

## **RECOMPOSE : Valorisation de déchets de bois de menuiseries en matériaux biocomposites pour l'habitat**

LE COURBE Arnaud<sup>1,2</sup>, CARAYON Lionel<sup>1</sup>, CANDELIER Kévin<sup>3,4</sup>,  
VIRETTO Amandine<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup>Menuiserie CARAYON, Béziers, France

<sup>2</sup>Master Sciences du bois, Faculté des sciences, Univ Montpellier, Montpellier, France

<sup>3</sup>CIRAD, UPR BioWooEB, F-34398 Montpellier, France.

<sup>4</sup>BioWooEB, Univ Montpellier, CIRAD, Montpellier, France

[kevin.candelier@cirad.fr](mailto:kevin.candelier@cirad.fr)

**Mots-clés :** Matériaux biocomposites ; Déchets de bois ; Résine Biosourcée ; Propriétés mécaniques ; Ignifugation et Durabilité biologique.

### **Contexte et objectifs**

La menuiserie CARAYON produit des menuiseries d'intérieur et d'extérieur en bois. Sa production en croissance engendre une augmentation importante des connexes, principalement sous forme de sciures et de copeaux de bois. Le projet RECOMPOSE a pour but de valoriser cette biomasse résiduelle, en développant un matériau composite entièrement biosourcé à partir de ces connexes de bois issus de la ligne de production. Ce nouveau matériau sera destiné à la fabrication de menuiseries d'intérieur innovantes, permettant à l'entreprise d'élargir leurs activités et leur gamme de produits. Il est développé en collaboration entre la menuiserie CARAYON et l'unité de recherche BioWooEB (CIRAD).

Ce projet s'inscrit dans une démarche intégrée ; il permet à l'entreprise de réduire ses émissions en CO<sub>2</sub> et autres gaz à effets de serre, ainsi que de réduire la pression sur l'exploitation forestière en limitant la consommation de bois massif par substitution grâce à ces matériaux composites issus de ressources résiduelles, auxquelles une certaine valeur ajoutée est conférée. L'intégration de ces nouveaux matériaux composites dans la chaîne de production de l'entreprise, suivant une approche de circularité, reste compétitive et cohérente avec le contexte socio-économique et propose une réponse intéressante aux enjeux environnementaux actuels.

### **Matériels et méthodes**

#### *Caractérisations des biomasses*

Les biomasses résiduelles (copeaux, sciures de bois et co-produit agricole issu d'une biomasse locale) ont été caractérisées du point de vue de leur composition chimique (taux de cellulose, d'hémicelluloses et de lignine, teneurs en composés extractibles et en éléments minéraux), de leur densité et de leur morphologie (taille et forme). Ces étapes préliminaires sont essentielles pour optimiser la formulation et le procédé de fabrication et d'anticiper les propriétés technologiques des matériaux biocomposites développés par la suite.

#### *Formulations et Mise en Forme*

Les formulations sont réalisées à partir des biomasses résiduelles mises en mélange mécaniquement avec une matrice polymérique biosourcée commerciale. Pour certaines formulations, un retardateur de flamme (RF) a été ajouté au mélange. La mise en forme se fait à l'aide d'une presse hydraulique chauffante 100T (MIB, France) en utilisant un système de moule/contre-moule. La densité visée de 800 kg/m<sup>3</sup> des composites est contrôlée par la masse

du mélange introduite dans le moule. Différents paramètres comme le ratio fibres/matrice, le ratio entre les différentes fibres, le taux de RF ainsi que la température et la durée de mise en œuvre ont également été évalués.

### *Caractérisations des matériaux composites développés*

L'objectif de ce projet est de concevoir des matériaux composites ayant des propriétés technologiques et d'usages équivalentes à celles des menuiseries en bois lamellé-collé actuellement présentes sur le marché.

Les différents matériaux biocomposites développés sont caractérisés du point de vue de leurs propriétés physico-chimiques (densité, porosité et gonflement), mécaniques (propriétés en flexion, NF EN 310, 1993), thermiques (conductivité thermique), de leur comportement au feu (cône calorimètre, NF ISO 5660-1 2015) et de leur durabilité vis-à-vis des champignons (1 pourriture blanche et 1 pourriture brune, EN 113-2 2020) et des termites souterrains (*Reticulitermes flavipes*, EN 117 2023). L'ensemble de ces essais de caractérisation sont également réalisés sur des échantillons de menuiseries en bois lamellé-collé fabriqués par la menuiserie CARAYON, afin de comparer les caractéristiques des nouveaux matériaux avec celles d'un matériau commercial de référence.

