

# Effet de l'immersion hydrique et du vieillissement dans l'eau douce sur le comportement mécanique en fatigue par flexion trois points de matériaux composites jute/polyester

**B. REDJEL<sup>a</sup>, D. DJEGHADER<sup>a,b</sup> & Y. GROHENS<sup>c</sup>**

<sup>a</sup>Laboratoire Génie Civil (LGC), Département Génie civil, Université Badji Mokhtar, BP 12, 23000, Annaba, Algérie.

<sup>b</sup>Département Génie Civil, Université M<sup>ed</sup> Seddik Ben Yahia, 18000, Jijel, Algérie.

<sup>c</sup>UFR SSI de Lorient, Université de Bretagne Sud, Lorient, France.

## **Résumé :**

*Des échantillons en matériau composite bidirectionnel jute/polyester submergés dans l'eau douce pendant 720, 2160, 4320 et 6480 heures ont été sollicités en fatigue par flexion 3 points en subissant différents niveaux de chargement par rapport à la charge maximale de rupture statique  $\sigma_{st}$ , soit 80%, 70%, 60%, 55%, 45%, 35% et 25%  $\sigma_{st}$ . Une augmentation du gain de poids avec l'augmentation de la période d'immersion est constatée. Une dispersion dans les durées de vie pour un même niveau de chargement et pour tous les environnements testés est observée. Ces résultats sont modélisés par des droites de régression linéaire qui donnent de la partie moyenne de la courbe une bonne représentation. Malgré la dispersion importante, les courbes S-N indiquent que pour un même niveau de chargement, la durée de vie diminue lorsque la durée d'immersion est prolongée. Les observations microscopiques montrent que l'endommagement est caractérisé par une combinaison de densité et d'orientation des microfissures dont la formation et l'évolution sont affectées par le niveau et l'amplitude de chargement.*

## **Abstract :**

*Samples of two directional jute/polyester composite material submerged in freshwater for 720, 2160, 4320 and 6480 hours were solicited in three point bending fatigue by undergoing different loading levels compared to the maximum static strength  $\sigma_{st}$ , that is 80%, 70%, 60%, 55%, 45%, 35% and 25%  $\sigma_{st}$ . After immersion, an increase in weight gain with the increase in the immersion period is noted. A dispersion in the fatigue life time for the same loading level and for all the environments tested is observed. These results are modelled by linear regression lines which give the average part of the curve a good representation of it. Despite the large dispersion, the S-N curves indicate that for the same loading level, the service life decreases when the immersion time is extended. Microscopic observations show that damage is characterized by a combination of density and orientation of microcracks, the formation and evolution of which is affected by the loading level and amplitude.*

**Mots clefs : Jute – Eau douce – Fatigue – Immersion – Endommagement**

# 1 Introduction

Différentes études sur l'immersion hydrique de matériaux composites à base de fibres naturelles ont été menées dans le but de déduire le processus d'absorption d'eau et l'effet d'humidité sur les propriétés mécaniques et chimiques de ces matériaux composites [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Hossain et al [7] effectuant des essais de flexion après l'immersion hydrique d'un matériau composite renforcé par des fibres de jute, ont ainsi noté une diminution remarquable de la contrainte à la rupture ainsi que du module de flexion avec l'augmentation de la durée d'immersion dans l'eau jusqu'à 60 jours. Un matériau composite en sisal/polyester a été vieilli dans l'eau par Athijayamani et al [8] et caractérisé en traction et en choc. La formation de la liaison d'hydrogène entre les molécules d'eau et la fibre de cellulose provoque une diminution des propriétés mécaniques en statique et en dynamique du matériau, conjuguée à un délaminage au niveau de l'interface fibre-matrice. Akil et al [9] ont étudié l'effet de l'absorption d'eau sur le comportement mécanique en flexion et en compression d'un composite jute/polyester. Les résultats confirment l'effet négatif de l'eau diffusée dans le matériau sur les contraintes en flexion et en compression. Cependant, une croissance significative dans la déformation maximale due à l'augmentation de la ductilité des fibres est remarquée. L'objectif principal de ce travail est d'investiguer l'effet de l'immersion hydrique de matériaux composites jute/polyester sur la réponse mécanique en fatigue cyclique par flexion trois points sur des éprouvettes immergées dans l'eau douce durant différentes périodes d'immersion.

