

Contenu du chapitre :

- 1 : Introduction générale
- 2 : Le procédé injection
- 3 : Architecture de presse d'injection
- 4 : Architecture d'un moule d'injection
- 5 : détermination du nombre d'empreinte
- 6 : Dimensionnement des composants d'un moule
- 7 : Le phénomène de retrait
- 8 : Calcul du temps de cycle
- 9 : Etude technico-économique des pièces injectées
- 10 : conclusion : les défauts de moulage cause et remède

1 . Introduction générale

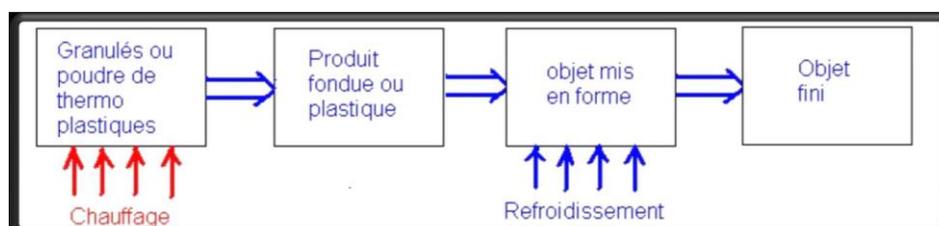
L'injection plastique est l'un des procédés le mieux adapté à la production en série de pièces microtechniques. L'importance prise par ce procédé dans la production des pièces microtechniques nous conduit vers l'étude des pièces injectées, la conception des outillages d'injection ainsi que leur mise en œuvre. Principe de fonctionnement Ce procédé permet d'obtenir des pièces dont l'épaisseur est comprise entre 0,4 et 6 mm avec des géométries complexes. Le moulage par injection consiste à ramollir (état visqueux) la matière thermoplastique (TP), puis de la malaxer au niveau de la vis de plastification. Elle est ensuite injectée sous forte pression. L'injection sous forte pression du polymère fondu dans un moule froid à une ou plusieurs empreintes. Au contact des parois froides, la matière se solidifie en forme puis l'objet peut être démoulé.

La qualité d'un objet injecté dépend de trois critères :

1. La conception des formes de la pièce.
2. La conception et la qualité de réalisation de l'outillage (le moule).
3. Les conditions et les paramètres de moulage (injection).

Seul un travail collaboratif entre les différents spécialistes de ces trois domaines permet d'optimiser la fonctionnalité de la pièce.

Ce procédé d'obtention permet de produire très rapidement (en une seule opération) des objets de qualité en grande quantité, même si les formes sont complexes, dans des gammes de poids allant de quelques grammes à plusieurs kilogrammes. On utilise l'injection plastique dans de très nombreux domaines : l'automobile, le jouet, l'électronique, la robotique, l'aéronautique, l'aérospatial, le médical... Téléphones, seringues, pare chocs, capots, carters, boîtes...



Applications courantes Les pièces injectées se trouvent dans tous les secteurs du marché, en particulier dans l'automobile, les produits industriels et domestiques, tels que paniers de courses, papeterie, mobilier de jardin, claviers, boîtiers de produits électroniques, boutons et poignées de casseroles.



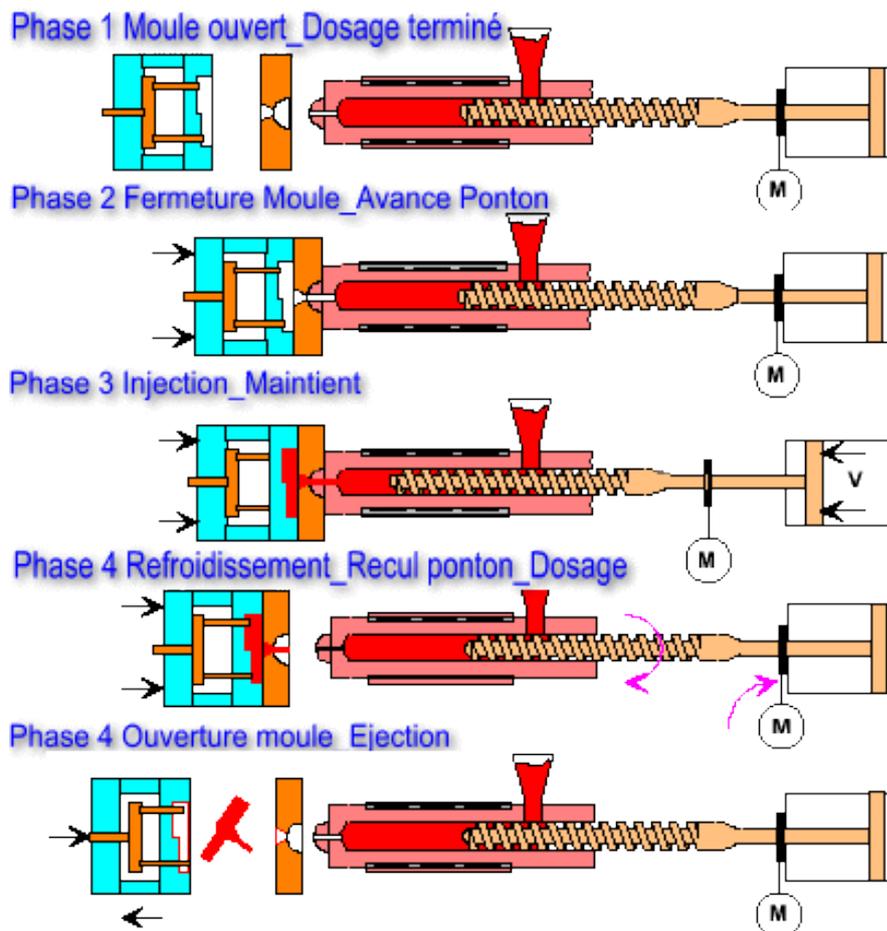
Le cycle d'injection

- Déroulement du cycle d'injection
- Le cycle d'injection minimal est décrit sur la figure 1.
- Pour réaliser ce cycle, les principales fonctions d'une presse à injecter sont donc :
 - ouvrir et fermer le moule ;
 - verrouiller le moule ;
 - Injecter la matière fondue dans le moule ;
 - maintenir la matière fondue sous pression dans les empreintes ;
 - éjecter les pièces après refroidissement ;
 - fondre la matière.

En partant de la matière plastique sous forme de granulés pour aboutir aux pièces injectées disponibles hors du moule, le cycle de transformation de la matière plastique

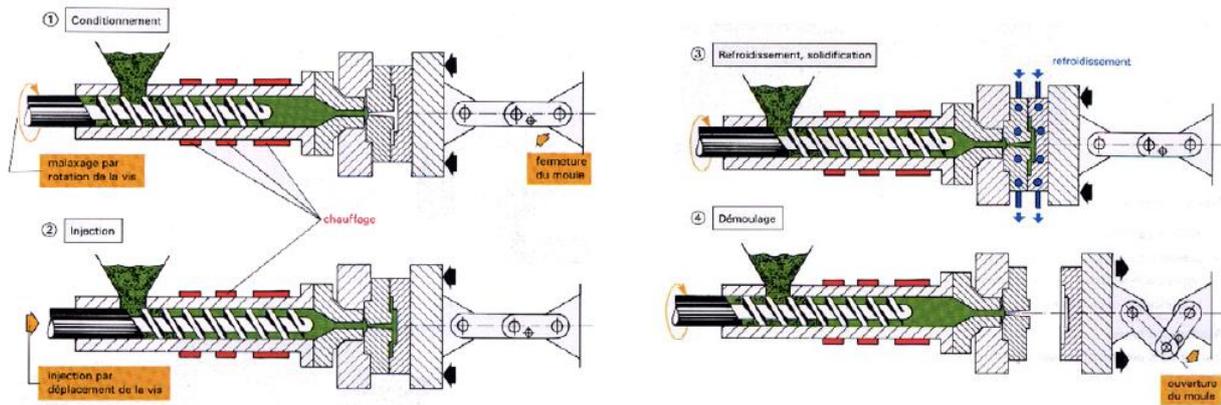
Pour réaliser ce cycle, les fonctions suivantes sont nécessaires :

- alimenter la presse en granulés ;
- faire fondre les granulés ;
- doser le volume de matière fondue qui va être introduit dans le moule ;
- introduire la matière fondue dans le moule...



On rencontre des composants moulés par injection dans de très nombreux produits manufacturés : lunettes, automobiles, électroménagers, matériel informatique, mobiliers... Pour les pièces métalliques, les dimensions sont relativement limitées (les carters de boîtes de vitesses en aluminium sont coulés par injection) mais pour les plastiques elles vont de quelques millimètres à plusieurs mètres (éléments de carrosseries automobiles, tables de jardin, par exemple).

Les moules, installés sur une machine spéciale (presse), sont constitués le plus souvent de deux coquilles (partie fixe et partie mobile) qui sont fortement pressées l'une contre l'autre au moment du moulage puis écartées pour permettre l'éjection de la pièce moulée.

