

METHODES D'INVESTIGATION DE L'ENDOMMAGEMENT DE COMPOSITES APRES IMPACT

Alexandre Looten (alexandre.looten@epfl.ch)

Introduction

Les propriétés des matériaux composites dépendent de la nature de la matrice, des renforts, de leur interface ainsi que des défauts éventuels. En effet, le mécanisme de renfort d'une matrice par des inclusions en général et des fibres en particulier, est le transfert des contraintes de la matrice (qui a en général une rigidité assez faible dans le cas de polymères) à la phase de renfort (rigidité très élevée) à travers l'interface. Cette différence de rigidités implique des contraintes en cisaillement très importantes à l'interface. Il est donc essentiel que cette dernière soit solide, c'est-à-dire qu'elle présente de bonnes propriétés d'adhésion et de cohésion entre les deux phases.

Un autre type d'interface est présent dans le cas de composites laminés. Lors de la mise en oeuvre de tels matériaux, il arrive souvent que la région entre deux laminés soit moins riche en fibres, et présente des propriétés mécaniques moins élevées.

On distingue quatre mécanismes d'endommagement principaux pour les composites :

- Rupture des fibres
- Fissuration de la matrice
- Déchaussement des fibres
- Délaminage entre plis.

Lors d'un choc sur un matériau composite, les interfaces sont souvent les premières à subir un endommagement, que ce soit une décohésion entre les fibres et la matrice ou un délaminage. Dans les deux cas, ces endommagements ne sont pas visibles en surface. Il est donc possible qu'une pièce en matériau composite semble en parfait état, alors qu'elle présente un endommagement important à l'intérieur, impliquant une résistance diminuée. Il s'agit donc de tester le matériau afin de pouvoir estimer l'importance de l'endommagement et mesurer si la pièce est encore apte à remplir sa fonction. Ces tests peuvent être réalisés de deux manières différentes Essai non-destructif ou essai destructif.

Un exemple d'occurrence de ce genre de problème est la chute d'un outil sur une pièce composite d'un avion lors de son entretien. Comment peut-on garantir la qualité de la pièce après un incident de ce type?

Le but de cet exercice est de se familiariser avec une technique destructive et non-destructive d'évaluation de l'endommagement de plaques composites impactées à différentes énergies.

Plusieurs influences seront étudiées :

- Le type de renforts : fibres de verre ou fibres de lin
- Le type d'architecture des fibres : mat ou bidirectionnel
- Le type de mise en œuvre : moulage au contact ou pré-imprégné
- Le type de technologie : Self healing ou non

Leur résistance résiduelle sera mesurée en compression.

Bases théoriques

Un dispositif d'impact (tour de chute) sera utilisé lors de cet exercice suivi de la compression après impact (CAI). La technique non destructive C-scan sera également utilisée pour évaluer l'endommagement résiduel suite aux tests d'impact.

La tour de chute: Une masse de géométrie définie, maintenue entre deux rails verticaux, est lâchée sur une plaque de composite et la percute à une énergie définie par sa hauteur initiale. La tête d'impact est en général instrumentée de façon à pouvoir suivre les caractéristiques force/déplacement en fonction du temps. Le dispositif d'impact est schématisé sur la figure 1.

