



LES PROCÉDES pour matière THERMODURCISSABLE

<i>Niveau :</i>	T ^{ale} Baccalauréat Professionnel Plasturgie
<i>Date :</i>	1 ^{er} trimestre 2009
<i>Durée :</i>	4 heures
<i>Intitulé de la séquence:</i>	Les procédés TD
<i>Condition :</i>	Classe entière
<i>Salle :</i>	Salle de cours
<i>Ressources :</i>	Ordinateur portable, Vidéoprojecteur et accès Internet
<i>Pré-requis :</i>	Du pétrole aux plastiques

Objectifs :

-
-

Savoirs associés :

Evaluation : Evaluation en fin de séquence



SOMMAIRE

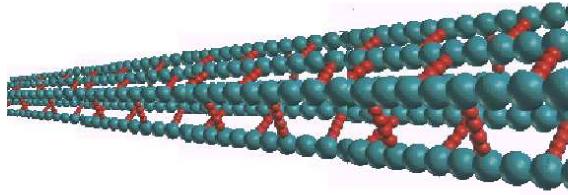
Introduction.....	3
Les matières TD	4
La Compression	6
La Compression transfert	8
Les Procédés pour petite série	
Moulage au contact / Stratification au contact.....	10
Projection simultanée.....	13
Les Procédés pour moyenne série	
Moulage sous vide ou par depression	15
Moulage par injection basse pression	16
Les Procédés pour grandes séries	
Moulage par compression basse pression	17
Réalisation de corps creux	
Enroulement en continue	18
Enroulement filamentaire.....	19
Moulage par centrifugation	22
Le rotomoulage.....	23
Production en continue	
Stratification en continue	25
La pultrusion	26



Introduction

🌀 Les Thermodurcissables :

Rappel : Une matière thermodurcissable est un polymère qui durcit sous l'action d'une énergie (la chaleur par exemple), les molécules le constituant (monomères) se liant les unes aux autres pour le rendre plus rigide en formant un réseau tridimensionnel.



Une matière thermodurcissable est possible à mettre en œuvre une seule fois, donc n'est pas recyclable.

🌀 Principe de Mise en Oeuvre

La mise en œuvre des thermodurcissables implique la réalisation d'un réseau tridimensionnel dans le moule. C'est-à-dire que la matière liquide ou visqueuse va devenir définitivement solide : c'est **la réticulation**. Lorsque la matière est solide, on dit qu'elle est réticulée.

Il existe 3 méthodes de transformation

- L'injection des TD : un ensemble vis / piston semblable à celui de l'injection des thermoplastiques permet un préchauffage et une plastification de la matière thermodurcissable, puis l'injection dans le moule chaud, où va se produire la réticulation.
- La compression : La matière est placée dans un moule chaud. Ce dernier se ferme sur la matière.
- La compression transfert : La matière est placée dans un cylindre chauffant et un piston pousse la matière dans les empreintes.



Les matières TD

Il y a deux types de matière :

- Les poudres à mouler :
 - Les phénoplastes (formo-phénoliques)
 - Les mélamines et urées formols (formaldéhydes)
 - Les époxydes
- Les pâtes ou compounds polyesters ou préimprégnés. (composites)

LA MATIERE EN GENERAL

Elle se compose :

- D'une résine
- D'un catalyseur ou durcisseur
- D'un accélérateur
- De charges, colorants, lubrifiants

Elle peut se présenter sous trois formes :

- Une poudre à mouler, ou granulés
- Des compounds (pâte compacte)
- Des pastilles prêtes à l'emploi

Préformage ou pastillage :

La poudre est comprimée à froid (200 à 500 bars) dans des moules cylindriques. Ces pastilles, de poids constant, sont plus faciles à manipuler et plus propres à l'utilisation.

Pour raccourcir le temps de cycle, on préchauffe souvent la poudre ou les pastilles juste avant le moulage (gain de 50 à 80% du temps de moulage)



Suite à la faible conductivité thermique de la matière, celle-ci chauffe lentement. La couche en contact avec la paroi du moule atteint la température de cuisson alors que l'intérieur est encore tiède ou froid.

La cuisson se fait progressivement vers l'intérieur.

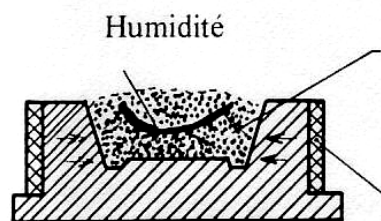
Pour une pièce épaisse, le centre commence à durcir alors que l'extérieur est déjà solide.

Conséquences : les gaz ne peuvent s'échapper
Contraintes internes, distorsions, cassures

⇒ Eviter les pièces épaisses et à fortes variations d'épaisseur

Condensation d'humidité

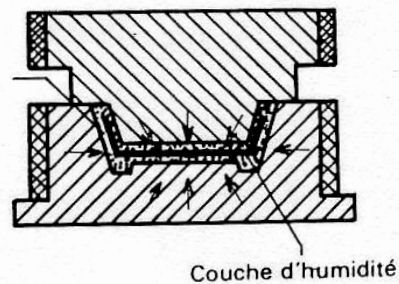
A l'intérieur de pièces épaisses moulées par compression



Refoulement d'humidité vers le centre de la charge dans la matrice du moule ouverte

Elément chauffant

Occlusion d'humidité au cœur de la pièce moulée pendant la cuisson de la matière.





