

IPI 3A

Procédés innovants : Matériaux composites

S. Terekhina, L.Guillaumat

TP1 : Procédés

1. Principe du procédé

1.1 Thermocompression à air chaud

La présence d'une résine thermoplastique impose de chauffer et presser le matériau. Cela se fait généralement par une presse chauffante qui demande un équipement spécifique pour pouvoir refroidir assez rapidement les plateaux chauffants et donc le matériau. Voulant viser des applications automobile ce travail a constitué notamment à trouver des solutions d'élaboration rapides.

Pour cela, un banc d'essai spécifique utilisant un flux d'air chaud, présenté à la Figure 1, a été développé au laboratoire LAMPA. L'idée était de mettre en forme des pièces en composites à base d'un tissu comélé lin/polypropylène en une seule phase dans un temps réduit et en utilisant l'air chaud et froid respectivement pour le chauffage et le refroidissement de l'ensemble moule-contre moule et matériau.

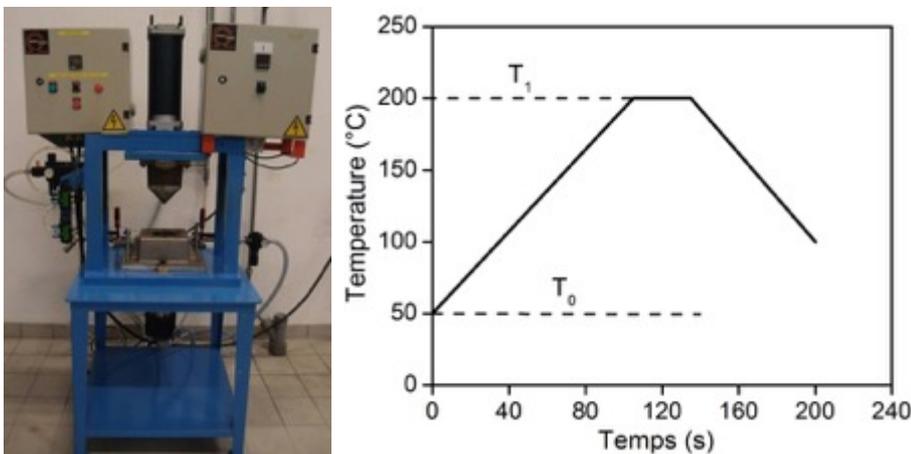


Fig.1 : Thermocompression à air chaud

Ce banc est constitué de deux sous-ensembles ayant une fonction spécifique : une partie mécanique capable de mettre en forme les tissus et d'appliquer la pression souhaitée et une partie thermique permettant la fusion de la résine :

- 1) La partie mécanique est composée d'un couple moule (poinçon)-contre moule (matrice) démontable. Un vérin pneumatique central commande la montée et la descente du poinçon et permet de faire varier la pression appliquée. Des plaques en aluminium jouent le rôle de serres-flans par leur propre poids. Il est possible de modifier leur position et dimensions ;
- 2) La seconde partie de ce banc est constituée d'un système de chauffage par flux d'air qui sert à chauffer et refroidir le matériau quand il est sous pression dans l'outillage (moule/contre moule). Le banc est équipé de deux régulateurs de température. Un qui joue le rôle d'asservissent entre la température dans le matériau et le système de chauffage pour atteindre et maintenir la température souhaitée le plus rapidement possible. Le contrôle de la température dans le matériau se fait par un thermocouple positionné entre deux plis au cours de mise en œuvre. Le deuxième régulateur de température sert à afficher la température de l'air à la sortie du système de chauffage.

Le principe de l'essai consiste à (Fig. 1):

- 1) disposer dans le moule 8 couches du tissu comélé de dimensions (180 mm× 90 mm) pour obtenir des pièces en forme de V. Le tissu est découpé préalablement dans le sens des mèches de trame pour obtenir des empilements du type [0/90] ;
- 2) appliquer un cycle de thermocompression en chauffant le matériau à 200°C en maintenant cette température pendant 30 secondes sous une pression du poinçon constante de 5 bars pendant tout le cycle de fabrication de la pièce ;
- 3) refroidir la pièce par l'arrêt du chauffage de l'air. Celui-ci devient froid et circule dans l'ensemble pièce/outillage pour diminuer rapidement la température.

