

## De la valorisation d'une plante invasive (*Baccharis halimifolia*) vers l'écoconception d'un panneau bois local

BERTRAND Gaël<sup>1,2</sup>, LACOSTE Clément<sup>1</sup>, LE MOIGNE Nicolas<sup>1</sup>, HOSTEQUIN Anne-Claire<sup>3</sup>, MAGNIN Arnaud<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Polymères, Composites et Hybrides (PCH), IMT Mines Alès, Alès

<sup>2</sup>Master Science du Bois, Université des Sciences de Montpellier

<sup>3</sup>Ateliers LUMA, Arles

[gael.bertrand@etu.umontpellier.fr](mailto:gael.bertrand@etu.umontpellier.fr)

**Mots clefs :** Panneaux, bois, fibres, colle, biocomposites, bio-adhésifs, valorisations

### Contexte et objectifs

*Baccharis halimifolia* L. (Asteraceae) est un arbuste invasif au fort potentiel de développement sur le littoral camarguais. Les équipes des Ateliers Luma, en collaboration avec le centre de recherche C2MA de l'IMT Mines Alès sont à l'initiative de recherches qui permettraient de valoriser les broyats issus des campagnes d'arrachages de *B. halimifolia* en panneaux biosourcés et biodégradables d'usage non-structuraux. Dans le cadre d'un projet collaboratif, réalisé dans l'équipe Polymères, Composites et Hybrides (PCH), il a été possible de mettre au point un procédé expérimental permettant de fabriquer des panneaux de *B. halimifolia* en utilisant un liant biosourcé. Trois granulométries de broyats ont été thermo-compressées avec ce liant puis soumises à des essais de flexion 3 points pour évaluer leurs performances mécaniques. En complément, la qualité de l'interface fibre-liant a été évaluée par microscopie électronique à balayage. L'objectif est de mettre en lien les observations faites à l'échelle microstructurale et les résultats obtenus en essais mécaniques.

### Matériel et méthodes

#### *Caractérisation anatomique de B. Halimifolia*

Un échantillon de *B. Halimifolia* a été arraché sur les sites des marais de Meyrannes. Sur cet individu ont été prélevés plusieurs coupes anatomiques correspondant à 3 niveaux d'unités de croissances différentes (structure mise en place par la tige au cours d'une période d'allongement ininterrompue).

Les échantillons sont donc : 3 coupes anatomiques à UC<sub>n</sub> ; 3 coupes anatomiques à UC<sub>n-1</sub> ; 3 coupes anatomiques à UC<sub>n-2</sub> ou plus anciennes ; 3 coupes anatomiques de racines ; 3 coupes anatomiques de feuille.

Les coupes sont colorées au bleu de toluidine puis placées sur un montage entre lame et lamelle de verre afin d'être observées au microscope optique en lumière blanche, puis au microscope optique / numérique en lumière blanche. Les photographies sont prises numériquement depuis un poste informatique relié au microscope optique / numérique Olympus du département de biologie de l'université de Montpellier.

#### *Préparation des fractions de broyats*

Les fractions de broyats réceptionnées au laboratoire sont issues d'un broyeur agricole. Ces dernières sont à nouveau broyées au calibre 8 mm puis tamisées selon trois mélanges granulométriques :

- Mélange 1 :  $0,5 \text{ mm} < x < 4 \text{ mm}$  ;
- Mélange 2 :  $0,5 \text{ mm} < x < 2 \text{ mm}$  ;
- Mélange 3 :  $2 \text{ mm} < x < 4 \text{ mm}$ .

#### Préparation du liant

Pour chaque panneau, 84,4 grammes de liant sont mélangés à 477,8 grammes d'eau distillée dans un réacteur (1) à température ambiante. Ce mélange est ensuite placé dans un bain d'huile (2) puis chauffé avec un agitateur chauffant (3) jusqu'à  $85^\circ\text{C}$  (4) et jusqu'à épaississement (Fig. 1).

#### Fabrication des panneaux

Le processus de fabrication des panneaux (Fig. 2) se fait en 4 grandes étapes. L'encollage consiste à mélanger manuellement les fractions broyées de *B. halimifolia* avec le liant humide. Une fois encollé, le mélange est placé en étuve pendant 16 heures (une nuit) à  $55^\circ\text{C}$ . Lorsqu'il est sec, le mélange est placé dans un moule usiné en  $30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ . Enfin, un contre moule de  $29,5 \text{ cm} \times 29,5 \text{ cm} \times 0,33 \text{ cm}$  vient s'intégrer au moule pour obtenir un panneau d'une épaisseur finale de  $0,67 \text{ cm}$  après l'étape de thermocompression.

