

ETUDE PROBABILISTE D'UN COMPOSITE À BASE DE MATÉRIAUX RECYCLÉS

Kamal SAIDANI¹, Ghania RACELMA², Said ABDI³

¹Laboratoire LSGM USTHB BAB-EZZOUAR ALGER Email: kamalsaidani@yahoo.fr

²Département de chimie, Faculté des sciences, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou,
Email : ghaniaracelma@yahoo.fr

³Laboratoire LSGM USTHB BAB-EZZOUAR ALGER Email: kamalsaidani@yahoo.fr

RÉSUMÉ

Le caractère dispersif du comportement du sandwich est introduit par les fonctions de distributions des résistances. Dans ce travail, on présente les résultats d'un calcul probabiliste par application de la loi de weibull, qui permet de tracer les courbes de densités de probabilité et de des fonctions de répartition des composites sandwich à base de matériaux recyclés. Les valeurs des modules de Weibull « m », qui est un paramètre du matériau caractéristique de la dispersion des défauts, ou critère de sensibilité à la rupture pour un matériau donné, obtenues dans cette étude, s'inscrivent dans les plages relatives aux matériaux composites.

Mots clés: *sandwich, conception, expérimental, probabilité.*

NOMENCLATURE

Symboles :

M- 1C -2T métal, 1 plaque cellulosique, 2 tissus

M- 2C -3T métal, 2 plaque cellulosique, 3 tissus

M- 1C -4T métal, 1 plaque cellulosique, 4 tissus

Lettres grecques :

$\sigma_n = 0$

σ_u = contrainte seuil

Indices / Exposants :

P_f probabilité de rupture

« v » volume élémentaire

« m » paramètre de Weibull

1. INTRODUCTION

Dans différents domaines de l'ingénierie, notamment l'aéronautique, l'industrie nucléaire ou l'industrie automobile, l'étude de nouveaux matériaux nécessite l'utilisation de statistiques et des méthodes probabilistes pour prendre en compte la variabilité de leurs performances ultimes, afin de définir les facteurs de sécurité. Le but de ce travail est de présenter une approche probabiliste, qui permet de calculer la probabilité de rupture d'une éprouvette de type sandwich composée d'une âme constituée de plaque cellulosique à cannelures enveloppée par un tissu plaque cellulosique, et de semelles constituées de grilles de fibres métalliques.

Les travaux de Daniels et Phoenix [1,2] proposent généralement des approches microscopiques sur la base de l'interaction entre les ruptures des fibres et de la matrice. Ces approches ont surtout été appliquées aux composites unidirectionnels. Deux principales hypothèses peuvent être extraites de ces travaux : le partage global et local entre les charges de rupture des fibres. Dans le cas de partage global de la charge, les travaux entrepris par Daniels et Rosen [1] et [3], ont été repris par Sutcu [4] et Curtin [5] avec l'introduction de la

fragmentation de la matrice et de la contrainte de cisaillement entre les fibres et la matrice. Ces travaux ont été ensuite développés par Hild et al [6] en introduisant le calcul de traction et de flexion. Néanmoins, les résultats d'analyse restent complexes et la variabilité de la résistance à la rupture n'a pas encore été traitée. Contrairement à la méthode de répartition globale des charges, la répartition locale de la charge considère l'interaction entre deux fibres voisines en termes de partage de charge. Les premiers travaux ont été développés par Zweben et al [7], et les résultats les plus importants ont été obtenus par Harlow et al [8,9,10] et Baddorf [11].

2. PROCEDURE EXPERIMENTALE

2.1 Matériaux utilisés

Les peaux du sandwich utilisées dans le cadre de ce travail (figure 1) sont constituées de grilles de fibres métalliques de diamètre 0,17 mm. La résistance de la fibre à la rupture est de 512,9 MPa. La résine utilisée est une résine époxyde de type STR. L'âme est constituée de plaque cellulosique à cannelures, enveloppée par un tissu. Les caractéristiques mécaniques des différents constituants sont données respectivement dans le tableau 1.