1.2 Infusion

Ce procédé sert pour obtenir un composite lin/Elium. Les fibres sont disposées selon la séquence d'empilements [0/90]₈ et [0/90]₄ sur un moule préalablement ciré. Par-dessus les fibres, on dispose une série de tissus comme illustré sur la figure 2. Tout d'abord, un tissu d'arrachage est mis en place pour faciliter la séparation du composite avec les couches supérieures. Ensuite un tissu drainant, éventuellement accompagné d'un film micro-perforé, est utilisé pour accroître la perméabilité du milieu entre les fibres et la bâche à vide, permettant ainsi la circulation de la résine. L'ensemble est ensuite recouvert d'une bâche à vide. La fixation de la bâche sur le moule ainsi que l'étanchéité est réalisée à l'aide d'un mastic spécifique. Pour réaliser une infusion frontale, une gaine d'entrée et une gaine de sortie sont positionnées sous la bâche, au-dessus des couches supérieures de la préforme. Ces gaines sont reliées à des tuyaux d'entrée et de sortie, qui passent à travers la bâche de manière étanche (au moyen de connecteurs). Le tuyau d'entrée est plongé dans un bac de résine catalysée. Le tuyau de sortie est relié à une pompe à vide, en passant par un bac tampon servant à piéger un surplus éventuel de résine.

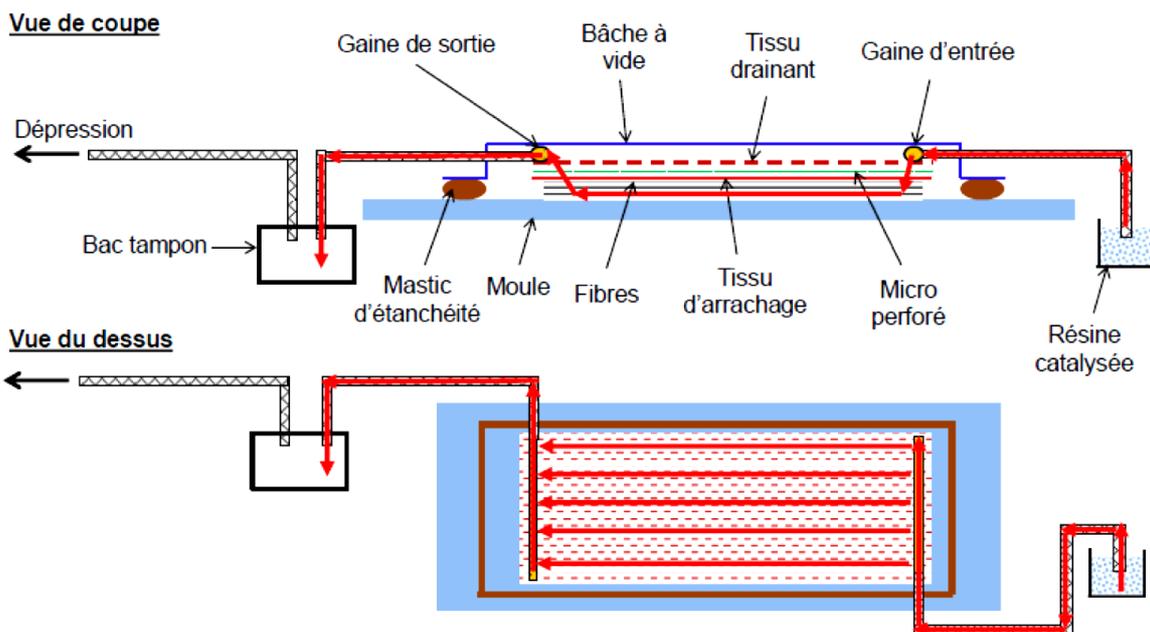


Fig.2 : Schéma d'Infusion

Q1 : Réaliser les plaques de composites lin/PP et lin/Elium par les procédés de thermocompression à air chaud et l'Infusion respectivement.

2 Applications pratiques

Q2. : Calculer le taux de fibres en masse et en volume pour les deux procédés considérés.

En masse: $X_m^f = \frac{NS\rho_S}{m_c}$

Où N – nombre de plis : 4 et 8 plis (Infusion) et 8 plis (thermocompression), m_c – masse du composite à sec, S – surface :

- pour thermocompression à air chaud : 180 mm× 90 mm ;
- pour l'infusion : 350 mm x 200 mm.

ρ_S - la masse surfacique :

- tissu sergé comêlé de lin/PP : **310 tex**
- tissu sergé de lin sec : **360 tex**.

En volume :

$$\frac{1}{V_f} = \frac{\rho_f}{\rho_m} \left(\frac{1}{X_m^f} - 1 \right) + 1$$

Où $\rho_f = 1450 \text{ kg/m}^3$, $\rho_{m_PP} = 920 \text{ kg/m}^3$, $\rho_{m_Elium} = 1290 \text{ kg/m}^3$

Q3 : Calculer une vitesse moyenne de remplissage u_0 lors de l'Infusion

TP2 : Impact et CAI

1. Objectif

L'objectif de ce TP est de réaliser des impacts sur les deux types de pièces fabriquées lors du premier TP. Il s'agit donc de cornières (fabriquées par le procédé à air chaud) et de plaques (réalisées par infusion de thermoplastique). Ces impacts sont réalisés pour créer des défauts importants dont l'influence sera quantifiée et qui seront partiellement éliminés par une séquence de réparation réalisée lors d'un TP suivant.

