

Qualité des plaquettes forestières : Notions et recommandations pour l'exploitant de chaudière à plaquettes forestières



Contenu

RESUME	2
Enjeux principaux	2
Causalités et effets	3
Recommandations	4
0 GLOSSAIRE ET ABREVIATIONS	6
1 INTRODUCTION	7
2 NOTIONS DE BASE DES PLAQUETTES FORESTIERES	8
2.1 Qualité des plaquettes	8
2.2 Origine du bois et mélange	8
Origine du bois	8
Origine du bois selon les usages suisses	9
Mélange d'essences	10
2.3 Granulométrie	10
Définition	10
Caractérisation de la granulométrie	11
2.4 Humidité	12
Définition	12
Humidité sur brut	12
Catégories de plaquettes par rapport à l'humidité	12
2.5 Taux de cendres	13
2.6 Élimination des cendres	14
2.7 Poussières fines	14
2.8 Teneur en azote	14
2.9 Nomenclature	15
3 EQUIPEMENTS TECHNIQUES	16
3.1 Production de plaquettes	16
Filière de production	16
Déchiquetage	16
Stockage intermédiaire de plaquettes sous abri	17
3.2 Production de chaleur	18
Profil de charge	18
Silo d'alimentation	18
Désilage, convoyage et alimentation	18
Chaudières	19
Echangeurs et filtres	20
4 RECOMMANDATIONS	20
4.1 Quelles plaquettes pour quelles chaudières	20
4.2 Contrôle de la qualité des plaquettes à la réception	21
Origine et mélange	21
Granulométrie	22
Humidité	22
Estimation de l'humidité sur brut HB	23
Techniques d'évaluation de l'humidité	23
Pouvoir calorifique au poids	24
Pouvoir calorifique au volume	24
Taux de cendres	24
4.3 Contrat d'approvisionnement	25
4.4 Phase de mise en service	25
4.5 Facturation	26
A l'énergie livrée, entrée chaudière	27
A l'énergie utile, sortie chaudière	27
Remarque	28
4.6 Limitations des émissions	28
5 REMARQUE FINALE	29
6 ANNEXES	31
6.1 Classes de granulométrie	32
6.2 Masse volumique, humidité, poids anhydre et pouvoir calorifique	33
6.3 Classes de combustible par rapport à l'humidité	34
6.4 Exigences relatives à la protection de l'air	35
6.5 Contrat type d'approvisionnement (EBS)	36

Résumé

Ce chapitre synthétise les éléments clé liés à la qualité des plaquettes forestières qui permettent de garantir le bon fonctionnement d'une chaudière à bois. Les effets d'un combustible de mauvaise qualité ou non adapté sont également rappelés ainsi que les éléments principaux des recommandations émises dans ce guide.

Enjeux principaux

Enjeu technique : garantir un bon fonctionnement de la chaudière

- Une qualité du combustible **la plus régulière possible** permet de limiter les problèmes de régulation de la chaudière. Si cette condition n'est pas remplie, la dégradation de la combustion peut être constatée avec l'entraînement de l'encrassement de l'échangeur thermique et de l'évacuation des gaz.
- Une mauvaise qualité de la combustion réduit **la durée de vie** de la chaudière.
- Les **surmesures** (« morceaux » de plaquettes trop gros ou trop longs) peuvent provoquer des arrêts de service dans les systèmes d'alimentation et de convoyage du combustible.
- Une **granulométrie trop fine** accompagnée d'une forte humidité peut entraîner des bourrages.
- Un combustible avec **un minimum d'écorces** permet de prévenir :
 - la corrosion des parties métalliques de la chaudière : lors de la combustion, **le chlore**, présent dans les écorces, peut se combiner avec l'hydrogène pour former de l'acide chlorhydrique.
 - un **taux de cendre élevé** qui peut produire des mâchefers (résidus de combustion solidifiés). Celles-ci peuvent causer des dommages à la chaudière et doivent être éliminées régulièrement.

Enjeu énergétique : garantir un rendement optimal

- Plus une essence **contient de l'eau**, moins elle sera calorifique : les essences feuillues indigènes dures sont les plus calorifiques, suivies par les résineux.
- L'eau présente dans le bois empêche la montée en température du combustible : la chaudière doit fournir **une quantité d'énergie** proportionnelle à la quantité d'eau à vaporiser présente dans le combustible avant de commencer la combustion proprement dite.
- Plus la puissance de la chaudière est élevée et fonctionne dans une plage de puissance élevée, plus sa **tolérance** envers l'humidité de la plaquette est élevée.
- Un **stockage sous abris** bien ventilé permet d'abaisser l'humidité des plaquettes.

Enjeu économique : diminuer les frais d'entretien

- Une qualité du combustible la plus régulière possible permet de limiter l'encrassement de l'installation et delà **les frais d'entretien** et de **nettoyage**.

Enjeu environnemental : limiter les émissions

- Une mauvaise combustion du bois ou les démarrages fréquents augmentent fortement les émissions de **poussières fines** et de leurs précurseurs.
- Un **taux de cendre élevé** entraîne un volume important de poussières dans les gaz de combustion.
- Une chaudière à bois émet dans l'air des quantités importantes **d'oxydes d'azote**. Les parties extérieures de l'arbre (aubier, écorce, feuilles et aiguilles) contiennent la majorité de l'azote. La part de ces éléments doit donc être maintenue aussi faible que possible.
- L'écorce contient également du **souffre**.
- La **fraction fine** (poussières de bois) peut entraîner une augmentation des émissions de poussières dans l'atmosphère.
- Le **bois de récupération** (dans les centrales classiques) est illégal au sens de l'ordonnance sur la protection de l'air (OPAIR).

Causalités et effets

Causes	Effets
Combustible trop humide	<ul style="list-style-type: none">• Fermentation en silo• Extraction du silo difficile (effet de voûte)• Condensation sur les parois du silo• Combustion mauvaise• Emissions de fumées, d'odeurs, de CO et de poussières• Encrassement de la chaudière (suies et goudrons)• Rendements faibles
Combustible trop sec (*)	<ul style="list-style-type: none">• Température trop élevée, envol de poussières, formation de mâchefer• Emissions d'oxydes d'azote
Proportion de fines trop élevées dans le combustible (**)	<ul style="list-style-type: none">• Emissions de poussières• Bourrage dans les systèmes d'alimentation, particulièrement si conjointement à une humidité élevée• Précautions à prendre pour le personnel qui manipule le combustible (masques)

Trop de gros morceaux	<ul style="list-style-type: none"> • Pannes du désilage, convoyage et alimentation • Mauvaise combustion et émissions de poussières et de CO
Taux de cendres élevé	<ul style="list-style-type: none"> • Formation de mâchefer • Entretien élevé • Emissions de poussières
Teneur en écorce élevé	<ul style="list-style-type: none"> • Taux de cendres élevé
Composition irrégulière	<ul style="list-style-type: none"> • Régulation difficile • Mauvaise combustion et émissions de poussières et de CO

(*) Un combustible trop sec n'est pas un défaut en soi, mais s'il parvient dans une chaudière dont la régulation est réglée pour un combustible humide il existe un risque de surchauffe. Les variations rapides d'humidité du combustible ne sont pas souhaitables.

(**) Les poussières du bois représentent aussi un risque pour la santé humaine. Les plaquettes stockées longtemps dans un environnement peu favorable peuvent être contaminées par des champignons. Lors de manipulations de plaquettes, il est recommandé de porter un masque.

Recommandations

Processus	Eléments
Une qualité de plaquettes adaptée à l'installation et constante	<ul style="list-style-type: none"> • L'ensemble de l'équipement technique de production de chaleur (silo, convoyage, alimentation, réglage chaudière, foyer, ...) est optimisé pour une qualité de plaquettes déterminée. • La qualité des plaquettes (principalement granulométrie et humidité) doit être prescrite par le constructeur. • La régularité de la qualité du combustible est importante : elle limitera les pannes, les pertes de rendement, les émissions excessives et les coûts d'exploitation et de maintenance supplémentaires. • Un stockage intermédiaire sous abri et les opérations de chargement par une personne d'expérience améliore la stabilité qualitative du combustible.
Contrôle des livraisons	<ul style="list-style-type: none"> • Contrôle visuel à chaque livraison de plaquettes : origine du bois, granulométrie, détection des corps étrangers, teneur en fine, teneur en écorces, contrôle de la proportion bois durs / bois tendres, etc. • Mettre en place un suivi de la teneur en eau des livraisons. • S'assurer de l'accessibilité des données

d'exploitations de la chaudière pour permettre un contrôle à posteriori de la performance du système et de la qualité du combustible.

Appel d'offres pour la fourniture de combustible

- Les caractéristiques du combustible sont précisées avec le fournisseur de la chaudière.
- Le type de combustible doit être stipulé en toutes lettres avec toutes ses caractéristiques.
- La classe de combustible adéquate doit être formulée selon le standard en vigueur.

Contrat d'approvisionnement

- L'adjudication au meilleur marché n'est pas recommandée sans une vérification sérieuse des processus de production des plaquettes.
 - Les preuves d'existence d'un volume de stockage suffisant pour les périodes de grands froids, dans la qualité adéquate, doit être fourni.
 - Des références d'autres clients sont souhaitables.
-

0 Glossaire et abréviations

Anhydre	Totalement dépourvu d'eau. Absolument sec. Matière sèche.
Bois fort	Parties de l'arbre d'un diamètre supérieur à 7 cm. Branches.
CIBE	Le Comité Interprofessionnel du Bois-Energie (France).
Echauffure	Dégradation qualitative du bois de hêtre due à un champignon, décoloration. Précurseur d'atteintes plus graves.
EBS	Energie-bois Suisse. Organisme de promotion du bois énergie en Suisse et référent pour les questions de planification et de normalisation en la matière.
Energie utile	Energie directement utilisée par le consommateur.
Energie finale	Contenu énergétique du combustible (énergie utile + pertes)
Humidité HB	Humidité brute ou relative (poids de l'eau/poids du bois et de l'eau)
Humidité HA	Humidité anhydre ou absolue (poids de l'eau/poids de la matière sèche)
QM	Manuel de planification chauffage au bois (Energie-bois suisse).
PFO	Plaquettes forestières ordinaires.
PFQ	Plaquettes forestières de qualité.
PSC	Plaquettes de scierie.
PCI	Pouvoir calorifique inférieur.
Ramilles	Petites branches d'un diamètre inférieur à 7 cm.
VLE	Valeurs limites d'émissions.
VLI	Valeurs limites d'immissions.

