



Les procédés de mise en œuvre des matériaux composites



**CAMPUS
INDUSTRIE 4.0**

Lundi 16 février 2015, Université de Haute Alsace



Les procédés de mise en œuvre des matériaux composites :
Les nouveaux procédés développés en Alsace

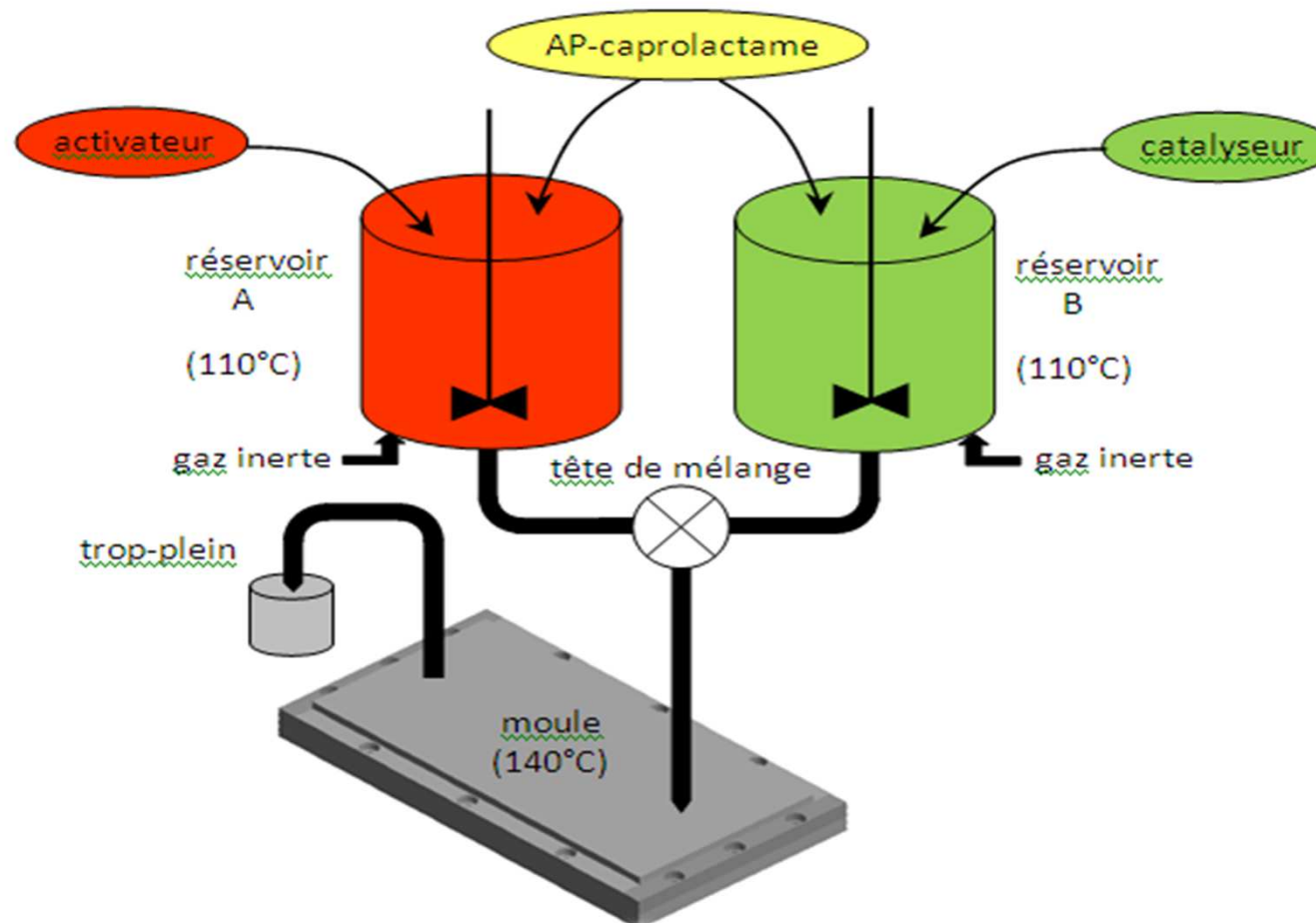
Sommaire

T-RTM réactif (Thermoplastic-Resin Transfert Molding)

1. Principe de la technologie
2. Les avantages
3. Marchés concernés
4. Exemples de réalisations
5. Les verrous
6. Les solutions
7. Résultats obtenus
8. Résultats attendus

Les procédés de mise en œuvre des matériaux composites : Les nouveaux procédés développés en Alsace