La Compression

🌀 Le principe

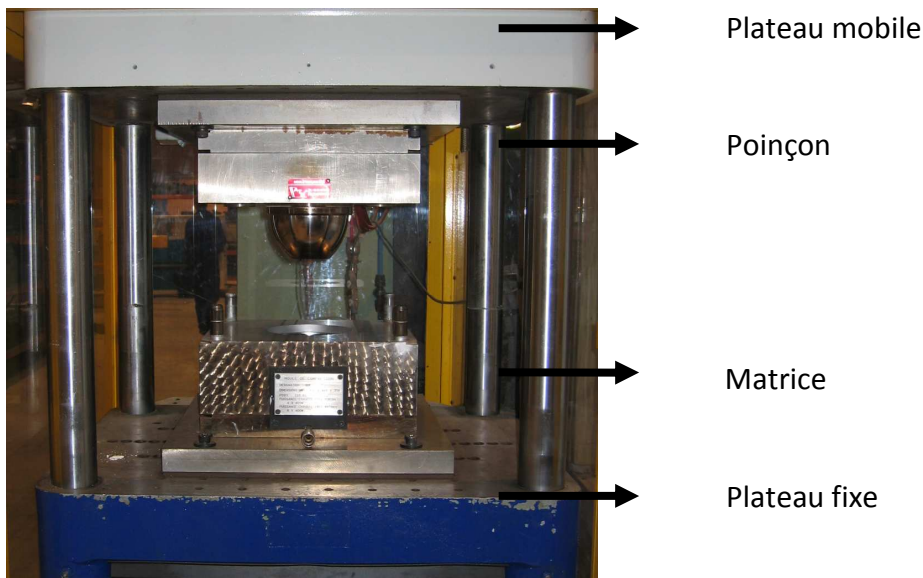
Ce procédé consiste à donner dans un moule chaud sa forme à la matière première ou au semi-produit.

La chaleur provoque dans un premier temps un ramollissement de la matière puis une cuisson qui la solidifie.

La matière à transformer se présente sous des formes différentes :

- En poudre qui sera mise sous forme de pastilles pour être transformée.
- En un mélange de fibres et de résine qui forme une « choucroute ».
- Des tissus préimprégnés de résine.

La machine utilisée est une presse de compression. Elle se compose de deux plateaux horizontaux sur lesquels on fixe le moule.



Le moule comporte deux parties : La matrice (en creux) et le poinçon (en relief).

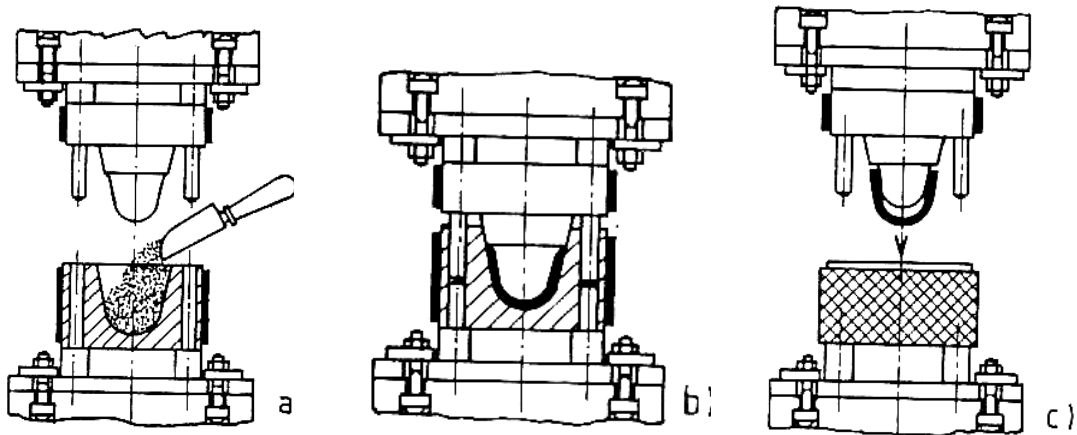
🌀 Les matériaux

Les matières utilisées se présentent sous forme de demi-produits :

- poudre de phénol formol, de mélamine formol ou d'urée formol. Pour les matières techniques, on trouvera des poudres de résine époxy ou de diallyphtalate.
- compound BMC (fibres de verre, résine polyester).
- préimprégné SMC (tissus de verre et résines polyester ou époxydes)



∞ Le cycle de compression



- On place la matière à mouler (poudre, pâte, prémix) dans le moule chauffé.
- Le moule se ferme. La matière comprimée se ramollie sous l'action de la chaleur. Le ramollissement commence par les couches extérieures, ce qui entraîne un écoulement de la matière. La résine se ramollie provisoirement avant de réticuler. Elle durcit alors définitivement.

Le moule reste fermé le temps de la réaction chimique. (S'il y a un dégagement gazeux lors de la réaction, on entrouvre le moule au début du moulage.