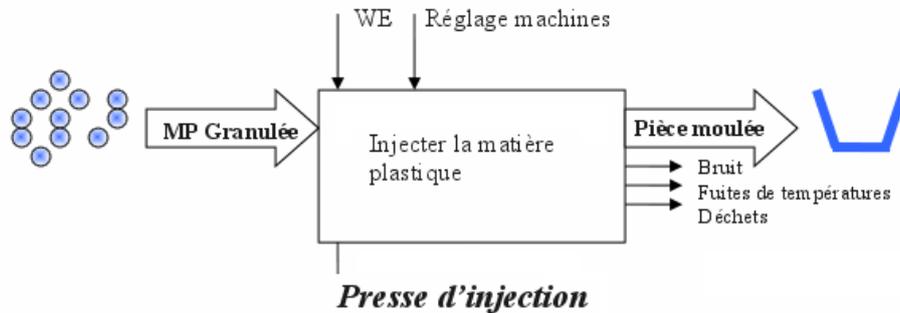


Quelques pièces plastiques injectées

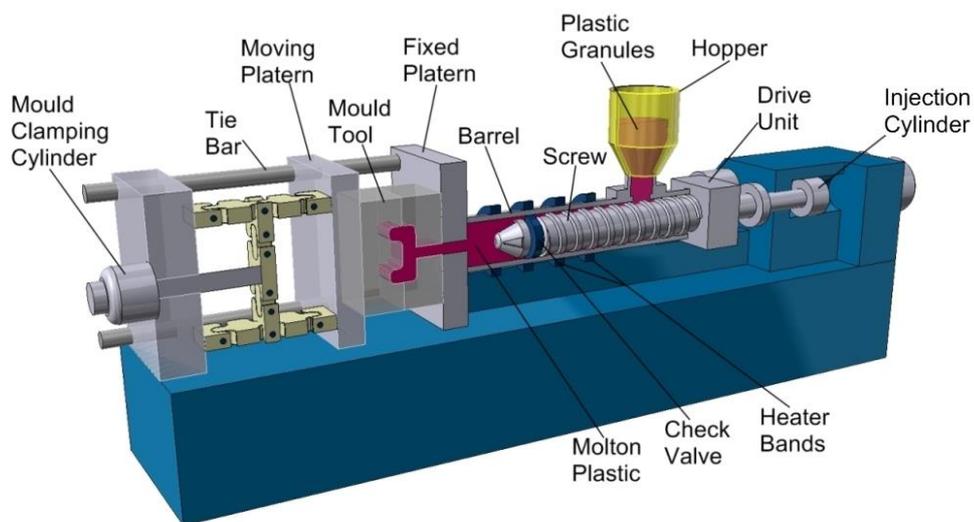
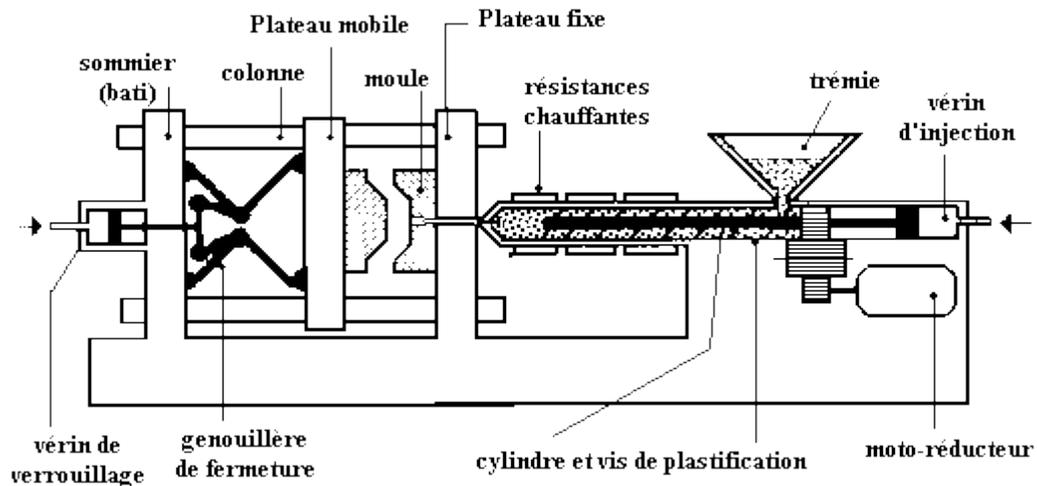


3 . La presse d'injection

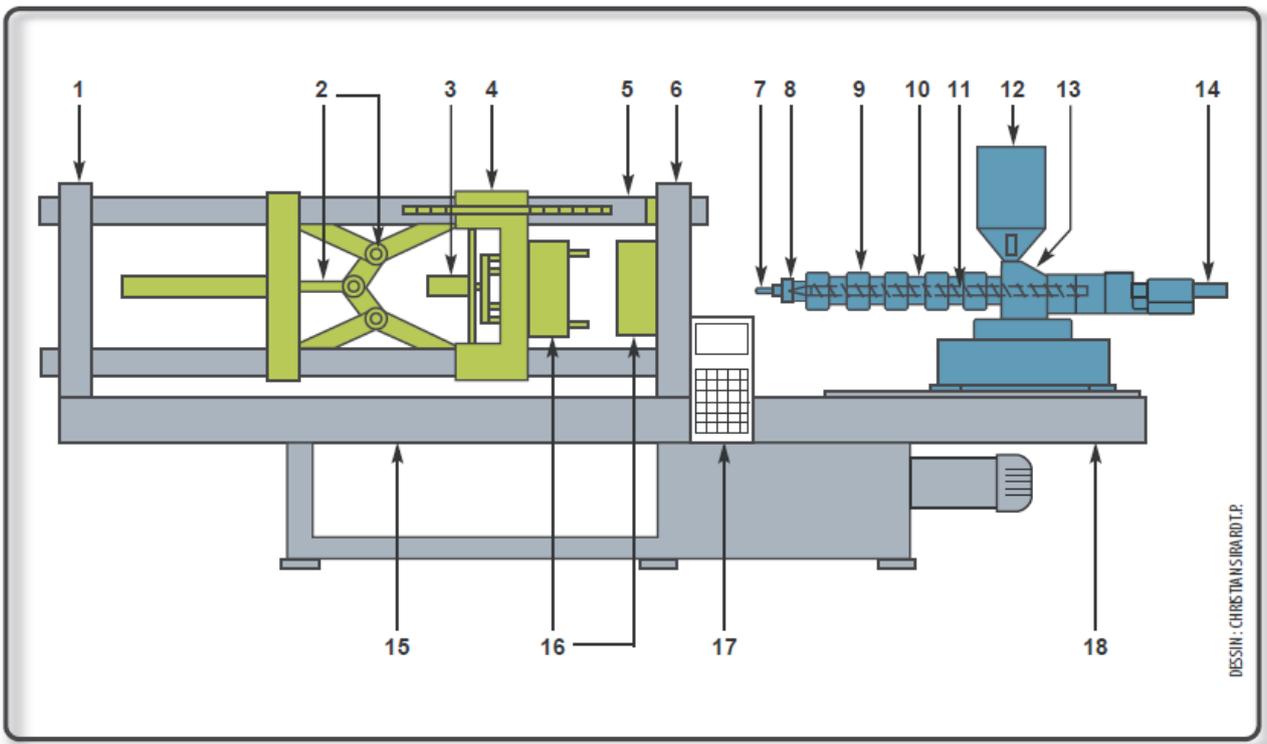
La presse d'injection est une machine qui permet d'obtenir des pièces en plastique injecté sous pression dans un moule (monté sur la presse). L'injection du plastique se fait généralement à haute pression et à température supérieure à la température de transition vitreuse. T_g A température supérieure à T_g , la température se ramollit. A cet état la matière n'est plus solide mais n'est pas aussi liquide.



A. Structure de la presse d'injection



Composant de presse d'injection



DESSIN : CHRISTIAN SIRA RD.T.P

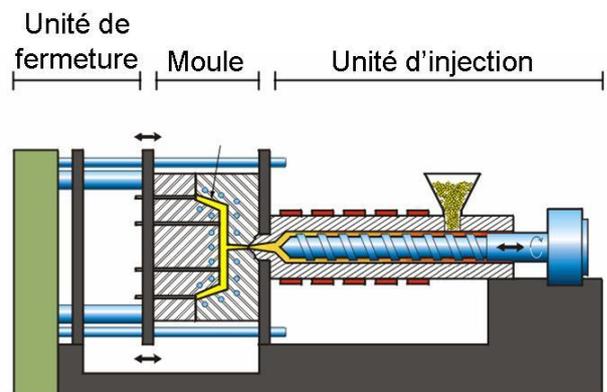
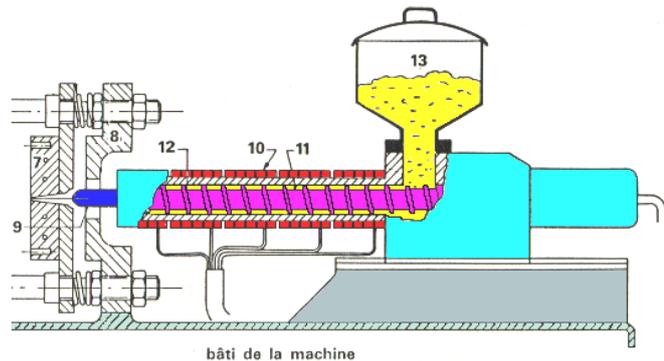
1. Plateau arrière fixe
2. Mécanisme de fermeture - genouillère et vérin
3. Éjecteur
4. Plateau mobile
5. Colonne de guidage
6. Plateau fixe d'injection
7. Buse d'injection
8. Tête du baril
9. Bande chauffante
10. Baril d'injection
11. Vis
12. Trémie d'alimentation
13. Goulotte d'alimentation
14. Motorisation de la vis
15. Décharge des pièces
16. Moule
17. Console de commande
18. Bâti



B. L'unité de plastification ou injection

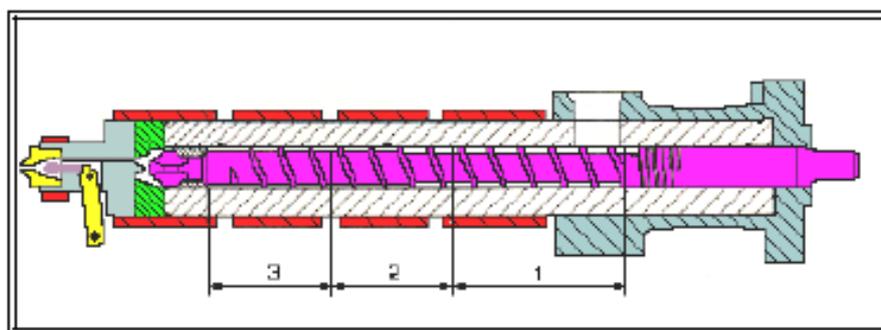
Sous cette désignation on comprend la partie de l'unité d'injection, qui est en contact direct avec la matière plastique à transformer. L'unité de plastification a comme tâche, de faire fondre la matière plastique, de l'homogénéiser, de la doser et de la transporter dans le moule.

- 7. Partie fixe du moule
- 8. Plateau fixe
- 9. Buse d'injection
- 10. Colliers chauffant du pot d'injection
- 11. Pot d'injection
- 12. Vis d'injection 13. Trémie



Le cylindre à vis électriquement chauffé est équipé d'une vis universelle à trois zones.

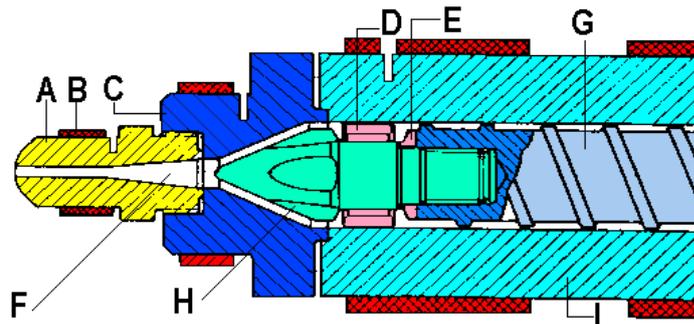
- 1. Zone d'alimentation
- 2. Zone de compression
- 3. Zone de plastification



Vis de plastification

Une buse de presse doit : Assurer un contact étanche avec le moule durant l'injection, malgré les fortes pressions mises en œuvre. La force d'appui buse-moule doit être assez élevée et s'exerce sur des portées sphériques ou tronconiques, rarement planes.

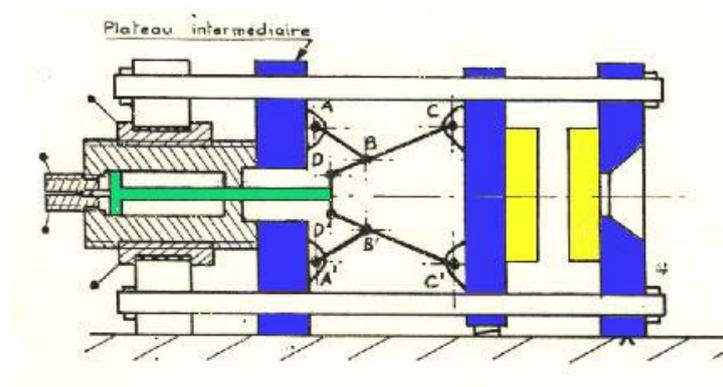
- A. Buse ouverte
- B. Résistance de buse
- C. L'avant pot
- D. Clapet
- E. Siège du clapet
- F. Passage de la matière
- G. Vis
- H. Pointe du clapet
- I. Fourreau



Buse d'injection

C. L'unité de fermeture et verrouillage

Cet ensemble permet la fermeture et le verrouillage de la partie mobile du moule, sur la partie fixe. Devant résister à la pression d'injection, sa conception est très importante. Son fonctionnement peut-être mécanique, hydraulique, ou mixte.



