



FIBRA

Fédération forêt-bois
R h ô n e - A l p e s

fib 01

fibois 07-26

créabois 38

inter forêt-bois 42

fibois 69

inter forêt-bois 73

fib 74

LES COMBUSTIBLES BOIS

Méthodes de caractérisation des produits



Document réalisé
avec le soutien financier de :

Rhône-Alpes





Ce document présente les analyses à mener sur les combustibles bois pour déterminer leurs caractéristiques au regard des besoins exprimés de la clientèle.

Ces besoins figurent dans un contrat établi entre le fournisseur de bois énergie et l'utilisateur disposant d'une chaudière aux spécifications précises sur le combustible.

Après avoir rappelé l'importance primordiale de la phase d'échantillonnage, ce document expose en synthèse les préconisations de bonne conduite des essais pour la détermination des propriétés du combustible bois. Le texte s'appuie sur les travaux de normalisation réalisés ou en cours dans le cadre de l'AFNOR et du Comité européen de normalisation (CEN), ainsi que sur les recommandations de l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie).

Pour approfondir ces questions, la référence aux normes (existantes ou expérimentales) figure explicitement dans le document. Les textes normatifs sont à commander auprès de l'AFNOR (www.afnor.org).

Le lecteur intéressé pourra aussi consulter les référentiels combustibles bois publiés en 2008 par l'ADEME et le FCBA :

- Référentiel 2008-1-PF : les plaquettes forestières. Définition et exigences, 25 avril 2008
- Référentiel 2008-2-CIB : les connexes des industries du bois. Définition et exigences, 25 avril 2008.
- Référentiel 2008-3-PBFV : les produits en fin de vie. Définition et exigences, 25 avril 2008.

I- L'échantillonnage : une étape-clé !

Les différentes propriétés des combustibles bois déchetés sont caractérisées sur des échantillons de ces combustibles. Les analyses portent sur des fractions très réduites (quelques grammes à quelques kg) du lot à caractériser, qui peut faire plusieurs dizaines ou centaines de tonnes. Il est donc très important que les échantillons prélevés soient représentatifs.

La qualité et le soin apportés à la phase d'échantillonnage sont primordiaux pour la signification des résultats. Des procédures très précises sont à définir et à respecter par

chaque fournisseur de bois-énergie, en distinguant deux phases :

- Collecte de l'échantillon (somme de prélèvements élémentaires)
- Réduction de l'échantillon pour analyse

Le professionnel peut s'appuyer sur les normes CEN 14778, 14779 et 14780 pour déterminer les modalités précises d'échantillonnage en fonction de l'homogénéité du combustible, de la granulométrie et de la masse livrée.

II- Méthodes de caractérisation physico-chimique

Les analyses à réaliser portent au minimum sur les quatre paramètres suivants :

- Granulométrie, avec une information sur la quantité de fines et d'éléments grossiers
- Teneur en eau
- Teneur en cendre
- Pouvoir calorifique inférieur (PCI) et densité d'énergie (en kWh/m³ de volume apparent). Pour les combustibles bois couramment utilisés en Rhône-Alpes, des abaques rapportent la teneur en eau du bois au PCI.

A ces paramètres peuvent se rajouter selon les produits les caractérisations suivantes :

- Masse volumique apparente (norme CEN15103)
- Teneur en chlore
- Teneur en azote
- Teneur en soufre
- Résistance mécanique des granulés (norme CEN 15210)

1- Granulométrie et quantité de fines (norme CEN 15149)

■ Cas général des plaquettes et bois broyés : (CEN/TS 15149 et ÖNORM 7133)

Le déchetage se fait avec des outils tranchants (couteaux), alors que le broyage est réalisé aux marteaux, d'où une qualité de combustible différente.



La granulométrie est définie par la taille des particules de la fraction principale (P) et la taille de particules définissant la fraction grossière (G). On considère que les particules de moins d'1 mm appartiennent à la fraction fine.

- La fraction principale doit représenter au moins 80 % en masse du combustible.
- La fraction grossière ne doit pas représenter plus de 1 % en masse.
- La fraction fine ne doit pas dépasser 5 % en masse.