- Ouverture et éjection. On enlève la pièce encore chaude.

∞ Les produits obtenus

On réalise par compression des articles ménagers comme la vaisselle de camping ou des abattants de WC. On fabrique également des pièces industrielles dans le domaine électrique comme les coffrets d'alimentation ou des bouchons de flacons de verre dans le domaine du conditionnement. Dans le domaine automobile, on réalise des capots de voiture (par ex. BX Citroën).





La compression transfert

∞ Le principe

Par rapport à la compression, la matière est plastifiée à part puis transférée sous pression dans l'empreinte. C'est un principe qui se situe donc entre l'injection TD et la compression.

∞ La machine

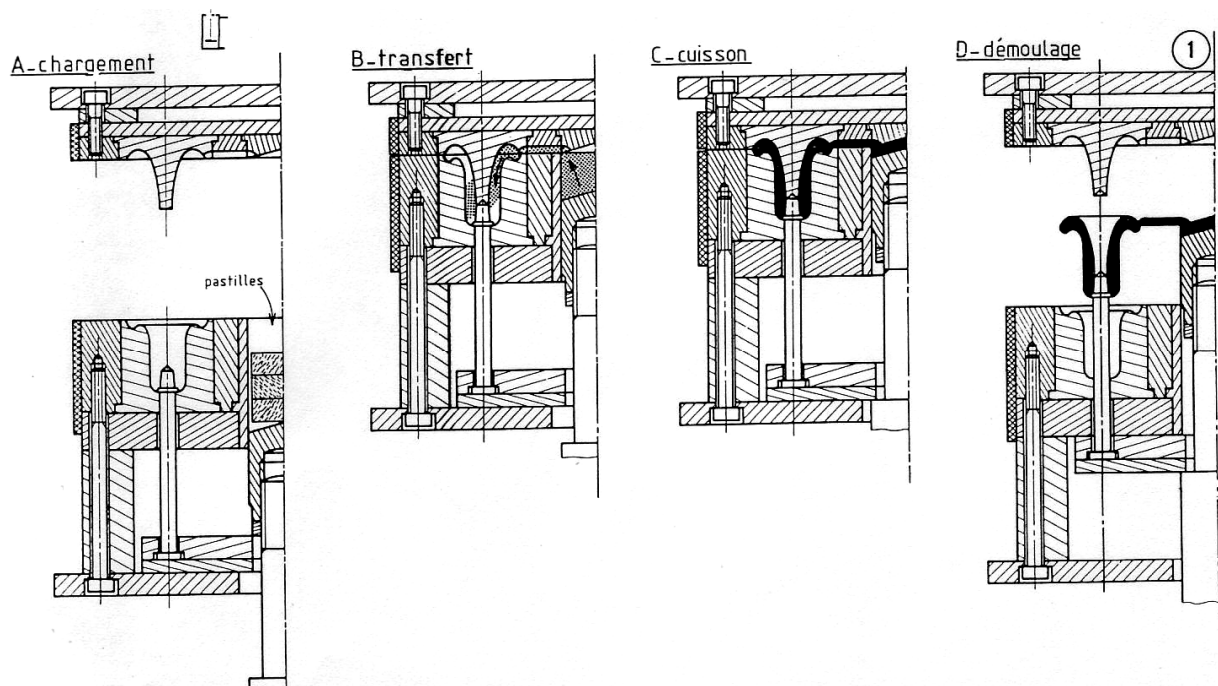
Elle est comparable à la presse de compression, mais on trouvera un pot de transfert au centre de la matrice.

On place les pastilles préchauffées dans le pot de transfert. Le moule se ferme. Comme les pastilles viennent d'être préchauffées, on peut remonter presque immédiatement le piston, qui va pousser la matière dans les empreintes, ou elle va réticuler rapidement.

Le cycle :
Mise en place de la matière
Chauffage => ramollissement
Transfert
Cuisson => réticulation

Lors du démoulage, l'éjection se fait avec la carotte et le reste de matière qu'il y a dans le pot de transfert.

Pression de transfert : 1200 à 1800 bars





Les matériaux

Les matières utilisées se présentent sous forme de demi-produits :

- poudre de phénol formol.
- poudre de résine époxy, de diallyphtalate.
- compound BMC (fibres de verre, résine polyester).

Les poudres sont pastillées par compression à froid pour être manipulées aisément.

Les produits obtenus

On réalise par compression-transfert des articles ménagers comme les poignées de casseroles. On fabrique également des pièces industrielles dans le domaine électrique comme les carcasses de contacteurs ou des bobines enrobées.

On réalise également le surmoulage d'inserts métalliques par cette méthode.

