables à la couleur noire des cendres) traduisent une combustion incomplète liée soit à un combustible trop humide, soit à un mauvais réglage (débit de combustible, débit d'air primaire, vitesse des grilles) ;

- les **mâchefers** indiquent une température de fusion des cendres trop basse (présence de silice dans le combustible...)

ou une température de foyer trop élevée ; dans les deux cas, il convient de faire attention à ce que les cendres ne vitrifient pas sur les grilles du foyer, obligeant à un arrêt de l'installation et à une intervention humaine et pouvant aboutir à une détérioration des éléments de la grille et du réfractaire.

En outre, imbrûlés comme mâchefers altèrent la qualité des cendres et peuvent empêcher leur valorisation.

### Efficacité du système de dépoussiérage des fumées

Simple en apparence, les filtres à manches (FAM) et dépoussiéurs électrostatiques (électrofiltres – EF) nécessitent un entretien rigoureux et des compétences techniques pour assurer des émissions réelles de poussières en concordance avec le dimensionnement. En général, le système d'épuration des fumées est intégré au lot de la chaudière bois : les constructeurs de filtres sont peu présents sur les installations et le suivi est réalisé principalement par le fournisseur de la chaudière. Il en découle que les techniciens d'exploitation sont insuffisamment sensibilisés aux spécificités des systèmes de dépoussiérage et devraient être davan-



**Changement des manches d'un filtre à manches**

(photo Balcke-Dürr)



tage formés pour optimiser leur fonctionnement et garantir leur pérennité.

Au cours de l'exploitation, trois éléments majeurs sont à prendre en considération pour maintenir les performances d'un FAM ou d'un EF, leurs impacts étant toutefois distincts selon la technologie :

- la quantité de particules à l'entrée du FAM ou de l'EF ;
- la température des fumées ;
- la composition chimique des fumées.

En outre, des précautions sont à prendre pour le stockage des fines récupérées.

## Quantité de particules à l'entrée du filtre à manches ou du dépoussiéreur électrostatique

Les principes de fonctionnement des deux systèmes sont différents :

- la performance d'un EF est en grande partie liée à la quantité de particules entrantes, qui est le critère déterminant pour le dimensionnement de l'équipement (intensité du champ électrique et surface de captage) ;

- l'efficacité du FAM dépend de la taille des mailles des manches et pas (ou peu) de la concentration de poussières à l'entrée.

Ainsi, si la quantité de fines en entrée de l'EF est supérieure à celle pour laquelle il est dimensionné, son efficacité de dépoussiérage va diminuer. Il faut donc veiller à la qualité du combustible (faible taux de fines), à celle de la combustion (limitation des entraînements de particules) et au bon fonctionnement du multicyclone.

Pour le FAM, une augmentation de la quantité de fines occasionnera une **fréquence plus élevée des cycles de décolmatage**.

## Température des fumées

Un EF n'est pas sensible à la température des fumées.

A contrario, **un FAM doit être court-circuité (by-pass) si la température est :**

- **supérieure à la capacité de résistance des manches** (celles de la meilleure qualité tiennent à 270°C en pointe soit 220 à 250°C en continu) ; il convient également de veiller au bon fonctionnement du multicyclone pour éviter toute présence d'escarbilles dans le FAM (perçement des manches) ;

- **inférieure à 130 °C** : le FAM est sensible aux phases de marche au ralenti et aux arrêts / démarrages qui favorisent la condensation des fumées ; **si le filtre prend l'humidité, les cendres peuvent prendre en masse** (rendant ensuite le décolmatage impossible) et **une réaction chimique très exothermique d'hydratation de la chaux contenue dans les cendres peut survenir** (déclenchant, si l'élévation de température est suffisante, la combustion des manches, particules imbrûlées...).

Dans les deux cas, un retour à une température permettant le passage des gaz dans

le FAM doit être rapidement obtenu pour que le rejet à l'atmosphère de fumées non filtrées soit le moindre possible.

