

REFERENTIEL COMBUSTIBLE BOIS ENERGIE : LES PLAQUETTES FORESTIERES

DEFINITION ET EXIGENCES

25 avril 2008

Etude réalisée pour le compte de l'ADEME par FCBA

Coordination technique : Elisabeth Le Net - Pôle Economie, Energie et Prospective,
10 avenue de Saint Mandé 75012 Paris

Remerciements

Ce travail n'a pu se réaliser que par le concours d'un certain nombre de personnes qui ont donné leurs conseils et avis lors de nombreuses réunions. Il doit également beaucoup à J-L. Bonnet (ex. CTBA) qui était à l'initiative de ce projet.

Ont participé :

C. Rantien pour l'ADEME

V. Joucla pour le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche

M. Leclercq pour le Ministère de l'Économie, de l'Industrie et de l'Emploi

J. Garet pour le Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire

M. Boyadjian et S. Prioux pour Elyo

P. Ollivier pour RBM

P. Pascal et A. Arnaud pour Veolia Propreté

D. Coutrot pour l'UIPP

Un remerciement spécial à P. Léon (SITA Suez), P. Chanrion (groupe PGS) et T. Charloux (FNB) pour leur active participation et disponibilité.

Merci également à ceux qui ont apporté plus particulièrement leur contribution lors de l'élaboration du référentiel « plaquettes forestières » en 2006 (A. Graffin – ONF, M. Guennoc – Dalkia, D. Cappe – ATEE, S. Villar - FIBOIS).

L'UCFF (S. Pitocchi) a été partie-prenante en tant que sous-traitant à ce travail.

Tous les organismes professionnels n'ont pu être sollicités pour l'élaboration des référentiels. Leur utilisation permettra certainement de détecter des points d'amélioration. Tout retour d'information est donc le bienvenu auprès de l'ADEME (boisenergie@ademe.fr).

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

En anglais :

Any representation or reproduction of the contents herein, in whole or in part, without the consent of the author(s) or their assignees or successors, is illicit under the French Intellectual Property Code (article L 122-4) and constitutes an infringement of copyright subject to penal sanctions. Authorised copying (article 122-5) is restricted to copies or reproductions for private use by the copier alone, excluding collective or group use, and to short citations and analyses integrated into works of a critical, pedagogical or informational nature, subject to compliance with the stipulations of articles L 122-10 – L 122-12 incl. of the Intellectual Property Code as regards reproduction by reprographic means.

L'ADEME en bref :

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement durables, et du ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche. Elle participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. L'agence met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public et les aide à financer des projets dans cinq domaines (la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit) et à progresser dans leurs démarches de développement durable.

<http://www.ademe.fr>

En anglais :

About ADEME :

The French Agency for the Environment and Energy Management (ADEME) is a public agency under the joint supervision of the French Ministries for Ecology, Sustainable Development and Spatial Planning, and for Higher Education and Research. It participates in the implementation of public policies in the fields of the environment, energy and sustainable development. The agency makes its expertise and consultancy skills available to business, local communities, public authorities and the general public and helps them to finance projects in five areas (waste management, soil preservation, energy efficiency and renewable energies, air quality and noise abatement) and to make progress with their sustainable development procedures.

<http://www.ademe.fr>

Sommaire

1. Définition et origine des plaquettes forestières	6
2. Caractéristiques des plaquettes forestières	6
2.1 Caractéristiques des plaquettes forestières	7
2.1.1 Granulométrie.....	7
2.1.2 Taux d'humidité	8
2.1.3 Quantité de chaleur fournie (PCI).....	10
2.1.4 Taux de cendres.....	13
2.2 Pour résumer	14
3. Garantie de respect du référentiel "plaquettes forestières"	15
3.1 Principes de la chaîne de contrôle des plaquettes forestières	15
3.1.1 Livraison d'un combustible unique	15
3.1.2 Livraison d'un mix produit.....	15
3.2 Informations à recenser	16
3.3 Schéma explicatif de la chaîne de contrôle des plaquettes forestières.....	17
3.4 Procédures de mesure et de contrôle	18
3.5 Intervention possible d'un organisme certificateur	18
4. Qualité des plaquettes forestières	19
ANNEXES	21
Annexe 1. Information sur la nomenclature ICPE et la réglementation	21
Annexe 2. Prestataires/laboratoires (à titre indicatif)	23
Annexe 3. Glossaire	24
Annexe 4. Certification en forêt	26
Annexe 5. Exemple de fiche de prélèvement	29
Annexe 6. Constitution des échantillons selon CEN/TS 14 778, 14 779, 14780	31
Annexe 7. Exemple de procédure de détermination de la granulométrie.....	33
Annexe 8. Exemple de procédure de détermination de l'humidité (simplifiée).....	34
Annexe 9. Exemple de procédure de détermination de l'humidité (micro-onde).....	35
Annexe 10. Exemple de procédure de détermination de l'humidité (PCI-mètre).....	36
Annexe 11. Exemple de procédure de détermination de l'humidité	37
Annexe 12. Exemple de procédure de détermination du pouvoir calorifique inférieur	38
Annexe 13. Exemple de procédure de détermination du pouvoir calorifique inférieur (à partir de l'humidité).....	40
Annexe 14. Exemple d'abaque Pouvoir Calorifique Inférieur Humidité du bois pour les plaquettes forestières	41
Annexe 15. Exemple de procédure de détermination du taux de cendres	43
Annexe 16. Exemple de procédure d'évaluation du taux de cendres d'après l'origine	44
Annexe 17. Références bibliographiques	45

Résumé

Ce référentiel entre dans un travail ayant visé à définir les caractéristiques et exigences techniques liées aux combustibles bois énergie utilisés pour l'alimentation de :

- Chaudières automatiques utilisées par des particuliers ;
- Chaudières automatiques utilisées dans des réseaux de chaleur des installations énergétiques ;
- Chaudières automatiques utilisées par des sites industriels ou des centrales de cogénération (permettant la production à la fois de chaleur et d'électricité).

Le travail a consisté à :

- Identifier les produits pouvant être valorisés comme combustibles en s'appuyant sur les spécifications techniques rédigées et publiées par le Comité Technique 335 de la Commission Européenne de Normalisation (CEN TC335 « biocombustibles solides »). En lien avec l'approche suivie par le CEN TC335, l'identification des produits (et leur listing) a été réalisée selon leur origine (activités) ;
- Démontrer la conformité du combustible à la définition de la biomasse pouvant être utilisée dans les unités de combustion.

Le présent document porte sur les « **plaquettes forestières** ». Toutefois, les mélanges et préparations intègrent les autres catégories de produit étudié par ailleurs que sont les connexes des industries du bois (cf. le référentiel « connexes ») et les produits en fin de vie (cf. le référentiel idoine) selon les principes suivants : 1/ entrent dans les référentiels, les mélanges et préparations composés uniquement des produits listés ; 2/ les tests et informations à apporter sont ceux du produit le plus "critique", ce qui est conforme aux dispositions du CEN TC335.

D'une manière générale, il est proposé de réaliser des tests *a minima* et n'excluent pas, de fait, que des mesures supplémentaires puissent être faites (en lien avec la réglementation).

Pour avoir une vision globale de l'approche suivie, il est conseillé de se reporter au document général compilant l'ensemble des référentiels.

1. Définition et origine des plaquettes forestières

Il s'agit de combustible obtenu par broyage ou déchiquetage de tout ou partie de végétaux ligneux issus de peuplements forestiers et de plantations n'ayant subi aucune transformation (directement après exploitation).

Du fait de leur origine, les plaquettes forestières peuvent contenir des fragments de bois, d'écorce, de feuilles ou d'aiguilles.

Le broyage ou le déchiquetage peut se réaliser en forêt, en bord de parcelle, sur place de dépôt, sur aire de stockage ou directement à l'entrée de la chaufferie et/ou de l'unité de transformation.

A noter : le référentiel plaquettes forestières peut s'appliquer au bois d'origine bocagère et bois d'origine urbaine tels les bois d'élagage urbains, y compris la partie ligneuse des refus de crible issus du compostage de déchets verts.

A noter :

- Le référentiel plaquettes forestières peut s'appliquer au bois d'origine bocagère et bois d'origine urbaine tels les bois d'élagage urbains ;
- Le référentiel propose de réaliser les tests *a minima* et n'exclut pas que pour des mélanges et préparations de produits de la catégorie "non-adjuvantée/non-traitée" (dont font partie les « plaquettes forestières ») exclusivement, des mesures supplémentaires puissent être faites (en lien avec la réglementation¹).
- Les mélanges et préparations n'intégreront que les produits entrant dans la catégorie « combustibles bois énergies » définis dans le référentiel.
- Une liste non-exhaustive de laboratoires et organismes pouvant réaliser les tests est proposée en **Annexe 2**.
- Un glossaire est proposé en **Annexe 3**.

2. Caractéristiques des plaquettes forestières

Les plaquettes forestières n'étant pas susceptibles d'avoir subi un traitement chimique et autres adjuvants, les critères permettant de les caractériser sont

- Des paramètres dits « normatifs » :
 - ⇒ Granulométrie ;
 - ⇒ Humidité ;
 - ⇒ Taux de cendres
- Des paramètres dits « informatifs » :
 - ⇒ Quantité d'énergie disponible par unité de masse
 - ⇒ (Taux de chlore)

La provenance (zone géographique de production du produit), n'est pas un critère de classement (CEN/TR 15234² recommande de préciser le pays d'origine du combustible sur la fiche de déclaration du combustible). Toutefois, cette information peut être exigée contractuellement (région, département, zonage spécifique type ICHN³, ...), tout comme la certification « gestion

¹ Cf. **Annexe 1**.

² CEN/TR 15234 « Guide pour un système d'assurance qualité des biocombustibles solides » (www.cen.eu).

³ Indemnités Compensatoires de Handicaps Naturels, pour plus d'information : <http://agriculture.gouv.fr>

durable » (cf. **Annexe 4**). A titre d'exemple, les plaquettes forestières issues de peuplements forestiers situés en bordure maritime peuvent être amenées à contenir un taux de chlore plus élevé que d'ordinaire (le paramètre « informatif » chlore peut donc être ainsi d'intérêt).

La détermination de caractéristiques des combustibles nécessite de réaliser des mesures sur un **échantillon représentatif** des produits livrés. L'**Annexe 5** « Exemple de fiche de prélèvement » présente à titre indicatif un exemple de fiche qui peut être remplie lors des prélèvements. L'**Annexe 6** « Constitution des échantillons selon CEN/TS 14778, 14779, 14780 » présente une méthode permettant de déterminer la taille et la composition des prélèvements.

La taille de l'échantillon à tester tient compte de deux paramètres :

- La représentativité de l'échantillon ;
- Les capacités des appareils de mesures existants sur le marché.

Les prélèvements peuvent être réduits après malaxage (éventuellement précédé d'un broyage) afin de s'ajuster à la taille des appareils de mesure. Les spécifiques techniques de mesures précisent généralement la taille de l'échantillon à tester après réduction.

Pour la mesure du taux de cendres, du taux de chlore et la mesure directe du PCI, les éléments doivent être réduits en poudre de granulométrie inférieure à 1 mm (si possible de 0,25 mm) avant brassage et réduction de l'échantillon à quelques grammes. L'affinage est généralement réalisé par le laboratoire.

2.1 Caractéristiques des plaquettes forestières

2.1.1 Granulométrie

2.1.1.1 Importance de la granulométrie

Le choix de la granulométrie s'établit selon le type d'installation de combustion : type de foyer et système d'aménagement du combustible du silo au foyer.

Elle dépend de quatre paramètres principaux : la nature, l'état et le réglage des couteaux, l'outil utilisé (type de broyeur ou de coupeuse), la dimension des éléments broyés (houppiers, perches, rémanents, etc.) et la vitesse d'introduction des bois dans la machine.

2.1.1.2 Mesure de la granulométrie

La classe de granulométrie est déterminée par tri des éléments dans différents tamis animés d'un mouvement rotatif. Il faut disposer au minimum de 4 tamis pour déterminer la classe de granulométrie :

- Le tamis correspondant à la partie « grossière » ;
- Le tamis correspondant à la classe de granulométrie ;
- Le tamis à maille de 3,15 mm ;
- Le tamis correspondant de 1 mm.

On trouvera en **Annexe 7** un exemple de procédure de détermination de la granulométrie conforme aux exigences de CEN/TS 15149.

2.1.1.3 Classes de granulométrie

Le CEN/TS 14961 a retenu les classes de granulométries suivantes (excepté P8) :

	Fraction principale > 80 % du poids	Fines < 5 %	Fraction dont la granulométrie est supérieure à < 1 %
P16	3,15 mm ≤ P ≤ 16 mm	< 1 mm	> 45 mm, l'ensemble < 85 mm
P45	3,15 mm ≤ P ≤ 45 mm	< 1 mm	> 63 mm
P63	3,15 mm ≤ P ≤ 63 mm	< 1 mm	> 100 mm
P100	3,15 mm ≤ P ≤ 100 mm	< 1 mm	> 200 mm
P300	3,15 mm ≤ P ≤ 300 mm	< 1 mm	> 400 mm

CEN/TS 14961 précise que 80 % (en masse) du combustible doit passer entre les mailles d'un tamis correspondant à la classe de granulométrie et être retenue dans le tamis correspondant à une granulométrie de 3,15 mm.