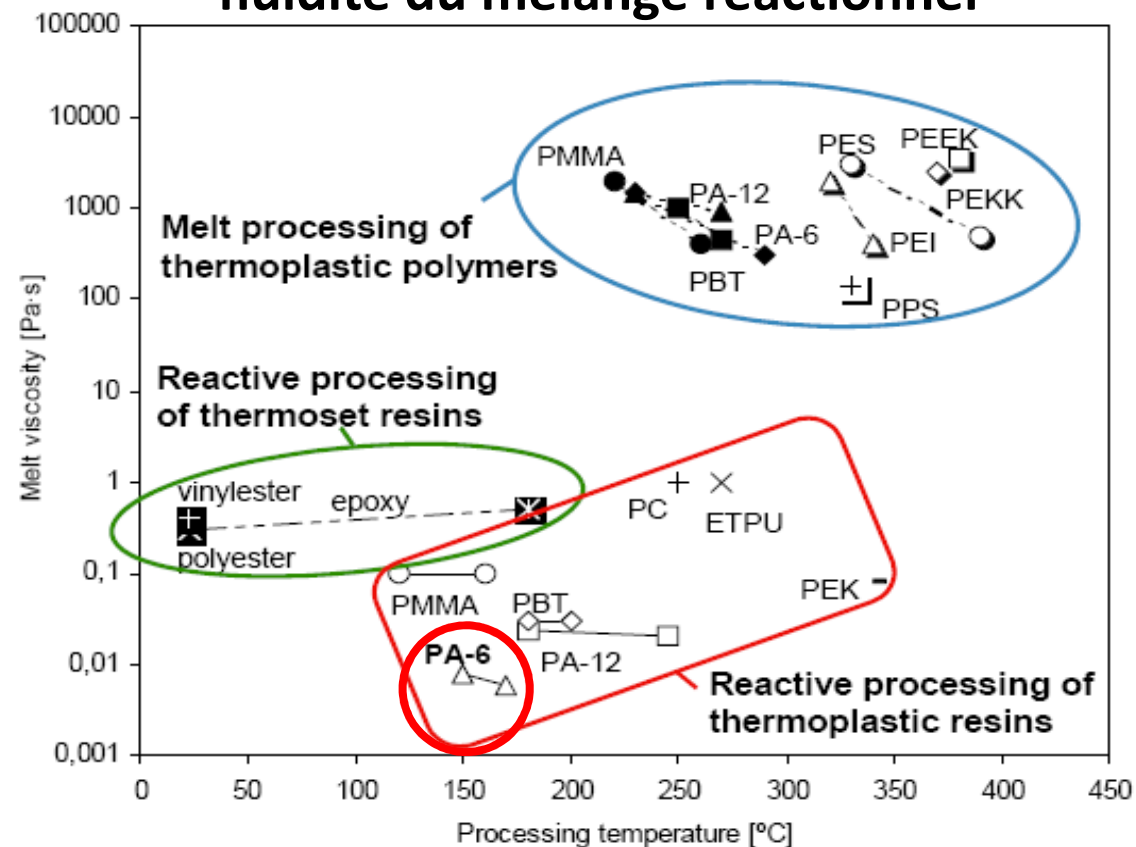
1. Principe de la technologie



Les procédés de mise en œuvre des matériaux composites : Les nouveaux procédés développés en Alsace

2. Les avantages

Une grande capacité d'imprégnation des renforts fibreux due à la très haute fluidité du mélange réactionnel

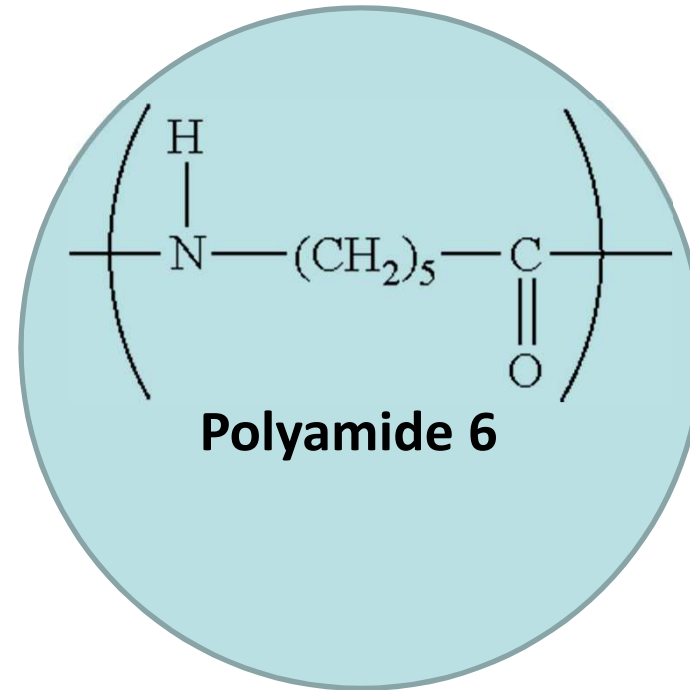
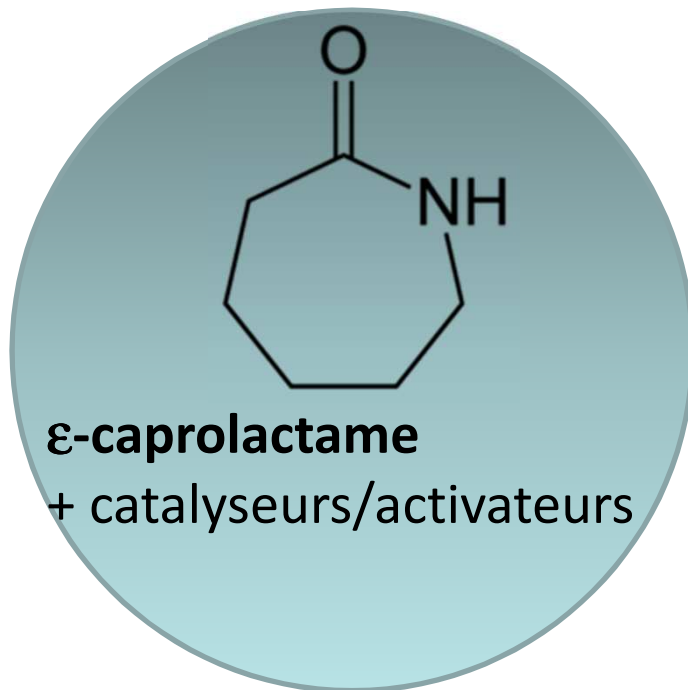


Source : Vaccum infused thermoplastic composites for wind turbine blades H.E.H. Bersee, 2008

Les procédés de mise en œuvre des matériaux composites : Les nouveaux procédés développés en Alsace

