

Chapitre III

Moulage des matières thermodurcissables

1. Généralités

2. Matériaux

3. Méthodes de moulage

3.1 Moulage par compression

3.2 Moulage par transfert

3.3 Moulage par injection et par injection-compression

4. Caractéristiques des moules

5. Caractéristiques des presses

Site : <https://choucheneslim.wordpress.com/>

Article cours et TP : [10- Procédés de mise en forme des matières plastiques](#)

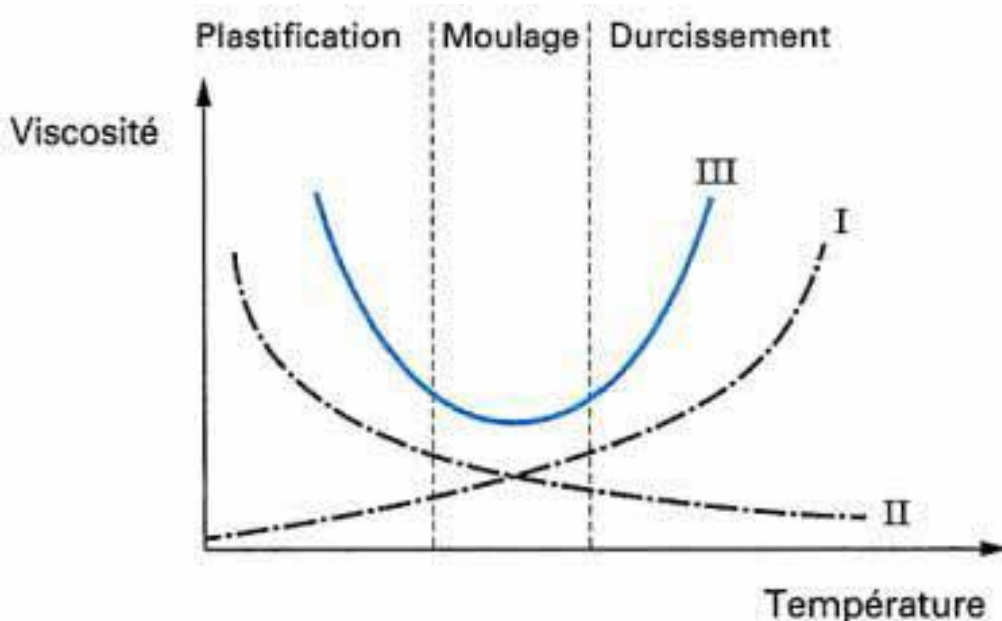
1. Généralités

1. Généralités

- ❑ Comme tous les plastiques, les matières thermodurcissables présentent (T, t) **la plasticité** nécessaire à leur mise en forme.
- ❑ **L'état rigide** permettant **le démoulage** est le résultat d'une réaction chimique irréversible.
- ❑ Les **thermodurcissables peuvent donc être démoulés à chaud**, contrairement aux thermoplastiques qui doivent être démoulés après refroidissement.

1. Généralités

- La **viscosité** η (ou son inverse : la fluidité) d'une masse de matière thermodurcissable soumise à une élévation de température évolue suivant deux processus antagonistes (figure 1).
- **Au début, la viscosité décroît** sous la simple action de la chaleur (phase plastique).
- **la température de la masse s'élève**, la **réaction chimique s'amorce** et se développe



I augmentation de viscosité par réaction chimique ;
II abaissement de viscosité par chauffage

**III viscosité résultante :
III+II+I**

Figure 1 – Variations de la viscosité des matières thermodurcissables en fonction de la température

1. Généralités

- Dans le cas des matières thermodurcissables, **l'achèvement de la réaction chimique de réticulation** nécessite également un **certain temps**.
- La notion de **temps** intervient donc dans **l'évolution de la fluidité** (figure 2)

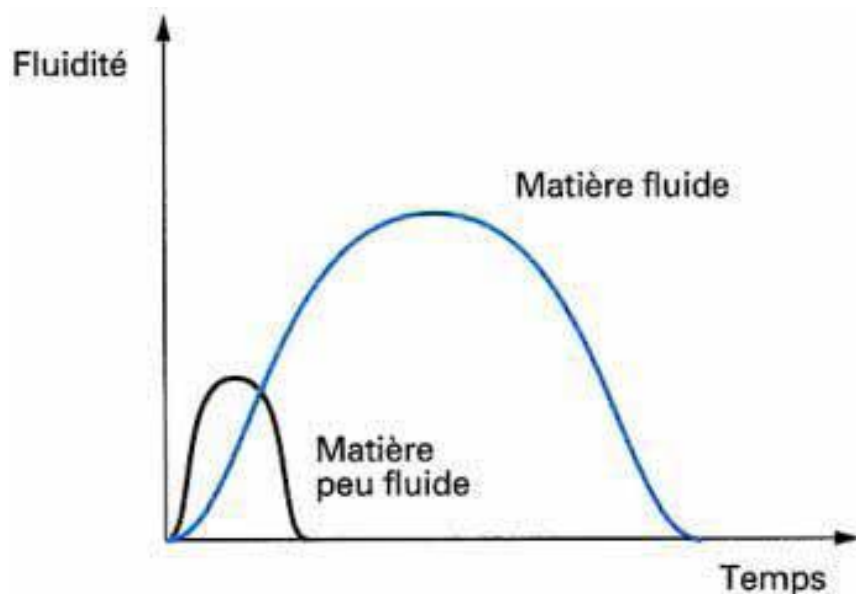


Figure 2 – Variation de la fluidité des matières thermodurcissables en fonction du temps, à température constante

1. Généralités

La **fluidité varie** également en fonction de **la pression** (figure 3).

