

Etude et analyse du comportement mécanique d'une structure Sandwich à âme multicouches en liège.

Lakreb. N¹, Bezzazi.B¹.

¹Unité de Recherche- Matériaux, Procédés & Environnement UR- MPE, Université de Boumerdès. Algérie

RESUME

Ce travail présente une étude expérimentale qui consiste à déterminer les caractéristiques mécaniques d'un matériau composite de type sandwich multicouches élaboré au niveau du laboratoire de mécanique des matériaux et composites, de l'Unité de recherche matériaux, procédés et environnement de l'Université de Boumerdès. Ce type de sandwich est composé de plaques de liège comme âmes et de panneaux minces de bois comme peaux collés entre eux à l'aide d'une Colle vinylique industrielle.

Les plaques ont été élaborées par compression à l'aide d'une presse hydraulique équipée d'une plaque chauffante, la température employée pour la compression est de l'ordre de 80 C° cela permet d'accélérer le processus de collage et ne pas abimer la colle. Les plaques obtenues ont été découpées sous forme d'éprouvettes normalisées ensuite soumises à des essais mécaniques (flexion trois points et quatre points) afin de les caractériser et de déduire par conséquent leur domaine d'utilisation. Les résultats des essais en flexion trois points ont mis en évidence l'influence positive de l'accroissement du nombre de couches sur les propriétés mécaniques finales de la structure composite. Afin de déterminer les modules de rigidité en flexion D, le module de cisaillement en flexion N et le module de cisaillement de l'âme Ga, nous avons réalisé l'essai de flexion quatre Points.

Les résultats obtenus montrent que notre sandwich peut être utilisé dans les différentes constructions comme cloison ou murs de séparation vu son bon comportement, sa facilité de mise en oeuvre, sa légèreté et son faible coût.

Mots clefs: Sandwich, flexion trois points, flexion quatre points, liège, panneaux de bois, colle.

I. Introduction

Les structures sandwichs se sont présentées comme solutions idéales dans des applications mécaniques où l'économie du poids est d'importance primordiale pour l'accomplissement de l'efficacité maximum [1]. Ces structures sont composées de deux peaux (ou semelles) qui enserrant une âme (ou cœur) définie par une couche de matériau plus épaisse [2]. L'intérêt des matériaux sandwichs réside dans leur rigidité spécifique, mais également dans l'intégration de fonctions (isolation thermique phonique ou acoustique) [3]. L'utilisation des matériaux naturels disponibles en Algérie pour le développement de l'industrie des composites est un élément clef, notamment pour répondre aux besoins de l'habitat [4]. En effet, l'utilisation des ressources renouvelables devient de plus en plus fréquente de nos jours [5], lors d'un choix de matériau d'isolation, il est intéressant, dans une démarche d'éco-construction, de ne pas limiter ses critères de choix aux seules performances thermiques du matériau [6]. Le liège aggloméré peut être considéré comme alternative pour l'âme du matériau sandwich, puisque le liège est un matériau cellulaire naturel avec quelques propriétés remarquables telles que la tolérance élevée de dommages aux charges d'impact et une bonne isolation thermique et acoustique. En outre, le liège, est un matériau naturel, renouvelable et facilement réutilisable [7].

Plusieurs études scientifiques ont porté sur le chêne-liège (croissance et production du liège), le liège naturel (biologie, chimie, propriétés et qualités du liège), le liège aggloméré (élaboration et caractérisation mécaniques et hygrothermiques) [8]. Ben Abdallah et al [9] ont étudié l'influence du chauffage du liège dans un milieu humide sur la variation de masse du liège naturel Tunisien. Les travaux de Gil ont traité l'influence de la densité sur les propriétés acoustiques des panneaux de liège aggloméré noir, le liège de faible densité, contient une quantité élevée d'air dans les cellules et possède un maximum de pouvoir isolant [10]. Des essais de flexion trois-points et quatre points sont souvent exécutés pour trouver les rigidités en flexion et en cisaillement des panneaux sandwichs. [11], [12], [13]. L'idée directrice est d'introduire un nouveau matériau composite de type sandwich multicouches à base de panneaux de bois (contre-plaqué) comme peaux et de liège aggloméré comme âme. Des éprouvettes sont découpées à partir des panneaux sandwichs élaborés, sur les quelles nous avons effectué des essais de type mécanique (flexion trois et quatre points), dans le but de déterminer les caractéristiques intrinsèques du sandwich.

