

Master I (FMP)

Coupe des métaux - 2

Chapitre 6B :

Les aspects mécaniques de l'usinage des composites

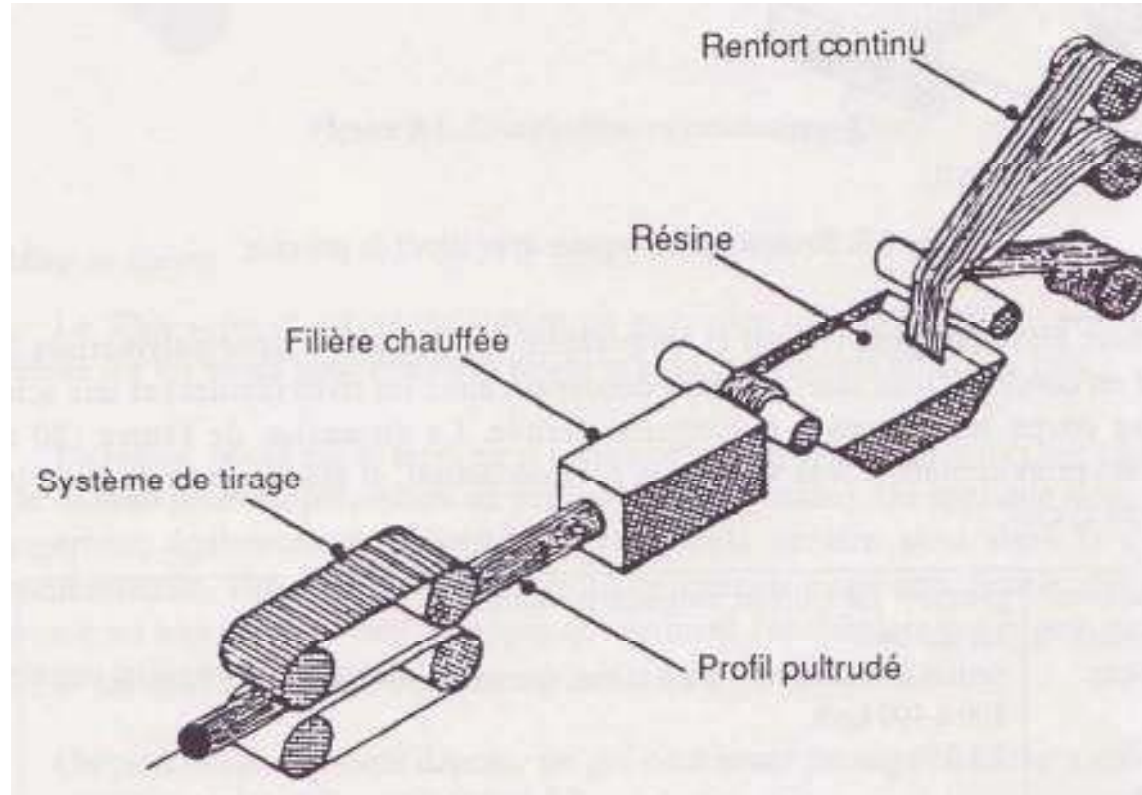
Pr B. Benmohammed
email : b.benmohammed@gmail.com

Sommaire

- Procédés de mise en œuvre et diversité des pièces composites
- Mécanisme de coupe
- Perçage et détournage
- Problématique de l'usinage de forme par outil coupant
- Perspectives avec les outils abrasifs

Procédés de mise en œuvre

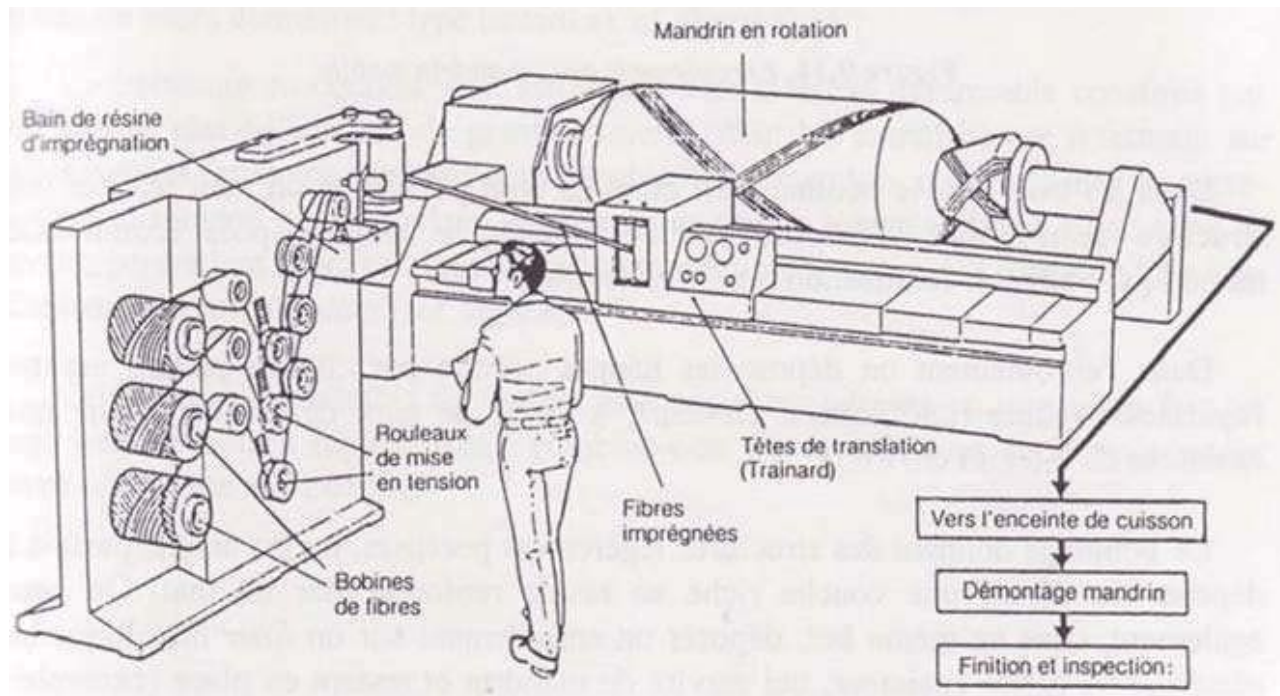
Procédé sans injection de résine : pultrusion



Pièces profilées

Procédés de mise en œuvre

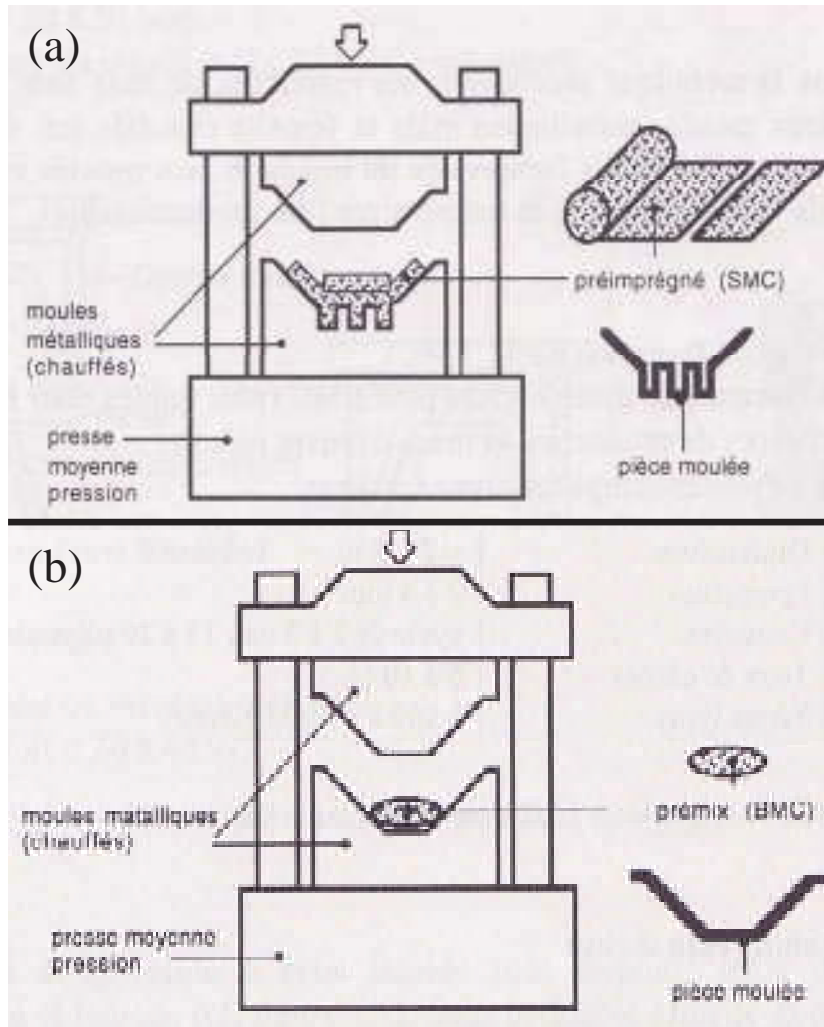
Procédé sans injection de résine : enroulement filamentaire



