



# Nouvelles agroressources pour panneaux de particules 100% biosourcés

Hélène Lenormand, Angélique Mahieu, Nathalie Leblanc, Alexandre Vivet

## ► To cite this version:

Hélène Lenormand, Angélique Mahieu, Nathalie Leblanc, Alexandre Vivet. Nouvelles agroressources pour panneaux de particules 100% biosourcés. Conférence Matériaux 2014 - Colloque Ecomatériau, Nov 2014, Montpellier, France. hal-01144554

**HAL Id: hal-01144554**

**<https://hal-enpc.archives-ouvertes.fr/hal-01144554>**

Submitted on 21 Apr 2015

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## Nouvelles agroressources pour panneaux de particules 100% biosourcés

Hélène Lenormand\*<sup>1</sup>, Angélique Mahieu<sup>1</sup>, Nathalie Leblanc<sup>1</sup>, Alexandre Vivet<sup>2, 3, 4, 5, 6</sup>

<sup>1</sup> Unité Agri'terr, Esitpa, 3 rue du tronquet, F-76134 Mont St Aignan cedex, France

<sup>2</sup> Normandie Univ, France

<sup>3</sup> UNICAEN, CIMAP, F-14032, France

<sup>4</sup> ENSICAEN, CIMAP, F-14050, France

<sup>5</sup> CNRS, UMR 6252 CIMAP, F-14032, France

<sup>6</sup> CEA, UMR 6252 CIMAP, F-14032, France

\* hlenormand@esitpa.fr

**RESUME :** *L'agriculture française propose des ressources remarquables pas ou peu exploitées et pouvant être valorisées en agromatériaux. Cette étude propose une comparaison des propriétés de panneaux de particules agglomérées réalisés à partir de différentes agroressources : le bois, la chènevotte, les anas de lin, l'écorce de tige de tournesol et la paille de colza. Leur valorisation en tant qu'agromatériaux permettrait de diversifier les sources d'approvisionnement pour le type de panneaux étudié tout en apportant une source de revenus complémentaires aux agriculteurs. Les panneaux d'agromatériaux sont réalisés par thermocompression. Des propriétés thermiques, mécaniques et hygroscopiques sont mesurées et comparées selon l'agroressource utilisée.*

**ABSTRACT :** *The agriculture offers exceptional wastes that can be recycled in biomaterials. This paper presents a comparison of the properties of particleboards made from different agricultural wastes : wood, hemp and flax, sunflower bark and rape straw. Their uses as materials could increase the potential stocks for this application and could provide an additional source of income for farmers. The particleboards are made of biomaterials by thermocompression. Thermal insulation, mechanical and hygroscopic properties are measured and investigated in relation with the used agricultural waste.*

**MOTS-CLÉS :** *panneaux de particules, chènevotte, anas de lin, écorce de tournesol, paille de colza*

**KEYWORDS :** *particleboards, hemp shives, flax shives, sunflower bark, rape straw*

### 1. INTRODUCTION

Le secteur du bâtiment, grand utilisateur de panneaux agglomérés, est aujourd'hui en pleine mutation. Les nouvelles réglementations techniques ont pour ambition la réduction 1) des émissions des gaz à effet de serre, 2) de la consommation d'énergie et 3) de l'épuisement des ressources. Le développement de matériaux qui respectent la santé et l'environnement constitue alors un enjeu prioritaire et ces nouveaux matériaux devront répondre à des nouveaux critères tels qu'une meilleure performance en isolation, une ressource en matière renouvelable, la recyclabilité du matériau et un coût modéré.

Dans ce contexte, le développement de matériaux fabriqués à partir de coproduits de l'agriculture, telles que les tiges de plantes annuelles, constitue une alternative intéressante puisqu'elles ont les

avantages d'être abondantes et renouvelables, de préserver la ressource bois qui se raréfie et surtout de pouvoir apporter des propriétés isolantes aux matériaux. De nombreuses études mettent en évidence l'utilisation de résidus de l'agriculture comme matière première telles que la paille de blé, la moelle de maïs<sup>1</sup>, la paille de riz et les fibres de coco<sup>2</sup>, la tige de tournesol<sup>3</sup> .... La plupart des études proposent des formulations de panneaux agglomérés dont les liants sont des colles synthétiques de type urée-formaldéhyde (UF) ou phénol-formaldéhyde (PF). Mais ces liants ne garantissent pas l'innocuité pour la santé humaine et environnementale en raison de la toxicité de leurs émissions de particules volatiles. D'autres colles d'origine synthétique, à base de diisocyanate<sup>2,4</sup>, qui ont les avantages d'être de très bons liants et de ne pas reléguer de formaldéhyde ont été étudiées mais elles sont chères, sont d'origine fossile et présentent tout de même une grande toxicité à l'état non polymérisé. Par ailleurs, plusieurs travaux de recherche portent sur le remplacement des colles synthétiques par des colles naturelles. Il existe différents candidats potentiels comme des composés à base de lignine<sup>5</sup>, des tanins<sup>6</sup>, des protéines<sup>7,8,9</sup>, de son de riz<sup>4</sup>, de polysaccharide<sup>10</sup>.