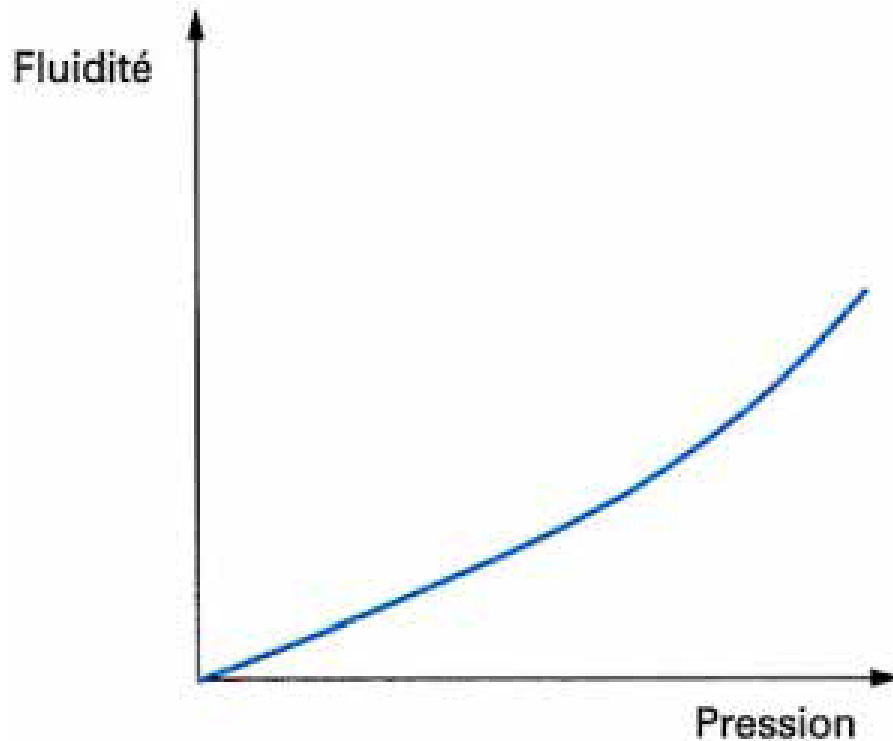


Figure 3 – Variation de la fluidité des matières thermodurcissables en fonction de la pression, à température constante

1. Généralités

- *La température,*
- *le temps*
- *et la pression*

*sont les points clés du contrôle
d'un bon moulage.*

2. Matériaux

Les **polymères thermodurcissables** moulables à chaud sous haute pression sont :

- les phénoplastes ;
- les aminoplastes ;
- les polyesters insaturés, vinylesters et hybrides ;
- les époxydes.

2.1 Phénoplastes

Les phénoplastes commercialisés pour le moulage se présentent sous forme :

- de poudres à mouler,
- BMC (*Bulk Moulding Compound*) ou DMC (*Dough Moulding Compound*),
- SMC (*Sheet Moulding Compound*),
- préimprégnés stratifiés.

Les **matières à mouler** peuvent être **transformées par compression, par transfert ou par injection**.

Les stratifiés sont moulés par compression et permettent la réalisation

- soit de pièces techniques à haute résistance mécanique (par exemple, pièces pour l'aéronautique),
- soit de panneaux de matériaux semi-finis.

2. Matériaux



Poêle KAVALKAD, aluminium,
revêtu Teflon®
Classic, **phénoplaste**

2.1 Phénoplastes



Ces flacons Pyrex gradués
sont livrés avec un
bouchon en résine
phénoplaste haute
performance.



**BMC (Bulk Molding
Compound);**



**SMC Sheet Molding
Compounds**

SMC片材

2.2 Aminoplastes

- urée-formol ;
- mélamine-formol ;
- mélamine/phénol -formol;
- mélamine-formol/polyesters.

Les **matières à mouler à base d'urée-formol** sont principalement moulées **par compression**.

Les **matières à mouler à base de résines mélamine-formol**, mélamine/phénol-formol et mélamine-formol/polyesters peuvent être transformées **par compression, par transfert ou par injection**.

Les stratifiés sont moulés **par compression**, pour l'obtention de panneaux simi-finis.

2.3 Polyesters insaturés, vinylesters

➤ Les matières à mouler peuvent être transformées **par compression, par transfert ou par injection**.

➤ Les SMC sont, en général, **moulés par compression**.

➤ Les stratifiés sont utilisés pour mouler des pièces techniques par compression.

2. Matériaux

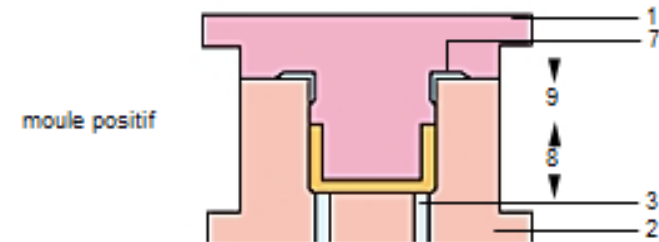
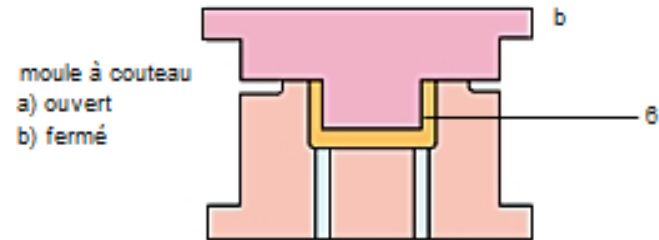
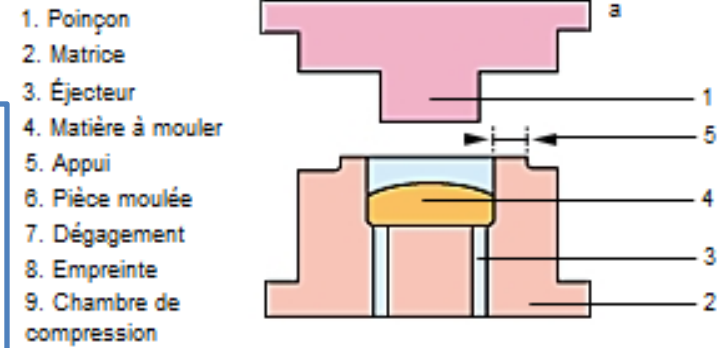
2.4 Époxydes

- ✓ Les époxydes commercialisés pour le moulage se présentent sous forme de **poudres à mouler** ou de **préimprégnés stratifiés**.
- ✓ Les matières à mouler peuvent être transformées par **compression, par transfert ou par injection**.
- ✓ Les stratifiés sont utilisés pour mouler des pièces techniques ou des panneaux semi-finis **par compression**.

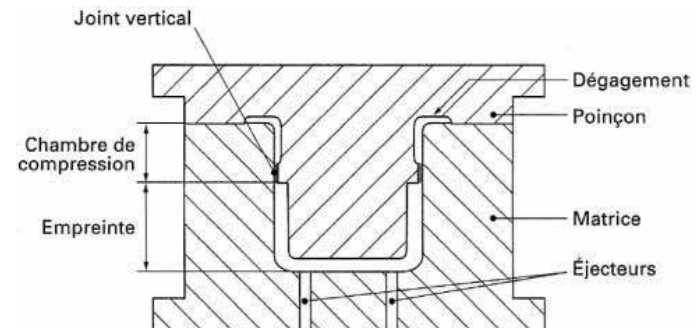
3.1 Moulage par compression

3.1.1 Principe

- ❑ Cette technique consiste **à presser, à chaud**, la matière dans un moule. La matière dosée est placée dans un moule ouvert. Le moule est ensuite fermé à **l'aide d'une presse hydraulique**.
- ❑ **Sous l'action de la chaleur et de la pression**, la matière commence par se fluidifier et prend la forme du moule **puis la réaction de réticulation se produit**.
- ❑ Il est nécessaire de **laisser la matière sous presse le temps de la réaction**, appelé **temps de cuisson**.