II. Matériaux utilisés

II.1. Liège

Le liège est l'écorce externe d'un chêne connue en botanique qui est périodiquement extraite de l'arbre [9]. La composante principale de liège contribuant à environ 40% de son poids sec, de la lignine (env. 20%), des polysaccharides (environ 20%) et

Corresponding author: Lakreb Nadia

Address : URMPE, Université de Boumerdès, Algérie

E-mail: lakrebnadia@hotmail.fr

extractibles (env. 15%) [10]. Cette composition chimique, ainsi que sa structure cellulaire particulière, donne des propriétés de barrière de liège excellentes polaire liquides, chaleur et le bruit [11]. Les plaques de liège aggloméré utilisés comme âme de sandwich sont découpées aux dimensions 700 x 500 mm avec 2mm d'épaisseur.

II.2. Panneaux de bois (contreplaqué)

Le contreplaqué est constitué de plusieurs feuilles de placage déroulées, épaisses de 0,8 à 4 mm, collées les unes sur les autres en croisant le sens du fil du bois. Les contreplaqués utilisés comme peaux de sandwich sont découpées aux dimensions 700 x 500 mm avec 2 mm d'épaisseur.

II.3. Colle bois (Classic)

C'est une Colle vinylique à prise normale qui donne une résistance finale très élevée, le pressage se fait à froid ou à chaud, cette dernière possède une excellente tenue au vieillissement et convient pour le montage, l'assemblage et le placage du bois, elle est transparente après séchage.

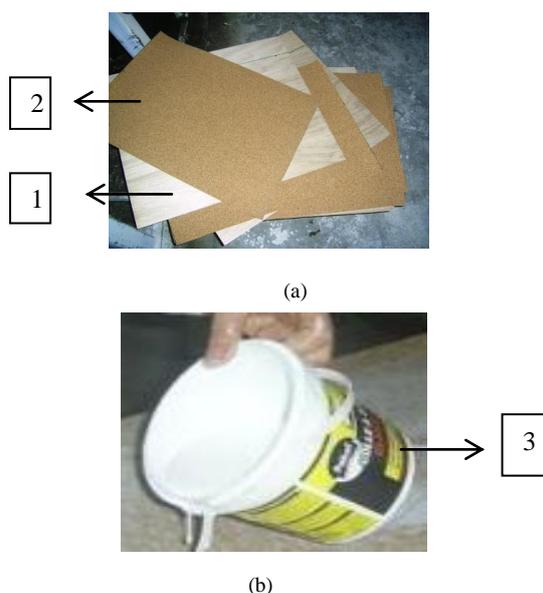


Fig.1- Matériaux utilisés : (a) 1- panneaux de bois(Contre-plaqué) ;(a) 2- liège aggloméré ; (b) 3-colle vinylique.

III. Élaboration des plaques des sandwiches

Les plaques sandwiches multicouches sont élaborées par compression à l'aide d'une presse hydraulique de type SIMI équipée de plaques chauffantes à température variable pouvant atteindre 200°C. La température de pressage choisie est l'ambiante 20°C (pressage à froid). Une fois les plaques sandwich élaboré, on le laisse pendant 10 jours à l'air ambiant pour le séchage, elles sont découpées en éprouvettes normalisées (FIG.2) à l'aide d'une scie circulaire diamantée.

Dans la suite du document nous nommeront les structures sandwiches multicouches de la manière suivante:

- Série de 1 : correspond une couche de liège avec deux couches de contreplaqué.
- Série de 2 : correspond deux couches de liège avec trois couches de contreplaqué.
- Série de 3 : correspond trois couches de liège avec quatre couches de contreplaqué.
- Série de 4 : correspond quatre couches de liège avec Cinq couches de contreplaqué.

IV. Caractérisation mécanique des plaques sandwiches

Des essais de flexion trois et quatre points sont effectués sur une machine universelle de type Zwick, pilotée par un ordinateur, équipée d'un logiciel testXpert V9.0, munie d'un capteur de force de 250KN et elle est reliée à une chaîne d'acquisition qui permet l'enregistrement simultané de la force et du déplacement. Suivant la norme AFNOR NF T 54 – 606 (1987), dans le but de déterminer la rigidité en flexion et en cisaillement ainsi que le module de cisaillement de l'âme du sandwich, les éprouvettes normalisées pour les essais de flexion sont représentées dans la figure 2.