Constituants	Densité	Rm compression (Mpa)	Rm traction par flexion (Mpa)
Résine Medapoxy STR	13,5 ±0,05	>70	25

TABLEAU 1. Propriétés de la résine STR

Le renfort métallique utilisé dans le stratifié est une grille de fils d'acier de diamètre 0,17 mm. Sa résistance à la rupture est de 512,9 Mpa. L'âme combinée est constituée de plaque cellulosique ondulée, qui peut être décrit comme un assemblage rigide de feuilles planes. Cette plaque cellulosique ondulée est enveloppée d'un tissu, composé de fils tissés de nature de coton et de lin. Le collage est toujours assuré par la résine STR. Du fait de la structure de la plaque cellulosique ondulée, il est difficile d'estimer l'influence de la forme ondulée de la cannelure. La plaque cellulosique est alors modélisée, en remplaçant le milieu hétérogène anisotrope par un milieu homogène orthotrope équivalent. Une compression mécanique est appliquée durant 48 H. Les propriétés mécaniques sont données par le tableau 2

Constitu ant	densité	E [Gpa]	σ Elastique [Mpa]	A%
Tissu	1,5-1.6	5,5- 12,6	287-597	7-8
Plaque celulosique	1,45	19-21	350-700	3-7

TABLEAU 2. Propriétés mécaniques

2.2 Procédé d'élaboration des éprouvettes

Les stratifiés ont été réalisés selon le mode de formage à moule ouvert, à une température ambiante. Les plaques obtenues ont été démoulées et rectifiées à l'aide d'une scie diamantée. Les éprouvettes ont été laissées au repos entre neuf (09) et onze (11) jours (recommandation du fournisseur). Plusieurs configurations des séquences d'empilement de la plaque cellulosique avec le tissu ont été considérées.

Matériaux utilisés

Quinze (15) éprouvettes pour chaque type sont réalisées, afin d'éviter une grande dispersion des résultats. La composition et les dimensions moyennes des éprouvettes sont données dans le tableau 3.

Variante	Constituants		L x l x e (mm)	Poids (g)
	Ames	Peaux		
1	1 tissus et 1 plaque cellulosique	Grille Métallique	600 x 60 x 19	779,5
2	4 tissus et 1 plaque cellulosique		600 x 60 x 24	800
3	3 tissus et 2 plaques cellulosiques		600 x 60 x 29	880

TABLEAU 3. Composition et dimensions moyennes des éprouvettes

2.2. Mode d'essai

Nous avons réalisé des essais de flexion 3- points sur trois séries de 15 éprouvettes de sandwichs constitués de deux peaux armées de fibres métalliques imprégnées d'une matrice époxyde de type STR et une âme hybride composée de plaque cellulosique renforcée de tissu. Trois variantes de combinaison ont été considérées. Ces essais sont réalisés sur une machine de marque IBERTEST, équipée d'une cellule de force maximale de 200 KN. Cette machine est pilotée par ordinateur à l'aide d'un logiciel de commande et de traitement des résultats (wintest). La vitesse de chargement est de 10 N / s

Les différentes valeurs des efforts de rupture, des différentes d'éprouvettes numérotées de 1 à 15, des trois variantes considérées dans cette étude, obtenus lors des essais de flexion, sont présentées dans le tableau IV.4 Les valeurs sont classées par ordre croissant. La dispersion est manifestement importante, alors que les éprouvettes sont considérées identiques, étend donné qu'elles sont fabriquées à partir de la même plaque.

3.1 Densité de probabilité

Les différents résultats de l'analyse probabiliste obtenus à partir de logiciel STATISTICA (figures IV.7, IV.8, IV.8) sont présentés par les fonctions de répartition et les densités de probabilité. Les différents sandwichs à âmes combinées, constituées de plaques cellulosiques renforcées par des tissus sont notés : M- 1C- 2T, M- 2C- 3T et M-1C- 4T, définis précédemment.

Désignation du sandwich	Variante 1	Variante 2	Variante 3
N°	M- 1C -2T	M- 2C- 3T	M- 1C- 4T
1	7	6	9,7
2	7,5	6,2	9,8
3	8,5	6,4	9,9
4	9,5	6,6	10
5	10	6,8	10,1
6	10,5	7	10,2
7	11	7,2	10,3
8	11,5	7,4	10,4
9	12	7,6	10,5
10	12,5	7,8	10,6
11	13	8	10,7
12	13,5	8,2	10,8
13	14	8,4	10,9
14	14,5	8,6	11
15	15	8,8	11,05

TABLEAU 4. Efforts résistants (Ri) obtenus par les essais expérimentaux

3. RESULTATS

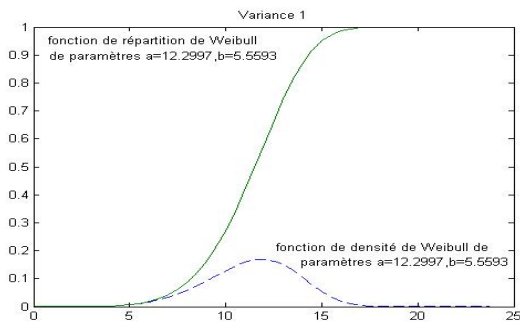


FIGURE 1. Fonction de répartition et densité de Probabilité du sandwich type M- 1C -2T