1 Introduction

Ce guide est destiné aux exploitants de chauffage central à plaquettes forestières de petites et moyennes puissances (de 70 kW à 1.5 MW). C'est en effet dans cette plage de puissance, en dehors des projets de dimensions industrielles occupés par les grands fournisseurs d'énergie du Canton, que le développement du bois énergie présente le plus grand potentiel pour les collectivités publiques également propriétaires de forêt. Pour ce segment du marché du bois énergie, la stabilité et qualité du combustible revêt une importance toute particulière.

Deux objectifs sont poursuivis dans ce guide:

- Expliciter les relations de causalités entre la qualité du combustible et les performances de la production de chaleur,
- Fournir quelques recommandations essentielles à l'adresse d'un exploitant actuel ou futur d'une unité de production de chaleur à partir de plaquettes forestières.

Dans la première partie (chapitres 2 et 3), les notions de base des caractéristiques du combustible et de la combustion à partir de plaquettes sont revues dans le but d'établir et d'expliquer les causalités les plus importantes pouvant être établies entre la qualité du combustible et les dysfonctionnements des systèmes de production de chaleur.

La deuxième partie (chapitre 4) recense les moyens techniques et organisationnels pour un exploitant afin de s'assurer de la qualité des plaquettes qui lui sont livrées. Elle contient aussi un certain nombre de recommandations visant à améliorer et régulariser la qualité des plaquettes. Ces recommandations exigent pour la plupart une collaboration étroite avec le producteur de plaquettes.

La dernière partie enfin (chapitre 7) consiste en une série de fiches informatives susceptibles d'être utilisées comme référence dans le cadre de la conclusion de contrats d'approvisionnement avec les producteurs de plaquettes.

Il est important de garder à l'esprit que contrairement aux combustibles fossiles, les plaquettes forestières ne présentent qu'une faible valeur ajoutée en termes de conditionnement. De plus, elles sont difficiles à normaliser. En effet, la biomasse forestière dont les plaquettes dérivent directement présente une diversité considérable. Toute mesure de conditionnement du combustible visant à améliorer le produit (stockage sous abri, séchage et criblage) entraîne des coûts pour le producteur et a, par conséquent, un prix pour l'exploitant de centrale à bois.

La plaquette forestière est un combustible qui malgré les mesures de qualité présentera forcément une plus grande variabilité de ses paramètres que le gaz naturel ou le mazout. Afin de garantir la performance de la chaudière, de respecter les normes environnementales et de minimiser les frais d'entretien, il est nécessaire de maintenir une qualité de plaquettes la plus constante possible. Ainsi le bon fonctionnement d'une chaudière à bois demande un suivi plus important qu'une chaudière conventionnelle. Ce suivi doit être assuré par du personnel qualifié.

2 Notions de base des plaquettes forestières

2.1 Qualité des plaquettes

Les combustibles «plaquettes forestières» est produit à partir de bois dont les caractéristiques sont très diverses. Composées de bois dur, de bois tendre, léger ou lourd, résineux ou feuillus, d'une essence seulement ou en mélange, frais, criblé, séché à l'air ou séché artificiellement, les «plaquettes» peuvent se présenter en des qualités variant considérablement. Les plaquettes contiennent du bois, de l'écorce et, selon le type d'exploitation et les saisons, une certaine quantité de matériaux végétaux verts (principalement des aiguilles et des feuilles). La variabilité du combustible est donc grande.

Par contre, le combustible «plaquettes» alimente des chaudières dont la capacité à s'adapter aux variations qualitatives est limitée. Le moyen de garantir le bon fonctionnement d'une chaudière est de l'alimenter avec un combustible dont la qualité est la plus régulière possible. Certes, la régulation des chaudières à plaquette a fait des progrès, la technique aussi, mais les variations de la qualité du combustible dans un court laps de temps posent des problèmes de régulation. On constate ainsi une dégradation de la qualité de la combustion qui entraîne l'encrassement de l'échangeur thermique et de l'évacuation des gaz: les travaux d'entretien et de nettoyage sont donc plus fréquents. Une mauvaise qualité de combustion et des cycles de redémarrage trop fréquent réduisent la durée de vie de la chaudière et entraînent des émissions excessives de pollution souvent à l'origine de nuisances pour le voisinage.

2.2 Origine du bois et mélange

Le regain d'intérêt pour le bois et la transition énergétique ont conduit depuis peu à s'intéresser à des assortiments tombés en obsolescence économique (rémanents de coupes, branches) et à des sources de bois hors de forêts: le bois de prairie, c'est-à-dire les bois issus de la zone agricole (haies, cordons boisés) et de la zone à bâtir (entretien des parcs et jardins). Ce type de combustible n'est, en règle générale, pas adapté pour les chaudières de petite puissance s'il ne subit pas un conditionnement rigoureux.

Origine du bois

Les sources diverses s'accordent pour distinguer 4 types de plaquettes, selon leur origine et en qualité décroissante:

- de scierie, issues de la transformation du bois: il s'agit d'une qualité supérieure, avec peu d'eau car séché à l'air ou artificiellement, généralement dépourvue d'écorce,
- de grumes issues du déclassement physique (défauts du bois inacceptable pour le sciage) voire même commercial de la qualité généralement réservée aux scieries en raison des aléas du marché,
- des rémanents de coupe, c'est-à-dire tout ce qu'il reste de l'arbre débarrassé de ses parties destinées au marché des sciages. Il faut distinguer les rémanents de

coupe de plus de 7 cm de diamètre (*bois fort*), dont le déchetage peut fournir des plaquettes acceptables, de tout ce qui est plus mince (*ramilles*). Les *ramilles* sont, en principe, impropres à la combustion dans les petites chaudières.

- issues de bois des zones hors forêts (haies, parcs et jardins, bois de prairie).

Ces distinctions d'origine sont pertinentes en ce sens qu'elles déterminent une série de caractéristiques réelles mais parfois difficiles à apprécier à la réception du combustible.

En effet, plus le diamètre du bois décheté est faible:

- plus la proportion d'écorce est importante,
- plus la part d'aubier, toujours plus humide que le bois de cœur, est importante,
- plus la probabilité de trouver des feuilles, des aiguilles et des impuretés est élevée,
- plus le *diamètre médian* (d50) de la fraction principale de la plaquette est petit, plus la texture est fine. C'est-à-dire qu'un combustible d'une classe de granulométrie normée peut présenter tout de même une variabilité importante de fluidité et de densité.

Les rémanents de coupes ou le bois des haies et parcs présentent des risques si le fournisseur ne prend pas le soin de les cribler¹ ou les mélanger avec des qualités meilleures (plaquettes de grumes).

Origine du bois selon les usages suisses

Les usages suisses du commerce du bois reprennent à peu de choses près les distinctions citées plus haut:

Les plaquettes de scierie (PSC) et les plaquettes forestières de qualité (PFQ) si elles sont criblées et séchées artificiellement constituent le segment de haute qualité.

Les plaquettes forestières ordinaires (PFO) représentent le segment dont le gisement en forêts est le plus abondant. Ces plaquettes peuvent être brûlées directement dans les chaudières adéquates (approvisionnement direct) ou subir un conditionnement (fermentation, stockage sous abri, criblage) visant à en améliorer la qualité.

Les autres qualités, rémanents d'éclaircie et houpier (REH), bois de peupliers et saules ainsi que les bois résultant de l'entretien de paysage (BEP) sont exclues du champ de ce guide. A noter toutefois que les qualités REH et BEP, si elles sont criblées, calibrées et séchées peuvent atteindre une qualité adéquate mais leur pouvoir calorifique au volume est moindre. De plus le taux élevé d'écorce les destinent à des chaudières pourvues de dispositifs permettant de maîtriser la formation de mâchefers.

Le peuplier et le saule ne sont pas recommandés comme combustible mais tolérés si le contrat de fourniture le mentionne expressément. Pour les petites puissances, les plaquettes de ces essences ne peuvent pas être recommandées.

¹ Le criblage consiste à trier les plaquettes par un procédé mécanique au travers de tamis afin d'éliminer les plaquettes trop fines ou trop grosses.

En principe, selon l'inventaire forestier national (IFN3) tout bois dont le diamètre est inférieur à 7 cm (branches, troncs de jeunes arbres) n'est plus considéré comme utilisable.

Tous ces bois doivent être sains. Seuls des atteintes bénignes comme la décoloration rouge dure (dégradation esthétique seulement) pour le résineux et de légères échauffures chez les feuillus sont tolérées (ci-contre, hêtre). Le bois pourri n'est pas aptes à la combustion.



Figure 1: Echauffures sur le bois de l'hêtre (source publique)

Mélange d'essences

Selon les essences, la *masse volumique apparente* du bois naturel est différente. Cela s'explique par le fait que chaque essence contient une part d'eau et d'air différente. Cette part est déterminée par la porosité du bois. Or, plus une essence est poreuse, plus sa part d'eau et d'air est élevée, et, plus une essence contient de l'eau, moins celle-ci sera calorifique dans son état naturel. Ainsi, les essences feuillues indigènes dures sont les plus calorifiques, suivies par les résineux qui sont plus tendres et légers (plus d'air).

Les feuillus tendres (peuplier, saules) sont les essences les moins calorifiques car elles contiennent beaucoup d'eau de par leur porosité élevée.

À noter que la rapidité de la croissance détermine également la porosité de certaines essences.

Le mélange d'essences des plaquettes est ainsi une caractéristique importante du pouvoir calorifique du combustible lorsque la mesure commerciale est un volume (généralement le m³ pour les plaquettes). La caractéristique déterminante de la qualité du mélange porte sur la proportion de feuillus durs par rapport aux autres catégories d'essences.

Bois durs (feuillus uniquement)	Chêne, hêtre, érable, cerisier, orme, châtaignier, frêne
---------------------------------	--

Bois tendres (résineux et feuillus)	Epicéa, sapin, pin, douglas, mélèze, aune, tilleul
-------------------------------------	--

2.3 Granulométrie

Définition

La granulométrie est la caractéristique de texture du combustible. Elle représente la distribution statistique des dimensions des plaquettes individuelles dans un volume homo-

gène (une livraison par exemple) de plaquettes. Elle détermine la fluidité du combustible dans les systèmes de stockage, de désilage, de transport et d'alimentation, c'est-à-dire la faculté de ne pas s'agglomérer en morceaux trop gros pour entraver l'écoulement du combustible dans les parties mécaniques mais aussi la qualité de la combustion en influençant le mélange de l'air comburant avec le combustible.

Or, la granulométrie des plaquettes dépend principalement de *l'origine* du bois mais aussi de la technique de déchetage:

- la dimension des éléments déchetés (grumes, houppiers, perches, rémanents, etc.),
- la nature, l'état d'entretien et le réglage des couteaux de la déchiqueteuse,
- l'outil utilisé (type de broyeur ou de coupeuse),
- la vitesse d'introduction des bois dans la machine.