Fig.2-Eprouvettes pour les essais de flexion selon la norme ; AFNOR NF T 54 – 606 (1987)

IV.1. Essai de flexion trois points

Le principe de cet essai est de mesurer un déplacement (flèche « y ») à partir d'un effort (F), appliqué au milieu d'une éprouvette normalisée et placée entre deux appuis. Des relations issues de la résistance des matériaux permettent de faire le lien entre ces deux grandeurs (y et F), la géométrie de la pièce (L, h et b) et les caractéristiques du matériau (σ , ε et E). L'éprouvette parallélépipédique, supportée comme une poutre, est soumise à une flexion, au milieu de la portée (flexion 3 trois points), à une

vitesse constante de 2 mm/mn, jusqu'à la rupture de l'éprouvette (FIG.3).

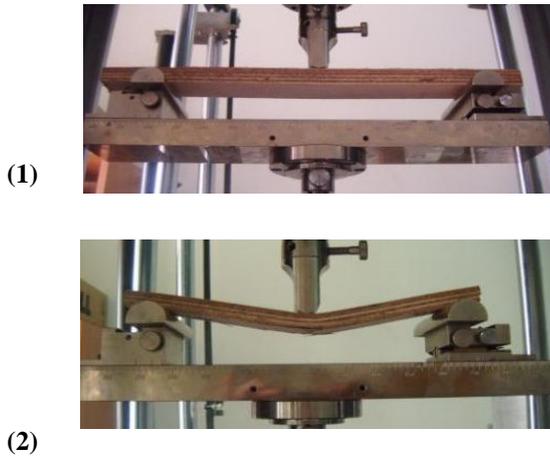


Fig. 3-Dispositif pour l'essai de flexion 3 pts ; 1- avant essai ; 2- après essai.

IV.2. Contrainte de flexion 3 points

La contrainte normale en flexion σ exprimée en N/mm² ou MPa, est appelée aussi résistance en traction ou en compression des semelles (NF T 54-606). Si l'on obtient une rupture des semelles en traction ou en compression, le calcul de la résistance des semelles se fait par l'équation (1).

$$\sigma_1 = \frac{P_1 d_1}{2es(h+ea)b} \quad (1)$$

Avec :

- σ : Contrainte en flexion 3 pts (MPa);
- P_1 : Effort maxi en flexion 3 pts (N);
- d_1 : Distance entre appuis (mm);
- es : Epaisseurs des stratifiés (mm);
- ea : Epaisseur de liège (mm);
- h : Hauteur totale de sandwich (mm);
- b : Largeur de sandwich (mm).

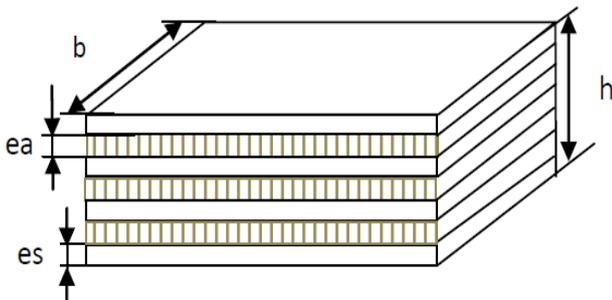


Fig.4- Représentation d'un sandwich multicouche.

IV.3. Essai de flexion quatre points

Les mêmes conditions d'essais sont utilisées. Un montage pour flexion 4 points est adapté pour les mêmes types de sandwichs (FIG.5).

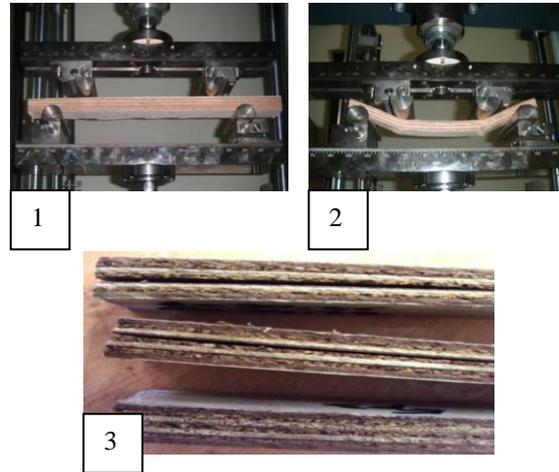


FIG.5- Dispositif pour l'essai de flexion 4 pts ; 1- avant essai ; 2- après essai ; 3- délamination entre le liège et contre plaqué.

