

CHAPITRE III

INJECTION

DES THERMOPLASTIQUES

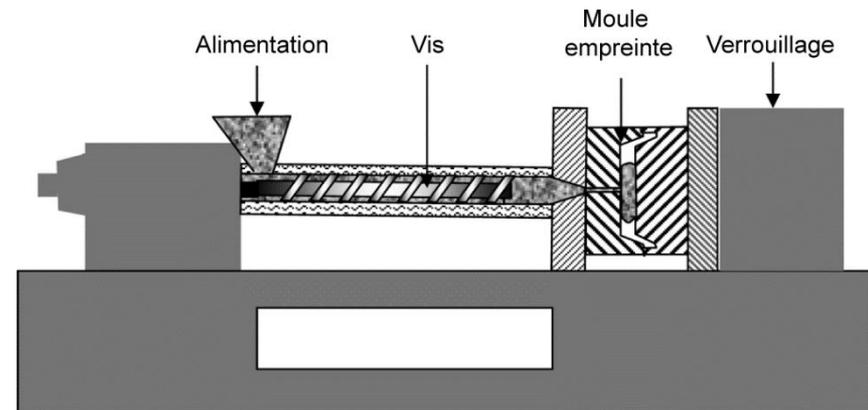
1. **Injection classique**
2. **Le moule**
3. ***La technicité des PIÈCES***
4. **Périphériques des presses à injecter**
5. **TYPES DE PRESSE À INJECTER**
6. **Les réglages machines**
 1. **Estimation de la force de fermeture**
 2. **Efforts mis en jeu en injection**
 3. **Pertes de charges**
 4. **Calcul du volume injectable**
 5. **Calcul de la course de dosage**
 6. **Calcul de la vitesse rotation vis**
 7. **Calcul du temps de refroidissement**

- **Site 'Slim CHOUCHE' :** <https://choucheneslim.wordpress.com/>
- **Article** cours et TP : [10- Procédés de mise en forme des matières plastiques](#)
- **PLAYLIST YOUTUBE** « **Procédés - Injection des thermoplastiques** » :
<https://www.youtube.com/playlist?list=PLVdWnPZXu-OgS3fJqc1-JE5g3xQcyhQPv>

1.1 Principe

Le moulage par injection sur une presse est le principal procédé de transformation des thermoplastiques. Le principe général de fonctionnement est le suivant :

1. du thermoplastique solide en matière visqueuse injectable, c'est la phase de plastification-dosage,
2., c'est la phase de remplissage du moule avec la matière précédemment plastifiée,
3. de la matière dans le moule,
4. de la pièce.

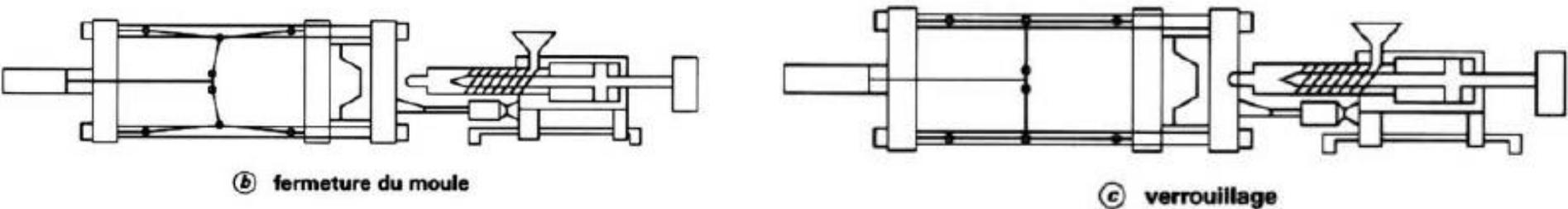


1.2 Cycle de moulage

3

Les six phases essentielles du procédé de moulage constituant le cycle de fabrication.

Fermeture du moule : ce mouvement commence avec une vitesse lente puis rapide, et se termine de nouveau lentement pour éviter le choc entre les plans de joint et pour donner le temps d'agir au système de sécurité.



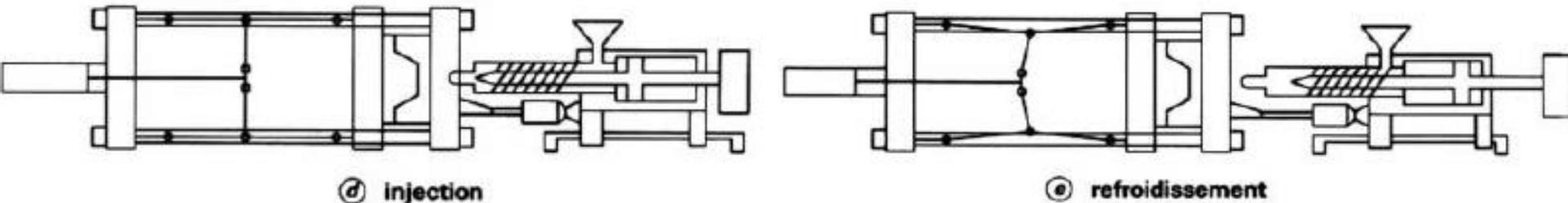
..... : Selon le système de fermeture, la force est créée par le produit de la surface et de la pression, ou par la mise en contrainte des colonnes.