Principe du moulage par compression.

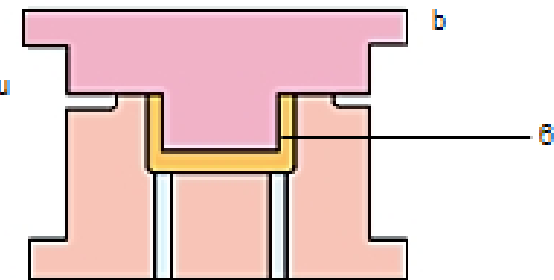
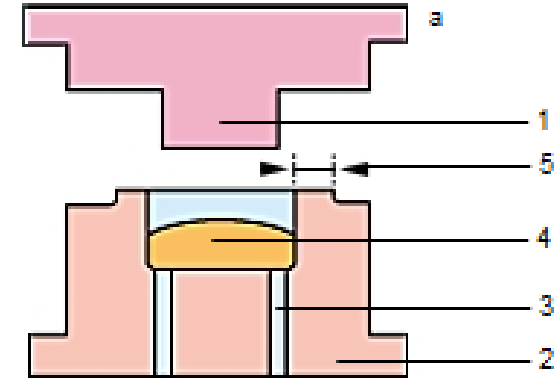


3.1 Moulage par compression

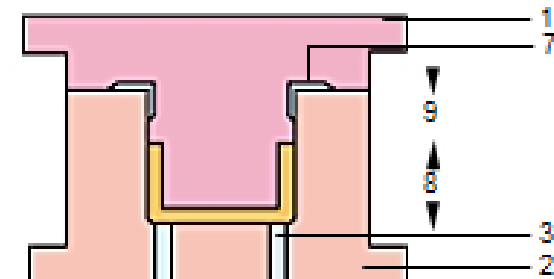
3.1.2 Cycle de moulage

- a) chargement du moule ;
- b) fermeture du moule ;
- c) dégazage éventuel ;
- d) cuisson ;
- e) ouverture du moule ;
- f) éjection des pièces ;
- g) évacuation des pièces ;
- h) nettoyage du moule ;
- i) préparation du moule pour la « moulée » suivante.

- 1. Poinçon
- 2. Matrice
- 3. Éjecteur
- 4. Matière à mouler
- 5. Appui
- 6. Pièce moulée
- 7. Dégagement
- 8. Empreinte
- 9. Chambre de compression



moule à couteau
a) ouvert
b) fermé



Principe du moulage par compression.

Joint vertical

Dégagement

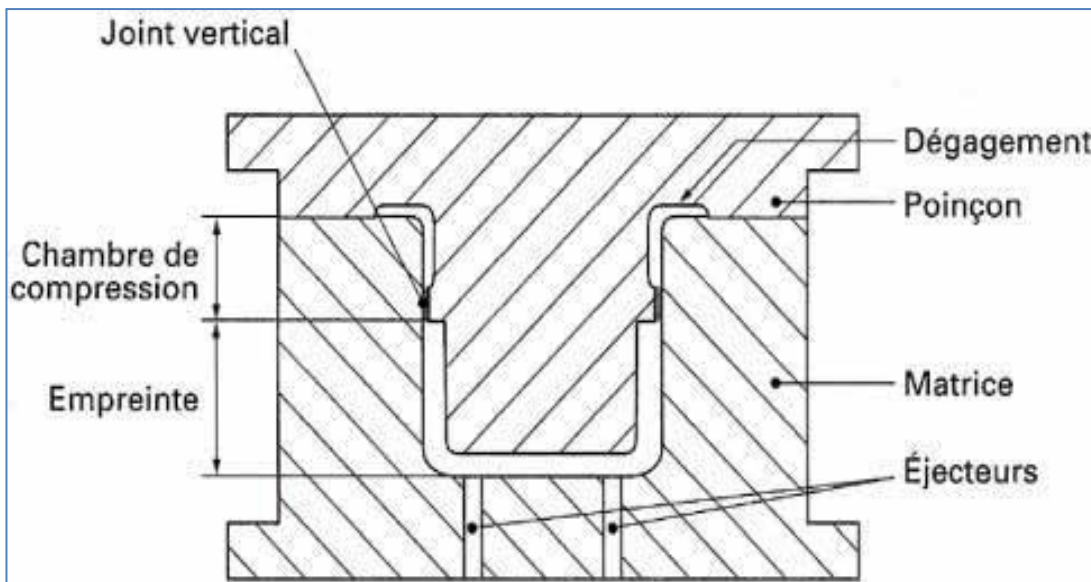
Poinçon

Matrice

Éjecteurs

Chambre de compression

Empreinte



3.1 Moulage par compression

3.1.3 Conditions de moulage en fonction du matériau

Tableau 1 – Conditions de moulage par compression (1)

	Poudres à mouler					Composites à matrice		
	Phénoplastes		Aminoplastes		Polyesters	Époxydes	phénolique	polyester
	avec charge pulvérulente	avec charge fibreuse	Urée-formol	Mélatamine-formol				
Température des empreintes (°C)	150 à 180		135 à 155	150 à 170	130 à 170	150 à 180	130 à 145	140 à 150
Pression (2) (MPa)	25 à 40	40 à 60	20 à 40	20 à 40	6 à 30	20 à 30	8 à 10	8 à 12
Temps de cuisson par mm d'épaisseur (3) (s)	40 à 60		40 à 60		40 à 60	40 à 60	30 à 60	40 à 60
Préchauffage HF	possible		possible		possible	possible	pas recommandé	
Étuvage avant moulage	possible		possible		pas recommandé		pas recommandé	
Dégazage	utile		utile		pas recommandé	pas nécessaire	pas recommandé	
État de surface du moule	chromage souhaitable		recommandé		nécessaire		pas recommandé	

(1) Les conditions de moulage figurant dans ce tableau sont des conditions générales, d'autres conditions peuvent être conseillées par le producteur de matière en fonction de la formulation ou de l'utilisation.