2. Les avantages

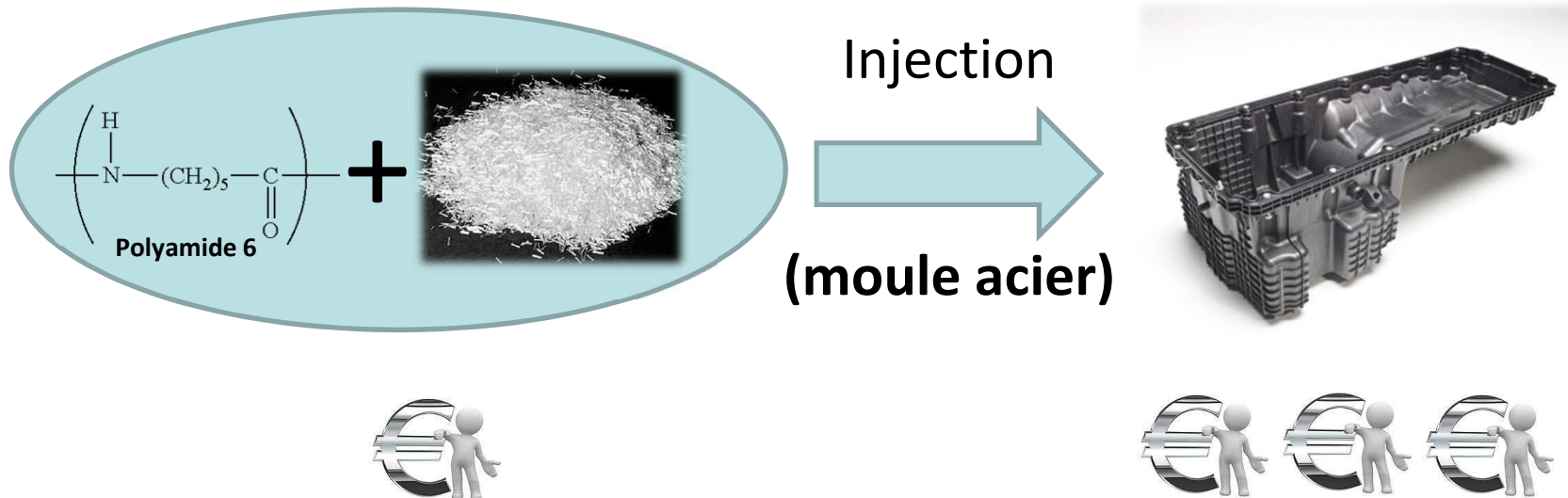
Un mélange réactionnel économiquement compétitif



Les procédés de mise en œuvre des matériaux composites : Les nouveaux procédés développés en Alsace

2. Les avantages

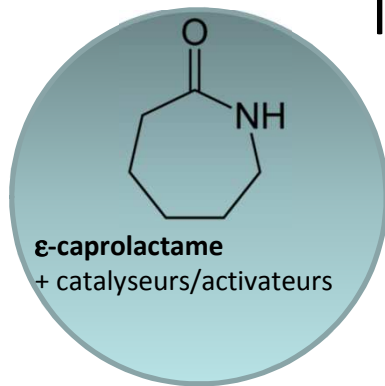
Un mélange réactionnel économiquement compétitif



Les procédés de mise en œuvre des matériaux composites : Les nouveaux procédés développés en Alsace

2. Les avantages

Un mélange réactionnel économiquement compétitif



Injection/extrusion
réactive, RIM



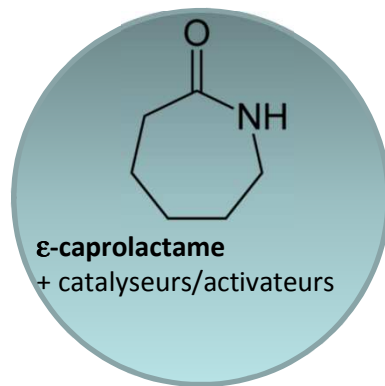
PA 6 G



Les procédés de mise en œuvre des matériaux composites : Les nouveaux procédés développés en Alsace

2. Les avantages

Un mélange réactionnel économiquement compétitif



+



T-RTM réactif



(moule aluminium
ou silicone)



Les procédés de mise en œuvre des matériaux composites :

Les nouveaux procédés développés en Alsace

3. Marchés concernés



Pièces
structurelles
de géométrie
simple

Premières cibles :
machines, engins
mobiles et biens
d'équipements
À plus long terme :
Automobile



Pièces semi-
structurelles
de géométrie
complexe,
avec
intégration
de fonctions



Les procédés de mise en œuvre des matériaux composites :

Les nouveaux procédés développés en Alsace

4. Exemples de réalisations



Nœud de liaison PA 6 renforcé à 35% vol. en fibre de verre continue



Tenon en PA-6 renforcé à 35% vol. en fibre de verre continue + insert métallique



Joncs PA-6 renforcé à 35-50% vol. FV UD

Les procédés de mise en œuvre des matériaux composites :

Les nouveaux procédés développés en Alsace

5. Les verrous



- ✓ **Maîtrise du procédé (manque de compréhension fine des mécanismes de polymérisation au contact du renfort)**
- ✓ **Absence de modélisation**
- ✓ **Choix limité des renforts**

Les procédés de mise en œuvre des matériaux composites : Les nouveaux procédés développés en Alsace

6. Les solutions



ECOTREC

Elaboration de **CO**posites Thermoplastiques à **RE**nfort Continu

Nos Partenaires



Nos financeurs



Les procédés de mise en œuvre des matériaux composites :

