

Vieillessement en eau de mer d'un matériau composite kevlar époxyde

Y. Menail¹, A. El Mahi², B. Redjel³ & M. Assarar⁴

1. LR3MI, University Badji Mokhtar, Sidi Ammar, BP 12, 23000 - Annaba, Algerie.
Menailyounes43@gmail.com
2. University of Maine, av. O. Messiaen, 72085 Le Mans, France.
3. University Badji Mokhtar, Sidi Ammar, BP 12, 23000 - Annaba, Algerie.
4. Université de Reims Champagne Ardenne, CRESPI, EA 4301, IUT de Troyes, 9 rue de Québec BP 396
10026 Troyes Cedex, France.

RESUME — L'étude du vieillissement d'un matériau aramide en milieu marin, se base sur la relation contrainte déformation au sein de ce dernier. L'évolution du module de Young et la contrainte en fonction de du vieillissement, nous donnent une idée sur la résistance de ce matériau. Les effets de l'augmentation des durées de vieillissement de l'ordre de 500 et 1000 heures, sur le matériau étudié se manifestent par une perte de rigidité plus au moins importante.

Mots clés : Aramide, époxy, vieillissement, traction, eau salée

I. Introduction

L'influence de l'humidité sur la modification du comportement du composite reste mal déterminée. Bunsell, entre autres a bien traité ce phénomène [1] et plus récemment Addabedia [2] et Assarar et al, en faisant appel à l'outil acoustique, pour plus d'investigation [3]. Les différentes études ont montré que si la prise d'eau augmente généralement la masse de l'éprouvette, dans d'autres cas, c'est l'effet inverse qui se manifeste par une diminution du poids due à la destruction de la résine suite à un lessivage [4]. Le taux d'absorption d'eau est fortement influencé par le niveau d'endommagement. Les compilations des résultats des essais de vieillissement naturel sur plusieurs années et accéléré sur plusieurs centaines d'heures, ont montré que quelque soit la nature du vieillissement, le type des courbes propriétés mécaniques temps est toujours sensiblement le même et que les dégradations occasionnées sont les mêmes [5].

Grâce aux différentes techniques d'investigations et aux différents moyens scientifiques mis à jour, il devient possible de prédire la durabilité d'un composite d'une manière fiable [6].

Cette dégradation du composite est initiée par un phénomène de plastification ou vieillissement physique, résultant de la diffusion d'eau salée au sein de la matrice polymère au niveau de l'interface fibre-matrice [7]. Ensuite, un phénomène d'hydrolyse ou vieillissement chimique des chaînes micromoléculaires s'opère, générant à terme un endommagement par fissuration osmotique [8]. Notre contribution dans ce domaine consiste à compléter une première partie consacrée à l'étude des composites kevlar, qui ont fait l'objet de plusieurs études [9], [10], auxquels nous avons consacré un article paru en 2009 dans la revue MECHANIKA, portant sur l'eau douce.

II. Procédure expérimentale

L'étude expérimentale est menée par une méthode destructive en traction quasi statique et en fatigue en traction avant vieillissement naturel en eau de mer synthétique à 37‰.

Corresponding author: MENAIL Younes
LR3MI, University Badji Mokhtar, Sidi Ammar, BP
12, 23000 - Annaba, Algerie.
Email: Menailyounes43@gmail.com

I.1. Matériaux

Le matériau utilisé est un stratifié aramide époxy SR 1500 associée à un durcisseur amine SD 2505.

I.2. Vieillessement naturel

Un endommagement par fissuration osmotique lié à une reprise d'eau très importante a été identifié au-delà de 120h de vieillissement. Ces résultats confirment donc l'état d'endommagement du matériau [11]. A 20°C, les éprouvettes atteignent rapidement l'équilibre (35 jours), à 0.35% d'absorption et un modèle de Frick permet de décrire correctement la cinétique d'absorption [12].

A une température de 23°C, les interactions entre l'humidité et l'endommagement par fatigue ne pourront se faire qu'à l'échelle locale, après diffusion capillaire de l'humidité en fond de fissure [13]. Jusqu'à 50°C, les pertes de propriétés sont dues à des phénomènes réversibles de plastification de la matrice [14].

III. Résultats et discussion

III.1. Essais statiques

Le tableau 1 résume les résultats obtenus en traction statique.