Classe de la fraction	Dimensions
P8*	8 mm ≤ P ≤ 45 mm
P16	3.15 mm ≤ P ≤ 16 mm, et G ≥ 45 mm (aucune plaquette ne doit dépasser 85 mm)
P45	3.15 mm ≤ P ≤ 45 mm, et G > 63 mm
P63	3.15 mm ≤ P ≤ 63 mm, et G > 100 mm
P100	3.15 mm ≤ P ≤ 100 mm, et G > 200 mm
P300	3.15 mm ≤ P ≤ 300 mm, et G > 400 mm

* Rajout Référentiel Combustible Bois Energie ADEME FCBA – Avril 2008

On peut déterminer la granulométrie d'un échantillon de plaquettes à l'aide d'un système de tamis oscillants, avec des cribles correspondant à la classe considérée (4 tamis : 1, 3.15, classe considérée, fraction grossière de la classe considérée).



Tamis oscillant
Prix : 3000 €*

Cette méthode très répandue entraîne toutefois une sous-estimation iné-

table de la granulométrie des plaquettes, d'autant plus importante que l'élanement des plaquettes (rapport longueur sur largeur) est grand. Pour réduire les erreurs, un tamis rotatif sera plus fiable qu'un tamis oscillant, alors qu'un système de mesure par imagerie permet de réaliser les mesures les plus précises (analyse en continu possible).



Tamis rotatif
Prix = 5000 €*

■ Cas spécifique des granulés :

La proportion de fines (particules de taille < 3.15 mm) doit être précisée :

- F1.0 : quantité de fine ≤ 1.0% en masse
- F2.0 : ≤ 2.0%
- F2.0+ : ≥ 2.0% (valeur à mentionner)

Les granulés étant considérés comme cylindriques, ils sont caractérisés par leur longueur (L) et leur diamètre (Ø). Les classes sont les suivantes :

Classe de la fraction	Dimensions
D06	Ø ≤ 6 mm ± 0.5 mm, et L ≤ 5 x Ø
D08	Ø ≤ 8 mm ± 0.5 mm, et L ≤ 4 x Ø
D10	Ø ≤ 10 mm ± 0.5 mm, et L ≤ 4 x Ø
D12	Ø ≤ 12 mm ± 0.5 mm, et L ≤ 4 x Ø
D25	Ø ≤ 25 mm ± 0.5 mm, et L ≤ 4 x Ø

La quantité maximale de granulés dont la longueur peut être de 7.5 x Ø est de 20 % en masse.

Le diamètre est donné par la taille de la filière utilisée. On mesurera la longueur sur un échantillon de 10 spécimens pris au hasard.



Filière d'une presse à granulés

2 - Teneur en humidité (norme CEN 14774)

Dans les textes normatifs, les classes de teneur en humidité sont définies uniquement par des valeurs maximales.

Ex : M20 : Humidité ≤ 20 % en masse à réception
[M pour moisture = humidité en anglais]

Classe d'humidité	Plaquettes	Granulés	Sciure	Ecorce
M10*		X		
M20	X	X	X	
M25*	X		X	
M30				
M35*			X	
M40	X			X
M45*				
M50*				X
M55	X		X	
M65	X		X	

* Classes d'humidité spécifiées suivant le type de combustible

■ Méthode simplifiée (micro-onde)

Il s'agit de déterminer la masse d'eau présente dans le bois brut. On l'obtient en mesurant la perte de masse après des-

siccation. On utilise un four micro-onde grand public de type électroménager. La puissance nominale du magnétron est de 1100 W. Il restitue une puissance utile dans la cavité électromagnétique de 700 W. Cet appareil a un coût d'environ 300 € H.T.

Le protocole opératoire est le suivant :

- Peser le plateau vide (m_1)
- Placer l'échantillon dans le plateau et peser (m_2)
- Passer au micro-onde par étape de 2 minutes, en notant la masse à chaque fois
- Arrêter après apparition des premières tâches de pyrolyse
- Calculer le taux d'humidité : $H = 100 \times (m_2 - (m_p + m_{p-1})/2) / (m_2 - m_1)$. Avec m_p et m_{p-1} les masses juste après et juste avant apparition des tâches de pyrolyse

Ce protocole permet d'assurer une erreur sur le taux d'humidité inférieure à 15 points (par rapport à la méthode normalisée), pour un temps de mesure ne dépassant pas 30 minutes et un appareillage limité. Une amélioration des cycles de chauffe est envisageable avec l'expérience pour optimiser les temps de mesure et la précision.