➤ FERMETURE MECANIQUE

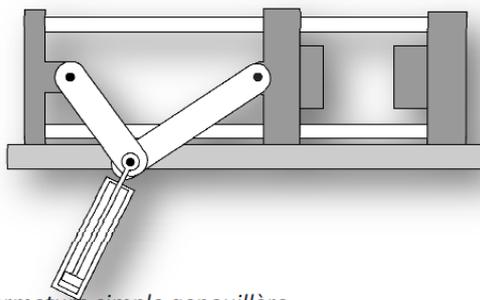
Bien que les mouvements sont assurés par un vérin, elle est appelée mécanique, car l'effort de verrouillage est assuré par les genouillères. Sur certaine presse, lorsque le point d'alignement est dépassé, on peut couper la pression dans le vérin et l'ensemble reste stable.

Fermeture mécanique – Simple et Double genouillère

L'avance rapide de la partie mobile est assurée par la genouillère. Le verrouillage du moule est fourni par la mise en traction des colonnes de la machine, au moment où le moule est verrouillé.

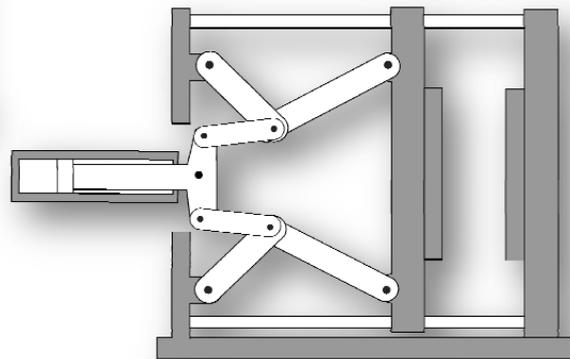
La genouillère est actionnée par un vérin hydraulique. Ce système est très simple mais n'assure pas une force de fermeture constante et reste difficile à régler.

+	-
Système simple	Force de fermeture non constante
Diamètre vérin faible	Reglage difficile
Vitesse de fermeture diminue naturellement	Faible Course



Fermeture simple genouillère

Fermeture à double genouillère offre une plus grande force de fermeture



Fermeture double genouillère

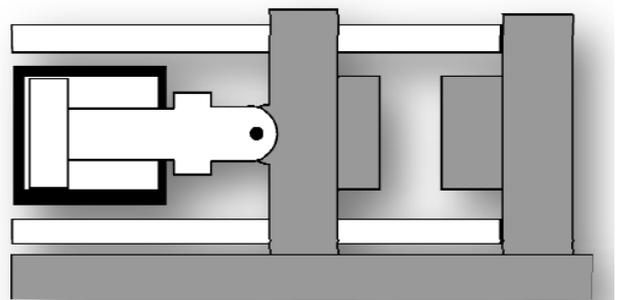
➤ FERMETURE HYDRAULIQUE

Ce type de fermeture ne fait appel à aucun mouvement mécanique. Ceux-ci sont réalisés par des mouvements hydraulique à l'aide d'un gros vérin central qui a pour but de faire l'approche du plateau mobile jusqu'au plateau fixe , et d'un vérin plus petit qui assure le verrouillage dans la phase final de la fermeture.

Fermeture hydraulique – Vérin

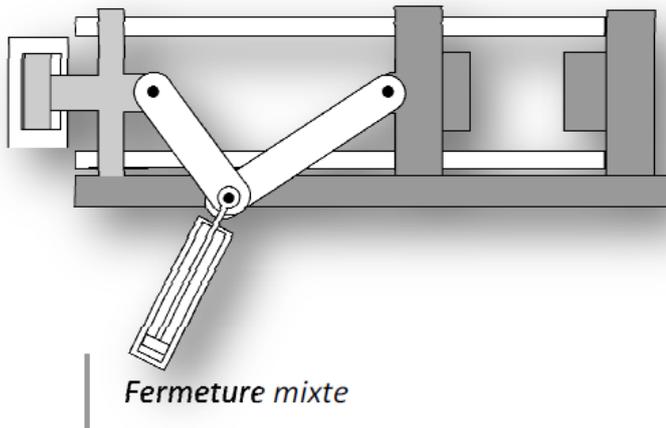
+	-
Effort de fermeture	Déplacement lent
Réglage simple	Fabrication coûteuse
Sécurité de fonctionnement	Entretien coûteux

Un seul vérin hydraulique (à plusieurs étages parfois) assure le déplacement de la partie mobile et le verrouillage du système. Ce dispositif offre une grande force de fermeture, mais reste un dispositif lent.

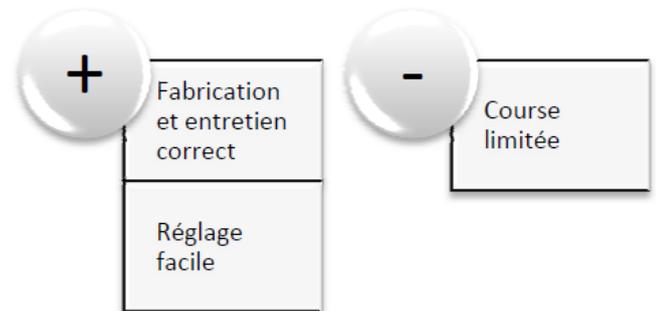


➤ FERMETURE MIXTE

Ce procédé est un compromis entre la fermeture hydraulique et la fermeture mécanique. En effet, les mouvements d'ouverture et de fermeture se font uniquement par des genouillères, tandis que le verrouillage est assuré par un ou des vérins hydrauliques.



Un seul vérin hydraulique (à plusieurs étages parfois) assure le déplacement de la partie mobile et le verrouillage du système. Ce dispositif offre une grande force de fermeture, mais reste un dispositif lent.



D. Caractéristiques techniques d'une presse d'injection

Caractéristiques des Presses :

Un standard Européen "Euromap" définit les caractéristiques des presses.

Exemples :

1) 900 H - 210

900 : Force de fermeture en KN

H : Presse horizontale

210 : Volume maximum de matière injectable

2) La Baby Plast 6/6 M 62,5 H – (4 à 15)

3) La plus grosse presse (Billion) 100 000 H - 80 000

=> Pour mouler des pièces d'une surface de 2 m² et de 80 kg : grosses poubelles collectives.

INJECTION		UNITE
DIAMETRE DE VIS	30	mm
VOLUME THEORIQUE INJECTABLE	148	cm ³
PRESSION D'INJECTION	2800	kg/cm ²
DEBIT D'INJECTION	83	cm ³ /Sec
CAPACITE D'INJECTION	124	gramme

UNITE DE FERMETURE		UNITE
PASSAGE ENTRE COLONNES	340x340	mm
DIMENSION DU PLATEAU	525x525	mm
EPAISSEUR MOULE	mini 100 maxi 320	mm
COURSE D'OUVERTURE	300	mm
DIAMETRE BAGUE DE CENTRAGE	125	mm
FORCE DE FERMETURE	80	T
EJECTION	M 16	

SAADA BECHIR

➤ FORCE DE FERMETURE

La force de fermeture est la force nécessaire pour maintenir le moule fermé lors de l'injection. Cette force est calculée par rapport à la pression exercée dans le moule pendant l'injection. Elle doit être supérieure à la pression d'injection. Il est obligatoire d'exercer un verrouillage du moule, sinon lors de l'injection, il se produit une ouverture et du toilage sur les pièces.

NOTE : La pression de verrouillage doit-être de 10 à 25% supérieur à la pression d'injection.

Méthode de calcul de la force de fermeture

Force de fermeture :

$$F = P.C_{PC}.S \times 1,1$$

Matériau :	ABS
Pression d'injection P (Mpa) :	120
Surface projetée au plan de joint S (mm ²) :	2460
Coefficient de pertes de charges C_{pc} :	0,6
Effort au plan de joint du moule F (kN) :	194,83
Force de fermeture de la presse (kN) :	250

RAPPEL :

1 bar = 10⁵ N/m²

1 bar = 10 N/cm²

1 Pa = 1 N/m² : [Unité de pression est le Pascal](#)

1 kg » 10 N

1 bar » 1 kg/cm²

➤ COURSE DE FERMETURE OU D'OUVERTURE

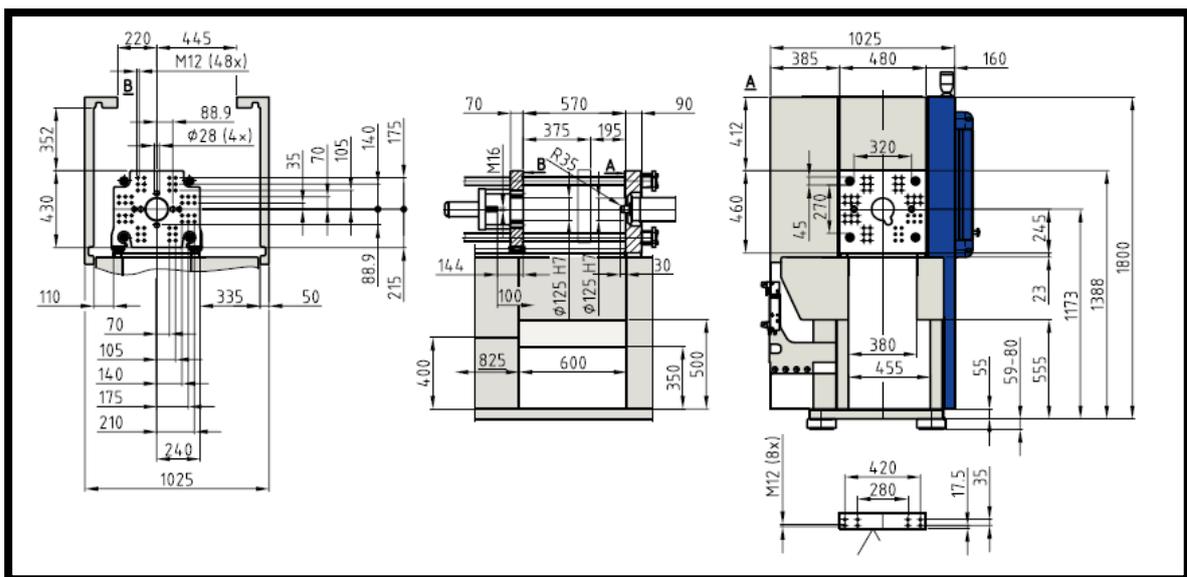
Elle conditionne la profondeur maximale des pièces moulables. La course d'ouverture doit être au moins égale au double de cette profondeur. La course de fermeture peut-être réglable en vue d'obtenir un gain sur le temps d'ouverture lorsque les pièces produites sont peu profondes.

➤ PASSAGE ENTRE COLONNES

Il détermine la largeur maximale du moule exploitable, à moins d'équiper la presse avec une colonne démontable, solution devenue assez courante.

➤ DIMENSIONS DES PLATEAUX

Elles fixent les valeurs extrêmes possibles pour l'une des dimensions transversales du moule.



➤ EPAISSEUR DE MOULE MINIMALE

Il est inutile d'obtenir une fermeture complète des plateaux lorsqu'aucun moule n'est monté dessus. La distance entre plateaux en position moule fermée, représente alors le moule d'épaisseur minimale exploitable.

➤ EPAISSEUR DE MOULE MAXIMALE

Si l'on veut conserver, pour la course d'ouverture de la presse, la valeur maximale possible en utilisant un moule plus épais que le moule minimal (cas fréquent), il est nécessaire de prévoir un réglage permettant de reculer le plateau mobile par rapport à la position correspondant à celle du serrage minimal. Ce réglage, ajouté à l'épaisseur du moule minimal, donne l'épaisseur maximale de moule possible dans ces conditions.

