

# Les procédés de transformation

=> issus de la publicat: "L'industrie face des matériaux composites"

## 1. Principaux procédés utilisés en France

- les techniques de mise en oeuvre:
  - > formes 3D moulées sous presse avec un seul module ①
  - > formes 3D moulées avec presse avec deux modules ②
  - > formes profilées ou produits longs. ③
  - > formes de révolution. ④

- Classification de composites:
  - > GD avec matrice TD
  - > HP avec matrice TD
  - > GD avec matrice TD
  - > HP avec renforts préimprégnés thermoplastiques (PET, PP, PE)

## 2. Acteurs français de la transformation des composites.

-> Une 60<sup>auve</sup> d'acteurs qui travaillent sur les technologies RTM ou de compression BMC/SRC qui sont les principales technologies de transformation susceptibles de se développer.

- > Procédés:
  - Enroulage au contact ou projection
  - Drapage
  - Compression BMC/SRC
  - Injection TPR
  - RTM
  - RTM
  - Imprégnat en continu
  - Estampage TRE
  - Pultrusion
  - Enroulage filamentaire
  - Centrifugation
  - Procédés innovants

1, 2, 3 ou 4

## 3. Technologies manuelles de transformation

-> 21% du secteur des composites mais d'ulp menacé par les directives limitant les émissions de styrène (COV). Les procédés manuels sont utilisés pour la fabrication de pièces de grandes dimensions destinées principalement aux industries de l'aéronautique, du ferroviaire, de la construction nautique.

↳ Moulage au contact: Pour les GD  
→ le procédé consiste à déposer sur la forme une couche de surface (gel coat) et des catalyseurs de polymérisation et alternativement des couches de renforts (mats ou trissus) imprégnés au rouleau d'un résine polymérisante des des condit<sup>n</sup> proches de l'environnement ambiant de l'atelier

↳ Projet simultané

↳ Drappage autoclave

⊕ Moulage SS vide

→ à tacher ce qu'il s'est passé

le déclin relatif de ce type de fabrication car:

→ Sous pression des pays nordiques, les émissions toxiques (COV) tel le styrène contenu dans les polyesters insaturés sont susceptibles, à terme, d'être limitées d'une exposition moyenne de 50 ppm (today 2002) à 20 ppm d'ici (2004).

#### 4. Procédés de transformation par moulage

⇒ + schéma explicatif

↳ RTM: - Il permet en 20 à 30 min la réalisation simultanée du matériau composite et de l'objet fini.

- Il tend à se substituer aux technologies manuelles car: le procédé est en moule fermé (= pas de dégagement de vapeurs nocives) et cadences plus élevées (10 à 100 p/j).  
- Adapté à la réalisation de pièces de petite taille en petite série.  
- Certain nbe de difficultés technologiques: Une meilleur connaissance doit être développée (ex: utilisation de mèches de carbone conductrices pour suivre le front d'injection).  
De plus, les pompes à piston actuelles n'injectent la résine que de manière discontinue et en trop petite quantité.

↳ Compression de semi-produits thermodurcissables (SMC / BMC): ⇒ + schéma explicatif.

- bien adapté à la fabrication en grande série  
- mais le stockage doit se faire entre  $-5^{\circ}\text{C}$  et  $-18^{\circ}\text{C}$   
- réalisés par compression en moule fermé ⊕ pression 50 bars ⊕ températures de  $150^{\circ}\text{C}$  pour permettre la polymérisation pendant 2 à 5 min.



- les BPC peuvent également être transformés par un procédé d'injection comparable à celui des thermoplastiques
- BPC / SRC c'est le plus répandu en France (câbl. électrique, automobile, const.).
- voir tableau avantages / inconvénients

### ↳ Le procédé d'estampage TRE

- Pour TD, compromis entre des caractéristiques mécaniques moyennes et <sup>→ 5 min</sup> cadences élevées.
- Le semi produit TRE (GMT - Glass mat thermoplastics) se présente sous formes de plaques; il est ramolli à 200°C et pressé dans un ensemble poignon-matrice sous une pression de 200 bars. Cycle de fabrication de l'ordre d'une minute. Le procédé permet de produire des pièces épaisses → cadences élevées
- ↳ Pas de condit. particulière de stockage.
- ↳ Gain pondéral de 30% sur les produits SRC transformés.
- Applications pour l'automobile
- Procédé très récent. Par rapport à leur homologues thermodurcissables, les semi produits SRC comprimés présentent des caractéristiques mécaniques inférieures et un état de surface de moins bonne qualité.
- Mais absence de stockage ⇒ TRE risque de s'imposer face à la compression SRC pour des pièces ne nécessitant que des caractéristiques mécaniques moyennes et des états de surface médiocres.