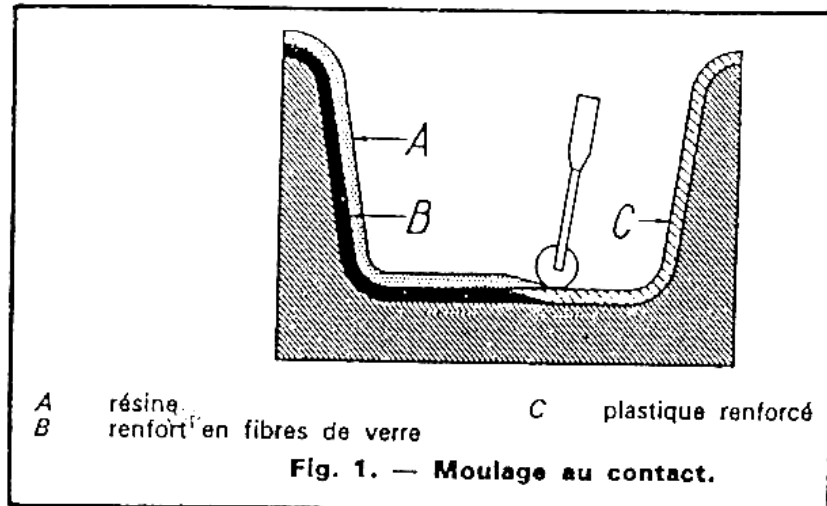




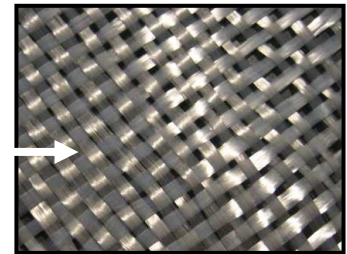
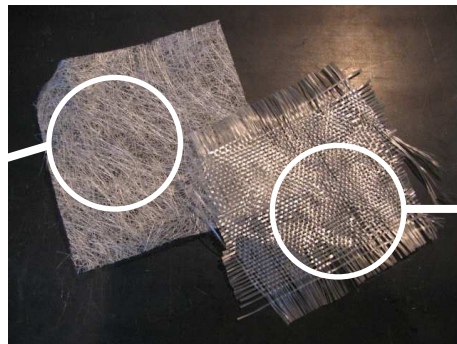
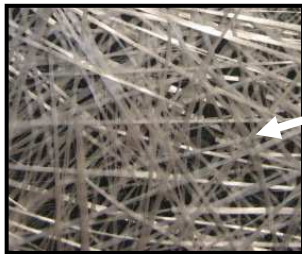
PROCÉDES POUR PETITES SÉRIES

Moulage au contact / Stratification au contact

∞ Le principe



Le renfort, mat ou tissu, carbone, kevlar, verre...



est placé dans un moule, lui-même en plastique armé le plus souvent. Ce renfort est imprégné, manuellement, de résine catalysée et accélérée, puis ébullé.

Accélérateur



Catalyseur



LES PROCÉDES pour matière THERMODURCISSABLE

Plusieurs couches de renforts sont déposées jusqu'à l'obtention de l'épaisseur désirée.

Auparavant, le moule est revêtu d'un agent de démoulage.



Cire de démoulage

Dans de nombreux cas, une fine couche de résine de surface (généralement colorée) dénommée « gel coat », y est déposée.



Moule



Pièce moulée

Le moule est réalisé suivant le même procédé de moulage à partir d'un modèle, de préférence en bois, représentant la forme de la pièce à mouler. Il doit être rigide.

Le matériel utilisé le plus fréquemment est :

- des gants afin d'éviter tout contact de la peau avec la résine,
- les rouleaux ébulleur
- des pinces





🌀 Les matériaux

Les matières utilisées sont de plusieurs natures :

- Les résines de surface ou gel coat qui donnent les caractéristiques de surface.
- Les matrices en résine polyester insaturée qui est catalysée et accélérée et les résines époxydes.
- Les renforts en fibres de verre ou de carbone tissées ou non.

🌀 Les produits obtenus

On réalise par moulage au contact des pièces en petites séries.

La technique permet le moulage de grandes pièces comme les coques de bateau, des carrosseries, les planches à voile ou des carénages de moto. On réalise également des renforts pour tuyauterie industrielle.