➤ SURFACE FRONTALE OU SURFACE PROJETEE

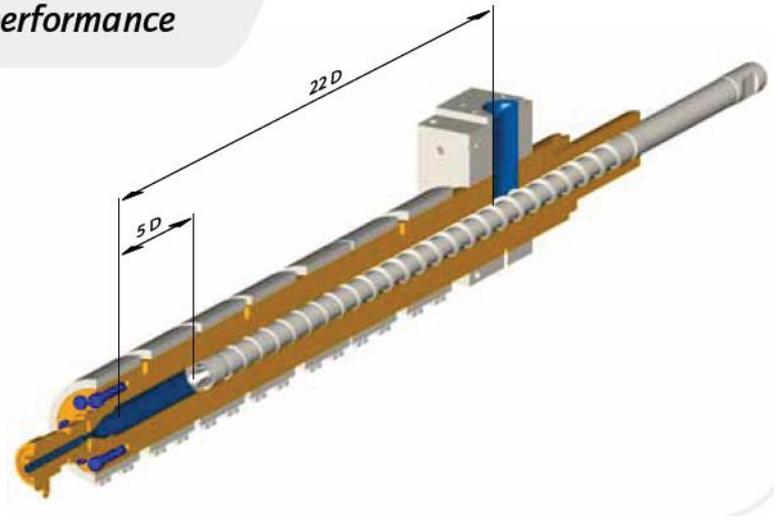
C'est la projection de la matière sur la surface totale des empreintes, y compris la surface des canaux d'alimentation ramenée sur un plan.

➤ LE VOLUME MAXIMALE INJECTABLE

C'est le volume maximal de la matière qu'on peut injecter dans le moule, sur la surface, y compris le volume des canaux d'alimentation. C'est le volume de la zone de dosage

Systemes de plastification haute performance

Les systèmes de plastification des presses d'injection doivent remplir plusieurs exigences. En appliquant un rapport L/D de 22:1 sur les trois diamètres proposés pour chaque unité d'injection, il est ainsi possible de travailler dans les meilleures conditions et d'obtenir ainsi une qualité irréprochable.



Vis de plastification et course de dosage

L'ensemble vis fourreau assure trois actions principales :

- Transporte la matière du point d'alimentation (de la trémie) à la buse.
- Plastifie grâce au malaxage et à la chaleur apportée de l'extérieur
- Injecte la matière dans le moule comme une grosse seringue

Unité de fermeture		HM 45/ -									
Force de verrouillage	kN	450									
Distance entre colonnes	mm x mm	320 x 270									
Hauteur de moule (min.)	mm	195									
Course/force d'ouverture	mm/kN	375/26									
Distance maxi entre plateaux	mm	570									
Course/force d'éjection	mm/kN	100/26,4									
Temps de cycle à vide ¹⁾	s-mm	1,6 - 224									
Unité d'injection		- / 60			- / 130				- / 210		
Diamètre de vis	mm	14	18	22	18	22	25	30	25	30	35
Course de vis	mm	90			110				125		
Rapport L/D de la vis		20			20				22		
Volume théorique d'injection	cm ³	13,9	22,9	34,2	28	41,8	61,4	88,4	73,6	106	144
Pression matière	bar	3.000	2.593	1.736	3.000	2.864	2.218	1.540	2.940	2.042	1.500
Vitesse de rotation vis maxi	min ⁻¹	498			318				310		
Taux de plastification maxi (PS) ²⁾	g/s	1,7	5	7,2	3,2	4,6	8,5	12,3	8,2	12	18,6
Couple de vis maxi	Nm	90			238				357		
Course buse/force d'application buse	mm/kN	250/47			250/47				250/86		
Vitesse d'injection dans l'air	cm ³ /s	32,7	54,1	80,7	32,7	48,9	63,1	90,9	59,5	85,7	117
Vitesse d'injection dans l'air avec double pompe (option)	cm ³ /s	49	81,1	121	49,1	73,4	94,7	136	71,4	103	140
Vitesse d'injection dans l'air avec accumulateur (option)	cm ³ /s	65	108	161	77,7	116	150	216	143	206	280
Entrainement											
Puissance d'entraînement	kW	11			11				11		
Volume d'huile	l	150			150				150		
Puissance installée sans/avec Europack	kVA	20/49			24/53				27/56		
Poids, dimensions											
Poids net (sans huile)	kg	2.500			2.500				2.600		
Longueur x largeur x hauteur ³⁾	m	3,0 x 1,3 x 1,9			3,3 x 1,3 x 1,9				3,4 x 1,3 x 1,9		
Poids maxi moule/diamètre moule mini ⁴⁾	kg/mm	400/250			400/250				400/250		

¹⁾ Selon EURONAP 6 ²⁾ Selon normes BATTENFELD, taux de plastification supérieurs possible avec double pompe (option)
³⁾ Longueur maxi avec vis de diamètre médiane en position arrière ⁴⁾ Maxi 2/3 sur plateau de fermeture

Table de conversion poids injectables

Matière	Facteur
ABS	0,88
CA	1,02
CAB	0,97
PA	0,91
PC	0,97
PE	0,71
PMMA	0,94
POM	1,15
PP	0,73

Les poids maxi injectables (g) sont calculés en multipliant le volume théorique (cm³) par le facteur ci-dessous.

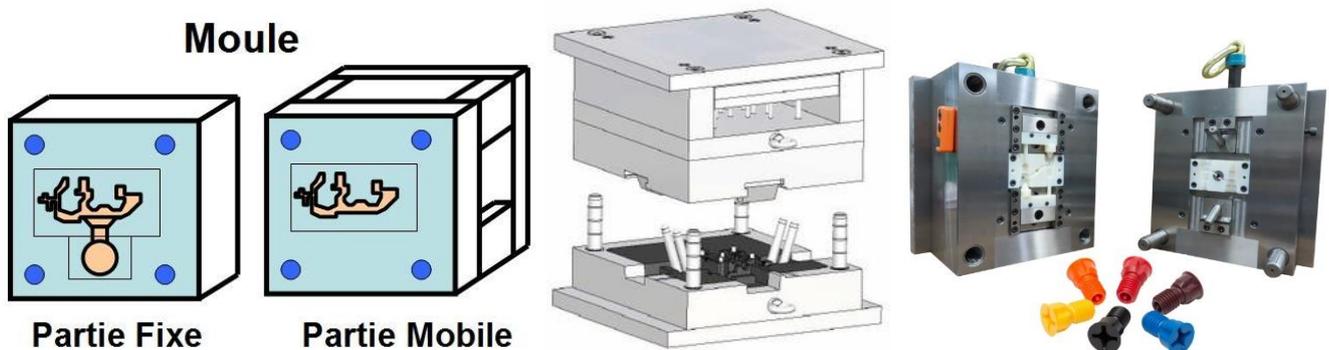
4. Structure d'outillage d'injection « Le moule »

Un moule d'injection est un ensemble des pièces métalliques qui sont bien assemblées dans le but d'accomplir des fonctions bien déterminées, dont l'objectif est de fabriquer des pièces en plastiques d'une manière automatique. Cet outil est constitué d'une partie mobile et une partie fixe séparée par ce qu'on appelle un plan de joint.

Le moule est un ensemble mécanique de très grande précision qui permet de fabriquer des milliers de pièces en injectant de la matière plastique ou du métal en fusion dans des empreintes prévues à cet effet. Il est utilisé sur une machine appelée presse à injecter.

Un moule est constitué de 2 parties principales, une partie fixe pour l'injection de la matière et une partie mobile pour la fermeture du moule.

Quand le moule est fermé, la surface de contact entre ses 2 parties est appelée plan de joint. C'est au niveau de ce plan de joint que la pièce devra se démouler. La difficulté est de définir physiquement sa position. Pour ne pas laisser de traces sur la pièce moulée, les deux parties doivent s'emboîter parfaitement pour établir l'étanchéité lorsque le moule fermé est sous pression. Il n'est pas toujours plan et il peut avoir des formes complexes.



Une pièce ne pourra se démouler que si ses faces possèdent un angle de dépouille, plus ou moins important selon la matière utilisée. Pour compliquer le processus, certaines parties des pièces peuvent être en contre-dépouille (angle inverse à l'angle de dépouille) et rendre la pièce non démoulable directement. Dans ces cas, on place des parties mobiles à l'intérieur des moules qui vont aider le démoulage (des tiroirs ou coulisseaux et des rampes ou cales montantes).

Structure d'un moule deux plaques Un moule standard est constitué de 2 parties :

- Une partie s'adaptant sur le plateau fixe des presses : c'est le côté INJECTION, « partie fixe »
- Une partie fixée sur le plateau mobile : c'est le côté ÉJECTION, « partie mobile ».

Le côté injection du moule possède généralement une partie des empreintes ainsi qu'une partie du système d'alimentation. Cette alimentation standard est constituée de la carotte, d'un canal principal, éventuellement avec des canaux secondaires et un (ou plusieurs) seuil(s) d'injection.

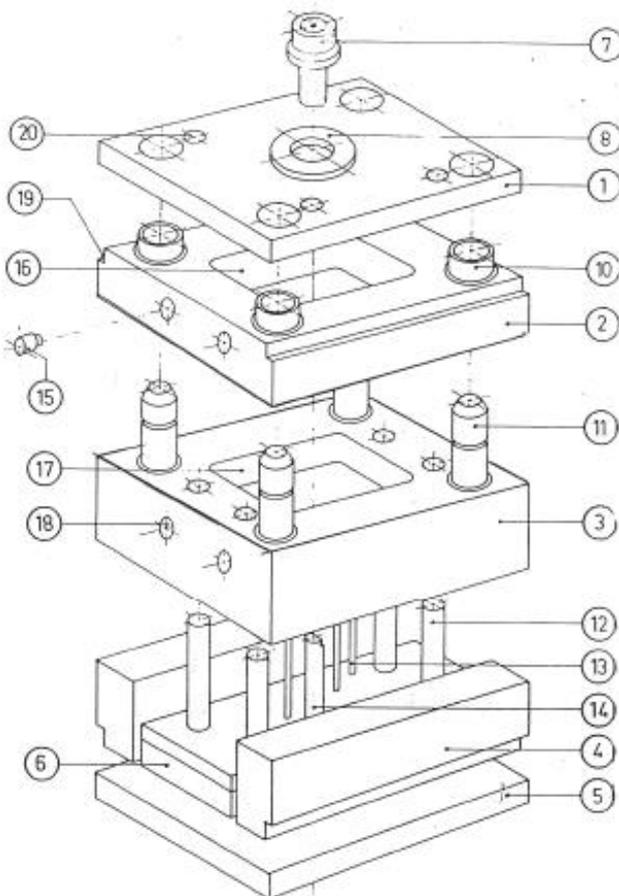
Ces divers éléments forment la grappe d'alimentation, matière perdue, ou déchet, qui dans la plupart des cas sont recyclée. La buse assure la liaison temporaire d'alimentation entre le moule et l'unité d'injection des presses. Le côté éjection, constituant la partie mobile du moule, porte

les noyaux, l’empreinte et le système d’éjection. Les 2 côtés du moule sont alignés en position entre eux par des colonnes. A l’ouverture, les pièces sont poussées hors de l’empreinte et des noyaux par des tiges nommées éjecteurs. Les éjecteurs sont animés par des plaques mobiles en translation. Cet ensemble, nommé batterie d’éjection. La batterie est généralement équipée d’éjecteurs ou de broches, nommés « rappels de batterie ». Ils assurent le retour mécanique « forcé » et la remise en position précise de tous les éléments mobiles liés à la batterie d’éjection, au moment de la fermeture du moule (montage conseillé pour la sécurité des noyaux)

Le dimensionnement de l’outillage sera fonction de :

- La forme de la pièce
- Les dimensions de la pièce
- La matière de la pièce
- Les tolérances de la pièce
- Des capacités de la machine
- Des cadences de production
- Du budget

4.1 Nomenclature de moule



Terminologie des éléments constituant l’outillage

19	Rainure de bridage
18	Circuit de régulation thermique
17	Logement empreinte côté éjection
16	Logement empreinte côté injection
15	Raccord rapide de circuit d’eau
14	Arrache-carotte
13	Ejecteur
12	Ejecteur de rappel
11	Colonne de guidage
10	Bague de guidage
9	Plaque porte éjecteurs
8	Rondelle de centrage
7	Buse moule
6	Contre plaque d’éjection
5	Plaque arrière côté éjection
4	Tasseau
3	Plaque porte empreinte côté éjection
2	Plaque porte empreinte côté injection
1	Plaque arrière côté injection
Repère	Désignation

- Batterie d’éjection
- Guidage moule

La buse moule : permet le passage de la matière du fourreau vers l’empreinte

La rondelle de centrage : Permet le centrage du moule sur les plateaux de la machine (presse), dans le but de centrer la buse moule à la buse machine.