Une alternative à l'utilisation de liant dans la fabrication de panneaux agglomérés est « l'activation » des composés lignocellulosiques contenus dans les matières premières végétales et extraits par la vapeur. Le procédé de pressage à chaud permet le ramollissement des lignines et ainsi la mise en œuvre de panneaux à hautes performances<sup>11</sup>. Les seuls inconvénients de ce type de panneau sont la couleur foncée des panneaux et le temps de compression relativement long. Par ailleurs, l'injection de vapeur en complément du pressage optimise les propriétés des matériaux<sup>12,13</sup> grâce aux trois phénomènes suivants qui interviennent pendant le procédé : 1) une dégradation des hémicelluloses hygroscopiques en sucres libres qui peuvent alors se polymériser et former des polysaccharides moins hygroscopiques ; 2) une dégradation des hémicelluloses en sucres solubles aux propriétés adhésives pendant le pressage ; 3) un relâchement du stress interne sous l'action plastifiante de la vapeur d'eau. En plus de l'intérêt écologique à ne pas utiliser de liant synthétique toxique et dérivé du pétrole, ce procédé de pressage à la vapeur d'eau permet de mettre en évidence et d'utiliser la propriété intrinsèque de la matière végétale à être naturellement composite. En effet, une tige végétale est constituée de différents tissus repartis en zones concentriques aux fonctions, aux structures morphologiques et aux compositions chimiques différentes (teneur en cellulose, hémicellulose, lignine...). Les tiges végétales sont donc un assemblage de polymères et peuvent être considérées comme composites naturels. L'extraction et « l'activation » de certains polymères contenus dans ces composites permet ainsi l'adhésion des particules et rend possible l'élaboration de panneaux agglomérés à bas coût (pas d'ajout de liant).

Le **bois** est traditionnellement la ressource essentielle pour la fabrication de panneaux agglomérés mais aujourd'hui, il est l'objet d'une forte concurrence entre les secteurs du bâtiment et de l'énergie. L'industrie de ces panneaux tend alors à utiliser d'autres matières premières telles que des plantes annuelles et des coproduits de culture. Dans cette étude, quatre coproduits de cultures agricoles ont été identifiés et sont issus de cultures importantes en France. Deux d'entre eux sont des coproduits de cultures dédiées à l'obtention de fibres. Il s'agit de la **chènevotte** et des **anas de lin**. Ils sont les produits du défibrage des tiges de chanvre et de lin. Les deux autres coproduits sont liés à l'industrie oléagineuse ; il s'agit de l'**écorce de tournesol** et de la **paille de colza** qui sont issues des tiges de tournesol et de colza. La valorisation de ces matières premières en tant qu'agromatériaux permettrait 1) de diversifier les sources d'approvisionnement, 2) d'apporter une source de revenus complémentaire aux agriculteurs et 3) d'adapter la composition des panneaux de particules en fonction de la ressource disponible dans la région.

Le but de cette étude est de comparer le potentiel de ces quatre agroressources, pour la réalisation de panneaux agglomérés, au travers l'étude de leurs propriétés physicochimiques. Les panneaux agglomérés sont conçus en thermocompressant de la matière végétale humide. Aucun liant n'est ajouté, les panneaux sont donc 100 % biosourcés. L'étude propose la caractérisation du pouvoir isolant des matériaux, de leur comportement hygroscopique et de leur résistance à la flexion.

## 2. MATERIELS ET METHODES

### 2.1. ORIGINE DES PARTICULES DE CHAQUE AGRO-RESSOURCE

La figure 1 présente des échantillons de chaque agroressource.



Figure 1 : Echantillons des quatre agroressources : chènevotte (a), anas de lin (b), écorce de tournesol (c) et paille de colza (d).