Pièce de révolution

Procédés de mise en œuvre

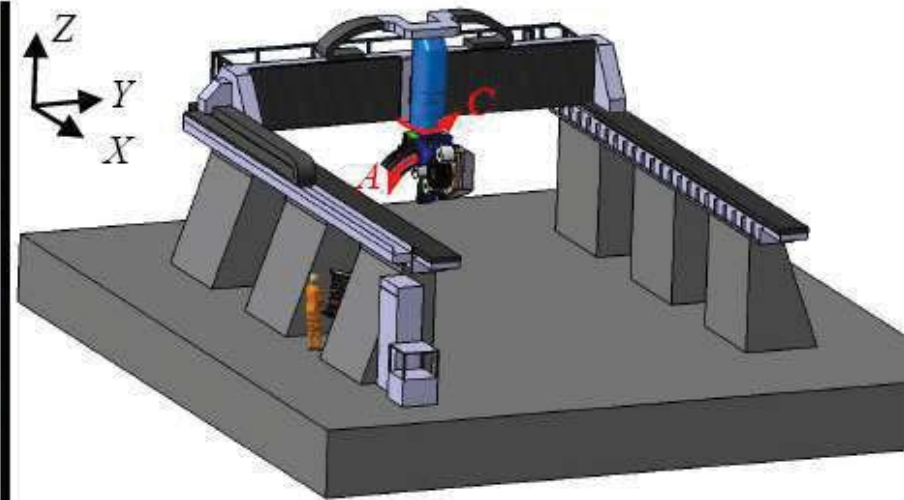
Procédé sans injection de résine : mise en œuvre à la presse



