



HAL
open science

Study of the behavior to the shock and in fatigue of the composites with thermoplastic matrix reinforced by discontinuous glass fibers

Arezki Djebbar, Michelle Salvia

► To cite this version:

Arezki Djebbar, Michelle Salvia. Study of the behavior to the shock and in fatigue of the composites with thermoplastic matrix reinforced by discontinuous glass fibers. CFM 2013 - 21ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2013, Bordeaux, France. hal-03439996

HAL Id: hal-03439996

<https://hal.science/hal-03439996>

Submitted on 22 Nov 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Etude du comportement en fatigue et au choc de matériaux composites à fibres discontinues et matrices thermoplastiques.

A. Djebbar ^a, M. Salvia ^b

- ^a. *Laboratoire de Mécanique, Structure, Energétique (L.M.S.E), Faculté du Génie de la Construction, Département de Génie Mécanique, Université de Tizi-Ouzou (Algérie).*
- ^b. *Département L.T.D.S, Ecole Centrale de Lyon, 36 avenue guy de Colongue, Lyon (France).*

Résumé

Dans ce travail, nous présentons, le comportement des composites à matrices ductiles (PP, PA) renforcées par des fibres de verre E discontinues. La caractérisation est menée en essais monotone statique et en dynamiques (flexion cyclique et essais de choc). Une étude comparative des mécanismes de dégradation dans les trois types d'essais est présentée. L'influence du procédé de fabrication injection sur les propriétés mécaniques et les cinétiques d'endommagement est détaillée. La pertinence des critères (N_{10} , N_{20}), permet d'identifier clairement les principaux mécanismes de dégradation de nos matériaux.

Mots clés : Composite, Polypropylène, Statique, Fatigue, Choc, Mécanismes ;

Abstract:

In this work, we present the behavior of ductile matrix composites (PP, PA) reinforced with E-glass fibers discontinuous. The characterization is carried out in static monotonic tests and dynamic (cyclic bending and impact tests) A comparative study of degradation mechanisms in the three types of tests is presented. The influence of injection manufacturing process on the mechanical properties and the kinetics of damage is detailed. Relevance criteria (N_{10} , N_{20}), clearly identifies the main mechanisms of degradation of our materials

Key words: Composite, Polypropylene, Statics, Fatigue, shock, Mechanisms;

1 Introduction

Dans le cadre du développement des poutres de voitures en composite, nous avons mené une étude sur des composites à matrice thermoplastique renforcée par des fibres de verre non continues. L'utilisation des matériaux composites à matrice organique est devenue traditionnelle dans l'industrie des transports et tout particulièrement dans l'automobile. Elle accroît la liberté de style et permet également un gain de poids et parfois de coût de l'ensemble. Malgré le faible niveau des contraintes de travail actuellement prévues lors de leur conception, il importe de garantir la fiabilité de ces structures en s'assurant de leur tenue aux sollicitations mécaniques en service qui sont largement des sollicitations dynamiques. La maîtrise du comportement en fatigue de ces composites devient donc nécessaire. La réponse à l'impact des matériaux composites est aussi beaucoup étudiée depuis la réalisation de structures composites primaires. En effet, la chute d'un outil au cours de l'assemblage ou la maintenance d'une telle structure peut provoquer des endommagements non visibles à l'œil, pouvant entraîner à terme la ruine. Les composites à matrice thermoplastique renforcée par des fibres de verre sont sujets aux mêmes phénomènes. Il est primordial de connaître leur comportement sous impact pour s'assurer de leur fiabilité. En outre ces matériaux composites sont susceptibles d'être

utilisés comme absorbeurs d'énergie, notamment dans l'industrie automobile. Il est donc important de les optimiser pour cet usage.

2 Matériaux

Nous avons étudié cinq composites composés d'une matrice thermoplastique renforcée par des fibres de verre E discontinues (30% en masse) référencés : STAMAX, ESDACH, TWINTEX, PRYLTEX (matrice PP) et DURETHAN (matrice PA66). Ils ont été mis en œuvre par injection moulage sous forme de plaques de dimensions $600 \times 200 \times 3 \text{ mm}^3$. Avant mise en œuvre du composite, les fibres ont une longueur moyenne de 12mm (considérées comme longues) pour tous les matériaux excepté l'ESDACH pour lequel la longueur des fibres est plus faible ($< 6\text{mm}$ fibres dites courtes). Cependant après l'injection on observe une distribution de la longueur des fibres, caractéristique d'un taux de rupture important lors du procédé. Le point d'injection se trouvant à une extrémité du moule, le polymère fondu s'écoule dans le moule et les fibres sont orientées suivant la direction d'injection (figure1).