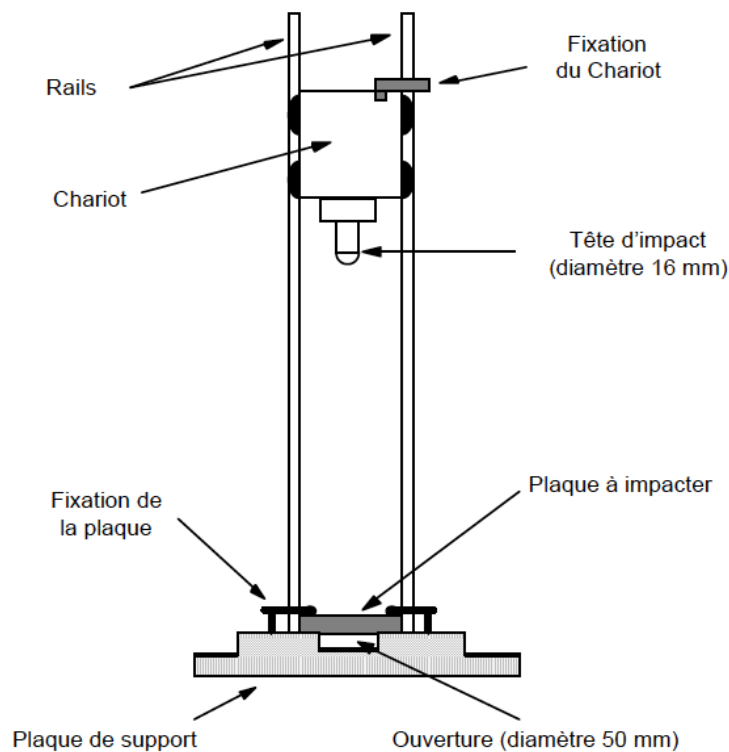


Figure 1: Système d'impact.

Les essais d'impact peuvent être regroupés en deux catégories : impacts à faible vitesse (ex: chute d'outil créant un endommagement du matériau) et impacts à vitesse élevée (ex: projectile créant une destruction du matériau). Le premier cas est généralement simulé par des dispositifs basés sur la chute d'un poids ou le balancement d'un pendule (pendule de Charpy, test Izod), le second faisant plutôt appel à des systèmes de lancement de projectiles (canon à impacts, technique de Hopkinson).

Les éventuels endommagements peuvent être analysés de deux façon différentes:

1. **Evaluation non-destructive (NDE)**, permettant la visualisation de défauts dans un échantillon en utilisant par exemple une méthode C-scan ultrasonique ou

par rayon-X. Le principe de cette première méthode est d'envoyer une onde acoustique haute fréquence dans un échantillon. L'onde qui se propage à l'intérieur du matériau est réfléchi par toutes surfaces libres dû à une différence d'impédance acoustique.

Une sonde acoustique envoie une impulsion sonore dans un échantillon à travers de l'eau qui sert de liaison entre la sonde et l'échantillon. Lorsque l'onde rencontre un défaut, elle est partiellement diffractée, selon la taille et la nature du défaut, la partie de l'onde continuant sans être affectée par le défaut sera d'une amplitude plus ou moins grande. La méthode consiste donc à mesurer l'intensité de cette réflexion en fonction de la position de la sonde. Cette intensité est traduite en niveau de gris sur un traceur. On peut alors visualiser la structure interne de l'échantillon.

2. **Evaluation destructive** par compression après impact (CAI) par exemple, est un test qui consiste à mesurer la résistance résiduelle en compression d'un échantillon ayant été soumis à un impact.

La résistance résiduelle d'un matériau endommagé dépend fortement de la nature de la charge appliquée, la sensibilité aux défauts n'étant pas la même suivant la nature des contraintes. Par exemple, un délaminage entre deux plis n'aura pas du tout le même effet si l'échantillon est testé en flexion, en compression ou en traction. Il s'agit donc de définir un test au cours duquel le défaut aura l'effet le plus grand, c'est-à-dire où la résistance résiduelle sera la plus faible.

L'impact est caractérisé par l'application d'une force très localisée en un espace de temps très court. Les fortes contraintes qui en résultent peuvent créer un endommagement de la surface supérieure de l'échantillon, des microfissurations, des ruptures transverses et longitudinales (par rapport aux fibres) dues à la compression et des délaminages dus au cisaillement. Ces dernières peuvent induire un flambage localisé des fibres qui causera une ruine rapide de la pièce. Le flambage étant un mécanisme apparaissant en compression, c'est ce type de test qui sera utilisé pour caractériser la résistance résiduelle des laminés après impact, et ce, malgré les difficultés que ce test présente, et qui sont principalement d'ordre géométrique. Lorsque l'on teste des laminés, on se trouve souvent en présence d'échantillons minces, qui ont une forte tendance à flamber (au niveau de l'échantillon et non des fibres comme décrit plus haut) lors de la mise sous charge, amenant une rupture en flexion et non en compression. Un centrage précis de la force, un parallélisme des surfaces de l'échantillon et l'utilisation de plaques latérales de soutien évite ce genre de mécanisme. Le montage utilisé est schématisé dans la figure 2. Il s'agit du montage développé et utilisé par la firme Boeing (BSS 7260).



