

Contrôle de la fabrication des composites par injection sur renfort

Francois LeBel

1. INTRODUCTION

À l'origine employés principalement dans le domaine militaire, les matériaux composites à matrice thermodurcissable se retrouvent maintenant dans un nombre grandissant d'applications industrielles. Leur popularité connaît une croissance importante dans les domaines de l'aéronautique, du transport, de la médecine et du loisir. Ceci s'explique par leur excellente performance mécanique en terme de rigidité spécifique, leurs bonnes propriétés d'isolation acoustique et électrique, ainsi qu'une résistance remarquable à la fatigue et à la corrosion. Le principal obstacle à une généralisation de leur emploi dans de nombreux secteurs reste les coûts de fabrication, qui restent prohibitifs. Or les méthodes de fabrication des composites à haute performance par les procédés d'injection sur renforts permettent de réduire beaucoup les coûts de la mise en forme de ces matériaux en comparaison avec les méthodes de fabrication plus classiques en autoclave par exemple.

Afin de maîtriser la fabrication des composites par injection de résine liquide dans des moules fermés, des connaissances accrues sur la modélisation et le contrôle des procédés de mise en forme sont requis. En particulier, le contrôle de la qualité des pièces en temps réel, l'amélioration de la reproductibilité des fabrications et la minimisation des pertes constituent autant d'enjeux industriels et de défis à relever.

Le but du présent projet est de répondre aux trois questions fondamentales suivantes :

- Pourquoi est-il nécessaire de contrôler les procédés dits d'injection sur renforts ou LCM («Liquid Composite Molding») ?
- Peut-on effectivement les contrôler?
- Enfin, dans le cas d'une réponse affirmative à la question précédente, comment pourrait-t-on arriver à les contrôler dans un contexte de production industrielle?



L'objectif final du contrôle des procédés de mise en forme est de produire des pièces au plus haut niveau de productivité possible, selon des critères de qualité établis préalablement. Or, ces critères de qualité sont rarement accessibles ou contrôlables directement via une métrologie quelconque.



Pour contrôler la qualité des pièces produites, les variables « Machine », tout d'abord, et les variables de « Procédé » ensuite doivent être bien maîtrisées. Dans le cadre des procédés Liquid Composite Molding, ces critères de qualité, ces variables « Machine » et de « Procédé » sont présentées ci-contre.

2. SYSTÈME DE CONTRÔLE INTELLIGENT



Le système d'injection utilisé est composé de:

- 2 machines de traction électromécaniques:
 - Servomoteurs « DC » de haute précision
 - Contrôleurs digitaux externes « DOLI »
 - Contrôle de la vitesse et de la position de la traverse

- Pistons double ou simple action:
 - Robustes
 - Servant à l'injection de résine chargée ou non
 - Servant à l'injection de catalyseur
 - Pouvant être thermo-régulés

- Réservoirs et lignes d'alimentation
 - Pouvant être thermo-régulés

- Poste de travail informatisé
 - Muni d'écran tactile



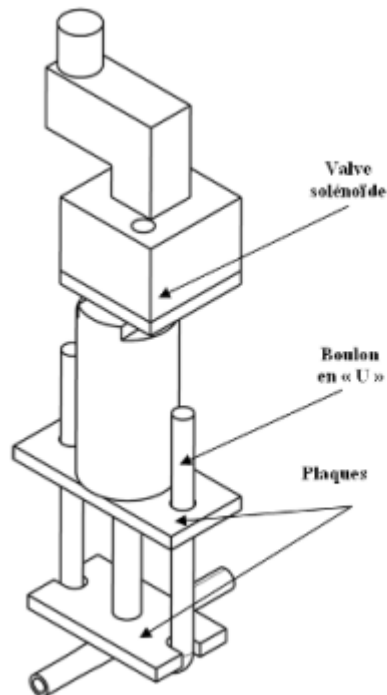
3. AUTOMATISATION DE L'INJECTION

Dans un souci de sécurité et de robustesse, des valves pneumatiques sont utilisées pour automatiser les étapes du procédé de fabrication que sont:

- La recirculation de la résine et du catalyseur
- L'ouverture et la fermeture du moule
- L'injection de la résine catalysée
- Le nettoyage à l'acétone du mélangeur

Ces valves servent de:

- Pince-tubes pneumatiques:
Servant de port d'injection et d'évent pour divers moules
- Tête d'injection « Autosprue »:
Pour nettoyer le mélangeur statique à l'aide d'un solvant et rejeter de la résine mal dosée.
- Pistolet et des activateurs pneumatiques:
Pour injecter une résine et son catalyseur ainsi qu'effectuer leur recirculation initiale