Les nouveaux procédés développés en Alsace

6. Les solutions

ECOTREC

Elaboration de **CO**posites Thermoplastiques à **RE**nfort Continu

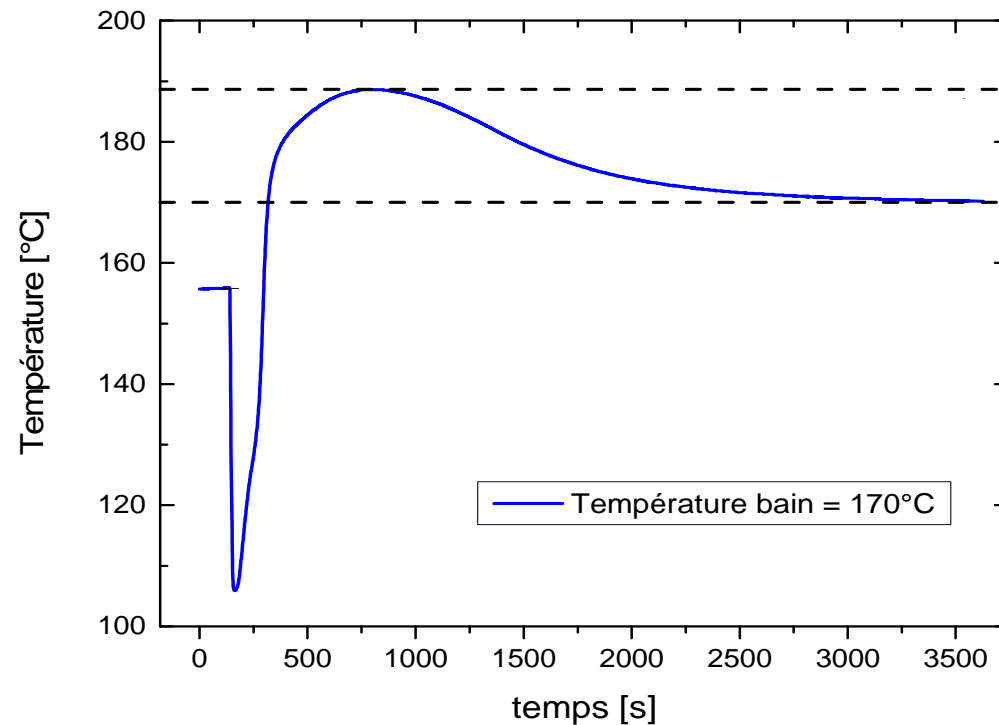
Objectifs

- ✓ Faire émerger une **solution matériau/procédé robuste**
- ✓ **Modéliser le procédé** T-RTM réactif
- ✓ Réaliser des **pièces techniques massives** à un coût maîtrisé
- ✓ **Intégrer un renfort biosourcé** compatible avec le procédé
- ✓ **Eprouver la recyclabilité** du matériau

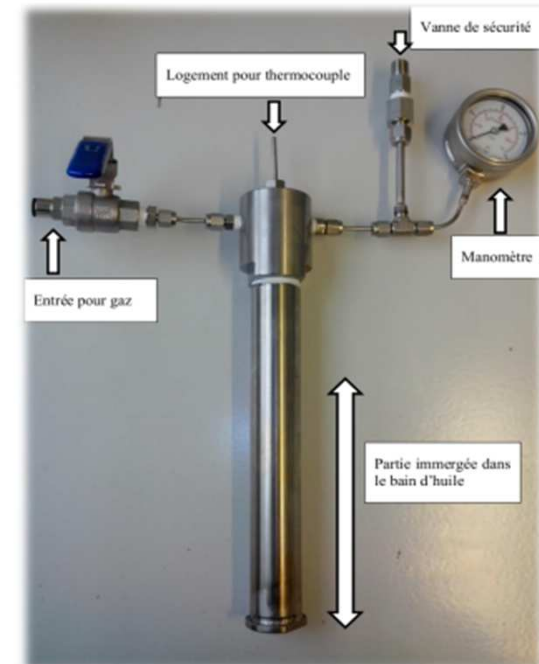
Les procédés de mise en œuvre des matériaux composites : Les nouveaux procédés développés en Alsace