1.2 Cycle de moulage

4

Les six phases essentielles du procédé de moulage constituant le cycle de fabrication.

..... : c'est la phase de remplissage de(s) (l') empreinte(s) avec la matière plastifiée et le maintien sous pression pour compenser les retraits.



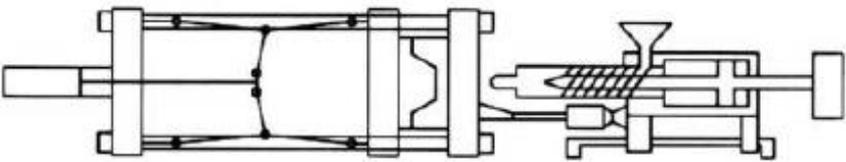
..... : il a lieu le temps nécessaire pour que le plastique se solidifie dans le moule. Dans la pratique, on plastifie souvent, pendant ce temps, la matière pour le prochain cycle. De plus, si nécessaire au cours de ce temps, on peut séparer la buse du cylindre d'injection et le moule.

1.2 Cycle de moulage

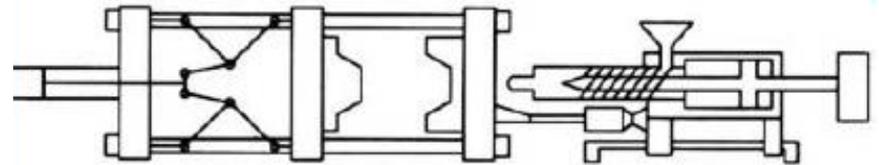
5

Les six phases essentielles du procédé de moulage constituant le cycle de fabrication.

.....: le plastique étant suffisamment refroidi pour pouvoir être démoulé, la partie mobile du moule s'écarte de la partie fixe.



(b) fermeture du moule



(a) démoulage

..... : le moule occupe la position de fin d'ouverture qui assure à la pièce l'espace libre pour être éjectée.



Vidéos

CYCLE DE MOULAGE :

1. 1 INJECTION 0 simulation et réel dosage cycle de moulage bavure rôle de groupe fermeture
2. 1 INJECTION Presse d'injection
3. 1 INJECTION 0 Domaines d'ppl pièces injectées principe de l'injection simulation et réelle
4. 1 INJECTION 0 partie de la machine Molding Machine Components

1.2 calcul économique

7

- Tout calcul économique concernant les pièces moulées par injection est fondé sur la production horaire de la presse.
- La formule de base est donc :