En matière d'opérations d'exploitation, il convient de :

- **contrôler régulièrement** le bon fonctionnement des **organes de pré-dépoussiérage** (rondier), du **dispositif de by-pass** et du **traçage des zones les plus froides** du FAM (dispositif de chauffage maintenant une température minimale) ;
- avant l'arrêt de la chaudière, prévoir un cycle de décolmatage complet du filtre pour minimiser la quantité de poussières qu'il contient.

## Composition chimique des fumées

Un FAM ou un EF est conçu pour remplir son office dans un environnement chimique connu, déterminé en fonction des caractéristiques du combustible qui sera utilisé. Si ce dernier vient à changer

### Fréquence indicative des tâches d'exploitation (toute puissance de chaufferies)

(Source : guide "Mise en place d'une chaufferie biomasse", J. Talpin, S. Cousin, S. Defaye, R. Grovel, J.-P. Tachet, S. Bordebeure)

| Fréquence    | Tâches d'exploitation   |
|--------------|---|
| Quotidienne  | Contrôle visuel de l'ensemble de l'installation<br>Vérification des niveaux d'huile et d'eau<br>Commande, réception et contrôle du combustible (deux à six fois par semaine)<br>Relevé du (des) compteur(s) d'énergie thermique<br>Tenue du cahier de chaufferie (spécifier notamment les changements de réglage)<br>Balayage de la chaufferie  |
| Hebdomadaire | Vérification du bon fonctionnement des systèmes de dépoussiérage des fumées et d'évacuation des cendres<br>Contrôle du niveau de cendres dans la benne  |
| Bimensuelle  | Vérification de la bonne marche du système d'alimentation de la chaudière (nettoyage et contrôle des sondes, contrôle du réseau hydraulique...)<br>Vérification du bon fonctionnement des registres d'air de combustion<br>Vidange de la benne à cendres (arrêter le système de déchargement le temps qu'une benne vide soit installée)<br>Contrôle de l'automate   |
| Bimestrielle | Graissage des éléments de l'alimentation en combustible<br>Vérification des grilles et des blocs de réfractaire du foyer, ramonage des tubes de fumées, contrôle des sondes de température, simulation de pannes pour tester les sécurités<br>Contrôle et graissage du convoyeur de cendres, contrôle et nettoyage du système de dépoussiérage<br>Contrôle des sondes et capteurs, vérification des paramètres de réglage, contrôle des régulations automatiques de puissance, d'oxygène et de dépression foyer |
| Annuelle     | Nettoyage complet des éléments de l'installation  |

au cours de la vie de l'installation, il convient de **s'assurer qu'il est compatible avec, non seulement l'équipement de combustion, mais également celui de dépoussiérage**. Par exemple, les agro-combustibles ont généralement des teneurs en chlore et en soufre plus élevées que celles du bois (hormis les bois en fin de vie traités) et conduisent à la formation de fumées acides très corrosives qui dégraderont le FAM ou l'EF si cette possibilité n'a pas été anticipée.

En outre, dans le cas d'une utilisation d'agro-combustibles, il existe un risque de production de dioxines (synthèse de novo) dans un EF puisque du chlore est en présence de catalyseurs métalliques à une température inférieure à 250 °C.

Enfin, un taux de CO très élevé (supérieur à sa limite inférieure d'explosivité qui est de 12,5% dans l'air) pourrait produire une explosion dans l'EF au déclenchement

d'un arc électrique. Cette hypothèse est toutefois hautement improbable. Pour minimiser encore le risque, il est possible d'asservir le passage des fumées dans l'EF (by-pass) à une température minimale et à un taux d'oxygène.

### Stockage des fines

Un échauffement des fines peut se produire par reprise d'humidité de celles-ci (et éventuellement un incendie si des matières combustibles sont au contact des cendres). Il est donc nécessaire **d'éviter toute humidification des cendres issues des filtres**.

### Entretien et maintenance des équipements

Nous venons de voir que l'exploitant doit nécessairement **utiliser un combustible compatible avec son installation et adapter les réglages de combustion**

en fonction des caractéristiques réelles de celui-ci.

Il lui faut également **suivre le plan d'entretien et de maintenance figurant dans le DOE** afin que soit garantie la disponibilité des équipements, la continuité de fonctionnement et les performances de l'installation ainsi que la sécurité d'exploitation.