#### 2.1.1. La chènevotte

En France et principalement dans l'est de la France, environ 11 000 hectares sont dédiés à la culture du chanvre chaque année. A raison de 7 tonnes de tiges par hectare, le gisement français en paille de chanvre est de 56 000 tonnes de paille par an. Le défibrage du chanvre permet d'obtenir, par rapport à la masse de la paille, environ 30 % de fibres de chanvre, 55 % de chènevotte et de la poussière. La filière de la chènevotte est déjà opérationnelle, la chènevotte est valorisée en litière animale et elle fait l'objet de nombreux projets dans le domaine du bâtiment. La chènevotte utilisée pour le projet est vendue sous le nom de Kanabat commercialisée par La Chanvrière De l'Aube<sup>14</sup> (LCDA). Elle a été au préalable dépoussiérée mais aucune autre transformation n'est opérée (figure 1a).

#### 2.1.2. Les anas de lin

Deux sortes de lin sont cultivés en France : le lin fibre (75 000 ha) et le lin oléagineux (11 000 ha). Le lin fibre est produit pour des usages textiles et est cultivé dans les régions au climat tempéré à influence maritime du nord de la France et plus particulièrement en Normandie. Les filasses (fibres longues) et les étoupes sont les principales valorisations mais les coproduits du défibrage, les anas de lin, sont aujourd'hui valorisés en litières animales. De même que pour la chènevotte, la filière produisant les anas de lin est bien structurée. Les anas de lin utilisés (figure 1b) dans l'étude proviennent du département de Seine-Maritime. Seul un dépoussiérage a été réalisé.

#### 2.1.3. L'écorce de tournesol

La culture du tournesol en France est importante. Elle s'étend sur 700 000 hectares et est totalement consacrée à la récolte des graines pour l'obtention de l'huile de tournesol. Les tiges sont

laissées au champ après la récolte des capitules et sont ensuite enfouies. Le rendement en paille de tournesol est d'environ 2 tonnes par hectare. Une tige de tournesol est composée de moelle au centre et d'écorce en périphérie. La moelle et l'écorce se séparent spontanément lorsque la tige est sèche. L'écorce de tournesol est la ressource du tournesol envisagée pour cette étude. Elle provient du sud-ouest de la France. Les tiges de tournesol avaient été ramassées au champ puis broyées. L'écorce a été séparée de la moelle. Les particules d'écorce (figure 1c) sont ensuite dépoussiérées et utilisées sans autre transformation.

#### 2.1.4. La paille de colza

La culture du **colza** en France s'étend sur 1 400 000 hectares. Comme celle du tournesol, elle est totalement consacrée à la récolte des graines pour l'industrie oléagineuse. Les tiges sont laissées au champ et le rendement en paille est de deux tonnes par hectare. La tige est constituée de moelle entourée d'écorce mais le tri entre l'écorce et la moelle n'est pas envisageable. Les particules de paille de colza contiennent donc de la moelle et de l'écorce. La paille de colza a été fournie par un agriculteur du département de l'Eure. La paille a été broyée par un broyeur à couteaux (SM 100, Retsch). Les mailles de la grille du broyeur sont d'une forme carrée et de section de 1 cm<sup>2</sup>, de façon à obtenir des particules de taille de même ordre de grandeur (figure 1d) que les autres particules (chènevotte, anas de lin, écorce de tournesol). Les particules de paille de colza sont ensuite dépoussiérées grâce à un tamisage à 0,71 mm.

## 2.2. MISE EN ŒUVRE DES PANNEAUX DE PARTICULES

Le but de cette étude est de comparer quatre agroressources potentiellement susceptibles de remplacer le bois dans l'élaboration de panneaux de particules. Le procédé industriel pour la fabrication des panneaux de particules de bois implique l'usage d'une colle urée-formol. Ainsi, la référence dans l'évaluation de nos matériaux sera un matériau de particules de bois dont le liant est de la colle urée-formol (ajout de 20% par rapport à la masse des particules). Pour réaliser ces matériaux, des copeaux de bois ont été achetés dans la grande distribution puis broyés et tamisés selon le même procédé que pour la paille de colza.

Les panneaux de particules sont réalisés sous forme de tri-couche. Deux types de particules aux granulométries différentes sont utilisés. La granulométrie des particules est déterminée par tamisage. Elle est donc basée sur le diamètre des particules. Les particules dites « grosses » présentent un diamètre compris entre 2 et 4 mm et les particules dites « fines » un diamètre compris entre 0,5 et 2 mm. Une couche de particules dites « grosses » s'intercale entre deux couches de particules dites « fines ». La proportion massique des couches est de 1/6 de « fines », 2/3 de « grosses » et 1/6 de « fines ». La densité désirée pour les panneaux est de 350 kg.m<sup>-3</sup>. Les quantités de particules pour chaque type de particules sont déterminées par rapport au volume final du panneau.