Caractérisation de la granulométrie

La granulométrie est déterminée par criblage. Les cribles sont normés. On distingue 3 fractions principales déterminées par les dimensions des cribles:

- la fraction fine ou poussières
- la fraction principale, qui doit impérativement représenter plus du 60% du poids du combustible.
- les surmesures, morceaux trop gros ou trop longs.



Figure 2 : Plaquettes livrées (tas) et fractions après tamisage (source: EBS)

La fraction fine peut entraîner une augmentation des émissions de poussières dans l'atmosphère, perturber le séchage en entravant la circulation de l'air dans les combustibles stockés mais joue paradoxalement un rôle positif dans le combustible stocké sous abris en favorisant le départ des fermentations (voir plus bas).

Les surmesures provoquent des arrêts de service dans les systèmes d'alimentation et de convoyage du combustible. Des dispositifs techniques existent aujourd'hui qui permettent de réduire ce risque mais pas de l'éliminer.

2.4 Humidité

Définition

L'humidité est une caractéristique essentielle du combustible. Elle indique la quantité d'eau contenue dans le combustible. L'eau présente dans le bois empêche la montée en température du combustible: ce dernier reste à la température de vaporisation de l'eau jusqu'à ce que le combustible en soit débarrassé. La chaudière doit ainsi fournir une quantité d'énergie proportionnelle à la quantité d'eau à vaporiser présente dans le combustible avant de commencer la combustion proprement dite.

L'humidité du combustible est le facteur clé de la combustion du bois. Pour mémoire, la combustion se déroule, de manière simplifiée, en 4 phases distinctes qui ont lieu dans des endroits distincts de la chaudière différents selon les types de chaudière.

- Chauffage et séchage du combustible jusqu'à 100 °C jusqu'à ce que toute l'eau soit évaporée
- Décomposition du bois, ou pyrolyse, en carbone et gaz combustibles entre 200 et 500 °C
- Gazéification du carbone entre 500 et 700 °C
- Oxydation des gaz de 700 jusqu'à 1500 °C

Humidité sur brut

Dans la filière du bois énergie, l'humidité sur brut (HB) est employée comme caractéristique. HB donne la proportion d'eau (en % du poids) contenue dans le bois brut avec son eau ou le combustible avec son eau. Il s'agit donc d'une mesure relative. Les fabricants de chaudières travaillent généralement avec l'humidité sur sec, tandis que les producteurs de plaquettes avec l'humidité sur brut. Ainsi il est important de toujours bien différencier l'humidité sur brut de l'humidité sur sec.

Catégories de plaquettes par rapport à l'humidité

De manière très générale on peut distinguer:

Les plaquettes de qualité, PFQ, avec une HB < 20%. Elles résultent d'une longue période de séchage sous abri ou d'un processus de séchage artificiel.

Les plaquettes sèches (HB entre 20 et 35%) ont subi un stockage sous abri de longue durée et un processus de fermentation. Le départ d'une fermentation dépend des conditions météorologiques (température). Pendant la saison froide, un départ de fermentation peut être rendu impossible en raison des basses températures ambiantes (gel).

Les plaquettes ressuyées ou grises avec une HB de 30% à 50%. Elles résultent d'un stockage court (1 à 3 mois) sans fermentation. Les plaquettes ressuyées peuvent être problématiques pour les chaudières à poussée inférieure de moyenne et petite puissances.

Les plaquettes fraîches ou **vertes** avec une HB qui se situe entre 30% à plus de 60%, voire plus, qui résultent d'un approvisionnement direct de la forêt après déchiquetage et dont l'humidité peut être très variable selon que le bois a été stocké plus ou moins longtemps après la coupe dans un l'endroit de stockage plus ou moins favorable. Ces plaquettes sont à brûler dans des chaudières de grande puissance ou des chaudières munies de dispositif spéciaux (grilles mobiles, recyclage des gaz, etc.)

L'humidité du combustible, soit l'eau contenue dans le combustible, est déterminante pour son pouvoir calorifique. Des plaquettes de qualité aux plaquettes vertes, la variabilité de l'humidité augmente. Dès lors, il est important d'adapter la qualité du combustible aux spécifications techniques de la chaudière.

2.5 Taux de cendres

Le taux de cendres désigne le contenu en résidus solides après combustion complète du bois. Le taux de cendres est mesuré après la combustion complète du bois en incinérateur dans des conditions contrôlées, c'est-à-dire après l'oxydation complète des éléments principaux constitutifs du bois (carbone, hydrogène, oxygène et azote). Il s'agit principalement du calcium, potassium, magnésium, dans une moindre quantité du sodium, du fer, de l'aluminium et de la silice, sous forme de sels principalement.

Parmi les éléments du bois se trouve aussi le chlore. Lors de la combustion, le chlore se combine avec l'hydrogène pour former de l'acide chlorhydrique responsable de la corrosion des parties métalliques de la chaudière. Le chlore est principalement présent dans l'écorce. Une corrosion constatée dans une chaudière de petite puissance exige une vérification sérieuse de l'origine des plaquettes: du bois de récupération peut être présent dans le mélange, ce qui serait illégale au sens de l'ordonnance sur la protection de l'air.

Le taux de cendre est d'autant plus élevé que le combustible contient de l'écorce et/ou des impuretés telles que la terre, pierres et métaux qui peuvent contaminer le combustible dans le processus de récolte, de conditionnement ou de transport du bois. L'écorce contient aussi du soufre.

Un taux de cendres élevé produit des mâchefers. Ceux-ci sont des concrétions solides qui se forment à partir de 900 °C et qui s'accumulent après refroidissement. Ces mâchefers peuvent causer des dommages à la chaudière et doivent être éliminés régulièrement. Les combustibles présentant un taux de cendres élevés doivent être de préférence brûlés dans des chaudières spéciales avec un foyer équipé de grilles mobiles (autonettoyantes).

S'ajoutent à ces cendres constitutives de la matière bois, des résidus carbonés sous forme de charbon qui résultent, ceux-ci, d'une combustion incomplète. La technique de combustion et la charge moyenne de la chaudière influence ce type de cendres.

2.6 Élimination des cendres

La fraction la plus lourde des cendres résultant de la combustion du bois est récoltée dans le foyer de la chaudière (cendre de grille, 60 à 90% du poids sec). Une partie est retenue par les filtres multi cyclones et les séparateurs de poussières. Finalement, une dernière partie des poussières parvient dans l'atmosphère et constituent des polluants atmosphériques soumis à des valeurs limites d'émissions (VLE).

Les cendres de grille ne peuvent plus être épandues en zone agricole en raison de leur teneur en éléments nutritifs faible et du risque qu'elles contiennent des métaux lourds. Il est également interdit de les épandre en forêt.

Les cendres de multi cyclones et de séparateurs présentent des teneurs en métaux lourds élevées. Elles doivent être éliminées comme des déchets spéciaux.

2.7 Poussières fines

Les effluents gazeux d'une chaudière à bois contiennent un grand nombre de polluants atmosphériques, en particulier des poussières fines cancérogènes. Ces poussières fines sont directement émises dans l'atmosphère ou peuvent se former suite à des réactions chimiques avec d'autres polluants atmosphériques (précurseurs), notamment des composés organiques volatiles (COV).

En Suisse, les chauffages au bois représentent environ 40% des émissions de poussières fines liées à la combustion, ce qui en fait de loin la plus grande source devant le trafic routier. Dans ce contexte, il est particulièrement important de limiter ces émissions, en garantissant en tout temps le bon fonctionnement des installations de chauffage à bois. Une mauvaise combustion du bois ou les démarrages fréquents augmentent fortement les émissions de poussières fines et de leurs précurseurs.

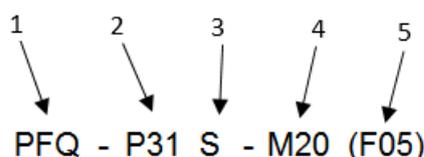
Il ne faut pas confondre la fraction fine du combustible (parfois aussi qualifiées de poussières) avec les poussières fines résultant de la combustion du bois.

2.8 Teneur en azote

Une chaudière à bois émet dans l'air de 5 à 10 fois plus d'oxydes d'azote par kWh produit qu'une chaudière à gaz ou à mazout. Une partie importante de cet azote provient directement du combustible. Dans le cas du bois, les parties extérieures de l'arbre (aubier, écorce, feuilles et aiguilles) contiennent la majorité de l'azote. La part de ces éléments doit donc être maintenue aussi faible que possible. En raison de l'origine des plaquettes PFQ et PFO, respecter la teneur maximale en azote (0,5% de la masse anhydre du combustible) ne devrait pas poser de problème. Néanmoins, c'est la mesure effective des valeurs atteintes dans les effluents gazeux qui importe (cf. chap. 4.6).

2.9 Nomenclature

En raison de l'introduction de la nouvelle norme européenne, la nomenclature qui va être prochainement validée pour la Suisse présente des différences notables par rapport à la nomenclature actuelle. L'exemple suivant correspond à une plaquette forestière de qualité, grossière et criblée recommandée pour des chaudières de série, avec un foyer à poussée inférieure ou à grille fixe d'une puissance supérieure à 100kW :



- 1) Origine: plaquette forestière de qualité. La dénomination est reprise des usages suisses du commerce du bois brut.
- 2) Granulométrie: le P remplace le g. Il signifie «particule». Le 31 détermine la classe de granulométrie (voir annexe 1 pour plus de détail).
- 3) Le S signifie qu'une exigence supplémentaire a été introduite concernant la surface transversale maximale des surlongueurs, en l'occurrence 4 cm² maximum pour la granulométrie P31. La fluidité des classes S est meilleure.
- 4) L'humidité sur brut HB 20. Le M provient de l'anglais «moisture» qui signifie l'humidité. Dans ce cas l'humidité HB doit être inférieure à 20%
- 5) le F représente la fraction fine. F05 signifie que la fraction fine (<3.15mm) ne doit pas représenter plus de 5% de la masse sèche totale de la livraison. Les plaquettes F05 représentent une caractéristique qualitative attestant, avec la faible humidité, de la plaquette forestière de qualité. Il s'agit d'une qualité de plaquette adaptée aux petites chaudières de série.

N.B.: Les contrats de fourniture actuels sont libellés selon l'ancienne norme EN 14961. Les correspondances proposées entre les anciennes classes et nouvelles classes de granulométrie proposées sont les suivantes (sous réserve):

ISO 17225	Anciennes
P16S	(P30)*
P31S	P45
P31	
P45S	P63
P45	
P63	P100
P100	

(*) cette catégorie n'existe pas dans la norme 14961, L'introduction de la classe P16S reflète l'introduction sur le marché de chaudières de série exigeant une granulométrie fine associée à une teneur en eau minimale, chaudières dont la technologie permet aussi de brûler des granulés de bois (pellets)

3 Equipements techniques

3.1 Production de plaquettes

Filière de production

La production de plaquettes commence avec les coupes en forêt et le dépôt intermédiaire du bois en bordure de chemin forestier. Les coupes en forêt nécessitent un triage dans lequel le bois énergie est un produit à part entière. Les tas de bois énergie doivent être stockés dans des endroits bien aérés, si possible hors du contact direct avec le sol naturel afin d'éviter la contamination avec des impuretés. Si le bois brut devait être stocké longtemps pendant la mauvaise saison, il est recommandé de le couvrir afin d'éviter une dégradation.