$$\mathbf{PH = 3\ 600\ NE/C}$$

avec

PH (pièces/ h) production horaire,

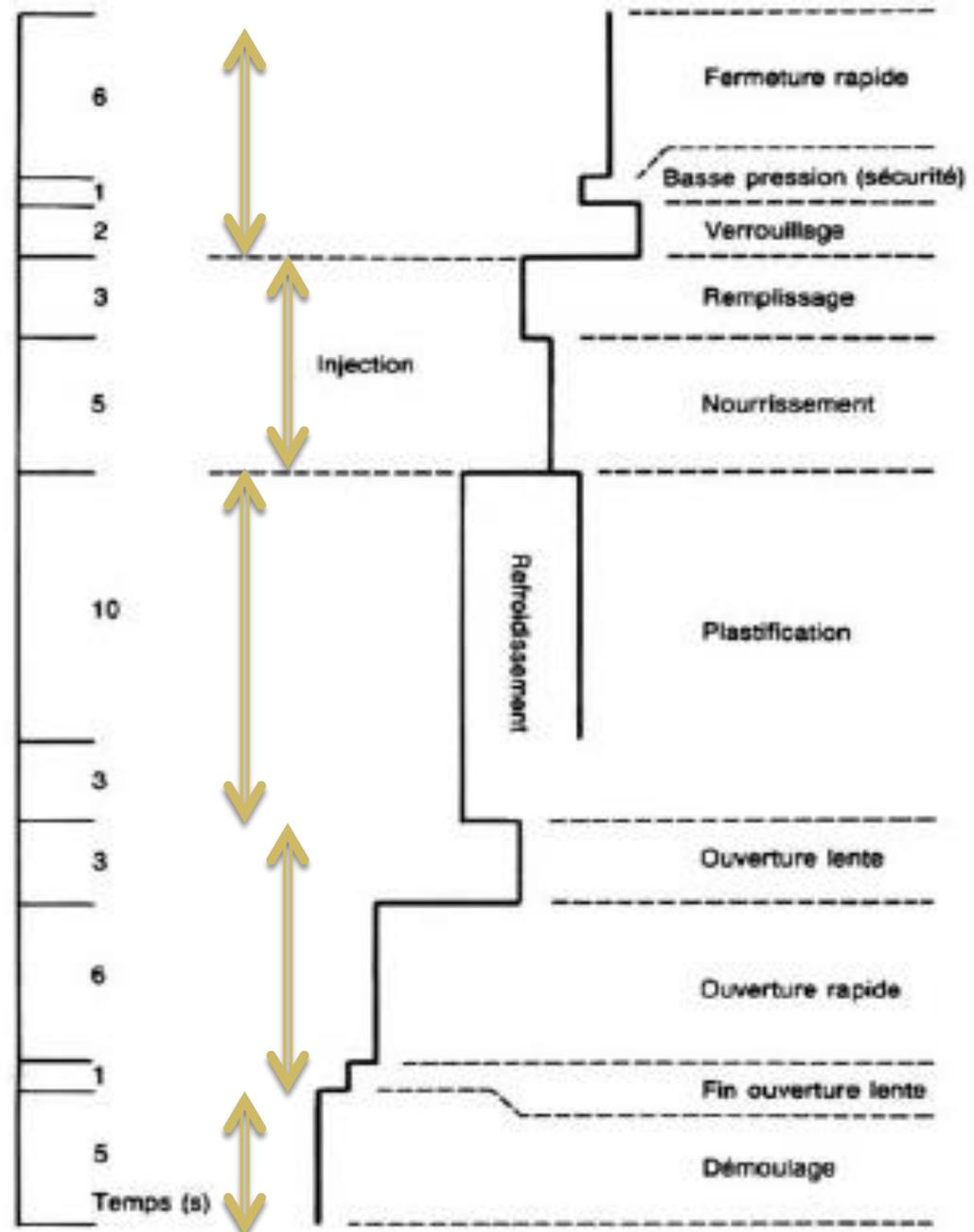
NE nombre d'empreintes du moule,

C (s) cycle de moulage.

1.2 Durée des différentes phases de moulage

8

La durée des temps indiquée pourrait correspondre à une presse de 200 à 250 tf (2 000 à 2 500 kN) de fermeture.



1.3 Conditions de mise en œuvre

9

Matières	Température matière °C	Température moule °C	Pression d'injection Pi(bars)	Pression de maintien (bars)
PE-HD	260/310	50/70	600 / Pmax	30 à 100% de Pmax
PP	250/270	40/100	600 / Pmax	50 à 100% de Pmax
PS	180/230 <250	20/60	1000 / Pmax	
ABS	220/280	60/80	800 / 1400	
PA 6.6				
PA 6	240/290	80/90	800 / 1300	20 à 60% de Pi
POM	180/220 <230	50/120	800 / 2000 ////1400	Pi Promenns : 1/2 Pi
PC	270/320	80/120	800 / 2000	70% de Pi
PVC	170/190	50/60	1200 / 1400	50 à 80% de Pi
PMMA	200/250	40/90	500 / 2000	Décroissante

1.4 Intérêt et limites

10

□ **Intérêt**

- Cadences de production
- Homogénéité et précision des pièces moulées

□ **Limites**

- Presses et moules onéreux (qui occasionne des frais importants) ;

2. Le moule

Les fonctions d'un moule sont les suivantes :

- Permettrede la pièce à la forme et aux cotes désirées ;
- la matière sortant de la vis de la presse, à l'état visqueux ;
- Permettre le convoyage de la matière jusqu'à l'extrémité de chaque empreinte
- la matière dans l'empreinte en une pièce telle que souhaitée (être indéformable : les empreintes ne doivent pas fléchir sous la pression d'injection
- Permettre la restitution de la pièce (.....) et du surplus de la matière solidifiée (carotte)

2. Le moule

12

Les fonctions complémentaires concernent :

- **La régulation de la température** : le moule doit être capable d'évacuer le plus rapidement possible la quantité de la chaleur amenée par le polymère liquide.
- **L'assemblage et la fixation** sur la presse
- **La récupération de la pièce** par un opérateur ou un bras manipulateur.