Les opérations qui en découlent résultent **d'observations et de contrôles et tests de bon état ou de bon fonctionnement** dans toutes les configurations requises et consistent en du **nettoyage** et des **actions préventives, correctives et curatives** (réparation, remise en état, remplacement).

Les observations et actions doivent être **enregistrées et le plan de maintenance mis à jour**.

# Garantir la sécurité des personnes et des biens en limitant voire supprimant les situations à risques

Au sein d'une chaufferie bois-énergie, comme de toute installation à caractère industriel, l'évolution de personnes dans un environnement d'équipements techniques et leurs actions sur les matériels les composant induit des situations à risques pour elles-mêmes ou leur entourage immédiat. Ces phénomènes sont potentiellement d'autant plus marqués que les installations sont importantes et complexes. Le matériau bois lui-même,

combustible solide, de même que les sous-produits et déchets que génère sa combustion, présentent des caractéristiques de nature à présenter des dangers potentiels. **Le développement de la filière doit tenir compte de ce constat et intégrer des pratiques, tant dans la conception des installations que dans leur exploitation, visant à réduire et si possible supprimer les dangers potentiels qu'elles peuvent présenter.**

C'est pourquoi le Comité interprofessionnel du bois-énergie (CIBE) mène actuellement des investigations sur cette thématique. Cet article présente la démarche suivie et les premiers fruits de ses travaux.

### Situations à risques

Le CIBE a choisi d'aborder le sujet en établissant **l'inventaire des situations à risques**, en les classant par famille et sous-groupe et en identifiant la nature



du risque, son origine et sa localisation sur l'installation.

## Risques liés à l'environnement chaleur

Cette catégorie regroupe l'incendie, l'explosion et la brûlure.

Le risque d'**incendie** concerne en premier lieu le **stock de combustible** :

- auto-échauffement, éventuellement possible selon la durée de stockage et les taux d'humidité, de fines et d'écorces du produit ;
- ignition externe, principalement à cause de frottements mécaniques, usure, empoussièrement, risque électrique (court-circuit, mauvais serrages ou contacts) liés à un plan de maintenance insuffisant ou mal appliqué (graissage, nettoyage, fréquence de ronde des installations pour identifier les problèmes) ou à l'intervention de sous-traitants non sensibilisés au risque.

Il peut également arriver qu'un **incendie** se déclare à cause de la reprise d'humidité de **cendres sèches** en présence d'éléments combustibles à l'intérieur du filtre à manches (défaut de fonctionnement du by-pass) ou lors de leur stockage (choix inapproprié des big-bags).

Une **explosion** peut survenir par **inflammation de gaz imbrûlés et de poussières de bois** dans le convoyeur (suite à une remontée de feu depuis le foyer de la chaudière) ou de gaz imbrûlés seuls (apport soudain d'oxygène, présence de flammes ou particules chaudes), voire de poussières seules (en concentration suffisante pour obtenir une atmosphère explosive).

Enfin, des **brûlures** sont possibles, notamment lors de la manipulation des cendres sèches ou humides (température, pH).

## Risques liés à l'environnement équipements techniques / matériels / produits

Sont ici concernés :

- les chutes de produits : biomasse (grap-pin, système de reprise), agrégats de cendres éventuellement vitrifiées dans la chaudière ;
- les chutes de personnes dans la trémie de déchargement ou depuis les passerelles ou les échelles ;
- l'ensevelissement sous la biomasse (trémie, voûtes dans les silos) ou les cendres sèches ou humides (voûtes dans les dépoussiéreurs électrostatiques) ;
- les intoxications par les gaz de fermentation de la biomasse (local technique en sortie du silo, dès lors que ce local se situe en un point bas par rapport au niveau de la chaufferie) ;
- l'inhalation des poussières fines des dépoussiéreurs électrostatiques ou filtres à manches ;
- les chocs et écrasements liés aux véhicules roulants (camion ou engin), aux pièces ou parties fixes de matériels ou aux équipements en mouvement (machines tournantes, transporteurs, vérins, grap-pin...).