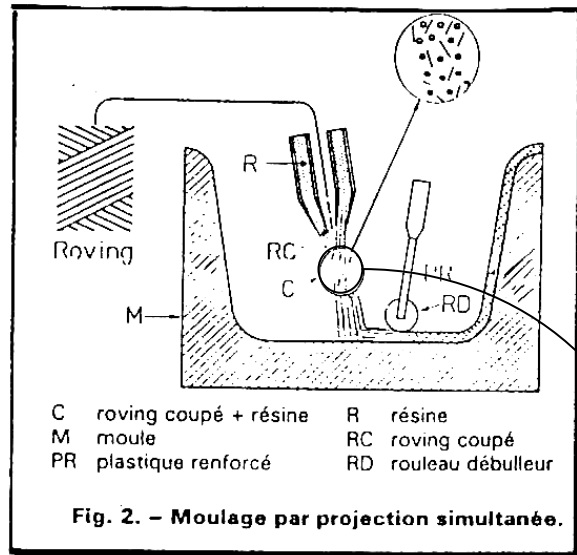
Projection simultanée

Le principe

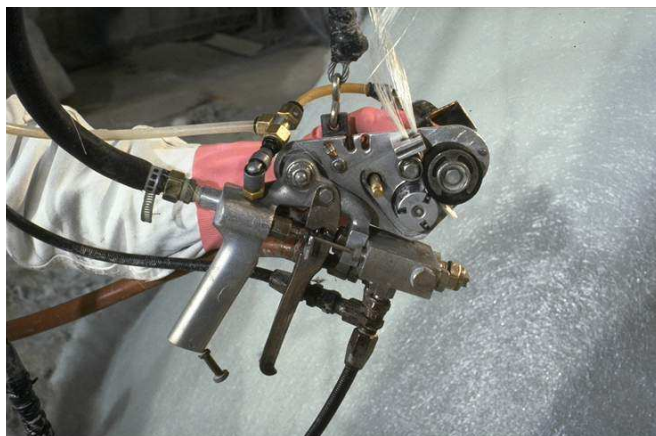
Projection simultanée sur un moule, généralement en plastique armé, avec un matériel constitué :

- D'une machine destinée à couper le roving (stratifil)
- D'un pistolet projetant la résine,

L'ensemble fonctionnant par air comprimé. La couche de fil coupés, imprégnés de résine, est comprimé sur le moule par passage d'un rouleau cannelé (rouleau ébulleur), afin d'obtenir un produit compact. D'autres couches sont ainsi déposées jusqu'à l'obtention de l'épaisseur souhaitée.



Appareillage de projection simultanée





Comparaison

Moulage au contact / Stratification au contact et Projection simultanée

Remarque

Pour le cas des deux méthodes précédentes, elles permettent la réalisation de pièces en petite et moyenne séries, sans aucune restriction quant aux formes et dimensions.

Un minimum d'équipement est nécessaire, donc amortissement. Le % de tissu est limité et susceptible de variation.

Une seule face lisse reproduisant l'aspect du moule. La qualité du produit fini dépend essentiellement du savoir faire et de la conscience du mouleur.

Le désavantage de ces procédés, c'est qu'il nécessite un ébarbage, une opération de finition.



PROCÉDES POUR MOYENNES SÉRIES

Moulage sous vide ou par dépression

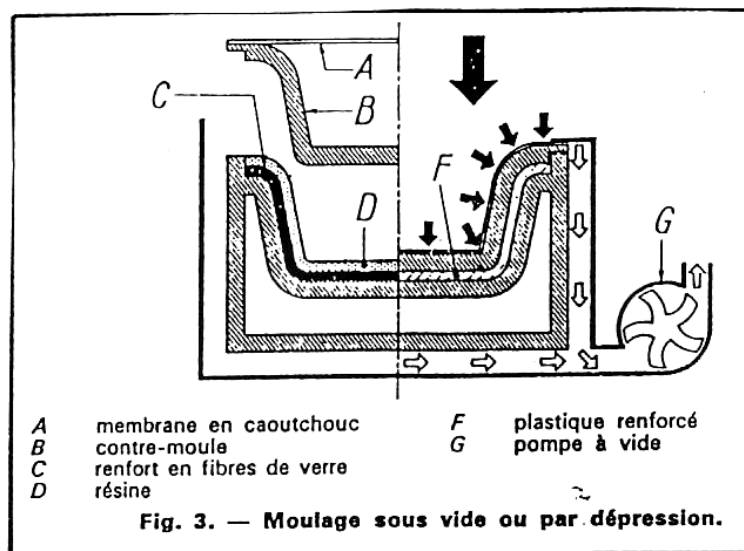
∞ Le principe

Utilisation simultanée :

- Du vide
- Et de la pression atmosphérique,

Pour imprégner de résine un renfort posé sur un moule rigide.

Selon la forme de la pièce, un contre-moule peut-être appliqué. L'ensemble peut-être recouvert d'une membrane assurant l'étanchéité.



Ce procédé convient pour la fabrication de pièce de petite et moyenne série. Grâce à ce procédé, on améliorera les qualités mécaniques grâce à un taux de tissu constant et à une diminution des inclusions d'air. On obtiendra également un bel aspect de surface sur chacune des deux faces. Par contre, le désavantage de ce procédé, c'est qu'il nécessite un ébarbage, une opération de finition et la cadence de production est assez lentes.



Moulage par injection basse pression

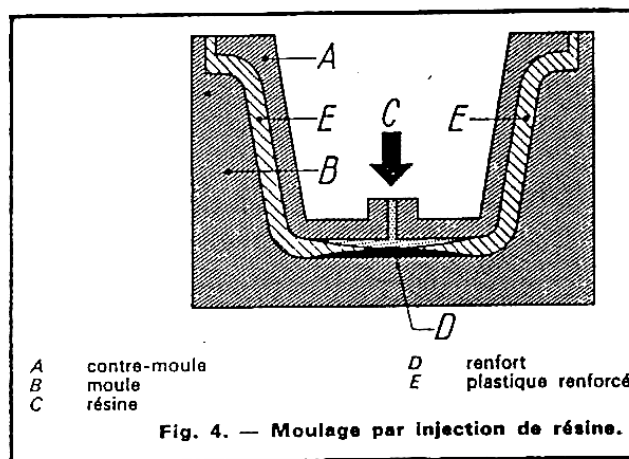
🌀 Le principe

Imprégnation, par injection de résine, d'un renfort placé à l'intérieur d'un ensemble moule et contre-moule, très rigide, fermé. L'alimentation automatique des résines élimine leurs manipulations.