## 2 Techniques expérimentales

### 2.1 Matériau et composants

Le matériau utilisé dans cette étude est un composite à matrice polyester renforcé par trois couches de fibres jute avec une fraction massique de l'ordre de 40 % dénommé JP40. La résine de polyester insaturé utilisée est réticulée à température ambiante par addition d'un catalyseur de type peroxyde organique. Elle affiche un module de flexion  $E$  mesuré en flexion statique d'environ 2350 MPa, avec une contrainte à la rupture égale à 72 MPa. La fibre de jute bidirectionnelle naturelle est une fibre lignocellulosique qui constitue le renfort utilisé. Elle a une densité moyenne de  $1300 \text{ Kg/m}^3$ , un module d'élasticité compris entre 20 et 55 GPa et un allongement à la rupture d'environ 1,6% [10, 11, 12, 13]. Des plaques en matériau composite de  $4 \pm 0,2 \text{ mm}$  d'épaisseur à base d'une matrice therm durcissable en résine polyester renforcée de trois couches de fibres de jute bidirectionnelles ont été fabriquées par la méthode de moulage sous pression avec un pourcentage de gelcoat comme durcisseur compris entre 0,1% et 0,2%. Un rouleau ébulleur permet d'enlever les bulles d'air. Les éprouvettes de fatigue sont de forme prismatique et ont été découpées aux dimensions de  $80 \times 15 \times 4 \text{ mm}^3$  sur des plaques de  $350 \times 210 \text{ mm}^2$  à l'aide d'une scie diamantée. La distance entre les appuis est prise égale à 64 mm. Les dimensions utilisées sont les mêmes que celles utilisées pour l'essai de flexion 3 points statique comme le recommande la norme EN ISO 14125 [14].

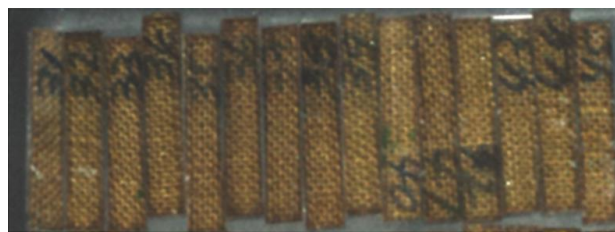


Figure 1 : éprouvettes utilisées

La résistance à la flexion  $\sigma$  est calculée par la formule classique de la résistance des matériaux, soit:  $\sigma = \frac{3}{2} \left( \frac{P \cdot L}{B \cdot W^2} \right)$  avec P, L, W et B respectivement la charge appliquée, la distance entre appui, la largeur et l'épaisseur de l'éprouvette.

## 2.2 Processus d'immersion et d'absorption d'eau et de diffusion

L'exposition des matériaux composites aux environnements humides (eau et eau de mer...) permet l'absorption d'humidité de surface par la diffusion instantanée. Les échantillons ont été immergés dans l'eau douce pendant 720, 2160, 4320 et 6480 heures à une température ambiante dans un bac assez large pour permettre le contact direct et l'immersion totale de toutes les surfaces de chaque éprouvette. Le poids des échantillons avant et après immersion dans l'eau douce naturelle est examiné en utilisant une microbalance électronique analytique Ohaus Adventurer Pro AV8101 avec une précision de 0.1 mg. La quantité d'eau adsorbée a été calculée en comparant les poids initiaux et finaux. La moyenne de cinq éprouvettes est adoptée pour chaque temps d'immersion. Le processus de prise de poids a été poursuivi pour tout le temps d'immersion. Le gain de poids  $W_g$  est calculé selon l'équation suivante:

$$W_g(\%) = \frac{(W_{immergée} - W_{sec})}{W_{sec}} \times 100(\%)$$

$W_{immergée}$  et  $W_{sec}$  représentent respectivement le poids de l'éprouvette immergée dans l'eau et le poids de l'éprouvette à l'état sec (avant immersion dans l'eau). Pour éviter toute contamination avec les produits de la dégradation des éprouvettes, l'eau des bacs est renouvelée en permanence. La cinétique d'absorption d'eau des divers matériaux est déterminée expérimentalement en mesurant la prise de poids de l'échantillon en fonction du temps d'immersion. Cette méthode gravimétrique est classique afin d'établir des cinétiques d'absorption d'eau. Il est à signaler qu'avant la mesure, les échantillons sont enlevés des bacs et essuyés avec du papier absorbant pour les sécher superficiellement.

## 2.3 Dispositif de chargement en fatigue

Les essais ont été effectués sur une machine de type Zwick/Roell Z 020 de capacité maximale 20 KN comme montré sur la figure 2.