En aucun cas, la masse de « fines » ne doit dépasser 5 % (les fines sont des éléments passant au travers du tamis de 1 mm). Le respect de ce paramètre est indispensable pour limiter l'envol de poussières dans les fumées. Le filtrage des poussières nécessite des investissements importants et peut générer des coûts d'élimination élevés. Il est admis que 1 % des éléments (en masse) peuvent avoir une granulométrie dépassant nettement la valeur nominale de la classe, ces éléments constituant alors la « fraction grossière ». En pratique, cela signifie que dans une tonne de bois combustible on peut trouver jusqu'à 50 kg de fines et 10 kg de fractions grossières.

2.1.2 Taux d'humidité

L'humidité des plaquettes forestières varie suivant :

- l'essence puisque l'on peut rencontrer des écarts sensibles ;
- la grosseur des bois ou plus précisément l'importance du rapport « volume aubier/volume total » dans la mesure où les cellules jeunes contiennent toujours une quantité d'eau plus importante que celle rencontrée au niveau du bois parfait ;
- la période d'exploitation car la période végétative entraîne une augmentation d'humidité liée à la circulation de la sève ;
- les conditions de stockage car un abri des intempéries réduit logiquement les possibilités de reprise d'humidité ;
- les délais et périodes de stockage.

NB : à titre indicatif, le taux d'humidité des plaquettes forestières est d'environ 50 % lorsque le déchiquetage se fait sur du bois vert. Il peut être abaissé à 30 % après ressuyage à l'air libre, voire à moins de 20 % après stockage sous abri.

2.1.2.1 Importance de l'humidité

L'humidité contenue dans le bois est déterminante pour le bon fonctionnement de la chaudière. Une humidité mal adaptée est susceptible de réduire son rendement thermique et également de provoquer des rejets dans l'atmosphère pouvant dégrader la qualité de l'air. Une humidité trop faible peut entraîner des surchauffes dans le foyer et l'endommager. Par ailleurs le pouvoir calorifique dépend principalement du taux d'humidité du bois.

2.1.2.2 Mesure de l'humidité

La précision de la détermination de l'humidité dépend de deux paramètres :

- La taille de l'échantillon ;
- L'appareil de mesure : étuve, « PCI-mètre », four à micro-ondes, etc., ...⁴

Selon CEN/TS 14774, le minimum à tester est de 300 g ; cependant il est recommandé de tester une masse supérieure à 500 g, voire 1 à 2 kg lorsque la granulométrie est supérieure à 100 mm. CEN/TS 14774 propose une méthode de référence et une méthode simplifiée :

- La méthode de référence et la méthode simplifiée sont des méthodes par déshydratation en étuve à une température comprise entre 103 et 107°C. Elles nécessitent de posséder une balance de précision (0,1 g), pour peser le combustible, avant et après élimination de l'eau. La durée de la déshydratation est d'environ 24 heures.
- La méthode de référence exige que l'échantillon soit disposé dans des coupelles de façon à exercer une pression d'environ 1 g/cm². Cette disposition permet une meilleure ventilation des éléments et une dessiccation homogène

⁴ Cf. « Mesure des caractéristiques des combustibles bois : évaluation et proposition de méthodes d'analyse de combustible », CRITT bois, FIBOIS, CTBA. Juin 2001.

On trouvera en **Annexe 8** un exemple de procédure pour appliquer la méthode simplifiée.

Lorsque le combustible est homogène (granulométrie et humidité), il n'y a pratiquement pas de différence entre la méthode de référence et la méthode simplifiée proposée dans le CEN TC335. CEN/TS 14774 ne préconise aucune valeur pour la précision des mesures. Le choix de la méthode pour mesurer l'humidité dépendra d'abord de l'incertitude maximale, par rapport à la méthode de référence normalisée (CEN/TS 14774-1) et de l'intérêt de disposer d'un résultat immédiat.

Méthodes	Avantage	Inconvénient	Temps passé par l'opérateur
Méthode de référence (CEN/TS 14774-1)	Méthode universelle	Résultat disponible en 24 heures	30 à 40 minutes
Méthode simplifiée (CEN/TS 14774-2)	Méthode universelle	Résultat disponible en 24 heures Incertitude de 1 à 2 points par rapport à la méthode de référence	20 à 30 minutes
<i>Méthodes et quelques outils possibles de façon opérationnelle⁵</i>			
Méthode par micro-ondes	Résultat immédiat	Incertitude pouvant atteindre 10 à 15 points par rapport à la méthode de référence Risque d'auto - inflammation	30 à 40 minutes
« PCI-mètre » pour taux d'humidité	Résultat Immédiat	Incertitude de 2 à 3 points par rapport à la méthode de référence du CEN TC335.	30 à 40 minutes
FMV 3000	Immédiat	Nécessite des étalonnages précis. Risque d'incertitude élevé pouvant atteindre 10 points par rapport à la méthode de référence du CEN TC335. Limite surtout pour les produits « humides »	5 à 10 minutes

Les laboratoires facturent généralement les mesures d'humidité entre 30 et 70 € par mesure (à titre indicatif).

2.1.2.3 Classes d'humidité

Le CEN/TS 14961 a retenu différentes classes d'humidité (M pour *moisture*), complétées dans la rédaction du référentiel par les besoins des utilisateurs/opérateurs (avec un *) :

Humidité (% à la livraison) ⁶	
M10*	≤ 10 % ⁷
M20	≤ 20 %
M25*	≤ 25 %
M30	≤ 30 %
M35*	≤ 35 %
M40	≤ 40 %
M45*	≤ 45 %
M50*	≤ 50 %
M55	≤ 55 %
M65	≤ 65 %

Les classes sont données en pourcentage d'humidité sur brut (masse d'eau /masse totale).

Les classes d'humidité ont des amplitudes de 10 à 15 points dans le CEN TC335 et sont plus précises dans le référentiel. Les valeurs ont été choisies de telle sorte que les concepteurs de chaufferies, chaudières et dispositifs de stockage puissent disposer de l'information nécessaire

⁵ Cf. **Annexe 9**, **Annexe 10** et **Annexe 11**.

⁶ Les classes avec un * sont celles qui ont été ajoutées par rapport au CEN TC335.

⁷ Pour emploi intérieur, dont parquet...

pour concevoir les appareils, préciser le cahier des charges des combustibles à respecter et rédiger le carnet d'entretien des matériels.

2.1.3 Quantité de chaleur fournie (PCI)

2.1.3.1 Importance du PCI

Le pouvoir calorifique correspond à la quantité d'énergie (par unité de masse ou de volume) dégagée par un corps lors de sa combustion complète (CEN/TS 14588). Il faut distinguer :

- Le **pouvoir calorifique supérieur (PCS)** : valeur absolue de l'énergie spécifique de combustion (exprimée en Joules par unité de masse) d'un combustible solide brûlé en présence d'oxygène dans une bombe calorimétrique dans des conditions spécifiques (CEN/TS 14588). La mesure est relevée avant que la vapeur d'eau ne se condense.
- Le **pouvoir calorifique inférieur (PCI)** : valeur mesurée lorsque toute l'eau des produits de la réaction est à l'état de vapeur (0,1 Mpa). Cette valeur sert souvent de base pour les transactions commerciales des combustibles bois.

Le PCI correspond à la quantité de chaleur maximale qui pourra être dégagée dans une chaudière classique. La détermination du PCI nécessite la mesure du PCS, c'est pourquoi cette notion est souvent utilisée. On peut également penser que les parcs de chaudières compteront de plus en plus d'appareils à condensation permettant d'utiliser la totalité de l'énergie contenue dans le PCS.

Bien que les travaux européens conseillent l'emploi du Joule et de ses multiples, l'usage est le plus souvent d'exprimer les résultats en kilowatt-heure (kWh) ou mégawatt-heure (MWh).

La mesure du PCI peut se faire par mesure du PCS dans une bombe calorimétrique, puis détermination dans un condenseur de la chaleur latente de vaporisation de l'eau. Les éléments doivent être réduits en poudre de granulométrie inférieure à 1 mm (si possible de 0,25 mm) avant brassage et réduction de l'échantillon à la capacité de l'appareil (généralement 1 à 2 g, parfois 5 g)

Selon CEN/TS 14918 la précision des mesures est satisfaisante si les essais de répétabilité donnent des résultats qui diffèrent de moins de 120 J/g et ceux de reproductibilité des écarts inférieurs à 300J/g.

Les déterminations du PCI par essai en bombe calorimétrique sont facturées à titre indicatif entre 250 et 450 € par essai (broyage du combustible compris). Il est conseillé de réaliser au moins trois essais pour appliquer les tests de répétabilité.

Un exemple de procédure de mesure du PCI en application de CEN/TS 14918 figure en **Annexe 12**.

On constate que PCS et PCI à l'état anhydre varient peu suivant les différentes essences de bois. Pour les feuillus le pouvoir calorifique inférieur anhydre se situe 18 et 19 MJ/kg (4 800 à 5 300 kWh/tonne) ; pour les conifères, il est légèrement plus élevé compte tenu de la présence de résine.

2.1.3.2 Mesure du PCI

Le PCI **dépend principalement de l'humidité du combustible**, c'est pourquoi le PCI est souvent évalué à partir de l'humidité du bois (H) par la formule :

$$Q = Q_0 \times \frac{100 - H}{100} - 0,02443 \times H \text{ pour un PCI en MJ/kg.}$$

Si le résultat doit être donné en kWh/kg il faut diviser par 3,6 la valeur exprimée en MJ/kg.

Q_0 correspond au PCI du bois à l'état anhydre.

Exemple numérique :

$Q_0 = 17,3 \text{ MJ/kg}$ (4 800 kWh/t)

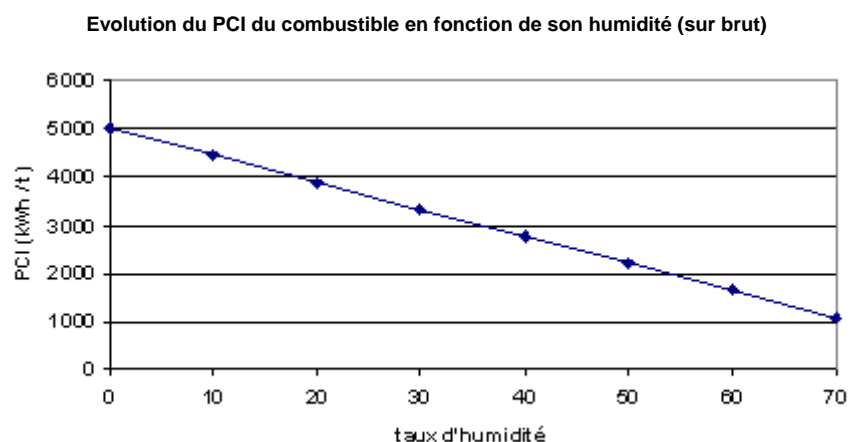
$H = 30 \%$

Le PCI est 11,4 MJ/kg, soit 3 160 kWh/t

On trouvera en **Annexe 13** un exemple de procédure de calcul du PCI à partir de l'humidité moyenne du lot.

La précision de la détermination du PCI dépend bien évidemment de la précision avec laquelle a été déterminée la valeur du PCI anhydre et celle de l'humidité.

Le site DGEMP-ADEME propose, dans un objectif statistique, de calculer, à l'aide d'une formule simplifiée le PCI d'un lot de bois à partir de l'humidité.



Formule (en kWh / t) : $PCI (E \%) = (PCI (0 \%) \times (100 - E) / 100) - 6 \times E$ avec E = l'humidité (sur masse brute) du bois en pourcentage

La formule exacte est : $PCI (E \%) = (PCI (0 \%) \times (100 - E) / 100) - 6.7861 \times E$

La courbe est représentée pour un PCI anhydre de 5 000 kWh / t. Selon CEN/TS 14961, le PCI anhydre varie généralement entre 5 000 et 5 300 kWh/t (18 à 19 MJ/kg).

Un exemple d'abaque de calcul du PCI en fonction de l'humidité uniquement et des données par essence sont mis en **Annexe 14** (il s'agit uniquement de données pour les plaquettes forestières⁸).

Le tableau ci-après résume l'incertitude (en %) sur le calcul du PCI en fonction de l'incertitude sur la détermination du PCI anhydre et de l'humidité du lot :

⁸ Pour les plaquettes forestières, il est possible d'avoir recours à un outil disponible en ligne (feuille Excel) avec des conversions par essence sur : <http://www.itebe.org/portail/affiche.asp?arbo=1&num=455>.