Tableau 1. Résultats d'essais statiques

| Caractéristiques mécaniques | Kevlar taffetas |
|--------------------------------------|-----------------|
| Masse surfacique (g/m ²) | 170 |
| Fibre (%) | 42% |
| Module longitudinal (GPa) | 16.5 |
| Module transversal (GPa) | 16.5 |
| Contrainte à la rupture (MPa) | 305 |
| Déformation à la rupture % | 2.7 |

III.2. Essais de fatigue

La courbe des résultats des essais de fatigue est donnée par la figure 1. Les résultats obtenus montrent que la perte de rigidité, mesurée par le rapport F_{max}/F_{0max} jusqu'à la rupture de l'éprouvette se déroule en trois phases.

Dans un premier temps, elle se manifeste par une diminution brutale du rapport F_{max}/F_{0max}

dès les premiers cycles. La diminution devient ensuite très lente dans la deuxième phase, ce qui correspond à la propagation stable de celle-ci, ainsi que l'initiation du délaminage, correspondant à la quasi-totalité de la durée de vie de l'éprouvette. Et enfin dans la troisième phase très courte où la perte de rigidité s'accélère brutalement jusqu'à la rupture de l'éprouvette.

Les travaux de Talreja [15] repris par la suite par Muc [16], expliquent bien l'évolution de l'endommagement, qui se fait en 3 stades. Il est à noter que la première phase ne constitue que 10% de la durée de vie alors qu'elle correspond à 80% du taux d'endommagement.

L'éprouvette en kevlar n'est pas rompue au bout d'un million de cycles.

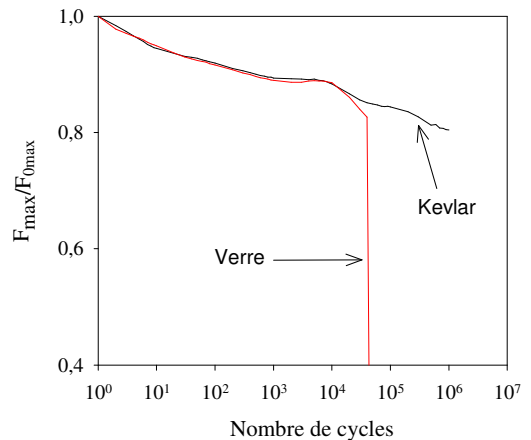


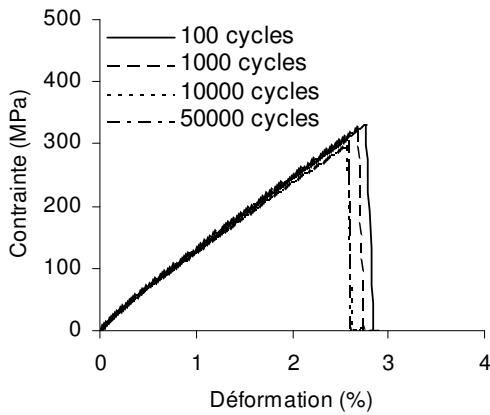
Fig 1. Résultats des essais de fatigue

III.3. Effets de la fatigue en fonction des durées de vieillissement

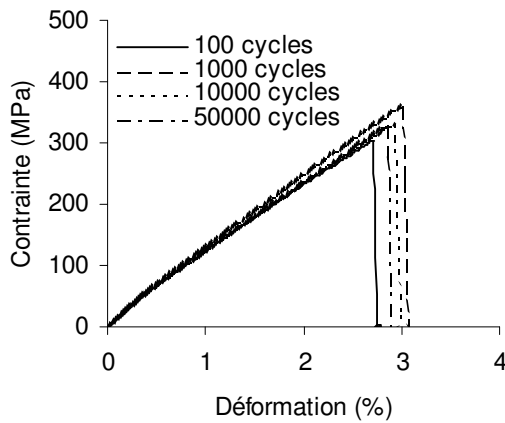
Nous comparons les effets de la fatigue en fonction des durées d'immersions.

III.3.1. Effets de la fatigue en fonction des durées de vieillissement sur l'aramide époxy

Nous avons procédé à des immersions de plus en plus longues jusqu'à 1000h. Les résultats des différents essais sont donnés par la figure 2.



(a)



(b)

Fig 2. Effets de la fatigue en fonction des durées de vieillissement pour l'aramide époxy
a) 500h, b) 1000h

Nous constatons qu'il y a une perte de résistance en fonction de la durée d'immersion. Sauf que pour la durée d'immersion de 1000h, le matériau gagne en résistance par rapport aux autres matériaux les moins exposés. Un pareil phénomène a été observé par F. Dal Maso et al [12].