Plaque arrière côté injection : Permet de fixé la rondelle de centrage, la buse moule et les bagues de guidage, ainsi que le bridage.

Bague de guidage : Permet le guidage des colonnes de guidages

Plaque porte empreinte côté injection : Permet la fixation de la bague de guidage, contient le circuit de régulation de température.

Colonnes de guidage : Permet de guider la partie mobile PM sur la partie fixe PF pour aligner parfaitement l'empreinte

Plaque porte empreinte côté éjection : Permet la fixation des colonnes de guidage, contient le circuit de régulation

Ejecteur de rappel : Permet la remise à zéro de la batterie d'éjection, dans le cas d'une éjection non-attelé.

Ejecteurs : Permet d'éjecter la pièce quand le moule est ouvert

Extracteur de carotte (arrache-carotte) : Permet l'extraction de la carotte, ainsi lors de l'ouverture, la moulée ne reste pas bloqué dans la PF.

Tasseaux d'éjection : Permet d'obtenir une course optimum de la batterie d'éjection.

Plaque arrière côté éjection : Permet le blocage en translation de la batterie d'éjection, permet le bridage du moule sur le plateau mobile, permet également la fixation des tasseaux.

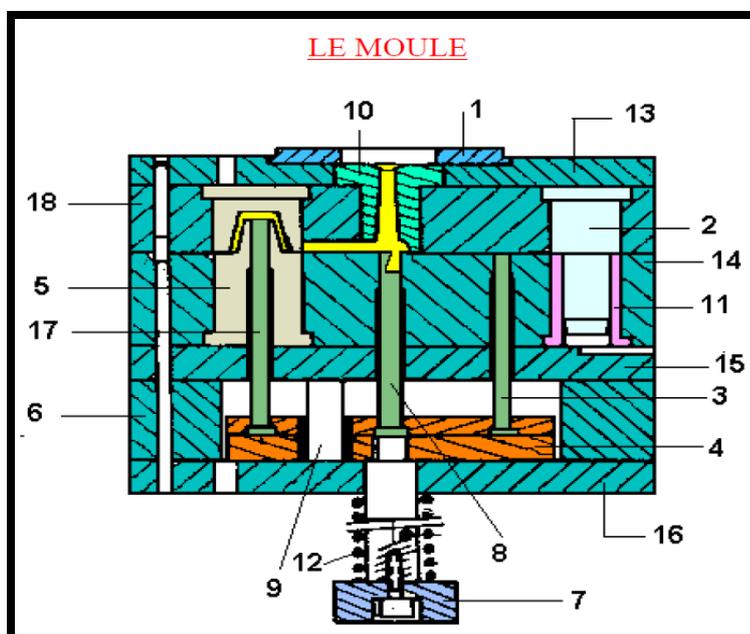
Batterie d'éjection : Permet la translation des arraches carottes, remise à zéro et ejecteurs. Est composé de la plaque porte ejecteurs et de la contre plaque d'éjection.

Vis de fixations : Permet de fixer la plaque arrière côté injection sur la plaque porte empreinte côté injection

Rainures de bridage : Permet le passage de la bride

Raccord rapide du circuit d'eau : Permet un raccord rapide du circuit d'eau

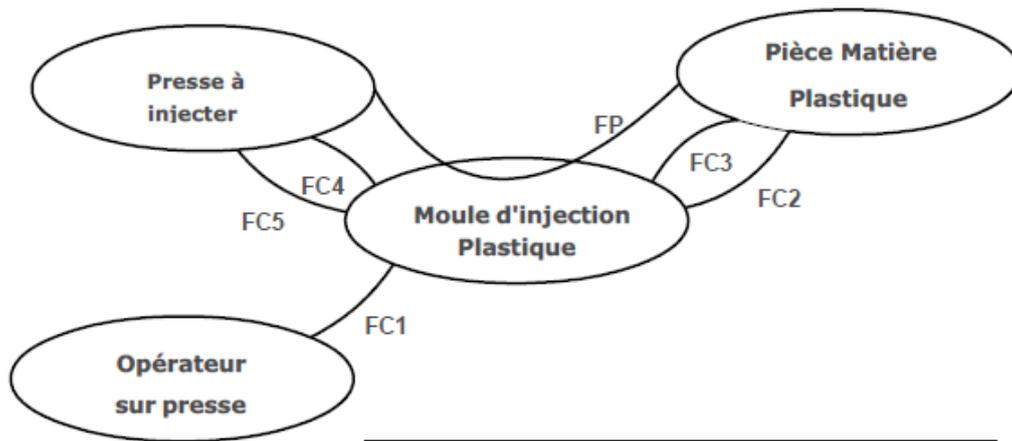
Circuit de régulation thermique : permet de réguler le moule avec de l'eau.



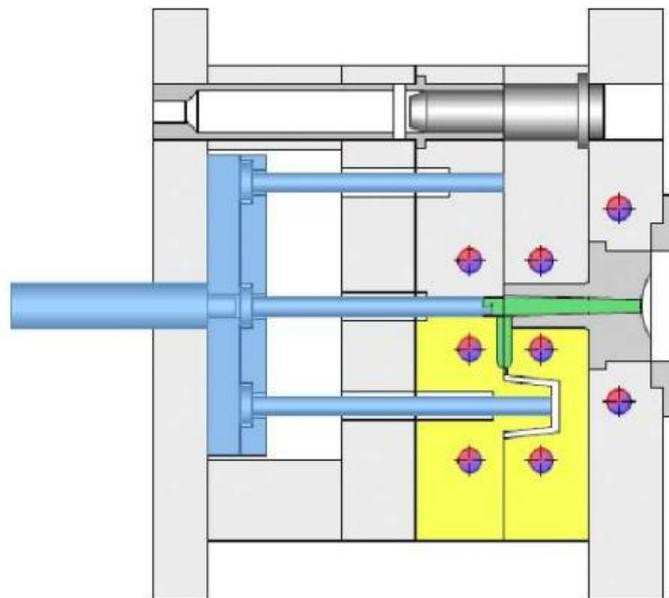
Nomenclature :

1. Bague de centrage
2. Colonne de guidage
3. Rappel d'éjection
4. Plaque d'éjection
5. Empreinte
6. Tasseaux
7. Queue d'éjection
8. Arrache carotte
9. Plot de soutien
10. Contre buse
11. Bague de guidage
12. Ressort de rappel
13. Plaque de fixation A.V
14. Plaque porte empreinte Inf
15. Plaque intermédiaire
16. Plaque de fixation A.R
17. Ejecteur
18. Plaque porte empreinte Sup

4.2 Les fonctions d'un moule d'injection



FP (Fonction Principale) : Fonction produire les pièces conforme au cahier des charges.
 FC1 (Fonction Contrainte) : Fonction manutention.
 FC2 (Fonction Contrainte) : Fonction mise en forme.
 FC3 (Fonction Contrainte) : Fonction ejection.
 FC4 (Fonction Contrainte) : Fonction alimentation.
 FC5 (Fonction Contrainte) : Fonction liaison machine.



- Fonction Alimentation
- Fonction Mise en Forme
- Fonction Ejection
- Fonction Régulation

A. Fonction mise en forme ou empreinte

Dans un moule d'injection le nombre d'empreintes est généralement un nombre pair (en dehors des moules mono empreinte) ceci est fait pour des raisons d'équilibrage de remplissage.

Le choix du nombre dépend essentiellement de la quantité à produire à fin de vie du moule. La forme de la pièce se fait par l'empreinte qui se répartit entre les deux parties (fixe et mobile) du moule et d'autres éléments auxiliaires tel que (tiroirs - cales montantes - noyaux) dans le but de faire des formes en contre dépouilles

Cette fonction définit les formes de l'empreinte pour obtenir une pièce conforme au cahier de charges fonctionnelles mais surtout une pièce qui soit démoulable sans problème.

Notion de dépouilles et contre-dépouille

- **Forme non dépouillée :**

Le démoulage est difficile, voire impossible car il y a un frottement important entre les formes moulantes de l'empreinte (poinçon) et la matière solidifiée. Ces frottements sont dus essentiellement au retrait de la matière lors de son refroidissement dans l'empreinte.

- **Forme dépouillée**

Mettre des angles de dépouilles facilite le démoulage de l'empreinte. En général les angles de dépouille intérieure sont plus importants que les angles de dépouilles extérieures (retrait)

α : angle de dépouille extérieure

β : angle de dépouille intérieure

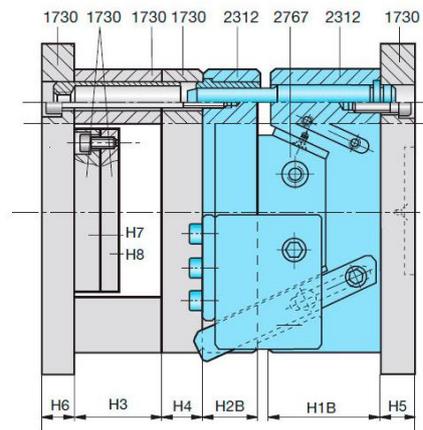
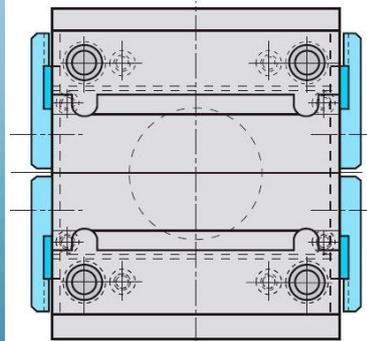
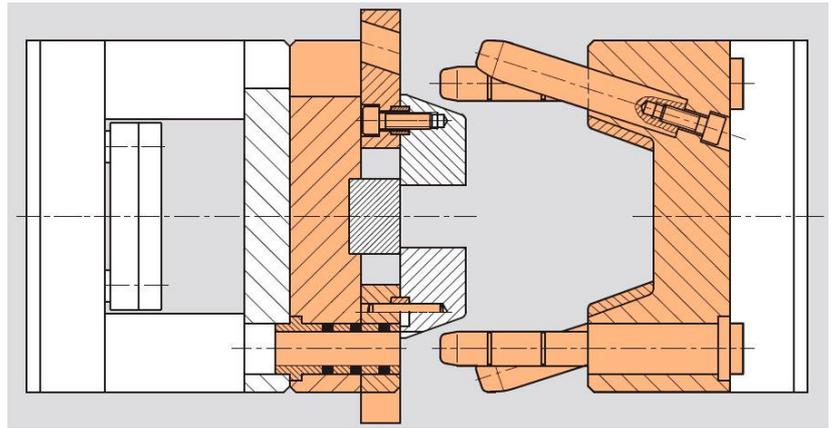
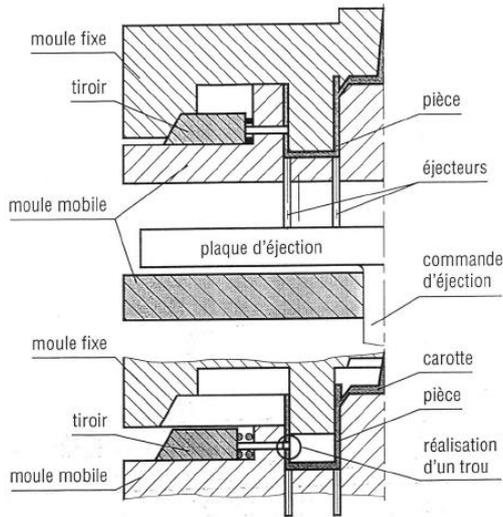
Tableau 3.01 Angle de dépouille*