* : les prix TTC sont donnés à titre indicatif

■ Méthode simplifiée (seau Pandis FMG 3000)

Cet appareil permet une mesure indirecte de l'humidité du combustible sur le terrain ; la lecture sur l'écran est immédiate. Les erreurs de mesures peuvent toutefois être importantes, et il est recommandé de n'utiliser le FMG 3000 que pour des humidités comprises entre 20 et 30 %. Au dessus de 30% les mesures deviennent trop peu fiables.



FMG 3000
Prix : 2000 €*

■ Méthode simplifiée (Humitest TIMB)

Cet appareil, apparu récemment sur le marché, permet des mesures d'humidités instantanées sur de nombreux types de combustibles bois (plaquettes notamment) grâce à une sonde spéciale. Toutefois, il n'y a pas



Humitest Timb -
Prix : 600 €*

encore de recul sur la fiabilité de l'appareil et les préconisations d'utilisation.

■ Méthode normalisée (étuve)

Elle est basée sur la mesure de la perte de masse en eau du bois après séchage à l'étuve.



Etuve
Prix : 1700 €*

- Peser la coupelle vide (m_1)
- Placer un échantillon de 300 à 500 g, ou de 1 à 2 kg si la granulométrie est supérieure à 100 mm, dans la coupelle
- Peser l'ensemble (m_2)
- Mettre à l'étuve à 105°C jusqu'à stabilisation de la masse (pas de variation de plus de 0.2%) et noter le poids (m_3)
- Calculer le taux d'humidité : $H \% = 100 \times (m_2 - m_3) / (m_2 - m_1)$

3 - Teneur en cendres (CEN 14775)

Sur le même principe que pour le taux d'humidité, on définit des classes de teneur en cendre.

Classes de teneur en cendres suivant le type de combustible
Ex : A0.7 : Taux de cendre $\leq 0.7\%$ en masse sur produit sec [A pour ash = cendre en anglais]

Classe d'humidité	Plaquettes	Granulés	Sciure	Ecorce
A0.7	X	X	X	X
A1.5	X	X	X	X
A3.0	X	X	X	X
A6.0	X	X	X	X
A6.0+		X		
A10.0	X			
A12.0				X

La classe A6.0+ pour les granulés correspond à une teneur en cendre supérieure à 6% qu'il faudra préciser.

■ Valeurs types

Lorsque le bois n'est pas traité chimiquement et que le stock ne contient pas de corps étranger, la teneur en cendre peut être déterminée à partir de l'origine du bois.

- Ecorces : 5 %
- Rémanents forestiers : 2 %
- Perches et grumes : 0.3 %

■ Mesure en incinérateur

L'échantillon (1 ou 2 g), broyé avec une granulométrie inférieure à 200 μm est chauffé à 815°C jusqu'à obtention de cendres sans présence de points noirs (imbrûlés).

- On mesure :
- m_1 , masse de la nacelle
 - m_2 , masse de la nacelle et de l'échantillon
 - m_3 , masse de la nacelle et des cendres

On calcule alors le taux de cendres en masse

$$C = 100 \times (m_3 - m_1) / (m_2 - m_1)$$

Et, si H est l'humidité de l'échantillon à l'air, le taux de cendres sur sec :

$$A = (C \times 100) / (100 - H)$$

4 - Pouvoir calorifique inférieur et densité d'énergie (CEN 14918)

■ Calcul à partir de l'humidité

Le pouvoir calorifique inférieur (PCI) est l'énergie thermique libérée par la réaction de combustion sous forme de chaleur sensible, à l'exclusion de l'énergie de vaporisation (chaleur latente) de l'eau présente en fin de réaction.