## Pathologies potentielles liées à l'exposition ou à l'inhalation

Les pathologies identifiées sont des cancers dus aux poussières de biomasse, des allergies suite à l'exposition à la biomasse, aux moisissures... , des intoxications par divers composés chimiques (CO, COV, aldéhydes, terpènes...) et la contamination par des impuretés concentrées dans les cendres.

## Analyses des risques et amélioration des pratiques

La démarche a été ensuite de proposer des **éléments d'analyse sur les causes** et la manifestation du risque et de faire des **propositions d'action** pour remédier à ces situations :

- facteurs favorisants, déclenchant, aggravants ;

- indicateurs ou signes de manifestation du risque, conditions de leur suivi ;
- mesures d'aménagements (modifications, compléments... ) ;
- mesures d'exploitation (organisation, consignes, formation...).

La troisième étape a consisté à recueillir quelques **retours d'expérience** sous forme de fiches d'incident / accident détaillant les éléments de contexte (installation et évènement lui-même), les constats faits et l'analyse des causes ainsi que les actions correctives et/ou préventives engagées ou envisagées.

Cette première approche permet de mettre en évidence l'importance de la problématique sécurité sur les installations bois-énergie et de la prendre en considération à un stade en amont de celui auquel on s'y trouve en pratique confronté actuellement. Les conclusions du travail d'analyse et de synthèse réalisés pointent clairement la nécessité d'une **appropriation de ce sujet dès la conception des installations, mettant ainsi en rapport constructeurs, sociétés d'ingénierie et futurs exploitants pour apporter des réponses aux questions relatives à la sécurité**, voire susciter des innovations dans la réalisation des équipements.

Compte tenu des enseignements tirés du travail réalisé, celui-ci est actuellement poursuivi :

- par l'approfondissement de certaines démarches visant à **améliorer les pratiques et à contribuer aux règles de l'art** ;
- par leur **promotion auprès des acteurs concernés** ;
- par la **formulation de recommandations** pouvant éventuellement déboucher sur des dispositions réglementaires.

## Chaudières biomasse bois **URBAS**

- ▶ Eau chaude ou vapeur
- ▶ Cogénération 1 à 30 MW el
- ▶ Unités de gazéification
- ▶ Sécheurs à bande
- ▶ Unités « clé en main »



### INGÉNIERIE DES INDUSTRIES DU BOIS

Parc d'activités du Rosenmeer · F-67560 Rosheim · Tél +33 3 88 95 44 43 · Fax +33 3 88 47 65 09

[www.andre-technologies.fr](http://www.andre-technologies.fr)

**ANDRE**  
TECHNOLOGIES

**Information :** [nom féminin]  
*Action d'informer, de s'informer.*



L'info 100% filière bois

| **S'informer** | **Comprendre** | **Gérer** | **S'équiper**

Découvrez nos offres d'abonnements sur [www.leboisinternational.com](http://www.leboisinternational.com)

## LE BOIS INTERNATIONAL

l'hebdomadaire des professionnels de la filière bois

Chaque semaine, **Le Bois International**, l'officiel du bois offre aux professionnels un tour d'horizon complet de l'actualité économique et technique de la filière (1<sup>re</sup> et 2<sup>e</sup> transformation) et propose, dans ses deux éditions, de nombreuses opportunités grâce à ses 16 pages d'annonces classées.

# froling

**NOUVEAU : Chaudière à bois déchiqueté T4 130kW et 150kW**  
Demandez votre documentation à [marketing.france@froling.com](mailto:marketing.france@froling.com)

## LA NOUVELLE GENERATION DE CHAUDIERES FROLING A DOUBLE CONTRÔLE DE COMBUSTION.

- Chaudières à bois déchiqueté  
(24 à 2000 kW)
- Chaudières à granulés  
(7 à 400 kW)
- Chaudières à bûches  
(15 à 60 kW)



pour:  
S4 Turbo (F)  
SP Dual  
P1 Pellet  
T4



Froling SARL | 1, rue Kellermann | F-67450 Mundolsheim

Tél. 03 88 193 269 | Fax 03 88 193 260 | [www.froling.fr](http://www.froling.fr) | [froling@froling.com](mailto:froling@froling.com)