Pour la formulation à base de particules de chènevotte, d'anas de lin, d'écorce de tournesol et de paille de colza, aucun liant n'est ajouté. Une quantité d'eau représentant 80 % de la masse des particules est pulvérisée sur les particules. Celles-ci sont ensuite réparties de façon homogène dans un moule en aluminium de 15 cm de côté de façon à former une tri-couche. Le moule est ensuite placé dans une presse oléopneumatique à plateaux chauffants (Scamex) pendant 50 minutes à 170°C. L'épaisseur de la plaque est ajustée à 1,5 cm grâce à des cales en fonte sur lesquelles viennent reposer les plateaux de la presse. Les dimensions des panneaux finis sont de 15 x 15 x 1,5 cm<sup>3</sup>.

### 2.3. MESURE DE LA MASSE VOLUMIQUE APPARENTE DES MATIERES VEGETALES

La masse volumique apparente est la masse volumique du matériau en vrac comprenant les vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre particules. Elle est déterminée par une méthode « tapée » qui consiste à suivre le protocole suivant : 1) remplir une éprouvette graduée de matière végétale ; 2) taper 20 fois l'éprouvette contre la paillasse pour que la matière soit bien tassée ; 3) lire le volume occupé par la matière végétale ; 4) peser la matière première de l'éprouvette et 5) répéter 5 fois l'essai et déduire une valeur moyenne ainsi que l'écart-type de la mesure. Cette méthode est arbitraire puisqu'elle dépend du volume et de la forme de l'éprouvette mais en utilisant toujours le même matériel, elle permet d'établir un classement relatif des agroressources.

### 2.4. MESURE DE LA CONDUCTIVITE THERMIQUE

La conductivité thermique caractérise le flux de chaleur traversant un matériau d'un mètre d'épaisseur, pour une différence de température de un kelvin entre les deux faces entrante et sortante. Notée  $\lambda$ , elle s'exprime en  $W.m^{-1}.K^{-1}$ . Sa valeur permet de quantifier la capacité du matériau à conduire la chaleur. Plus elle est faible, plus le matériau est isolant. La conductivité thermique a été analysée à l'aide d'un calorimètre HFM 436 Lambda (Netzch). Les échantillons de mesure sont les panneaux de dimensions  $15 \times 15 \times 1,5 \text{ cm}^3$ . Les mesures sont répétées au minimum deux fois.

### 2.5. EVALUATION DU COMPORTEMENT HYGROSCOPIQUE

Le comportement hygroscopique est déterminé par la technique gravimétrique statique, basée sur la mesure de la masse des échantillons au cours du temps dans des conditions d'humidité relative et de température fixées. Les essais ont été effectués à six humidités relatives différentes (8, 33, 53, 73, 85, 93 %) et à  $23^\circ\text{C}$ <sup>15</sup>. L'humidité relative de 8 % a été contrôlée par une solution saturée en KOH placée dans un dessiccateur. Les cinq autres humidités relatives ont été générées par une enceinte climatique. Les échantillons sont de dimensions  $5 * 5 * 1,5 \text{ cm}^3$ . Auparavant, les échantillons avaient été déshydratés en les conditionnant sous  $\text{P}_2\text{O}_5$  dans un dessiccateur jusqu'à stabilisation de leur masse. De même, le passage à l'humidité relative supérieure n'est réalisé que lorsque la masse est stable. Les essais sont répétés trois fois. Les isothermes de sorption d'eau des matériaux sont obtenus en traçant la courbe de la masse d'eau absorbée à l'équilibre en fonction de l'humidité relative de l'atmosphère.

### 2.6. EVALUATION DE LA RESISTANCE MECANIQUE

Les essais de flexion induisent une distribution de contraintes présentant à la fois un gradient et une répartition de contraintes de traction et de compression. Ces essais déterminent l'aptitude à la déformation d'un matériau sur deux appuis avec une application de l'effort à mi-distance. Les tests de flexion ont été réalisés à l'IUT d'Alençon à l'aide d'une machine d'essai Instron 8801 équipée d'un banc de flexion 3 points. Une vitesse de déplacement constante (5 mm/min) est imposée au couteau cylindrique central et la force nécessaire est mesurée à l'aide d'un capteur de force de 5 kN. Les éprouvettes ont pour dimensions  $L=150 \times b=30 \times e=15 \text{ mm}^3$ . Les essais sont répétés cinq fois. La contrainte de rupture en flexion est déterminée par la formule 1, où  $F$  est la charge totale appliquée à la rupture en flexion (en N) et  $L'$  la distance en mm entre les axes des appuis cylindriques (100 mm).

$$\sigma_R = \frac{3FL'}{2be^2} \quad (1)$$

Le module d'élasticité est déterminé sur la partie linéaire de la courbe (entre 10 et 40% de la contrainte maximale à rupture) est donné par la formule 2, où  $f$  est la flèche de l'éprouvette (en mm).

$$E = \frac{L'(F_{40\%} - F_{10\%})}{4be^3(f_{40\%} - f_{10\%})} \quad (2)$$

### 3. RESULTATS ET DISCUSSION

Des mesures de conductivité thermique, de prise de masse par sorption à la vapeur d'eau et de flexion trois points ont été réalisés sur les 5 types de panneau. Les résultats sont présentés selon un code couleur : la chènevotte en noir, les anas de lin en rouge, l'écorce de tournesol en vert, la paille de colza en orange et le bois en violet.

