

## Mots clés

- Humidité
- Méthodes de mesure
- Rondins
- PCS

## L'humidité du bois : comment la mesurer à l'entrée de l'usine ?

En France, les principales unités utilisées pour la réception du bois de trituration sont le stère (volume) ou la tonne brute (poids humide). Aucune de ces unités ne renseigne précisément l'usine sur la quantité réelle de bois achetée.

L'humidité du bois est aussi un critère qualitatif qu'il est important de connaître, tant pour le procédé TMP (pâte thermomécanique) ou MDF (panneaux de fibres) où la fraîcheur du bois est un paramètre clé pour la qualité du produit fini, que pour le procédé kraft (pâte chimique) ou la fabrication de panneaux de particules pour lesquels la stabilité du process dépend de l'humidité du bois.

Dans le contexte particulier de la tempête, la réception des bois chablis nécessite une vigilance toute particulière. Le suivi de la qualité des billons stockés dans différentes conditions passe notamment par un contrôle de l'humidité qui permet de juger de leur état de conservation. Il en est de même pour les plaquettes issues du sciage de produits stockés.

Le contrôle de la conformité des chargements aux exigences des cahiers des charges des usines nécessite une méthode rapide et fiable dès l'arrivée du bois à l'usine, garantissant objectivité et transparence avec les fournisseurs. La méthode normalisée de mesure de l'humidité présente l'inconvénient d'être longue (environ 24 heures).

Divers appareils permettent la mesure rapide de l'humidité sur des échantillons prélevés directement sur les camions et analysés en laboratoire. La fiabilité de tels matériels doit cependant être éprouvée

ainsi que la représentativité au travers d'un protocole d'échantillonnage tenant compte des variations d'humidité intra et inter chargements que ce soit pour les bois ronds ou pour les plaquettes de scierie.

L'objet de cet article est de passer en revue les différentes techniques et les différents matériels actuellement sur le marché permettant la détermination rapide de l'humidité du bois, ainsi que les procédures d'échantillonnage à mettre en œuvre afin de déterminer l'humidité moyenne des chargements de rondins ou de copeaux.

### Localisation de l'eau dans le bois sur pied

Afin de bien comprendre les limites des appareils étudiés, il est nécessaire de faire un rappel sur la localisation de l'eau dans le bois.

L'eau dans le bois est classée en trois catégories :

- l'eau "libre" est retenue à l'état liquide ou vapeur dans les vides cellulaires (lumens des fibres et des vaisseaux chez les feuillus).

C'est l'eau libre qui est éliminée en premier lors du séchage du bois. Lorsqu'il ne subsiste plus d'eau en phase liquide dans les cavités cellulaires, on atteint le point de saturation des fibres (PSF) qui varie selon les essences de 25 à 35 %,

- l'eau "liée" ou "hygroscopique" est retenue dans les parois et les membranes des cellules. Pour l'évaporer, il faut fournir de l'énergie appelée énergie de sorption,

- l'eau de "constitution" est celle contenue dans la matière ligneuse : elle fait partie de la structure du bois. Elle ne peut être libérée que par une destruction de la cellulose soit par voie chimique ou biologique, soit par dégradation thermique.



## Comment prélever un échantillon représentatif ?

### ■ Billons

Il n'est techniquement pas possible de mesurer l'humidité directement sur les rondins, d'où la nécessité de prélever un échantillon qui soit représentatif de l'hétérogénéité du chargement considéré.

### Positionnement du prélèvement

Les résultats ci-dessous, extraits de l'étude technique ARMEF n°8 de 1993, donne la position à laquelle l'échantillon doit être prélevé pour avoir une bonne estimation de l'humidité moyenne du billon.

Essence	Position du prélèvement
Chêne	30 cm des extrémités
Hêtre	30 cm des extrémités
Charme	Milieu du billon
Tremble	Milieu du billon
Peuplier	Milieu du billon
Epicéa ou Douglas	De 30 à 50 cm des extrémités
Pins	30 cm des extrémités

### Choix de l'outil de prélèvement

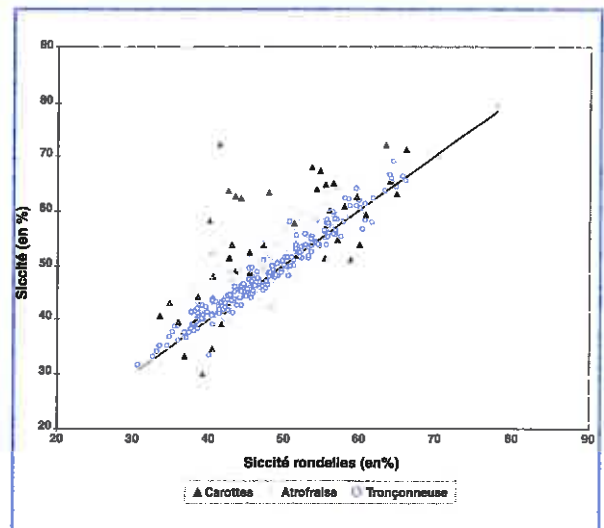
Trois outils de prélèvements ont été étudiés sur l'épicéa :

- une tronçonneuse,
- une tarière de Pressler,
- une Atro-fräse (outil de prélèvement muni d'une chaîne de mortaisage montée sur un guide triangulaire, cf. photo ci-dessous).