4. CONTRÔLE DE L'INJECTION

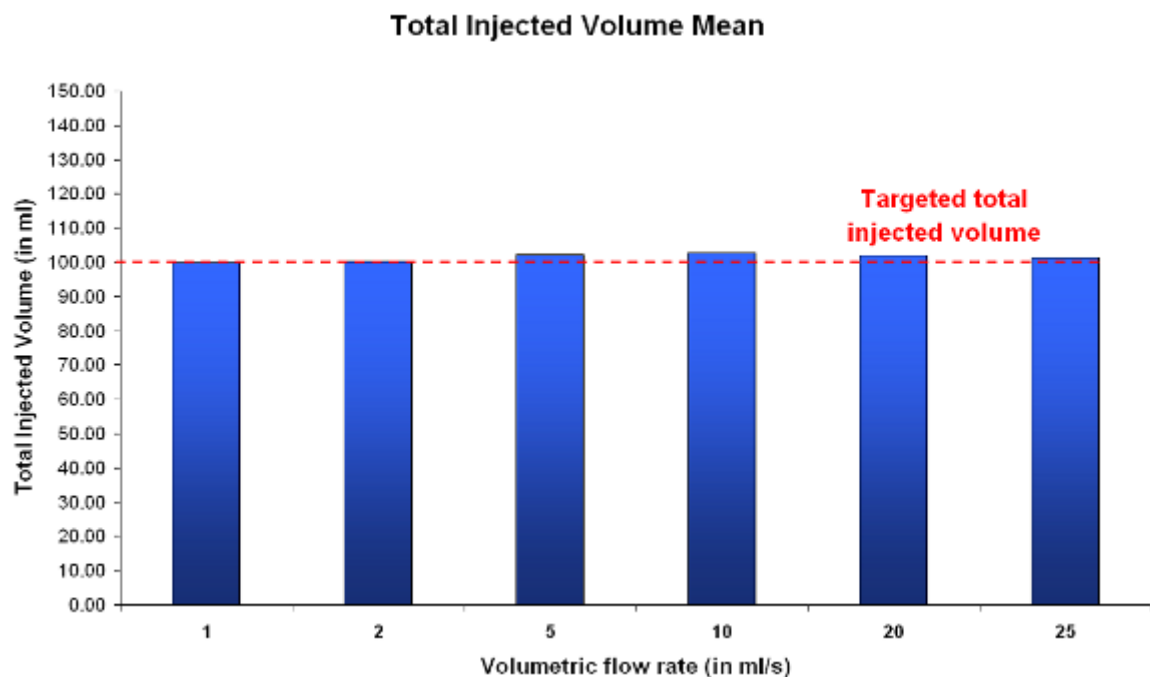
Puisque les deux pistons sont montés sur deux machines de traction indépendantes, il est possible d'imposer avec une grande précision:

- Un volume à injecter dans un moule
- Un débit d'injection
- Un taux de catalyseur (variable au besoin)

De plus, les lignes d'alimentation des deux pistons sont munis de:

- Transducteurs de pression
- Débitmètres
- Thermocouples
- Fluxmètres thermiques

Il devient possible de contrôler la pression d'injection via un poste de travail informatisé et des algorithmes de rétroaction spécifiques.



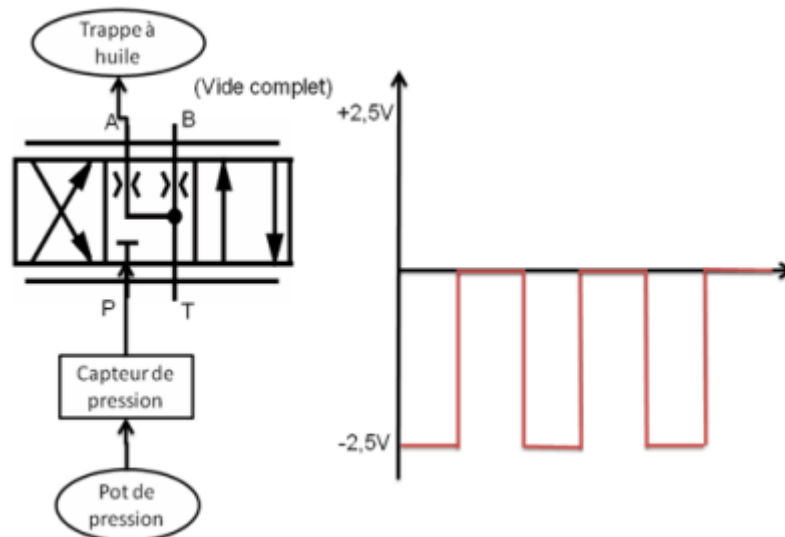
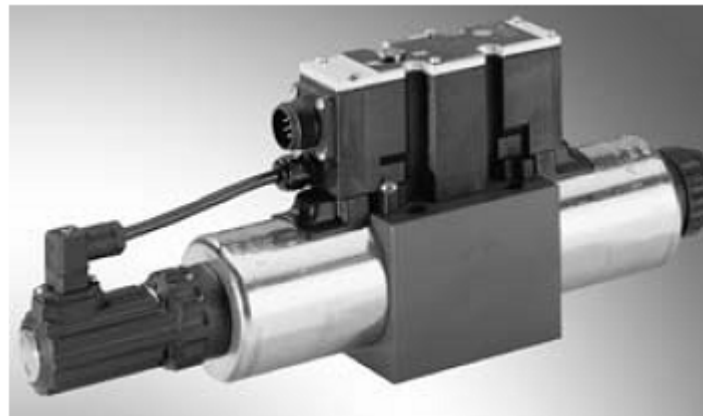
5. CONTRÔLE DE LA COMPACTION