Le pouvoir calorifique inférieur Q (en MJ/kg) peut être relié à l'humidité H (en %) par la formule :

$$Q = Q_0 \times (100 - H) / 100 - 0.02443 \times H$$

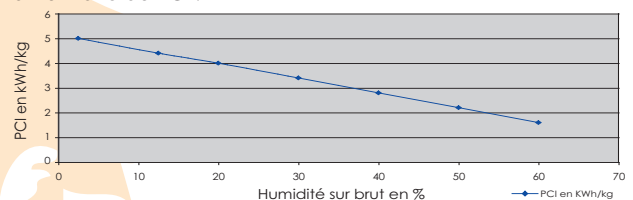
avec $Q_0 = 20 \text{ MJ/kg}$ pour les résineux et 19 MJ/kg pour les feuillus

Pour obtenir la densité d'énergie E (en kWh/m³ de volume apparent),

$$E = Q \times D / 3600$$

avec D la masse volumique apparente (en kg/m³)

L'abaque ci-dessous permet de relier très rapidement le taux d'humidité au PCI :



Source : Mesure des caractéristiques des combustibles bois, "Evaluation et proposition de méthodes d'analyse de combustible" – ADEME, CrittBois, Fibois, CTBA – Juin 2001

■ Mesure en bombe calorimétrique

La mesure du pouvoir calorimétrique nécessite un appareillage très spécifique (bombe calorimétrique) en laboratoire agréé, et le mode opératoire et l'exploitation des résultats sont complexes. On fera donc certainement appel à un laboratoire extérieur.



Equipement pour mesure du PCI

* : les prix TTC sont donnés à titre indicatif

5 - Masse volumique apparente (CEN 15103)

C'est le rapport de la masse de l'échantillon sur le volume apparent de celui-ci.

6 - Résistance mécanique des granulés (CEN 15210) :

La résistance mécanique caractérise la stabilité en masse des granulés sous sollicitation (test d'abrasion).

- DU97.5 : % en masse des granulés après essai $\geq 97.5\%$
- DU95.0 : % en masse des granulés après essai $\geq 95.0\%$
- DU90.0 : % en masse des granulés après essai $\geq 90.0\%$

Test d'abrasion : typiquement, une masse (m_1) de granulés sans fines (tamisée) est placée dans un tambour mis en

rotation (vitesse et temps fixés) ; on tamise l'échantillon après essai pour évacuer les fines et on pèse les granulés restants (m_2). On mesure la durabilité mécanique : $DU = 100 \times m_2 / m_1$.



7 - Composition chimique

Les analyses chimiques sont demandées quand le bois a subi des traitements. Ces analyses portent sur le chlore, l'azote et le soufre. Des valeurs mesurées supérieures à celles observées pour des teneurs naturelles démontrent l'existence d'un traitement. Pour des déchets bois très spécifiques, des analyses supplémentaires peuvent être faites : métaux lourds, composés organiques, bore, etc.

■ Teneur en Chlore

Pour la biomasse ligneuse, la teneur en chlore (en % en masse à sec et hors cendres) varie de moins de 0.01 à 0.05 %, avec une valeur type autour de 0.01 % pour les grumes et les rémanents forestiers, et de 0.02 % pour les écorces.

■ Teneur en AZOTE

La teneur en azote du bois non traité varie de 0,1 % (perches, grume, bois massif) à 0,5 % (rémanents forestiers, écorces). Le CENT/TS 14961 a retenu les classes suivantes (N pour nitrogen = azote en anglais) :

EX : NO3 : Teneur en azote $\leq 0,3\%$ en masse sur produit sec

Classe de teneur en N	Plaquettes	Granulés	Sciure	Ecorce
N0.3		X		
N0.5	X	X	X	X
N1.0	X	X	X	X
N3.0	X	X	X	X
N3.0+	X	X	X	X

La classe N3.0+ correspond à une teneur en azote supérieure à 3.0% qu'il faudra préciser.

■ Cas spécifique des granulés

La teneur en soufre devra être spécifiée en cas de traitement chimique ou d'utilisation d'additifs contenant du soufre.

- S0.05 : Teneur en soufre $\leq 0.05\%$ en masse sur produit sec
- S0.08 : $\leq 0.08\%$
- S0.10 : $\leq 0.10\%$
- S0.20+ : $\geq 0.20\%$ (valeur à mentionner)

Compte tenu de la complexité de la détermination des teneurs en azote, soufre et chlore des combustibles bois déchiqueté, les méthodologies de ces analyses ne seront pas présentées dans ce document. Ces analyses seront réalisées par des laboratoires spécialisés. Pour information, le coût moyen unitaire d'une de ces analyses est de l'ordre de 50 €.