Vidéos

Moule d'injection :

1. [1 INJECTION 0 Parties et fonctions du MOULE dépouille](#)
2. [1 INJECTION moule à tiroirs](#)
3. [1 INJECTION 10 Bouchons 2F rot int](#) (moule spécifique rotation intérieure)
4. [1 INJECTION 10 Bouchons 2F rapides](#) (moule spécifique)
5. [1 INJECTION 10 Bouchons 2F Stack Turn](#) (moule empilé tournant-moule spécifique)
6. [1 INJECTION simulation du moule](#) (**En anglais**)

3. *La technicité des PIÈCES*

Le choix de la presse est défini par :

- Le type de technicité de process suivant les pièces à injecter

- Pour une pièce complexe, il faudra une machine avec une grande précision de mouvements.

- Exemple avec une Boucle d'asservissement sur l'injection indépendante (précision).

3. *La technicité des PIÈCES*

- On distingue 3 types de familles de technicité de process :
 - ▣ **Les process normaux** (Contrainte).

 - ▣ **Les process techniques** (Contraintes
.....)

 - ▣ **Les process de précision** ou/et de haute cadence
(Contraintes).

4. Périphériques des presses

Composantes Presse

Support et guidage

Commande

Plaques et colonnes

Moule

Protection

Alimentation

Trémie



Groupe de
Plastification

- Fourreau
- Vis
- Résistances chauffantes

Groupe

ouverture-fermeture

Chassis et puissance

4. Périphériques des presses



1.(étuvage) : sécher les matières plastiques humidifiées lors du transport ou du recyclage



2.de matière (chargeur automatique à vide): transporter la matière vers la machine



3.: contrôler avec précision la température de l'eau

4.: découper en paillettes les produits en matières plastiques





Vidéos

Architecture des presses à injecter :

1. 1 INJECTION Presse d'injection
2. 1 INJECTION 0 partie de la machine Molding Machine Components
3. 1 INJECTION 0 simulation de l'unité de plastification
4. 1 INJECTION 0 simulation plastification et injection **GROUPE INJECTEUR**
5. 1 INJECTION COLIER DE CHAUFFAGE Plastic Injection Molding
6. 1 INJECTION 0 simulation et réel dosage cycle de moulage bavure rôle de groupe fermeture (**Groupe de fermeture**= à partir de 1min35 ; **RESUME cycle de moulage**= à partir de 2min38)

5. TYPES DE PRESSE À INJECTER

Architecture générale. Domaines d'emploi

➤ **Les systèmes de fermeture des presses et les groupes de plastification peuvent être disposés**

..... **OU**

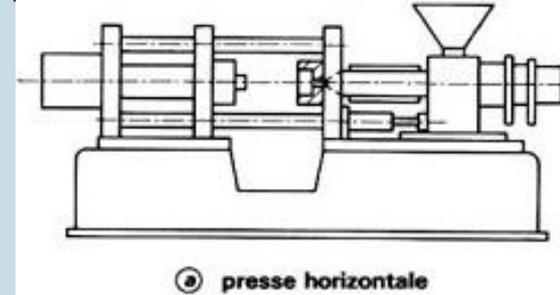
Les combinaisons de ces deux possibilités conduisent aux diverses dispositions représentées par la figure 20.

- 1. La presse**
- 2. La presse verticale**
- 3. Les presses d'angle**

5. TYPES DE PRESSE À INJECTER

La presse horizontale en ligne (figure 20a)

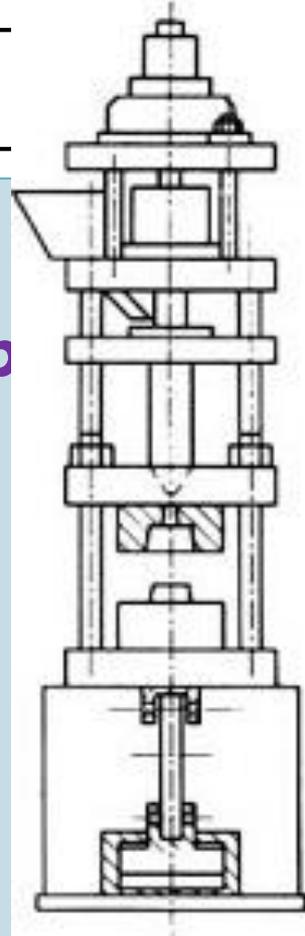
- ,
- mais ses organes sont très ,
- mise en place des moules est aisée
- ne demande pas de grande hauteur sous plafond.
- Elle se prête bien à l'automatisation de la production (les pièces moulées tombent naturellement par gravité)
- il suffit de vaincre les forces de frottement lors du déplacement de la partie mobile du moule (mouvements d'ouverture et de fermeture rapides)
- le plus répandu (facilités d'automatisation et des cadences élevées possibles.)