Incertitude sur la détermination du PCI en fonction de l'incertitude sur la mesure de l'humidité et celle sur le PCI anhydre

Incertitude par point d'humidité	Incertitude en % sur le PCI anhydre				
	1	2	3	4	5
1	2	3	3	4	4
2	4	4	5	5	6
5	8	8	9	9	10
10	14	14	15	15	16
15	19	20	20	21	21

Ce tableau montre que :

- Si l'on utilise la classe d'humidité (et non la valeur exacte) de la classe de PCI, l'incertitude est d'environ 20 % pour les bois appartenant aux classes M55 et M65, elle est d'environ 15 % pour les classes M20, M30 et M40 ;
- Si l'on recherche une précision de 10 % il faut connaître l'humidité avec une incertitude inférieure ou égale à 5 %. Le PCI-mètre et, dans certains cas, le FMV 3000 peuvent être utilisés pour ces mesures ;
- Si l'on recherche une précision de 5 %, il faut connaître l'humidité avec une précision de 2 %, la méthode simplifiée CEN/TS 14474-2 peut être appliquée ;
- Si l'on recherche une précision inférieure à 5 %, seule la méthode de référence CEN/TS 14474-1 peut être appliquée.

Un résultat plus précis pourrait être obtenu en faisant intervenir le taux de cendres. Il permet en fait d'avoir une meilleure précision sur le PCI anhydre, en déterminant le PCI, hors cendres. L'application de la formule nécessite de connaître le taux de cendres du combustible. La littérature donne quelques valeurs moyennes de taux de cendres non exogène (cf. 2.1.4) des principaux combustibles bois. Les cendres exogènes pouvant être en quantité très variable, l'utilisation de cette formule n'a de réel intérêt que si des mesures fréquentes sont réalisées pour déterminer le taux de cendres.

$$Q = Q_{o,net,daf} \times \frac{100 - (H + A_{h\%})}{100} - 0,02443 \times H$$

où

Q est le PCI en MJ/kg ;

$Q_{o,net,daf}$ est le PCI à l'état anhydre et pour un combustible, taux de cendres exclus.

H est l'humidité du lot ;

$A_{h\%}$ est le taux de cendres du lot, exprimée en pourcentage de la masse totale (eau comprise).

Exemple numérique :

$$Q_{o,net,daf} = 17,5 \text{ MJ/kg (4 860 kWh/kg)}$$

$$H = 30 \%$$

$$A_{h\%} = 3 \%$$

Le PCI est 12 MJ/kg, soit 3,3 45 kWh/t

Le tableau ci-dessous résume l'incertitude (en %) sur le calcul du PCI en fonction de l'incertitude sur la détermination du taux de cendres et de l'humidité du combustible.

Incertaince sur la détermination du PCI en fonction de l'incertaince sur la mesure de l'humidité et celle sur le PCI anhydre

Incertaince par point d'humidité	Incertaince sur le taux de cendres					10
	1	2	3	4	5	
1	1	2	3	3	4	7
2	3	4	4	5	6	8
5	8	8	9	9	10	12
10	14	14	15	15	16	16
15	19	19	20	20	21	23

2.1.4 Taux de cendres

2.1.4.1 Importance du taux de cendres

Les cendres sont un sous produit de la combustion qu'il faut stocker puis valoriser ou éliminer. Par ailleurs, Il existe deux types de cendres :

- Les cendres non exogènes produites par les matières minérales constitutives du bois ;
- Les cendres exogènes produites par des impuretés acheminées avec le bois (terres, cailloux, graviers chutes de métal, etc.).

La détermination du taux de cendres est nécessaire lorsque l'on souhaite calculer de façon très précise le PCI du combustible.

L'usage a souvent consacré le terme taux de cendres pour les cendres non exogènes et taux d'impureté pour les cendres exogènes.

2.1.4.2 Mesure du taux de cendres

Le taux de cendres se mesure dans un incinérateur, généralement sur des échantillons de 1 à 2 g, parfois 5 g. Le combustible est réduit en particules de moins de 1 mm de granulométrie (idéalement 0,25 mm). Le taux de cendres mesuré correspond le plus souvent au taux de cendres non exogènes.

CEN/TS 14775 ne préconise aucune valeur pour la précision des mesures, toutefois l'annexe informative suggère d'utiliser le test de répétabilité et reproductibilité de ISO 1171 (Solid Mineral Fuels).

Test suggéré pour accepter le résultat de la détermination du taux de cendres

Taux de cendres	Valeur maximale acceptable entre les résultats	
	Répétabilité (Même laboratoire)	Reproductibilité (Entre plusieurs laboratoires)
Inférieur à 10 %	0,2 % sur l'écart maximal	0,3 % sur l'écart maximal
Supérieur ou égal à 10 %	2 % par rapport à la moyenne	2 % par rapport à la moyenne

On trouvera en **Annexe 15** un exemple de procédure de détermination du taux de cendres en incinérateur.

2.1.4.3 Classes de taux de cendres

CEN/TS 14961 recommande d'exprimer le taux de cendres en classes allant de A0,7 à A10+ correspondant au pourcentage (en masse) du poids de cendres sur le poids de combustible sec.

La mesure du taux de cendres est généralement facturée entre 100 et 200 € par essai (à titre indicatif). Il est recommandé de réaliser au moins trois mesures pour appliquer le test de répétabilité.

Il est possible de connaître le taux de cendres habituellement constaté à l'aide des tableaux du CEN/TS 14961 (voir **Annexe 16**) :

- Ecorces : 5 %
- Rémanents forestiers : 2 %
- Perches, grumes, chutes de bois massifs : 0,3 %.

Le CEN/TS 14961 a retenu les classes de taux de cendres (A pour *ash*) suivantes

Cendres (% en masse sur produit sec)	
A0.7	≤ 0,7 %
A1.5	≤ 1,5 %
A3.0	≤ 3,0 %
A6.0	≤ 6,0 %
A10.0	≤ 10,0%
A10.0+	> 10,0 %
valeur réelle à mentionner	

2.2 Pour résumer

		Plaquettes forestières
Normatif	Granulométrie (plaquette et broyat; écorce si déchetée ou non)	*
	Humidité	*
	Taux de cendres	*
	Azote	
Informatif	Quantité d'énergie disponible par unité de masse	*
	Masse volumique apparente	<i>si transaction par volume</i>
	Chlore	(*)

3. Garantie de respect du référentiel "plaquettes forestières"

Afin de garantir l'origine des combustibles "plaquettes forestières", les opérateurs peuvent décider de mettre en place un système de traçabilité des produits. Ceci permettrait d'assurer un suivi des combustibles depuis leur site de production (forêt, ...) jusqu'à la chaufferie ou l'usine qui doit être approvisionnée.

3.1 Principes de la chaîne de contrôle des plaquettes forestières

Deux cas doivent être distingués :

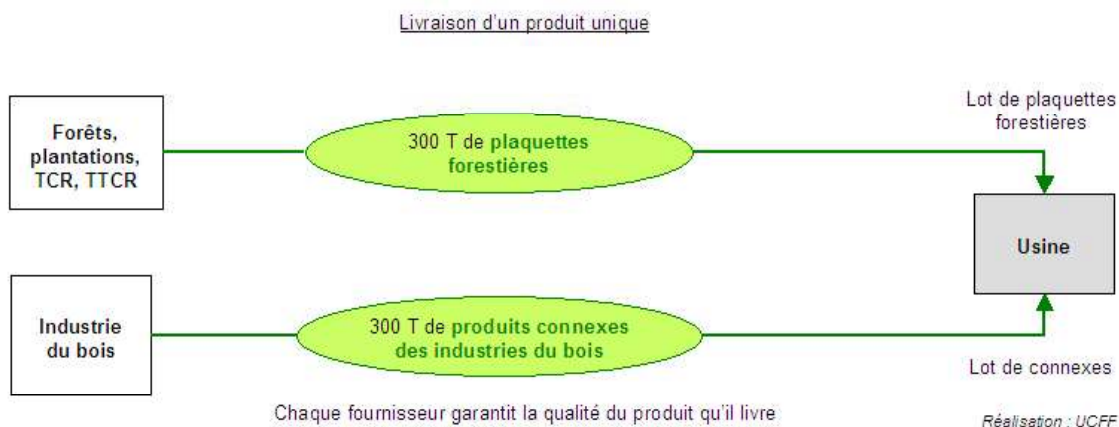
- Le combustible livré à la chaufferie est constitué d'un seul et même produit ;
- Le combustible livré à la chaufferie est constitué d'un mix de différents produits (cf. le document général de l'étude sur les référentiels combustibles bois énergie pour avoir la liste des produits en annexe 4).

3.1.1 Livraison d'un combustible unique

Dans ce cas là, il est facile d'avoir une traçabilité précise du produit qui est livré à la chaufferie. En effet, l'unique fournisseur du combustible doit garantir la qualité des produits qu'il livre.

Il semble donc aisé de mettre en place une chaîne de contrôle basée sur le **principe de la séparation physique des lots de produits**, supportée par chaque fournisseur. Les fournisseurs doivent garantir la qualité des produits qu'ils livrent et doivent s'assurer d'être capables de prouver qu'ils respectent leurs engagements.

Exemple :



Note : TCR = taillis à courte rotation, TTCR = taillis à très courte rotation

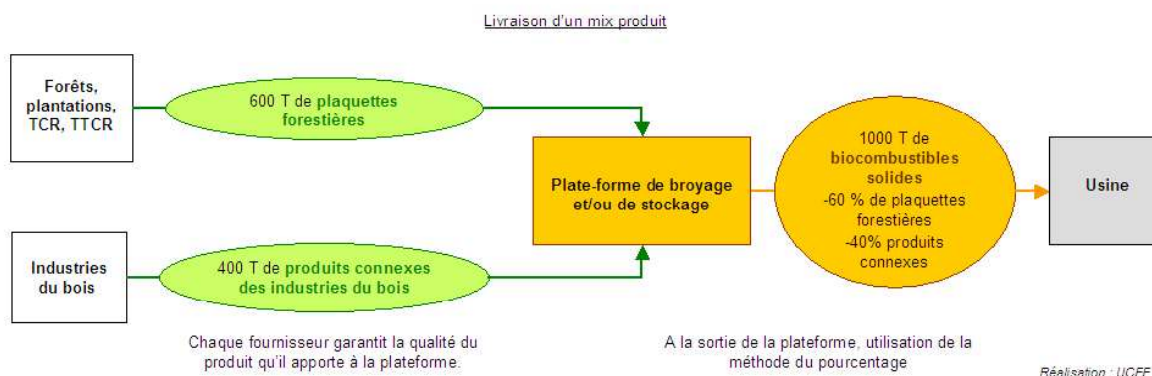
3.1.2 Livraison d'un mix produit

Il s'agit des cas où le produit qui est livré à la chaufferie est un mélange de différents combustibles, qu'il soit livré par un seul ou plusieurs fournisseurs. Cette situation se rencontre lorsque **les produits transitent par une plateforme** de broyage et/ou de stockage pour être mélangés par la suite.

Dans ce cas là, la règle de la séparation physique des produits ne peut plus s'appliquer, c'est la **méthode du pourcentage** qu'il faut suivre. Le mix produit livré à la chaufferie contiendra une proportion de chaque combustible égale à : quantité du combustible / quantité totale livrée.

Chaque produit composant le mix doit être assimilable à du combustible bois énergie faisant partie de la liste de produits identifiés dans les référentiels.

Exemple :



Note : TCR = taillis à courte rotation, TTCR = taillis à très courte rotation

3.2 Informations à recenser

Plusieurs renseignements seront à noter au cours de cette traçabilité :

- **L'origine du produit** (produits issus de forêts et / ou de plantations et / ou de haies, produits issus des industries du bois, produits bois en fin de vie, assortiments/préparations et / ou mélanges de produits) ;
- La **provenance du produit** en fonction de différents zonages géographiques : pays⁹, région, département, zonages spécifiques de type ICHN (dans le cas des plaquettes forestières).