Atro-fräse

Pour chaque billon, une rondelle a été prélevée à la tronçonneuse et les copeaux de découpe récupérés dans un bac. A quelques cm de la découpe, une carotte de sondage et un échantillon de copeaux ont été prélevés au moyen de la tarière et de l'Atro-fräse. Le graphique suivant montre la comparaison entre la siccité de la rondelle prise comme référence, et l'humidité de la sciure ou de la carotte.



L'échauffement de l'échantillon (sciure ou carotte) conduit à un écart systématique entre la siccité de la rondelle et celle de l'échantillon considéré.

Outil	Surestimation	R <sup>2</sup>	DL(*)
Tronçonneuse	+ 0,65	0,95	198
Atro-fräse	+ 3,4	0,80	198
Tarière	+ 6,3	0,28	46

(\*) : degré de liberté

Les résultats montrent un lien statistique très élevé entre l'humidité de référence mesurée sur une rondelle et sur des échantillons prélevés soit à la tronçonneuse soit à l'Atro-fräse.

Une perceuse électrique ou thermique, à faible vitesse de rotation et couple important, munie d'une mèche de 26 mm, a aussi été testée. Il y a une forte corrélation entre l'humidité des copeaux et celle de la rondelle. Cet outil présente l'avantage d'être facilement disponible dans le commerce, et d'être plus facilement maniable que l'Atro-fräse. Pour des raisons de sécurité, l'Atro-fräse est préférable à la tronçonneuse, mais la solution la plus facile à mettre en œuvre et la plus économique est la perceuse.

## Nombre de prélèvements à réaliser

Le nombre d'échantillons (n) à prélever dépend du coefficient de variation de l'humidité dans le chargement (hétérogénéité du chargement : CV) et de la précision souhaitée (a).

$$n = \frac{3,84.CV^2}{a^2}$$

Les mesures effectuées sur le site de Stora Enso Corbehem pour de l'épicéa commun donnent les résultats suivants :

	Coeff. Var. (Epicéa commun)
Min.	7,22
Max.	12,85
Moyenne	9,05

Si on considère le coefficient de variation maximal, le nombre d'échantillons requis, de manière à avoir la précision voulue, est le suivant :

Objectif de précision	Nombre d'échantillons nécessaires
1 %	650
5 %	26
10 %	7
20 %	2

## ■ Plaquettes de scierie

L'idée dominante dans le cas des plaquettes de scierie est d'automatiser complètement le contrôle qualité à la réception, en se fondant sur des dispositifs existant déjà dans l'industrie agro-alimentaire.

Une veille technologique des différentes techniques disponibles sur le marché montre qu'il est d'ores et déjà possible de mesurer de manière automatique l'humidité, la granulométrie et le taux d'écorce des plaquettes.

La mise au point d'un système d'échantillonnage des plaquettes de scierie est actuellement en cours, et l'hétérogénéité des chargements de plaquettes pour les trois paramètres précédemment cités est à l'étude.

## La mesure de l'humidité dans le bois

### ■ Norme de mesure de l'humidité

La détermination de l'humidité du bois fait l'objet d'une norme (norme NF B 51-004). La mesure se fait par détermination, par pesées, de la diminution de masse d'une éprouvette ou d'un lot d'éprouvettes après dessiccation et calcul en pourcentage du rapport entre la diminution de masse constatée et la masse de l'éprouvette ou du lot d'éprouvette anhydre. L'éprouvette est considérée comme anhydre, lorsque sa masse est constante, c'est-à-dire lorsque la perte de masse entre deux pesées successives effectuées à 4h d'intervalle est inférieure ou égale à 0,5 % de la masse de l'éprouvette.