Figure 2: Fixation pour CAI d'après Boeing BSS 7260.

Les modes de rupture pouvant apparaître sont multiples. Ils sont brièvement décrits ci-dessous.

- Flambage de l'échantillon (évité par les plaques de soutiens latérales)
- Microflambage (flambage des fibres)
- Traction transverse aux fibres (due à l'effet de Poisson)
- Rupture en compression des fibres
- Rupture en compression de la matrice
- Délaminage

La figure 3 montre l'influence de l'énergie d'impact sur les défauts crées dans un matériau composite.

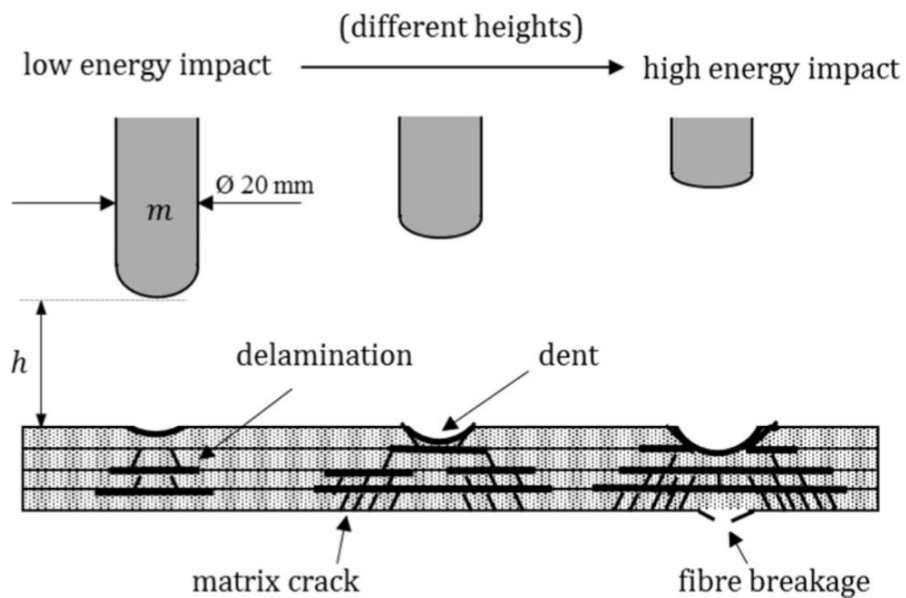


Figure 3: Endommagements crées dans un matériau composite à différents niveaux d'énergie.

Partie expérimentale

Les tests d'impact sont menés sur des stratifiés, constitués de résine époxy renforcée par différents tissus de fibres de lin ou de verre : *mat* et *équilibré*. Ils seront comparés avec des pré-imprégnés auto-réparant Epoxy verre (Equilibré) avec et sans réparation.

Les caractéristiques géométriques des échantillons sont les suivantes :

Longueur: 150 mm Largeur: 100 mm Epaisseur: ~3 mm

Chaque type de composite sera impacté avec deux énergies différentes. On prendra soin de noter les mécanismes d'endommagement observés pour chaque échantillon ainsi qu'une photo des deux faces.

La compression après impact sera effectuée sur une machine hydraulique d'une capacité de 300 kN (Walter and Bai) afin de déterminer la contrainte résiduelle des échantillons. La mise en charge se fera à un taux de 0.6 kN/s. Des échantillons intacts seront testés en compression afin d'avoir une valeur de référence. De nouveau analyser les types et comportements de rupture.

Discussions et Questions

Vous pouvez baser votre discussion des expériences sur les questions distribuées pendant le travail pratique. Certaines références ci-dessous feront l'objet de questions également.

Références

Lebaupin, Y., Hoang, T.-Q. T., Chauvin, M., & Touchard, F. (2019). Influence of the stacking sequence on the low-energy impact resistance of flax/PA11 composite. *Journal of Composite Materials*.

Riccio, A., Saputo, S., Sellitto, A., Russo, A., Acanfora, V., Iaccarino, P., & Zarrelli, M. (2020). On the mechanical behavior of laminated composite plates subjected to compression after impact tests. *Materials Today: Proceedings*, (xxxx), 1–4.

ASTM D7137/D7137M – 17