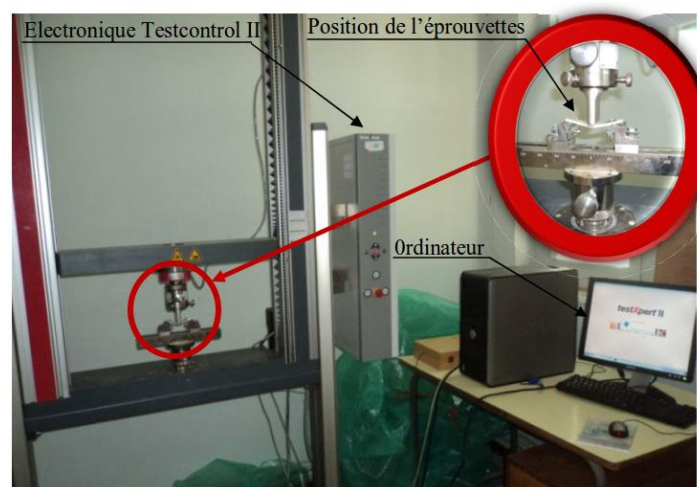


Figure 2 : Machine et dispositif de fatigue

Ces essais sont pilotés en charge imposée à une fréquence de 1,3 Hz soit un chargement fixé au minimum possible de 78 cycles / minute. Le choix de la faible fréquence permet d'éviter tout effet secondaire dû essentiellement à l'échauffement du matériau. Le signal adopté est approximativement sinusoïdal, de nature répétée avec un rapport  $R = \text{contrainte minimale}/\text{contrainte maximale}$  égal à zéro. Les éprouvettes subissent différents niveaux de chargement par rapport à la charge maximale de rupture statique en flexion trois-points, soit, 80%, 70%, 60%, 55%, 45%, 35% et 25%. Pour chaque niveau de charge, un minimum de trois éprouvettes est testé. Le critère adopté est la ruine totale de l'éprouvette. La limite d'endurance est fixée à  $10^5$  cycles pour des raisons pratiques au niveau du laboratoire. Cependant après  $10^5$  cycles, l'essai est arrêté même si l'éprouvette n'est pas rompue. On considère alors qu'il n'y'a plus rupture. La résistance à la flexion statique trois-points  $\sigma_{st}$  des échantillons avant l'immersion a été mesurée sur la même machine d'essai mécanique universelle Zwick/Roell Z 020, à une vitesse de déplacement de la traverse de 2 mm/min. Cette résistance est d'environ  $83,5 \pm 7,2$  MPa et cette valeur rentre dans l'ordre de grandeur des valeurs mesurées sur des matériaux composites similaires [15]. Le module de Young mesuré est de l'ordre de  $4510 \pm 563$  MPa.

### 3 Résultats et discussion

#### 3.1 Absorption d'eau

La courbe de la figure 3, montre qu'après immersion du composite jute/polyester dans l'eau une augmentation du gain de poids ou de la masse des échantillons avec l'augmentation de la période d'immersion est constatée. Cette courbe d'absorption d'eau indique que la pénétration rapide se produit au stade initial et que l'eau pénètre principalement entre les vides et les microfissures préexistantes. Cette courbe devient presque constante après une durée d'immersion d'environ 720 heures jusqu'à la fin de la durée d'immersion (6480 heures). Elle implique une réduction significative puis une stabilisation au sein du matériau à l'approche de la saturation qui peut être attribuée à un gonflement des composants et lorsque l'équilibre final est atteint. Il est admis que dans un environnement humide, les molécules d'eau pénètrent rapidement dans l'interphase des composés entre la fibre et la résine à cause du phénomène de capillarité. La matrice polymérique et l'interphase fibre/matrice peuvent être dégradées par une réaction d'hydrolyse des groupes insaturés avec la résine comme signalé par de nombreux auteurs [15, 16, 17].

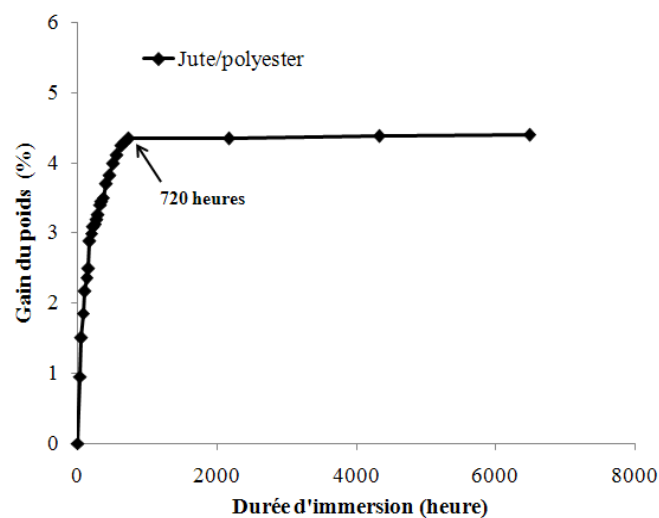
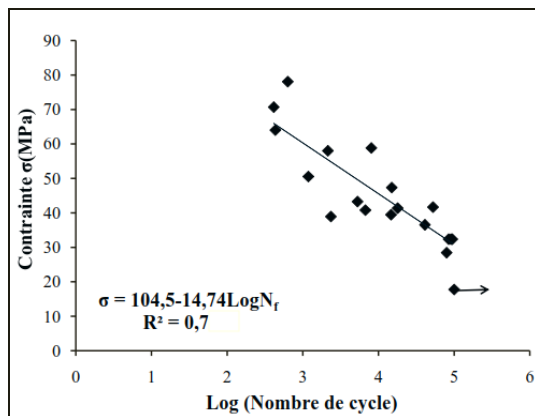