Il est de la responsabilité du producteur de bois énergie d'éliminer le bois impropre à la valorisation thermique avant le déchetage.

Déchetage

Le matériel de déchetage joue un rôle important pour la qualité de la plaquette dans ses caractéristiques granulométriques. On distingue les broyeuses des déchetageuses qui sont, elles, munies de couteaux.

Les broyeuses à cônes ou à marteaux écrasent le bois et peuvent produire une part importante de filaments de bois et d'écorce. Les broyats sont adaptés à la production de matériaux destinés au compostage mais moins à la plaquette: les alimentations à vis supportent mal les filaments qui entraînent des dysfonctionnements mécaniques, occasionnant ainsi des interruptions de service.



Figure 3: Déchetageuse (source : EBS)

Les déchiqueteuses à tambour sont plus performantes que celles à disques. En effet, l'angle de coupe des couteaux montés sur un tambour est plus régulier: les plaquettes sont plus nettes, la fraction fine moins importante. Une déchiqueteuse à couteaux nécessite toutefois un entretien courant intensif. Les couteaux doivent être changés régulièrement, presque tous les jours selon la sollicitation de la machine. Des couteaux émoussés provoquent une perte de rendement et une dégradation de la granulométrie.

Il est préférable de déchiqueter du bois frais pour une bonne granulométrie.

En raison du développement du bois énergie ces dernières années, le nombre d'acteurs sur le marché de la production et la fourniture de combustible bois a augmenté considérablement et notamment le parc de petites machines de déchiquetage. La qualité du déchiquetage n'est pas toujours garantie.

Stockage intermédiaire de plaquettes sous abri

Une manière d'abaisser l'humidité de la plaquette consiste à stocker les plaquettes sous abri. Un tas de plaquettes fraîches va subir un échauffement dû à la fermentation de la fraction la plus fine. La chaleur dégagée permet de sécher la fraction principale et de faire baisser sensiblement l'humidité HB et d'atteindre ainsi une meilleure qualité de plaquette.

La fermentation entraîne une perte de matière sèche qui peut être estimée au maximum à 5%. Un échauffement excessif risque de provoquer une combustion spontanée dans le tas de plaquettes. Il faut toutefois relever que l'humidité n'est pas partout la même dans un tas de plaquettes, le cœur est généralement plus sec que les bords du tas, la vapeur d'eau du centre chaud se condensant dans les zones extérieures plus froides. L'abri doit aussi être bien ventilé afin de garantir une circulation d'air et d'évacuer l'humidité.



Figure 4: Stockage sous abri (source: EBS)

La compétence de la personne chargée de la préparation des transports de plaquettes joue un rôle dans l'homogénéité du chargement. Une opération soignée de chargement permet d'homogénéiser le combustible.

Du point de vue économique, le gain en qualité de la plaquette peut justifier cette étape de stockage intermédiaire. Il en résulte une amélioration significative de la combustion et un encrassement moindre de la chaudière, de l'échangeur et des filtres et une diminution du volume de plaquettes consommées.

3.2 Production de chaleur

Profil de charge

Le taux de charge de la chaudière est important pour la qualité de la combustion. Les charges partielles (30% de la puissance nominale) sont peu performantes en termes de rendement et de qualité de combustion. De trop fréquents cycles de démarrage augmentent les pertes thermiques et la durée totale de démarrage pendant la période d'exploitation, précisément celle pour laquelle les conditions de combustion sont médiocres. Cette problématique ne dépend pas du combustible, elle résulte d'une mauvaise planification des installations techniques. Néanmoins un combustible de mauvaise qualité aggrave le dysfonctionnement et les émissions polluantes.

Silo d'alimentation

Il est recommandé de ne pas le dimensionner trop grand (max. 10 jours d'autonomie à pleine puissance) pour des raisons de coûts mais aussi parce que les plaquettes ensilées avec encore 30% d'humidité HB risquent de fermenter à nouveau. Il est conseillé de ventiler le silo d'alimentation afin d'éviter la condensation sur les parois du silo. La condensation favorise la formation de zones humides dans le silo et présente des risques d'écarts importants de l'humidité dans l'alimentation du foyer de la chaudière. Il faut également éviter les infiltrations d'eau dans le silo.

Désilage, convoyage et alimentation

De manière générale, on distingue les systèmes de transports à poussoirs ou racloirs des systèmes à vis sans fin. Ces derniers équipent généralement les systèmes de faible puissance et les foyers à poussée inférieure. Les vis sans fin sont sensibles aux surmesures et aux lanières d'écorces qui provoquent des blocages et des dégâts matériels. Une granulométrie trop fine accompagnée d'une forte humidité peut entraîner des bourrages.

Le dimensionnement des équipements d'alimentation est délicat. Il s'effectue pour une plage de qualité hygrométrique correspondant aux spécifications du constructeur de la chaudière. Le débit massique (poids de combustible par unité de temps débité par le système d'alimentation) dépend de l'humidité du combustible et de l'appel de puissance: plus le combustible est humide, plus il est lourd et plus le débit est important. Le débit massique étant également un paramètre de régulation de la chaudière, un appel de puis-

sance de la chaudière coïncidant avec le désilage d'un combustible plus humide peut entraîner des dégâts et une interruption de service.

A une puissance de 60%, dans la plage d'humidité admissible, le débit massique d'un combustible à son maximum d'humidité admissible double par rapport à celui d'un combustible sec.

Les équipements de convoyage et d'alimentation étant onéreux, le risque de sous-dimensionnement est réel.

Chaudières

Deux grands types de chaudières se trouvent sur le marché:



Figure 5: Chaudière à poussée inférieure (source publique)

Les chaudières à poussée inférieure: le combustible est amené par une vis sans fin et introduit par le bas dans la chambre de combustion circulaire ou rectangulaire. Ces chaudières nécessitent une bonne fluidité des plaquettes et une humidité < 40%.

Les chaudières à grille fixe ou mobile. Le combustible est introduit à l'horizontale, généralement par un système à chaîne et racloirs, dans une chambre de combustion rectangulaire. Ce type de chaudière supporte un combustible de moins bonne qualité du point de vue de la fluidité et admet une humidité plus grande (50% voire plus).

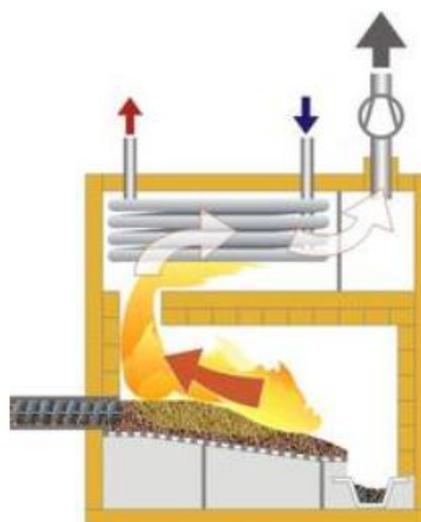


Figure 6: Chaudière à grille fixe ou mobile (source publique)

Des variantes existent à partir de ces deux types de chaudières. Les chaudières à grille sont généralement plus volumineuses (également en hauteur) car une partie de la chambre de combustion sert à sécher le combustible.

Les chaudières à plaquettes de série, généralement à poussée inférieure, ont vu leur puissance augmenter ces dernières années (jusqu'à plus de 500 kW de puissance). Elles

sont attractives en raison de leur prix. Ces chaudières sont performantes pour autant que la qualité du combustible (bonne fluidité et humidité faible) pour laquelle elles ont été conçue soit garantie. *Il est nécessaire de se faire confirmer par le fabricant les caractéristiques du combustible utilisé sur le banc d'essai et de préciser la manière de calculer l'humidité.*

Echangeurs et filtres

Ces organes des chaudières sont encrassés par une mauvaise qualité de combustion. Il en résulte une baisse de performance et la nécessité d'intervention de nettoyages plus fréquents ou l'équipement des organes de la chaudière de systèmes de nettoyage automatique.

L'ensemble de l'équipement technique de production de chaleur (silo, convoyage, alimentation, réglage chaudière, foyer, ...) est optimisé pour une qualité de plaquettes déterminée. Une variation de cette qualité peut entraîner des pannes, des pertes de rendement, des émissions excessives ou des coûts d'exploitation et de maintenance supplémentaires.

4 Recommandations

4.1 Quelles plaquettes pour quelles chaudières

Les chaudières disponibles sur le marché peuvent présenter des caractéristiques très différentes. C'est pourquoi les relations présentées ci-après sont des tendances. Les catégories de broyats ainsi que d'autres assortiments pour les centrales de très grande puissance en sont exclues. Les plages de puissance et les classes d'humidité sont tirées des recommandations du QM (2015, à paraître) suite à l'introduction de la norme EN ISO 17225.

Les chaudières de série à foyer à poussée inférieure ou à grille fixe de petites puissances jusqu'à 200 kW fonctionnent avec une granulométrie fine (P16S), une humidité entre 15 et 25% et devraient contenir un minimum d'écorce. Les plaquettes très sèches (entre 15 et 20%) issues de l'industrie du bois conviennent encore mieux mais leur disponibilité sur le marché romand est très limitée. Les plaquettes de qualité supérieure devraient aussi être criblées avec une part de fines (<3.15 mm) de moins de 5% de la masse sèche.

Les chaudières de série à foyer à poussée inférieure ou à grille fixe de puissances supérieure à 100 kW peuvent fonctionner avec une granulométrie moyenne (P31S) mais avec une humidité de 15 à 25%.

Les chaudières à poussée inférieure ou à grilles mobiles à partir de 200 kW peuvent absorber des plaquettes forestières de granulométrie moyenne (P31S) avec une humidité de 30 à 40%, voire jusqu'à 50 - 55% selon la technologie.

A partir de 500 kW, il existe des chaudières capables de fonctionner avec une granulométrie grossière (P45S) et une humidité jusqu'à plus de 55%.

Plus la puissance de la chaudière est élevée et fonctionne dans une plage de puissance élevée, plus sa tolérance envers l'humidité de la plaquette est élevée. Cela dépend non seulement du type d'alimentation ou de grille mais des spécificités des matériaux, en particulier la configuration de la chambre de combustion.