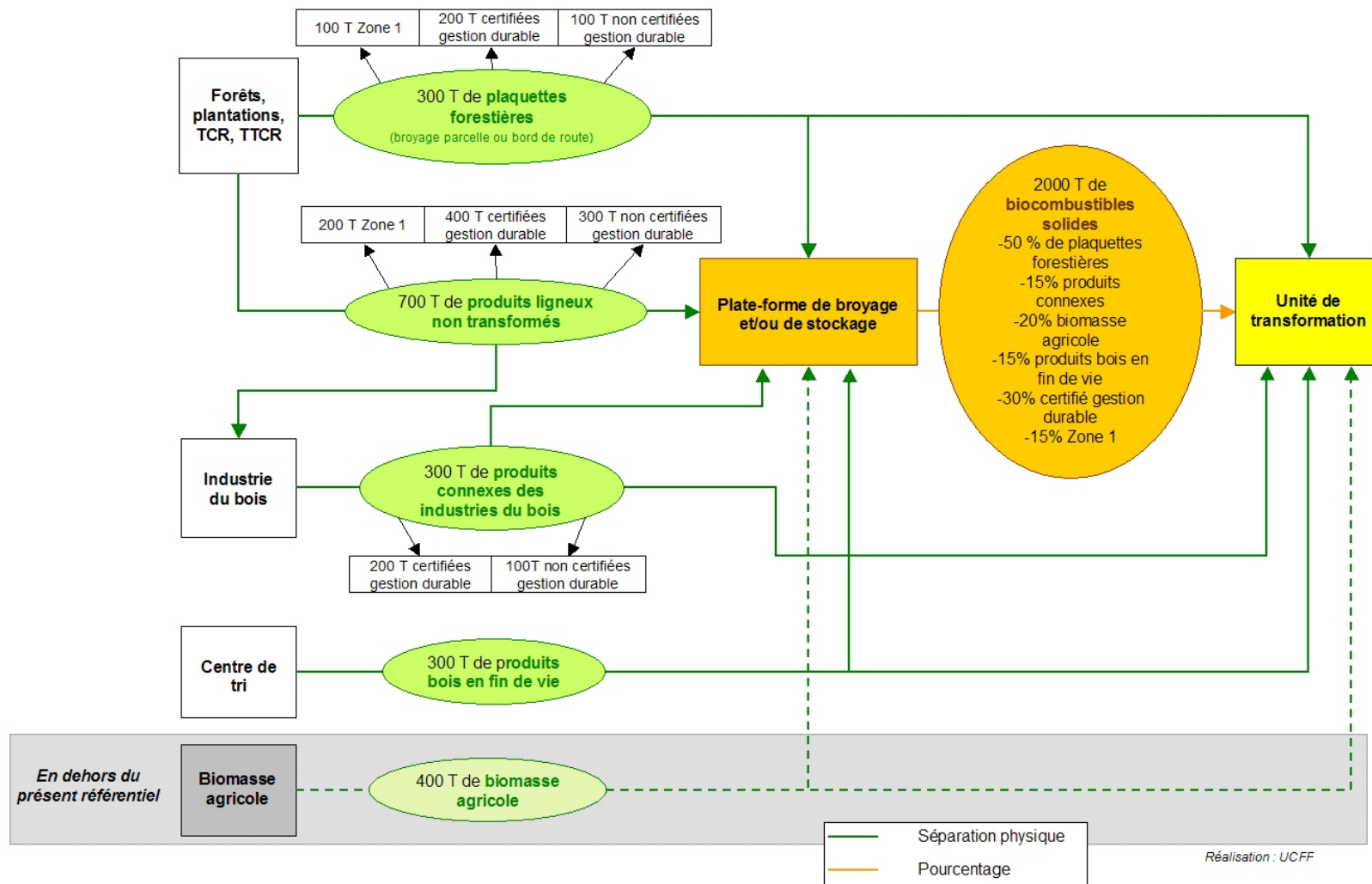
La traçabilité peut être assurée en complément de la chaîne de contrôle de certification « gestion durable »¹⁰. Outre les informations prévues par le référentiel « plaquettes forestières », cela permettra d'identifier le volume provenant de forêts gérées durablement. Cela permettra également d'utiliser les contrôles réalisés en aval de la chaîne (granulométrie par exemple).

⁹ L'origine « pays » est recommandée pour tous les produits par CEN/TS 15234. Il s'agit du lieu de récolte ou du premier lieu de commercialisation du produit.

¹⁰ En **Annexe 4**, présentation de la certification forestière. Pour la liste des organismes certificateurs, cf. <http://pro.pefc-france.org/Topic.aspx?i=3&v=2133> et <http://www.fsc-france.org>.

3.3 Schéma explicatif de la chaîne de contrôle des plaquettes forestières

Le schéma ci-après illustre le système qui pourrait être mis en place.



Ce schéma reprend les différentes possibilités de livraison (produit unique ou mix produit) selon l'origine de chaque combustible. Les combustibles sont donc soit apportés séparément à l'usine qui les consomme (méthode de la séparation physique des produits), soit par l'intermédiaire d'une plateforme (méthode des pourcentages).

Ce schéma détaille, pour chaque combustible, la quantité de produit mais aussi des informations complémentaires qu'il est possible de suivre comme ici :

- Identification si besoin des quantités de produits certifiées « gestion durable » (PEFC, FSC....) ;
- Identification si besoin de la provenance des produits.

Il s'agit de deux types d'informations complémentaires données à titre d'exemple et qui pourront être complétées par d'autres renseignements le cas échéant.

Exemple : 300 T de plaquettes forestières dont :

- 100 T provenant de la zone géographique 1, par exemple le département de la Savoie (et donc 200 T dont la provenance n'est pas précisée) ;
- 200 T de plaquettes forestières certifiées PEFC/FSC... (et donc 100 T de plaquettes non PEFC/FSC...).

Afin de laisser à chaque utilisateur de combustible bois la liberté d'indiquer les caractéristiques des produits qu'il souhaite, les critères mis en évidence sur ce schéma ne sont présents qu'à titre indicatif. Les cahiers des charges de livraison des combustibles seront à préciser contractuellement selon les besoins.

De la même façon, nous avons laissé sur ce schéma la possibilité d'apporter des produits certifiés « gestion durable » pour toutes les origines de combustible bois, il ne s'agit que d'une proposition.

3.4 Procédures de mesure et de contrôle

A ce jour, le système de traçabilité envisagé est un système déclaratif, basé sur l'autocontrôle mené par les fournisseurs et les clients à partir des procédures décrites en annexe.

Plusieurs exigences découlent de la mise en place d'un système de chaîne de contrôle permettant de garantir la qualité des combustibles "plaquettes forestières" livrés tel que définis précédemment. La mise en place de procédures aux différentes étapes de la production et de la commercialisation permet de garantir que les exigences du référentiel sont satisfaites.

3.5 Intervention possible d'un organisme certificateur

La chaîne de contrôle des combustibles "plaquettes forestières" peut être ou non certifiée par un organisme extérieur. Le rôle de l'organisme certificateur serait alors de vérifier que :

- Les procédures mises en place (traçabilité incluse) permettent d'atteindre les exigences du référentiel ;
- Les procédures sont correctement appliquées.

4. Qualité des plaquettes forestières

Les contrats, bordereaux de livraison, factures ou autres documents annexés aux livraisons renvoient les valeurs de chacun des critères retenus pour la fourniture de combustibles bois énergie. Ces informations permettent le suivi de la qualité des produits et contiennent les renseignements normatifs et *informatifs* (en italique) suivants :

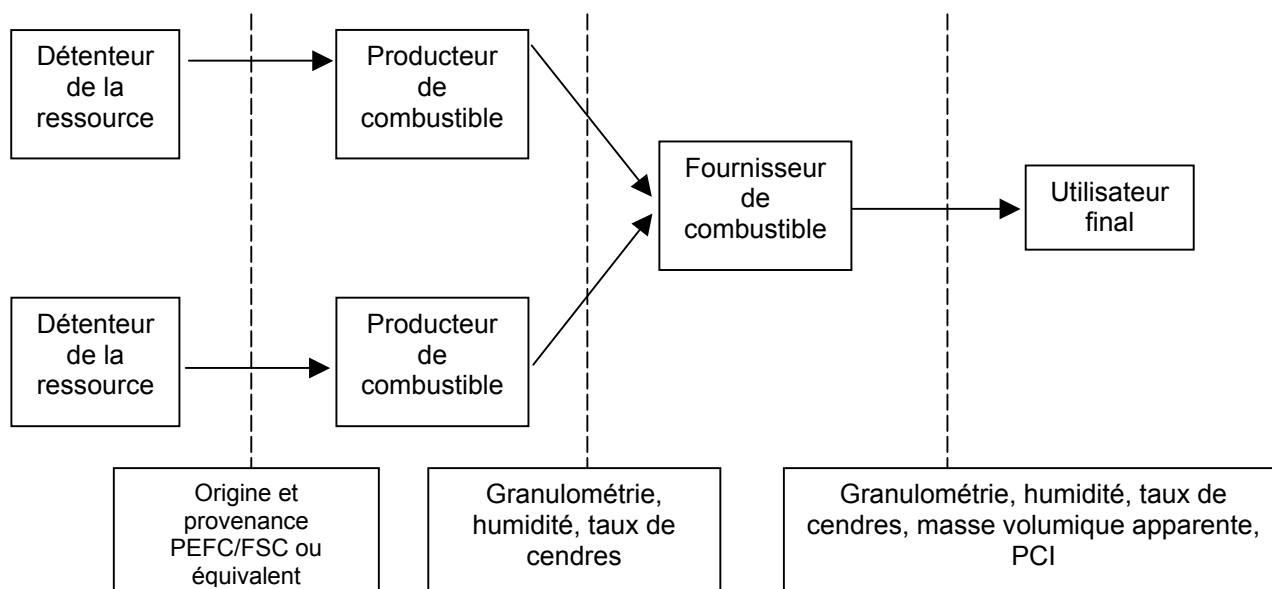
Éléments à recenser pour assurer la qualité des combustibles "plaquettes forestières"

Origine	- Plaquettes forestières - ...
Informations relatives à la traçabilité du combustible	- Provenance - Certification « gestion durable »
Quantité livrée	En tonne ou en m ³ (apparents)
Classe de granulométrie (mm)	P16, P45, P63, P100, P300
Classe d'humidité (%)	M20, M25*, M30, M35*, M40, M45*, M50*, M55, M65 (* = nouvelles classes par rapport au CEN TC335)
Taux de cendres (%)	A0.7, A1.5, A3.0, A6.0, A10.0, A10.0+ (1)
<i>Pouvoir calorifique Inférieur</i>	<i>en kWh/kg</i>
<i>Taux de chlore</i>	<i>(éventuellement)</i>

(1) Préciser la valeur exacte

Les responsabilités des opérateurs pour la collecte des informations seront fixées contractuellement. On pourra s'inspirer des recommandations de CEN/TS 15234¹ résumées sur le schéma ci dessous :

Exemple de points de collecte des informations :



On pourra décider de façon contractuelle de transférer ces informations sur une fiche de déclaration de la qualité, dont un modèle figure ci-dessous, ou de les inclure dans les documents commerciaux.

¹ CEN/TR 15569 « Guide pour un système d'assurance qualité des biocombustibles solides » (www.cen.eu).

Exemple de fiche qualité dans la livraison de combustible « plaquettes forestières » :

NOM DU FOURNISSEUR :	NOM DU CLIENT :
N° SIRET :	
Adresse fournisseur :	Adresse client :
.....	
Code postal :	Code postal :
.....	
Tel :	Tel :
.....	

Origine du bois	<input type="checkbox"/> Plaquettes forestières <ul style="list-style-type: none"> • forêts • plantations <input type="checkbox"/> Autres plaquettes (haies bocagères ; zone urbaine ; refus de crible issus du compostage de déchets verts...)	
Informations relatives à la traçabilité du combustible	1. Types de provenance : <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Pays d'origine <input type="checkbox"/> Région ou département (si prévu contractuellement) <input type="checkbox"/> Mentionner le zonage (réf. ICHN ou Prométhée par ex.) (si prévu contractuellement) 	2. Indiquer le volume ou % provenant de forêts certifiées PEFC ou équivalent (si prévu contractuellement)
Quantité livrée	Masse/volume : Unité : <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> tonnes <input type="checkbox"/> m³ apparents 	
Classe de granulométrie (en mm) <i>(P pour particle size)</i>	<input type="checkbox"/> P16 <input type="checkbox"/> P45	<input type="checkbox"/> P63 <input type="checkbox"/> P100 <input type="checkbox"/> P300
Classe d'humidité (%) <i>(M pour moisture)</i>	<input type="checkbox"/> M20 <input type="checkbox"/> M30 <input type="checkbox"/> M35 <input type="checkbox"/> M40	<input type="checkbox"/> M45 <input type="checkbox"/> M50 <input type="checkbox"/> M55 <input type="checkbox"/> M65
Taux de cendres (%) <i>(A pour ash)</i>	<input type="checkbox"/> A0.7 <input type="checkbox"/> A1.5 <input type="checkbox"/> A3.0	<input type="checkbox"/> A6.0 <input type="checkbox"/> A10.0 <input type="checkbox"/> A10.0+ Valeur mesurée :
<i>Pouvoir calorifique Inférieur (kWh/t ou kWh/map)</i>	
<i>Essence ou groupe d'essences</i>	<i>Pour les plaquettes forestières</i>	

Note : ICHN = Indemnités Compensatoires de Handicaps Naturels, pour plus d'information : <http://agriculture.gouv.fr>

En italique : éléments informatifs

Pour plus d'information, cf. le référentiel sur le site de l'ADEME : www.ademe.fr



ANNEXES

Annexe 1. Information sur la nomenclature ICPE et la réglementation¹

Réglementation des installations de combustion

1. Nomenclature des installations classées

Les chaudières sont visées par la rubrique 2910 de la nomenclature des installations classées. Cette rubrique a été définie par le décret n°96-197 du 11 mars 1996 puis modifiée par le décret n°2006-678 du 8 juin 2006, modifiant la nomenclature des installations classées.