(2) Dans le cas d'une pièce de grande hauteur (*moulage à forte remontée* : plus de 100 mm), il est recommandé d'augmenter la pression de 5 à 10 MPa.

(3) Le temps de cuisson indiqué est un temps de cuisson sans préchauffage. L'utilisation du préchauffage HF (par haute fréquence), lorsque cela est compatible avec la matière, permet une réduction du temps de cuisson de 25 à 40 %.

VIDEOS :

1. [13 00 Les procédés de transformation des Thermodurcissables](#) (procédés et matières)

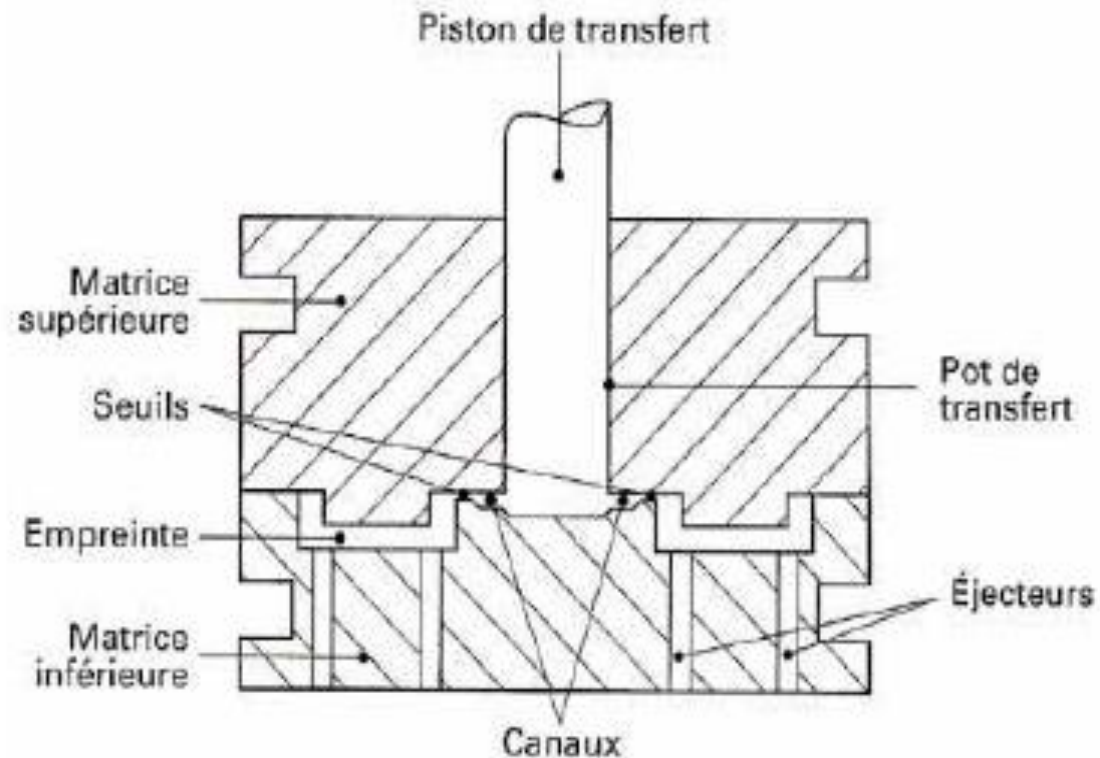
3.2 Moulage par transfert

3.2 Moulage par transfert

3.2.1 Principe

Le moulage par transfert consiste à transférer, sous pression, la matière à mouler placée dans une cavité auxiliaire dénommée **pot de transfert**, vers les empreintes d'un moule chaud fermé.

Le transfert n'est possible que si la viscosité de la matière est faible (ou la fluidité élevée).



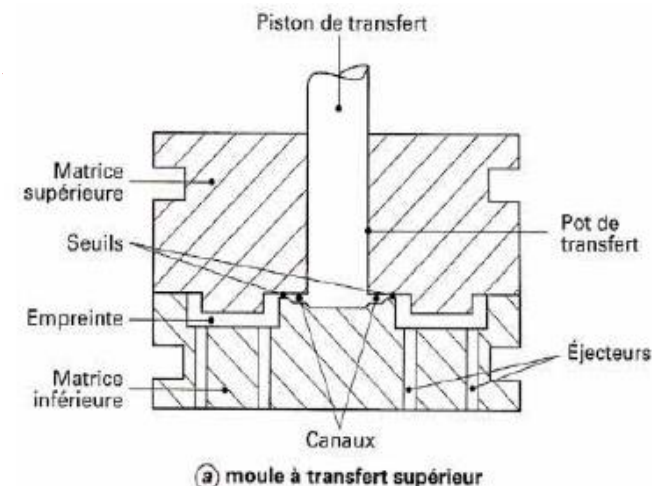
Ⓐ moule à transfert supérieur

3.2 Moulage par transfert

3.2.2 Cycle de moulage

Dans le cas d'une presse de transfert à deux vérins **avec vérin de transfert supérieur**, le cycle de moulage se décompose de la façon suivante :

- a) fermeture du moule ;
- b) mise en place de la matière préchauffée dans le pot de transfert ;
- c) application de la pression de transfert ;
- d) cuisson ;
- e) ouverture du moule ;
- f) éjection ;
- g) évacuation des pièces ;
- h) nettoyage du moule ;
- i) préparation du moule pour la « moulée »