4.2 Contrôle de la qualité des plaquettes à la réception

Différentes méthodes de contrôle ponctuel de la qualité du combustible existent. Ils nécessitent tous un certain temps, de l'expérience et du suivi. Les exemples d'appréciation ou de procédures simplifiées qui suivent sont des aides et donnent des résultats approximatifs. En cas de procédure litigieuse, il faut s'en référer (pour le moment) aux valeurs préconisées dans le QM en attendant l'actualisation prévue en raison de la nouvelle norme SN EN ISO 17225 et ses annexes.

Origine et mélange

Ces paramètres sont difficiles à déterminer sans analyse longue et coûteuse (proportion résineux-feuillus, proportion d'écorce). C'est au niveau des processus de production et de la traçabilité du combustible que la qualité de cette caractéristique peut être assurée. La responsabilité du producteur de plaquette est ici clairement engagée. Seule l'expérience peut permettre une appréciation visuelle rapide. Un exploitant aura avantage à suivre pendant un certain temps les processus de production du fournisseur pour acquérir l'expérience nécessaire.



Figure 7: Plaquettes forestières avec écorces
(source : P. Raetz)

Afin d'apprécier le pourcentage d'écorce, il faut veiller à la couleur des plaquettes. Des particules sombres ou brunes peuvent être de l'écorce. Pour un échantillonnage quantitatif, la séparation du bois des écorces doit être faite manuellement. Il faut sécher le matériau avant de peser les écorces et les plaquettes bois séparément. La norme suisse actuelle (QM) admet jusqu'à 20% du *poids anhydre* d'écorce dans la fraction principale mais l'écorce doit encore adhérer au bois.

Pour une origine forestière, les plaquettes produites avec du bois fort (diamètre minimal des branches 7 cm), le pourcentage d'écorce devrait se tenir sans problème dans la norme de la norme QM (moins de 20% du poids sec).

Le mélange d'essences dans le combustible (proportion bois durs/bois tendre) est sans doute le plus délicat à apprécier. Il faut beaucoup d'expérience. Cette caractéristique se reflète dans le pouvoir calorifique et peut se contrôler par un suivi de la production thermique de la chaudière en tenant compte bien sûr de la teneur en eau.

Granulométrie

Avec l'expérience et la surveillance visuelle systématique des livraisons, la granulométrie peut aussi être appréciée visuellement.

La fraction des surmesures ou corps étrangers (pierres, métal, etc.) susceptible d'être à l'origine de problèmes dans les systèmes d'alimentation peut se reconnaître visuellement assez aisément.

La fraction des fines (poussières < 1mm) et celle entre 1 et 3.15 mm peut être appréciée par un tamisage d'échantillon avec des tamis d'un maillage correspondant. Selon l'humidité, le résultat pour les poussières peut être faussé car celles-ci adhèrent aux plus grosses particules.



Figure 8: Coupe franche perpendiculaire aux fibres du bois (source publique)

La fraction la plus importante (minimum 3.15 mm, maximum 16, 31.5, 45, 63 mm selon la classe) est plus difficile à apprécier. Elle a une grande importance pour la masse volumique du combustible. Plus la fraction principale est grossière (diamètre médian élevé), plus le combustible sera léger, contenant moins d'eau au volume en raison du volume des interstices plus importants. Pour répondre à cette problématique, la

nouvelle norme 17225 a réduit la fraction principale de 80 à 60% par rapport à la précédente norme avec pour effet d'améliorer la granulométrie et la fluidité du combustible.

Une plaquette de bonne qualité granulométrique est caractérisée par une coupe franche plus ou moins perpendiculaire aux fibres du bois dans le petit côté de la plaquette. Cela tient à l'angle d'introduction du bois dans la déchiqueteuse et à l'utilisation de couteaux (systèmes à tambour ou à disques).

Humidité

L'humidité, c'est-à-dire la teneur en eau du combustible, est le paramètre le plus important à mesurer régulièrement. Il sert à calculer le pouvoir calorifique et représente un paramètre très important de la régulation de la chaudière et du débit volumétrique du système d'alimentation.

Les procédures de détermination de l'humidité sont normalisées au niveau européen. Les «Usages suisses du commerce du bois brut», édition 2010, annexe A 7, en donne un bon aperçu. Les procédures sont fastidieuses et longues. Elles exigent une systématique à la réception du combustible si bien que de nombreuses méthodes plus simples ont été développées pour estimer la teneur en eau.

Estimation de l'humidité sur brut HB

Le principe de l'estimation consiste à recueillir un échantillon de plaquettes livrées dans un conteneur d'un poids et contenu connu et de le peser immédiatement. Ainsi, on détermine la masse volumique de livraison. L'échantillon sera constitué de la manière suivante si elle est effectuée par l'exploitant (d'après ADEME² par exemple).

Constitution de l'échantillon et pesage :

Récolte d'au moins 3 à 5 prélèvements d'au moins 20 l dans divers endroits de la livraison. Homogénéisation des prélèvements par brassage à la pelle sur une surface adéquate et formation d'un échantillon homogène dans un contenant connu (au minimum pouvant contenir 3 kg) et le peser immédiatement pour déterminer la masse volumique. Identifier l'échantillon si plusieurs échantillons sont constitués.

Séchage :

Il est possible de sécher artificiellement au moyen d'une étuve (laboratoire) ou d'un micro-onde (méthode artisanale) une partie seulement de l'échantillon avec pesées avant/après pour déterminer l'humidité HB. Pour ce faire, il faut enchaîner rapidement après la mesure de la masse volumétrique pour éviter un séchage naturel qui fausserait les résultats ou stocker l'échantillon dans un conteneur hermétique. Il faut sécher l'échantillon jusqu'à ce que son poids soit stable.

La différence de poids entre la pesée «avant séchage» et la pesée «après séchage» donne la quantité d'eau de l'échantillon. Le poids de l'eau divisé par le poids brut de l'échantillon multiplié par 100 donne l'humidité en %.

Techniques d'évaluation de l'humidité

Il existe une variété de techniques d'évaluation de l'humidité d'un échantillon de plaquettes:

Tableau 1 : Techniques d'évaluation de l'humidité

Méthodes par séchage	Précision	Avantages	Désavantage
Laboratoire (normé)	bonne		durée, coût
Etuve et balance (normé)	bonne		durée (24 h), coût
Micro-ondes et balance (estimation, méthode artisanale)	moyenne		rapidité mais danger d'inflammation
Méthodes indirectes	Précision	Avantages	Désavantage
Seau de mesure à variation de fréquences (type Pandis)	moyenne pour HB < 30%		rapidité, expérience nécessaire
Sonde	précis pour HB < 35%		échantillonnage difficile, expérimental

² Référentiel combustibles bois énergie: les plaquettes forestières, définitions et exigences, FCBA - ADEME, Agence de l'Environnement et de la maîtrise de l'Energie. 2008

Les méthodes indirectes utilisent les propriétés électriques du mélange bois/eau/air et doivent être calibrées régulièrement.

Pouvoir calorifique au poids

C'est le pouvoir calorifique inférieur du combustible qui est déterminé (PCI). Le PCI tient compte de la chaleur latente d'évaporation de l'eau, chaleur qui doit être fournie par la chaudière avant que les processus de combustion proprement dits puissent démarrer.

Plus le bois est humide, plus son pouvoir calorifique est bas.

Pour avoir une idée du pouvoir calorifique du combustible il faut connaître le poids (masse volumique) de la livraison et son humidité HB et passer par une abaque (voir annexe 7.2). Il s'agit encore d'une approximation car le calcul repose sur la représentativité de l'échantillon de plaquette récolté.

Pour la détermination précise du pouvoir calorifique, il faut impérativement passer par la combustion complète dans une bombe calorimétrique et la détermination du taux de cendres. Seuls les laboratoires spécialisés disposent du matériel adéquat.

Pouvoir calorifique au volume

Il faut relever que les indications de pouvoir calorifique au volume citées dans de nombreuses sources ne sont données qu'à titre indicatif et dans une fourchette. Cette information est utile pour les planificateurs. Ils doivent en effet tenir compte du volume de plaquettes pour le dimensionnement du silo et celui du système d'alimentation de la chaudière pour lequel la connaissance du débit volumétrique du combustible à humidité maximale tolérable pour la chaudière est indispensable.

Taux de cendres

En principe, le taux de cendres des plaquettes d'origine forestières (PF) ne doit pas être vérifié dans la perspective du respect des valeurs limites d'émission (rappel : un taux de cendres élevé entraîne un volume important de poussières dans les gaz de combustion). Les proportions d'écorce des essences locales dures sont basses et plus le diamètre du bois décheté est important plus la proportion d'écorce est faible. Le taux de cendres devrait ainsi se tenir aisément dans les normes pour les plaquettes PFO et PFQ.

La contamination du combustible par de la terre est possible et peut être détectée visuellement à la livraison. Il en va de même pour les corps étrangers divers qui indiqueraient une présence de bois usagés ou de récupération, clous, vis, parties collées etc. Ces éléments ne sont pas souhaitables dans les petites chaudières dépourvues de systèmes complets de filtration. De plus, le bois de récupération contient du chlore qui se combine avec l'hydrogène lors de la combustion pour former de l'acide chlorhydrique qui corrode les parties métalliques de la chaudière. L'Opair interdit l'usage de ce type de bois dans les chaudières. Le recours à la détermination du taux de cendres et l'analyse de la composition du combustible est nécessaire en cas de suspicion de livraison de combustible inadéquat.

4.3 Contrat d'approvisionnement

Il est absolument nécessaire que l'exploitant de centrale à bois se documente sérieusement sur la chaîne de production de la plaquette destinée à alimenter la centrale avant adjudication. Il peut ainsi identifier l'origine et le mélange moyen du combustible et s'assurer du sérieux des processus de production du producteur de plaquettes soumissionnaire.

Les soumissionnaires seront tenus au courant des caractéristiques de la chaudière et du combustible nominal avec sa plage de variation spécifiée par le fabricant de la chaudière. Il est souhaitable de mettre en contact le fabricant et les soumissionnaires pour la fourniture de combustible afin d'éviter les malentendus. Il arrive en effet que les fabricants utilisent des valeurs d'humidité anhydre (HA) qui sont beaucoup plus élevées (voir annexe 7.2) que les valeurs brutes : la chaudière est ainsi alimentée par un combustible contenant trop d'eau.

Energie-bois Suisse propose un modèle de contrat (annexe 7.6) qui tient compte des éléments essentiels. Il est souhaitable d'y ajouter l'origine du combustible comme caractéristique principale du combustible de manière explicite, voire d'y fixer également la provenance, c'est-à-dire la localisation des régions forestières d'où le bois va être exploité.

Il faut également s'assurer que le soumissionnaire procède au déchetage avec un matériel adéquat et performant. Les broyeuses ne produisent pas une plaquette d'une granulométrie et conformité physique adéquate.