Dans le procédé d'injection flexible faisant intervenir deux cavités ("Polyflex"), il y a deux étapes additionnelles de mise en forme:

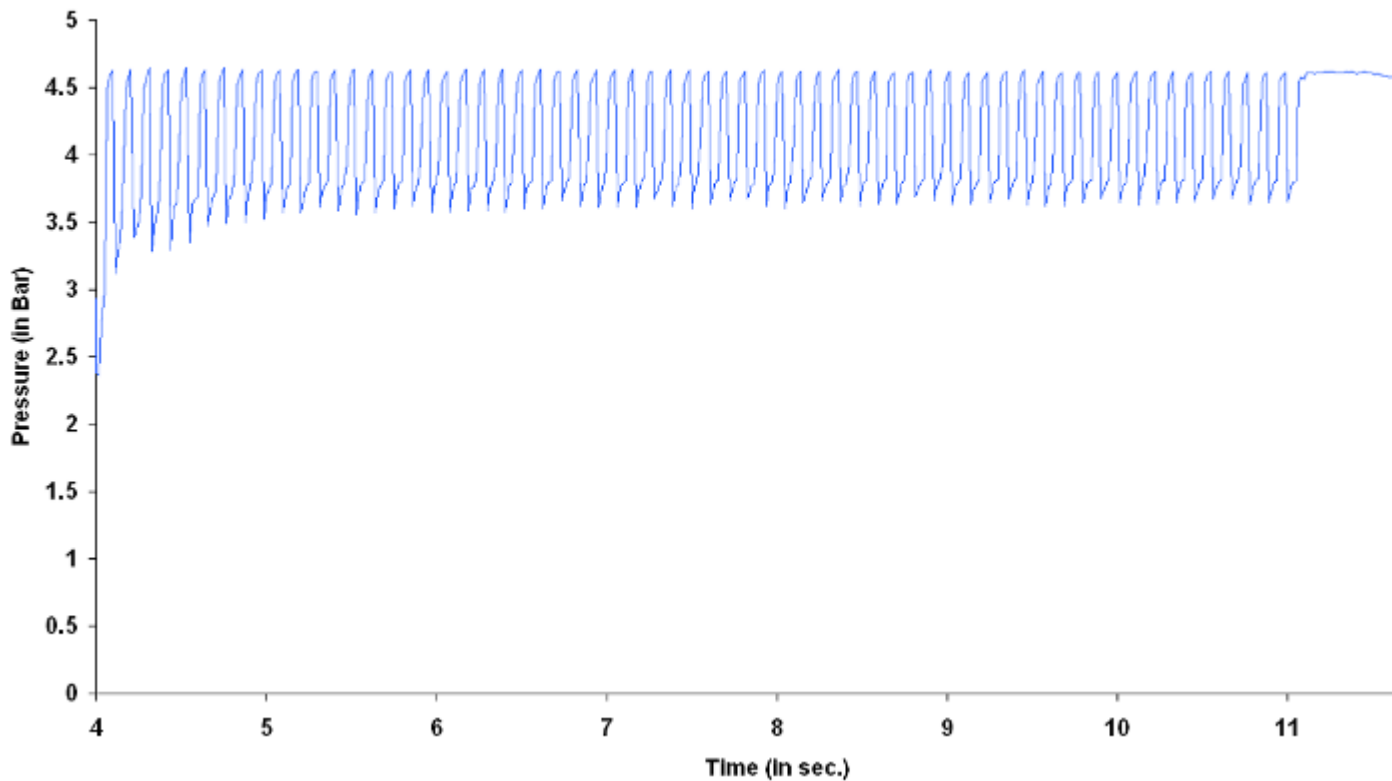
- Compaction cyclique ou non
- Consolidation cyclique ou hydrostatique