## Résultats et discussion

Des matériaux composites d'une densité d'environ 800 kg/m<sup>3</sup> ont été réalisées avec 20 wt.% de colle biosourcée en faisant varier notamment le ratio entre les différentes fibres (Fig. 1).



Fig. 1 : Image de surface des composites fabriqués, en fonction de leur proportion en copeaux et sciures de bois

Des essais mécaniques, réalisés en flexion 3 points (NF EN 310 1993), ont été menés en triplicata sur des éprouvettes (20 x 2.5 x 2.5 cm) découpés dans les matériaux biocomposites développés, ainsi que sur des échantillons de bois lamellé-collé, utilisés comme référence. Les valeurs de contrainte à rupture en flexion statique sont données dans le Tableau 1. Les résultats issus d'une étude précédente (Le Courbe et al 2023) ont démontré des valeurs de contrainte à rupture plutôt faibles, situés autour 2 – 6 MPa pour des échantillons d'une densité plus faible autour de 500 – 600 kg/m<sup>3</sup>. Dans ce travail, l'optimisation des formulations et du procédé de fabrication ont permis d'obtenir des densités plus élevées pour nos matériaux et ainsi d'atteindre des contraintes à rupture d'environ 10 MPa. Les valeurs obtenues sont encore inférieures à celles du matériau de référence en lamellé collé ( $\sigma_{ref} = 64,7 \pm 21,3$  MPa) mais permettent tout de même de répondre aux sollicitations mécaniques pour l'application visée en tant que matériau de menuiseries intérieures.

L'évaluation du comportement au feu des biocomposites (NF ISO 5660-1, 2015) a été réalisée sur des échantillons de 10 x 10 x 2,5 cm<sup>3</sup>, en duplicata. Les principales caractéristiques sont données dans le Tableau 1. Les courbes de débit calorifique obtenues, sont typiques de celles caractéristiques des matériaux thermiquement épais et charbonnants avec un second pic apparaissant à la fin de l'essai (Schartel et Hull 2007). Ce second pic est, en réalité, un artéfact lié au fait que le matériau est isolé en face arrière ; lorsque le front de chaleur atteint le bas de l'échantillon, la chaleur ne peut être évacuée, et alors la température augmente, et la vitesse de

pyrolyse s'accélère. Les différentes formulations présentent des valeurs caractéristiques globalement assez proches, bien que certaines différences puissent être observées. La formulation 100Copeaux a le temps d'ignition (TTI) le plus élevé ( $TTI_{100Copeau} = 42$  s), alors que la formulation 100Sciures a le TTI le plus faible ( $TTI_{100Sciure} = 21$  s). Ce résultat peut s'expliquer par le fait que les particules de sciures de petite taille, sont individuellement thermiquement fines et que les différentes fractions (sciures, copeaux et résidus agricoles) ont un comportement intrinsèque différent (stabilité thermique, énergie libérée, taux de résidu...). Les valeurs de pic de débit calorifique (pHRR) les plus élevées correspondent aux formulations 100Copeaux et 100Sciures ( $pHRR_{100Copeaux} = 191 \pm 9$  kW/m<sup>2</sup> et  $pHRR_{100Sciures} = 199 \pm 13$  kW/m<sup>2</sup>), alors que les deux formulations contenant les plus forts taux de résidus agricoles présentent les plus faibles pHRR ( $pHRR_{33Cop./33Sci./33Agr.} = 149 \pm 2$  kW/m<sup>2</sup> et  $pHRR_{75Cop./6Sci./19Agr.} = 144 \pm 7$  kW/m<sup>2</sup>). Le plateau entre les deux pHRR se situe autour de 90 kW/m<sup>2</sup> pour toutes les formulations, excepté pour les formulations 33Cop./33Sci./33Agr. et 75Cop./6Sci./19Agr., pour lesquelles le plateau est observé autour de 70 kW/m<sup>2</sup>.

