



ÉTUDE DE CAS

L'IMPRESSION 3D AU SERVICE DE LA MISE EN FORME DE COMPOSITE À RENFORTS TRESSÉS

Durée du projet

Avril 2018 à octobre 2021

Partenaires

Laboratoire de Structures de Fibres
et Composites Avancés
(labSFCA, Polytechnique Montréal),
Centre Technologique
en Aérospatiale (CTA),
Groupe CTT (gCTTg),
SphèreCo Technologies Inc.

Matériaux

Thermoplastiques acrylonitrile
butadiène styrène (ABS)
et polyétherimide (ou plastique PEI)

Procédés

FDM (Fused Deposition Modeling,
modélisation par dépôt
de fil en fusion)

Domaines d'application

Aéronautique

OBJECTIFS VISÉS

Fabriquer, grâce à l'impression 3D, des outillages prototypes pour l'assistance au tressage robotisé ainsi que pour le moulage par infusion sous vide de résine servant au développement de pièces aéronautiques.

LE CONTEXTE

Aujourd'hui, les avions commerciaux sont fabriqués de nombreuses composantes en matériaux composites. Les pièces composites structurales de ces avions sont fabriquées de fibres de carbone liées par une matrice polymérique. Pour produire ces pièces, les fibres sont premièrement assemblées sous la forme organisée d'un renfort tissé. Ce renfort est ensuite drapé sur un outillage et une résine polymérique liquide y est transférée afin d'imprégner ces fibres de carbone. Finalement, la résine est traitée thermiquement afin de réticuler ou solidifier celle-ci. Chaque étape de ce processus est validée en produisant des pièces afin de maintenir leur qualité, leur répétabilité et leur performance garantissant la sécurité des passagers. Ces validations nécessitent des outillages pouvant faire exploser les coûts de développement. Les 4 partenaires du projet se sont donc alliés pour développer un cadre de fuselage d'avion en composites. L'objectif était de réduire les coûts d'outillage et de prototypage en utilisant l'impression 3D.

LE DÉFI

L'étoffe composite, aussi appelée renfort fibreux, est réalisée à l'aide d'une tresseuse qui entrecroise des fils de carbone pour former une tresse tridimensionnelle. Les fils se déposent sur un mandrin en mouvement, grâce à un robot à 6 axes, au travers du métier à tresser. La conception du mandrin présente des défis quant à sa taille et à sa masse. L'alignement des sections doit être parfait et aucun défaut de surface n'est toléré pour ne pas endommager les fibres de carbone déposées. L'outillage pour la fabrication du composite par infusion sous vide présente aussi des enjeux. La température de ce procédé atteint 180°C. Il faut donc garantir la tenue mécanique de l'outillage dans ces dernières conditions. Un autre défi est le contrôle de l'expansion thermique (α_{therm}) de l'outillage : ce dernier peut induire des déformations dans la pièce fabriquée car la α_{therm} des polymères est plus grande que celle des métaux. Une attention est portée sur une possible dépendance entre l'orientation d'impression et la α_{therm} de l'outillage. De plus, l'interface de l'outillage polymère doit être inerte face aux consommables et matériaux de la pièce, en occurrence la résine d'infusion. Le dernier défi est l'évolution temporelle de l'intégrité géométrique de l'outillage.

L'IMPRESSION 3D AU SERVICE DE LA MISE EN FORME DE COMPOSITE À RENFORTS TRESSÉS



CQFA CARREFOUR QUÉBÉCOIS
DE LA FABRICATION ADDITIVE



Figure 1 – Mandrin ABS imprimé 3D recouvert d'une tresse en fibres de carbone.

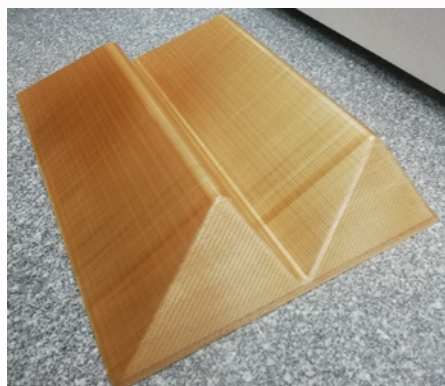


Figure 2 – Moule PEI imprimé 3D pour le moulage par infusion sous vide d'une pièce avec une section en Z.