Procédé adapté à la production en série

Procédés de mise en œuvre

Procédé sans injection de résine : dépose par drapage



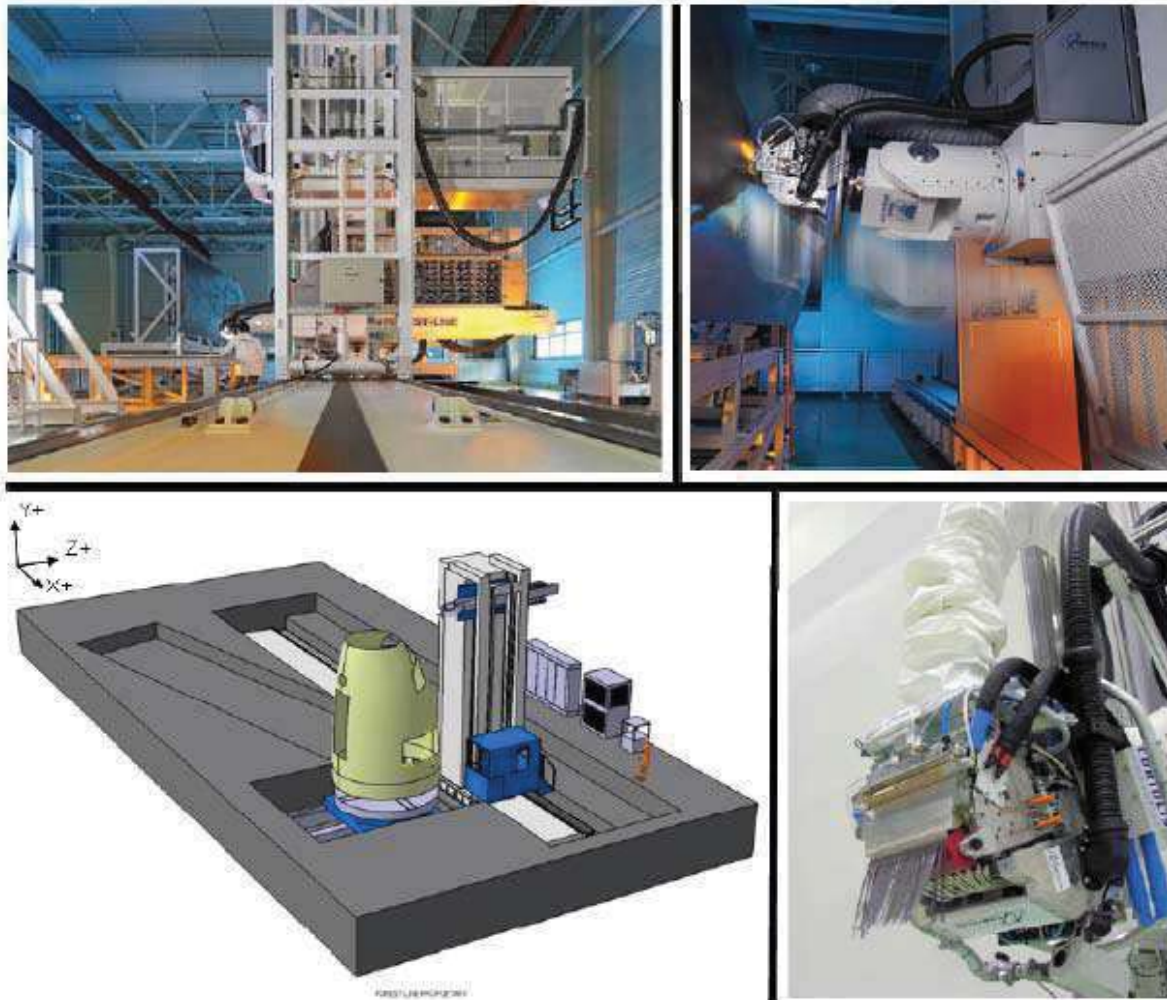
arrivée du pré-imprégné

rouleau de dépose

bande précédemment déposée

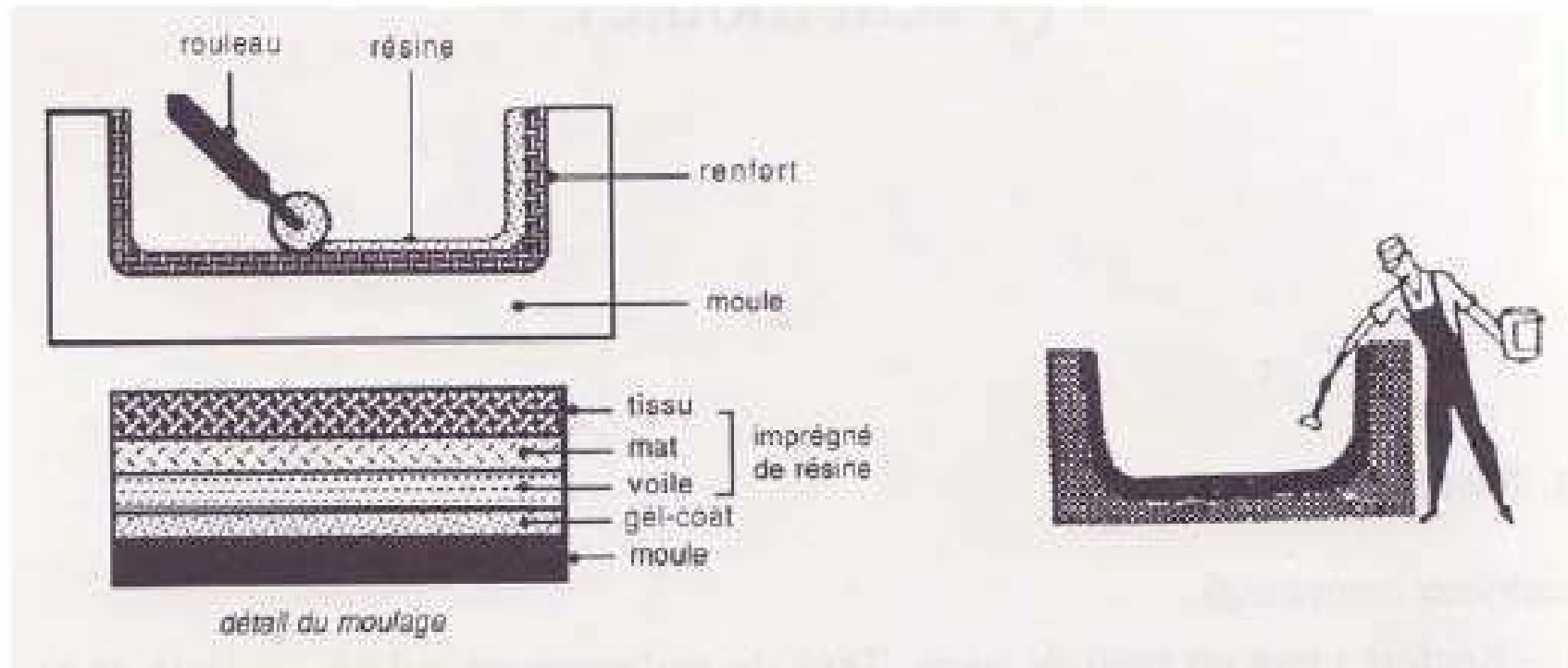
Procédés de mise en œuvre

Procédé sans injection de résine : dépose par placement de fibre



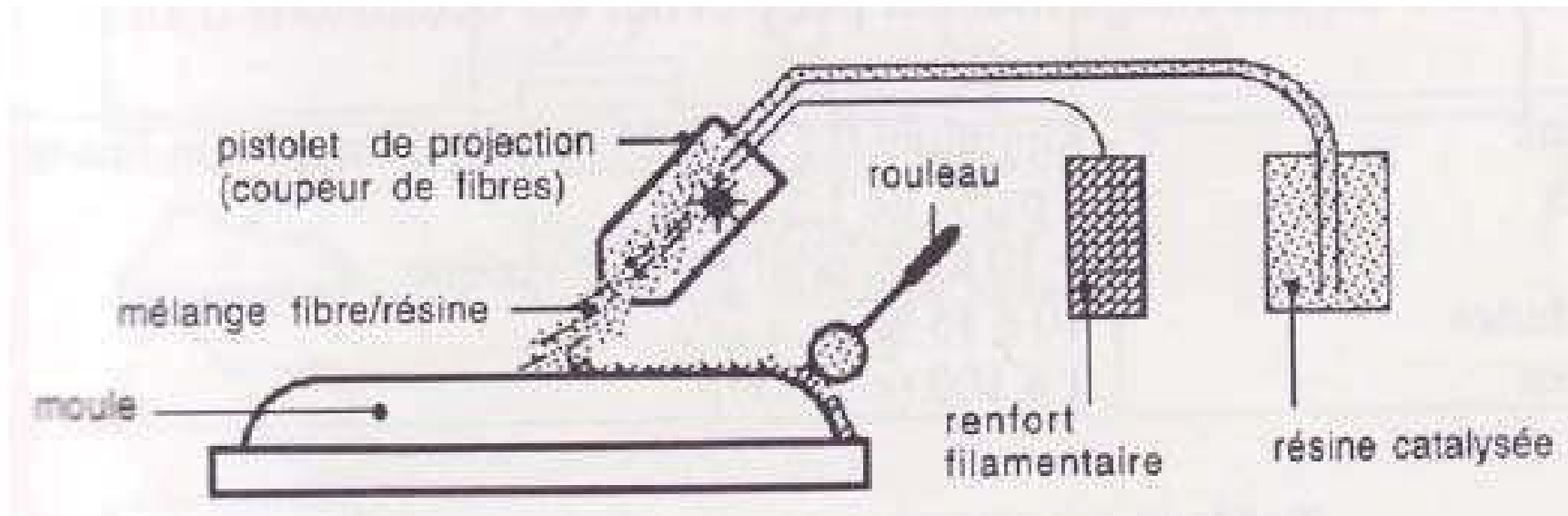
Procédés de mise en œuvre