#### 3.1. CONDUCTIVITE THERMIQUE

La conductivité thermique, notée  $\lambda$ , est un indicateur de la performance en isolation thermique d'un matériau. Le tableau 1 présente les résultats de conductivité thermique pour les cinq types de panneaux. Les résultats sont présentés dans le tableau 1.

*Tableau 1 : Conductivité thermique à 20°C des matériaux et masse volumique apparente des agroressources les composant.*

Agroressource	$\lambda$ à 20°C (mW.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )	Masse volumique apparente de la matière première (kg.m <sup>-3</sup> )
Chènevotte	64 ± 8	106 ± 7
Anas de lin	68 ± 6	113 ± 3
Ecorce de tournesol	70 ± 3	135 ± 3
Paille de colza	67 ± 4	78 ± 1
Bois (colle)	74 ± 5	160 ± 5

Selon l'agroressource, la conductivité thermique varie de 64 à 74 mW.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>. Les valeurs de conductivité thermique obtenues pour tous les matériaux sont basses, ce qui indique que les matériaux sont de bons isolants thermiques. Le matériau élaboré à base de particules de bois et dont la formulation implique de la colle urée-formol présente une conductivité thermique du même ordre de grandeur que les autres matériaux. La présence de colle synthétique n'a donc pas d'incidence sur l'isolation thermique des matériaux.

Les variations de conductivité thermique observées en fonction de l'agroressource sont faibles et devraient être expliquées par des variations de masse volumique. Les matériaux élaborés pour cette étude ont tous la même masse volumique (350 kg.m<sup>-3</sup>) mais différent par la masse volumique apparente de leur matière végétale avant la mise en œuvre sous forme de panneau (tableau 1). La relation entre la conductivité des panneaux et la masse volumique apparente de la matière végétale est difficile à établir. Cependant la chènevotte, les anas de lin et la paille de colza montrent des

masses volumiques apparentes plus faibles que l'écorce de tournesol et le bois. Cette même tendance est remarquée pour les conductivités thermiques. Les valeurs obtenues pour les matériaux à base d'écorce de tournesol ( $70 \text{ mW.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ) et de bois ( $74 \text{ mW.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ) sont légèrement plus élevées que celles obtenues pour les matériaux à base de chènevotte ( $64 \text{ mW.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ), d'anas de lin ( $68 \text{ mW.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ) et de paille de colza ( $67 \text{ mW.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ).

L'influence de la masse volumique sur la conductivité thermique est expliquée par la présence de vides entre les particules et dans les particules pour les matériaux de faible masse volumique. Ils sont alors moins bons conducteurs et meilleurs isolants thermiques. La masse volumique du matériau est fonction : 1) de la porosité de la particule et de la densité de son squelette (spécifiques à l'agroressource) ; et 2) de la porosité du matériau provoquée par l'arrangement des particules entre elles, spécifique aussi à l'agroressource. Mais dans cette étude, les écarts de masse volumique apparente entre les agroressources ne sont pas suffisants pour expliquer les différences de conductivité thermique.

La performance de nos matériaux en isolation thermique est causée par la faible densité des panneaux ( $350 \text{ kg.m}^{-3}$ ) permettant la présence de vides entre les particules et dans les particules et donc, plus globalement, par les microstructures poreuses aux échelles de la particule et du matériau.

### 3.2. SORPTION A LA VAPEUR D'EAU

La figure 2 présente les isothermes de sorption à la vapeur d'eau des cinq matériaux. Les prises de masse ont été mesurées à 6 humidités relatives (HR). Les essais sont répétés sur trois échantillons de matériaux. Les écarts-types sont au maximum de 0,5 % de la prise en masse.