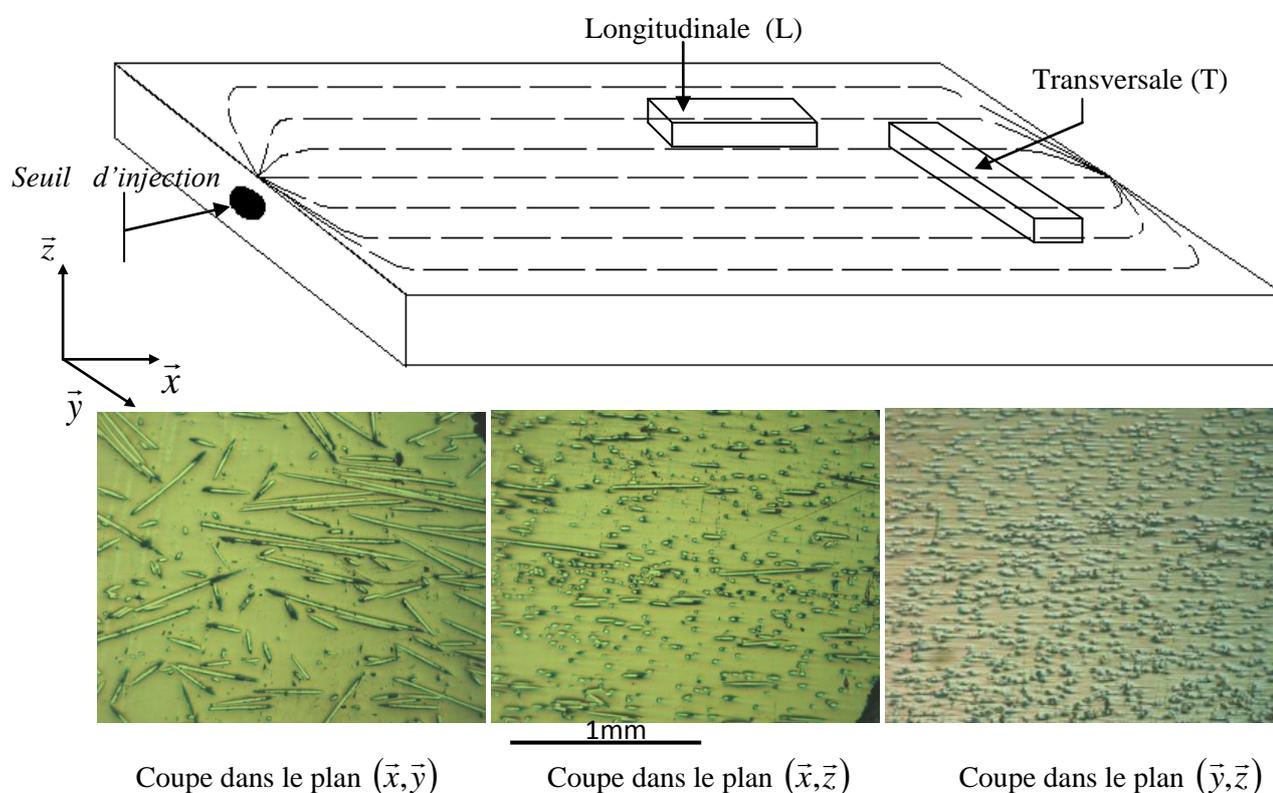


FIG. 1 – Orientation d'ensemble des fibres de verre (observations réalisées au milieu de l'éprouvette)

3 Caractérisation mécanique

3.1 Comportement en flexion monotone

Les caractéristiques mécaniques définies sur des éprouvettes découpées dans les sens longitudinal et transversal, seront utilisées à la définition des paramètres du cycle de fatigue. Au-delà de ces caractéristiques mécaniques, nous avons suivi l'endommagement en flexion statique afin de mieux choisir les niveaux de déformation des essais de fatigue. Rappelons que les essais ont été réalisés avec une valeur de $L/h = 20$ (Distance entre appuis/épaisseur) et à une vitesse de déplacement de la panne de 2 mm/min. Les valeurs moyennes sur douze