Procédé sans injection de résine : moulage au contact



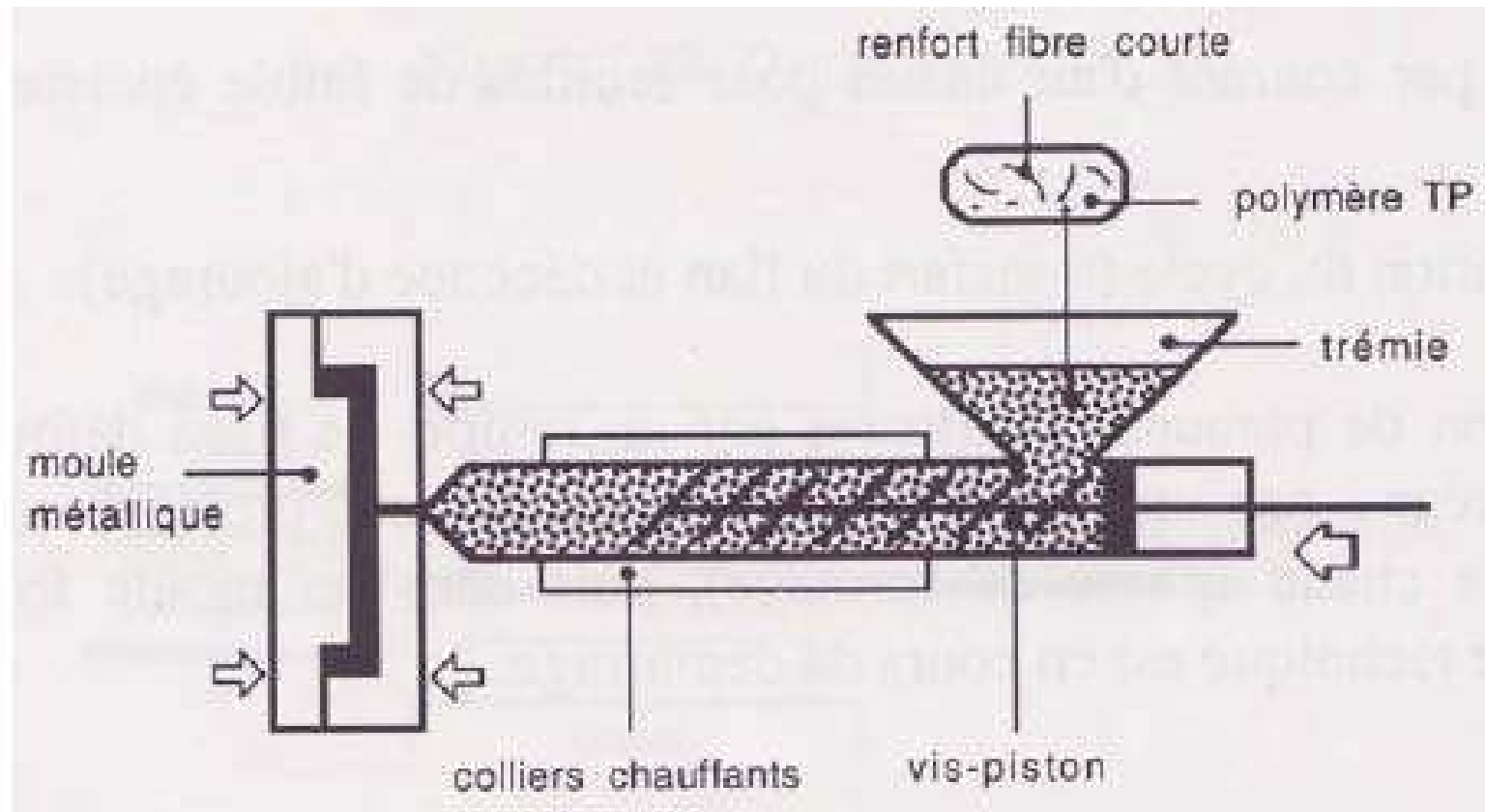
Procédés de mise en œuvre

Procédé sans injection de résine : moulage par projection



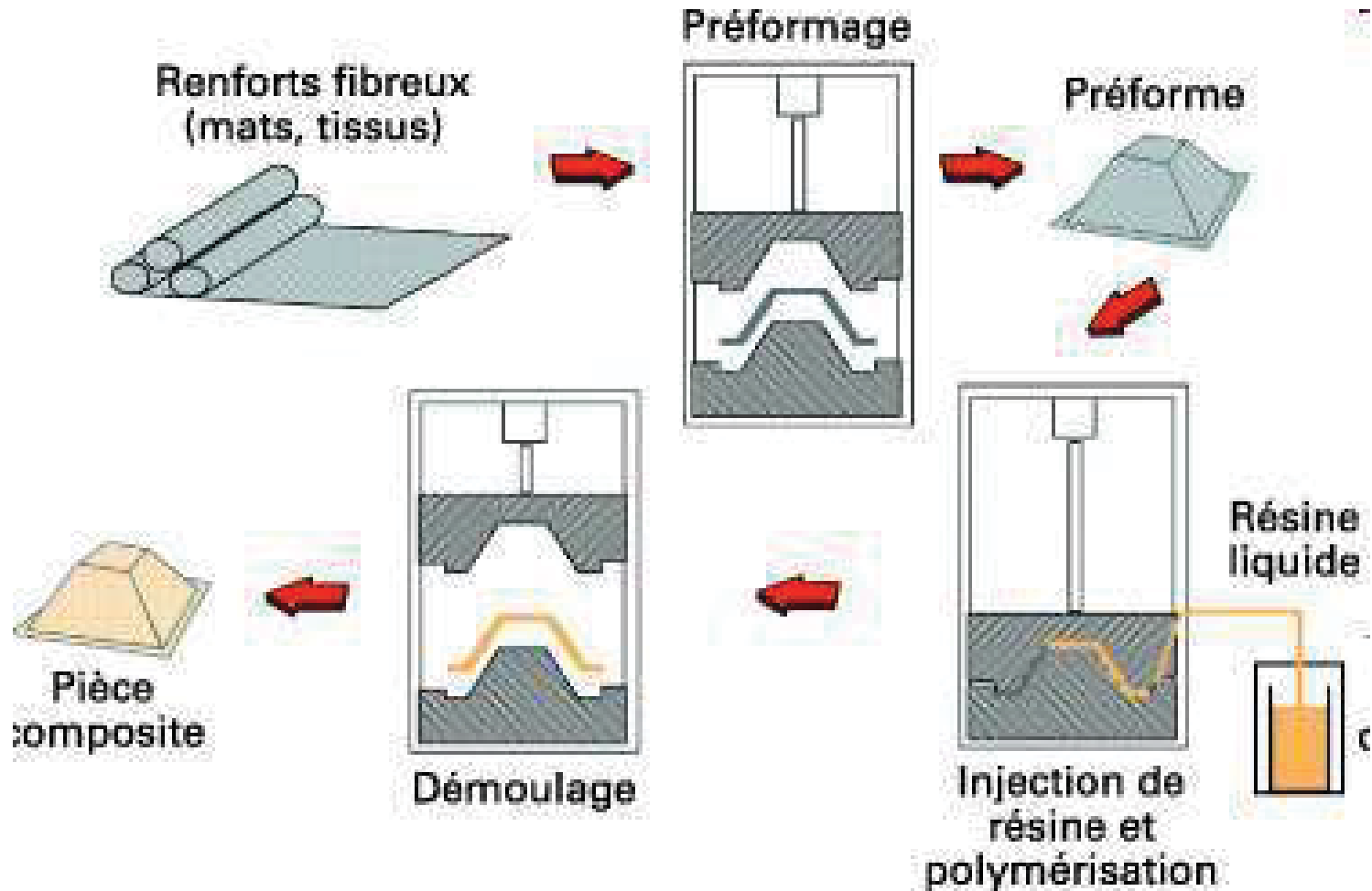
Procédés de mise en œuvre

Procédé par injection de résine : cas des fibres courtes ou charges



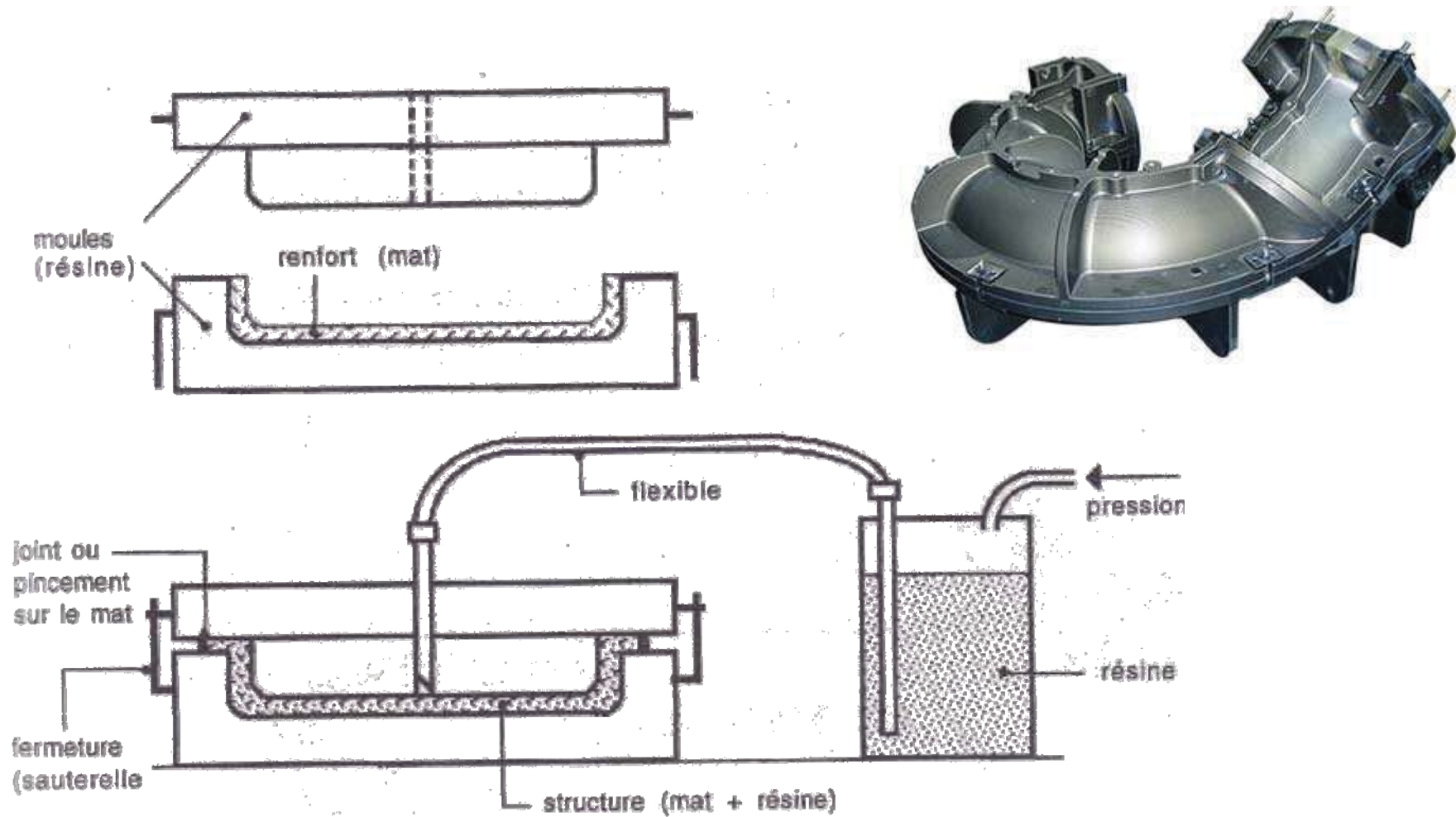
Procédés de mise en œuvre

Procédé par injection de résine : principe du procédé LCM (Liquid Composite Molding)