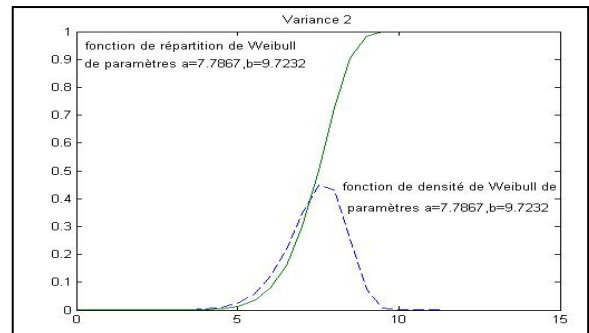


FIGURE 2. Fonction de répartition et densité de probabilité du sandwich type M- 2C -3T

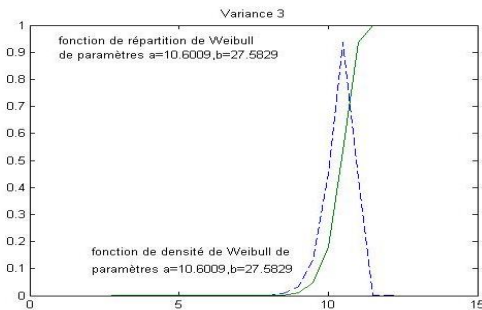


FIGURE 3. Fonction de répartition et densité de probabilité du sandwich type M- 1C -4T

L'estimation de la variabilité de la résistance d'un sandwich peut être obtenue par la détermination de la probabilité de défaillance de la structure sandwich sous l'effet d'un chargement quelconque. Le caractère dispersif du comportement du sandwich est introduit par les fonctions de distributions des résistances. Ces valeurs résultent de plusieurs facteurs indépendants (la réaction avec les peaux, compatibilité, homogénéisation, le caractère des constituants,...).

3.2 Détermination du module de Weibull

La probabilité de rupture P_f d'un matériau de volume élémentaire « v » soumis à une distribution uniforme de flexion, est donnée par :

$$P_f = 1 - \exp \left[-v \left[\frac{(\sigma - \sigma_u)^m}{\sigma_0} \right] \right] \quad (3)$$

Tels que σ_u, σ_0 représentent respectivement la contrainte seuil au dessous de laquelle la probabilité de rupture est nulle (on considère $\sigma_0 = 0$). Afin de déterminer le paramètre de Weibull « m », la procédure consiste à linéariser cette équation, ce qui permettra d'écrire :

$$\text{Ln} \left[\left(\text{Ln} \frac{1}{1 - P_f} \right) \right] = m \cdot \text{Ln} (\sigma - \sigma_u) + \text{Ln}(v) - m \cdot \text{Ln}(\sigma_0) \quad (4)$$

La présentation de $\text{Ln} \left[\left(\text{Ln} \frac{1}{1 - P_f} \right) \right]$ en fonction de $\text{Ln} (\sigma - \sigma_u)$ est une droite linéaire de tangente « m ».

La probabilité de rupture est déduite par la relation suivante:

$$P_f = \frac{i}{(N+1)} \quad (5)$$

Dans cette étude, nous avons présenté les tracés caractérisant les modules de Weibull des différents sandwichs à âmes hybrides. La dimension de la maille élémentaire est de 05 mm.

Les courbes sont illustrées par les figures 4, 5 , 6.