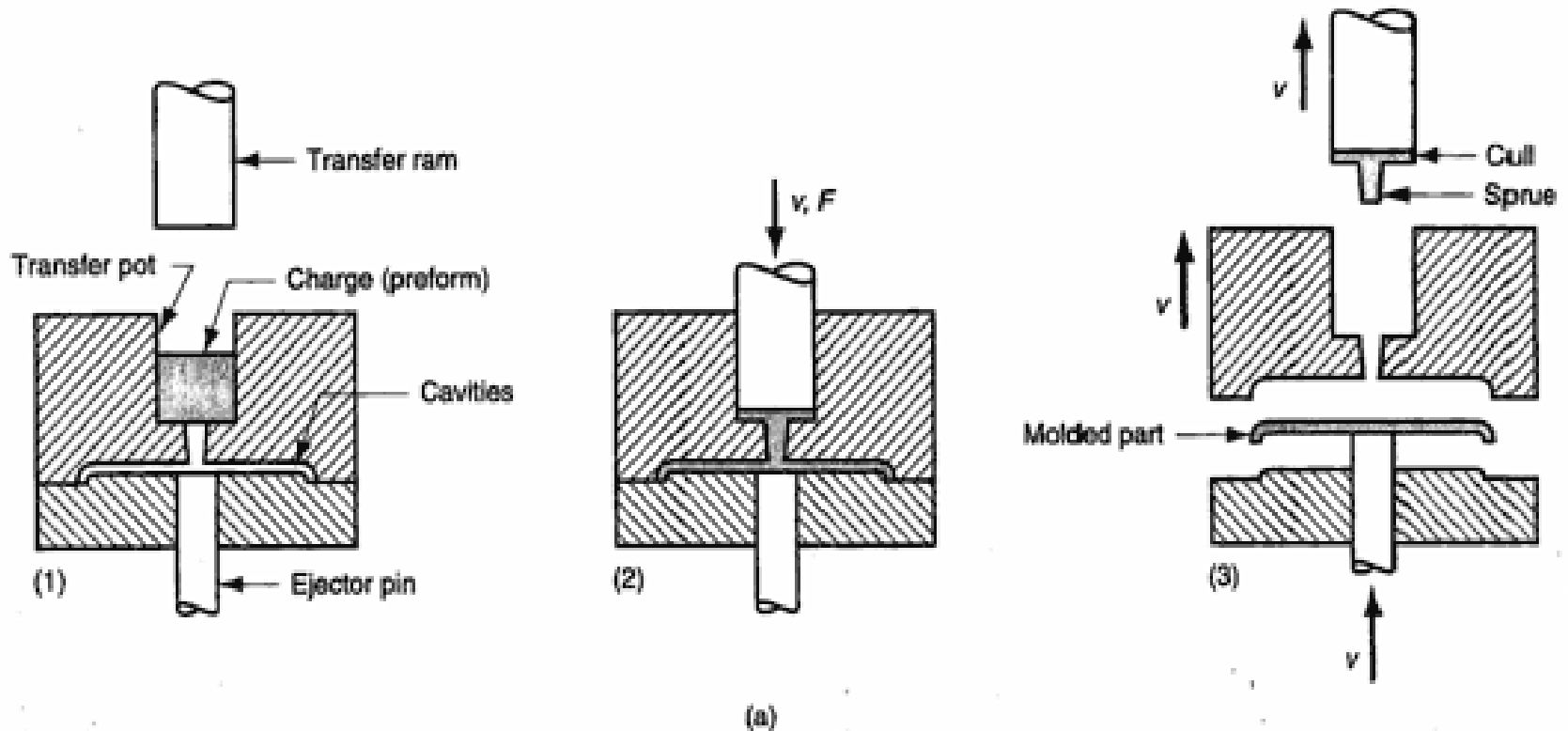
3.2 Moulage par transfert

3.2.3 Conditions de moulage en fonction du matériau

Tableau 2 – Conditions de moulage par transfert (1)		
	Matières	Conditions
Poudres à mouler	Phénoplastes à charge pulvérulente	Pression : 60 à 80 MPa
	Aminoplastes : – urée-formol	Transfert déconseillé
	– mélamine-formol	Transfert possible, pression : 80 à 120 MPa
	Polyesters.....	Pression : 30 à 80 MPa
	Époxydes	Pression : 2 à 80 MPa
Composites	BMC ou DMC	Transfert possible mais risque de détérioration et d'orientation des fibres
	SMC	Transfert impossible
	Stratifiés	Transfert impossible

(1) Températures : voir tableau 1.
Temps de cuisson : réduction d'environ 2/3 par rapport aux temps indiqués dans le tableau 1.
Préchauffage (HF ou plastification par vis-fourreau) indispensable.

3.2 Moulage par transfert



(a) Pot transfer molding,

Cycle processes is :

- (1) charge is loaded into pot;
- (2) softened polymer is pressed into mold cavity and cured; and
- (3) part is ejected.

3.3 Moulage par injection et par injection-compression

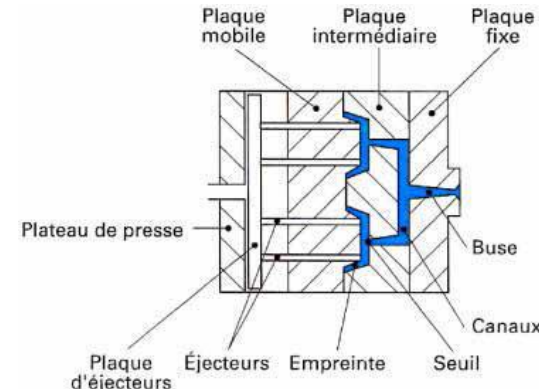
3.3 Moulage par injection et par injection-compression

3.3.1 Principe

Une vis-piston se déplaçant dans un cylindre, ou fourreau, chauffé (généralement par circulation d'un fluide) assure la **préplastification** et le **dosage** de la matière, puis **son injection** directe dans le moule chaud par l'intermédiaire d'une buse et de canaux.

Le procédé est très voisin de celui utilisé pour le moulage des thermoplastiques .

• Le moulage par injection peut être considéré comme une amélioration, **par automatisation, du moulage par transfert.**

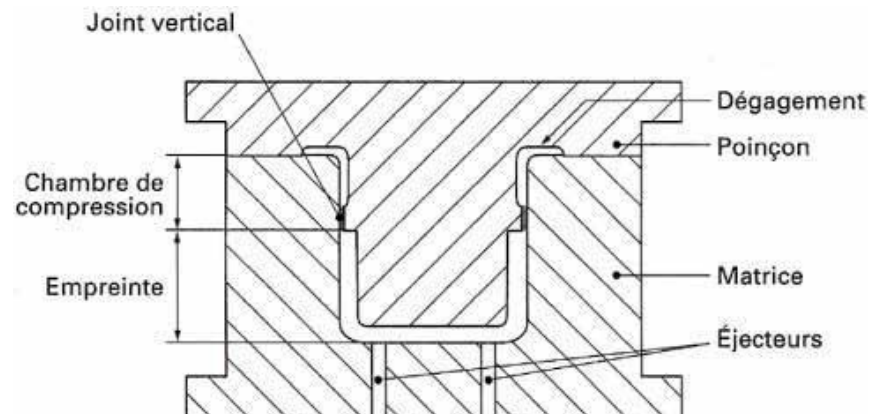


Caractéristiques des moules

Les moules doivent pouvoir assurer différentes **fonctions** :

- **mise en forme** ;
- **apport thermique** ;
- **assurance de la dureté de forme pendant la cuisson** ;
- **extraction de la pièce**.
 - La **mise en forme** est assurée par une empreinte creuse et par un piston (ou poinçon) en relief. Lors du déplacement relatif de ces deux parties, le centrage est assuré par des goujons se déplaçant dans des bagues.
 - Le moule peut être chauffé soit directement, soit par l'intermédiaire de plateaux chauffants fixés sur la presse. Le chauffage est obtenu par circulation d'un fluide dans des canaux, ou plus généralement, par des résistances électriques incorporées dans la masse (moule ou plateaux).
 - L'**absence de déformation** pendant la cuisson est assurée par le système de fermeture ou le joint du moule.
 - Des **éjecteurs** permettent l'extraction des pièces.