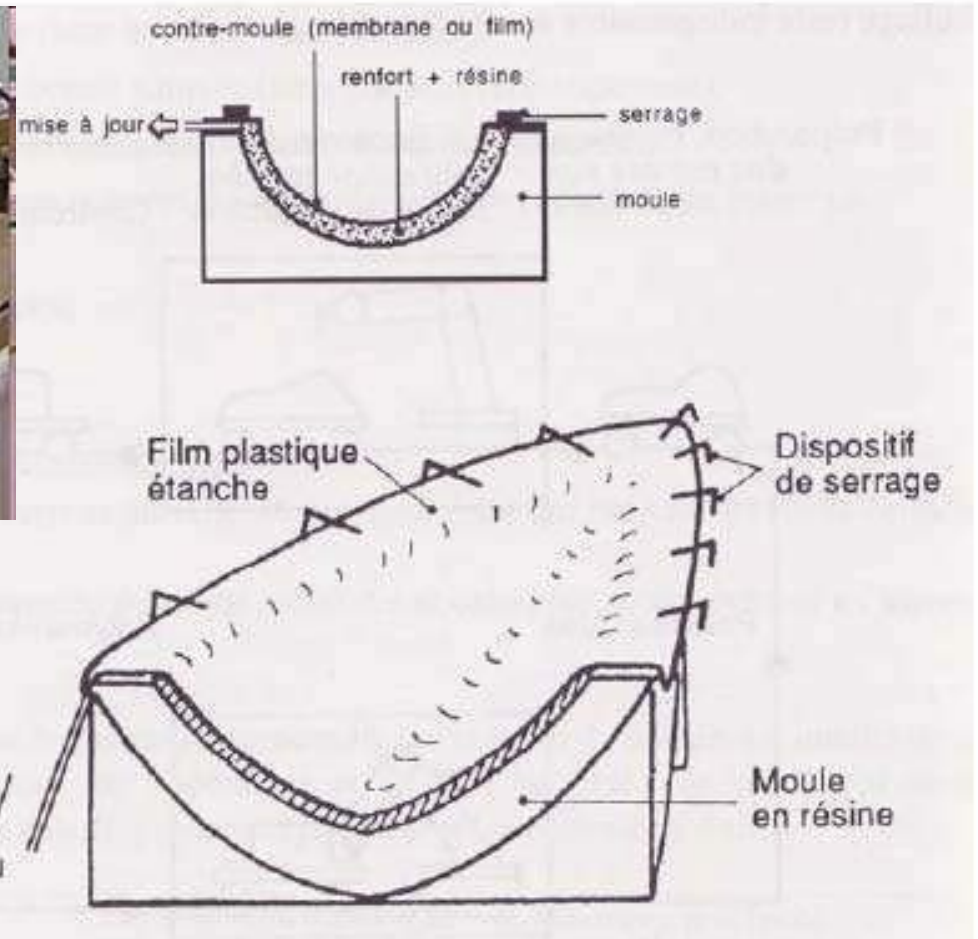
Procédés de mise en œuvre

Variantes du procédé LCM : le RTM (Resin Transfer Molding)



Procédés de mise en œuvre

Variantes du procédé LCM : le RTM-Light ou VARTM (Vacuum Assisted RTM) et le RIM (Resin Infusion Molding)



Procédés de mise en œuvre

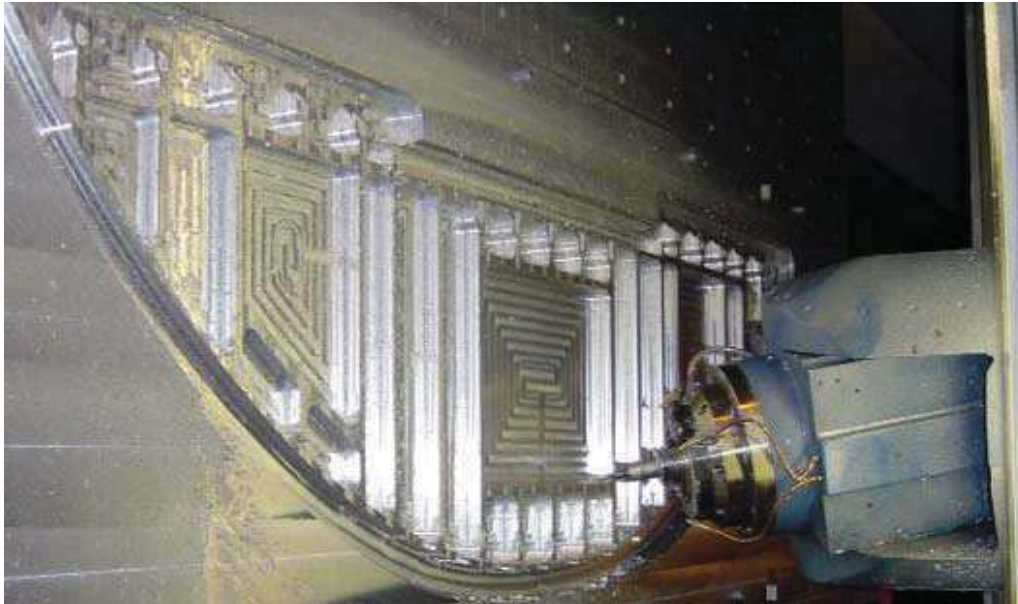
Exemples de pièces obtenues par RTM :



Possibilités de placer une vessie gonflable pour réaliser des pièces creuses.

Procédés de mise en œuvre

Exemples de pièces obtenues par RTM :



En concurrence avec l'usinage d'aluminium pour les pièces de structure aéronautiques

Procédés de mise en œuvre

Bilan :

- Une grande variété de procédés : influence sur les propriétés de la pièce formée
- La plupart de ces procédés génèrent une bavure sur la périphérie
- Ces procédés ne permettent pas d'obtenir des trous de faibles diamètres