7. Résultats obtenus

Etude thermique du mélange réactionnel



Exemple de mesure réalisée

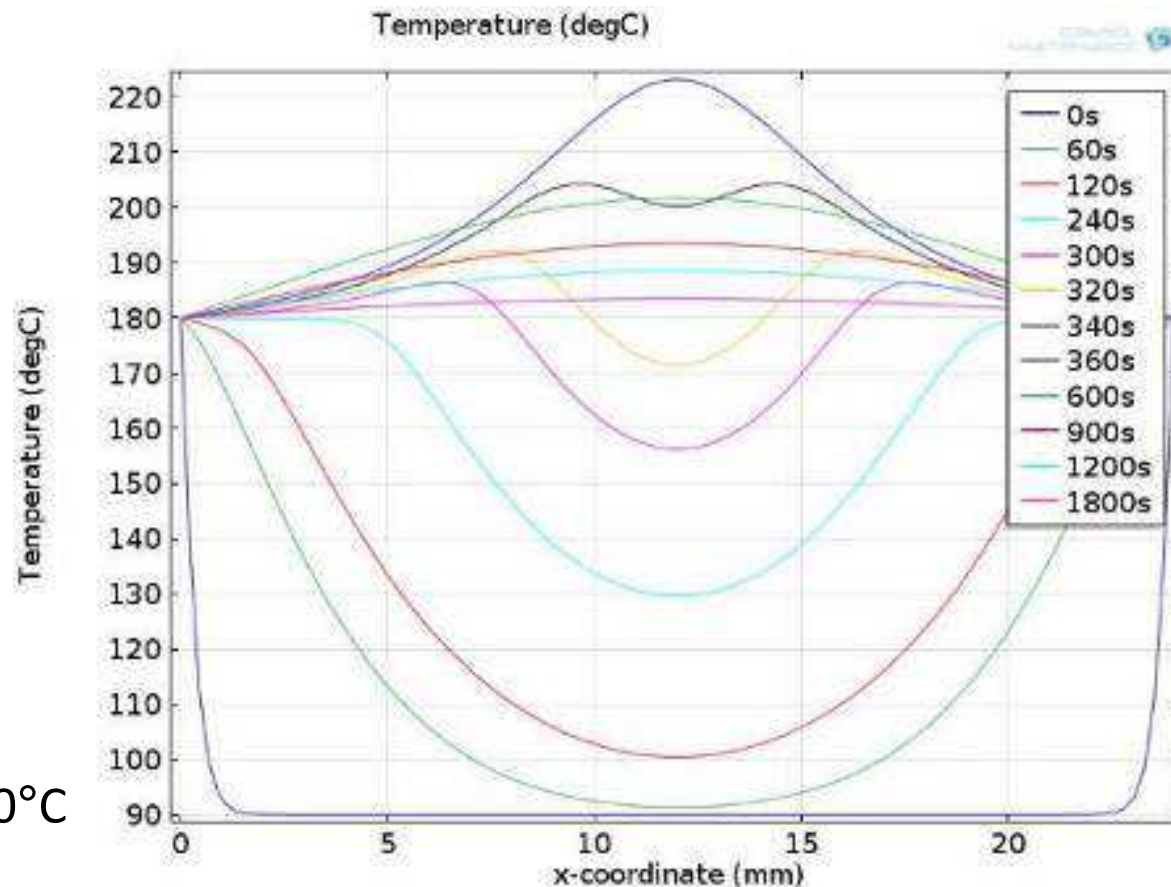


Développement d'un réacteur
spécifique

Les procédés de mise en œuvre des matériaux composites : Les nouveaux procédés développés en Alsace

7. Résultats obtenus

Modélisation de l'exothermie de la réaction au cours du temps (résine seule)

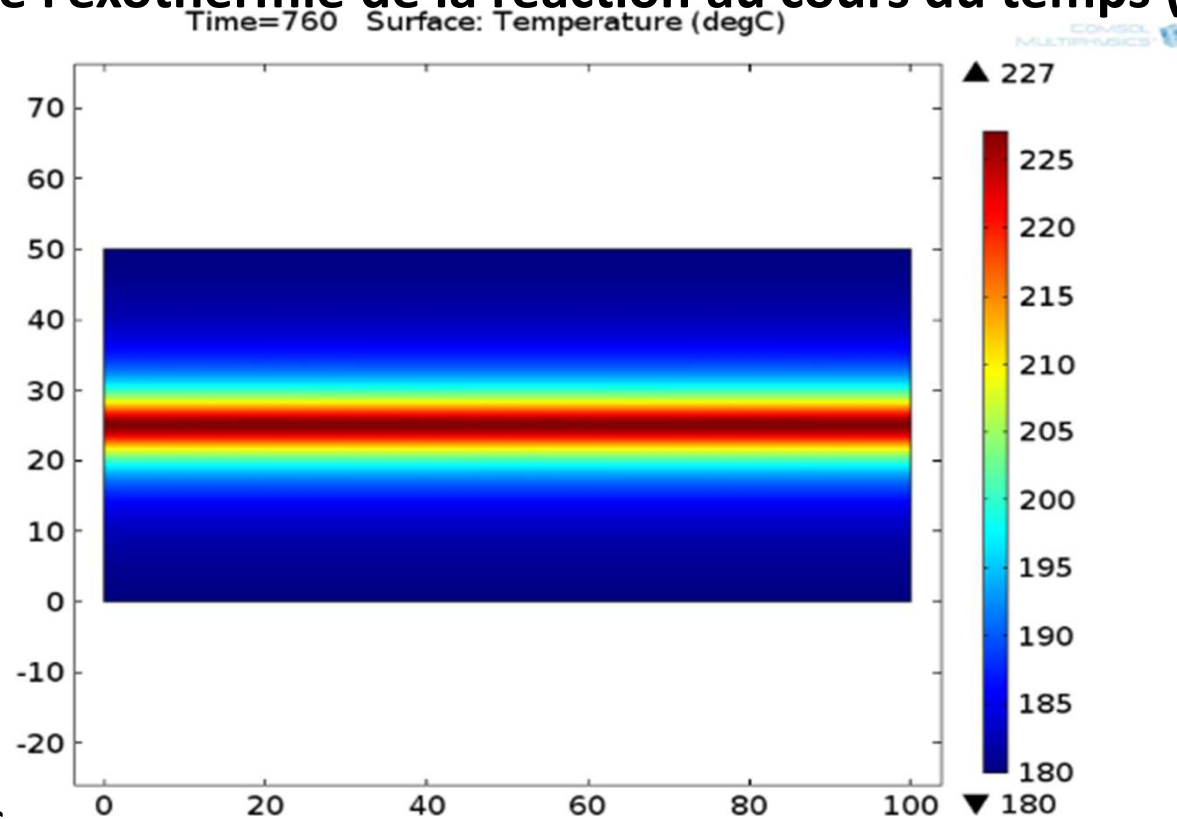


$T_{\text{mélange réactionnel}} : 90^{\circ}\text{C}$
 $T_{\text{paroi moule}} : 180^{\circ}\text{C}$

Les procédés de mise en œuvre des matériaux composites : Les nouveaux procédés développés en Alsace

7. Résultats obtenus

Modélisation de l'exothermie de la réaction au cours du temps (résine seule)