4.1 Moules de compression



Caractéristiques des moules

4.1 Moules de compression

4.2 Moules de transfert

Les moules de transfert peuvent être :

- à **transfert direct supérieur** c'est-à-dire par le haut (figure **11a**) ;
- à **transfert direct inférieur**, c'est-à-dire par le bas (figure **11b**) ;

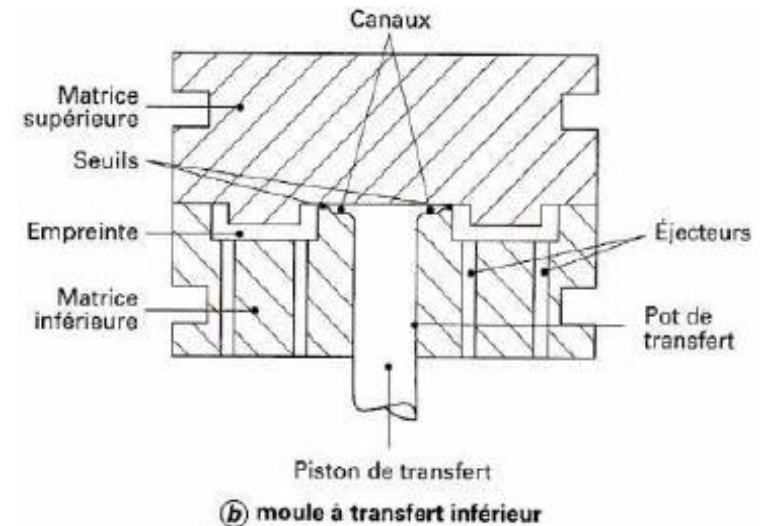
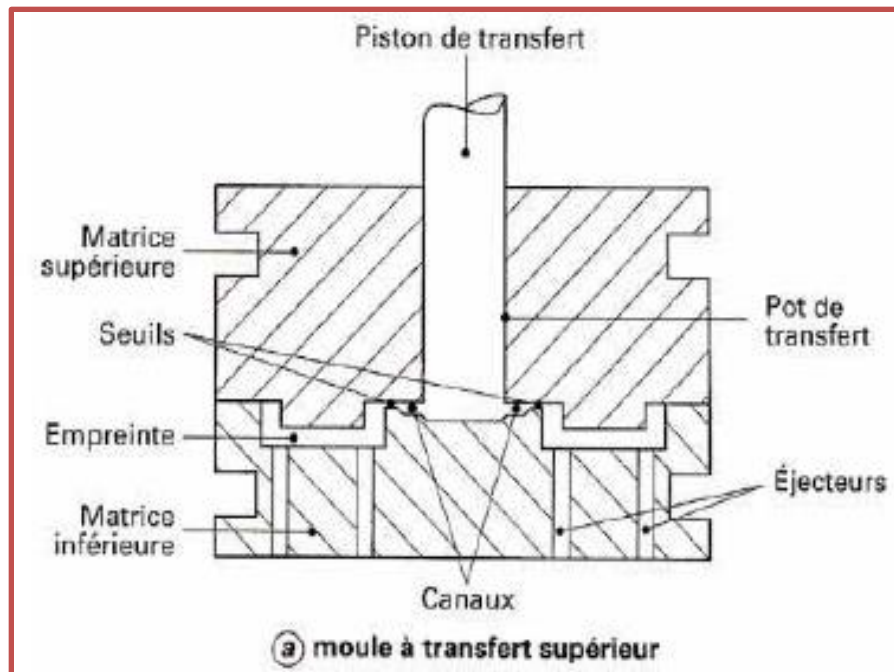


Figure 11 – Moules de transfert pour moulage sur presse de transfert à deux vérins

Caractéristiques des moules

4.1 Moules de compression

4.2 Moules de transfert

4.3 Moules d'injection

Les moules pour moulage par injection sont à **deux ou trois plaques** (figure 13). Ils peuvent être à coquilles ou comporter des tiroirs.