Nécessité de reprise par usinage pour détournage et perçage

Difficulté supplémentaire liée à la grande variété de matériaux composites

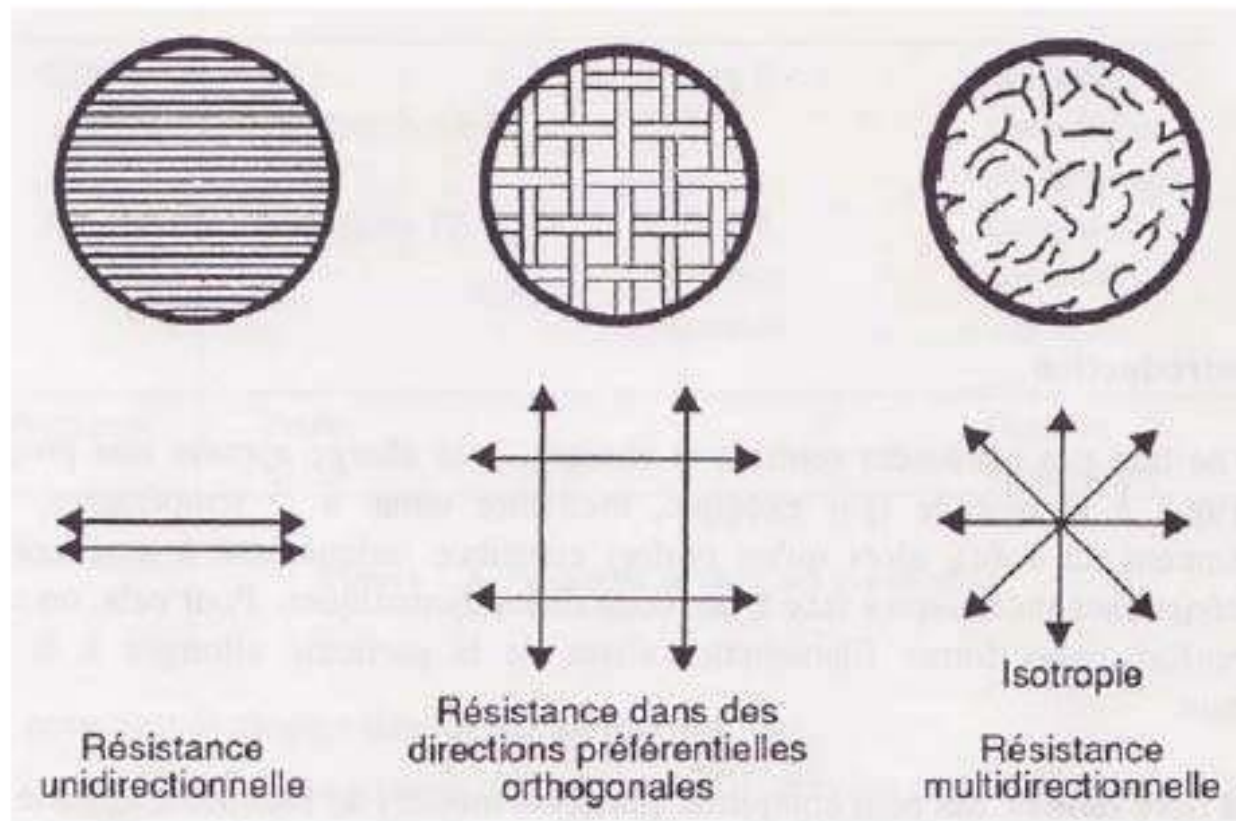
Procédés de mise en œuvre

Une grande variété de résines :

TP (thermoplastiques)	TD (thermodurcissables)
<p>Polymère grande diffusion : Polypropylène (PP)</p> <p>Technoplastiques : Polyamide (PA) Polytéréphtalates éthylénique et butylénique (PBT et PET) Polycarbonate (PC) Polyoxyde de phénylène (PPO) Polyoxyméthylène (POM) Polysulfuré (PPS et PSU)</p>	<p>Polyester Vinylester Phénolique Epoxyde Polyuréthane</p>

Procédés de mise en œuvre

Une grande variété de renforts :

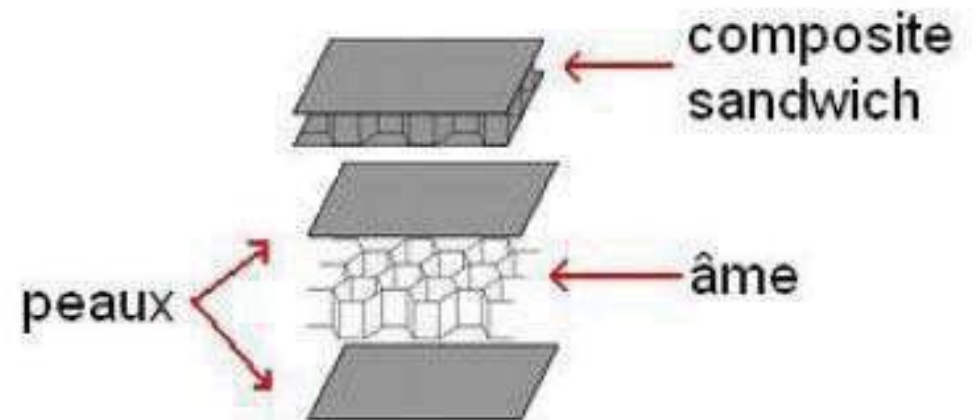


Fibres :

- Verre
- Carbone
- Aramide (Kevlar)

Procédés de mise en œuvre

Les matériaux composites sandwich :



Composite Sandwich	Ame	
	Nature	Matière type
- de structure	- nid d'abeilles	- aluminium - aramide (TD) - polypropylène (TP)
- d'isolation	- mousses - plastiques	- PUR - PSE

Procédés de mise en œuvre

Bilan :

- Une grande variété de procédés : influence sur les propriétés de la pièce formée
- La plupart de ce procédé génère une bavure sur la périphérie
- Ces procédés ne permettent pas d'obtenir des trous de faibles diamètres
- Grande variété de matériaux composites



Nécessité de reprise par usinage pour détourage et perçage

Mécanisme de coupe

Propriétés physiques particulières :

- Hétérogénéité intrinsèque



- Décohésion fibre matrice
- Fibres non coupées
- Arrachements, délaminage



Actions correctives :

- Géométrie d'outil adaptée
- Conservation de l'acuité d'arête

Mécanisme de coupe

Propriétés physiques particulières :

- conductivité thermique



- Dégradations de la matrice
- Dilatations de la pièce : dispersion dimensionnelle



Actions correctives :

- Arrosage (eau, huile soluble...) si la matrice le tolère
- Soufflage d'air comprimé

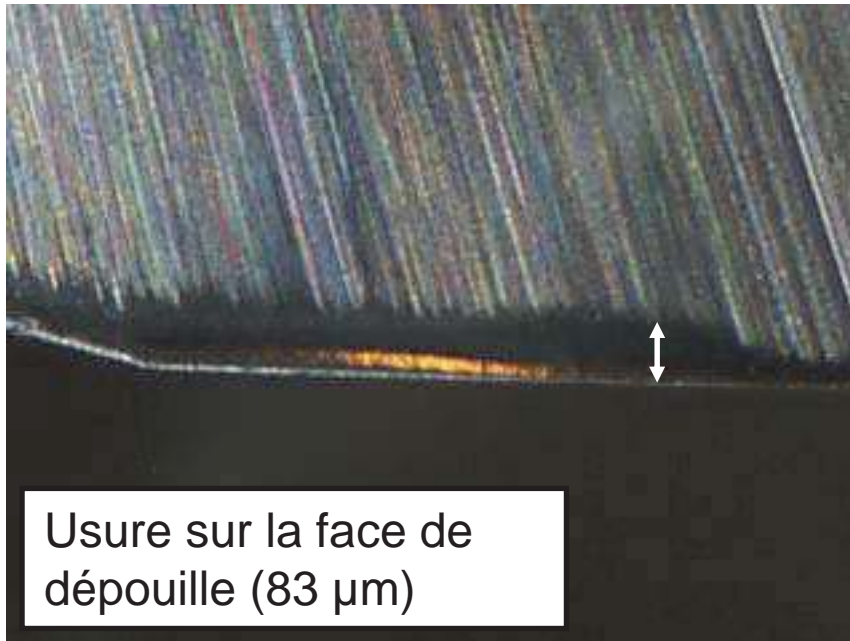
Mécanisme de coupe

Propriétés physiques particulières :

- caractère abrasif des fibres



- usure outil = perte d'acuité de l'arête
- L'usure conduit à une coupe moins franche = arrachement, élévation de température



Actions correctives :

- Revêtement pour les outils carbure
- Usage du PCD

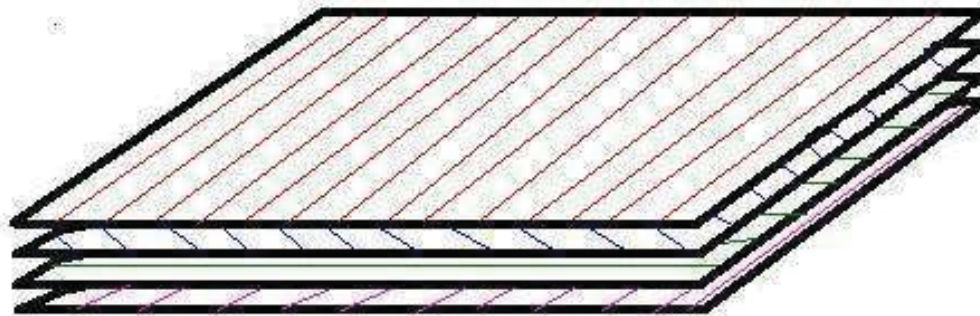
Mécanisme de coupe

Propriétés physiques particulières :

- anisotropie



- relâchement de contraintes, déformation de la pièce usinée
- obstacle à la modélisation et généralisation des phénomènes de coupe