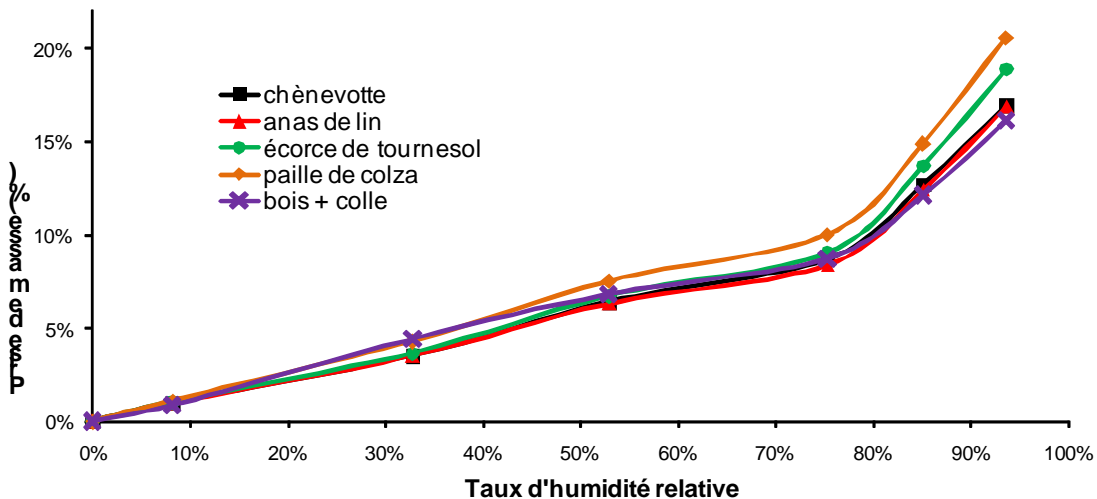


Figure 2 : Isothermes de sorption à 23°C des matériaux élaborés.

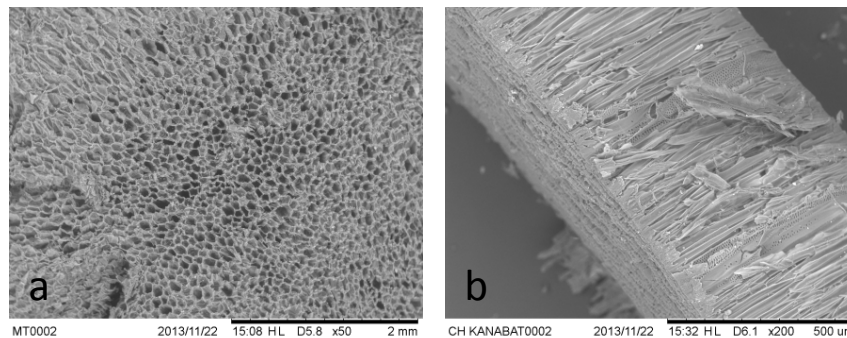
Tous les isothermes ont une allure sigmoïdale. Cette allure d'isotherme est observée quand les interactions entre pénétrant (eau) et polymère (squelette des particules) sont fortes. Les molécules d'eau pénètrent dans le réseau du matériau et ont des mécanismes de fixation dépendant du taux d'humidité relative :

- aux basses HR (< 8 %), elles s'adsorbent de façon monomoléculaire sur les groupes polaires du squelette. Elles recouvrent la surface du squelette en une seule couche ;
- puis, aux HR moyennes (entre 8 et 75 %), les molécules d'eau s'adsorbent de façon polymoléculaire c'est-à-dire qu'elles recouvrent la monocouche initiale ;



- et enfin, aux grandes HR (> 75 %), c'est un phénomène de condensation capillaire qui se produit. Les couches de molécules d'eau se rejoignent et des agrégats de molécules d'eau se forment.

Aux fortes HR, les matériaux se distinguent. La prise en masse pour les matériaux à base de colza et d'écorce de tournesol est plus forte. Ceci est dû à la présence de moelle dans ces agroressources. Le procédé de transformation de la paille de colza en particules ne permet pas de retirer la moelle de l'écorce. Chaque particule de paille de colza contient à la fois de l'écorce et de la moelle. Les particules de moelle de tournesol parmi les particules d'écorce de tournesol (figure 1c) sont les résidus du procédé de tri du broyat des tiges. Des images réalisées au microscope électrique à balayage (MEB) montrent des structures alvéolaires (figure 3a) pour les moelles (tournesol et colza) et des structures vasculaires (figure 3b) pour les autres particules.



Figures 3 : Clichés MEB de la moelle de tournesol (a) et de la chènevotte (b).

La surface du squelette (alvéoles) des moelles, où les interactions entre l'eau et les polymères du squelette s'effectuent, est plus importante et provoque une plus forte prise en masse en eau. Cependant la faible proportion de moelle contenue dans les particules d'écorce de tournesol limite l'augmentation du comportement hygroscopique du panneau. Il est remarquable également que le matériau à base de bois et colle UF présente une prise en masse comparable à celle des matériaux à base de chènevotte ou d'anas de lin (sans additif synthétique). La colle synthétique ne protège donc pas le panneau vis-à-vis de l'humidité.