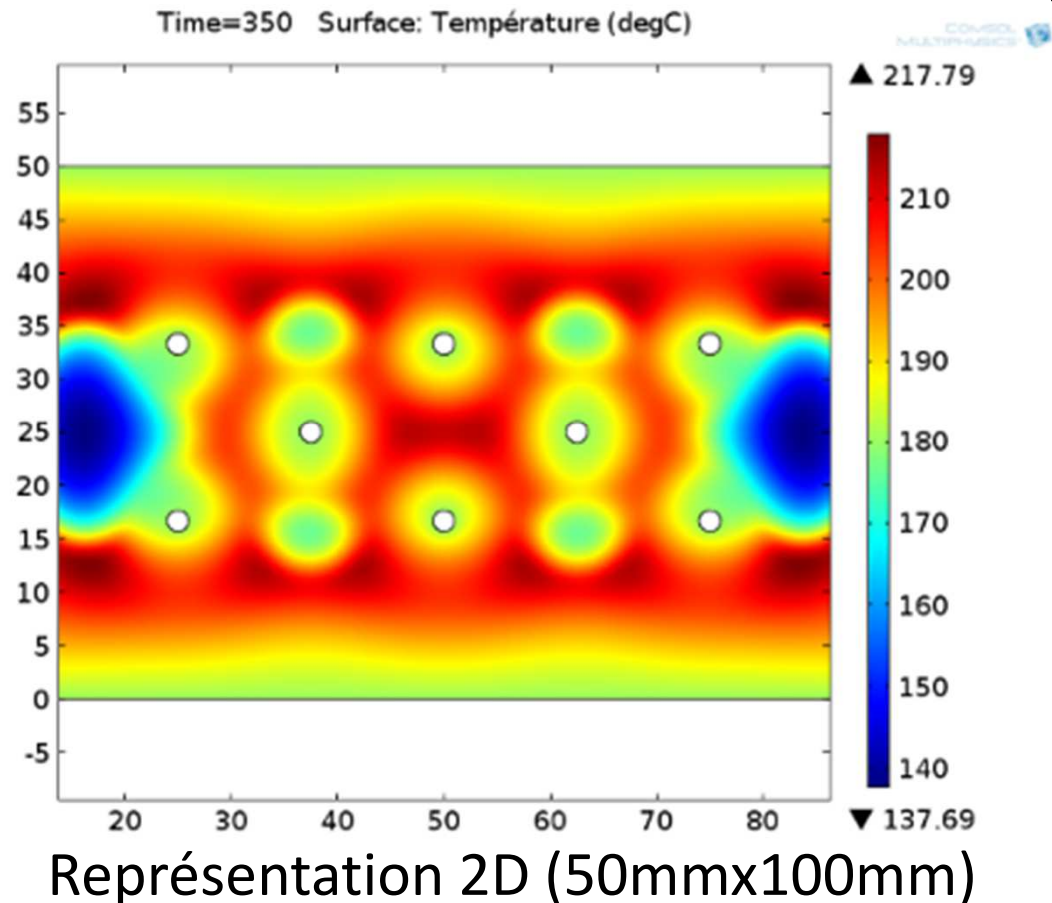
$T_{\text{mélange réactionnel}} : 90^{\circ}\text{C}$
 $T_{\text{paroi moule}} : 180^{\circ}\text{C}$

Représentation 2D (50mmx100mm)

Les procédés de mise en œuvre des matériaux composites : Les nouveaux procédés développés en Alsace

7. Résultats obtenus

Modélisation de l'exothermie de la réaction au cours du temps (résine seule)

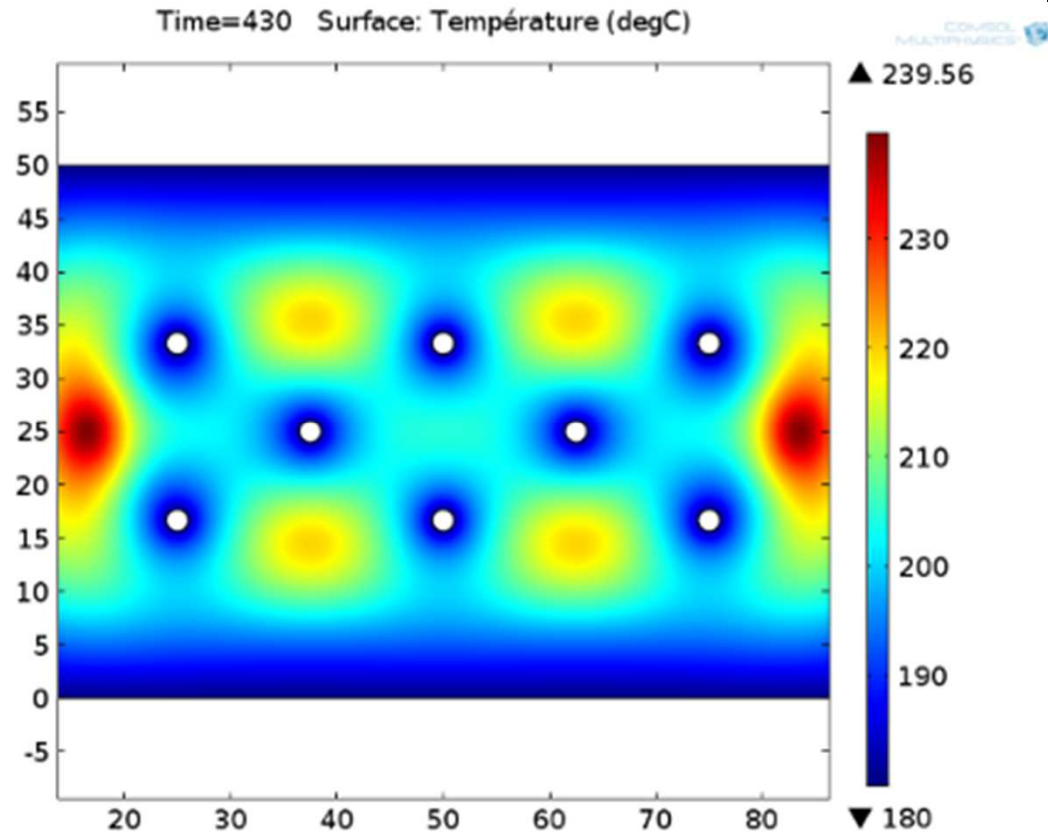


$T_{\text{mélange réactionnel}} : 90^{\circ}\text{C}$
 $T_{\text{paroi moule}} : 180^{\circ}\text{C}$