IV.4. Contrainte de flexion 4 points

La contrainte normale en flexion 4 points σ (MPa), appelée aussi résistance de traction ou de compression des semelles (NF T 54-606). Elle peut être déterminée par la relation (2).

$$\sigma = \frac{P_2 d_2}{4es(h+ea)b} \quad (2)$$

Avec :

- σ : contrainte en flexion 4 pts (MPa);
- P_2 : Effort maxi en flexion 4 pts (N);
- d_2 : distance entre appuis (mm);
- es : épaisseurs des stratifiés (mm);
- ea : épaisseur de liège (mm);
- h : hauteur totale de sandwich (mm);
- b : largeur de sandwich (mm).

V. Calcul des modules de flexion et de cisaillement

Nous avons calculé le module de rigidité en flexion D , le module de cisaillement en flexion N et le module de cisaillement de l'âme G_a , à partir des résultats obtenus des essais mécaniques de flexion trois et quatre points sur des éprouvettes normalisées sandwichs. En utilisant les équations (3), (4) et (5) :

$$D = \frac{P_1 d_1 \left[1 - \left(\frac{11 d_1^2}{8 d_2^2} \right) \right]}{48 w_1 \left[1 - \left(\frac{2 P_1 d_1 w_2}{P_2 d_2 w_1} \right) \right]} \quad (3)$$

$$N = \frac{P_1 d_1 \left[\left(\frac{8 d_1^2}{11 d_2^2} \right) - 1 \right]}{4 W_1 \left[\left(\frac{16 P_1 d_1^2 w_2}{11 P_2 d_2^2 w_1} \right) - 1 \right]} \quad (4)$$

$$G_a = N \frac{4 s_a}{(h + s_a)^2 b} \quad (5)$$

Avec :

w₁ : flèche flexion 3 points;

w₂ : flèche flexion 4 points;

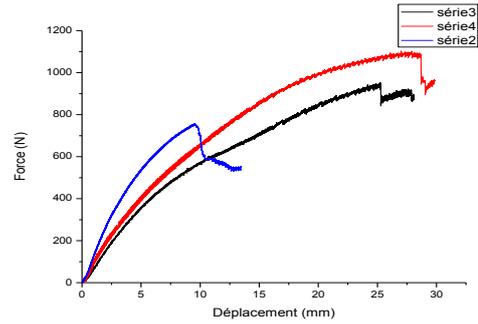


FIG.7-Evolution de la force en fonction du déplacement pour l'essai de flexion 4 pts.

VI. Résultats et discussions

Les résultats des différentes caractéristiques mécaniques de la structure sandwich multicouches, sont présentés dans le tableau 1.

TABLEAU.1 - Caractéristiques mécaniques de la structure sandwich multicouches.

Séries	h (mm)	ea (mm)	es (mm)	b (mm)	d (mm)	P ₁ (N)
1	16.51	2	4.02	15	104	120
2	22.34	3.2	5.91	22	150	280
3	30.35	5.42	8.86	30	232	350
4	40.96	7.75	10.97	40	300	620

Suite du tableau N°1

Séries	P ₂ (mm)	σ ₃ (MPa)	σ ₄ (MPa)	D (N/mm ²)	N (N)	G _a (N)
1	/	6,27	/	/	/	/
2	680	5,48	8,38	60,76	396,5	35,45
3	900	4,19	5,68	45,07	737,96	37,5
4	1100	3,19	3,85	34,14	1055,08	59,2

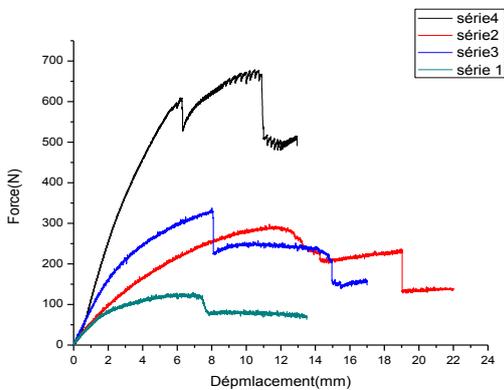


Fig.6- Évolution de la force en fonction du déplacement pour l'essai de flexion 3 pts.