N°	Désignation de la rubrique	A,D,S,C (1)	Rayon (2)
2910	<p>Combustion à l'exclusion des installations visées par les rubriques 167C et 322 B4.</p> <p>La puissance thermique maximale est définie comme la quantité maximale de combustible, exprimée en PCI, susceptible d'être consommée en une seconde.</p> <p>Nota : La biomasse se présente à l'état naturel et n'est ni imprégnée ni revêtue d'une substance quelconque. Elle inclut le bois sous forme de morceaux bruts, d'écorces, de bois déchiquetés, de sciures, de poussières de ponçage ou de chutes issues de l'industrie du bois, de sa transformation ou de son artisanat.</p> <p>A. Lorsque l'installation consomme exclusivement, seuls ou en mélange, du gaz naturel, des gaz de pétrole liquéfiés, du fioul domestique, du charbon, des fiouls lourds ou de la biomasse, à l'exclusion des installations visées par d'autres rubriques de la nomenclature pour lesquelles la combustion participe à la fusion, la cuisson ou au traitement, en mélange avec les gaz de combustion, des matières entrantes, si la puissance thermique maximale de l'installation est :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. supérieure ou égale à 20 MW 2. supérieure à 2 MW, mais inférieure à 20 MW <p>B. Lorsque les produits consommés seuls ou en mélange sont différents de ceux visés en 1 et si la puissance thermique maximale est supérieure à 0,1 MW</p>	<p></p> <p></p> <p></p> <p></p> <p></p> <p></p> <p></p> <p></p> <p></p> <p style="text-align: center;">A DC</p> <p style="text-align: center;">A</p>	<p></p> <p></p> <p></p> <p></p> <p></p> <p></p> <p></p> <p></p> <p></p> <p style="text-align: center;">3</p> <p style="text-align: center;">3</p>

(1) A : Autorisation, D : Déclaration, S : Servitude d'utilité publique, C : soumis au contrôle périodique prévu par l'article L. 512-11 du code de l'environnement

(2) Rayon d'affichage exprimé en kilomètres

¹ Information Ministère de l'Ecologie.
ADEME

2. Etat de la réglementation des installations de combustion visées par la rubrique 2910 de la nomenclature des installations classées

Comme indiqué dans le tableau ci-dessous, les installations de combustion sont réglementées par différents arrêtés ministériels, selon leur puissance thermique, le type d'installation et la date de leur arrêté préfectoral d'autorisation.

Puissance de l'installation en MW _{th}	2 à 20	Supérieur ou égal à 20
Chaudières autorisées avant le 31 juillet 2002	Arrêté du 25/07/97	Arrêté du 30/07/03
Chaudières autorisées après le 31 juillet 2002	Arrêté du 25/07/97	Arrêté du 20/06/02
Turbines, moteurs et chaudières de postcombustion	Arrêté du 25/07/97	Arrêté du 11/08/99
Autres installations de combustion visées par la rubrique 2910	Arrêté du 25/07/97	Arrêté du 02/02/98

Les installations soumises à déclaration, dont la puissance thermique est comprise entre 2 et 20 MW sont réglementées par l'arrêté ministériel du 25 juillet 1997 modifié relatif aux prescriptions générales applicables aux installations classées soumises à déclaration sous la rubrique n°2910 : Combustion.

Les installations soumises à autorisation (puissance thermique supérieure à 20 MW) sont, selon leur nature et la date de leur arrêté préfectoral réglementées par les textes suivants :

- pour les turbines, moteurs et chaudières de postcombustion : l'arrêté ministériel du 11 août 1999 modifié, relatif à la réduction des émissions polluantes des moteurs et turbines à combustion ainsi que des chaudières utilisées en postcombustion soumises à autorisation sous la rubrique 2910 de la nomenclature des installations classées ;
- pour les chaudières autorisées avant le 31 juillet 2002 : l'arrêté ministériel du 30 juillet 2003 modifié, relatif aux chaudières présentes dans les installations existantes de combustion d'une puissance supérieure à 20 MW ;
- pour les chaudières autorisées à compter du 31 juillet 2002 : l'arrêté ministériel du 20 juin 2002 modifié, relatif aux chaudières présentes dans une installation nouvelle ou modifiée d'une puissance supérieure à 20 MW ;
- pour les autres installations de combustion : l'arrêté ministériel du 2 février 1998 modifié, relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation.

Annexe 2. Prestataires/laboratoires (à titre indicatif)

BUREAU VERITAS

32 rue Rennequin
75017 PARIS

Centre Technique des Industries Aéronautiques et Thermiques

Domaine Scientifique de la Doua - 25, avenue des Arts
BP 2042 - 69603 VILLEURBANNE Cedex – France

Ceten APAVE

191 rue de Vaugirard
75015 PARIS

CRITT Bois Epinal

27 rue du Merle Blanc
BP 91067
88051 Epinal Cedex 9

CTP

Laboratoire d'analyse chimique
Domaine universitaire
BP251
341 rue de la Papeterie
38044 Grenoble Cedex 09

FCBA

Pôle des Laboratoires Bois
Laboratoire Chimie Ecotoxicologie
Allée de Boutaut
BP 227 - 33028 Bordeaux cedex

OK Norisko

ZIL Rue de la maison neuve
BP 413
44819 SAINT HERBLAIN Cedex

SOCOR

11 rue Storez
59500 Douai

US2B

351 cours de la libération
33405 Talence Cedex

Annexe 3. Glossaire

Si des indications ne sont pas données sur la source (entre parenthèses), cela signifie que les définitions ont été établies en comité de pilotage.

Adjuvant (CAPEB/FFB, 2003) : molécules chimiques ou produits chimiques mis en œuvre avec du bois ou des éléments de bois tels que les produits de finition (lasure, vernis et peintures), les adhésifs et les produits de traitement de préservation préventif contre les agents biologiques de dégradation du bois. Ces adjuvants ou traitements chimiques déterminent la valorisation des déchets de bois les contenant.

Adjuvanté : contenant des substances chimiques, colles ; finition (vernis, peinture, lasure), préservation,...

Assortiment : cf. préparation

Bois sans adjuvants chimiques (CTBA, 2003) : tout bois n'ayant subi aucune opération de préservation, de finition, ou de collage. Il s'agit essentiellement de produits connexes de l'exploitation forestière et de la scierie, ainsi que certains déchets issus de la transformation du bois.

Bois usagé (CEN/TS 15588) : substance ou objets ligneux ayant rempli leur utilisation prévue.

Broyat de bois / fragments de bois (CEN/TS 15588) : bois broyé ou coupé avec des outils très tranchants et présentant des particules de longueur sensiblement supérieure à celle des plaquettes de bois et d'aspect plus grossier.

Compostage (CTBA, 2005) : procédé biologique (fermentation aérobie) de conversion et de valorisation des substrats organiques (sous produits de la biomasse, déchets organiques d'origine biologique) en un produit stabilisé, semblable à un terreau, riche en composés humiques.

Déchet (CAPEB/FFB, 2003) : tout résidu d'un processus de production, transformation ou utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement, tout bien abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon (Loi n°78-633 du 15 juillet 1975 modifiée). Toute personne qui en produit ou en détient a la responsabilité de l'élimination de ses déchets.

Déchetterie (CTBA, 2005) : espace aménagé et surveillé où les particuliers peuvent déposer gratuitement leurs déchets occasionnels qui ne peuvent pas être collectés avec les ordures ménagères en raison de leur volume, de leur poids ou de leur nature.

Faiblement adjuvanté : adjuvanté qui respecte les seuils recommandés (étude CTBA, 2003) : organo-halogénés totaux : max 10 ppm (pour valeur matière sèche totale), métaux lourds : max 1 000 ppm (pour valeur matière sèche totale). Sont inclus par exemple les panneaux, ... Sont exclus par exemple les bois traités par imprégnation ou ignifugation.

FSC (www.fcba.fr) : le Forest Stewardship Council, ou Conseil de bonne gestion forestière, est une organisation non gouvernementale qui certifie l'exploitation raisonnée et la gestion durable des forêts mondiales.

Installations classées (www.ecologie.gouv.fr/-Inspection-des-installations-.html) : les installations industrielles ou agricoles susceptibles de créer des risques ou de provoquer des pollutions ou des nuisances sont soumises à la législation des installations classées inscrite au code de l'environnement. Les activités qui relèvent de cette législation sont énumérées dans une nomenclature qui les soumet soit à un régime d'autorisation préalable à l'exploitation, soit à un régime de déclaration (pour les moins polluantes ou les moins dangereuses).

Mélange (CEN TC335/TS 14961) : ensemble de produits contenant une proportion inconnue de ses composants.

Mix : mélange (cf. définition) ou assortiment/préparation (cf. définition)

PEFC (www.fcba.fr) : Programme de Reconnaissance des Certifications Forestières est une marque qui garantit la gestion durable de la forêt dont le bois ou les produits à base de bois sont issus.

Plaquettes de bois (CEN TC335/TS 15588) : biomasse ligneuse découpée en morceaux présentant une granulométrie définie produite par transformation mécanique à l'aide d'outils tranchants tels que des couteaux.

Plaquettes forestières (en lien avec 1) : il s'agit de combustible obtenu par broyage ou déchiquetage de tout ou partie de végétaux ligneux issus de peuplements forestiers et de plantations n'ayant subi aucune transformation (directement après exploitation). Du fait de leur origine, les plaquettes forestières peuvent contenir des fragments de bois, d'écorce, de feuilles ou d'aiguilles. Le broyage ou le déchiquetage peut se réaliser en forêt, en bord de parcelle, sur place de dépôt, sur aire de stockage ou directement à l'entrée de la chaufferie et/ou de l'unité de transformation.

Note : le référentiel plaquettes forestières peut s'appliquer au bois d'origine bocagère et bois d'origine urbaine tels les bois d'élagage urbains, y compris la partie ligneuse des refus de crible issus du compostage de déchets verts.

Plaquettes issues des industries de la transformation du bois (CEN TC335/TS 15588) : plaquettes de bois obtenues comme produit dérivé de l'industrie de transformation du bois avec ou sans écorce.

Plateforme de tri/reconditionnement (CTBA, 2005) : plateforme de simple regroupement des déchets (sorte de déchetterie d'entreprise réservée aux professionnels du bâtiment) ; plateforme de regroupement et de tri (préférentiellement les déchets de chantiers sur lesquels le tri n'a pas été possible) ; plateforme de regroupement, de tri et de pré-traitement des déchets (tournée vers la valorisation et le recyclage des déchets).

Préparation/assortiment (CEN TC335/TS 14961) : ensemble de produits contenant une proportion connue de ses composants.

Souillé : ayant été en contact avec un produit polluant de façon non-intentionnelle.

Traité (CEN TC335/TS 14961) : ayant subi un traitement « impliquant des produits chimiques autres que l'air et l'eau [par exemple, colle ou peinture] ».

Annexe 4. Certification en forêt²

1 - La certification de la gestion durable des forêts : historique et concept

Le concept de certification forestière est né lors de la conférence de Rio en 1992, sur l'initiative d'organisations non-gouvernementales qui ont cherché un moyen, via le commerce des produits bois, d'imposer des normes de bonne gestion des forêts.

La certification forestière est le plus souvent une démarche volontaire des acteurs privés. De manière courante, les systèmes de certification de la gestion durable des forêts reposent sur cinq éléments :

1. La fixation de critères de gestion durable des forêts ;
2. Le **contrôle de la conformité** des engagements et des mesures adoptés par le candidat à la certification, aux critères définis dans le cahier des charges du système de certification ;
3. L'**accréditation** des organismes effectuant le contrôle de conformité ;
4. La **chaîne de contrôle** qui permet d'identifier les fournisseurs de toute entreprise adhérente au système, d'exiger et de suivre certaines informations sur l'origine des approvisionnements et en matières premières à base de bois. La chaîne de contrôle permet ainsi une traçabilité des produits bois concernés depuis la forêt jusqu'à l'utilisateur final ;
5. L'usage d'une **marque** (marquage) qui atteste, sur les produits à base de bois, que ceux-ci sont, en tout ou partie, issus de forêts certifiées.

Les systèmes de certification peuvent être nationaux, et il en existe beaucoup³. Toutefois beaucoup de systèmes nationaux adoptent ou sont reconnus par les deux grands schémas de certification forestière à l'échelle internationale :

- FSC : *Forest Stewardship Council*, créé à l'origine par les grandes ONG environnementales (Amis de la Terre, Greenpeace, WWF...),
- PEFC : *Programme de reconnaissance des certifications forestières*, créée sur l'initiative des propriétaires forestiers de pays européens. Son objectif était de créer un système de certification adaptée à la forêt européenne. Depuis 2003, PEFC a confirmé sa vocation internationale et se développe sur tous les continents.



