

1-Contexte

Fabrication de pièces structurelles en composite

A. Procédés autoclave

- Coûts élevés
 - Équipements (autoclave)
 - Infrastructures (salle blanche)
 - Matériaux pré-imprégnés (\$\$\$)
- Compaction élevée (jusqu'à 7atm)
- Qualité de pièce élevée
 - Épaisseur de pièce uniforme
- Certification éprouvée

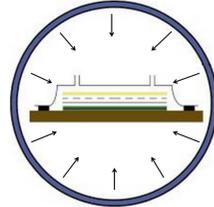


Schéma autoclave

B. Procédé d'infusion de résine

- Coûts modérés
 - Équipements standards
- Compaction faible (jusqu'à 1atm)
- Qualité de pièce plus variable
 - Variations d'épaisseurs
- Défi de certification

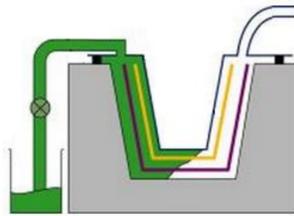
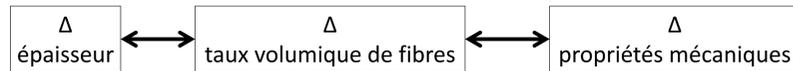


Schéma d'infusion

2- Problématique

Le procédé d'infusion de résine introduit une variation d'épaisseur de la pièce. Ceci influence le poids, les propriétés mécaniques et les tolérances d'assemblage.



Difficulté à contrôler l'épaisseur des pièces composites par infusion en raison de la nature du procédé:

- Faible pression de compaction (1 atm)
- Membrane flexible qui consolide la pièce

3- Méthodologie de développement

Objectif :

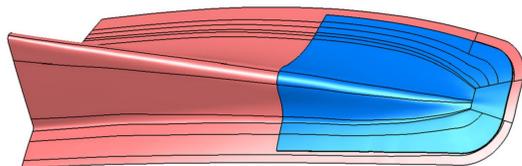
Développer un procédé d'infusion qui permet d'obtenir des pièces avec un taux volumique de fibres de $58 \pm 3\%$ et une qualité de pièce équivalente à l'autoclave.

1. Développement du procédé en 2D

- Choix des matériaux et consommables
- Optimisation des paramètres d'infusion
- Fabrication de 100 plaques de validation
- Mesure d'épaisseur des plaques

2. Application à une géométrie 3D

- Fabrication d'outils de moulage adaptés
- Vérification sur carénage (géométrie complexe)
- Vérification de la variation d'épaisseur
- Fabrication de 4 carénages



Géométrie de carénage aérodynamique

4- Procédé de fabrication par infusion

➤ Préformage :

- Découper les plis de tissus de carbone
- Empiler les plis sur un moule concave
- Mettre sous vide et consolider l'agent liant à chaud

La **préforme** est un assemblage semi-rigide de tissus de carbone.

Préformer permet de:

- Pré-compacter la pièce
- Figurer l'orientation des fibres de carbone
- Réduire le temps de cycle de fabrication



Montage de préformage

➤ Préparation du montage d'infusion

- Positionner la préforme dans le moule de cuisson
- Installer les matériaux d'infusion
 - Tissu d'arrachage
 - Media d'infusion
 - Plaque de conformage
 - Sac de vide

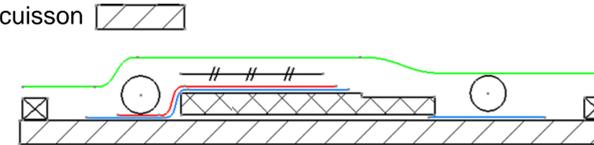


Schéma du montage d'infusion

• Mettre sous vide et tester l'étanchéité

➤ Infusion de la pièce et cuisson

- Dégazer et chauffer la résine
- Préchauffer le moule et la résine
- Imprégner la pièce (aspiration de la résine dans la pièce par le vide)
- Consolider la résine (cuisson de 2h à 180°C)