VI.1. Interprétation

Les figures 6 et 7 représentent l'évolution de la charge appliquée en fonction du déplacement pour des structures composites multicouches de différentes séries 1, 2, 3 et 4, sollicitées en flexion trois et quatre points. Quel que soit le type de structure composite testé, le comportement en flexion est similaire et peut se décomposer en 3 phases principales, à savoir:

- une première phase qui correspond à une augmentation linéaire de la charge appliquée ;
- une phase de comportement non linéaire dans laquelle la charge maximale est atteinte ;
- dans une dernière phase, on observe une diminution de la charge appliquée jusqu'à la rupture totale de l'éprouvette.

Le comportement linéaire correspond essentiellement au travail des peaux en traction et en compression. L'accroissement du nombre de couches d'âme et de peaux augmente la rigidité et la charge à la rupture. La structure sandwich (série quatre) est la plus rigide et possède la plus grande charge à la rupture par rapport à ceux des sandwiches série1, 2et 3.

On observe un délaminage entre l'âme (liège) et contreplaqué (peau) dans le cas de flexion 4 points, D'après l'étude de [11], ce mode de dégradation du sandwich est du à une perte de la liaison adhésive faute de processus de fabrication. On remarque aussi une rupture du liège qui peut être expliqué par la faible résistance au cisaillement du liège, par rapport au contreplaqué (Fig.5-2).

Les valeurs moyennes des caractéristiques mécaniques déduites des essais de flexion trois et quatre points sont reportées dans le tableau 1. Nous constatons évidemment que la contrainte de flexion augmente avec l'accroissement du nombre de couches d'âmes et de peaux.

D'après le tableau1. On note que les sandwiches multicouches possèdent des valeurs différentes de contraintes de flexion trois et quatre points. Cela s'explique par la différence du nombre de couches et la variation des épaisseurs des sandwiches.

VII. Conclusion

Dans le cadre ce travail, le comportement mécanique en flexion trois et quatre points d'une structure sandwich multicouches a été étudié. L'analyse des résultats expérimentaux en flexion trois et quatre points nous a permis de caractériser le comportement sous chargement statique de sandwichs multicouches à base de liège et contreplaqué. Les résultats des essais en flexion ont mis en évidence l'influence positive de l'accroissement du nombre de couches sur les propriétés mécaniques finales de la structure composite

Le module de cisaillement du sandwich multicouche est quatre fois plus élevé, comparé avec d'autres matériaux. [4] (A. MIR, 2010). On remarque que, le comportement en flexion trois et quatre points est presque identique pour la structure sandwich multicouche (Fig.6 et Fig.7). La rupture de la structure sandwich multicouches se fait soit par délaminage entre le contreplaqué et le liège, soit par rupture du liège.

Les résultats de cette étude, nous permet de valoriser une variété de liège aggloméré blanc produit en Algérie, dans le but de l'utiliser dans la construction et l'industrie automobile.

REFERENCES

Theses:

- [1] *Jamal Eddine Arbaoui, 2009 « Etude comparative et caractérisations mécaniques des structures sandwichs multicouches »*
- [2] *Marie-Hélène Philippe, 1997 « Étude de quelques modélisations de structures en composite a haute rigidité en flexion »*
- [4] *A. Mir, 2010. Etude mécanique, thermomécanique et hygrothermique d'un matériau composite sandwich à âme en liège et peaux en jute/époxy. Thèse de doctorat. Boumerdès (Algérie).*
- [5] *Nadia Benmansour, 2011 « Etude des performances de produits renouvelables et locaux adaptés aux applications de l'isolation thermique dans le bâtiment » Magistère en physique. Batna (Algérie).*

Journal Papers:

- [3] *Jean Yves Le Lan, Dominique Lucas « Les matériaux composites en construction navale militaire Patrick Parneix», DCN Ingénierie, BP 49 – 56 998 Lorient Naval (France)*
- [6] *Guide pratique pour la construction et la rénovation durables de petite Bâtiments –Recommandation pratique MAT05 – Isolation thermique : choisir des matériaux sains et écologiques. Juillet 2010 Bruvelles environnement IBGE*