Enfin, le soumissionnaire doit pouvoir attester d'une capacité de stockage suffisante, en qualité adéquate, pour faire face aux périodes de grands froids. L'approvisionnement direct en provenance de la forêt par des conditions hivernales (neige, gel) fournit une qualité de plaquettes très variable et ne convient pas pour de nombreuses chaudières. Ce type de combustible ne doit pas être brûlé dans les petites chaudières de série prévues pour un combustible sec.

Une adjudication au meilleur marché comporte un risque de ne pas être approvisionné avec une qualité suffisante.

4.4 Phase de mise en service

La qualité des plaquettes (principalement granulométrie et humidité) destinées à alimenter une chaudière particulière doit être prescrite par le constructeur.

Lors de la mise en service et pendant la période de service qui suit, un suivi de la régulation du système tenant compte de la charge réelle et de l'adéquation de la qualité des plaquettes livrées doit être mené. La plage de variation de l'humidité doit être reconnue et validée. Selon le taux de charge momentané l'humidité tolérée est différente. Du diagramme ci-contre, il ressort que la plage d'humidité est restreinte pour les bas régimes de puissance, a fortiori pour les cycles d'arrêt et de reprise de puissance. A nouveau, la régularité de l'humidité des plaquettes est importante pour maintenir une combustion régulière. Le stockage intermédiaire sous abri et les opérations de chargement par une personne expérimentée contribuent à améliorer la stabilité qualitative du combustible.

Le profil de charge de la chaudière doit être relevé pendant au moins une saison de chauffage. Une chaudière surdimensionnée (le cas est possible dans les systèmes existants) nécessitera une plaquette plus sèche que ce que la chaudière est théoriquement capable de brûler en régime de puissance moyenne et élevée.

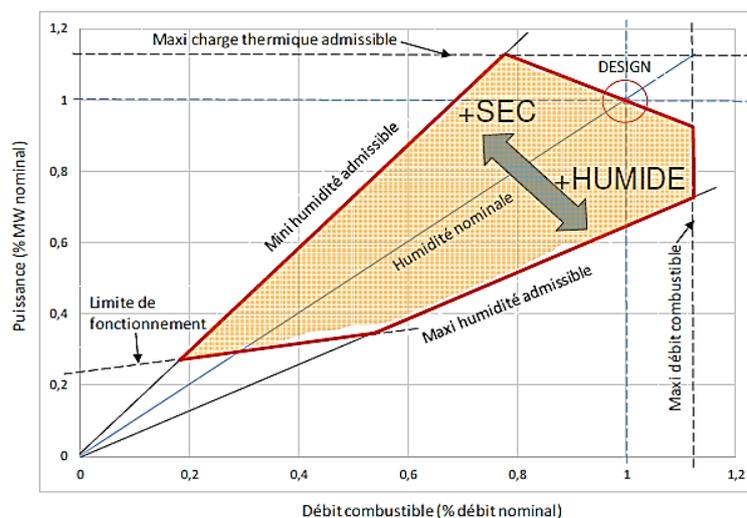


Figure 9: Plages d'humidité en fonction de la puissance (source : CIBE, J.-P. Tachet)

Il est nécessaire de consulter des professionnels se basant sur les recommandations

du QM³ pour planifier les systèmes, ceci même pour les petites installations. Il est aussi vivement recommandé de mandater un expert QM qui représentera le maître de l'ouvrage face aux maîtres d'œuvre et fournisseurs divers. L'expérience montre que les dépenses engagées pour aboutir à un système de qualité évitent de nombreux problèmes et des dépenses élevées d'entretien pendant la durée d'exploitation.

La mise en service d'une nouvelle chaudière à bois doit être annoncée à la Direction générale de l'environnement du Canton de Vaud, afin qu'elle procède à la mesure de réception, lors de laquelle le bon fonctionnement et le respect des normes d'émissions seront vérifiés.

4.5 Facturation

La facture pour les énergies fossiles tient compte de l'énergie contenue dans le combustible. Il s'agit de l'énergie livrée ou, dans les limites du système considéré (forêt – production de chaleur), de l'énergie finale. Au client alors de l'utiliser de la manière la plus efficace possible pour en tirer le maximum d'utilité : c'est l'énergie utile.

Paradoxalement, l'énergie finale désigne l'énergie au début de la chaîne de production. Entre l'énergie finale et l'énergie utile s'accumulent les pertes : récolte, transformation, conditionnement, transports et pertes thermiques des systèmes de transformation de l'énergie chimique à l'énergie thermique. Les plaquettes affichent un excellent bilan des pertes de production, car elles nécessitent peu d'énergie dans les processus de récolte, de conditionnement et de transport (pour autant que l'approvisionnement se fasse localement).

Il existe ainsi 2 manières «types» de facturer l'énergie du combustible bois.

³ Manuel de planification. Communauté de travail QM chauffages au bois. C.A.R.M.E.N. e.v. Straubing 2008

A l'énergie livrée, entrée chaudière

Cette manière de procéder nécessite de maîtriser les caractéristiques des plaquettes pour 2 méthodes pratiquées dans le commerce: la livraison au poids ou au volume. Ces deux méthodes sont semblables dans leur principe mais diffèrent par l'instrumentation : la livraison au poids suppose le passage du véhicule sur une balance, alors que dans la livraison au volume il faut constituer un échantillon pour le peser.

- Au poids : le poids du combustible livré et la teneur en eau (humidité HB).

La connaissance du poids et de l'humidité déterminée par échantillonnage permet de calculer l'énergie livrée. Au poids sec (anhydre) tous les bois ont, en effet, à peu près le même pouvoir calorifique (voir graphique avec tableau dans l'annexe 6.2). L'humidité HB permet de connaître le poids de l'eau livrée avec le combustible.

- Au volume : le volume du combustible livré, la masse volumique et l'humidité HB.

Il est possible de renoncer au poids de la livraison et se limiter au volume (benne de 30 m³ par exemple). L'exploitant aura intérêt à constituer une série d'observation afin de calibrer la méthode.

A noter que le transport, avec les vibrations qu'il génère, peut faire varier quelque peu le volume. On admet que la teneur en eau reste stable pendant le transport si le combustible ne subit pas un long stockage dans la benne. Une surmesure à la réception peut être discutée, elle se trouve dans l'ordre de quelques pourcent.

Pour ces deux méthodes, le contenu énergétique final livré résulte alors d'un calcul. Il doit être basé sur des valeurs théoriques de référence qui doivent être stipulées dans le contrat d'approvisionnement. Pour un calcul «au plus juste», un suivi régulier des livraisons est recommandé. Dans un premier temps il faut prélever systématiquement des échantillons des livraisons pour mettre en place une suite d'observations de l'humidité de référence. Avec l'expérience, cet échantillonnage peut s'espacer. La masse volumique observée à la réception peut alors suffire à estimer la qualité de la plaquette.

N.B. : Ces deux méthodes ont pour défaut qu'elles reposent toutes deux sur la stabilité de l'humidité dans une benne de 30 m³ ou dans un tas de stockage, par exemple, et surtout la représentativité de l'échantillonnage. Des variations importantes sont en effet possibles dans une même masse de plaquettes. Pour pallier à ce défaut intrinsèque, la régularité des processus de production, de stockage intermédiaire avec contrôle de la fermentation et de livraison peuvent constituer une solution, nécessaire mais malheureusement, dans certains cas, pas suffisante.

Pour les plaquettes séchées artificiellement (PFQ), le prix du combustible plus élevé implique de la part du fournisseur un dispositif adéquat et fiable pour garantir la qualité promise.

A l'énergie utile, sortie chaudière

Dans cette méthode, seule l'énergie thermique fournie est mesurée à la sortie de la chaudière sur le circuit primaire. Il s'agit d'une mesure fiable de l'énergie utile si l'instrumentation est étalonnée correctement.

Une quantification des quantités de combustible introduites dans la chaudière (poids ou volume) est néanmoins indispensable.

Pour être équitable, la facturation à l'énergie utile doit tenir compte du rendement effectif de la chaudière. Un surdimensionnement de la chaudière entraîne des variations de puissance trop fréquentes pendant la période de chauffage, si bien que des pertes importantes sont constatées. En effet, en fonction de la conception de l'installation et du soin pris pour l'exploitation, le rendement peut fortement varier (de 70 à 90%). Le fournisseur de combustible peut ainsi être préterité pour un facteur sur lequel il n'a aucune prise. De ce fait, il est recommandé de faire expertiser le système de production de chaleur quant à son rendement effectif. A cet effet, les données enregistrées par le système de régulation de la chaudière doivent être accessibles par l'exploitant et l'expert. Le fournisseur de la chaudière doit pouvoir donner des garanties sur l'accessibilité et la qualité de ces données.

La facturation à l'énergie utile peut conduire à des configurations défavorables dans l'approvisionnement de la chaudière : elle peut induire une plus grande tolérance envers la qualité de la plaquette que l'équipement technique ne peut supporter.

Remarque

La rétribution de la plaquette à un juste prix n'est pas chose aisée si l'on veut se passer d'un dispositif de contrôle fastidieux. Au-delà des dispositions spécifiques, un contrat de fourniture de plaquettes doit être basé sur un rapport de confiance. Il est donc vivement conseillé aux parties de bien vérifier leurs compétences et connaissances respectives. Au début d'un contrat, il est nécessaire de procéder à un contrôle visuel régulier et d'estimer périodiquement la teneur en eau. Certains fournisseurs procèdent à des contrôles qualité eux-mêmes.

Pour les plaquettes de qualité (PFQ) les processus de contrôle du producteur doivent être attestés et traçables.

4.6 Limitations des émissions

Le bois issu de forêts locales, gérées durablement, est une source d'énergie renouvelable avec une incidence neutre sur le climat (effet de serre). Par contre, sur le plan de la pollution de l'air au niveau local, le bois est un combustible particulièrement polluant.

L'Ordonnance sur la protection de l'air (OPair) fixe à son annexe 3, ch. 52, des valeurs limites d'émissions (VLE), ainsi que des exigences relatives au bois de chauffage à l'annexe 5, ch. 3. Les chaudières actuelles sont parfaitement aptes à respecter ces exigences à condition que l'installation réponde à certains critères :

- Etre certifiée. La chaudière doit posséder un certificat de conformité aux valeurs limites de l'Ordonnance sur la protection de l'air pour les poussières fines et le monoxyde de carbone, ainsi qu'un label de qualité (« Minergie » ou « Energie-bois Suisse » pour les petits chauffages » ; « QM Chauffages au bois » pour les grandes installations).