2. Méthodologie et matériel

Les essais d'impact seront réalisés avec la tour de chute du laboratoire de mécanique :



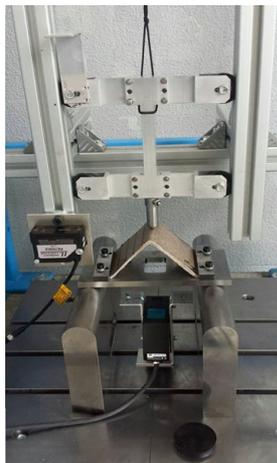
Cet équipement est instrumenté par des capteurs laser et un capteur piezoélectrique qui permettent de mesurer :

La force en fonction du temps

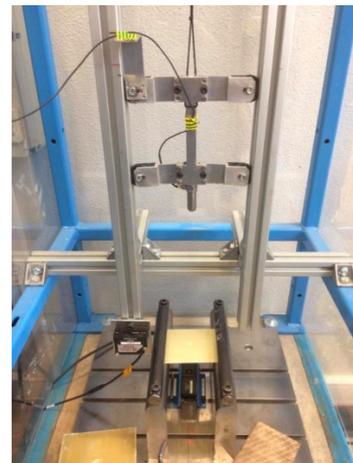
La vitesse aller et rebond de l'impacteur

Le déplacement du centre de la plaque ou de la cornière.

Les deux structures vont demander deux types de montage :



Montage cornière



Montage plaque

Les données seront acquises par le biais du logiciel CATMAN disponible sur l'ordinateur connecté au système d'acquisition. La documentation est disponible près de la tour de chute.

3 Programme d'essais

3.1 Essais d'impact

Vous disposez de :

- 4 éprouvettes planes de dimension 180 x 90 mm.
 - ✓ 1 servira de référence et ne sera pas impactée
 - ✓ 2 seront impactées à 1 et 2 m de hauteur
 - ✓ 1 sera transformée en cornière et impactée à une hauteur de 1 m
- 4 éprouvettes planes de dimension 180 x 90 mm post-cuites .

Le même programme sera appliqué sur les éprouvettes post-cuites.

- 4 cornières.
 - ✓ 1 servira de référence et ne sera pas impactée
 - ✓ 2 seront impactées à 1 et 2 m de hauteur
 - ✓ 1 sera impactée pour être réparée

Q1 Pour chaque éprouvette impactée vous révélez :

La force maximale ;

Le déplacement maximum ;

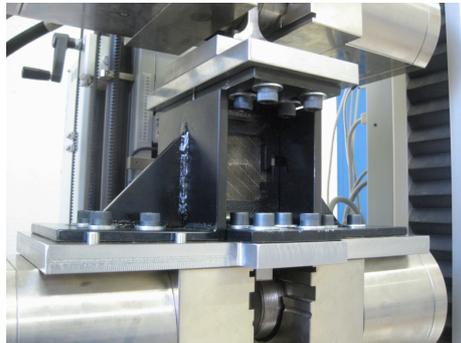
La vitesse d'impact et celle de remontée ;

L'énergie consommée par le choc ;

Les modifications géométriques des éprouvettes et tout type d'endommagement.

3.2 Essais CAI

Les plaques impactées ainsi que la référence seront chargées en compression dans le dispositif spécifique :



Les cornières impactées ainsi que la référence seront chargées en traction avec une interface spécifique et après avoir été percées.

Q2. Les valeurs maximales et courbes seront analysées.

TP3 : Etude des propriétés physico-chimiques et réparation

4 Mesure du taux de porosité

La masse volumique des échantillons est déterminée à l'aide d'une balance de précision au dixième de milligramme. Chaque échantillon doit être mesuré trois fois pour déterminer la masse. Le taux de vide est déterminé en utilisant l'équation du principe d'Archimède conformément à la norme ISO 1183-1 :

$$v_p = 1 - \rho_c \left(\frac{X_m^f}{\rho_f} + \frac{(1 - X_m^f)}{\rho_m} \right)$$

Q1. : Mesurer la masse volumique des composites étudiés par double pesée.

Elle consiste à mesurer la masse volumique d'un composite à l'aide d'une balance de précision qui dispose d'un double plateau, l'un dans l'air et l'autre immergé dans l'eau distillée. La densité du composite est calculée à partir de la formule suivante :

$$\rho = \frac{m_{air}\rho_{eau}}{m_{air} - m_{eau}}$$

Où m_{air} est la masse de l'échantillon dans l'air

m_{eau} est la masse de l'échantillon dans l'eau

ρ_{eau} est la densité de l'eau à la température de l'essai.