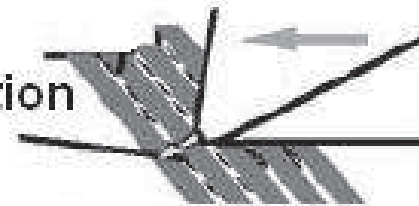
Mécanisme de coupe

Le mécanisme de coupe dépend de l'orientation des fibres :

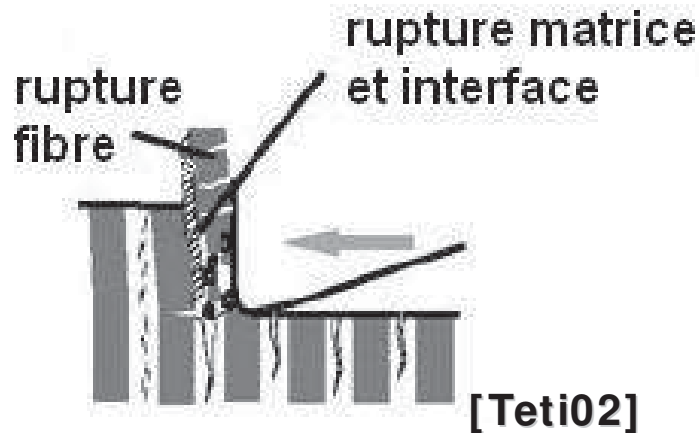
0°-fibre-orientation



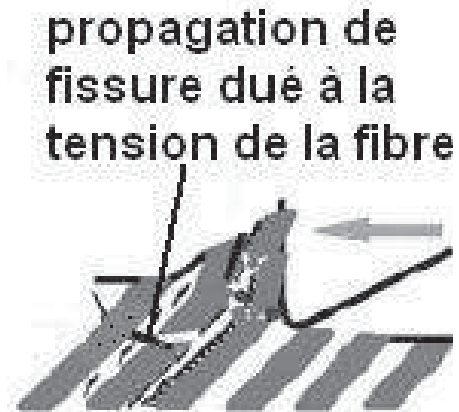
45°-fibre-orientation



90°-fibre-orientation



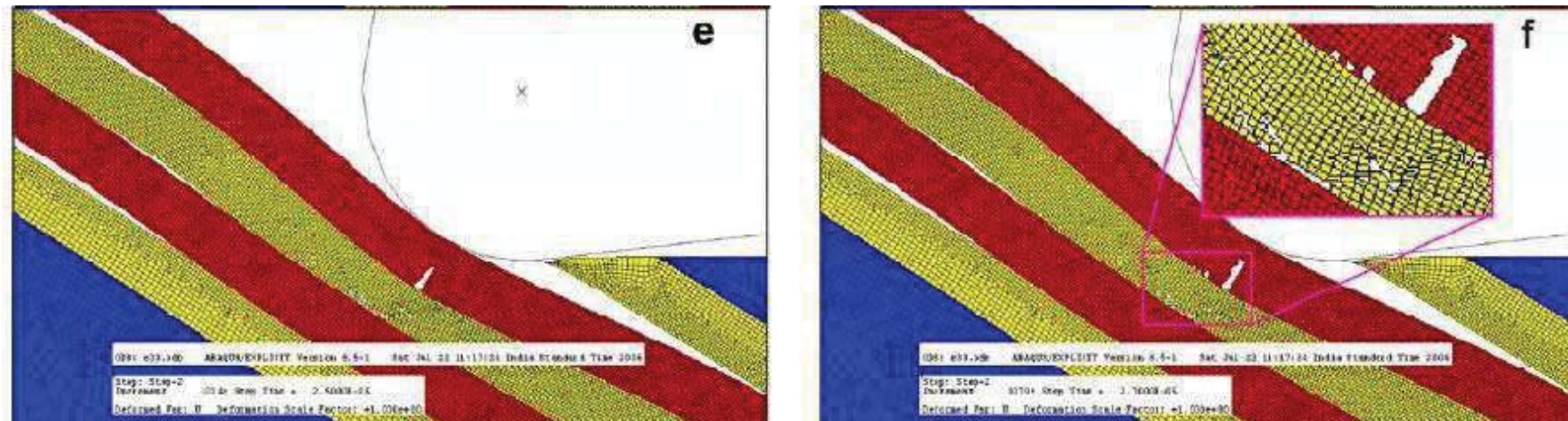
135°-fibre-orientation



Mécanisme de coupe

Modélisation des phénomènes de coupe

- Plans d'expérience [Arola97], [Davim05]
- Modèles analytiques [Bhatnagar94], [Chang06]
- Modèles éléments finis [Arola97], [Rao07], [Gaitonde07]



- Difficulté d'identification des paramètres matériaux : fibre, matrice, interactions fibre-matrice, frottement...
- Ils existent seulement des modèles pour les composites à fibres longues et pour une orientation de fibres donnée.

Mécanisme de coupe

Bilan :

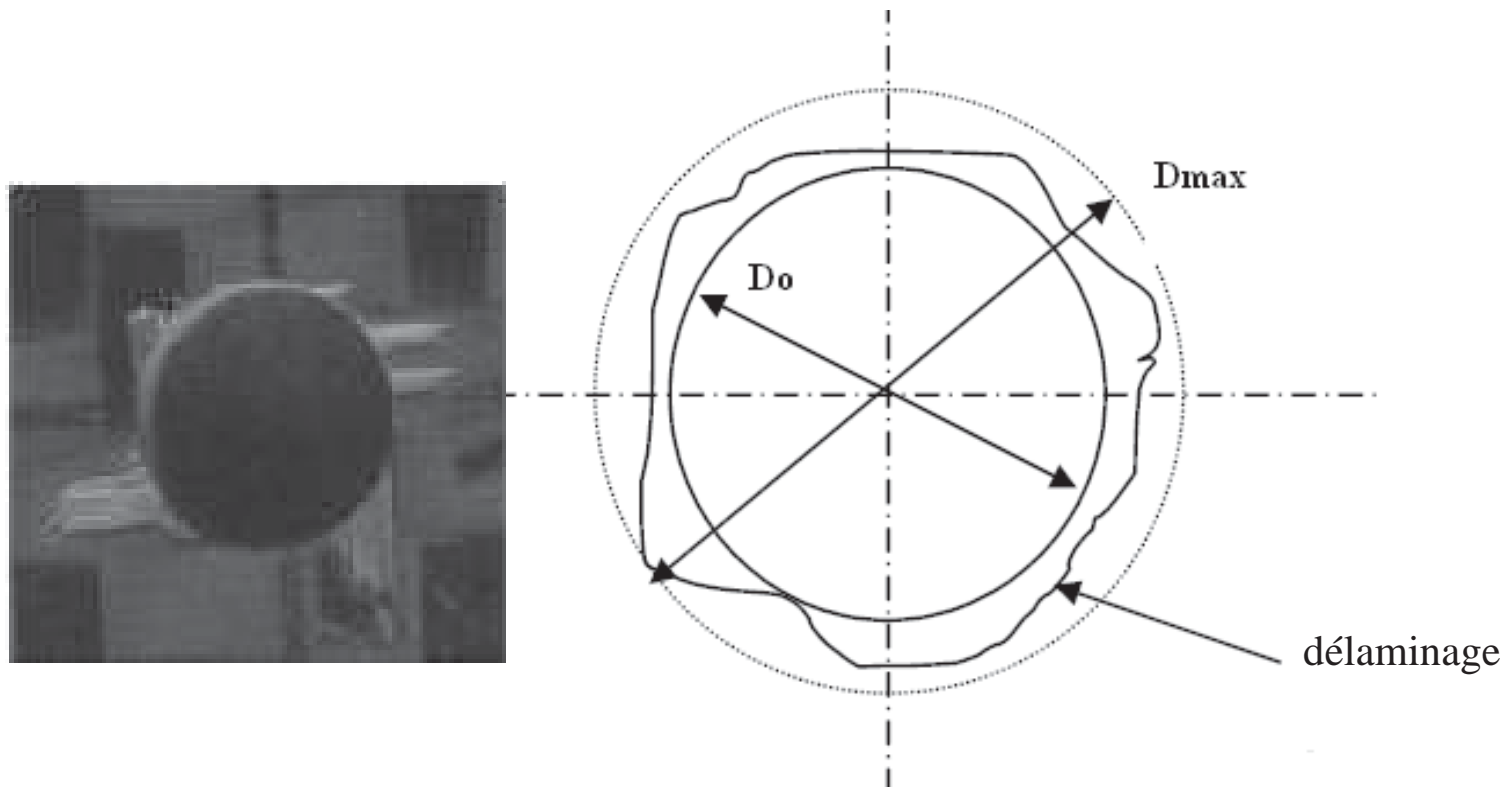
- Grandes variétés de matériaux
- Multitudes de procédés de mise en œuvre
- Propriétés particulières qui compliquent l'usinage
- Niveau d'expertise plus faible que pour les matériaux métalliques
- Difficultés liés à la modélisation