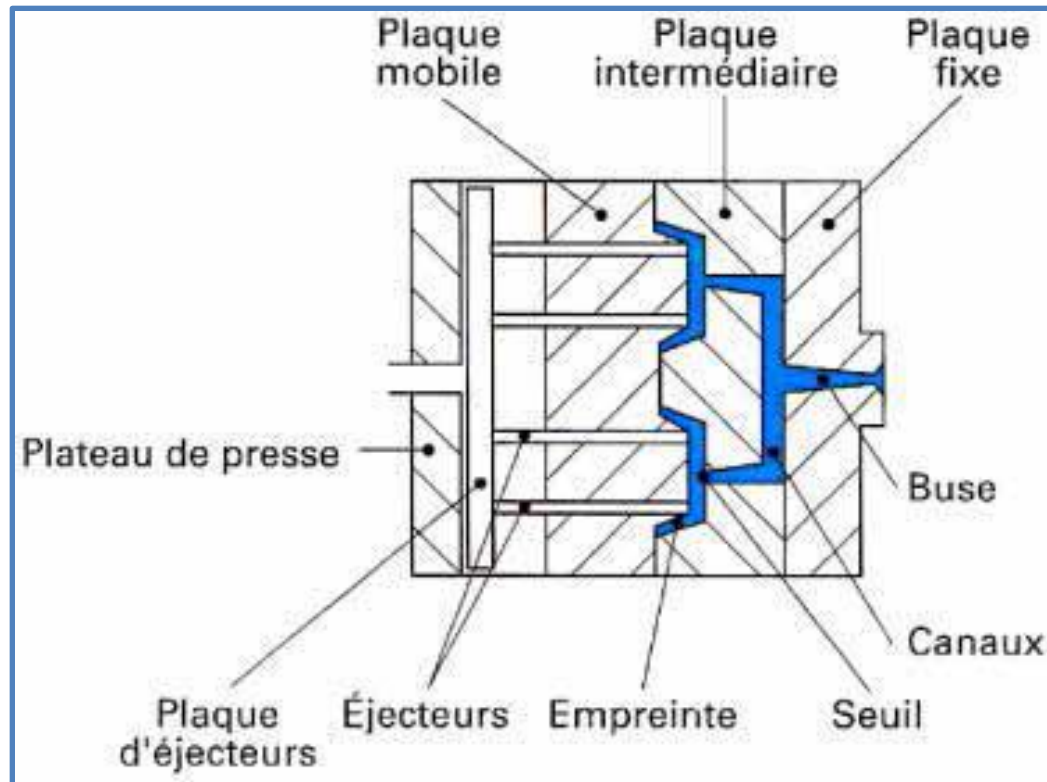


Figure 13 – Moule d'injection à trois plaques

Caractéristiques des presses

5.1 Presses de compression

Elles sont principalement constituées **de deux plateaux** : l'un fixe, l'autre mobile (figure 14). Les mouvements sont généralement commandés par un dispositif hydraulique (vérin). Les presses utilisées pour la production de **panneaux stratifiés** (par exemple des stratifiés décoratifs) peuvent comporter plusieurs plateaux mobiles superposés, ce qui permet de presser simultanément plusieurs panneaux.

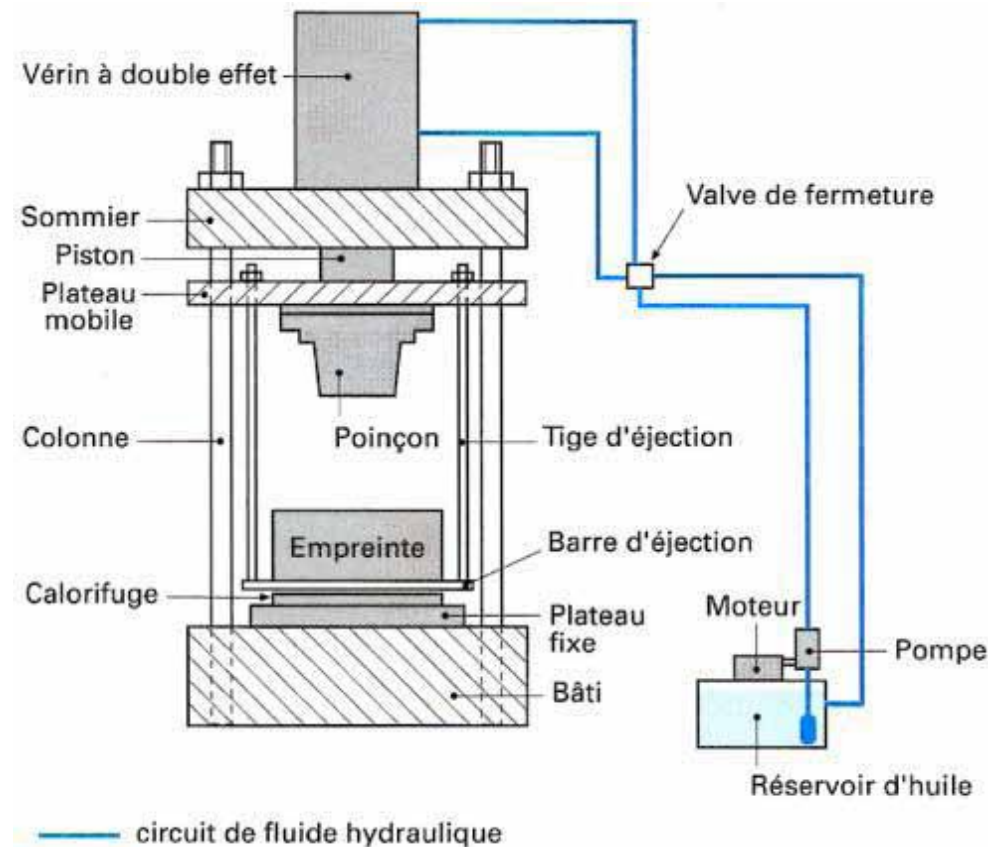


Figure 14 – Presse de compression descendante à colonnes

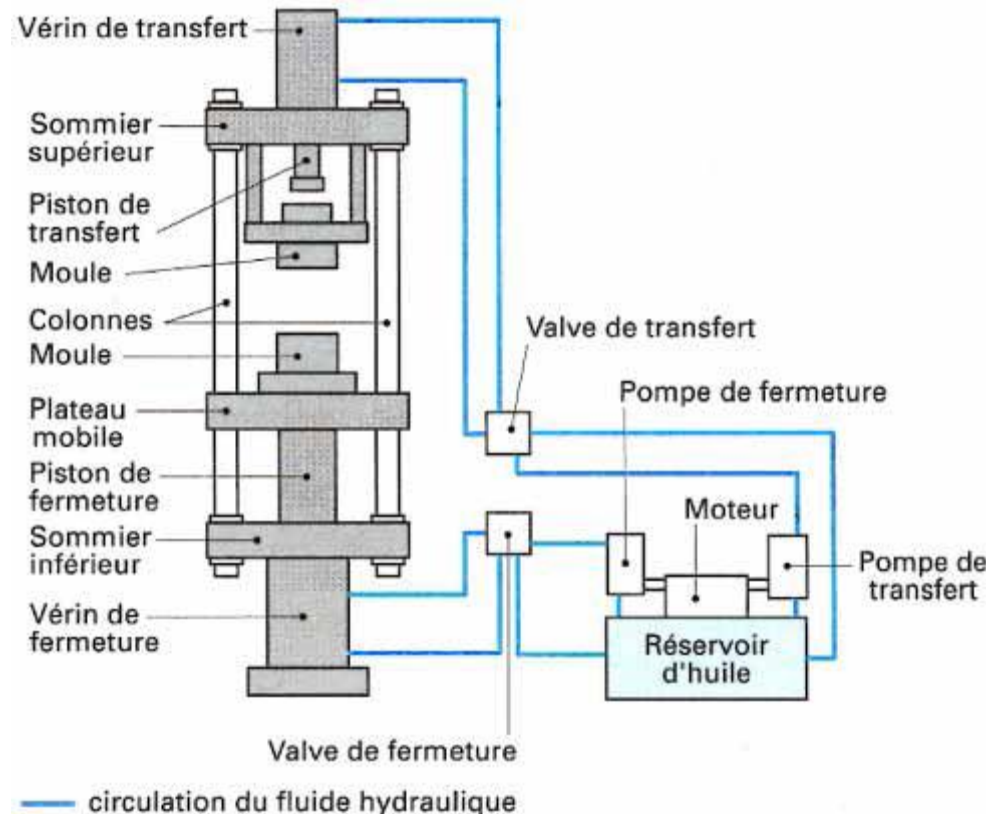
Caractéristiques des presses

5.2 Presses de transfert

Les presses de transfert (figure 15) sont des presses de conception comparable à celle des presses de compression. Elles comportent **deux vérins** de sens opposés : **l'un pour le verrouillage du moule, l'autre pour le transfert**. La force du vérin de transfert est généralement de l'ordre de $1/5$ de la force du vérin de fermeture.