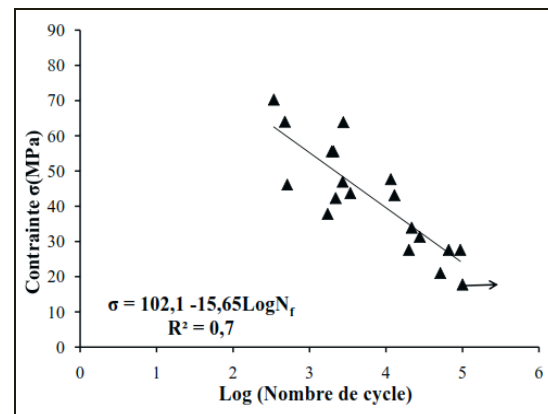
Figure 3 : Gain du poids en fonction du temps d'immersion en eau

### 3.2 Courbes de Wöhler et effet du vieillissement

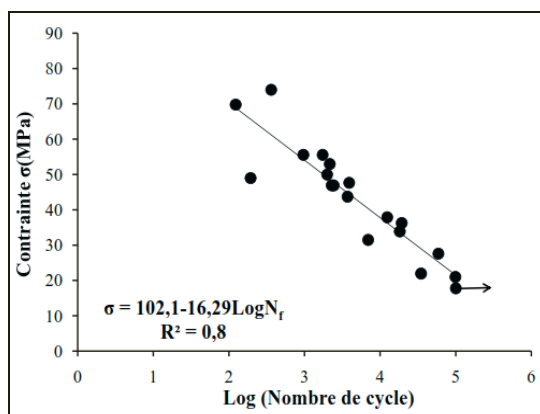
Les résultats de l'essai de fatigue cyclique ont permis la construction des courbes de Wöhler (courbes S-N) du matériau sous différentes périodes d'immersion. La figure 4 montre le tracé des courbes S-N du composite jute-polyester pour les différents temps d'immersion. La durée de vie en fatigue pour un niveau de chargement donné est mesurée par le nombre de cycles atteint au moment de la rupture de l'éprouvette. Ces courbes d'endurance présentent la même allure. Cette dispersion malgré les précautions prises avant et pendant l'essai reste importante. Elle semble principalement due à la nature hétérogène des composites jute/polyester. Il faut signaler que les éprouvettes ont rarement des caractéristiques comparables : fraction volumique et orientation des fibres, distribution des défauts, résistance statique. D'autre part tous les événements précédents la rupture en fatigue dépendent d'une série de processus aléatoire dont la conjugaison se traduit par une dispersion remarquable dans les résultats de durée de vie entre les éprouvettes soumises à un même niveau de chargement et sollicités dans les mêmes conditions.



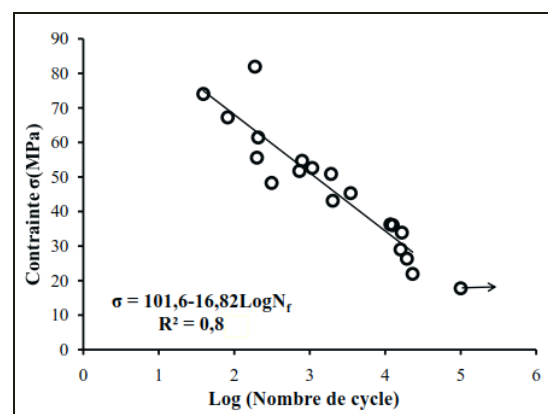
a) Composite non immergé



b) Composite immergé dans l'eau pendant 2160 heures (3 mois)



c) Composite immergé dans l'eau pendant 4320 heures (6 mois)



d) Composite immergé dans l'eau pendant 6480 heures (9 mois)

Figure 4: Courbes de Wöhler pour le matériau composite jute/polyester immergé dans l'eau douce.