- Etre correctement dimensionnée. Une installation bien dimensionnée permet de limiter le nombre de démarrages, de fonctionner dans une plage de puissance élevée (entre 60 et 100% de la puissance) et de viser un taux de charge élevé pendant la période de service. Pour cela, elle doit se composer d'un accumulateur suffisamment important. Il peut également être judicieux d'installer des systèmes à plusieurs chaudières à bois ou des solutions bivalentes (bois + autre combustible) permettant d'optimiser le profil de charge de la chaudière à bois et de diminuer les phases de démarrage ou de fonctionnement à basse puissance, en particulier durant l'été.
- Etre bien entretenue. Une chaudière à bois demande un suivi et une maintenance importants. Il est donc recommandé de confié celui-ci à des personnes formées.
- Avoir un combustible de qualité. La qualité du combustible est primordiale dans le fonctionnement d'une chaudière à bois, il peut être à l'origine de dysfonctionnements entraînant des émissions polluantes ainsi que des odeurs et des fumées gênantes pour le voisinage.

Bien qu'elle respecte parfaitement les valeurs limites d'émission, une chaudière à bois émet toujours beaucoup plus de polluants par unité d'énergie produite qu'une chaudière à gaz ou à mazout. C'est pourquoi, les chauffages à bois ne sont pas souhaitables dans les zones urbaines, où la qualité de l'air est déjà critique. A cet effet, le Canton de Vaud a institué des zones à immissions excessives pour lesquelles le recours au chauffage à bois devrait être limité (www.vd.ch/chauffage -> Chauffage à bois).

Dans tous les cas, une installation centralisée dotée d'une bonne combustion et d'un système d'épuration des fumées est plus efficace et moins polluante qu'une multitude de petites installations à bois.

5 Remarque finale

De nombreuses chaudières arrivant en fin de vie, il est conseillé aux exploitants d'étudier sérieusement les possibilités d'optimiser le système de production de chaleur en inventoriant les besoins actuels, les possibilités de baisser les besoins en chaleur en améliorant l'enveloppe thermique des bâtiments chauffés, en bref de procéder à une planification énergétique sur la période de vie prévisible des installations à renouveler. Il faut viser une utilisation maximale de la puissance de la chaudière pendant la saison de service et envisager des solutions alternatives, comme le solaire thermique pour le reste de l'année. Une réduction des frais d'entretien est ainsi possible.

L'approche normative des plaquettes forestières est complexe. La refonte de la norme existante (QM) et de de la nomenclature n'entraînera pas une meilleure transparence dans les (trop) nombreuses qualités de plaquettes admises. Il faut être conscient qu'une vérification des caractéristiques des plaquettes livrées est difficile pour un exploitant non-professionnel et, de plus, qu'elle s'effectue à postériori : le risque pour l'exploitant de se retrouver avec un silo plein de combustible inadéquat est réel. Seuls des rapports de confiance avec un fournisseur expérimenté et le suivi de l'exploitant de la chaudière permettent d'éviter des situations difficiles.

L'annexe 7.1 mentionne les normes en usage et celle prévue d'être recommandée prochainement en Suisse en ce qui concerne la granulométrie. La combinaison des classes de granulométrie et d'humidité résulte en des qualités de plaquettes très nombreuses. Des organisations de fournisseurs de plaquettes (la CIBE en France par exemple) sont parvenues à définir des classes de combustible plus simples et plus explicites, intégrant autant que possible les processus de production des plaquettes en amont. Ce travail reste à effectuer en Suisse.

D'autre part, il est possible de contracter une police d'assurance relative à la présence d'éventuels corps étrangers dans le combustible. Cette assurance peut être utile dans certains cas.

6 Annexes

- 6.1 Classes de granulométrie
- 6.2 Masse volumique, humidité, poids anhydre et pouvoir calorifique
- 6.3 Classes de combustible par rapport à l'humidité
- 6.4 Exigences relatives à la protection de l'air
- 6.5 Contrat type d'approvisionnement (EBS)

6.1 Classes de granulométrie

Classes de granulométrie selon CEN/TS 14961 : 200 où P= particule

Fractions	Principale > 80% du poids	Fines < 5% du poids	Surmesures < 1% du poids
Classes			
P16	$3.15 \text{ mm} \leq P \leq 16 \text{ mm}$	< 1 mm	> 45 mm, l'ensemble < 85 mm
P45	$3.15 \text{ mm} \leq P \leq 45 \text{ mm}$	< 1 mm	> 63 mm
P63	$3.15 \text{ mm} \leq P \leq 63 \text{ mm}$	< 1 mm	> 100 mm
P100	$3.15 \text{ mm} \leq P \leq 100 \text{ mm}$	< 1 mm	> 200 mm
P300	$3.15 \text{ mm} \leq P \leq 300 \text{ mm}$	< 1 mm	> 400 mm

Classes de granulométrie selon QM 2009

Fractions	Principale min 80% du poids	Fines max 5% du poids	Surmesures max 1% du poids	Diagonale max. dans la section
Classes				
P 45	$8 \text{ mm} \leq P \leq 45 \text{ mm}$	< 1 mm	>63 mm, l'ensemble <125 mm	25 mm
P 63	$8 \text{ mm} \leq P \leq 63 \text{ mm}$	< 1 mm	>100 mm, l'ensemble <200 mm	30 mm
P100	$11.2 \text{ mm} \leq P \leq 100 \text{ mm}$	< 1 mm	>200 mm, l'ensemble <250 mm	35 mm

La norme 14961 a été refondue. La nouvelle norme EN ISO 17225 - Biocombustibles solides, classes et spécification des combustibles - introduit une réduction de la fraction principale à 60% du poids sec et montre une tolérance plus grande envers les surmesures et les longueurs maximales. Au niveau suisse les nouvelles spécifications doivent encore être validées par les professionnels. Ci-dessous figure un extrait de la classification granulométrique pour les assortiments les plus courants (proposition d'adaptation pour les QM par A. Jenni, Ardens)

Classes de granulométrie (proposition QM 2015 selon ISO 17225) où S pour petit

Fractions	Principale > 60% du poids	Fines < 3.15 mm En % de la masse totale	Surmesures < 1% du poids	Longueur maximale	Surf. trans- versale des surmesures
Classes					
P16 S	$3.15 \text{ mm} \leq P \leq 16 \text{ mm}$	15	$> 31.5 \text{ mm} \leq 6\%$	$\leq 45 \text{ mm}$	$< 2 \text{ cm}^2$
P31 S	$3.15 \text{ mm} \leq P \leq 31.5 \text{ mm}$	10	$> 45 \text{ mm} \leq 6\%$	$\leq 150 \text{ mm}$	$< 4 \text{ cm}^2$
P31	$3.15 \text{ mm} \leq P \leq 31.5 \text{ mm}$	25 (*)	$> 45 \text{ mm} \leq 6\%$	$\leq 200 \text{ mm}$	$< 4 \text{ cm}^2$
P45 S	$3.15 \text{ mm} \leq P \leq 45 \text{ mm}$	10	$> 63 \text{ mm} \leq 10\%$	$\leq 350 \text{ mm}$	$< 6 \text{ cm}^2$
P63	$3.15 \text{ mm} \leq P \leq 300 \text{ mm}$	libre	$>100 \text{ mm} \leq 10\%$	$\leq 350 \text{ mm}$	$< 8 \text{ cm}^2$

(*) avec feuilles, aiguilles et ramilles

La nouvelle norme européenne entérine une plus grande diversité des combustibles quant à leur origine, ceci en égard aux sous-produits de l'agriculture et de l'aquaculture. L'exigence envers les fines est sensiblement relâchée, ceci en raison de la nature des sous-produits de l'agro-alimentaire. Le QM propose pour la qualité supérieure de plaquette (P16 S et P31 S) de baisser la proportion de fines < 3.15 mm à 5% pour une humidité M 20.

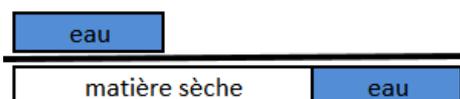
6.2 Masse volumique, humidité, poids anhydre et pouvoir calorifique

La **masse volumique** (p. ex. kg/m³) varie selon la teneur en eau (humidité sur brut).



Le séchage naturel ou artificiel réduit l'humidité, la masse volumique mais pas le volume.

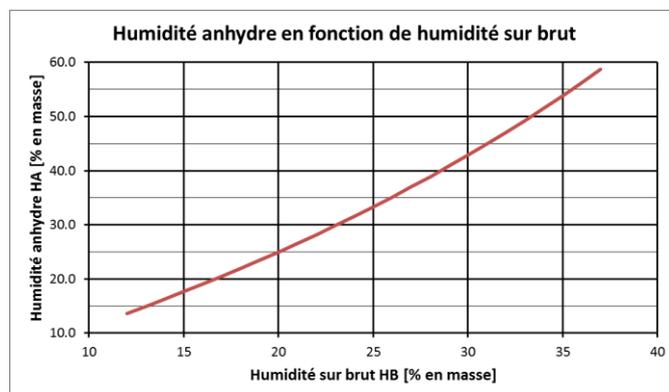
HB Humidité sur brut



HA Humidité anhydre

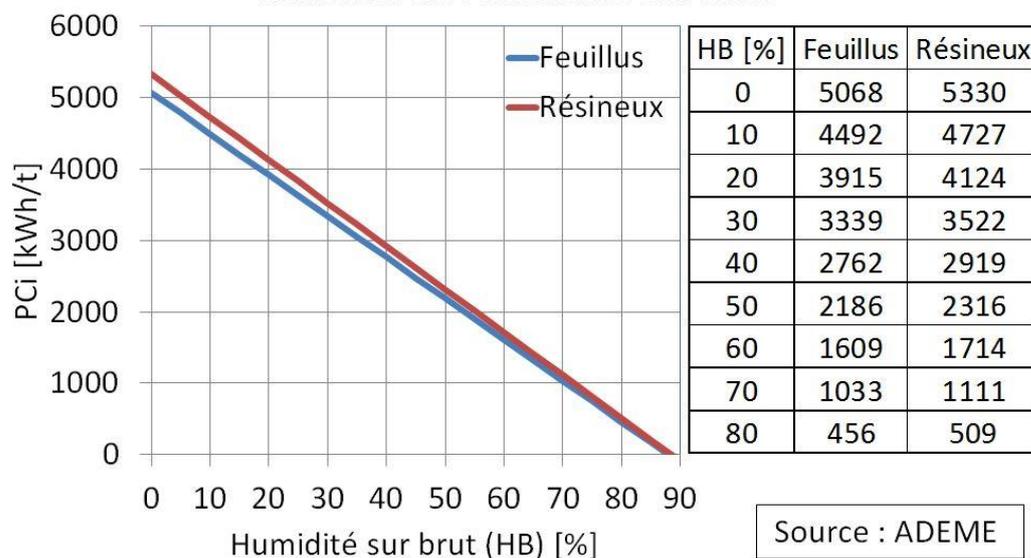


Relation HB/HA



Relation humidité et pouvoir calorifique en kW/to

Pouvoir calorifique inférieur par tonne de bois en fonction de l'humidité sur brut



Source : ADEME

6.3 Classes de combustible par rapport à l'humidité

Toutes les valeurs sont relatives à l'humidité sur brut HB

Le Manuel de planification QM retient 3 classes d'humidité sur brut, où W pour Wassergehalt ou water :

Classes	HB
W35	20-35%
W50	30-50%
W60	30-60%

La classe W35 correspond à des plaquettes qui ont séjourné dans un lieu de stockage couvert pendant une certaine période.