Q2 : Estimer leur taux de porosité.

5 Analyse de DSC

La calorimétrie différentielle à balayage (DSC : Differential Scanning Calorimetry en anglais) est une technique permettant de caractériser les changements de phase en mesurant le flux thermique échangé par un échantillon soumis à une rampe de température. On peut ainsi détecter la transition vitreuse, la cristallisation et la fusion (Figure 1).

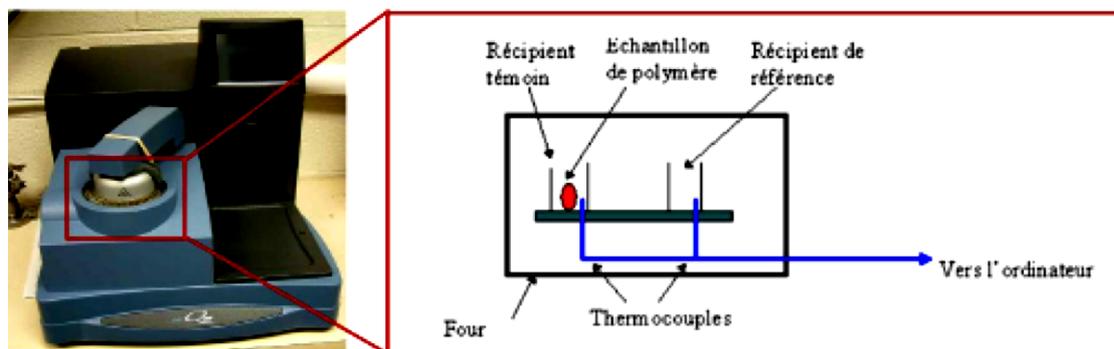


Fig.1 : Schéma d'un DSC.

La DSC est utilisée pour déterminer le pourcentage de la phase cristalline dans le polymère semi-cristallin en se basant sur la mesure d'enthalpie de fusion ou de cristallisation du matériau pour la fraction de la phase cristalline (Figure 2).

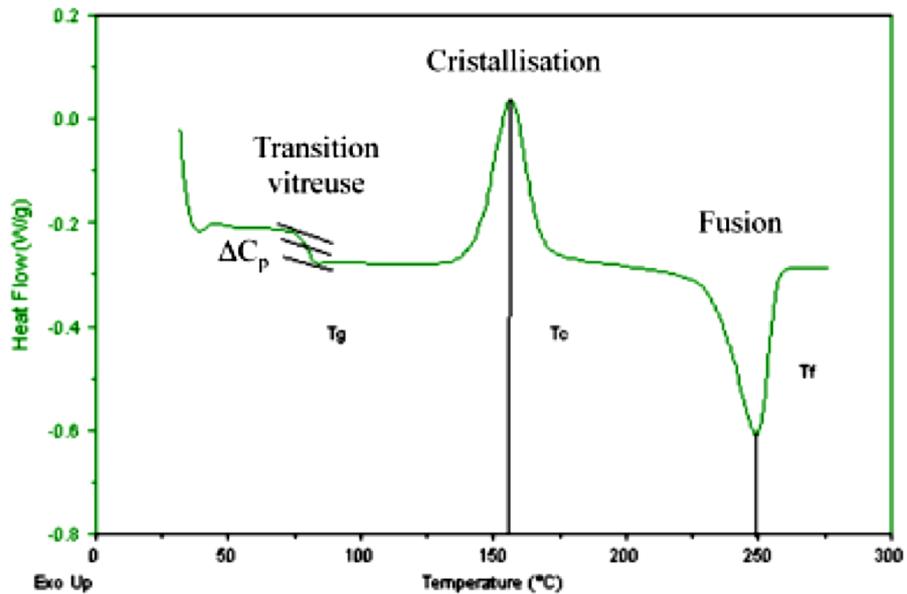


Fig.2 : Courbe-type de DSC

Q.3 : Analyser les courbes des composites lin/Elium et lin/PP, en comparant avec leur matrice. Quelle différence vous observez au niveau de leurs températures ?

Q.4 : Réaliser deux essais de DSC du composite lin/Elium : l'un est tout juste préparé et l'autre - réparé après l'impact dans la plage de température 20°C – 220°C avec vitesse de chauffe de 10°C/min.

6 Réparation des plaques impactées

Q.5 : Réaliser par le procédé de thermocompression la réparation des plaques impactées suivant les cycles suivants :

- Lin/PP : 200°C sans palier
- Lin/Elium : 180°C sans palier.