éprouvettes sont indiquées dans le tableau 1. Les essais ont été menés sur tous les matériaux dans le sens longitudinal (sens de l'injection). En outre trois des systèmes à base de PP (ESDACH, STAMAX, et TWINTEX) ont été testés dans le sens transversal. Nous remarquons que le module et la contrainte maximale des éprouvettes longitudinales sont nettement supérieurs à ceux des éprouvettes transversales. Ce résultat est bien entendu dû à l'orientation des fibres lors de la mise en œuvre : en sens longitudinal, la majorité des fibres se retrouvent parallèle au sens d'application de la charge, donnant un caractère plus résistant et rigide au composite. Au contraire, en sens transversal, la plus grande partie des fibres est perpendiculaire à la sollicitation et c'est la matrice, moins résistante qui doit reprendre une partie des efforts.

Tableau.1- Caractéristiques mécaniques en flexion 3 points.

Matériau	Durethan	Twintex	Esdach	Pryltex	Stamax	Stamax	Esdach	Twintex
sens	<i>longitudinal</i>					<i>transversal</i>		
E (GPa)	4,7(0,4)	6,1(0,5)	5,9(0,5)	5,5(0,6)	5,4(0,5)	2,5(0,2)	2,7(0,3)	2,5(0,3)
σ (MPa)	161,0(0,5)	133(14)	119,1(5,3)	104,7(14)	129,1(0,5)	62,0(3,2)	59,2(5,4)	66(16,3)
ϵ_{\max} (%)	6,30(0,25)	2,70(0,7)	2,66(0,13)	2,50(0,33)	3,12(0,31)	4,81(0,50)	3,48(0,4)	4,28(0,39)

3.2 Essai de fatigue

L'ensemble des essais de fatigue a été effectué en imposant une déformation maximale constante sur la face tendue de l'échantillon, suivant la norme NFT51-120. La fréquence choisie (25 Hz) évite un échauffement inacceptable (>10 °C) conduisant à une diminution de la durée de vie des éprouvettes [1]. Le rapport $R = \delta_{\min} / \delta_{\max} = 0,2$. Les résultats seront analysés en considérant deux critères de fin de vie : nombre de cycles N_{10} et N_{20} correspondant respectivement une perte de raideur de 10% et 20 %. A l'origine, des niveaux de sollicitations à 60%, 50% et 40% de la déformation maximale en monotone ont été appliqués aux échantillons. Les résultats de dépouillement des essais sont donnés dans le tableau 2 dans les sens longitudinal (L) et transversal (T). Pour chaque niveau de déformation maximale appliquée, choisi à partir des essais monotones préliminaires, les résultats sont analysés en statistique de Weibull pour déterminer la "durée de vie" sous sollicitation cyclique, c'est à dire le nombre de cycles N_x correspondant à un niveau de probabilité de 50% d'obtention de la perte de raideur de x%.

$$\epsilon_{\max} = A - B \cdot \log N_x \quad (1)$$

Tableau. 2 - Equations des courbes d'endurance et valeurs de A et B pour les critères N_{10} et N_{20}

Matériau	Sens	$\epsilon_{\max i} = A - B \cdot \log N_i$		En statique
		Critère 10%	Critère 20 %	ϵ_{\max} (%)
Durethan	L	-	-	8,35 - 2,25 $\log N_{20}$
Twintex		3,53 - 0,58 $\log N_{10}$	3,70 - 0,48 $\log N_{20}$	2,70 ± 0,70
Esdach		2,57 - 0,32 $\log N_{10}$	2,67 - 0,28 $\log N_{20}$	2,66 ± 0,13
Pryltex		3,15 - 0,44 $\log N_{10}$	3,32 - 0,39 $\log N_{20}$	2,50 ± 0,33
Stamax		3,44 - 0,53 $\log N_{10}$	3,00 - 0,32 $\log N_{20}$	3,12 ± 0,31
Esdach	T	5,02 - 1,04 $\log N_{10}$	4,57 - 0,67 $\log N_{20}$	3,48 ± 0,40
Stamax		5,25 - 1,10 $\log N_{10}$	4,92 - 0,76 $\log N_{20}$	4,81 ± 0,50
Twintex		5,40 - 1,10 $\log N_{10}$	5,03 - 0,76 $\log N_{20}$	4,28 ± 0,39