Aujourd'hui, la certification de la gestion durable des forêts couvre 294 millions d'hectares, soit 8 % de la surface forestière mondiale, les adhérents au schéma PEFC représentant plus des deux-tiers de ces surfaces (204 millions d'hectares).

² Information Ministère de l'Agriculture.

³ Comme par exemple pour le Brésil, CERFLOR, pour le Canada CSA, pour les Etats-Unis, ATSF et SFI, pour l'Indonésie, LEI ou encore pour la Malaisie MTCC, mais aussi des systèmes PEFC nationaux comme PEFC France.

2 - Etat de la certification en France

21. Le développement du schéma PEFC France

Le processus de certification forestière PEFC a été lancé en France en 1999. Le premier référentiel a été appliqué de 2001 à 2006 et vient d'être révisé et approuvé pour une nouvelle période de 5 ans (2007-2011). L'association PEFC France est organisée en trois collèges - collège des producteurs, collège des transformateurs, collège des usagers de la forêt – et assure la coordination générale du système ainsi que la promotion de la marque.

Aujourd'hui (mars 2008) PEFC compte en France 4,5 millions d'hectares de forêts certifiées, soit **31% de la forêt française métropolitaine de production**, et 1185 chaînes de contrôle (de la forêt jusqu'aux transformateurs).

Répartition des surfaces certifiées PEFC en pourcentages (1^{er} mars 2008)

Catégorie de forêts	Surface forestière certifiée en hectares	Pourcentages de la surface forestière certifiée PEFC	Pourcentages de la surface forestière française (forêt de production)
Forêts domaniales	1 554 917 <i>(100% de la forêt domaniale de production)</i>	34 %	11 %
Forêts des collectivités	1 397 335 <i>(58% de la forêt communale de production)</i>	31 %	10 %
Forêts privées	1 611 520 <i>(15% de la forêt privée de production)</i>	35 %	11 %
TOTAL	4 563 773	100%	31 %

Si les principes de fonctionnement du schéma et les éléments à respecter sont fixés dans le référentiel national, **la certification PEFC se pratique à l'échelle régionale**. Une politique qualité conforme au référentiel national est établie par région et fait l'objet de la certification, accordée pour une période de 5 ans par un organisme certificateur. La mise en œuvre et l'animation des politiques régionales sont assurées par les *Entités régionales* contrôlées annuellement par l'organisme certificateur. Ces entités régionales, organisées également en collèges, sont au nombre de 20, certaines dans les régions de l'ouest faisant l'objet d'une animation groupée.

Des cahiers des charges pour les propriétaires sont établis sur la base des politiques qualités régionales. Les propriétaires sont libres d'adhérer, mais dès qu'ils adhèrent, ils sont tenus de respecter le cahier des charges.

La certification PEFC est accordée après un audit initial de l'entité régionale et de sa politique qualité, un audit externe de contrôle est prévu tous les 12/18 mois, les propriétaires sont contrôlés par des audits et contrôles internes PEFC selon une procédure accréditée par le COFRAC.

22. Création récente de FSC France

Le FSC international a développé un référentiel qui lui est propre en 10 principes et 56 critères applicables à toutes les forêts et pouvant être déclinés par pays ou par zones homogènes. La certification FSC est individuelle, accordée à l'échelle de la forêt et du propriétaire, après un audit initial durant lequel on s'assure que le propriétaire respecte les exigences du standard, un audit de contrôle a lieu au moins 1 fois par an.

Même s'il n'existait pas encore d'association FSC en France, le schéma FSC s'est développé sur 17 000 ha et compte à ce jour (février 2008) 153 chaînes de contrôle.

En 2006, une initiative FSC France a été lancée, portée essentiellement par des industries du secteur du papier, par des grandes enseignes de la distribution et par les ONG environnementales. Le fonctionnement du schéma FSC repose sur une représentation en chambres : la chambre économique, la chambre environnementale et la chambre sociale. Un travail de déclinaison du référentiel aux forêts françaises devrait être engagé par FSC France.

3 – La mise en marchés des produits certifiés

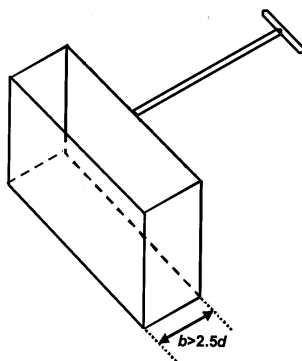
L'extension de superficies certifiées et le développement des chaînes de contrôle permettent la mise en marché progressive de produits certifiés avec une part significative pour la récolte de bois d'œuvre et de bois d'industrie. On peut escompter que la part de bois énergie certifié progressera significativement avec le développement attendu de la plaquette forestière.

Produits certifiés (part en pourcentages – Données EAB –SCEES) .

Produits	2005	2006
Bois d'œuvre	30 %	40 %
Bois d'industrie	39 %	45 %
Bois énergie	22 %	29 %
Sciages	17 %	21 %

Annexe 5. Exemple de fiche de prélèvement

1. Procédure de prise d'échantillons de plaquettes forestières

PRISES D'ECHANTILLONS		Type MOP	N°	Domaine
RECEPTION PLAQUETTES FORESTIERES		Version 1		Pages 1/1
REV	DESCRIPTIF			
	<p><u>1. Objet</u></p> <p>Ce mode opératoire précise la méthode employée pour prélever un échantillon représentatif lors d'une livraison de plaquettes forestières.</p> <p><u>2. Matériels utilisés</u></p> <p>Le matériel utilisé est une boîte échantillon, une épuisette ou à défaut un seau pouvant contenir au minimum 2,5 litres.</p> <p>Dans le cas où la mesure de la masse volumique est prévue, chaque prélèvement doit avoir un volume apparent supérieur à 20 litres.</p> <p>Exemple de boîte échantillon (d correspond à la taille des plaquettes).</p>  <p><u>3. Nombre de prélèvements</u></p> <p>Il faut réaliser 5 prélèvements au cours du déchargement ou 3 prélèvements si le volume annuel livré est supérieur à 3000 tonnes.</p> <p><u>4. Brassage des prélèvements</u></p> <p>Les 3 ou 5 prélèvements sont mélangés en un seul tas puis ils sont brassés pendant deux à trois minutes à l'aide d'une pelle.</p> <p><u>5. Préparation des échantillons</u></p> <p>Le prélèvement doit permettre de préparer un échantillon pour la détermination de l'humidité et un échantillon témoin pour réaliser, à la demande, des investigations complémentaires. Chaque échantillon doit avoir un volume supérieur à trois litres.</p> <p>L'échantillon pour mesure de l'humidité et le témoin sont conservés dans des sacs en plastiques hermétiquement fermés. Ils sont étiquetés avec les informations suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nom du responsable du prélèvement - Nom du fournisseur - Lieu du prélèvement - Date du prélèvement - Référence de lieu de récolte - Référence du matériel de fabrication - Copie du ticket de pesée ou volume (apparent) livré <p>Lorsque la mesure d'humidité est sous traitée, l'envoi est fait dans les 24 heures qui suivent le prélèvement.</p> <p>Le témoin est conservé pendant trois semaines à compter de l'envoi de la fiche de réception.</p> <p>Chaque prélèvement est enregistré sur un registre prévu à cet effet.</p>			

2. Procédure de prélèvement de plaquettes forestières par les transporteurs

PRELEVEMENT PAR LES TRANSPORTEURS DE PLAQUETTES FORESTIERES	Type MOP	N°	Domaine
	Version 1		Pages 1/1

REV	DESCRIPTIF
	<p><u>1. Objet</u></p> <p>Ce mode opératoire précise les tâches à réaliser par le chauffeur des transporteurs livrant les plaquettes forestières aux chaufferies.</p> <p><u>2. Références</u></p> <p>Procédure : Prise d'échantillon.</p> <p><u>3. Documents</u></p> <p>Pour chaque livraison, le responsable de l'organisme chargé de la logistique confie au chauffeur la fiche de prélèvement renseignée.</p> <p><u>4. Mise à dispositions du matériel</u></p> <p>Le matériel est mis à disposition par le responsable de la chaufferie.</p> <p><u>5 Réalisation des prélèvements</u></p> <p>A l'aide de la boîte échantillon prélever le nombre d'échantillons demandé sur la fiche de prélèvement. Déposer les échantillons dans le sac en plastique. Déposer la fiche de prélèvement datée et signée ainsi que la copie du ticket de pesée (si nécessaire) dans le sac. Fermer hermétiquement le sac. Vérifier l'absence de déchirure. En cas de besoin utiliser un second sac.</p> <p><u>6. Stockage des échantillons</u></p> <p>Selon la fréquence décidée, le responsable de la chaufferie devra récupérer les échantillons afin de les analyser selon la procédure engagée (humidité, granulométrie, etc.).</p> <p><u>7. Modèle de fiche de prélèvement</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Nom du responsable du prélèvement au moment du déchargement en fosse - Nom du fournisseur - Date du prélèvement - Référence de lieu de récolte - Référence du matériel de fabrication (non obligatoire) - Copie du ticket de pesée ou volume (apparent) livré <p>Date et Signature du rédacteur de la fiche transporteur</p> <p style="text-align: right;">Date et Signature du</p>

Annexe 6. Constitution des échantillons selon CEN/TS 14 778, 14 779, 14780

La précision de l'évaluation d'un lot de combustible bois énergie dépend de deux paramètres

- La précision de l'appareil de mesure :
- La représentativité de l'échantillon mesuré par rapport au lot dans lequel il a été prélevé.

1. Références normatives

Le CEN TC335 a travaillé sur le sujet dans le cadre du groupe de travail n° 3 « Echantillonnages ». Les spécifications sont des techniques qui vont être prochainement réexaminées pour être transformées en norme européenne.

Les documents suivants sont disponibles :

- CEN/TS 14778-1 : Biocombustibles solides - Echantillonnage – Partie 1 : Méthodes d'échantillonnage ;
- CEN/TS 14778-2 : Biocombustibles solides - Echantillonnage - Partie 2 : Méthode pour l'échantillonnage d'une livraison de matériau par camion ;
- CEN/TS 14779 : Biocombustibles solides - Echantillonnage - Partie 3 : Méthodes pour la préparation de plans d'échantillonnage et de certificat d'échantillonnage ;
- CEN/TS 14780 : Biocombustibles solides - Echantillonnage - Méthodes de réduction d'échantillon.

2. Réalisation de l'échantillon

Cette opération se décompose en deux phases :

- La collecte de l'échantillon ;
- La réduction du volume de l'échantillon si celui-ci est trop important pour permettre une mesure rapide.

a) Collecte de l'échantillon

Les moyens mis en œuvre pour collecter l'échantillon doivent permettre d'obtenir un prélèvement représentatif du lot à évaluer. Il ne sera traité dans ce document que des méthodes « manuelles ».

b) Détermination du nombre de prélèvements élémentaires

La première étape est de déterminer le nombre de prélèvements élémentaires à réaliser. Ce nombre dépend de l'hétérogénéité du lot. On retiendra les trois cas décrits dans le tableau ci-après :

Tableau n°1 : Classification des biocombustibles en fonction de l'hétérogénéité

	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3
Description	Combustible homogène	combustible homogène	combustible hétérogène
Granulométrie nominale maximale	< 10 mm	> 10 mm	
Nombre minimal de prélèvements (M lot = masse du lot en tonnes)	$n = 5 + 0,025 \times M \text{ lot}$	$n = 10 + 0,040 \times M \text{ lot}$	$n = 20 + 0,060 \times M \text{ lot}$
Exemple	sciures, copeaux	plaquettes forestières, granulés	plaquettes forestières, écorces

NB : la granulométrie nominale maximale est la granulométrie telle que 95 % (en masse) des éléments du combustible passent les mailles correspondant à cette granulométrie.

En pratique le nombre de prélèvements élémentaires est donné par le tableau ci-après.

Tableau n°2 Nombre de prélèvements élémentaires en fonction de l'homogénéité du combustible.

Groupe	Masse livrée (tonnes)					
	5	10	15	20	25	30
1	5	5	5	6	6	6
2	10	10	11	11	11	11
3	20	21	21	21	22	22

c) Détermination de la taille des prélèvements élémentaires

Le volume des prélèvements élémentaires « V_{min} » est donné par les formules ci dessous :

- $V_{min} = 0,5$ lorsque $d \leq 10$
- $V_{min} = 0,05 \times d$ lorsque $d \geq 10$

d : granulométrie nominale maximale exprimée en mm telle que 95 % (en masse) des éléments du combustible passent les mailles correspondant à cette granulométrie.

V_{min} est le volume minimal de chaque prélèvement élémentaire exprimé en litres.