### 3.3. EVALUATION DES PROPRIETES MECANQUES

#### 3.3.1. Evaluation du module d'élasticité

La figure 4 présente un exemple de courbe de l'évolution de la contrainte en fonction de la déformation pour chaque matériau. Les matériaux à base de chènevotte et d'anas de lin, sans colle synthétique, présentent des modules d'élasticité de 162 et 96 MPa, plus élevés que celui du matériau « bois + colle UF » de 81 MPa. Le matériau à base d'écorce de tournesol se démarque nettement des autres par son très faible module d'élasticité de 24 MPa. Le matériau à base de paille de colza présente un module d'élasticité intermédiaire de 54 MPa.

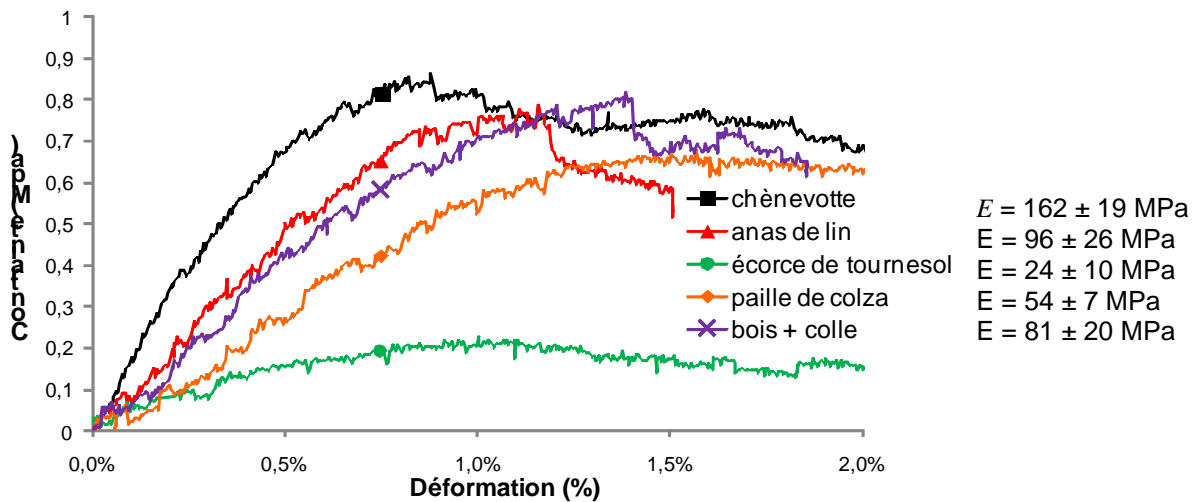


Figure 4 : Courbes de l'évolution de la contrainte en fonction de la déformation des matériaux élaborés lors d'essais de flexion trois points. La valeur ajoutée à côté de chaque légende est la moyenne du module d'élasticité obtenue après les cinq essais ainsi que l'écart-type résultant.

La rigidité des particules et la microstructure finale du matériau sont dépendantes de la géométrie de la particule. Alors que les particules de chènevotte, d'écorce de tournesol et de bois ont une forme de « bâtonnet », sont plutôt rigides et peuvent présenter une épaisseur de 2 mm, les particules d'anas de lin et de paille de colza ressemblent davantage à des « paillettes », sont souples et sont très fines (leur épaisseur ne dépassent pas 0,5 mm). Les moelles sont des matières de type « mousse » et sont fragiles. Ces différences de morphologie ont des répercussions sur le module d'élasticité.

La présence de moelle dans les matériaux à base d'écorce de tournesol et de paille de colza explique en partie donc les bas modules d'élasticité de ces matériaux. L'épaisseur et donc la rigidité des particules de chènevotte, d'écorce de tournesol et de bois permettent d'apporter de la rigidité au matériau. Néanmoins la finesse des particules d'anas de lin et de paille de colza permet de rendre la microstructure finale des matériaux plus homogène. Ainsi, la rigidité du matériau est le résultat de la combinaison entre la rigidité des particules (fonction de l'épaisseur des particules) et la microstructure finale du matériau (aussi fonction de l'épaisseur des particules). Les matériaux à base de particules de chènevotte et d'anas de lin proposent les meilleurs compromis.

### 3.3.2. Evaluation de la tenue à rupture

Une analyse visuelle des faciès de rupture des éprouvettes (non présentés) montre que l'origine de la rupture se situe, pour tous les matériaux, à l'interface entre les particules et non au sein des particules. Alors que la rigidité des matériaux est fonction principalement de la rigidité des particules élémentaires et de la microstructure finale, la tenue à rupture dépend fortement de la qualité de l'adhésion et de la quantité de zones d'adhésion entre les particules.