où ε_{\max} est la déformation maximale imposée sur la fibre la plus sollicitée, N_x , le nombre de cycles qui correspond à une perte de raideur de $x\%$, **A**, la valeur (extrapolée) de la déformation donnant une perte de raideur de $x\%$ après un cycle, et **B**, la pente de la droite d'endurance (définie comme étant la décroissance relative de la déformation maximale admissible par décennie de durée de vie). Comme nous l'avons rappelé, ce type de relation a déjà été proposé pour décrire des résultats obtenus en traction pure [2] et en flexion [3, 4]. L'analyse du comportement en fatigue d'un matériau repose donc sur la connaissance des deux paramètres de la relation (1), **A** et **B**. Une bonne tenue en fatigue s'obtient dans l'absolu avec une valeur de **A** élevée associée à une valeur de **B** aussi faible que possible. Contrairement aux composites à matrice PP, le DURETHAN résiste à de plus hautes déformations (paramètre **A** plus élevé), mais sa tenue en fatigue est faible (100 cycles pour une déformation valant 40% de la déformation maximale en statique), se rapprochant ainsi du comportement des composites à matrice PP, sollicités transversalement aux fibres. Une rupture localisée très franche progresse rapidement autour des fibres. En fait le DURETHAN va pouvoir se déformer plus facilement au premier cycle du fait de son caractère ductile observé en sollicitation monotone. En réalité les polyamides ont tendance à s'écrouir sous l'effet de la sollicitation mécanique, ce qui peut expliquer le mauvais comportement à la fatigue du composite, la matrice étant comme nous l'avons constaté précédemment fortement sollicitée dans ce cas.

3.3 Comportement au choc des matériaux

Nous avons réalisé, pour chaque matériau, des essais de choc à hauteur variable et à masse constante ($m= 2300\text{g}$), permettant ainsi d'étudier l'influence de l'énergie et de la vitesse d'impact. Les épaisseurs étant identiques dans tous les cas, les résultats sont directement comparables. Les éprouvettes testées sont des carrés de $60 \times 60 \text{ mm}^2$ de surface libre.

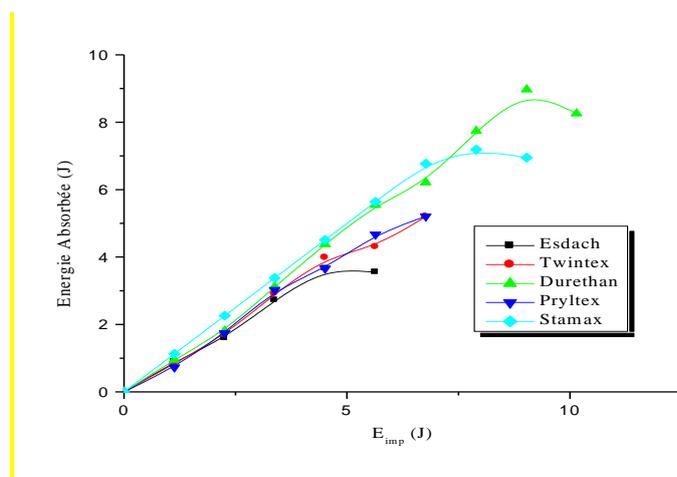


FIG. 2 – Evolution de l'énergie absorbée en fonction de l'énergie d'impact.

La relation entre l'énergie absorbée par l'échantillon et l'énergie d'impact est illustrée sur la figure 2. La tendance est la même pour tous les matériaux, avec une évolution linéaire de la courbe où l'énergie absorbée correspond approximativement à 80% de l'énergie incidente. Pour des énergies d'impact élevées, on observe une baisse de l'énergie absorbée pouvant être due à la perforation. La figure 3 représente l'évolution de la force maximale en fonction de l'énergie d'impact. Dans le cas du DURETHAN, on distingue deux zones. Dans la première zone la charge maximale augmente avec l'énergie d'impact.

Par la suite la variation de la force avec l'énergie d'impact atteint une valeur limite. L'énergie pour laquelle on atteint le palier est d'environ $3,5 \text{ J}$, correspondant à l'apparition de l'endommagement. Pour les composites PP, il n'y a pas de différences notables entre les matériaux. Dans la gamme d'énergie testée, nous sommes dans tous les cas dans la zone 2 (endommagement). Il n'y a pas à proprement parler de plateau, mais une variation lente et linéaire de la force avec l'énergie d'impact. Nous avons assimilé en première approximation l'aire d'endommagement des échantillons à un disque, observé sur la face tendue de l'éprouvette testée. Les résultats obtenus sont représentés sur la Figure 4. L'endommagement ne devient visible pour le DURETHAN qu'à partir de $3,38 \text{ J}$ et la perforation se