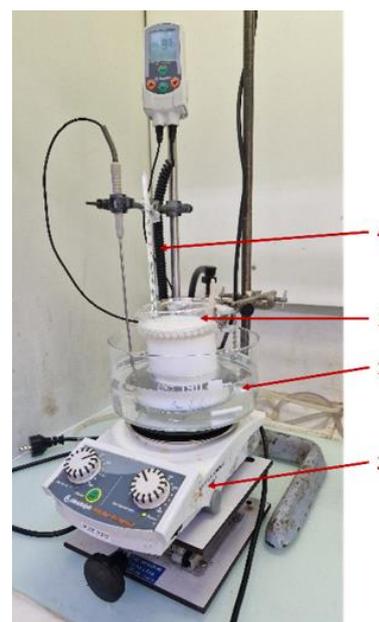


Fig. 1 : Montage sous sorbonne nécessaire à la préparation de la colle végétale. Un réacteur est chauffé dans un bain d'huile à l'aide d'un agitateur chauffant.



Fig. 2 : Processus de fabrication d'un panneau de *Baccharis halimifolia* depuis la phase d'encollage des fractions jusqu'à la thermocompression.

Le programme retenu pour la confection des panneaux de *B. halimifolia* (Tab. 1) est le suivant :

- **Palier 1** : 5 minutes de chauffe à une pression de 25 KN à  $130^\circ\text{C}$  ;
- **Palier 2** : 10 minutes de pression à 500 KN à  $130^\circ\text{C}$  ;
- **Palier 3** : 10 minutes de pression à 500 KN en refroidissement à  $70^\circ\text{C}$  ;
- **Palier 4** : 2 minutes de refroidissement à 25 KN à  $70^\circ\text{C}$ .

Tab. 1 : Nomenclature des panneaux de fractions de baccharis.

Panneau	Mélange	Granulométrie	Paramètre étudié	Méthode
GR-AB-1	Mélange 1	0,5 mm à 2 mm	Granulométrie	Flexion 3 points
GR-AB-2		0,5 mm à 2 mm	Granulométrie	Flexion 3 points
GR-AB-3	Mélange 2	0,5 mm à 4 mm	Granulométrie	Flexion 3 points
GR-AB-4		0,5 mm à 4 mm	Granulométrie	Flexion 3 points
GR-AB-5	Mélange 3	2 mm à 4 mm	Granulométrie	Flexion 3 points
GR-AB-6		2 mm à 4 mm	Granulométrie	Flexion 3 points
SE-AB-1	-	0,5 mm à 4 mm	Fabrication sans étuve	Flexion 3 points

Seuls les panneaux en **gras** servent à déterminer la granulométrie optimale par essais de flexion 3 points.

Un suivi du taux d'humidité des fractions encollées est également réalisé au cours de l'étuvage. Chaque heure, environ 15g de fractions sont prélevées d'un mélange en séchage à l'étuve à 50°C puis leur teneur en eau est évalué à l'aide d'une balance infrarouge.

#### *Fabrication du panneau sans temps d'étuve*

Un panneau est fabriqué selon un protocole différent ; une poudre sèche est intégrée aux fractions de bois avec de l'eau. La quantité d'eau ajoutée correspond à une estimation du taux d'humidité présent dans les mélanges 1, 2 ou 3 après 13 heures d'étuve à 50°C. Ce panneau est moulé puis thermo compressé dans les minutes qui suivent l'encollage selon le même protocole et le même programme que pour les autres mélanges.

#### *Caractérisation mécanique des panneaux*

Afin de procéder à une caractérisation mécanique en flexion 3 points, le protocole qui est suivi est décrit par la norme NF EN 310 de juin 1993. Le banc de flexion qui est utilisé est un Zwick Roell. Cet essai permet de déterminer le module d'élasticité en flexion 3 points (noté  $E_m$ ) et la résistance à la flexion (notée  $f_m$ ). Les panneaux sont découpés sous forme d'éprouvettes dont les dimensions sont explicitées dans la norme NF EN 310. Les mesures sont : 6,7 mm (épaisseur), 40 mm (largeur), 184 mm (longueur).

#### *Observation au microscope électronique à balayage des interfaces liant / fractions*

Des échantillons de panneaux d'environ 5mm<sup>3</sup> sont prélevés dans la zone de rupture suite aux essais mécaniques, puis placés dans la chambre sous vide du MEB. L'observation de ces interfaces peut permettre d'observer la qualité de la cohésion entre le liant et les broyats de *B. halimifolia*.