Les presses de transfert sont souvent des presses verticales, mais il existe des presses de transfert automatiques horizontales, qui présentent l'avantage de permettre l'évacuation des pièces moulées par gravité.

Figure 15 – Presse de transfert hydraulique à vérin de transfert supérieur



Caractéristiques des presses

5.3 Presses d'injection

Les presses d'injection (figure 17) utilisées pour le moulage des matières thermodurcissables sont toujours des **presses à préplastification par vis**.

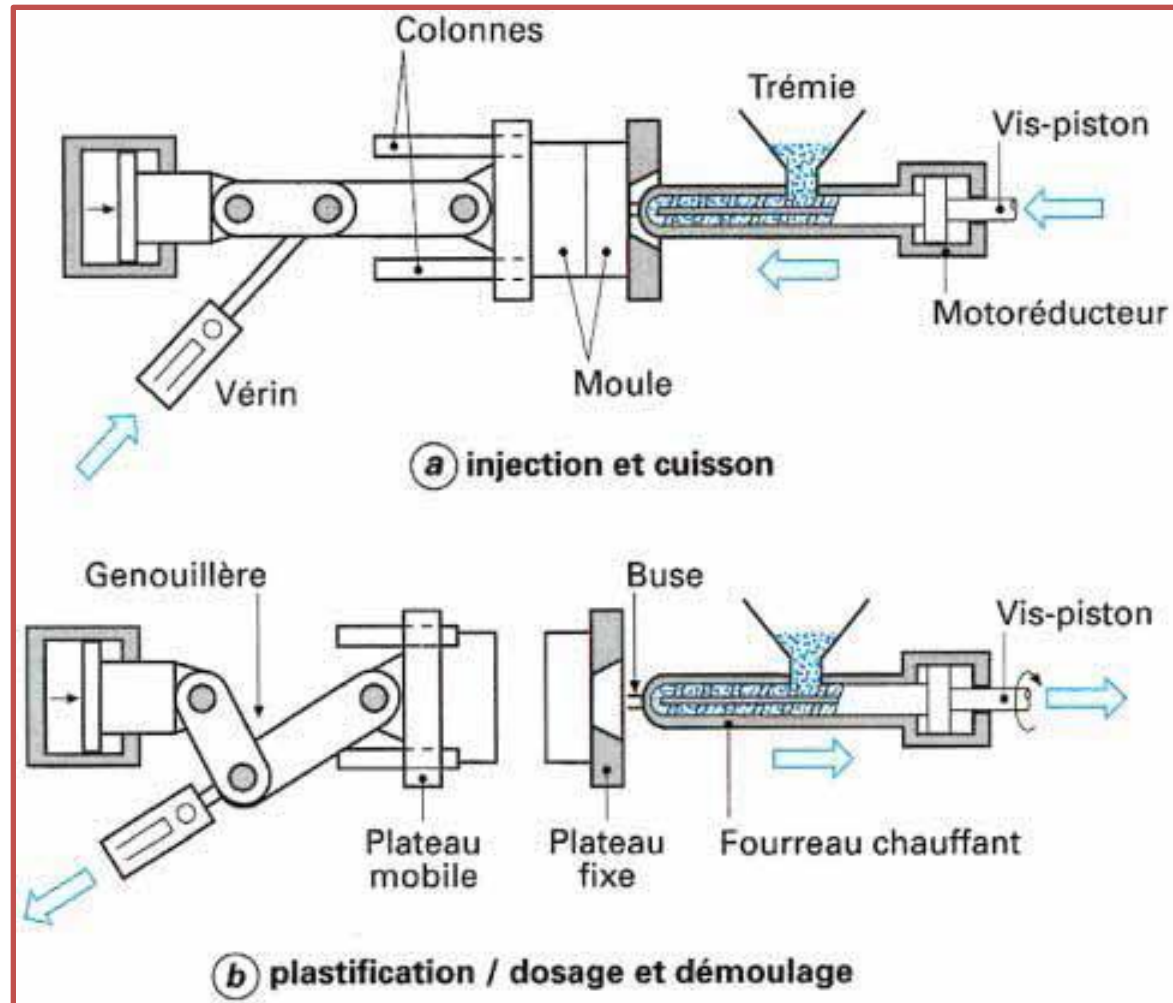
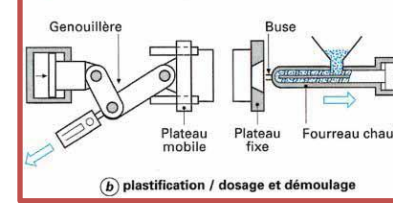


Figure 17 – Presse d'injection à genouillère



5.3 Presses d'injection

Les différences tiennent au caractère thermodurcissable des matières traitées. Ces différences sont indiquées ci-après.

- **La vis doit être sans taux de compression** qui risquerait d'engendrer des dégagements de chaleur importants. Elle sert uniquement à mélanger et à transporter la matière. Le rapport longueur/diamètre est de l'ordre de 15 à 20.
- **L'unité d'injection ne nécessite pas de clapet anti-retour** sauf dans le cas de la transformation des polyesters (BMC, DMC ou SMC).
- **Le chauffage du fourreau doit être effectué par circulation de fluide** pour éviter l'auto-échauffement.
- **Le contrôle et le réglage de la contre-pression** doivent être très précis.
- La presse doit être équipée d'un dispositif de blocage antirotation pour éviter le reflux de matière pendant l'injection.
- **Le moule est pourvu d'un dispositif de chauffage**, généralement électrique .

Les presses utilisées pour l'injection des matières thermodurcissables sont équipées de vis dont le diamètre est de l'ordre de 30 à 90 mm avec une capacité d'injection de 100 à plus de 1 500 cm³.

La pression d'injection maximale peut varier de 150 à 250 MPa et la force de fermeture de 400 à 5 000 kN. Une même unité de fermeture peut recevoir différentes unités d'injection permettant de faire varier la capacité et la pression d'injection.