produit au delà de 10J (pour l'épaisseur considérée). Pour tous les matériaux à matrice PP, l'endommagement est visible dès le début des tests, à très faible énergie d'impact (1,13 J), les évolutions sont similaires. Lors d'impacts à forte énergie, l'apparition de la perforation engendre une augmentation subite de l'aire endommagée. Celle-ci apparaît pratiquement au même niveau pour l'ESDACH, le PRYLTEX et le TWINTEX (5-6J). En revanche l'énergie de perforation pour le STAMAX se situe à des niveaux proches de celui du DURETHAN. En conséquence, le matériau résistant aux énergies d'impact les plus fortes est le DURETHAN, mais le STAMAX reste un bon compromis.

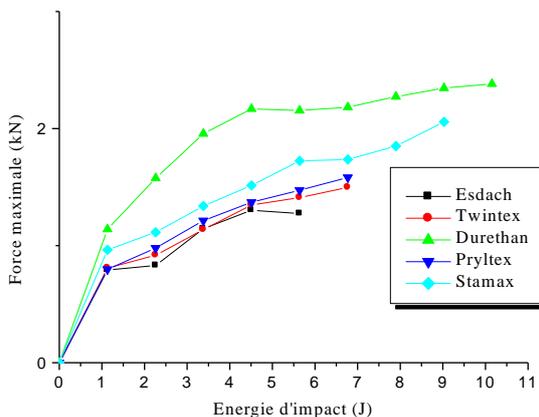


FIG. 3 – Evolution de la force en fonction de l'énergie d'impact

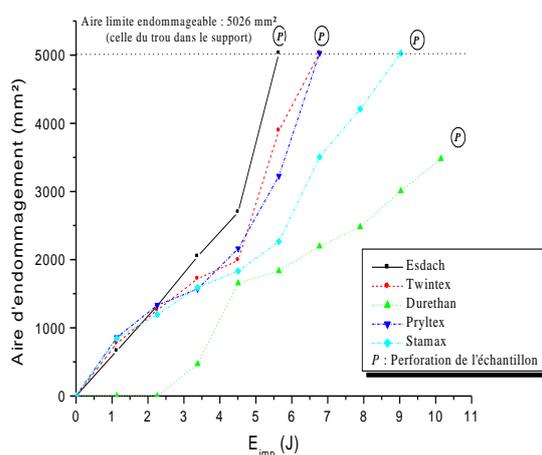
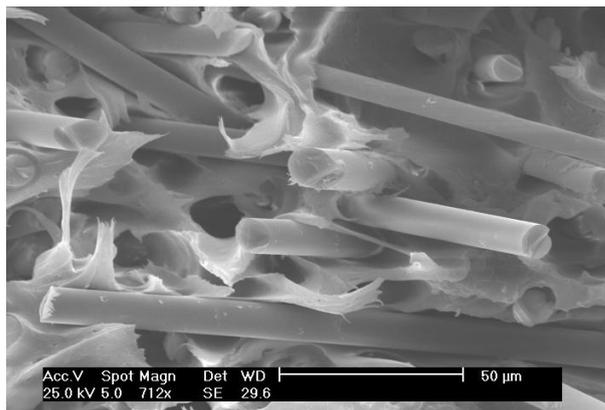
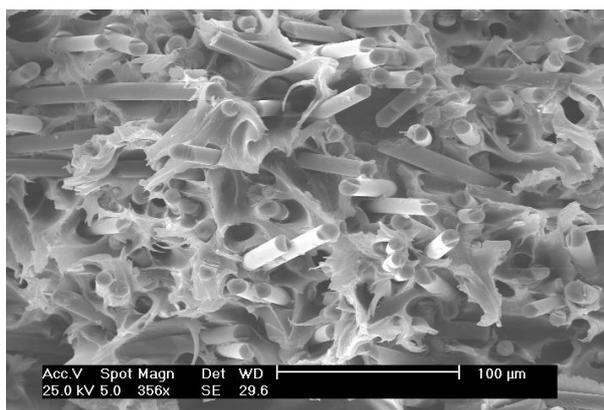


FIG. 4 – Evolution de l'aire endommagée en fonction de l'énergie d'impact.