Tab. 1 : Résultats d'essais en flexion 3 points (Cellule de Force = 10 kN, Vitesse = 0,1 mm/s) et au cône calorimètre (Irradiance = 50 kW/m<sup>2</sup>)

Ratio Biomasse	Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	$\sigma$ rupture (MPa)	TTI (s)	pHRR1 (kW/m <sup>2</sup> )	tpHRR1 (s)	HRR plateau (kW/m <sup>2</sup> )
100 Copeaux	819 ± 36	12,7 ± 3,5	42 ± 0	191 ± 9	63 ± 11	87 ± 13
100 Sciures	810 ± 10	10,3 ± 1,1	21 ± 0	199 ± 13	40 ± 7	91 ± 1
50 Cop. / 50 Sci.	812 ± 32	16,3 ± 1,9	34 ± 1	165 ± 1	50 ± 0	97 ± 18
66 Cop. / 33 Sci.	751 ± 4	10,1 ± 0,7	36 ± 9	164 ± 2	50 ± 7	91 ± 5
33 Cop. / 33 Sci. / 33 Agr.	813 ± 38	9,9 ± 1,1	29 ± 0	149 ± 2	43 ± 4	71 ± 1
75 Cop. / 19 Sci. / 6 Agr.	811 ± 12	11,3 ± 0,2	39 ± 7	174 ± 1	90 ± 14	90 ± 3
75 Cop. / 6 Sci. / 19 Agr.	819 ± 17	11,0 ± 0,6	27 ± 4	144 ± 7	43 ± 4	76 ± 1
Référence	600 ± 60	64,7 ± 21,3	32 ± 8	189 ± 17	43 ± 4	81 ± 3
75 Cop. / 19 Sci. / 6 Agr. + 5 RF	795 ± 26	En cours	19 ± 8	160 ± 0	30 ± 7	74 ± 4
75 Cop. / 19 Sci. / 6 Agr. + 10 RF	818 ± 26	En cours	22 ± 3	129 ± 1	33 ± 4	NR

$\sigma$  = Contrainte à la rupture en flexion (MPa) ; TTI = Temps d'ignition (s) ; pHRR1 = Pic de débit calorifique (kW/m<sup>2</sup>) ; tpHRR1 = durée du Pic de débit calorifique (s) ; HRR plateau = plateau de débit calorifique (kW/m<sup>2</sup>). Cop. = copeaux ; Sci. = Sciures ; Agr. = Résidus agricoles ; RF = Retardateur de Flamme.

En tenant compte à la fois des résultats des tests mécaniques et des essais de réaction au feu, la formulation 75Cop./19Sci./6Agr. a été reprise, et à laquelle ont été ajoutés 5 et 10 % de retardateurs de flamme (RF) à base de phosphore. Ces deux formulations ignifugées présentent des courbes de débit calorifique en fonction du temps très différentes des courbes des autres formulations ainsi que de la référence (Fig. 2). L'ignition se produit plus rapidement que pour l'échantillon de référence et toutes les autres formulations, ce qui est caractéristique de la présence de RF phosphorés, qui déstabilisent les matériaux en favorisant leur déshydratation et leur charbonnement. La formulation contenant 10 % de RF présente une extinction très rapide, juste après la survenue de l'ignition et du pHRR1 (après moins de 100 s) qui est d'ailleurs bien plus faible ( $pHRR_{75Cop./19Sci./6Agr.+10RF} = 129$  kW/m<sup>2</sup>). Il n'y a donc ni plateau de HRR, ni de

second pic, pHRR2. Le taux de résidu est très élevé (97 %) au moment de l'extinction. Ce taux de résidu correspond à une perte de masse de quelques grammes seulement, ce qui signifie que l'inflammation n'a concerné que le volume absorbant directement le flux de chaleur. La formulation contenant 5 % de RF a un comportement similaire, mais le pHRR1 est plus élevé ( $\text{pHRR}_{75\text{Cop./19Sci./6Agr.}+5\text{RF}} = 160 \text{ kW/m}^2$ ) et l'extinction n'a lieu qu'après 600 s après un pseudo-plateau autour de  $75 \text{ kW/m}^2$  et le taux de résidu à l'extinction reste élevé (80 %) mais tout de même moindre. Par conséquent, le RF utilisé se révèle donc très efficace pour assurer l'extinction rapide de l'échantillon en conditions de combustion forcée à une irradiance relativement élevée.