Le cyclage en pression, à l'aide d'une valve hydraulique directionnelle à commande proportionnelle à haute fréquence, sert:

- Améliorer l'imprégnation des renforts
- Améliorer l'homogénéité de l'épaisseur des pièces fabriquées

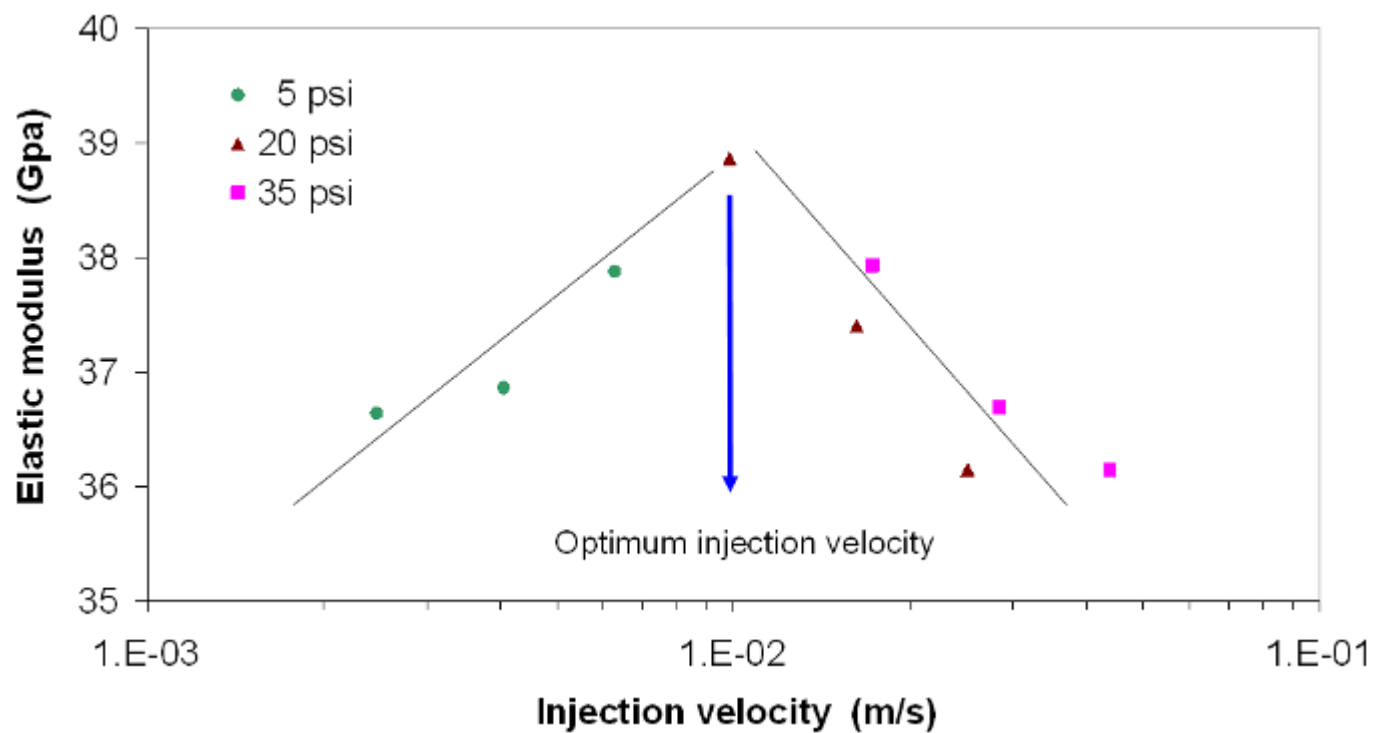


Configuration C - 10 Hz



6. CONCLUSION

- Premiers essais de fabrication sous compaction cyclique:
Une amélioration significative quant à l'homogénéité des épaisseurs des pièces.
- D'autres plans d'expérience sur ce sujet et sur les impacts du contrôle du débit d'injection et de la compaction cyclique sur le taux de vide suivront prochainement.
- Impact du taux de vides d'une pièce composite:
Diminution des propriétés mécaniques telles que le module d'élasticité.
- Gestion du taux de catalyseur durant l'injection:
Contrôle du degré de réticulation final des pièces fabriquées car, tout comme le taux de vide, cette propriété du composite influence ses performances mécaniques en service.



| | Fibre de carbone | | Fibre de verre | |
|---------------------|------------------|-----------------|----------------|-----------------|
| | Épaisseur (µm) | Écart type (µm) | Épaisseur (µm) | Écart type (µm) |
| Compaction simple | 3537 | 93 | 2598 | 143 |
| Compaction cyclique | 3941 | 58 | 2485 | 80 |
| Différence | +11% | -38% | -4% | -44% |