III.3.2. Comparaison des effets de la fatigue en fonction des durées de vieillissement sur l'aramide époxy

L'effet de la fatigue en fonction des différentes durées d'immersion se répercute négativement sur le matériau aramide époxy. Il se manifeste

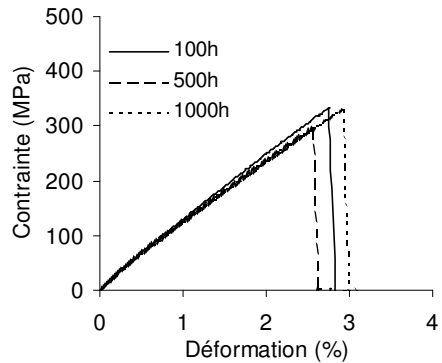
par une perte de rigidité progressive en fonction de la durée d'immersion.

III.4. Effets du vieillissement en fonction de la fatigue

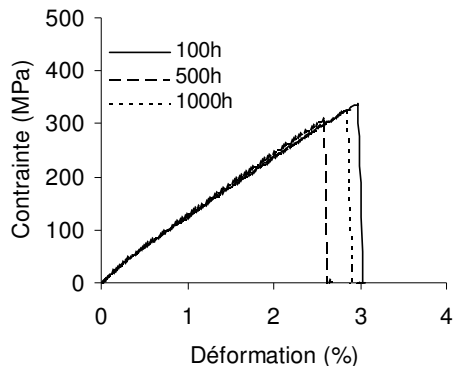
Dans cette deuxième partie, Nous allons procéder à la comparaison des effets du vieillissement (500 et 1000h) en fonction des différentes durées de fatigue (10000 et 50000 cycles) pour le matériau aramide époxy.

III.4.1. Effets du vieillissement en fonction de la fatigue sur l'aramide époxy

Les résultats obtenus sont illustrés par la figure 3. Nous notons une légère perte de résistance des matériaux en fonction de l'augmentation de la fatigue. Les matériaux vieillis à 1000h pour les différents nombres de cycles gagnent en résistance par rapport aux autres durées de vieillissement. Il est à noter que, la fatigue suivie d'une certaine durée de vieillissement joue favorablement en faveur du matériau, à l'inverse des prédictions de pertes de résistance envisagées.



(a)



(b)

Fig 3. Effets du vieillissement en fonction de la fatigue pour l'aramide époxy a) 10000 cycles et b) 50000 cycles

III.5. Résistance et module après fatigue et vieillissement

Nous procédons à la comparaison de la résistance et des modules des matériaux de même nature entre eux.

III.5.1. Résistance après fatigue et vieillissement

La figure 4 nous donne un aperçu sur la résistance du matériau aramide époxy.

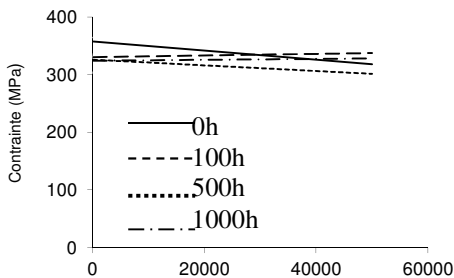


Fig4. Evolution de la résistance du matériau en fonction du vieillissement et de la fatigue

III.5.2. Module après fatigue et vieillissement

Ces résultats mettent en évidence une baisse des propriétés mécaniques du matériau en fonction de l'augmentation du nombre de cycles de fatigue.

La figure 5 qui représente l'évolution du module dans le matériau aramide époxy, se manifeste par une nette différence entre la fatigue à sec à 0h d'immersion et les autres valeurs.

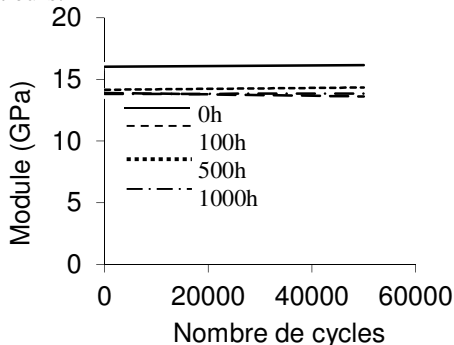


Fig5. Evolution du module en fonction du vieillissement et de la fatigue

IV. Conclusion

Nous constatons que l'absorption de l'eau salée durant les différentes durées de vieillissement, après fatigue à différents nombres de cycles, a pour effet de réduire la rigidité du matériau étudié et d'augmenter son élongation à la rupture.

Certaines particularités ont été constatées lors de cette étude, tels que la nette différence entre le module du matériau aramide époxy après fatigue sans vieillissement et la série des matériaux immergés, et un gain de résistance après une durée d'immersion de 1000h, ce qui a été confirmé par de précédentes études.