Montage d'infusion

➤ Finition de la pièce

- Démouler la pièce
- Retirer les matériaux d'infusion
- Couper la pièce aux dimensions finales

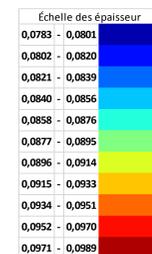


Pièce 3D finale

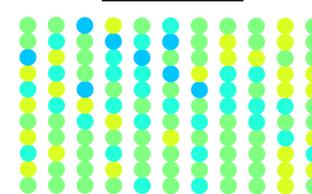
➤ Validation de la pièce

- Mesurer les épaisseurs par CMM

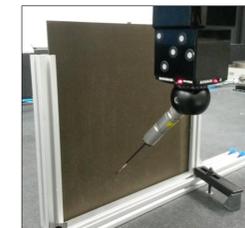
5- Résultats : Mesures d'épaisseurs par Coordinate Measuring Machine (CMM)



Résultats 2D



Résultats 3D (carénage)



Mesure de plaque 2D par CMM

6- Analyse des résultats :

Taux volumique de fibres

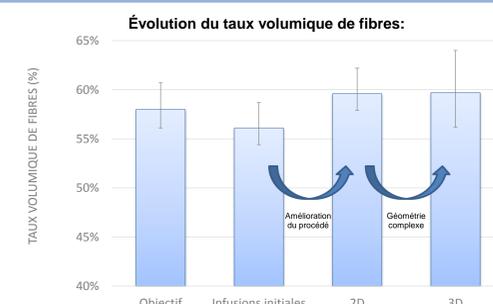
$$V_f(\%) = \frac{\sigma_{tissu}}{\rho_{carbone} \cdot t_{plaque}}$$

σ = masse surfacique
 ρ = densité
 t = épaisseur

2D	59.6%	+	2.7%
		-	2.1%
3D	59.7%	+	4.3%
		-	3.5%

Sources de variations:

- Rugosité à la surface d'ensachage
- Équilibre des pressions de résine
- Contact d'appui du contre-moule
- Variabilité intrinsèque du matériau



Amélioration du procédé

- Préformage
 - Précompaction cyclée
 - Plaque de conformage
- Résultat: Augmentation du V_f

Fabrication en géométrie complexe

- Double courbure
 - Tolérance du conformage
- Résultat: Variabilité du V_f plus élevée



Corrélation des V_f avec analyse microscopique et digestion par acide

7- Synthèse/Conclusion

Il est possible de produire par infusion des pièces composites d'une qualité comparable à celle fabriquées en autoclave avec :

- Une technique de préformage adéquate
- Une plaque de conformage précise
- Des procédures de fabrications détaillées
 - Dégazage de résine
 - Infusion à chaud (basse viscosité)
 - Contrôle d'écoulement de résine

Défis de l'infusion structurelle envisagés:

- Répétabilité du procédé à valider
- Économies à démontrer par rapport aux procédés autoclave
- Certification onéreuse du procédé et des matériaux
- Limitations géométriques non évaluées
- Nécessité d'une main d'œuvre très qualifiée

Prochaines étapes:

- Évaluer l'avantage économique de l'infusion dans un contexte industriel
- Fabriquer un prototype à échelle 1:1
- Vérifier les tolérances d'assemblage
- Tester le procédé sur d'autres géométries 3D
 - Structures auto-raïdiées
 - Géométries assemblées

8- Remerciements

Équipe du CTA:

Stéphanie Arpin
Paul-Anthony Ashby
Joël Brais
Alexandre Chagnon
Bruno Croteau-Labouly
Robin Dubé
Pierre Legay
Mathieu St-Germain

Équipe de Bombardier Aéronautique:

Mert Kor
Hasan Salek
Mourat Mourtafov

Travaux effectués au sein de la
CHAIRE DE RECHERCHE INDUSTRIELLE SUR LA FABRICATION
DE COMPOSANTES AÉROSPATIALES EN MATÉRIAUX COMPOSITES

Centre Technologique en Aérospatiale
5555 place de la Savane, QC, J3Y 8Y9
www.aerospatiale.org