Le tableau ci-après donne, pour le groupe 1 et 2, le volume total prélevé. Pour le groupe 2, pour le groupe 3 le calcul a été fait en considérant que la granulométrie nominale maximale était de 100 mm

Tableau n° 3 Volume total prélevé (en litres) en fonction de l'homogénéité

	Masse livrée					
	5	10	15	20	25	30
1	2,5	2,5	2,5	3	3	3
2	30	30	33	33	33	33
3	100	105	105	105	110	110

Exemple : Livraison de 15 tonnes de plaquettes forestières de granulométrie maximale est de 60 mm, on réalisera 11 prélèvements élémentaires (tableau n°2). Le volume élémentaire minimal sera de $0,05 \times 60 = 3$ litres. Le volume prélevé sera de 33 litres.

d) Réduction du volume de l'échantillon

Masse minimale à conserver : afin de limiter le volume et la masse à tester, CEN/TS14780 propose de réduire la taille de l'échantillon. La masse testée ne doit toutefois pas être inférieure à la valeur fixée par le tableau ci après :

Tableau n° 4 : Volume minimal à tester

Granulométrie nominale maximale (en mm)	Masse minimale (en g) Densité apparente < 200 kg/m ³	Masse minimale (en g) 200 kg/m ³ < Densité apparente < 500 kg/m ³	Masse minimale (en g) Densité apparente >500 kg/m ³
>100	10 000	15 000	20 000
50	1 000	2 000	3 000
30	300	500	1 000
10	150	250	500
5	50	100	200
<2	20	50	100

En pratique, les volumes minimums à évaluer seront (si l'on applique CEN/TS 14 780) :

- Ecorces (si elles n'ont pas été broyées) : 15 kg
- Plaquettes : 2 kg
- Sciures : 50 grammes.

Annexe 7. Exemple de procédure de détermination de la granulométrie

Cette procédure est conforme aux exigences du CEN/TS 15149.

1. Objet

Mesurer la granulométrie des combustibles bois.

2. Matériels utilisés

Un crible possédant les tamis suivants : 1, 3.15, 45, 63, 100, 200, 300, 350 mm.

Un système vibratoire donnant une amplitude de 70mm à une fréquence de 160 coups par minute

Pour une classe donnée il faut au minimum 4 tamis : 1, 3.15, celui de la classe considérée et celui de la « fraction grossière » de la classe considérée

Exemple pour P45 il faut des tamis de 1, 3.15, 45 et 63mm.

3. Documents

Fiche de prélèvement

4. Déroulement de l'essai

Déposer l'échantillon dans le crible supérieur. Mettre en fonctionnement le système vibratoire pendant 4 minutes. Peser le contenu de chaque crible. Déterminer l'humidité des bois contenus dans chaque crible.

5. Présentation des résultats

Reporter les résultats sur le cahier d'enregistrement

Annexe 8. Exemple de procédure de détermination de l'humidité (simplifiée)

Méthode normalisée CEN/TS 14 774 (méthode simplifiée 14774-2)

1. Objet

Cette méthode permet de mesurer le taux d'humidité moyen des combustibles bois.

2. Références

CEN/TS 14 774

3. Matériels utilisés

- Une étuve pouvant aller à 105°C avec une précision de $\pm 2^\circ\text{C}$ et dans laquelle l'air est renouvelé 3 à 5 fois par heure ;
- Une balance avec une précision de 0,1 gramme ;
- Une coupelle en matériau incombustible.

4. Notations

- m_1 : poids de la coupelle vide ;
- m_2 : le poids de la coupelle avec l'échantillon avant passage à l'étuve ;
- m_3 : le poids de la coupelle avec l'échantillon après passage à l'étuve.

5. Déroulement de l'essai

L'échantillon doit être de 300 à 500 g. Si la granulométrie est supérieure à 100 mm, alors les échantillons devront être de 1 à 2 kg.

Recouvrir la coupelle d'une épaisseur de combustible, peser l'ensemble (m_2).

Passer à l'étuve à $105^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ jusqu'à stabilisation de la masse (pas de variation de plus de 0,2 % de la masse totale). Noter le poids m_3 .

6. Présentation des résultats

Le taux d'humidité est :
$$\mathbf{H} = 100 \times \frac{\mathbf{m}_2 - \mathbf{m}_3}{\mathbf{m}_2 - \mathbf{m}_1}$$

Reporter les résultats sur le cahier d'enregistrement

Annexe 9. Exemple de procédure de détermination de l'humidité (micro-onde)

Méthode par micro onde

Afin d'obtenir une vitesse de déshydratation plus rapide (5 à 15 minutes), il est possible d'utiliser un four à micro onde du commerce. Il n'y a pas de gain de temps sur les opérations de pesées qui sont les mêmes que pour la méthode de référence. La déshydratation doit être surveillée par un opérateur, malgré cela le risque d'inflammation persiste. La mesure dépend de l'habitude de l'opérateur qui doit évaluer le moment correct pour arrêter l'appareil. La précision du résultat dépend de l'homogénéité du combustible, en effet les éléments sèchent à des vitesses différentes, les plus fines ont donc tendance à s'auto-enflammer, alors qu'il subsiste une quantité d'eau importante dans les plus grosses. Les écarts, par rapport à la méthode de référence varient avec l'expérience de l'opérateur. Les écarts sont plus importants lorsque le combustible est composé d'éléments hétérogènes (dimensions et humidité des éléments). Les écarts, avec la méthode de référence, peuvent atteindre 10 à 15 points d'humidité.

Ci-dessous un exemple de procédure de l'humidité avec un four à micro onde.

1. Objet

Cette méthode simplifiée permet de mesurer le taux d'humidité moyen des combustibles bois.

2. Matériels utilisés

- Un four à micro onde ;
- Une balance avec une précision de 1 gramme ;
- Une coupelle en matériau incombustible.

3. Notations

- m_1 : poids de la coupelle vide ;
- m_2 : le poids de la coupelle avec l'échantillon avant passage au four à micro onde ;
- m_3 : le poids de la coupelle avec l'échantillon après passage au four à micro onde.

4. Déroulement de l'essai

Recouvrir la coupelle d'une épaisseur de combustible, peser l'ensemble (m_2).

Passer au four à micro onde pendant une durée de 1 minute, peser l'ensemble, recommencer l'opération jusqu'à l'apparition de tâches brunâtres ou de fumées. Noter le poids m_3 .

Recommencer l'opération trois fois.

5. Présentation des résultats

Le taux d'humidité est : $H = 100 \times \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1}$

Faire la moyenne des trois mesurages et reporter les résultats sur le cahier d'enregistrement.

Annexe 10. Exemple de procédure de détermination de l'humidité (PCI-mètre)

Méthode par « PCI-mètre »

Un nouvel appareil à déshydratation a été mis récemment sur le marché : le « PCI-mètre ». Il permet d'obtenir un temps de déshydratation aussi rapide que le four à micro-ondes, tout en évitant le risque d'auto - inflammation. Comme dans les deux méthodes précédentes il s'agit de peser le combustible avant et après déshydratation. L'écart avec la méthode de référence peut atteindre 3 à 4 points d'humidité pour des mélanges hétérogènes.

Un exemple de procédure avec un « PCI-mètre » figure ci-dessous.

1. Objet

Cette méthode permet de mesurer le taux d'humidité moyen des combustibles bois.

2. Références

Mode emploi PCI-mètre

3. Matériels utilisés

- PCI-mètre ;
- Une balance avec une précision de 0,1 gramme ;

4. Notations

- m_1 : poids du réceptacle contenant l'échantillon ;
- m_2 : le poids de la coupelle avec l'échantillon avant passage à l'étuve ;
- m_3 : le poids de la coupelle avec l'échantillon après passage à l'étuve.

5. Déroulement de l'essai

Remplir le réceptacle, peser l'ensemble (m_2).

Mettre en fonctionnement le PCI mètre pendant 15 minutes

Noter le poids m_3 .

6. Présentation des résultats

Le taux d'humidité est : $H = 100 \times \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1}$

Reporter les résultats sur le cahier d'enregistrement

Annexe 11. Exemple de procédure de détermination de l'humidité

Méthode par FMV 3000

Un fabricant autrichien propose un matériel évaluant l'humidité en utilisant l'effet diélectrique du bois humide. Cet appareil, le FMV 3000 permet d'obtenir une lecture directe de l'humidité, sans avoir à réaliser des pesées. Pour donner des résultats fiables, ce matériel doit être correctement étalonné. Le résultat de la mesure dépendant à la fois de la masse volumique apparente⁴ et de l'humidité du combustible, il est nécessaire de réaliser un étalonnage à chaque fois que les conditions d'approvisionnement changent : essence, type de broyeur ou de coupeuse, présence d'écorce, etc. Ce matériel est à éviter pour les mélanges/préparations, en raison de l'hétérogénéité de ces derniers. Lorsque les calibrages ont été réalisés avec soin, les écarts avec la méthode de référence peuvent atteindre 3 à 4 points.

Un exemple de procédure figure ci-dessous.

1. Objet

Cette méthode simplifiée permet de mesurer le taux d'humidité moyen des combustibles bois.

2. Matériels utilisés

Hygromètre FMV 3000.

3. Documents

Fiche de prélèvement.

4. Déroulement de l'essai

Étalonner l'appareil en fonction de la granulométrie des combustibles.

N'utiliser l'appareil que si l'échantillon à une granulométrie correspondant à une granulométrie étalonnée et lire la valeur sur l'afficheur.

Mettre l'échantillon dans l'appareil

Assurer un tassement correct

Lire le résultat

5. Présentation des résultats

Enregistrer le résultat sur le registre d'essai.

⁴ Déterminée suivant les indications du CEN/TS 15103.

Annexe 12. Exemple de procédure de détermination du pouvoir calorifique inférieur

Mesure en bombe calorimétrique

1. Principe

La prise d'essai est réalisée dans une bombe calorimétrique en présence d'oxygène. Le pouvoir calorifique supérieur est donc déterminé à volume constant à partir de l'élévation de température constatée compte tenu des réactions chimiques secondaires et éventuellement des pertes thermiques. Le pouvoir calorifique inférieur est calculé ensuite à partir d'une décomposition élémentaire du bois mesuré.

2. Appareillage

Les mesures sont réalisées dans une bombe calorimétrique d'une capacité de 250 à 350 ml plongée dans un vase calorimétrique lui-même inclus dans une jaquette isolante. L'échantillon est placé dans une coupelle de 25 mm de diamètre et d'une hauteur de 14 à 19 mm. L'échantillon ne doit pas donc excéder 9 ml soit en moyenne 4 grammes pour du bois.

La combustion est déclenchée électriquement généralement par un fil de tungstène. La combustion a lieu en présence d'oxygène.

3. Mode opératoire

Dans un premier temps, l'appareillage est étalonné avec une pastille d'acide benzoïque. La masse en eau est déterminée (bombe calorimétrique et calorimètre).

Les échantillons sont broyés pour avoir une granulométrie inférieure à 0.2 mm, ils sont ensuite pesés à 0.1 mg près. Un échantillon est gardé pour une mesure d'humidité (voir chapitre teneur en humidité). L'échantillon est placé dans la coupelle, la bombe calorimétrique est chargée en oxygène à une pression de 25 bars.

La combustion est déclenchée électriquement.

Un suivi de la température d'eau est effectué toutes les trente secondes avant et après la combustion jusqu'à l'obtention d'un régime linéaire de refroidissement.

A la suite de ces mesures, la bombe calorimétrique est démontée pour vérifier que la combustion est complète (ni dépôt de suie, ni carbone résiduel). La bombe est ensuite rincée avec de l'eau distillée pour récolter les divers acides produits par la combustion.

Des corrections doivent être apportées pour tenir compte :

- Des acides formés lors de la combustion (dosage avec des solutions de carbonate de sodium et d'hydroxyde de baryum) ;
- De la chaleur de combustion du fil d'allumage (par pesée puis calcul) ;
- Des échanges de chaleur avec l'extérieur (calcul).

4. Expression des résultats

Pouvoir calorifique supérieur

Le pouvoir calorifique supérieur est déterminé par la formule suivante :

$$P_y = \frac{(4,1868 \times E) \times (t_m - t_i + c) - (a + b)}{M}$$

Le pouvoir calorifique supérieur à volume constant sur sec est obtenu en multipliant P_v par :

$$\frac{100}{100 - h_1}, \text{ dans laquelle :}$$

- E = équivalent en eau du calorimètre de la bombe, de leurs accessoires et de l'eau introduite dans la bombe
- t_i = température initiale en degrés Celsius,
- t_m = température maximale en degrés Celsius,
- a = correction nécessitée par la formation des acides,
- b = correction nécessitée par la chaleur de combustion du fil d'allumage,
- c = correction de température nécessitée par l'échange de chaleur avec l'extérieur. Celle-ci est nulle si on utilise la jaquette adiabatique,
- M = masse de la prise d'essai en gramme
- h_1 = humidité de l'échantillon sec à l'air en pourcentage en masse 1 déterminée selon la norme M03-037

Pouvoir calorifique inférieur sur sec à l'air

Il se calcule par convention selon la formule suivante :

$$I_v = P_v - 6 \times 4.1868 h_2 = P_v - 25.1 h_2, \text{ où :}$$

- I_v en joules par gramme,
- h_2 étant la teneur en eau totale du combustible sec à l'air en pourcentage (eau préexistante dans ce combustible et eau formée par combustion de l'hydrogène obtenue expérimentalement lors d'une détermination d'hydrogène du combustible selon M 03-037) ou calculée à partir de la formule suivante :

$$h_2 = 8.937 H \times \frac{100 - h_1}{100} + h_1$$

- h_1 = teneur en hydrogène en pourcentage du combustible sec.