Généralement ces courbes distinguent trois phases. Pour un niveau de chargement élevé se situant au dessus de 70% de la charge de rupture, représentant le domaine de la fatigue «plastique» ou domaine de la fatigue olygocyclique, le dommage est très rapide à s'opérer et la durée de vie est relativement très courte. Pour les niveaux intermédiaires de chargement (35%, 45%, 55% et 60% de la charge de rupture à la flexion), les éprouvettes testées durent un temps limité de cycle avant de se rompre. Le nombre de cycles augmente quand la contrainte maximale de sollicitation cyclique répétée diminue. C'est une zone d'endurance limitée. Au dessous du niveau de chargement maximal égal à 25% de la charge statique de rupture, les éprouvettes ne rompent pas et l'endommagement est très progressif. C'est une zone d'endurance illimitée permettant de définir une limite d'endurance.

Malgré la dispersion observée sur les durées de vie pour un même niveau de chargement, les points expérimentaux peuvent être décrits par une droite de régression linéaire donnée par l'équation linéaire de Wöhler  $\sigma = A - B \text{Log} N_f$  [18].  $\sigma$  et  $N_f$  représentent respectivement le niveau de chargement appliqué et la durée de vie de l'éprouvette, quantifiée par le nombre des cycles à la rupture. Malgré les valeurs des coefficients de corrélation qui sont inférieures à 1, traduisant l'importante dispersion des valeurs de la durée de vie. il se dégage une bonne disposition des points expérimentaux autour des droites de régression linéaire pour tous les environnements testés.  $B$  et  $A$  sont des paramètres constants et intrinsèques du matériau qui représentent respectivement la pente de la droite et l'ordonnée à l'origine. Pour certains auteurs, ce dernier paramètre représente la contrainte ou la résistance à la rupture en chargement statique ce qui n'est en fait qu'une extrapolation à un cycle.

Il est intéressant de souligner que l'endommagement en fatigue des matériaux composites est caractérisé par une combinaison de densité et d'orientation des microfissures dont la formation et l'évolution sont affectées par le niveau et l'amplitude du chargement. Cet endommagement dans le cas des matériaux composites jute-polyester de cette étude est dû principalement à des mécanismes de microfissuration de la matrice, de décohésion inter faciale, de déchaussement et de rupture des fibres ainsi que de délaminage.

En prenant l'ordonnée à l'origine de la droite de Wöhler comme résistance à la rupture statique en flexion trois points comme déjà mentionné, l'équation de Wöhler peut aussi s'écrire:  $\sigma_{\max}/B = 1 - (A/B) \cdot \text{Log} N_f$ . Cette forme d'équation permet de tracer une droite normalisée monotone décroissante de pente  $-(A/B)$  c'est-à-dire le rapport des deux paramètres constants de la droite de Wöhler, depuis l'ordonnée 1 c'est-à-dire depuis un (1) cycle correspondant au fait à l'effort de flexion statique (extrapolation de 1/4 de cycle). Cette forme de présentation permet de mettre en évidence un taux de dégradation constant par décade de cycle quantifié par la valeur en absolue de la pente de la droite normalisée. Le tableau 1 rassemble les valeurs des constantes  $B$  et  $A$ , le coefficient de corrélation des droites de Wöhler ainsi que le rapport  $A/B$  pour tous les environnements testés dans l'eau douce.

Tableau 1. Coefficients A, B et R des courbes de Wöhler du composite jute/polyester immergé dans l'eau douce

	Temps d' immersion en heures			
	0 heures	2160 heures	4320 heures	6480 heures
$B$	104,5	102,1	102,1	101,6
$A$	14,74	15,65	16,29	16,82
R	0,85	0,83	0,91	0,93
$A/B$ (%)	14,11	15,33	15,95	16,55

Cette forme de représentation permet aussi de mettre en évidence un taux de dégradation quantifié par la pente ( $B/A$ ) en valeur absolue de l'équation de Wöhler. Ce taux est constant par décade de cycle pour chaque durée d'immersion en eau douce. Ses valeurs sont rassemblées aussi dans le tableau 1 pour toutes les durées d'immersion expérimentées. La figure 5 illustre ce comportement.

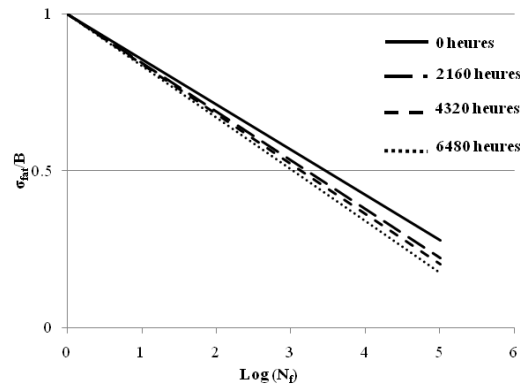


Figure 5: Courbes de Wöhler normalisées à la contrainte à la rupture statique

Ce taux de dégradation augmente avec l'augmentation du temps d'immersion dans l'eau douce comme l'illustre la figure 6. Cette évolution semble obéir à une loi linéaire donnée par l'équation de la droite de régression linéaire suivante  $y = 4.10^{-4} x + 14,30$  et avec un excellent coefficient de corrélation égal à 0,98.