La formule de calcul de l'humidité est la suivante :

$$H_1 = \frac{m_H - m_0}{m_0} \text{ (x 100 en \%)}$$

où :

$m_H$  est la masse, en grammes, de l'éprouvette avant dessiccation

$m_0$  est la masse, en grammes, de l'éprouvette anhydre

La siccité du bois (S) est définie comme le rapport entre la masse de bois anhydre et la masse de bois humide. Une autre définition de l'humidité ( $H_2$ ) est alors le complément à 100 % de la siccité.

$$\text{soit } S = \frac{m_0}{m_H} \text{ (x 100 en \%)}$$

$$H_2 = 1 - S$$

$$H_1 = \frac{1 - S}{S}$$

*N.B. : Il faut donc rester vigilant quant à la définition de l'humidité qui est utilisée par les fournisseurs pour déterminer les plages de fonctionnement des appareils.*

## ■ Méthodes rapides de mesure de l'humidité

Bien que la norme pour la détermination de l'humidité soit simple, la détermination rapide de l'humidité par des systèmes en ligne, portables ou de laboratoire pose de nombreux problèmes. En effet, selon la méthode utilisée, la mesure de l'humidité est influencée par d'autres paramètres, tels que la densité, la température ou la granulométrie, qui rendent la mesure peu fiable et/ou peu précise. Aussi les différents constructeurs mettent-ils au point des systèmes permettant de s'affranchir de ces facteurs "parasites".

Les principaux dispositifs de mesure actuellement commercialisés ou en cours de développement sont :

- les hygromètres,
- les systèmes thermiques (thermo-balances),
- les sondes résistives ou capacitives,
- les mesures par micro-ondes,
- les mesures par réflexion ou absorption d'ondes infrarouges,
- les systèmes nucléaires, soit par thermalisation de neutron, soit par résonance magnétique nucléaire. Ces derniers systèmes sont en cours de développement et leur mise en service sur le marché n'est pas encore acquise, d'autant que ce sont des techniques très coûteuses.

Les avantages et les inconvénients de ces systèmes sont résumés dans le tableau page 5.

## ■ Tests complémentaires sur plaquettes

Des tests complémentaires ont été récemment réalisés de manière à tester la fiabilité et la précision de certains équipements. Ces tests ont été faits avec des plaquettes de scierie prélevées sur différents sites papetiers français. Ils ont porté sur :

- un dessiccateur à micro-ondes sous vide (épicéa),
- une sonde capacitive (épicéa et peuplier),
- un appareil diélectrique (épicéa),
- un spectromètre proche infrarouge (pin maritime).

L'humidité des échantillons a été mesurée à la fois par la méthode normalisée et par les différentes techniques.



Le dessiccateur micro-ondes sous vide donne des résultats très précis, mais il faut garder à l'esprit le coût important de l'appareil (110 000 FHT environ). De plus, la capacité de séchage est très limitée pour une durée de séchage assez longue (près d'une heure de séchage pour 300 g max. d'échantillon). Enfin, le risque de carbonisation des copeaux persiste malgré un protocole précis mis au point après plusieurs tests préliminaires.



L'écart individuel entre la mesure de la sonde diélectrique et la mesure normalisée ne permet pas de substituer cette sonde à la méthode standard pour déterminer l'humidité d'un seul échantillon. Toutefois, cette sonde demeure un appareil très intéressant pour mesurer l'humidité moyenne d'un chargement. Dans ce cas, il est indispensable de faire plusieurs mesures en différents points du chargement et à différentes profondeurs. Avec un tel appareil, il est possible de déterminer en moins de 5 minutes l'humidité moyenne d'un chargement, avec le même intervalle de confiance que celui obtenu par la méthode normalisée.

Système	Principe	Plage (H <sub>2</sub> )	Durée	Précision	Commentaires
<b>Hygromètres</b>	Equilibre hygroscopique du bois	0 à 25-30 %	0 à 20 min	3 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temps de mesure moyen : 1,2 min</li> <li>- Non adapté au bois frais</li> </ul>
<b>Systèmes thermiques</b>	Séchage par lampe infra rouge ou halogène ou par micro-ondes	0 à 100 %	5 à 30 min	0.01 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Adapté à tout type d'échantillon (sciure, copeaux, ...)</li> <li>- Lampes halogènes utilisées dans les usines de panneaux de particules</li> <li>- Faible capacité de séchage (150 g maximum)</li> </ul>
<b>Sonde diélectrique</b>	Mesure de la résistance diélectrique du bois qui est directement liée à la teneur en eau	0 à 55 %	Instantané	1 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mesure influencée par l'infradensité et la granulométrie</li> <li>- Etalonnage nécessaire</li> </ul>
<b>Sonde capacitive</b>	Variation de fréquence d'un oscillateur dans les copeaux humides	0 à 70 %	Instantané	1 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Possibilité de mesure directe dans les chargements</li> <li>- Uniquement adaptée aux plaquettes</li> <li>- Mesure influencée par l'infradensité et la granulométrie</li> <li>- Etalonnage à adapter à chaque type de bois</li> </ul>
<b>Micro-ondes</b>	Modification du signal à plusieurs longueurs d'ondes	0 à 100 %	Instantané	0,8 à 1,2 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Etalonnage à adapter à chaque type de bois</li> <li>- Coût élevé (environ 140 000 F HT)</li> <li>- Adaptable soit aux mesures de laboratoire soit aux mesures en ligne</li> </ul>
<b>Infra rouge</b>	Spectre de transmission de l'eau	0 à 100 %	Instantané	0,5 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Etalonnage à adapter à chaque type de bois</li> <li>- Coût élevé (environ 150 000 F HT)</li> <li>- Adaptable soit aux mesures de laboratoire soit aux mesures en ligne</li> <li>- Les perturbations liées à la densité et à la granulométrie peuvent être évitées en utilisant la réflectance diffuse</li> </ul>
<b>Sondes nucléaires</b>	Thermalisation de neutrons	0 à 100 %	Instantané	0,5 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Etalonnage à adapter à chaque type de bois</li> <li>- Coût élevé (environ 150 000 F HT)</li> <li>- Adaptable soit aux mesures de laboratoire soit aux mesures en ligne</li> <li>- Soumis à la législation sur les appareils nucléaires (contraintes sanitaires et de stockage)</li> </ul>