Le pouvoir calorifique inférieur d'un combustible dont l'humidité h est différente de l'humidité h_1 de l'échantillon analysé, se calcule avec les expressions suivantes :

$$I_{vh} = P_v \frac{100 - h}{100 - h_1} - 6 \times 4.1868 \left[\frac{h_2 - h_1}{100 - h_1} (100 - h) + h \right]$$

$$I_{vh} = (I_v + 6 \times 4.1868 \times h_1) \frac{100}{100 - h_1} - 6 \times 4.1868 \times h$$

Pour un combustible sec, le pouvoir calorifique est :

$$I_{vs} = (I_v + 6 \times 4.1868 h_1) \frac{100}{100 - h_1} = (I_v + 25 h_1) \frac{100}{100 - h_1}$$

$$I_{vs} = P_v \frac{100}{100 - h_1} - 54 \times 4.1868 H = P_v \frac{100}{100 - h_1} - 224 H$$

Annexe 13. Exemple de procédure de détermination du pouvoir calorifique inférieur (à partir de l'humidité)

Calcul à partir de l'humidité

1. Objet

Déterminer le pouvoir calorifique à partir de l'humidité moyenne de la livraison.

2. Documents utilisés

Annexe C– CEN/TS 14918

3. Formules utilisées

3.1 Livraison à la tonne

Q est le pouvoir calorifique inférieur (en MJ/kg) à l'humidité H (en %) donné par la formule suivante :

$$Q = Q_0 \times \frac{100 - H}{100} - 0,02443 \times H$$

Q₀ est égal à : 20 MJ/kg de matière sèche pour les résineux et 19 MJ/kg pour les feuillus

Si le résultat doit être donné en kWh/kg diviser par 3,6 la valeur exprimée en MJ/kg.

Exemple : Pour des plaquettes forestières en bois feuillus à une humidité de 35 %, le PCI est de :

$$Q = 19 \times \frac{100 - 35}{100} - 0,02443 \times 35 = 11,5 \text{ MJ/kg, soit un PCI de } 11,5/3,6 = 3,19 \text{ kWh/kg.}$$

3.2 Livraison au volume d'encombrement

$$Q' = Q \times \frac{D}{1000}$$

Q' est le pouvoir calorifique exprimé en MJ/kg

Q est le pouvoir calorifique inférieur à l'humidité H calculée en 3.1

H le taux d'humidité en %

D est la masse volumique exprimée en kilogramme par m³

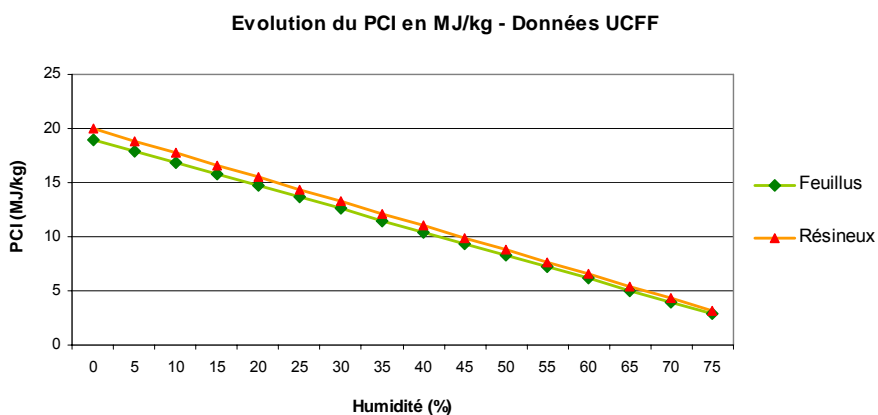
Exemple : Pour des plaquettes forestières en bois feuillus à une humidité de 35 %, avec une masse volumique apparente de 250 kg/m³ et d'après les résultats précédents :

$$Q' = 3,19 \times 250 / 1000 = 0,7975 \text{ MJ/m}^3, \text{ soit } 0,7975/3,6 = 0,2215 \text{ kWh/kg}$$

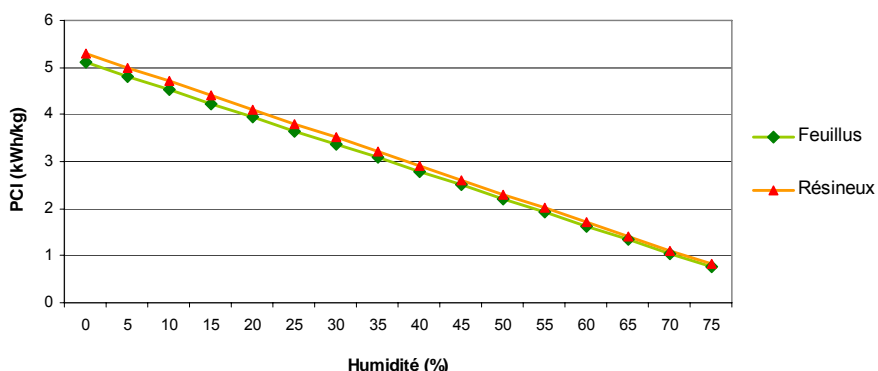
Annexe 14. Exemple d'abaque Pouvoir Calorifique Inférieur Humidité du bois pour les plaquettes forestières

Pouvoir Calorifique Inférieur du bois en fonction de l'humidité – Données UCFF				
Humidité (%)	En MJ/kg		En kWh/kg	
	Feuillus	Résineux	Feuillus	Résineux
0	19	20	5,1	5,3
5	17,9	18,9	4,8	5,0
10	16,9	17,8	4,5	4,7
15	15,8	16,6	4,2	4,4
20	14,7	15,5	3,9	4,1
25	13,6	14,4	3,7	3,8
30	12,6	13,3	3,4	3,5
35	11,5	12,1	3,1	3,2
40	10,4	11,0	2,8	2,9
45	9,4	9,9	2,5	2,6
50	8,3	8,8	2,2	2,3
55	7,2	7,7	1,9	2,0
60	6,1	6,5	1,6	1,7
65	5,1	5,4	1,3	1,4
70	4,0	4,3	1,1	1,1
75	2,9	3,2	0,8	0,8

Cet abaque pourra être consolidé en fonction des résultats des mesures effectuées par les chaufferies et les usines. Des différences sont à noter en fonction de l'essence principale constituant le produit livré.



Evolution du PCI en kWh/kg - Données UCFF



Pour plus d'information, cf. le tableau de conversion des unités bois énergie pour l'usage des plaquettes forestières (<http://www.itebe.org/portail/affiche.asp?arbo=1&num=455>).

Tableau 1 - Les PCI par essence (issu du tableau ITEBE)

	PCI Anhydre	PCI par % Humidité						
		55	50	45	40	35	30	10
Chêne pédonculé	5 009	1 881	2 165	2 449	2 734	3 018	3 302	4 440
Charme	4 879	1 822	2 100	2 378	2 656	2 934	3 211	4 323
Hêtre	4 949	1 854	2 135	2 416	2 698	2 979	3 260	4 386
Frêne	5 019	1 885	2 170	2 455	2 740	3 025	3 309	4 449
Ormes	5 179	1 957	2 250	2 543	2 836	3 129	3 421	4 593
Robinier	5 079	1 912	2 200	2 488	2 776	3 064	3 351	4 503
Bouleau	5 079	1 912	2 200	2 488	2 776	3 064	3 351	4 503
Châtaignier	5 279	2 002	2 300	2 598	2 896	3 194	3 491	4 683
Arbres fruitiers	4 979	1 867	2 150	2 433	2 716	2 999	3 281	4 413
Erables faux platane	5 379	2 047	2 350	2 653	2 956	3 259	3 561	4 773
Moyenne Feuillus durs	5 083	1 914	2 202	2 490	2 778	3 066	3 354	4 506
Tilleuls	4 979	1 867	2 150	2 433	2 716	2 999	3 281	4 413
Aulnes	4 979	1 867	2 150	2 433	2 716	2 999	3 281	4 413
Peuplier	4 879	1 822	2 100	2 378	2 656	2 934	3 211	4 323
Saules	4 879	1 822	2 100	2 378	2 656	2 934	3 211	4 323
Moyenne Feuillus tendres	4 856	1 812	2 089	2 365	2 642	2 919	3 195	4 302
Pin sylvestre	5 379	2 047	2 350	2 653	2 956	3 259	3 561	4 773
Pin maritime	5 279	2 002	2 300	2 598	2 896	3 194	3 491	4 683
Sapin pectiné	5 179	1 957	2 250	2 543	2 836	3 129	3 421	4 593
Epicéa commun	5 279	2 002	2 300	2 598	2 896	3 194	3 491	4 683
Mélèze	5 379	2 047	2 350	2 653	2 956	3 259	3 561	4 773
Douglas	5 279	2 002	2 300	2 598	2 896	3 194	3 491	4 683
Moyenne résineux	5 293	2 009	2 307	2 606	2 904	3 203	3 501	4 696

Note : avec formule simplifiée

Annexe 15. Exemple de procédure de détermination du taux de cendres

Mesure en incinérateur

1. Principe

L'échantillon est incinéré à l'air, suivant un régime de chauffage spécifié, jusqu'à une température de $815 \text{ °C} \pm 10 \text{ °C}$ et maintenu à cette température jusqu'à l'obtention d'une masse constante. Le pourcentage des cendres est calculé à partir de la masse du résidu après incinération.

2. Appareillage

L'incinération est obtenue dans un four à moufle permettant d'obtenir des températures supérieures à 800 °C . L'échantillon est pesé avec une balance précise à 0.1 mg et placé dans une nacelle en silice, porcelaine ou platine.

Certains laboratoires réalisent une première incinération dans un creuset chauffé par un bec maker avant d'utiliser le four à moufle.

3. Mode opératoire

L'échantillon est d'abord broyé avec une granulométrie inférieure à 200 micromètres puis pesé (masse d'1 ou 2 grammes).

L'échantillon est alors chauffé par paliers jusqu'à 815 °C pendant plusieurs minutes ou plusieurs heures jusqu'à l'obtention de cendres sans présence de points noirs (imbrûlés).

Après refroidissement, l'échantillon est de nouveau pesé.

4. Expression des résultats

Le taux de cendres A, de l'échantillon analysé, exprimé en pourcentage en masse est donné par la formule :

$$A = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \times 100, \text{ où :}$$

- m_1 est la masse de la nacelle en grammes
- m_2 est la masse de la nacelle et de l'échantillon en grammes
- m_3 est la masse de la nacelle et des cendres en grammes

Le résultat doit être exprimé à 0.1 points près.

Si H est l'humidité de l'échantillon sec à l'air, le taux de cendres sur sec B est donné par la formule :

$$B = \frac{A \times 100}{100 - H}$$

Annexe 16. Exemple de procédure d'évaluation du taux de cendres d'après l'origine

1. Objet

Déterminer le taux de cendres de bois non traités chimiquement, à partir de leur origine des bois (hors corps étrangers venant de stockages ou manutentions faites dans des conditions défectueuses).

2. Documents utilisés

Annexe C– CEN/TS 14775

3. Valeurs de références

Le taux de cendres est à extraire des tableaux du CEN TC335 en fonction de l'origine :

- Ecorces : 5 %
- Rémanents forestiers : 2 %
- Perches et grumes : 0,3 %

Pour le broyat de palette, des essais de combustion réalisés par le CTBA pour l'ADEME indiquent des valeurs de 0,6 à 1 % et 0,75 % en moyenne.

Annexe 17. Références bibliographiques

CRITT bois, FIBOIS, CTBA (2001), « Mesure des caractéristiques des combustibles bois : évaluation et proposition de méthodes d'analyse de combustible », étude pour l'ADEME, juin, http://www.ofme.org/bois-energie/documents/Combustible/CRITT-ADEME_Mesurecombustible.pdf.

ITEBE, Tableur de conversion des unités bois énergie pour l'usage des plaquettes forestières, <http://www.itebe.org/portail/affiche.asp?arbo=1&num=455>)

UCFF (2005), « Amélioration des performances technico-économiques de la production de plaquette forestière à partir d'opérations sylvicoles. Recherche d'extension des protocoles expérimentaux de caractérisation de ce combustible vers une charte de qualité », étude pour l'ADEME.