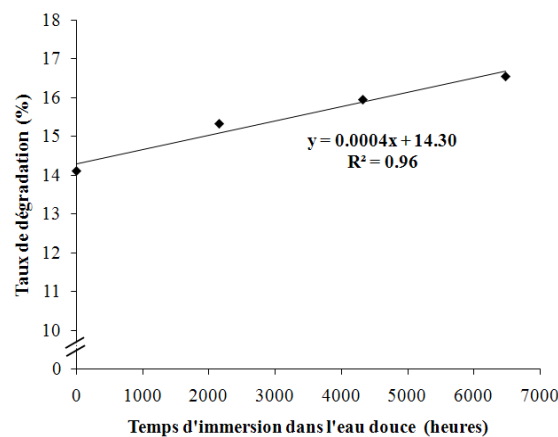


Figure 6 : Variation du taux de dégradation en fonction du temps d'immersion dans l'eau douce.

Ce taux de dégradation constant par décade de cycle dans les matériaux composites a été signalé et rapporté par de nombreux auteurs et notamment par Mandell et al [19] et par Redjel et De Charentenay [20] sur une série de matériaux composites SMC à fibres courtes orientées au hasard sous une sollicitation cyclique de fatigue. Ces auteurs qui le quantifient, l'estiment à 10% et n'avancent aucune explication à ce phénomène. Il est bien clair que l'effet de la prise d'eau à l'intérieur du composite jute/polyester immergé se manifeste par l'augmentation de la vitesse d'endommagement lors des essais de fatigue. En effet, le composite immergé dans l'eau douce pour la durée de 6480 heures présente la pente la plus importante avec un taux de dégradation d'environ 16,55 % (Tab. 1). Cependant, la différence entre les pentes des courbes de Wöhler tracées n'est pas significative ce qui est probablement due à la vitesse de chargement qui n'est pas importante. Toutefois, la dispersion observée sur les résultats de fatigue des composites sollicités dans les différentes conditions

environnementales est une caractéristique intrinsèque des matériaux composites traduisant l'hétérogénéité des éprouvettes testées. Cette dispersion est variable selon la durée d'immersion hydrique du matériau qui est probablement due au reflet des différents mécanismes de défaillance dans l'air et dans l'eau. Par ailleurs, il apparaît sur l'histogramme de la figure 7 que le taux de diminution de la durée de vie en fatigue cyclique pour chaque cas de chargement est presque identique. Il semble que ce taux diminue progressivement avec la diminution du niveau de chargement cyclique. Le nombre de cycles nécessaire à la rupture du composite jute/polyester JP40 diminue avec l'augmentation de la durée d'immersion hydrique.

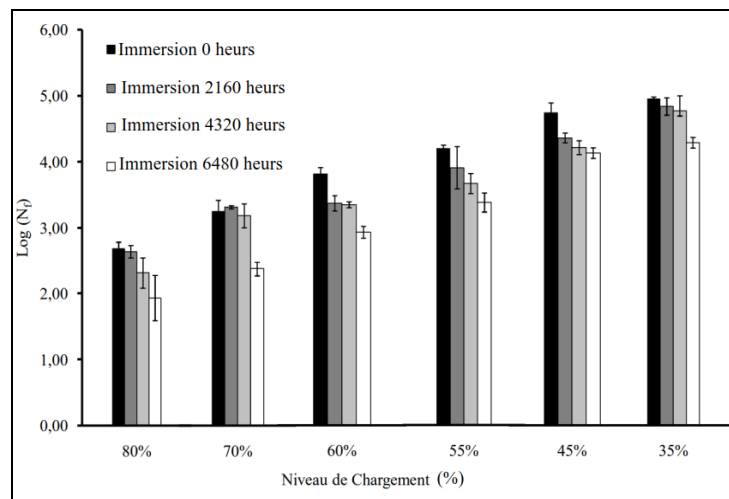
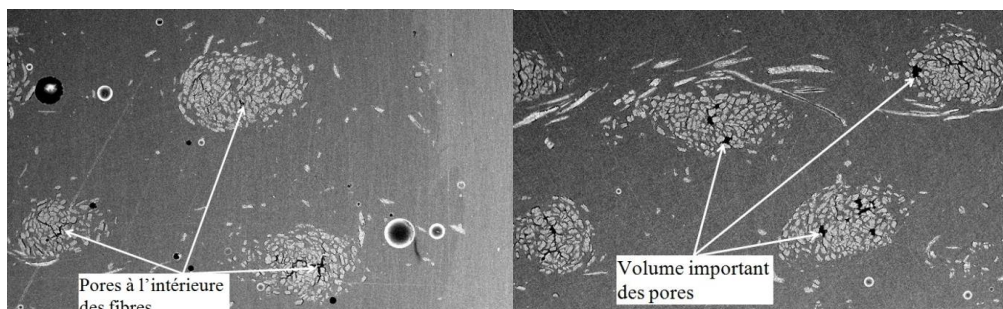