5. TYPES DE PRESSE À INJECTER

La presse verticale (figure 20b)

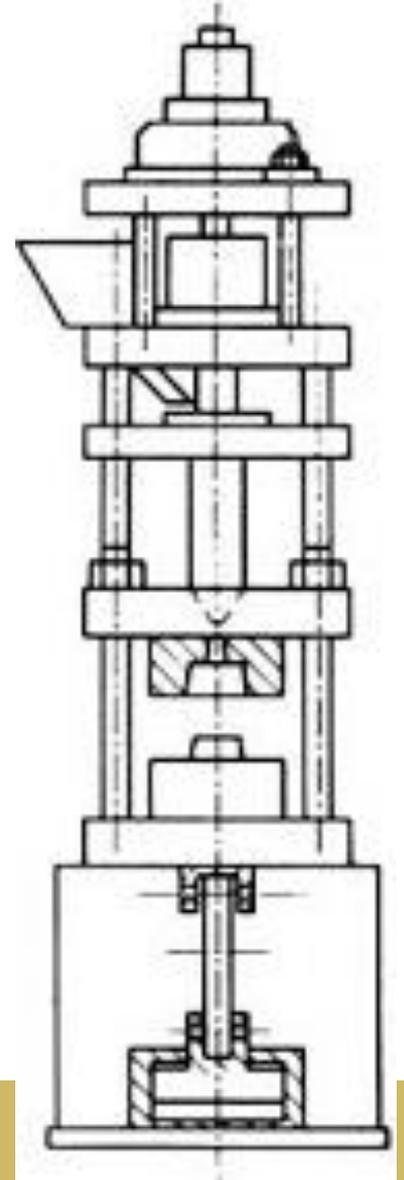
- a un encombrement au sol limité
- la hauteur peut devenir gênante
- stabilité laisse à désirer.
- mise en place du moule est pénible,
- le chargement de la trémie peu facile
- les organes supérieurs sont peu accessibles.
- Les cadences élevées ne sont guère possibles (il faut soulever le lourd plateau mobile à chaque cycle) ; l'automatisation est plus difficile



5. TYPES DE PRESSE À INJECTER

La presse verticale (figure 20b)

- Pratiquement ce type de machine garde son intérêt dans les fabrications de **pièces avec insertions**, car le moule est très accessible et les prisonniers tiennent souvent en place par gravité.
- Les sont également facilités
- ainsi que la fabrication de certaines **pièces de précision** (usure moins rapide des guidages du plateau mobile).





Vidéos

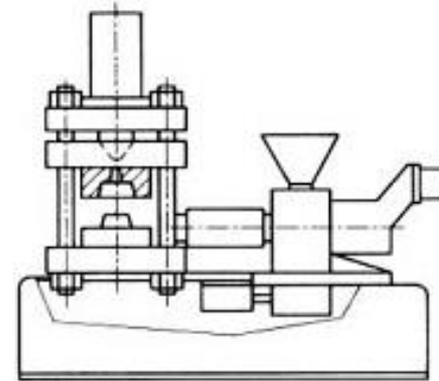
Architecture des presses à injecter :

1. INJECTION machine d'injection verticale

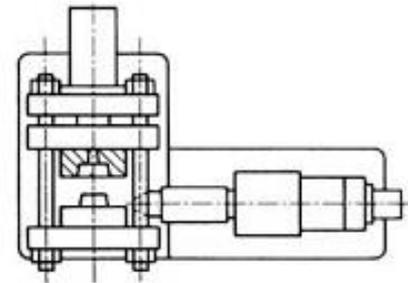
5. TYPES DE PRESSE À INJECTER

La presse d'angle (figures 20c et d)

- ne sont pas courantes.
- sont très accessibles,
- **L'alimentation des objets moulés se fait directement par le plan de joint, ce qui évite tout changement de direction du canal principal d'alimentation**
- on peut prévoir un mécanisme d'éjection sur les deux plateaux de la machine.



© presse d'angle, fermeture verticale, injection horizontale



© presse d'angle, fermeture horizontale, injection horizontale (vue de dessus)

5. TYPES DE PRESSE À INJECTER

Autres types

26

Presses multi-injection



5. TYPES DE PRESSE À INJECTER

Autres types

27

Presses multi-injection

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">■ Possibilité de plusieurs unités d'injection (jusqu'à 5 unités d'injection)■ Injection dans le plan de joint	<ul style="list-style-type: none">■ Mise en place des inserts peu facile■ Encombrement au sol important

5. TYPES DE PRESSE À INJECTER

Autres types

28

Presses Hydraulique

- Tous les mouvements et efforts sont effectués par de l'hydraulique.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">■ Standardisation■ Vaste espace pour les moules volumineux■ Gamme très vaste de 150 à 20.000kN (voir plus)■ Prix abordable pour fabrication de pièces standards	<ul style="list-style-type: none">■ Huile■ Précision■ Rapidité■ Peu économe en énergie

5. TYPES DE PRESSE À INJECTER

Autres types

29

Presses Hybride

- les mouvements et efforts sont effectués soit par de l'hydraulique et moteurs électriques.