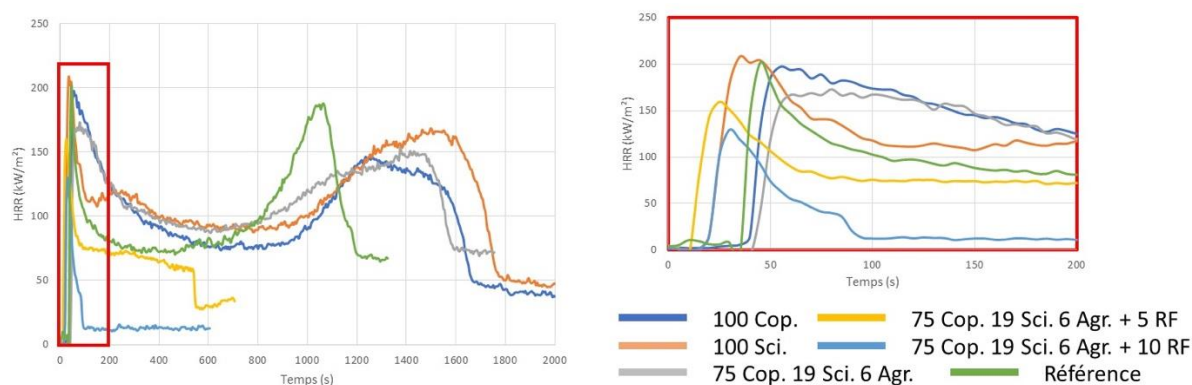


Fig. 2 : Courbes HRR=f(temps) obtenues au cône calorimètre

## Conclusions et perspectives

Les travaux menés dans le cadre de ce projet ont permis de développer une technologie simple et robuste de production de matériaux composites thermiquement épais de densité élevée ( $800 \text{ kg/m}^3$ ). De plus, l'optimisation des formulations a permis d'aboutir à des matériaux présentant des propriétés mécaniques satisfaisantes pour l'application visée en tant que matériau de menuiserie d'intérieur. L'ajout du RF sélectionné a permis d'ignifuger de manière très efficace ces matériaux composites. Des essais de résistances mécaniques et des essais de durabilité biologique (champignons lignivores et termites souterrain) sont en cours d'analyse sur les deux formulations ignifugées, qui représentent les matériaux les plus prometteurs.

## Remerciements

Ce travail a bénéficié d'une aide de l'État au titre du Programme d'Excellence I-SITE de l'Université de Montpellier, dans le cadre du Plan d'Investissement France 2030. Les auteurs souhaitent donc remercier le Programme d'Excellence I-site montpellierain pour l'attribution du financement « Companies on Campus » pour le projet RECOMPOSE ainsi que les collègues d'IMT-Mines Alès pour les analyses au cône calorimètre.

## Références

- EN 117 (2023) Produit de préservation du bois - Détermination du seuil d'efficacité contre les termites européens du genre *Reticulitermes* (Méthode de laboratoire). Comité Européen de Normalisation (CEN), Bruxelles, Belgique, pp. 23.
- EN 113-2 (2020) Durabilité du bois et des matériaux dérivés du bois - Méthode d'essai vis-à-vis des champignons basidiomycètes - Partie 2 : détermination de la durabilité inhérente ou améliorée. Comité Européen de Normalisation (CEN), Bruxelles, Belgique, pp. 31.

Le Courbe A, Carayon L, Candelier K, Viretto A (2023). Valorisation de biomasses résiduelles de menuiserie en matériau composite, 12<sup>èmes</sup> Journées scientifiques du GDR Sciences du Bois, Limoges, 22-24 novembre 2023.

NF EN 310 (1993) Panneaux à base de bois – Détermination du module d'élasticité en flexion et de la résistance à la flexion.

NF ISO 5660-1 (2015) Essais de réaction au feu — Débit calorifique, taux de dégagement de fumée et taux de perte de masse, Partie 1: Débit calorifique (méthode au calorimètre à cône) et taux de dégagement de fumée (mesurage dynamique), AFNOR

Schartel B., Hull TR (2007) Development of fire-retarded materials - Interpretation of cone calorimeter data, Fire and Materials, 31(5): 327-354