Les différentes études auxquelles nous nous sommes référées ont démontré que l'origine osmotique du processus de dégradation des matériaux composites, a été confirmée par des essais préalables en eau de mer et en eau distillée [17]. L'attaque de la résine dans le stratifié se produit entre deux plis et conduit à un déclin des propriétés mécaniques plus importantes [18].

References

- [1] Bunsell A. R., L'absorption d'eau par les matériaux composites à matrice organique- CODEMAC, 2ème Ecole d'automne, GUETARY, 1989.
- [2] Adda-bedia E.A., Bouazza M., Tounsi A., Benzair A. et Maachou M., "Prediction of stiffness degradation in hydrothermal aged [m/90n]S composite laminates with transverse cracking". Elsevier. Journal of materials processing technology (2007).
- [3] Assarar M., Scida D., El Mahi A., Poilâne C. et Ayad R., Influence of water ageing on mechanical properties and damage events of two reinforced composite materials: Flax-fibres and glass-fibres. J Mater Design (2010), doi:10.1016/j.matdes.2010.07.024
- [4] Perreux D., Suri C., Varchon D. et Oytana C., "Endommagement mécanique de matériaux composites. Role sur les propriétés hygrothermiques" La construction navale en composites. Paris, 7-9 décembre 1992, IFREMER, Actes de colloques n°15, communication n°36.
- [5] Gutierrez J., Le Lay F. et Hoarau P., "Etude du vieillissement de composites verre résine en milieu marin", La construction navale en composites. Paris, 7-9 décembre 1992, IFREMER, Actes de colloques n°15, communication n°33.
- [6] S. Gaumet, N. Siampiringue and J. Lemaire, "Durabilité des matériaux composites. Comment réaliser un photovieillissement accéléré fiable. Un

- exemple précis : la résine époxy (DGEBA)”. *Annale des composites*, AMAC, France, 1996, pp. 85-90.
- [7] G. Vigier and J. Tatibouet, “Physical ageing of amorphous and semicrystalline poly(ethylene terephthalate)”. *Polymer*, vol. 34, n° 20, 1993, pp. 4257-4266.
- [8] L. Gautier, B. Mortaigne, V. Bellenger and J. Verdu, “Osmotic cracking nucleation in hydrothermal-aged polyester matrix.” *Polymer*, vol. 41, 2000, pp. 2481-2490.
- [9] M. Sabu Sebastian K.C. Unnikrishnan, S. Narayanan Viscoelastic properties of Kevlar-29 fabric tape strength member *Mechanics of Materials* 40 (2008) pp 949–960
- [10] Fang Guo, Zhaozhu Zhang a, Huijuan Zhang, KunWanga, WeiJiang Tribological behavior of spun Kevlar fabric composites filled with fluorinated compounds *Tribology International* 43 (2010) pp. 1466-1471
- [11] M.P. Foulc, A. Bergeret, P. Ienny, L. Ferry and A. Crespy, “Caractérisation du vieillissement hygrothermique de matériaux composites PET/fibres de verre par photomécanique”. *Matériaux* 2002.
- [12] F. Dal Maso, B. Dewille, F. Grojean, M. Huvey, J. Martin and L. Montabond, “Vieillessement d’armures de traction en composite pour conduites flexibles”. *Annale des composites*, AMAC, France, 1996, pp. 27-37.
- [13] E. Vautier, J.C. Abry, T. Bailiez and A. Chateauinois, “Durabilité en fatigue de composites unidirectionnels verre-époxy après vieillissement hygrothermique”. *Annale des composites*, AMAC, France, 1996, pp. 49-58.
- [14] A. Chateauinois, B. Chabert, J.P. Soulier and L. Vincent, “Influence du vieillissement sur les propriétés viscoélastiques et la tenue en fatigue de matériaux composites verre/époxy”. *Annale des composites*, AMAC, France, 1990, pp. 823-832.
- [15] R. Talreja, “Fatigue of composite materials: Analysis, Testing and Design” *Siminar*, Technomic publishing Co Inc, Lancaster, Basel, Switzerland, 1990.
- [16] A. Muc, “Design of composite structures under cyclic loads”. *Computers and Structures*; 76:211-218, 2000.
- [17] Castaing L. et Lemoine L., *Proc. E.C.C.M 5*, p.177, 1992.
- [18] Castaing Ph., Tsouvalis N. et Lemoine L., Evolution des propriétés mécaniques de matériaux composites verre polyester gelcoatés en milieu marin La construction navale en composites. Paris, 7-9 décembre 1992, IFREMER, Actes de colloques n°15, communication n°34.