	Dépouilles peu profondes (moins de 25 mm de prof.)	Dépouilles profondes (plus de 25 mm de prof.)
CRASTIN® PBT	0 – ¼°	½°
DELRIN®	0 – ¼°	½°
ZYTEL®	0 – ⅛°	¼° – ½°
Polyamides renforcés	¼° – ½°	½° – 1°
Résines PBT renforcés	½°	½° – 1°
RYNITE® PET	½°	½° – 1°

* Pour les finitions satinées des surfaces texturées, ajouter 1° d'angle de dépouille par 0,025 mm de profondeur de texture.

- **Forme en contre-dépouille**

C'est une surface formant empêchant un démoulage dans une direction perpendiculaire au plan de joint. Lors de la conception d'une pièce on évitera au maximum les surfaces en contre-dépouille car elles entraînent un moule plus couteux et plus complexes



B. Fonction centrage guidage et positionnement

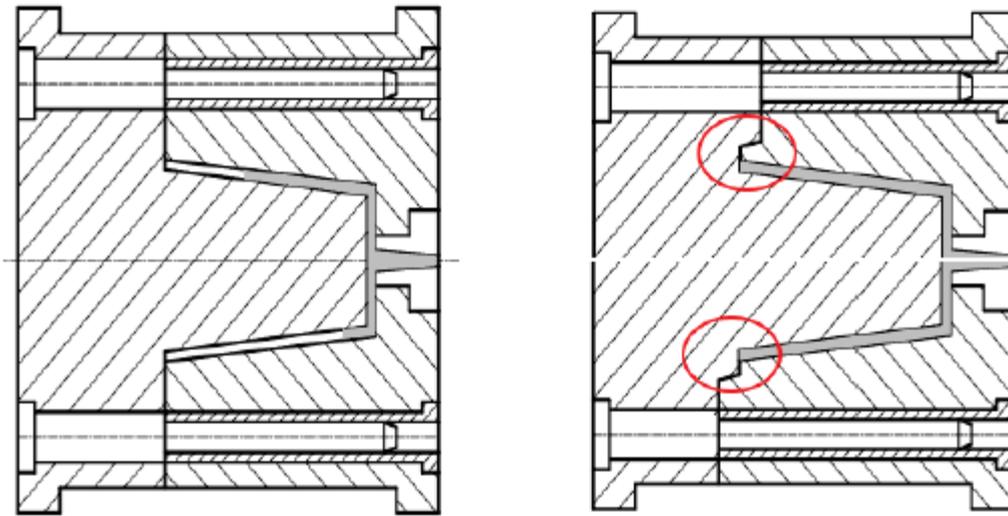
Fonction guidage / positionnement : Le moule étant composé de plusieurs parties séparées par le plan de joint, à la fermeture du moule celui-ci doit être guidé et recentré pour que les parties moulantes de la pièce soit en correspondance entre les différentes parties du moule.

Pour éviter une excentration des deux parties du moule, on procède à un recentrage soit par un "cône" soit par des faces inclinées. Ce recentrage peut être dans le 1er cas en protection du plan de joint et dans le second

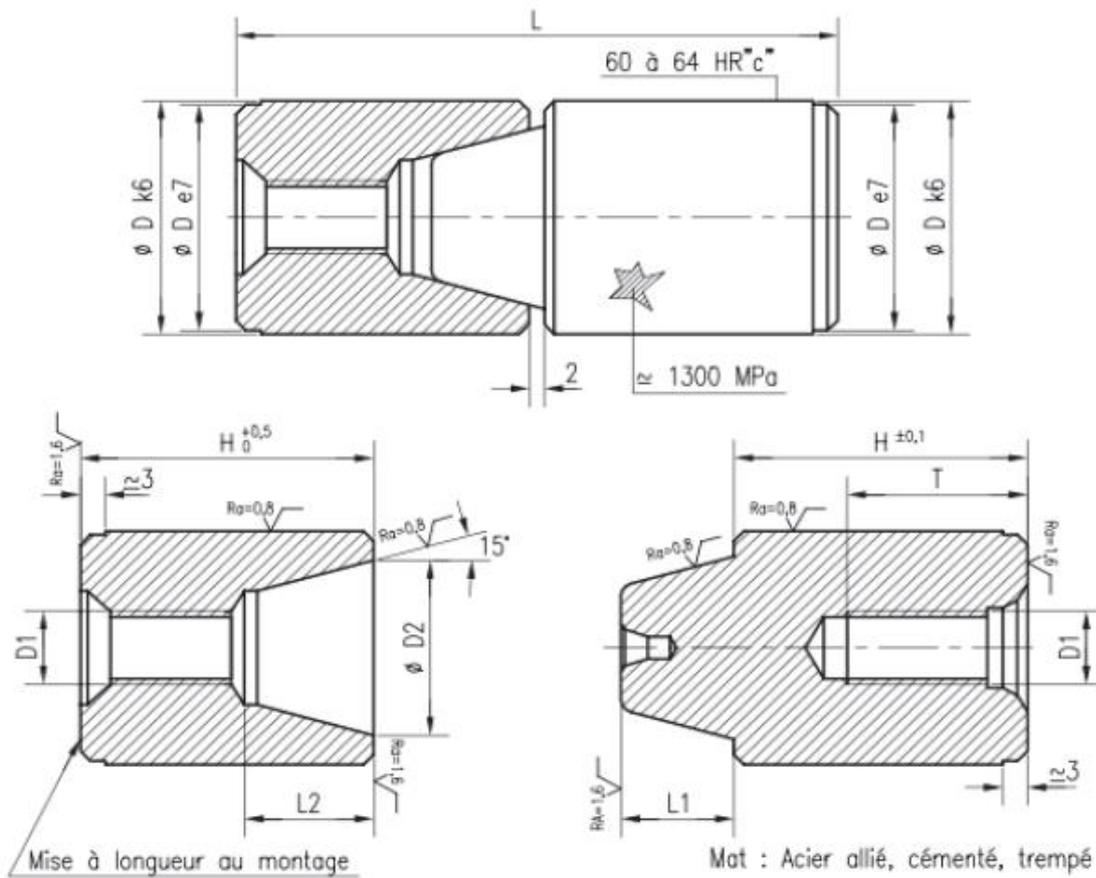
Les parties du moule peuvent s'excentrées sous l'effet de la pression matière. Le remplissage peut être favorisé dans une partie du moule ce qui amplifie le défaut.

La pression dans l'empreinte peut entraîner un glissement entre la partie fixe et la partie mobile. Le centrage évite le glissement entre les deux parties du moule. Les formes de l'empreinte dans le moule peuvent faire s'excentrées la partie mobile de la partie fixe sous l'effet de la pression matière. Figure 20. Centrage par le plan de joint incliné du moule Pour éviter une excentration des deux parties du moule, on procède à un recentrage :

- Soit par un "cône"
- Soit par des faces inclinées.
- Soit par des centreurs coniques ou droits.

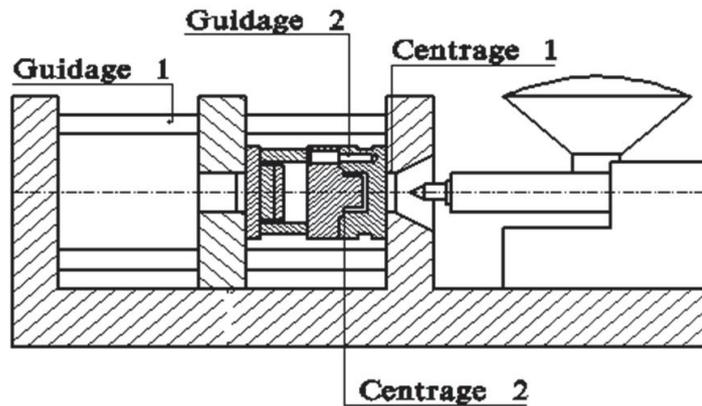


Centrage par plan de joint incliné



Centrage par éléments coniques

Le moule étant composé de plusieurs parties séparées par le plan de joint, à la fermeture du moule celui-ci doit être guidé et recentrer pour que les parties moulantes de la pièce soit en correspondance entre les différentes parties du moule. Cette fonction assure le guidage et le positionnement de la partie mobile de l'outillage par rapport à la partie fixe



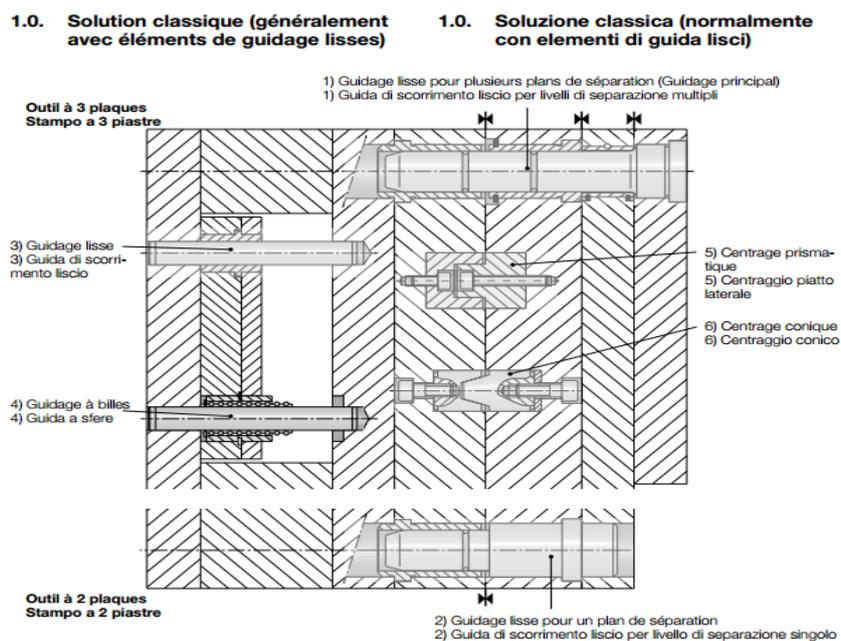
Bilan des centrages et des guidages :