5. TYPES DE PRESSE À INJECTER

Autres types

30

Presses Electrique

- *Tous les mouvements et efforts sont effectués par des sevro-moteurs électriques.*

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">■ Gain de temps■ Précision des mouvements■ Silence■ Propreté■ Possibilité de mouvement simultané■ Baisse de la consommation d'énergie et eau	<ul style="list-style-type: none">■ Taille disponible■ Investissement■ Utilisation impossible d'outillages à noyau hydraulique

6. Les réglages machines

6. Les réglages machines

6.1 CALCUL DE FORCE DE VERROUILLAGE FV [TONNE]

32

But : Estimer la force de fermeture mini pour éviter que le moule ne s'ouvre à l'injection.

$$FV = 1,1 \times PM \times SF$$

Avec

PM : pression matière [Bar]

SF : surface frontale projetée de la grappe (la moulée) [cm²]

Exemple de calcul :

Soient par exemple

PM = 500 bar et SF = 328cm²

Alors : FV =

Unités :

1 MPa = 10 bar ;

1 bar x 1 cm² = 1 daN = 0.01 kN = 0.001 Tonnes

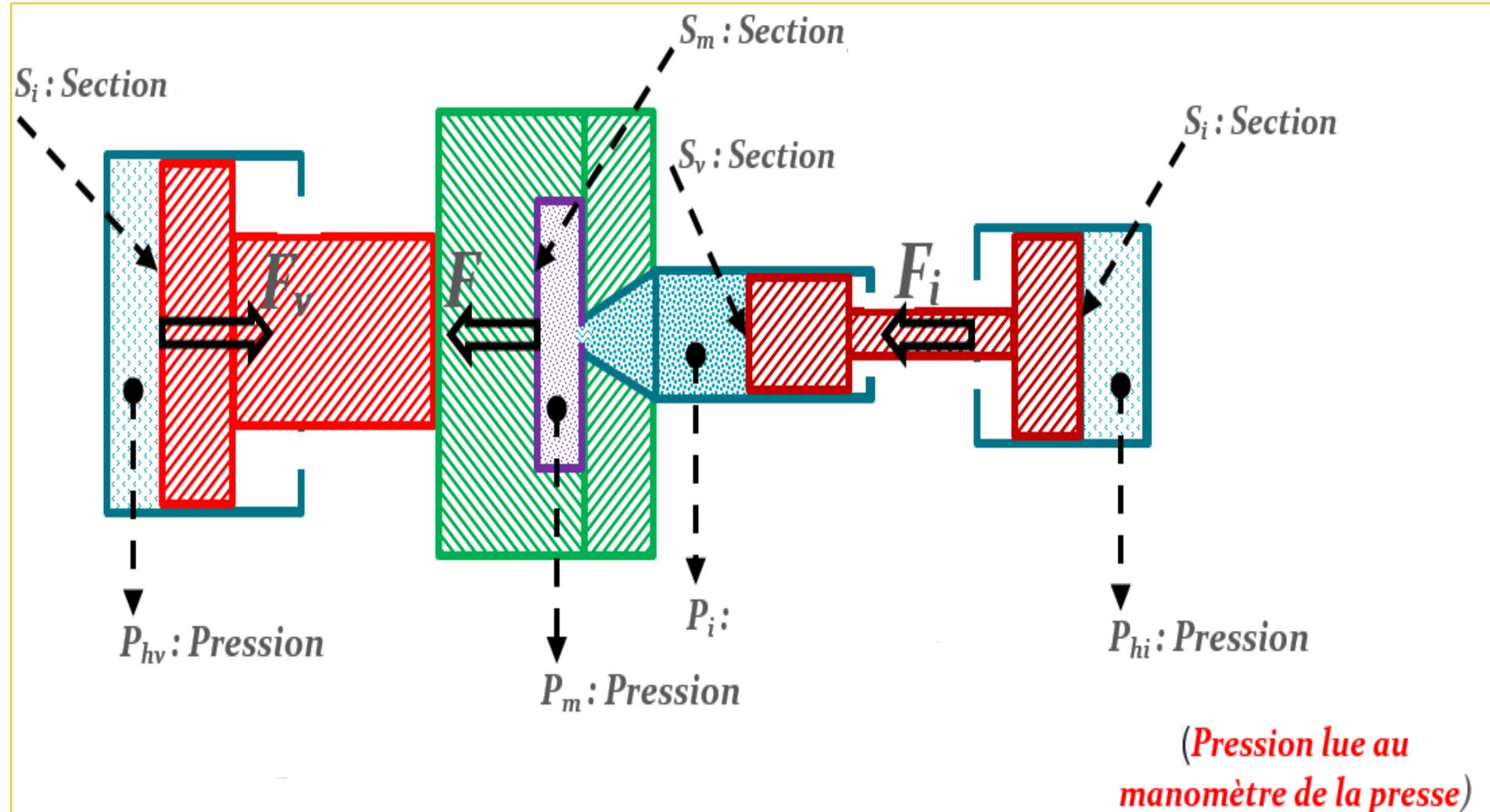
Rm: La pression dans les empreintes varie entre 300 et 500 bars.