Figure 7 : Durée de vie en fonction du niveau de chargement du composite jute/polyester immergé dans les différents environnements d'eau douce

A titre de rappel, l'effet de l'eau ou de l'humidité sur le vieillissement des composites à matrice organique polyester a fait l'objet de nombreuses recherches. La pénétration de l'eau entraîne en effet des dégradations réversibles et irréversibles affectant la durée de vie de ces matériaux. Il demeure donc essentiel de connaître au préalable les cinétiques d'absorption dans ces matériaux pour prévoir leur comportement.

### 3.3 Morphologie microscopique de rupture

Une forte teneur de cellulose dans les fibres de jute favorise l'absorption importante de l'humidité qui provoque le gonflement des fibres, et par conséquent une augmentation des volumes des pores et de vides préexistants à l'intérieur des fibres comme le montrent les photos microscopiques de la figure 8.



a) Pores à l'intérieur des fibres composite non traité b) Volume important des pores (composite traité)

Figure 8 : image microscopique des pores à l'intérieur des fibres



En outre, les fibres de jute fissurées du composite non immergé ayant une longueur plus importante par rapport à celles du composite immergé expliquent que les premières présentent une résistance avant la rupture plus importante que la résistance des fibres immergées comme l'illustrent les images de la figure 9.

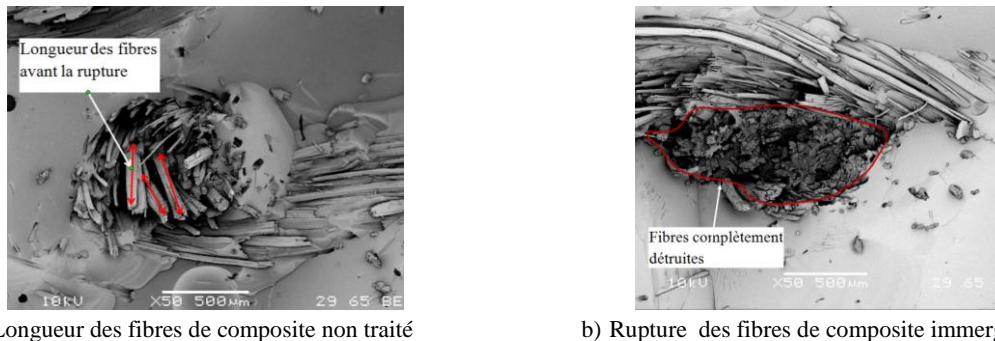


Figure 9. Images microscopiques des faciès de rupture d'une éprouvette jute/polyester

## 4. CONCLUSION

Les conclusions suivantes peuvent être déduites :

- Les matériaux composites bidirectionnels jute/polyester possèdent un gain de poids important pour une durée d'immersion dans l'eau de 30 jours (720 heures). Ceci est principalement dû au pourcentage important de cellulose dans les fibres. Cependant, après cette durée d'immersion, une stabilisation remarquable du gain de poids est enregistrée et qui traduit la saturation des échantillons submergés jusqu'à la fin de l'immersion. L'exposition des matériaux composites jute/polyester à un environnement aqueux entraîne une diminution significative des propriétés des fibres, de la matrice et de la liaison fibre/matrice. Ce changement dans les propriétés physiques provoque un changement de la réponse mécanique des échantillons testés au moment du chargement par fatigue cyclique.
- Les résultats des essais de fatigue présentent une dispersion dans les durées de vie pour un même niveau de chargement à cause principalement de la méthode de fabrication de matériau.
- Les points expérimentaux traduisant la variation de la durée de vie en fonction du chargement (courbes S-N) sont modélisés par une droite de Wöhler qui donne de la partie moyenne de la courbe une assez bonne représentation. Cependant, il semble difficile de dégager une limite d'endurance.
- Un taux de dégradation constant par décade de cycle caractérise l'évolution de l'endommagement dans ces matériaux.
- l'application d'une charge de fatigue provoque une réduction progressive de la durée de vie du matériau.
- Les propriétés en fatigue cyclique en flexion 3 points du composite jute/polyester diminuent avec l'augmentation de la durée d'immersion hydrique.