- Guidage 1 : Mouvement linéaire du plateau mobile sur les colonnes presse
- Guidage 2 : Mouvement de la Partie Mobile (PM) avec la Partie Fixe (PF) de l'outillage
- Centrage 1 : Mise à l'axe de l'axe Outillage sur l'axe Presse
- Centrage 2 : Mise à l'axe de l'axe de la Partie Mobile (PM) avec l'axe de la Partie Fixe (PF) de l'outillage

Le guidage des parties fixe et mobile du moule

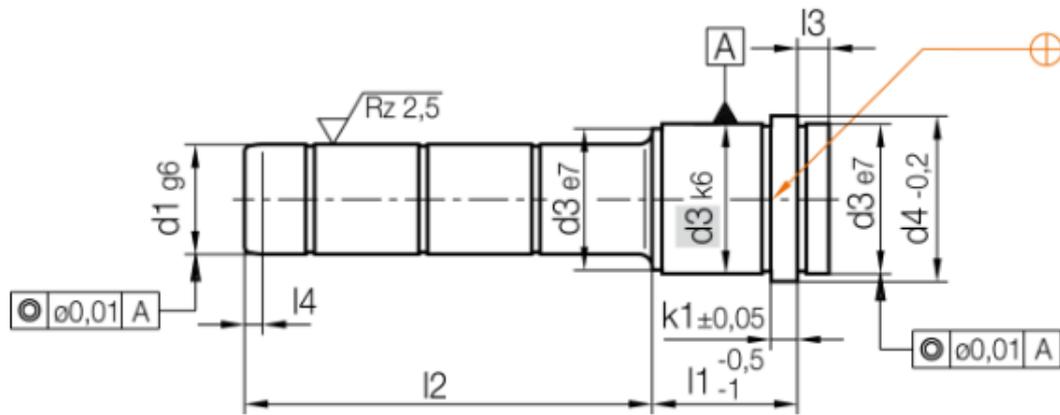
Le guidage et le positionnement seront obtenus suivant les tolérances imposées à la pièce et aux parties rentrantes fragiles ou non, par différents systèmes :

- Soit un ensemble de colonnes et douilles de guidage permettent d'assurer la fonction complète,
- Soit un ajout de centreurs coniques ou droit seront nécessaires afin d'assurer cette fonction avec plus de précision.



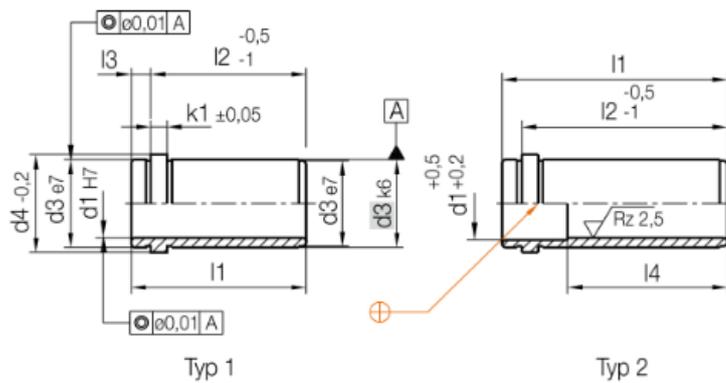
Montage des éléments de guidage sur moule

Les ajustements des éléments de guidage



d3 **l1** **d1** **l2**

k1	l4	l3	d4	d3	l1	d1	l2	Numéro de produit	Données CAO
6	7	9	35	30	66	22	125	Z00/66x22x125	➔



l2 **d1**

Typ	k1	l4	l3	l1	d4	d3	l2	d1	Numéro de produit	Données CAO
1	6	-	9	65	35	30	56	22	Z10/56x22	➔

Répertoire illustré, en groupes

Unités de guidage

Unité de guidage à rouleaux pour outils à étages



55249 / 4.26



55249 / 4.27



7660 / 4.40-7663 / 4.41



7611 / 4.37-7631 / 4.38

Unité de guidage à billes pour plaque d'éjecteur



55350 / 4.28



55350 / 4.29



6500/1 / 4.30/4.31

Unità di guida per plastre d'espulsione

Dispositif de centrage



7990 / 4.45



8020 / 4.48

Sistemi di centraggio

Eléments standards de guidage

C. Fonction alimentation

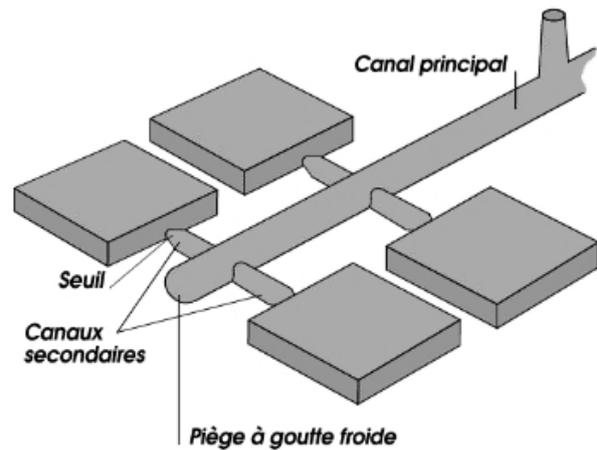
La fonction alimentation a pour but de transférer la matière plastifiée du fourreau de la presse, vers l'empreinte du moule. Au cours de ce cheminement, la matière est soumise à différentes contraintes en passant par :

- La buse d'injection,
- Le reçu de buse du moule
- Les canaux d'alimentations
- Les points d'injection
- Les formes de la pièce

Les différents canaux d'alimentation, il existe deux grands types de canaux d'alimentation :

- Les canaux d'alimentations standards : Ils sont placés directement dans la plaque du moule et doivent être démoulés comme la pièce après chaque injection. La matière utilisée pour les canaux à chaque injection est perdue.
- Alimentation sans déchets ou canaux chauds : Ils doivent conduire la matière moulée dans l'empreinte sans déperdition de chaleur. Ils sont chauffés séparément de l'outillage (entre 180 °C et 300 °C suivant la matière injectée). Techniquement il faut donc isoler le canal du reste de l'outillage dont la température est nettement inférieure. La matière du canal n'est pas perdue.

- Elle est composée de :
 - _ La carotte, la buse
 - _ Le canal principal
 - _ Les canaux secondaires
 - _ Les seuils



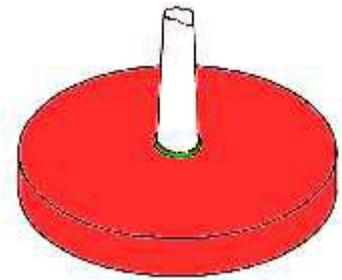
Pour définir correctement l'alimentation

d'une empreinte, nous devons, pour Chacun des éléments composant la fonction alimentation tenir compte de :

- Matière : Caractéristiques (retrait, viscosité...), paramètres de transformation
- Canaux : Nombres de canaux, Longueur d'écoulement, Formes et sections
- Buse : Type de moulage retenu (avec ou sans déchets) Type de buse, dimensionnement (conicité, longueur, O d'entrée...)
- Seuils : Nombres et emplacement, Forme et section Empreinte : Volume de matière à injecter Tps de refroidissement Caractéristiques de la pièce

Les types de seuil d'injection

- **Définition** : Le seuil d'injection est le point où la matière pénètre dans l'empreinte du moule.
- **Seuil en masse ou direct**
Utilisé pour les matières visqueuses



seuil direct

Avantages : Très bon remplissage, Bonne stabilité dimensionnelle de la pièce

Inconvénients : Opération de reprise pour enlever la carotte

Trace non esthétique sur la pièce

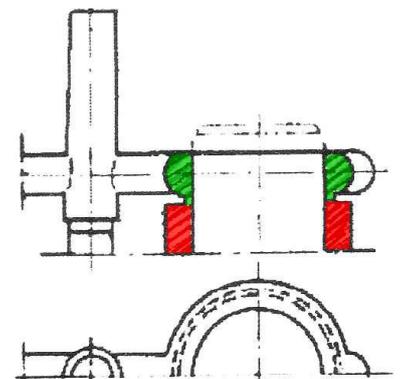
- **Seuil annulaire**

Utilise pour la réalisation de pièce cylindrique ayant des noyaux

Avantages : Remplissage uniforme de l'empreinte

Inconvénients : Opération de reprise pour enlever la carotte

Déchets importants



seuil annulaire

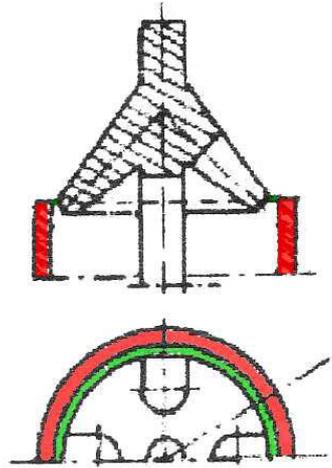
- **Seuil conique ou en éventail**

Utilise pour les pièces de révolution symétrique avec noyau

Avantage : Permet un écoulement équilibré de la matière autour du noyau

Peut permettre un dégreppage automatique

Inconvénient : Déchets Opération de reprise



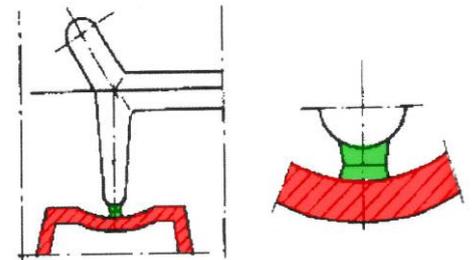
Seuil conique

- **Seuil capillaire**

Utilise avec un moule canaux chauds (sans carotte) ou un moule 3 plaques

A : Démoulage automatique et faible trace sur la pièce

I : Uniquement pour les matières fluide, Cout du moule élevé



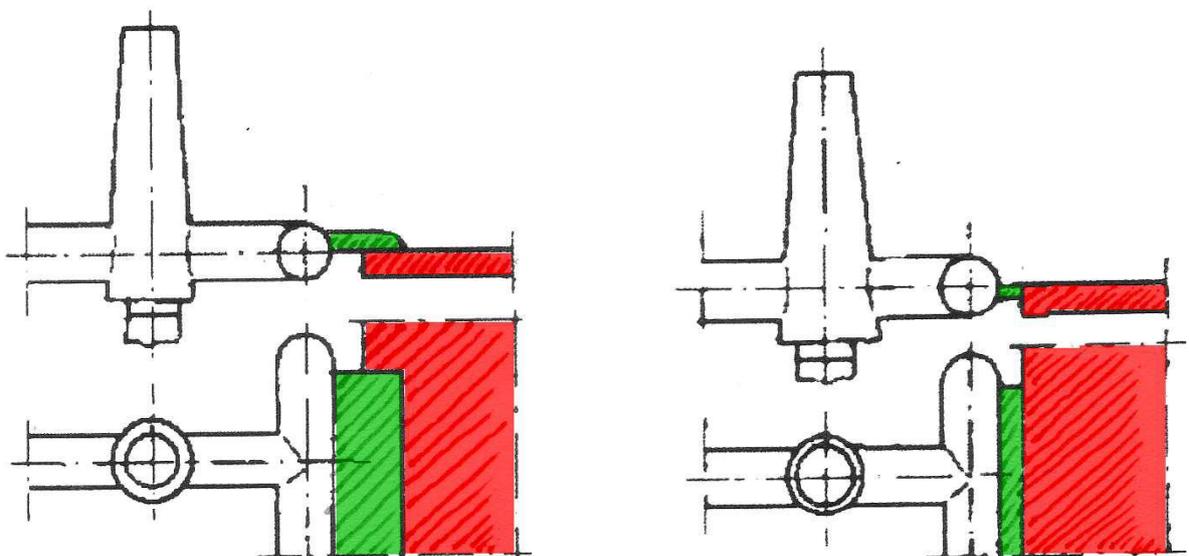
Seuil capillaire

- **Seuil en nappe**

Utilise pour des pièces plates de grande dimension devant présenter un faible voilage