- 300 bars pour les matières à faible viscosité.
- 400 bars pour les matières à viscosité moyenne.
- 500 bars pour les matières à forte viscosité.

6. Les réglages machines

6.2 EFFORTS MIS EN JEU EN INJECTION

33



6. Les réglages machines

6.3 Pertes de charges

34

- La pression matière dans l'empreinte (pression de moulage) est toujours inférieure à celle en bout de vis.
- Cette diminution de pression est due aux « pertes de charges ».

$$DP\% = \dots\dots\dots$$

Les **causes** de celui-ci peuvent être diverses :

- de la matière,
- de l'écoulement de la matière (canaux et carotte),
- La section des canaux,
- L'épaisseur de la pièce,
- Les changements de direction de la matière,
- La température du moule,

6. Les réglages machines

6.4 Calcul du volume injectable

- **Volume injectable** = Volume de moulée (cm²) x coefficient de dilatation
(amorphe : 1,1 ; semi-cristallin :1,25)

Et Volume moulée= Masse moulée (g) / Masse volumique de la matière (g/cm³)

Avec : masse moulée = masse pièce + masse carotte

Exemple de calcul

Soient une pièce de masse = 95 g et de Masse de Carotte = 23g

donc la masse moulée =

Soit pour le Polypropylène, la masse volumique est de = 0,9g/cm³

Volume moulé =

Donc : Volume injectable =

- **Autre formule : Volume injectable = Volume de moulée (cm²) / coefficient de correction**

Le coefficient = 0,70 (pour la matière semi-cristaline) et 0,85 pour la matière amorphe

6. Les réglages machines

6.5 Calcul de la course de dosage (course de la phase dynamique)

36

- La course d'injection = volume injectable / section de la vis

$$\text{Avec : section de la vis} = \pi \cdot \varnothing_{\text{vis}}^2 / 4$$

Exemple de calcul

Pour diamètre de la vis = 25 mm, on aura $3,14 \cdot 25^2 / 4 = 3,14 \cdot 625 / 4 \text{ mm}^2 = 490.6 \text{ mm}^2$ soit donc 4.906 cm^2