Convient au moulage de pièces profondes et de forme compliquée. La proportion entre le renfort et la résine est constante.

Deux faces reproduisent fidèlement l'aspect du moule. Nécessité de moule très rigides, de fabrication soignée.

Cadences relativement lentes. Dans certains cas, le temps de finition est réduit.



Exemple d'injection basse pression : Un cadre de vélo en carbone



PROCÉDES POUR GRANDES SÉRIES

Moulage par compression basse pression

🌀 Le principe

Imprégnation et mise en forme, par compression, d'un renfort placé entre moule et contre-moule en plastique armé. Utilisation de l'exothermie de polymérisation (dégagement de chaleur) de la résine pour accumuler cette énergie calorifique dans le moule. Moule et contre-moule, de fabrication particulière, sont réalisés par moulage au contact.

- Pression de moulage : < 5bars
- Cadence : 4 à 12 pièces par heure
- Les pièces possèdent des caractéristiques mécaniques constantes et un bel aspect sur les deux faces
- Nécessité de détourage et finition

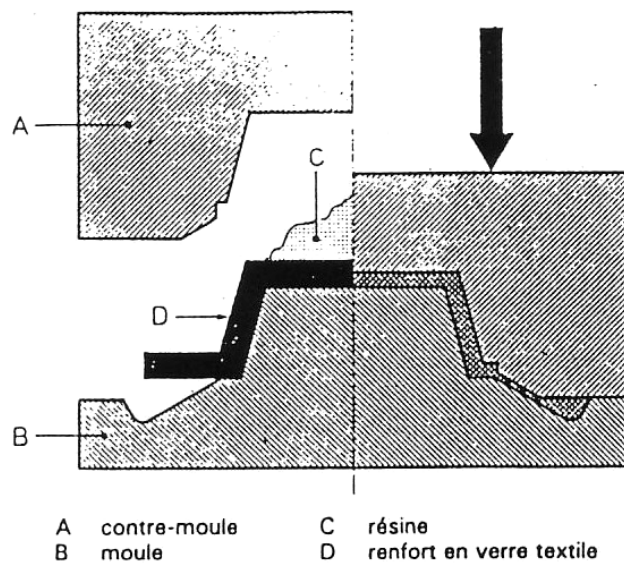


Fig. 5. – Moulage à la presse basse pression.



REALISATION DE CORPS CREUX

Enroulement en continu

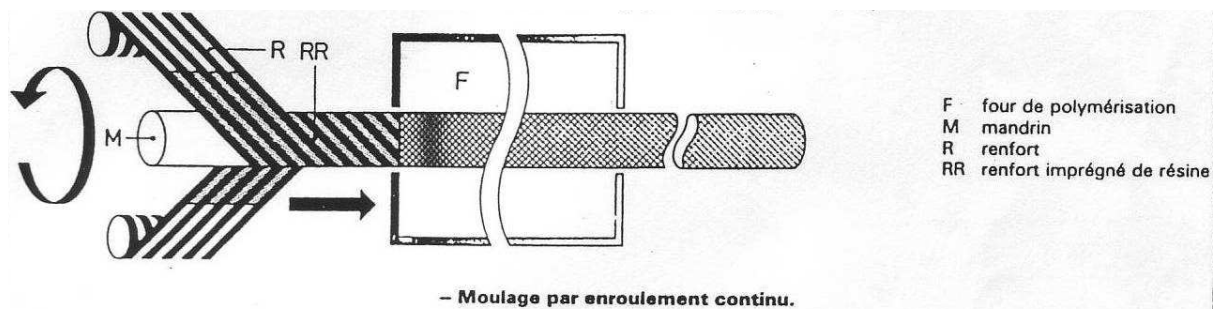
∞ Le principe

Fabrication de viroles, en continu (moulage, polymérisation, démoulage) sur un mandrin mobile.

Renfort utilisé : roving, roving coupé, mat, tissu...

Ce procédé en continu permet la fabrication industrielle de tubes et tuyaux de divers diamètres, de grande longueurs. Les caractéristiques mécaniques sont fonctions du % de renfort et de sa nature. Ce procédé nécessite un investissement de matériel très important.

Cette enroulement, généralement de nappes de roving, préimprégné ou non, sur un mandrin en rotation, permet l'obtention de volumes de révolution de grandes dimensions. La tension des fils, l'orientation et le % de renfort élevé, apportent d'excellentes caractéristiques mécaniques.