8 - Synthèse sur la méthodologie de caractérisation physico-chimique des combustibles bois déchiqueté

	Formes de combustibles			Matériel nécessaire	
	Granulé	Bois broyé	Ecorce et Sciure		
Mesures à réaliser	Détermination du taux d'humidité -> M			Étuve, seau, micro-ondes, hygromètre	Normatif
	Détermination de la teneur en cendre -> A			Incinérateur, Valeurs types selon origine	
	Vérification de la longueur des granulés			Pieds à coulisse	
	Détermination de la quantité de fines -> F	Détermination de la granulométrie -> P		Tamis oscillant ou rotatif	
		Détermination du PCI		Bombe calorimétrique, Formules	Informatif

Ce tableau synthétise les principales analyses à réaliser lors de la réception d'un lot de combustible issu de bois non traité, afin de vérifier la conformité de l'approvisionnement.

III - Rôles respectifs fournisseur / laboratoire dans la réalisation des analyses

Un fournisseur est responsable de la composition et de l'homogénéité des produits qu'il livre à ses clients. Le contrat de fourniture précise les caractéristiques du combustible livré.



Il est donc indispensable que le fournisseur dispose du matériel minimum pour procéder à l'échantillonnage et aux analyses simples à réaliser sur les caractéristiques des combustibles (humidité ou granulométrie par exemple), dans une **logique de maîtrise et d'auto-contrôle de ses processus de réalisation**.

Bien entendu, il doit aussi faire appel à des laboratoires extérieurs pour des analyses plus complexes (PCI par exemple) et, surtout, pour **garantir et démontrer auprès de ses clients la réalité des caractéristiques obtenues et attendues dans le cadre de la relation contractuelle**.

Matériels pour les procédures d'autocontrôle :

- A minima : matériel pour estimer et suivre le taux d'humidité de son produit ; matériels et outillage d'échantillonnage ;
- et si possible : jeux de balances (dont balance de précision) pour mesure de l'humidité avec étuvage ou micro-onde, mesure de la masse volumique ;
- Enfin, dans l'idéal : jeux de tamis pour la granulométrie.

IV - Obligations d'informations

Dans le cadre des normes (CEN/TS 14961) ou référentiels sur la caractérisation des combustibles, les analyses à réaliser sont classées dans deux grandes catégories : celles obligatoires, encore propriétés **normatives**, et celles facultatives ou liées à la spécificité d'un combustible-bois, appelées propriétés **informatives**. Une propriété informative ne pourra entraîner une contestation de la part du client que si le contrat d'approvisionnement y fait référence.

Le tableau ci-après récapitule l'ensemble des propriétés normatives et informatives que l'on peut spécifier pour les différents combustibles.

Remarque 1 : Il est souvent recommandé de spécifier les propriétés informatives, par exemple le pouvoir calorifique inférieur (en MJ/kg à réception) ou la densité d'énergie (en kWh/m³ de volume apparent), la masse volumique apparente (en kg/m³ de volume apparent), à réception, la teneur en Chlore (en % en masse sur produit sec, sous forme de classes : Cl 0.03, Cl 0.07, Cl 0.10, Cl 0.10+).

Remarque 2 : pour le granulé, le type et la teneur (en % de la masse pressée) des additifs devront être spécifiés.

Propriété	Plaquettes	Granulés	Sciure	Ecorce
Taille des particules (P), dimensions (D)				
Quantité de fines (F)				
Résistance mécanique (DU)				
Déchetage/ Broyage				
Humidité (M)				
Cendres (A)				
PCI ou densité d'énergie				
Additifs				
Traitement chimique				
Soufre (S)				
Azote (N)				
Masse volumique apparente				
Chlore (Cl)				

- propriété normative
- propriété normative si traitement chimique
- propriété normative si utilisation d'additifs contenant du soufre
- propriété informative
- sans objet

Information des acteurs du bois énergie

Edité en février 2010 par
 FIBRA - Fédération forêt-bois Rhône-Alpes
 Agrapole - 23, rue Jean Baldassini
 69364 LYON Cedex 07
 Tél. : 04 78 37 09 66 - Fax : 04 72 56 36 56
 info@fibra.net
 Site web : www.fibra.net