Les procédés de mise en œuvre des matériaux composites : Les nouveaux procédés développés en Alsace

7. Résultats obtenus

Modélisation de l'exothermie de la réaction au cours du temps (résine seule)



$T_{\text{mélange réactionnel}} : 90^{\circ}\text{C}$

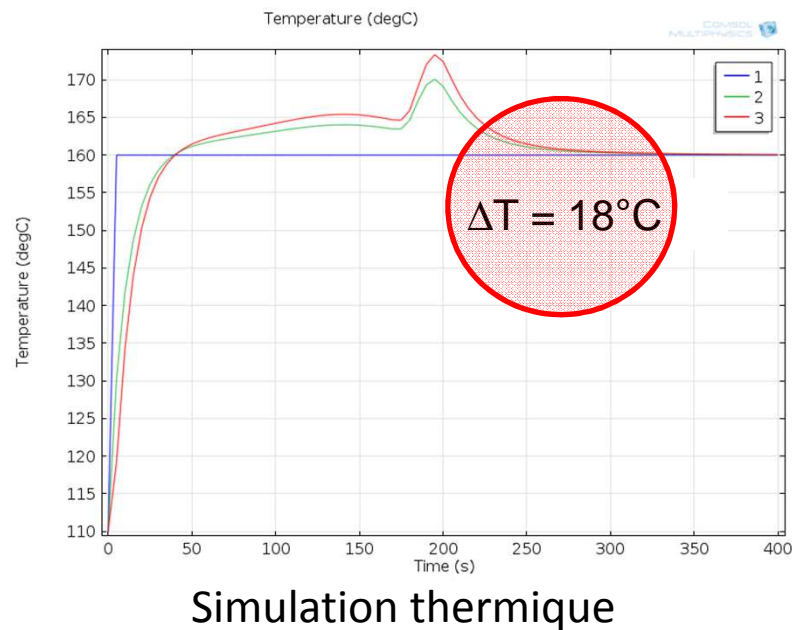
$T_{\text{paroi moule}} : 180^{\circ}\text{C}$

Représentation 2D (50mmx100mm)

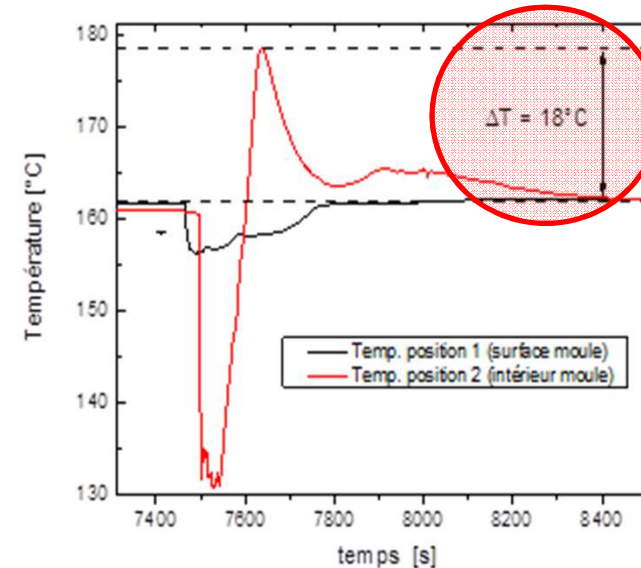
Les procédés de mise en œuvre des matériaux composites : Les nouveaux procédés développés en Alsace

7. Résultats obtenus

Comparaison simulation thermique/mesures expérimentales (résine seule)