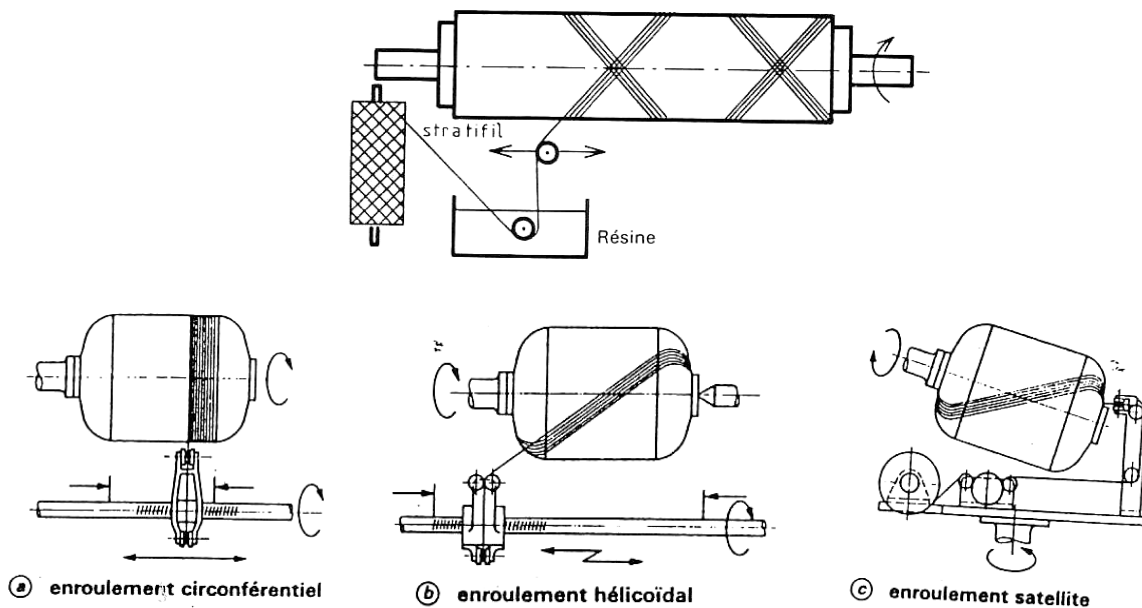




Enroulement filamentaire

Le principe

On désigne ainsi le procédé qui permet l'obtention d'un corps creux en bobinant sur un moule (ou mandrin) différents renforts continus imprégnés de résine. Le renfort le plus couramment employé est le roving, car on utilise alors au mieux les propriétés de résistance à la traction des fils. Le procédé est également appelé bobinage filamentaire.



Les avantages

Parmi les procédés permettant la réalisation de corps creux, l'enroulement filamentaire présente les avantages suivants :

- Obtention de pièces à % de renfort élevé (de l'ordre de 70%) apportant de hautes caractéristiques mécaniques.
- Possibilité sur un matériel adapté de réaliser simultanément la partie cylindrique et les fonds d'une même pièce. (Citerne par exemple)
- Orientation possible du renfort pour obtenir les caractéristiques les plus élevées dans les directions des sollicitations auxquelles seront soumises les pièces fabriquées.

Les inconvénients

L'inconvénient principal est d'ordre économique : ce procédé est onéreux à cause du coût du matériel utilisé et du temps de mise en œuvre.

En outre, l'aspect extérieur n'a pas un aspect lisse, ce qui peut être un inconvénient pour les pièces visibles.



🌀 Les applications

On fabrique par cette technique, des tubes pour installations pétrolières, des tuyaux pour le chauffage urbain, pour l'assainissement ou pour l'adduction d'eau. Ces tuyaux sont généralement réalisés avec un renfort de fibres de verre et une résine polyester ou époxyde.

Le procédé d'enroulement, compte tenu des hautes caractéristiques mécaniques qu'il permet d'obtenir, est également utilisé pour la fabrication de :

- Corps de fusée
- Autres pièces diverses pour l'armement
- Arbres de transmission
- Bouteilles de gaz comprimé





LES PROCÉDES pour matière THERMODURCISSABLE

Ce procédé consiste à enrouler, autour d'un mandrin démontable en rotation, des mèches de rowing imprégnées de résine.

Le procédé comporte les phases suivantes :

- Assemblage du mandrin.
- Mise en place sur la machine à enroulement filamentaire.
- Recouvrement en déplaçant le rowing devant le mandrin en rotation.
- Cuisson de la forme recouverte.
- Démontage du mandrin et démoulage.





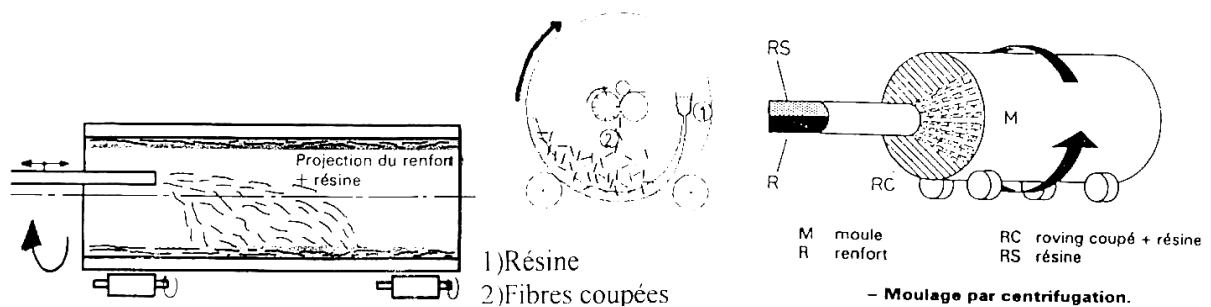
Moulage par centrifugation

Le principe

Le renfort (roving coupé, mat ou tissus) et la résine sont introduits dans un moule en rotation. L'imprégnation se fait sous l'effet de la force centrifuge pendant la rotation. L'épaisseur est régulière et la fibre bien imprégnée.