La CIBE en retient 5 en s'en référant à la norme EN 14961-1 (Octobre 2010)

Classes	HB
M10-M20	$10\% < HB \leq 20\%$
M15-M30	$15\% < HB \leq 30\%$
M30-M40	$30\% < HB \leq 40\%$
M35-M45	$35\% < HB \leq 45\%$
M40-M55	$40\% < HB \leq 55\%$

N.B. : La nouvelle norme EN ISO 17 225 n'introduit pas de modifications particulières concernant l'humidité. Un combustible M20 signifie que l'humidité est au maximum à 20%. La définition de plages d'humidité constitue cependant une nécessité pratique pour la plaquette forestière ordinaire (PFO), à l'exception des qualités séchées artificiellement (PFQ).

6.4 Exigences relatives à la protection de l'air

DIRECTIVE CANTONALE pour l'implantation de chauffage à bois

Tableau synoptique des exigences

(<http://www.vd.ch/themes/environnement/energie/chauffage/chauffage-a-bois/>)

Site Puissance calorifique	exigences	Zones à immissions excessives 1 (Plan des mesures)	Zones à immissions excessives 2 (hors Plan des mesures)	Hors zones à immissions excessives
P ≤ 70 [kW]	Contrôle	En cas de plainte (OPair, A3 ch. 522)	En cas de plainte (OPair, A3 ch. 522)	En cas de plainte (OPair, A3 ch. 522)
	Filtre	Filtre obligatoire	Recommandé	Recommandé
	VLE	VLE OPair	VLE OPair	VLE OPair
	Suivi	Contrat d'entretien recommandé	Contrat d'entretien recommandé	Contrat d'entretien recommandé
70 < P ≤ 500 [kW]	Contrôle	Contrôle périodique DGE	Contrôle périodique DGE	Contrôle périodique DGE
	Filtre	Filtre obligatoire	Filtre obligatoire	Recommandé
	VLE	P ≥ 250kW : 20 [mg/m ³] Poussières	VLE OPair	VLE OPair
	Suivi	Contrat d'entretien obligatoire	Contrat d'entretien obligatoire	Contrat d'entretien recommandé
500 < P ≤ 1000 [kW]	Contrôle	Luft Union (annuel)	Contrôle périodique DGE	Contrôle périodique DGE
	Filtre	Filtre obligatoire	Filtre obligatoire	Filtre obligatoire
	VLE	VLE OPair	VLE OPair	VLE OPair
	Suivi	Filtre + Contrat d'entretien obligatoire	Filtre + Contrat d'entretien obligatoire	Contrat d'entretien recommandé
P > 1000 [kW]	Contrôle	Luft Union (annuel)	Luft Union (annuel)	Contrôle périodique DGE
	Filtre	Filtre obligatoire	Filtre obligatoire	Filtre obligatoire
	VLE	NOx : 200 [mg/m ³] Filtre + CO (+ NO _x)	VLE OPair Filtre + CO (+ NO _x)	VLE OPair Filtre
	Suivi			

6.5 Contrat type d'approvisionnement (EBS)

LOGO

Triage forestier X

Adresse, NPA lieu

Contrat de fourniture de bois en plaquettes

conclu entre

**XXXXXXX, adresse, NPA lieu
ci-après appelé fournisseur**

et

**Société, adresse, NPA lieu
ci-après appelée consommateur**

concernant la fourniture de plaquettes de bois provenant de XXXXXXXXXX pour alimenter le chauffage à plaquettes de XXXXXXXXXX à XXXXX

1. Objet du contrat

1.1 Le présent contrat règle la fourniture fiable à long terme de plaquettes de bois destinées à assurer l'exploitation du chauffage à plaquettes du consommateur ainsi que l'élimination des cendres en résultant.

2. Fourniture de plaquettes

2.1 Le fournisseur s'engage à couvrir dans sa totalité le besoin en plaquettes du consommateur pour la durée du contrat. La facturation des plaquettes livrées sera effectuée en tenant compte de la mesure de la chaleur produite.

2.2 Le volume de plaquettes prévu pour la livraison s'élève à environ XXXX m³p annuels.

2.3 Le volume net du silo est de XXX m³ environ. Le consommateur informera le fournisseur de la nécessité d'une fourniture, si possible une semaine à l'avance. Par ail-

leurs, les livraisons de plaquettes s'effectuent selon accord entre le fournisseur et le consommateur.

- 2.4 Le fournisseur veille à la disponibilité constante d'une réserve de plaquettes pour assurer l'approvisionnement du consommateur.
- 2.5 Pour la durée du contrat, le consommateur s'engage à s'approvisionner en plaquettes exclusivement auprès du fournisseur pour couvrir la totalité de ses besoins. Aucune quantité minimale par commande n'est prévue.
- 2.6 La période de chauffage dure approximativement du début octobre à la fin mai. Le consommateur communiquera les dates précises au fournisseur.
- 2.7 L'élimination des cendres de bois résultant de la combustion incombe au fournisseur. L'évacuation s'effectuera selon la nécessité et d'entente avec le consommateur.

3. Qualité des plaquettes

- 3.1 Le fournisseur livrera des plaquettes présentant la qualité suivante:

PFO-P45S-M35-F10

(selon QM chauffages au bois 2015, à paraître)

Cette classification correspond aux critères de qualité suivants:

Dénomination :	Plaquette forestière ordinaire ressuyée
Teneur en eau:	35% au maximum
Part principale (au poids à la livraison):	3.15 à 45 mm (min. 60% du poids)
Part fine (au poids à la livraison):	max. 10% ≤ à 3.15 mm
Surlongueurs (au poids à la livraison):	max. 10% > à 63 mm
Longueur maximale (qualité S):	200 mm
Section max. des surlongueurs:	< 6 cm ²
Teneur en cendres (% du poids, sans eau):	< 3%

- 3.2 Le fournisseur est responsable de la composition des combustibles (résineux/feuillus), mais tout en tenant compte de l'exploitation de l'installation de chauffage. Le fournisseur répondra de tout dommage à l'installation si celui-ci est manifestement occasionné par un bois de qualité insuffisante.
- 3.3 Les plaquettes seront livrées par les camions à conteneurs de XX m³ usuels et déchargées aussi près du silo de plaquettes que le contexte architectural le permet. S'il n'est pas possible de décharger l'ensemble des plaquettes directement dans le silo,

le consommateur se chargera de les rajouter ultérieurement.

4. Modalités de règlement

- 4.1 Le prix des plaquettes livrées (y compris l'élimination des cendres) sera calculé en fonction de la quantité d'énergie utile produite. Celle-ci est mesurée immédiatement à la sortie de la chaudière par un compteur de chaleur étalonné.
- 4.2 Un indice de rendement annuel estimé à 80% pour l'installation à chaudière servira de base de calcul pour le prix des plaquettes. Chacune des parties est en droit de faire vérifier l'indice de rendement annuel par un expert indépendant, à ses propres frais. Si les deux parties demandent une expertise, la moyenne des deux valeurs sera applicable. Une éventuelle révision du prix de la chaleur entrera en vigueur avec effet rétroactif au début de la période de chauffage en cours.
- 4.3 Le consommateur est responsable des services d'entretien réguliers de l'installation, conformément aux prescriptions. Il se charge également du maintien de prévention de l'installation.
- 4.4 Chaque année, la facturation s'effectuera trimestriellement au 31 décembre, 31 mars, 30 juin et 30 septembre. A cet effet, le consommateur communiquera au fournisseur le relevé actuel du compteur à chacune de ces dates. Les parties renoncent au versement d'acomptes.
- 4.5 Toutes les factures sont réglables sans escompte dans les 30 jours suivant la date de facturation.

5. Adaptation des prix

- 5.1 Au 1^{er} octobre de chaque année (pour la première fois au 1^{er} octobre 20XX), le prix des plaquettes est adapté au niveau actuel de l'indice des prix de plaquettes établi par Energie-Bois Suisse.

L'adaptation des prix s'effectuera selon la formule suivante:

$$P_n = P_a \times \frac{IP_n}{IP_a}$$

Symboles:

P_n = Nouveau prix des plaquettes

- P_a = Ancien prix des plaquettes
 IP_n = Nouvelle valeur de l'indice des plaquettes
 IP_a = Ancienne valeur de l'indice des plaquettes

5.2 Le prix des plaquettes, y compris la taxe d'élimination des cendres, se monte à X,Y ct./kWh (hors T.V.A.), par rapport à l'index de référence du mois de juin 20XX: 112,4 points (base 100,0: décembre 20XX).

5.3 Le fournisseur n'est pas obligé d'annoncer l'adaptation du prix des plaquettes.

6. Durée du contrat

Le présent contrat entre en vigueur le 1^{er} octobre 20XX, dès la signature par les parties. Conclu pour la durée ferme de 15 ans, jusqu'au 30 septembre 20XX, le contrat se prolongera tacitement d'une nouvelle période de 5 ans si aucune des parties ne le résilie pour la fin de la durée convenue, par écrit et lettre recommandée, en observant un préavis d'un (1) an.

7. Obligation de transfert

Le fournisseur et le consommateur sont tenus de transférer le présent contrat et l'ensemble des droits et obligations qui en découlent à un ayant-cause éventuel ou à un acquéreur de l'installation objet du contrat, y compris l'obligation de retransfert. Toute partie qui ne respecte pas cette obligation sera soumise à une obligation à dommages et intérêts.

8. Modifications du contrat

Toute modification doit se faire par écrit et peut être apportée à ce contrat à tout moment, sous réserve de l'accord mutuel des deux parties.

9. Litiges

En cas de désaccord entre les parties contractantes, elles s'engagent à rechercher une solution à l'amiable. Avant d'avoir recours à des remèdes juridiques, elles conviennent de s'adresser à Energie-Bois Suisse en vue d'une conciliation.

10. For juridique

Les tribunaux compétents sont chargés de juger tout litige découlant du rapport contractuel. Le for juridique exclusif est celui de XXXXXXXXX.

Lieu, date

Le fournisseur: XXXXXXXXXXXXXXXX

Le président:

.....

Le chef de production:

.....

Le consommateur: Société

.....

.....