## **Résultats et discussion**

#### *Caractérisation anatomique de B. halimifolia*

Sur l'échantillon UCn-1 (Fig. 3), les parenchymes de rayons sont visibles (3), ils peuvent varier entre unisérié (une seule cellule) et multisériés (jusqu'à 10 cellules). Du parenchyme paratrachéal est présent aux côtés des éléments de vaisseaux à disposition flammée. Ici, un troisième cerne est en formation (4).

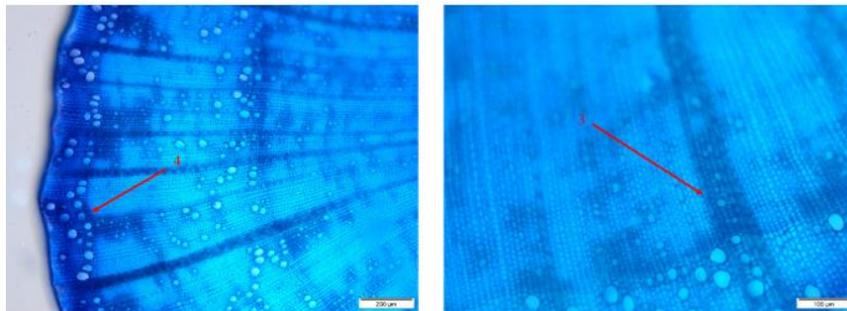


Fig. 3 : Coupe anatomique du bois seul de *B. halimifolia* à UCn-1. Cette coupe permet d'observer de larges rayons ainsi que la porosité du bois de *B. halimifolia*.

Des cristaux de sels ont été observés sur les feuilles de *B. halimifolia*. En effet *B. halimifolia* est une espèce halophyte facultative qui peut se développer sur des sols littoraux avec de forts taux de salinité, jusqu'à 33 g/l mais peut également pousser sur des sols à très faible taux de salinité (Fried et al. 2016). De plus, la présence de stomates traduit une capacité forte à gérer l'évapotranspiration par les feuilles et ainsi réagir au déficit hydrique auquel il peut être

confronté. Ces adaptations font de *B. halimifolia* une plante invasive avec un très fort potentiel de développement sur les littoraux et sur les parcelles côtières chaudes et tempérées.

#### Préparation des fractions de broyats

La préparation des fractions de *B. halimifolia* détermine la granulométrie des panneaux. De plus, la présence de fractions fines (0,5 mm à 2 mm) dans le mélange granulométrique peut favoriser la cohésion du panneau via l'interface liant / fraction. Ces petites particules peuvent prendre place entre les plus grandes et renforcer la compacité et la rigidité du panneau obtenu.

#### Fabrication des panneaux

La Fig. 4 montre l'évolution du taux d'humidité du mélange liant / fractions sur 24 heures à 50°C. Ce suivi a permis de déterminer que le taux d'humidité idéal du mélange pré-thermocpression est de 5 % à 20 % (Facteur 4 dû à l'imprécision de la mesure ; certaines particules sont encore très humides, d'autres très sèche après 12 heures en étuve).

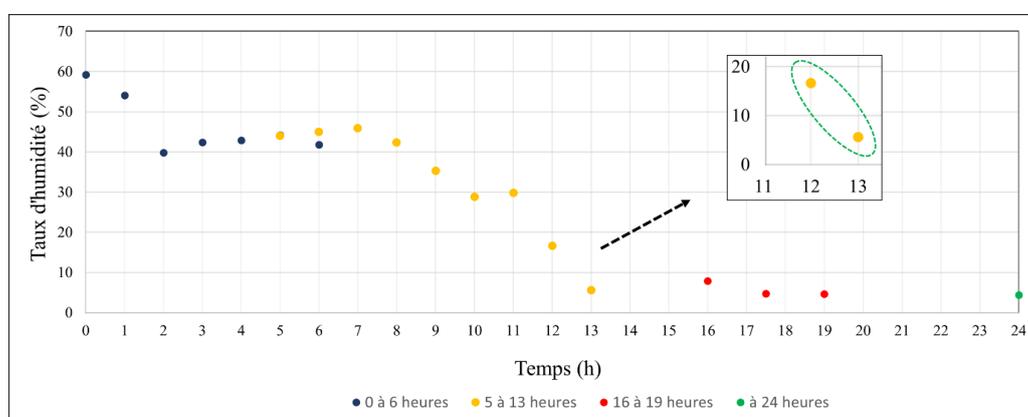


Fig. 4 : Suivi de l'évolution du taux d'humidité du mélange liant / fractions sur 24 heures à 50°C.