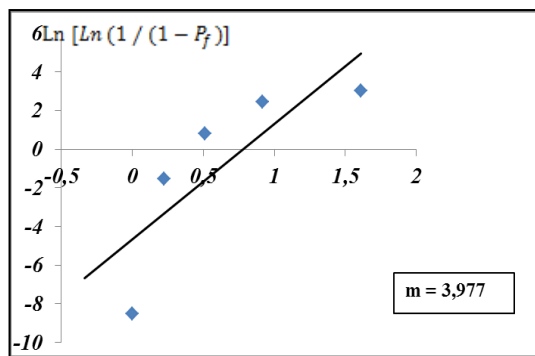


FIGURE 4. Module de Weibull pour le sandwich M - 1C -2T

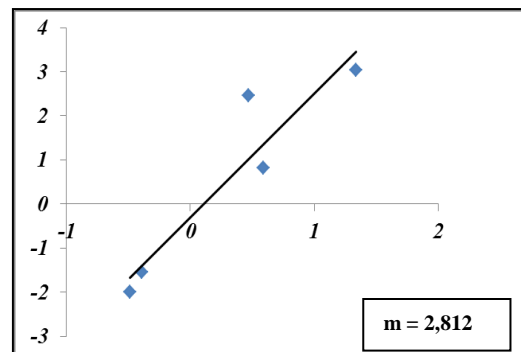


FIGURE 5. Module de Weibull pour le sandwich M- 2C- 3T

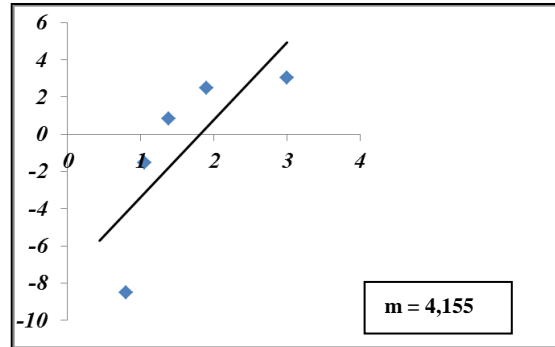


FIGURE 6. Module de Weibull pour le sandwich M-1C- 4T

4. Conclusion

La valeur du module de Weibull renseigne sur la disparité des défauts. Si la valeur est faible, la disparité des défauts dans le matériau est grande. En effet, il y aura une grande disparité sur les valeurs de contrainte d'activation des défauts au sein du volume élémentaire « VER » du matériau étudié. Dans le cas contraire, lorsque le module de Weibull est élevé, la disparité des défauts est faible.

Les résultats obtenus montrent que la valeur du module de Weibull « m » est égale respectivement à 3,977 pour la combinaison M-1C-2T ; 2,812 pour M-2C-3T et 4,155 pour M-1C-4T. Ces valeurs s'inscrivent dans les plages relatives aux matériaux composites, présentées dans beaucoup de travaux de recherche.

REFERENCES

- [1] H. E. Daniels, "The statistical theory of the strength of bundles of threads I", Proc. R. Soc., Vol. A183, pp. 405-435, 1945.
- [2] S.L. Phoenix, "Statistical issues in the fracture of brittle-matrix fibrous composites", Comp. Science and Technology, Vol. 48, pp 65-80, 1993.
- [3] B.W. Rosen, "Tensile failure of fibrous composites", AIAA Journal, Vol. 2, n° 11, pp. 1985-1991, 1964.
- [4] M. Sutcu, "Statistical fibre failure and single crack behavior in uniaxially reinforced ceramic composites", J. of Mat. Science. Vol 23, pp 928-933, 1988.
- [5] W. A. Curtin, "Theory of mechanical properties of ceramic-matrix composites", J. Am. Ceram. Soc., Vol 74, n°11, pp 2837-2845, 1991.
- [6] F. Hild, J.M. Domergue, F.A. Leckie & A.G. Evans, " Tensile and flexural ultimate strength of fiber-reinforced ceramic matrix composites ", Int. J. Solids Structures, Vol. 31, n°7, pp 1035-1045, 1994.
- [7] C. Zweben, "Tensile failure of fiber composites", AIAA Journal, Vol. 2, pp 2325-2331, 1968.
- [8] D. G. Harlow, "Probabilistic models for the tensile strength of composite materials", D. Phil. Thesis, Cornell University, USA, 1977.
- [9] D. G. Harlow & S.L. Phoenix, " Probability distributions for the strength of composite materials I : two-level bounds ", Int. J. of Fracture, Vol. 17, n°4, pp 341-372, 1981.
- [10] D. G. Harlow & S.L. Phoenix, " Probability distributions for the strength of composite materials II : a convergent sequence of tight bounds ", Int. J. of Fracture, Vol. 17, n°6, pp 601-630, 1981.
- [11] S. B. Batdorf, "Tensile strength of unidirectionally reinforced composites", J. Reinfor. Plast. & Comp., Vol. 1, 1982.
- [11] Matthews F.L., Rawlings R.D., Composite materials: engineering and science, Ed. Woodhead Publishing Ltd & CRC Press, 2003.
- [12] B. Redjel "The statistical theory of the strength of bundles of threads I", Proc. R. Soc., Vol. A183, pp. 405-435, 1945.