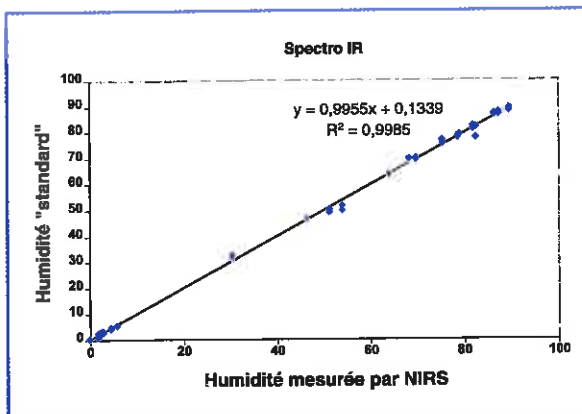
La possibilité de prolonger la sonde par un tube métallique permet de mesurer l'humidité à plusieurs profondeurs d'un chargement, ce qui apporte une solution au problème d'échantillonnage dans le cas où aucun autre paramètre n'est à contrôler sur le chargement (taux d'écorce, granulométrie, etc.).



Appareil diélectrique  
(Pandis FMG 3000)

L'appareil diélectrique a été spécifiquement conçu pour les chaufferies qui s'approvisionnent en bois sec, sa plage de précision maximale étant située entre 25 et 30 %.

### Spectroscopie infrarouge (Biorad)



La spectroscopie infra rouge fournit de loin les résultats les plus précis avec toutefois une réelle difficulté pratique de mise en œuvre sur un volume d'échantillonnage représentatif et la nécessité d'une préparation minutieuse de l'échantillon dans le cas d'un appareil de laboratoire (broyage et tamisage).

## CONCLUSION

Plusieurs sites français de production de pâtes et de panneaux mettent en œuvre des procédures pour le contrôle systématique de l'humidité du bois entrant usine et/ou pour le suivi de l'humidité des chablis. L'échantillonnage reste le principal problème puisqu'un échantillon représentatif est relativement long à prélever au regard de la précision attendue par les fournisseurs. Compte tenu de la capacité de prélèvement des échantillons, une précision comprise entre 5 et 10 % peut être raisonnablement envisagée, ce qui est déjà bien supérieur à celle obtenue lors du stockage d'un camion. De plus, si sur une livraison la précision est comprise entre 5 et 10 %, en considérant l'ensemble des livraisons effectuées par un même fournisseur, la précision devient très satisfaisante (1% à partir du 25<sup>ème</sup> camion).

Les appareils de mesure rapide de l'humidité sont des outils de contrôle de la conformité des chargements au cahier des charges au service de la transparence entre usines et fournisseurs. Leur fiabilité et leur précision ont déjà été éprouvées sur plusieurs sites de pâte et de panneaux, qu'il s'agisse de dessiccateur infrarouge ou halogène ou de sondes capacitatives, très utilisées au Canada.

### Pour en savoir plus

#### CHANTRE G. (1993)

"L'eau dans le bois"

AFOCEL, Fiche Informations-Forêt n° 453

#### C.V.K. Kandala, S.O. Nelson, K.C. Lawrence (1996)

"Determining Moisture Content in Small Wheat Samples by Dual-frequency RF Impedance Sensing"

ASAE Vol. 39(3) : 1185-1188

#### Lisbeth G. Thygesen, Mats Nylinder (1996)

"Conditions for the development of wood-property-based scaling routines for pulp wood inferred from selected investigations of Swedish pulp wood"

Scandinavian Journal of Forest Research 11, 313-318, 1996

FAUCHON T.

AFOCEL Labo. Bois-Process

Domaine de l'Étançon

77370 Nangis

Tél. : 01.60.67.02.49

Fax : 01.60.67.02.56

E-mail : qb@afocel.fr



ISSN : 0336-0261