D'où : course de dosage =

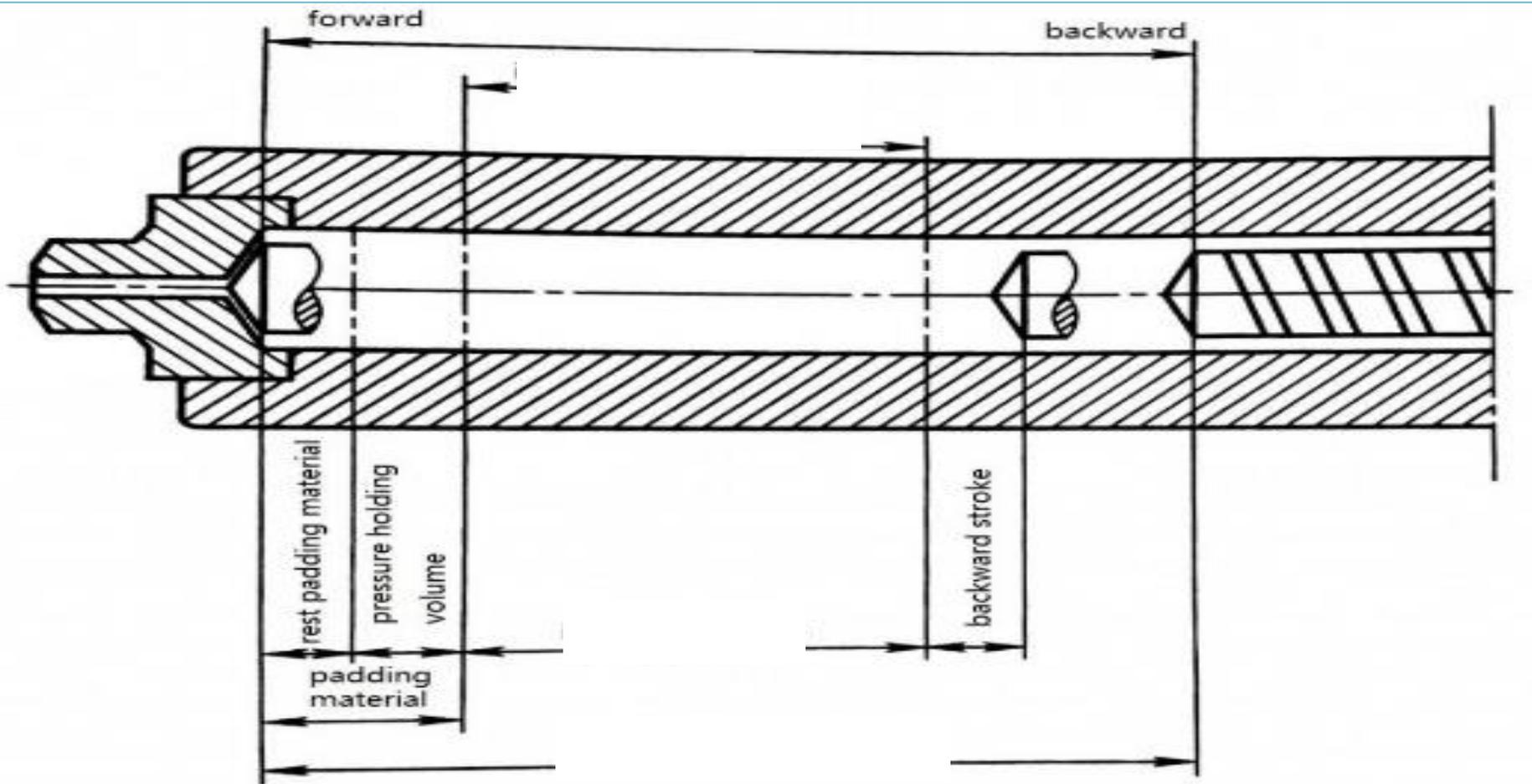
- LA COURSE DE DOSAGE : $C_d = \dots\dots\dots$

Avec Matelas : $M = 10\%$ de $C_i = C_i \cdot 0,1$ (avec M supérieur à 5 mm)

6. Les réglages machines

6.5 Calcul de la course de dosage (course de la phase dynamique)

37



Picture: set the injection end position of the screw

6. Les réglages machines

6.6 Calcul du temps de refroidissement

38

Le calcul d'un temps de refroidissement s'effectue de la manière suivante :

$$t_r = \left[\frac{e^2}{\pi^2 \cdot \alpha_{\text{eff}}} \right] \cdot \text{Ln} \left[\left(\frac{8}{\pi^2} \right) \times \left[\frac{(T_m - T_{\text{mo}})}{(T_e - T_{\text{mo}})} \right] \right]$$

Avec :

- t_r temps de refroidissement [s]
- e épaisseur de paroi [m]
- α_{eff} coefficient de diffusion thermique [$10^{-8} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$]
- T_m température de la matière [$^{\circ}\text{C}$]
- T_{mo} température moyenne de la paroi du moule [$^{\circ}\text{C}$] (Valeur moyenne de la température Minimale et maximale au cours d'un Cycle par injection)
- T_e température moyenne de démoulage [$^{\circ}\text{C}$]

Exemple de calcul :

Soient : $\alpha_{\text{eff}} = 7 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, $T_m = 235 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{mo}} = 45 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_e = 68 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $e = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ (3mm)
D'où $t_r = 24.79 \text{ s}$

6. Les réglages machines

6.6 Calcul du temps de refroidissement

39

Et pour une première évaluation, on pourra s'appuyer sur les équations suivantes en ne tenant compte que de l'épaisseur et en se basant sur les températures moyennes de la matière, de la paroi du moule et démoulage.

PC	$Tr=2,17 \times s^2$
PA6, PBPT, PE-LD	$Tr=2,64 \times s^2$
ABS, PS, SAN, PA6.6	$Tr=2,82 \times s^2$
PE-HD, PMMA	$Tr=3 \times s^2$
PP	$Tr=3,67 \times s^2$
POM	$Tr=4,18 \times s^2$

Tr : temps de refroidissement en sec. s : épaisseur de paroi en mm

Par exemple, pour la matière de la pièce est **polypropylène** alors $Tr = 3,67 \times 3^2 \approx 33s$

EXEMPLE

40

- Les Dimensions de la Boîte :
 - ▣ 100mm x 100mm x 50mm
- Epaisseur :
 - ▣ 1.2mm
- Matière :
 - ▣ PP
- Pression maintien donnée :
 - ▣ 300 bars