La qualité de l'adhésion est influencée par les interactions entre les molécules libérées lors du procédé et les polymères du squelette des particules. Les molécules de polymères extraites lors de la fabrication des panneaux à base de chènevotte et d'anas de lin permettent une meilleure tenue à rupture des matériaux que la colle UF des panneaux de bois. La densité de zones d'adhésion est influencée par la superficie extérieure de la particule. Plus les particules sont fines, plus le nombre de particules pour un même volume est élevé et donc plus la superficie d'adhésion cumulée est grande.

## 4. CONCLUSION

L'objectif de cette étude était de comparer quatre agroressources au travers de l'étude des propriétés physicochimiques de panneaux agglomérés 100% biosourcés. Les mesures de conductivité thermique démontrent que les matériaux élaborés sont de bons isolants. Cette performance thermique est due à la caractéristique naturelle de ces matières végétales à être naturellement poreuse. Les mesures de sorption à la vapeur d'eau et de résistance mécanique des matériaux mettent en évidence que deux de ces quatre agroressources présentent des performances comparables voire supérieures à celle du matériau de référence élaboré avec des particules de bois et de colle UF. Il s'agit de la chènevotte et des anas de lin.

Globalement, cette étude a démontré la faisabilité à l'échelle laboratoire, de panneaux 100% biosourcés sans ajout de colle synthétique en utilisant les caractéristiques naturelles des matières végétales (porosité, composite). Les agroressources étudiées ici, notamment la chènevotte et les anas de lin, semblent donc de bons candidats au remplacement du bois pour la fabrication de panneaux agglomérés de faible densité.

## 5. REFERENCES

1. D. Wang, X. Sun, *Low density particleboard from wheat straw and corn pith*, Industrial Crops and Products (15) (2002) 43-50
2. L. Zhang, Y. Hu, *Novel lignocellulosic hybrid particleboard composites made from rice straws and coir fibers*, Materials and Design (55) (2014) 19-26
3. P. Khristova, N. Yossifov, S. Gabir, I. Glavche, Z. Osman, *Particle boards from sunflower stalks and tannin-modified UF resin*, Cellul. Chem. Technol. (32) (1998) 327-337
4. Z. Pan, A. Cathcart, D. Wang, *Properties of particleboard bond with rice bran and polymeric methylene diphenyl diisocyanate adhesives*, Industrial Crops and Products (23) (2006) 40-45
5. E. Privas, P. Navard, *Preparation, processing and properties of lignosulfonate-flax composite boards*, Carbohydrate Polymers (93) (2013) 300-306
6. A. Pizzi, R. Kueny, F. Lecoanet, B. Massetau, D. Carpentier, A. Krebs, *High resin content natural matrix-natural fibre biocomposites*, Industrial Crops and Products (30) (2009) 235-240
7. A. Pizzi, *Recent developments in biobased adhesives for wood bonding: Opportunities and issues*, Journal of Adhesion Science and Technology (20-8) (2006) 829-846
8. N. El Hajj, R.M. Dheilly, A. Goullieux, Z. Aboura, M.L. Benzeggagh, M. Quéneudec, *A innovant agromaterials formulated with flax shaves and proteinic binder: Process and characterization*, Composites: Part B (43) (2012) 381-390
9. J. Lazko, N. Landercy, F. Laoutid, L. Dangreau, M.H. Huguet, O. Talon, *Flame retardant treatments of insulating agro-materials from flax short fibre*, Polymer Degradation and Stability (98) (2013) 1043-1051
10. S. Sun, J.D. Mathias, E. Toussaint, M. Grédiac, *Hygromechanical characterization of sunflower stems*, Industrial Crops and Products (46) (2013) 50-59
11. S. Halvarsson, H. Edlund, M. Norgren, *Manufacture of non-resin wheat straw fibreboards*, Industrial Crops and Products (29) (2009) 437-445
12. J. Xu, G. Han, E.D. Wong, S. Kawai, *Development of binderless particleboard from kenaf core using steam-injection pressing*, J Wood Sci (49) (2003) 327-332
13. J. Xu, R. Sugawara, R. Widyorini, G. Han, S. Kawai, *Manufacture and properties of low-density binderless particleboard from kenaf core*, J Wood Sci (50) (2004) 62-67
14. <http://www.chanvre.oxatis.com>
15. Norme ISO 12571:2000. Performance hygrothermique des matériaux et produits pour le bâtiment – Détermination des propriétés de sorption hygroscopique