## Références

- [1] M.K. Alam, M.A. Khan, Comparative study of water absorption behavior in Biopol and jute-reinforced Biopol composite using neutron radiography technique. *Reinf Plast Compos* **25** (2006).
- [2] A. Roudier, Analyse multi-échelle du comportement hygro-mécanique des fibres de lin. Thèse de Doctorat, Univ Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II, France 2012.

- [3] K. Pankaj, N. Aggarwal, A. K. Raghu, C. Shakti, Jute – polypropylene composites using m-TMI – grafted – polypropylene as a coupling agent, *Materials and Design* **43** (2013) 112-117.
- [4] B. D. David , V. S. Hota, R. Ganga , Critical review of recent publications on use of natural composites in infrastructure, *Composites: Part A* **43** (2012) 1419-1429.
- [5] H. Alamri, I. M. Low. Effect of water absorption on the mechanical properties of nano clay filled recycled cellulose fibre reinforced epoxy hybrid nano composites. *Comp. A* **44** (2013) 23- 31
- [6] Z. Salleh, Y. M. Taib, K. M. Hyie, M. Mihat, M.N. Berhan, M.A.A. Ghani, Fracture Toughness Investigation on Long Kenaf/Woven Glass Hybrid Composite Due To Water, Absorption Effect, *Procedia Engineering* **41** (2012) pp. 1667- 1673
- [7] M. K. Hossain, M. W. Dewan, M. Hosur, S. Jeelani, Mechanical performances of surface modified jute fiber reinforced biopol nanophased green composites. *Comp. B* **42** (2011) pp. 1701-1707.
- [8] A. Athijayamania, M. Thiruchitrambalam, U. Natarajana, B. Pazhanivelc, Effect of moisture absorption on the mech. Prop. of randomly oriented natural fibers/polyester hybrid comp., *Mater. Sci. and Engin. A* **517**, 2009, pp. 344-353.
- [9] M. A.Hazizan, L. W. Cheng, Z. A. M. Ishak, A. A. Bakar, M. A. A. Rahman, Water absorption study on pultruded jute fibre reinforced unsaturated polyester composites, *Composites Science and Technology* **69** (2009), pp. 1942-1948.
- [10] P. Severson, Analysis of Multi-Directional Recycled Jute Fiber Composite Behavior Using Experimental, Numerical, and Analytical Methods. Thesis of Master of Science in Engineering. University of Wisconsin-Milwaukee, 2012.
- [11] M. Senthilkumar, J. C. Sakthivel, R. Murugan , Textile Composites: An Overview, *The Indian Textile Journal* **117** (2007) 93-97.
- [12] G. Myvizhirajeswari, K. Saravanan, Manufacturing & applications of jute fibre composites. *Indian Textile Journal* **121** (2011) 90.
- [13] S. Biswas, Q. Ahsan, I. Verpoest, M. Hasan. Effect of Span Length on the Tensile Properties of Natural Fibers. *Advanced Materials Research* **264-265** (2011) 445-450.
- [14] P. Krawczak, Essais des plastiques renforcés Techniques de l'Ingénieur, *Traité plastiques et composites*, AM5 405, Doc. 1-10, 26 pages, p.8.
- [15] I. Sen, A. Aral, Y. Seki, M. Sarikanat, K. Sever ,Variations of mechanical properties of jute/polyester composite aged in various media *J. of Comp Mater.* **46** (2012) 2219-2225.
- [16] F. Pierron, Y. Poirette, A. Vautrin, A Novel Procedure for Identification of 3D Moisture Diffusion Parameters on Thick Composites : Theory, Validation and Experimental Results *Journal of Composite Materials* **36** (2002) 2219-2243.
- [17] J. George, S.S. Bhagawan, S. Thomas, Effects of environment on the properties of low density polyethylene composites reinforced with pineapple-leaf fibre, *Composite Science and Technology*, **58** (1998), pp. 1471-1485.
- [18] C. Bathias, J.P. Baillon, la fatigue des matériaux et des structures, *Collection UTC*, Ed. SA Maloine, Paris, France, 1980.
- [19] J.F. Mandell, D.D. Huang, F.J. Mc Garry, Tensile fatigue performance of glass fiber dominated composites, *Composite Technology Review*, **3**, (1981), pp. 96-102.
- [20] B. Redjel, F.X. De Charentenay, Etude du comportement en fatigue des matériaux composites SMC, Comptes Rendus des 7 èmes Journées Nationales sur les Composites (JNC 7), Editions Pluralis, Lyon, France, 6, 7, 8 Novembre 1990, pp. 549-558, 1990.