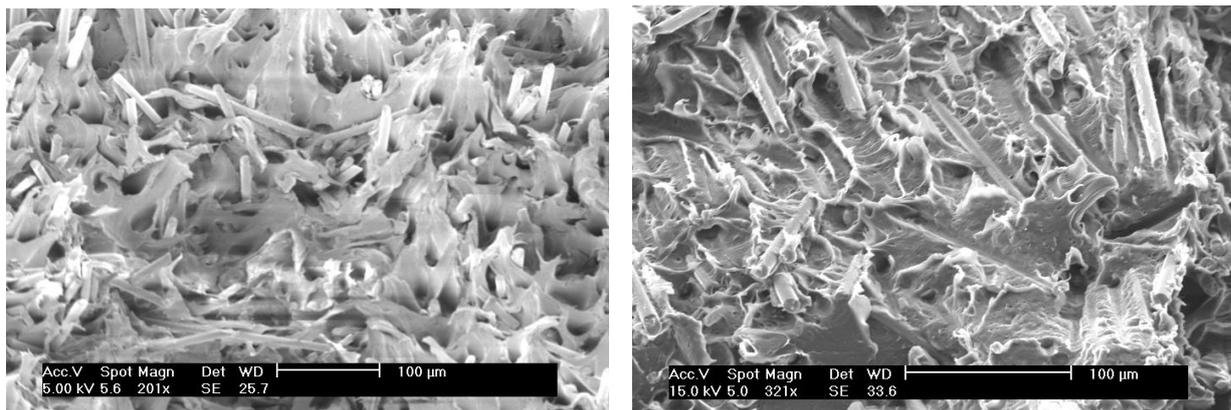
3.4 Dégradation du Composite à matrice polyamide.

Dans les trois types d'essais (figure 5), montrant les microfractographies des ruptures en statique monotone (a), fatigue (b) et au choc (c), la rupture du DURETHAN se produit de façon ductile.



(a)

Flexion 3 points monotone



Flexion 3 points cyclique (b)

Choc par chute de masse (c)

FIG. 5 – Microfractographies au MEB du DURETHAN à la rupture, en flexion monotone, choc par chute de masse et flexion cyclique.

Contrairement au polypropylène, le polyamide se déforme au moment de l'impact, permettant ainsi d'absorber l'énergie fournie au système. Ce comportement expliquerait pourquoi le DURETHAN peut résister sans endommagement à des chocs d'amplitude plus élevée. Dans le cas de l'essai de fatigue on observe pour le DURETHAN un faciès complexe : ruptures fragiles des fibres avec peu de déchaussement contrairement aux autres matériaux et matrice déformée plastiquement globalement. Une analyse à plus fort grossissement montre, d'une part des stries de fatigue et d'autre part que l'amplitude de la déformation plastique est plus faible que dans le cas de l'essai quasi-statique, ce qui semblerait aller dans le sens d'un écrouissage de la matrice sous sollicitation cyclique. Ceci peut expliquer la propagation rapide de l'endommagement dans les essais sous sollicitations cycliques

4 Conclusion

Dans les trois types d'essais, la rupture du DURETHAN, se produit de façon ductile. Contrairement au polypropylène, le polyamide se déforme au moment de l'impact, permettant ainsi d'absorber l'énergie fournie au système. Ce comportement expliquerait pourquoi le DURETHAN peut résister sans endommagement à des chocs d'amplitude plus élevée. Dans le cas de l'essai de fatigue on observe pour le DURETHAN un faciès complexe : ruptures fragiles des fibres avec peu de déchaussement contrairement aux autres matériaux et déformation globale plastique de la matrice. Une analyse à plus fort grossissement montre, d'une part des stries de fatigue et d'autre part que l'amplitude de la déformation plastique est plus faible que dans le cas de l'essai quasi-statique, ce qui semblerait aller dans le sens d'un écrouissage de la matrice sous sollicitation cyclique. Ceci peut expliquer la propagation rapide de l'endommagement dans les essais sous sollicitations cycliques.

5 References

- [1] Sims G.D., Gladman D.G., "A framework for specifying the fatigue performance of glass fiber reinforced plastics", NPL report DMA (a), 59, 1982, pp. 1-24
- [2] Mandell J.F, "Fatigue behaviour of short fiber composite materials", Composite materials series, vol.4, Fatigue of composite materials, K.L. Reifsnider Edt, Elsevier, 1990, pp. 231-337
- [3] Salvia M., Fournier P., Fiore L., Vincent L., "Flexural fatigue behaviour of UDGFPR - Experimental approach", Int. J. of Fatigue, 1997, 3, pp. 253-262.
- [4] Bathias C., "La fatigue des matériaux composites à hautes performances", Matériaux et techniques, Mai 1990, pp. 11-17