### ↳ L'injection des thermoplastiques renforcés TPR

- Quasi totalité de la prod. en France mais le produit obtenu a des propriétés meca. limitées.
- le procédé consiste à introduire des plastiques sous formes de granules vers un moule mécanique en deux parties (une à haute température, l'autre à haute pression)
- Cycle de 1 à 2 min ⇒ permet la fabrication en série ⇒ automobile et constr. élec.
- c'est le seul procédé actuel de transformation des thermoplastiques qui puisse être mis en oeuvre par un très grand nombre de petits transformateurs
- le procédé d'injection peut être aussi utilisé pour la prod. de matériaux composites à matrice thermodurcissable par injection de semi-produits BPC.

## ↳ Le procédé d'injection par réaction (RIM)

⇒ + Schéma

- Permet la réalisation rapide d'objets de formes complexes.
- Utilise des résines polyuréthane (PU - thermodurcissable): il consiste à injecter dans un moule mécanique les produits réactifs formant la base du polyuréthane, l'expansion due à la réaction remplit alors l'empreinte.  
polyols
- Il existe deux variantes:
  - R-RIM, renfort (fibres courtes) injectés ds le moule fermé
  - S-RIM, renfort (fibres longues) dispose ds le moule ouvert puis imprégné par injection de polyuréthane après fermeture.
- Faible pourcentage de la production composite car:
  - Caractéristiques mécaniques réduites comparé au processus SRC et TRE
  - Entretien du moule fréquent et onéreux (car forte adhésion des formules polyuréthanes)

## 5. Procédé de transformation en continu

⇒ + schéma.

- ↳ Pultrusion:
  - seul 5 ou 6 utilisateurs en France
  - permet de fabriquer par un opérat<sup>n</sup> unique et continu le matériau composite et le produit fini sous forme de profilés longs.
  - Cadence de prod<sup>n</sup> = 1 m<sup>3</sup> de profilé / min
  - Usages: construction électrique, construct<sup>n</sup>, sports et loisirs.
  - Peu utilisé en CE (mais ↗ 10% / an); + chez USA.
  - European Pultrusion Technology Association (EPTA) pour normes en France.

resines polyestres (GD) ou epoxy (HP)  
fibres verre (GD) ou carbone (HP)  
(ta de renfort 50 à 80%)  
80% des réalisat<sup>ns</sup> st spécifiques aux élect.

- ↳ Impregnation en continu:
  - c'est le premier process pour les composite à avoir été inventé.
  - Permet de produire simultanément et d'une manière continue le matériau composite et les produits fini sous forme de plaque ⇒ 6 à 12 m / min
  - ⇒ construction civile et industrielle
  - Applications limitées car peu de diversité des formes compatibles avec le procédé et les médiocres caractéristiques mécaniques du produit obtenu.



## 6. Procédés de fabrication des formes de révolution

- ↳ Transformation par centrifugation: - propriétés méca. des composites moyennes
- Elle permet de réaliser simultanément le corps de révol. et le matériau composite
  - Résine polyester + renfort FV coupée → introduit ds moule métallique cylindrique tournant
  - ↳ la résine imprègne le renfort sans l'effet de la force centrifugeuse de forme, après polymérisation une structure de révolution.
  - Seulement quelques applications marginales.

- ↳ Enroulement filamenteux: - adapté à la production en série de corps creux de révolution. le procédé réalise simultanément le matériau et le produit.
- consiste à enrouler un renfort continu imprégné de résine sur un mandrin tournant.
  - Temps de cycle: quelques jours en f. du volume.

### Schema

- ↳ enroulement cylindrique.
- ↳ enroulement polaire.

- Matrices époxy ou polyesters.
- FV standard ou à haut module et FC (tx de renforcement jus 80%)
- Adapté à la product. de petites séries de corps creux de révolution.
  - ↳ aéronautique (moteurs de fusée; pales hélico; ...)
  - ↳ Nautique (mat des bateaux) ⊕ sparclensir ⊕ caust. elec.
  - ↳ Indus (tubes, oléoducs, aéro)

- Particulièrement adapté aux HP car compatible avec des taux élevés de renfort, permet une orientation précise des fibres.
- En France, semble limité aux appl haute techno. alors que G-D ds les autres pays
- Cadence très faible.

## 7. Procédés innovants

- Concernent souvent les thermoplastiques ou des améliorations apportés aux procédés RTM.
- ① Technologie d'injection pour grande série (Large Injection Moulding Technology) consiste à utiliser des composites thermoplastiques à matrice PA, polypropylène ou PET chargés de 15 à 60% de FV courtes.
  - ② Roc Tool → Chauffage résistif: un courant électrique circule ds la matrice qui chauffe en quelques secondes permettant d'initier la réaction de polymérisation. Procédé applicable à des matrices conductrices ou chargées de conducteurs
  - Par chauffage inductif: un champs