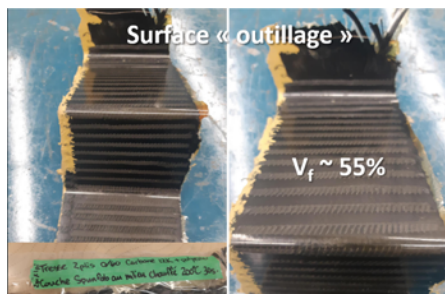


Figure 3 – Exemple de pièces composites, avec une section en Z, préformées et moulées par infusion sous vide.

LA SOLUTION

L'ABS a été le matériau d'impression choisi pour le mandrin de tressage en plusieurs parties. Des tiges métalliques boulonnées furent incorporées le long de l'orientation principale de ce mandrin, pour renforcer sa tenue mécanique en flexion, en porte-à-faux avec le bras robotisé. Ce mandrin fut aussi fabriqué avec un remplissage partiel pour limiter sa masse et son temps d'impression. Pour l'outillage d'infusion, l'utilisation de PEI a permis le moulage à des températures de 180°C sans perte d'intégrité structurelle du moule. Un remplissage de fraction volumique de 30% et de type quadrillage fut utilisé. Des échantillons imprimés furent produits pour démontrer s'il y avait une dépendance de leur α_{therm} en fonction de leur orientation d'impression ou bien de leur fraction de remplissage. Une préparation de surface sur la zone de contact avec la pièce composite fut mise en place. Elle consista en un sablage et l'application d'un film adhésif en PTFE. Ce film procure au moule une surface à faible adhésion ainsi qu'une barrière physico-chimique entre la résine et le PEI. Finalement, des mesures de l'outillage avant et après utilisation ont été prises à l'aide d'une machine de mesures de coordonnées (CMM) afin de s'assurer de l'intégrité géométrique du moule au cours des nombreux cycles de chauffe et de refroidissement.

LES BÉNÉFICES / RÉSULTATS

Le mandrin ABS a permis le tressage d'étoffes avec différentes architectures tridimensionnelles de préformes. La Figure 1 montre ce mandrin recouvert d'une tresse en fibres de carbone. Ce mandrin, réalisé à faibles coûts et dans de courts délais d'impression, a permis d'accélérer le développement du tressage. Le moule en PEI, employé pour fabriquer 8 pièces composites par infusion sous vide, est montré à la Figure 2. Aucune dépendance entre l'orientation d'impression et la α_{therm} ne fut observée. Les mesures CMM sur cet outillage ont démontré son intégrité géométrique au cours de son utilisation. La préparation de surface de l'outillage a conféré un fini satisfaisant aux pièces moulées tel qu'illustré à la Figure 3. L'utilisation d'outillages imprimés 3D représente un potentiel pour le prototypage et le moulage de petites séries de pièces composites par infusion. Les avantages principaux résident dans son court délai de fabrication et sa flexibilité de conception.

COORDONNÉES

labSFCA

Polytechnique Montréal
2500, ch. de Polytechnique,
Montréal (Québec) H3T 1J4
lll@polymtl.ca
514 340-4711 poste 3933

Centre Technologique en Aérospatiale (CTA)

5555, rue de l'ÉNA, Longueuil (Québec) J3Y 8Y9
francois.lebel@ena.ca

Groupe CTT

3000, avenue Boullé,
Saint-Hyacinthe (Québec) J2S 1H9
info@gcttg.com
1 877 288-8378

SphèreCo Technologies Inc.

45, ch. de l'Aéroport, local 22,
St-Jean-sur-Richelieu (Québec) J3B 7B5
desiletsjf@sphereco.ca
450 741-3312