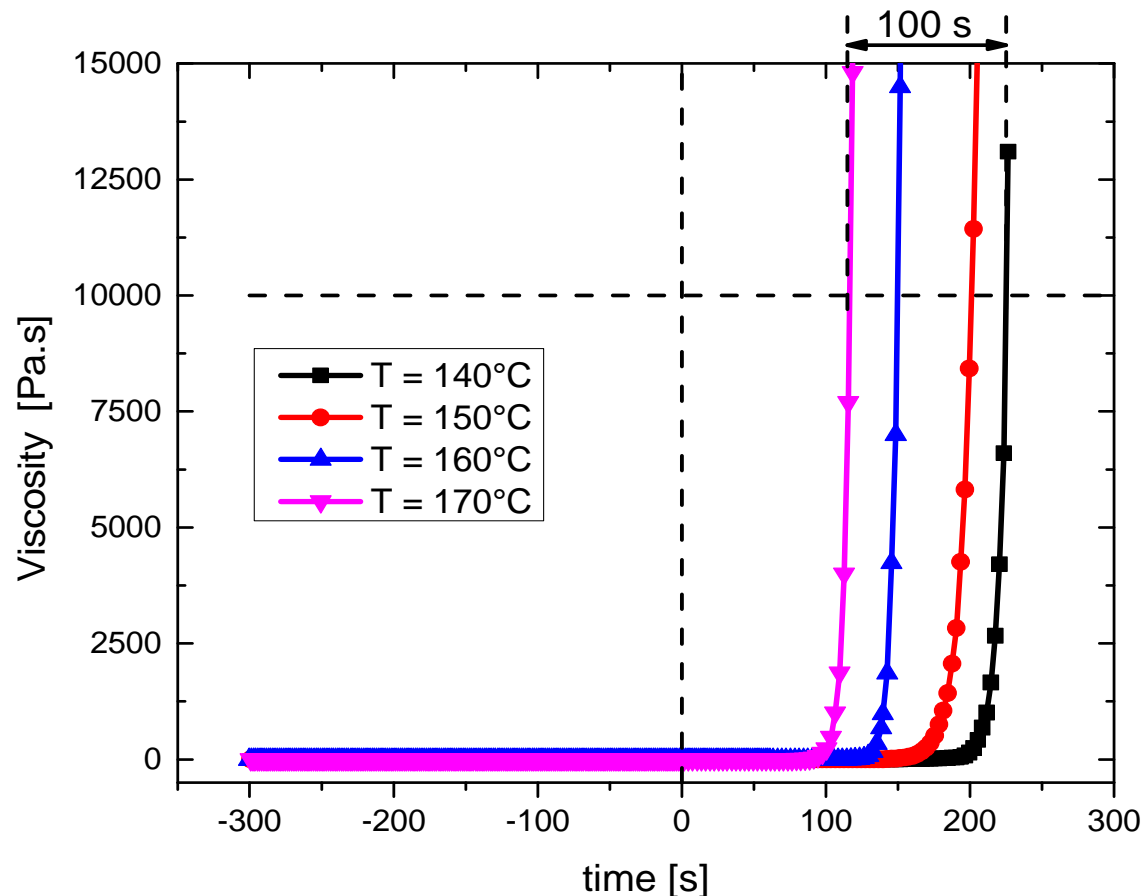
Mesures sur moule instrumenté



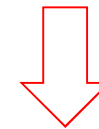
Les procédés de mise en œuvre des matériaux composites : Les nouveaux procédés développés en Alsace

7. Résultats obtenus

Etude du comportement rhéocinétique du mélange réactionnel

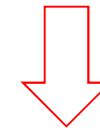


Courbes décrivant l'évolution temporelle de la viscosité à différentes températures



Description des courbes par une loi de type :

$$\eta(t) = \eta_0 \exp(kt)$$



Obtention des lois d'écoulement du système à différentes températures de polymérisation

Les procédés de mise en œuvre des matériaux composites : Les nouveaux procédés développés en Alsace

8. Résultats attendus

Intégration des paramètres expérimentaux au modèle

Simulation
complète du
procédé

Transfert de chaleur :

Loi de Fourier dynamique

$$\rho_{comp} (C_p)_{comp} \times \frac{\delta T}{\delta t} = \nabla \cdot (k_{comp} \nabla T) + Q$$

densité [kg/m³] Chaleur spécifique [J/kg⁻¹/K⁻¹] Conductivité thermique [W/m⁻¹/K⁻¹] Exothermie par unité de volume [W/m³]

Propriétés thermo-physiques :

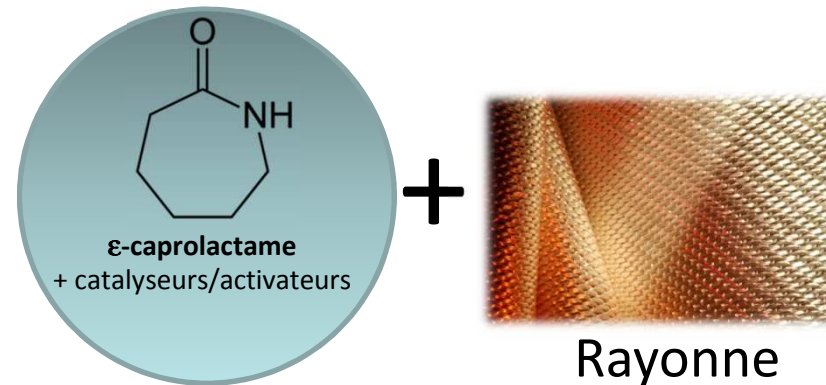
- Densité :** $\rho_{comp} = \frac{\rho_r \times \rho_f}{\rho_r \times w_f + \rho_f \times w_r} \rightarrow \rho_r(T, \beta) = \rho_{CPL}(T) \times (1 - \beta) + \rho_{APA}(T) \times \beta$
- Chaleur spécifique :** $(C_p)_{comp} = \frac{(C_p)_f \times \rho_f \times v_f + (C_p)_r \times \rho_r \times v_r}{\rho_{comp}} \rightarrow (C_p)_r(T, \beta) = (C_p)_{CPL}(T) \times (1 - \beta) + (C_p)_{APA-6} \times \beta$
- Conductivité thermique :** $k_{comp} = \left(\frac{v_r}{k_r} + \frac{v_f}{k_f} \right)^{-1} \rightarrow k_r(T, \beta) = k_{CPL}(T) \times (1 - \beta) + k_{APA-6} \times \beta$
- Exothermie :** $Q = \rho_r \times v_r \times H_u \times \frac{d\beta}{dt}$

Les procédés de mise en œuvre des matériaux composites :

Les nouveaux procédés développés en Alsace

8. Résultats attendus

Intégration de la fibre de rayonne au procédé T-RTM réactif



Thèse en cours

- ✓ Compatibilisation de la rayonne/mélange réactionnel
- ✓ Optimisation de l'interface rayonne/PA 6
- ✓ Caractérisation physico-chimique et mécanique du composite
- ✓ Recyclabilité

Les procédés de mise en œuvre des matériaux composites : **Les nouveaux procédés développés en Alsace**



Merci pour votre attention

Contact : Frédéric Ruch

(fr@cetim-ceremat.fr / 03 89 32 72 49)