Le programme de thermopressage qui a été mis au point pour cette étude semble être très bien adapté au produit fabriqué (Fig. 5). Cependant il ne reproduit pas fidèlement un procédé industriel en semi-continu ou continu qui nécessiterait des optimisations vis-à-vis du mélangeage lors de l'encollage et du cycle de séchage.



Fig. 5 : (gauche) Utilisation d'un moule usiné permettant l'évacuation du surplus de vapeur pendant la phase de thermocompression. (droite) Panneau GR-AB-3 obtenu de granulométrie 0,5 mm à 4 mm.

#### Caractérisation mécanique des panneaux

Cette expérimentation a permis d'éliminer la granulométrie 2 mm à 4 mm (GR-AB-5 et GR-AB-6 issue du mélange 3, qui n'apparaît pas sur le Tab. 2) car il n'a pas été possible de la découper, les échantillons étant trop peu cohésifs impliquant un arrachage des fibres de plus grandes dimensions par la lame de scie circulaire.

D'après les résultats obtenus, le panneau GR-AB-2 est pourvu du meilleur module d'élasticité, 917,8 MPa, tandis que le panneau GR-AB-4 affiche la meilleure résistance à la flexion, 8 MPa. Cependant, il faut noter qu'aucune de ces valeurs n'est suffisante pour souscrire à l'exigence de la norme NF EN 310, soit 10,5 MPa pour les panneaux de particules de cette gamme d'épaisseur.

Tab. s2 : Récapitulatif des essais de flexion 3 points pour l'étude granulométrique.

Granulométrie						
Éprouvette (panneau entier)	Mélange	Colle	Granulométrie	Masse volumique du panneau $\rho$ (kg.m <sup>3</sup> )	Module d'élasticité $E_m$ (Mpa)	Résistance à la flexion $f_m$ (Mpa)
GR-AB-1	1	Amidon de blé	0,5 mm à 2 mm	1015,8 ± 42,7	803,9 ± 129,1	6,2 ± 1,1
GR-AB-2		Amidon de blé	0,5 mm à 2 mm	1053,7 ± 51,5	<b>917,8 ± 138,6</b>	6,5 ± 0,2
GR-AB-3	2	Amidon de blé	0,5 mm à 4 mm	1035,1 ± 40,9	791,9 ± 49,1	7,3 ± 0,4
GR-AB-4		Amidon de blé	0,5 mm à 4 mm	1027,1 ± 22,8	850,3 ± 118,8	<b>8 ± 1</b>
Moyenne				-	-	-
Norme EN 312 P2	UF 10 %	-	-	-	1800	11

Les valeurs de module d'élasticité et de résistance à la flexion sont issues des moyennes obtenues pour chaque éprouvette testée (4 par panneau).

Les résultats obtenus pour le panneau sans étuvage préalable du liant, SE-AB-1, affichent des valeurs de module d'élasticité inférieures aux panneaux testés pour l'étude résumée dans le Tableau 2. La masse volumique est aussi plus faible mais reste acceptable vis-à-vis de la valeur exigée par la norme. Cette méthode de fabrication, bien qu'elle permette un gain de temps considérable, ne doit pas être priorisée.

Tab.3 : Récapitulatif des essais de flexion 3 points pour l'étude mécanique comparative entre les panneaux fabriqués à partir de mélange fraction / liant étuvé, et les panneaux fabriqués à partir de mélange non étuvé.

Sans étuve						
Éprouvette (lamelle extrait de panneau)	Colle	Granulométrie	Masse volumique du panneau $\rho$ (kg.m <sup>3</sup> )	Module d'élasticité $E_m$ (Mpa)	Résistance à la flexion $f_m$ (Mpa)	Module spécifique (Mpa.m <sup>3</sup> /kg)
SE-AB-1-1	Amidon de blé	0,5 mm à 4 mm	746 ± 29	452	4,9	0,6
SE-AB-1-2	Amidon de blé	0,5 mm à 4 mm		447	4,1	0,6
SE-AB-1-3	Amidon de blé	0,5 mm à 4 mm		429	4,7	0,6
SE-AB-1-4	Amidon de blé	0,5 mm à 4 mm		293	2,7	0,4
Moyenne (du panneau)			746 ± 29	405 ± 75	4,1 ± 1	0,5 ± 0,1
Moyenne panneaux étuvés			1033 ± 39	841 ± 109	7 ± 1	-
Norme EN 312 P2	UF 10 %	-	670 ± 25	1800	11	2,68

### Observation au microscope électronique à balayage des interfaces liant / fractions

Les observations au MEB (Fig. 6) sont à mettre en lien avec les résultats obtenus lors de l'étude mécanique. En effet, l'étude des interfaces liant / fractions tendent à confirmer que l'enrobage des particules de bois de *B. halimifolia* est moins efficace pour la méthode sans chauffage préalable du liant ni étuvage du mélange fractions / liant (méthode 2) que pour la méthode avec étuve (méthode 1). Ces résultats montrent que la qualité de l'enrobage (épaisseur, distribution) lors de l'étape d'encollage des fractions avec le liant influence de façon significative les performances mécaniques des panneaux de *B. halimifolia*.