C'est le seul procédé permettant d'obtenir un bel état de surface sur les deux faces sans contre-moule.

- Taux de renforts : 25 à 50%
- Uniquement pour les pièces cylindriques
- Démoulage aisé
- Résistance moyenne par rapport à l'enroulement filamentaire. (renfort discontinu)
- Nécessite un matériel de grande précision et un équilibrage parfait.





Le rotomoulage

🌀 Le principe

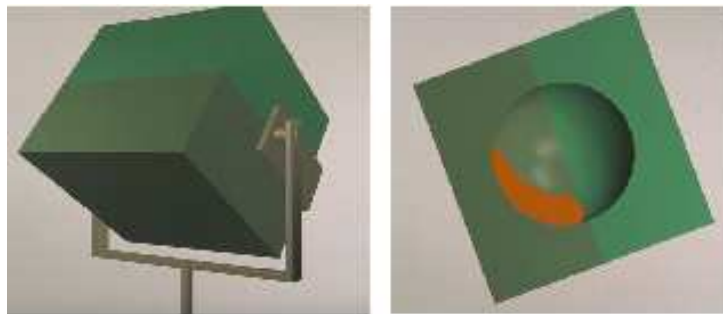
Il consiste à fondre un plastique dans un moule placé en rotation autour de deux axes. La matière va se répartir sur la surface du moule et en épouser la forme après refroidissement. Les moules sont situés dans un carrousel où les phases de fabrication successives sont :

- Chargement en poudre du moule.
- Le moule fermé est placé dans le four.
- Sous l'action de la chaleur la poudre plastique épouse les formes du moule.
- Après refroidissement la pièce est démoulée.

On réalise ainsi les cuves ou les luminaires.

Dans la fabrication de peaux d'accoudoirs ou de planches de bord pour l'automobile, on utilise une résine liquide.

Les peaux ainsi obtenues sont reprises et surmoulées.





🌀 Les produits obtenus

La technique du rotomoulage permet de fabriquer des corps creux de grandes dimensions comme des cuves de 3000 litres, des kayaks ou des petites pièces comme des jouets, accoudoirs d'automobile ou gadgets.

La caractéristique principale du procédé est la possibilité de réaliser de très petites séries en raison du faible coût des outillages.



🌀 Les matériaux

Les thermoplastiques principalement utilisés sont le polyéthylène haute ou basse densité, le polyméthacrylate pour ses qualités de transparence, les polyamides et le PVC plastifié (Plastisol).



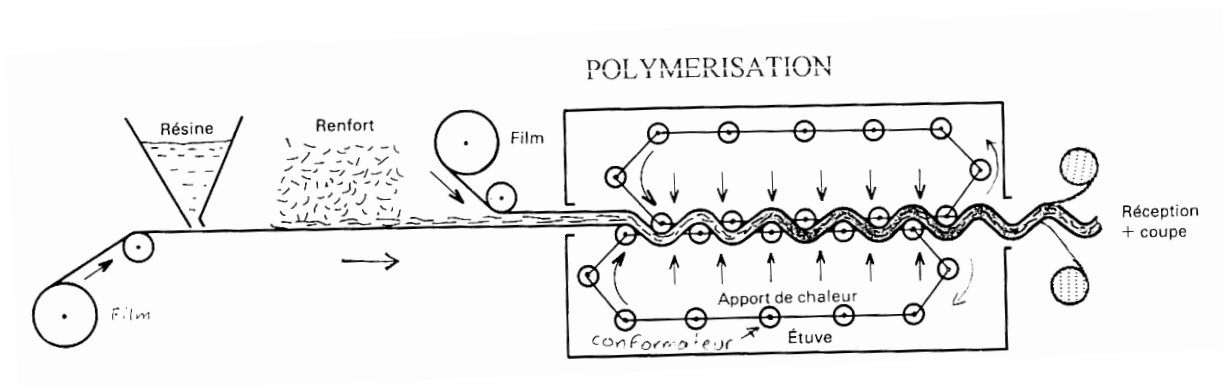
PRODUCTION EN CONTINU

Stratification en continu

∞ Le principe

Imprégnation et mise en forme en continu d'une nappe de roving coupé (ou mat) imprégnée de résine, la polymérisation étant assurée par un passage en étuve. Renfort et résine sont tractés entre deux pellicules. La mise en forme intervient en cours de polymérisation.

Ce procédé en continu permet la fabrication industrielle de plaques translucides ou opaques. Il nécessite un investissement important.





La pultrusion

∞ Le principe

Des renforts (tissus, mat ou stratifils) sont imprégnés de résine et introduits en continu dans une filière chauffée. La filière est placée dans une étuve pour réticuler rapidement la résine.

Ce procédé continu permet la fabrication industrielle de joncs et de profilés de formes diverses. C'est en quelques sortes l'extrusion des TD. Il nécessite un investissement important.