- pas d'abaques de conditions de coupe
- de nombreux travaux de modélisation mais difficilement généralisable

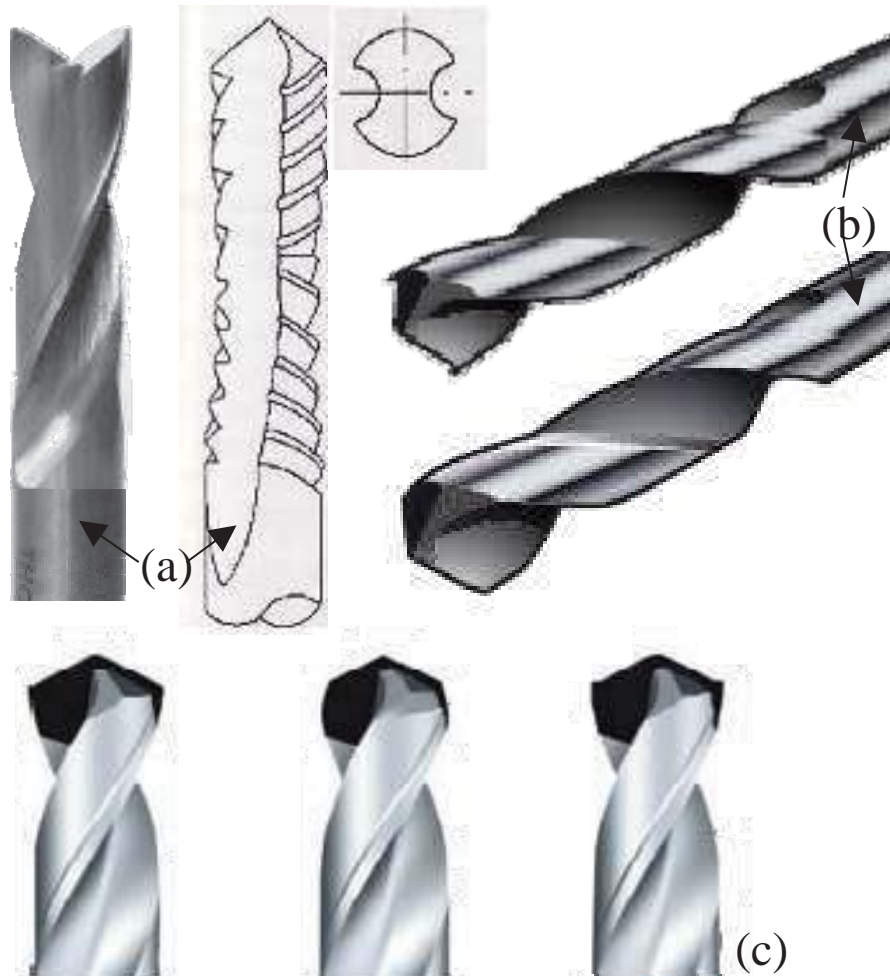
Perçage détournage

Malgré technique de collage, nécessité de perçage pour assemblage (boulon, rivet...)



Perçage détournage

Malgré technique de collage, nécessité de perçage pour assemblage (boulon, rivet...)



Outils:

- Géométrie spécifique suivant les matériaux
- Carbure revêtu ou non
- PCD et Veined PCD

Perçage détournage

Malgré technique de collage, nécessité de perçage pour assemblage (boulon, rivet...)

Problématique du perçage d'empilement en aéronautique



Perçage détournage

Nécessité de détournage pour retirer la bavure et réaliser des ouvertures sur la pièce



outil abrasif (ou à
concrétion diamanté)

Outils avec géométrie spécifique suivant les matériaux :

- Carbure revêtu ou non (a)
- PCD (b)

Perçage détourné

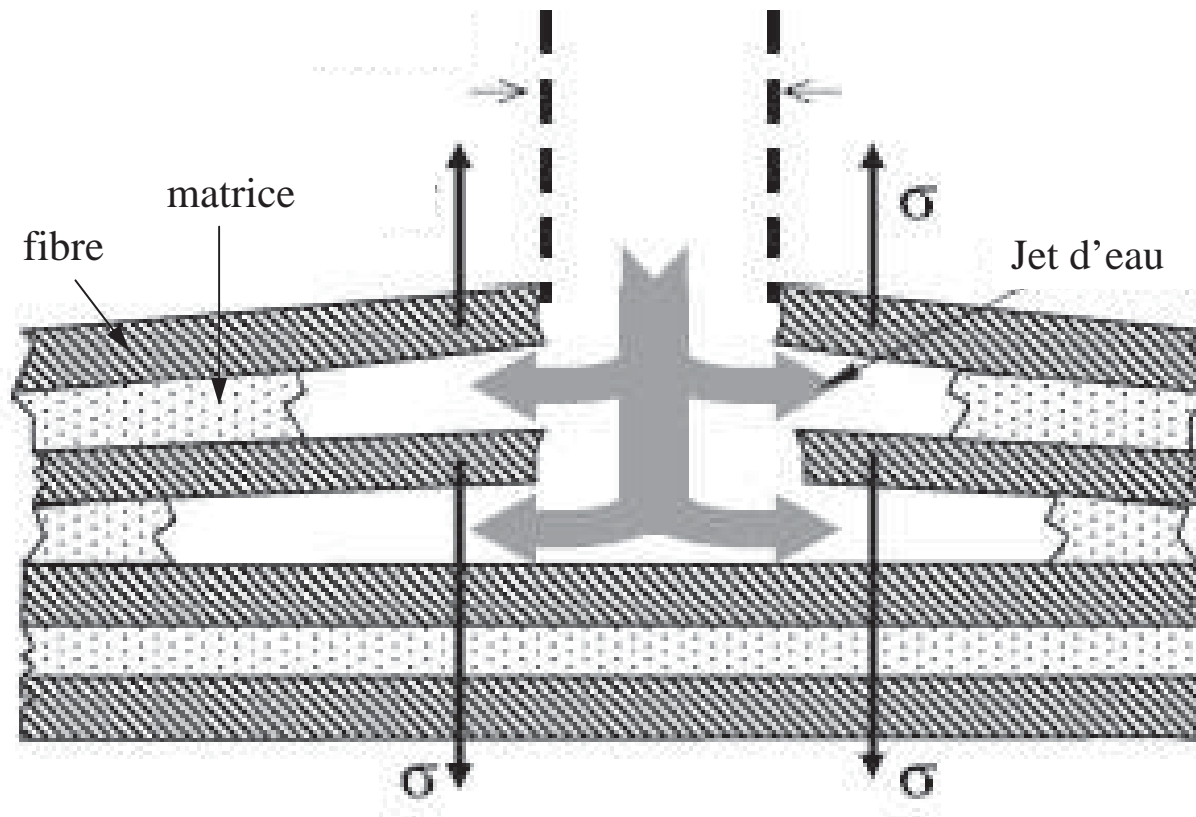
Nécessité de détournement pour retirer la bavure et réaliser des ouvertures sur la pièce



Perçage détournage

Procédés alternatifs à l'usinage :

- Découpe laser
- Découpe jet d'eau



Perçage détournage

Bilan :

- absence d'abaques
- absence de modèle générique exploitable
- de nombreuses technologies d'outil adaptées
- essais préliminaires indispensables avant une mise en production

Géométries plus complexes , fraisage de formes?