### Conclusion et perspectives

Les résultats obtenus à ce stade de l'étude montrent que les broyats de *B. halimifolia* peuvent être valorisés pour une utilisation en panneaux non-structuraux. Les performances mécaniques des panneaux obtenus avec un liant biosourcé montrent des performances proches des panneaux de particules bois du marché. Cependant, l'utilisation d'un liant biosourcé ne doit pas compromettre les performances mécaniques du composite obtenu à moyen terme, nécessitant

de poursuivre ces travaux pour évaluer leur durabilité en usage. De plus, il serait intéressant d'analyser l'impact potentiel de la teneur en sel du matériel végétal sur le phénomène de séchage/collage ainsi que l'impact sur la durabilité du panneau.

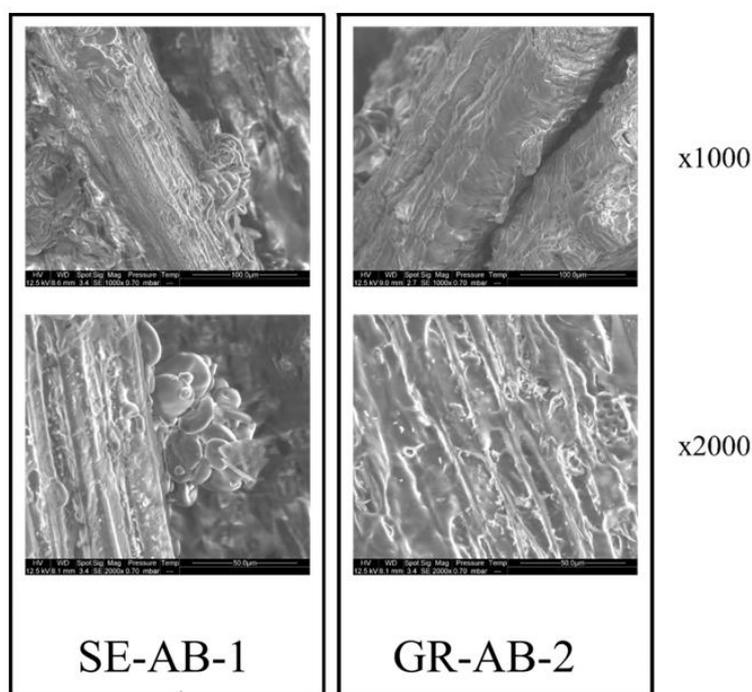


Fig. 6 : Photographies prises au MEB des échantillons de panneaux de *Baccharis*. A gauche, l'échantillon est issu d'un panneau fabriqué avec une poudre intégrée aux fractions de bois avec de l'eau. A droite, l'échantillon est issu du panneau GR-AB-2 fabriqué pour l'étude granulométrique avec un liant sous forme de solution visqueuse, puis enrobé et séché. Le mélange est placé en étuve et thermo-compressé à un taux d'humidité théorique compris entre 5 % et 20 %.

## Remerciements

Je remercie particulièrement Clément Lacoste pour sa patience, ses remarques, ses aiguillages et nos discussions toujours instructives et bienveillantes. Nicolas Le Moigne pour ses indications pertinentes, censées, toujours cohérentes et constructives. Anne-Claire Hostequin pour son dévouement envers ce projet, sa curiosité, sa créativité, ses conseils et sa disponibilité. Arnaud Magnin pour son approche technique, ses réflexions et son engagement dans le projet.

Je tiens à remercier le laboratoire d'excellence de l'université de Montpellier, LabEx NUMEV de soutenir financièrement les ambitions pédagogiques du master sciences du bois notamment sur les déplacements évènementiels tels que le GDR.

Enfin, merci à Sandrine Bardet pour son accompagnement et son énergie mise au service du Master Science du Bois.

## Références

Fried G., Cano L., Brunel S., Charpentier A. (2016) Monographs on Invasive Plants in Europe : *Baccharis halimifolia* L. Acta botanica Gallica : bulletin de la Société botanique de France 29. <https://doi.org/10.1080/23818107.2016.1168315>