A : Bonne qualité dimensionnelle

I : Opération de reprise, Esthétisme

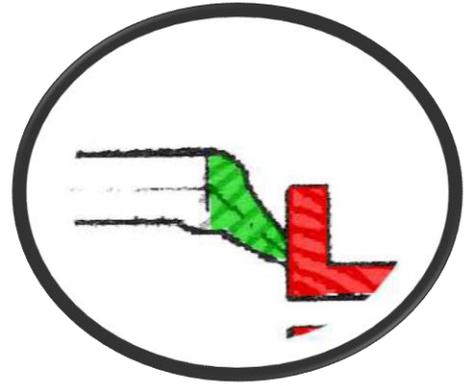
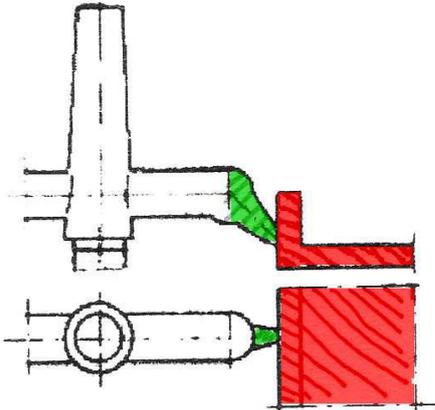


- **Seuil sous-marin**

Utilise pour les petites pièces et dans un but de dégrappage automatique

A : Dégrappage automatique

I : Uniquement pour les pièces simples car grosse perte de pression



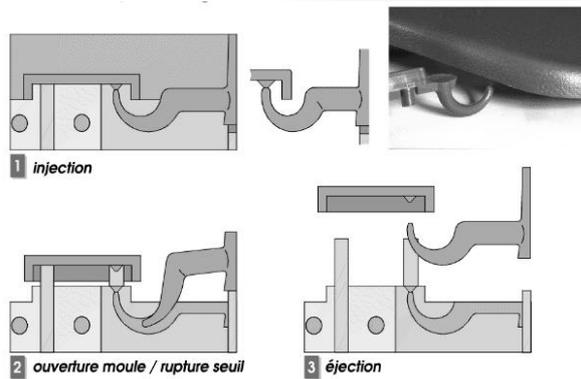
• **Seuil à tunnel courbe**

Utilise pour les pièces minces d'aspect

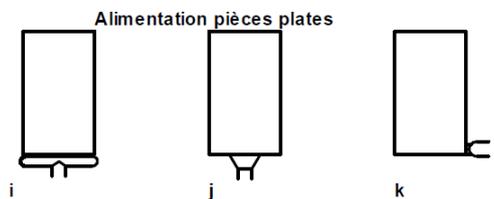
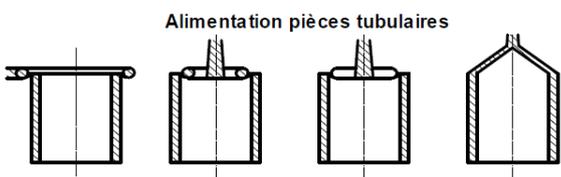
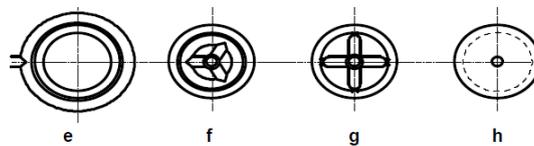
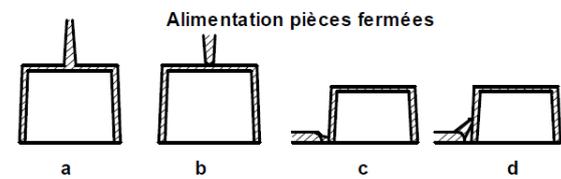
A : Dégrappage automatique

I : Usinage couteux

Ne convient pas à toutes les matières



Résumé



a – Carotte directe centrale

Remplissage facile de l'empreinte
Phase de maintien efficace
Décarottage mécanique

b – Capillaire ou "pin-point"

Remplissage correct
Phase de maintien peu efficace
Décarottage automatique
Moule 3 plaques

c – Latérale seuil direct

Ligne de soudure
Phase de maintien peu efficace
Ovalisation des pièces
Décarottage en reprise

d – Latérale sous-marine

Ligne de soudure
Phase de maintien peu efficace
Ovalisation des pièces
Décarottage automatique

e – Canal annulaire + nappe

Pas de ligne de soudure
Phase de maintien médiocre
Moule multi-empreintes
Décarottage mécanique

f – Canal annulaire + nappe ou "diaphragme"

Pas de ligne de soudure
Phase de maintien médiocre
Moule mono-empreinte
Décarottage mécanique

g – 4 seuils directs ou sous-marins

Lignes de soudure
Phase de maintien efficace
Déformations à craindre
Décarottage plus facile ou automatique

h – Entrée en entonnoir

Remplissage facile
Phase de maintien efficace
Cylindricité parfaite
Décarottage mécanique

i – Entrée en nappe

Remplissage correct
Phase de maintien correct
Décarottage mécanique

j – Entrée en nappe

Remplissage correct
Phase de maintien correct
Décarottage manuel ou mécanique

k – Entrée en nappe

Sous-marin possible
Remplissage correct
Phase de maintien correct
Décarottage mécanique ou automatique

Recommandations pour un positionnement optimum du seuil

- Toujours chercher à positionner le point d'injection dans la zone présentant la plus grande épaisseur de paroi.
- Ne jamais positionner le seuil près de zones soumises à de fortes contraintes.
- Pour les pièces longues, le seuil sera si possible positionné longitudinalement, de préférence à une position transversale ou centrale, notamment dans le cas de résines renforcées.
- Si le moule possède deux cavités ou plus, les pièces et leurs points d'injection seront disposés de façon symétrique par rapport à la carotte.
- Pour les pièces comportant des charnières intégrées, le seuil sera positionné de telle sorte que la ligne de soudure soit éloignée de la charnière. Les interruptions d'écoulement près des charnières doivent être évitées à tout prix.
- Pour des pièces tubulaires, le fondu devra d'abord remplir la circonférence annulaire à une extrémité, puis la longueur du tube proprement dit. Cette procédure permettra d'éviter l'asymétrie du profil de l'écoulement frontal.
- Les surfaces apparentes ne devant présenter aucun défaut visuel (comme par exemple des marques de référence) pourront être moulées à partir d'un point d'injection situé sur leur face inférieure, en utilisant une alimentation par seuil sous-marins.
- Positionner le point d'injection de façon à éviter autant que possible les interruptions de l'écoulement frontal (pièces complexes, moules à empreintes multiples de formes)

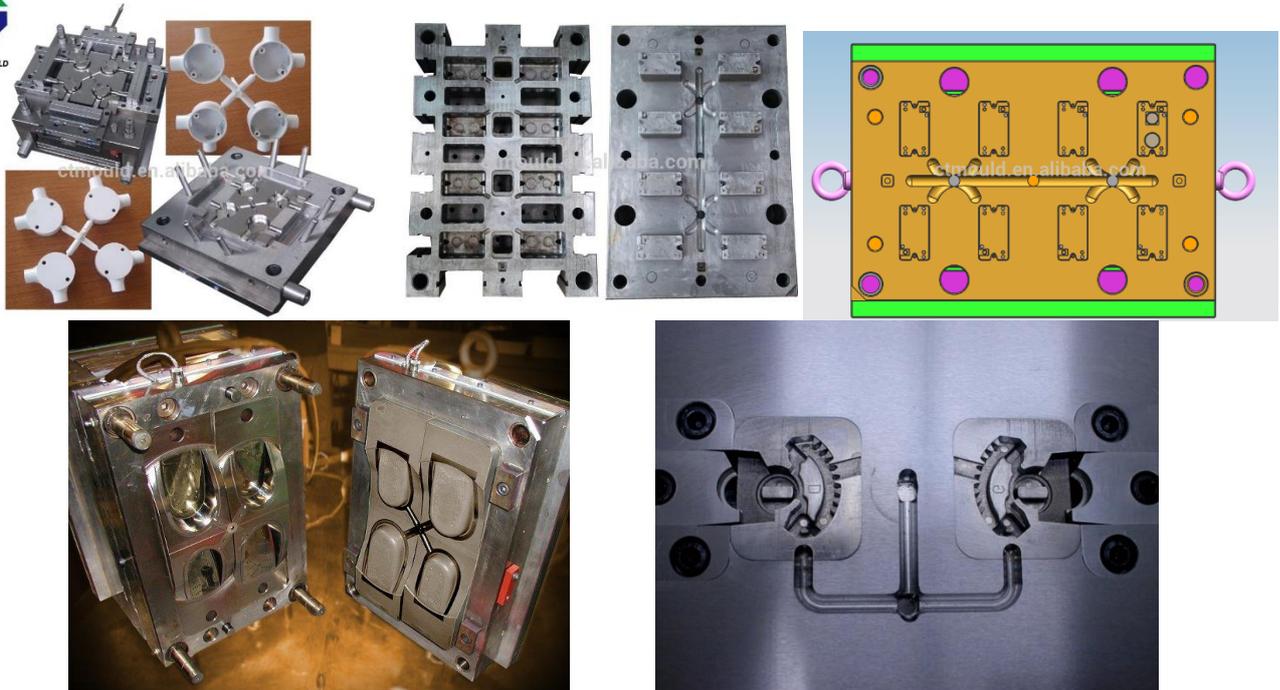
Disposition des empreintes dans un moule d'injection

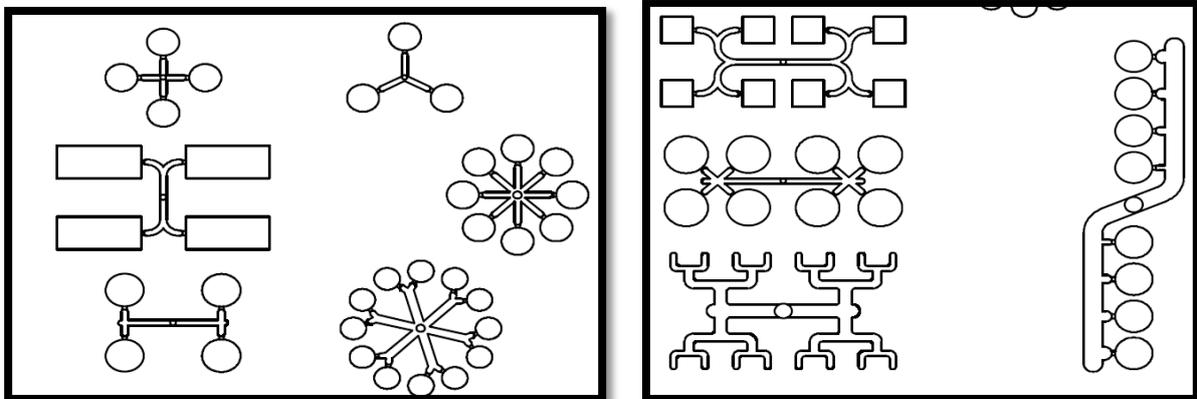
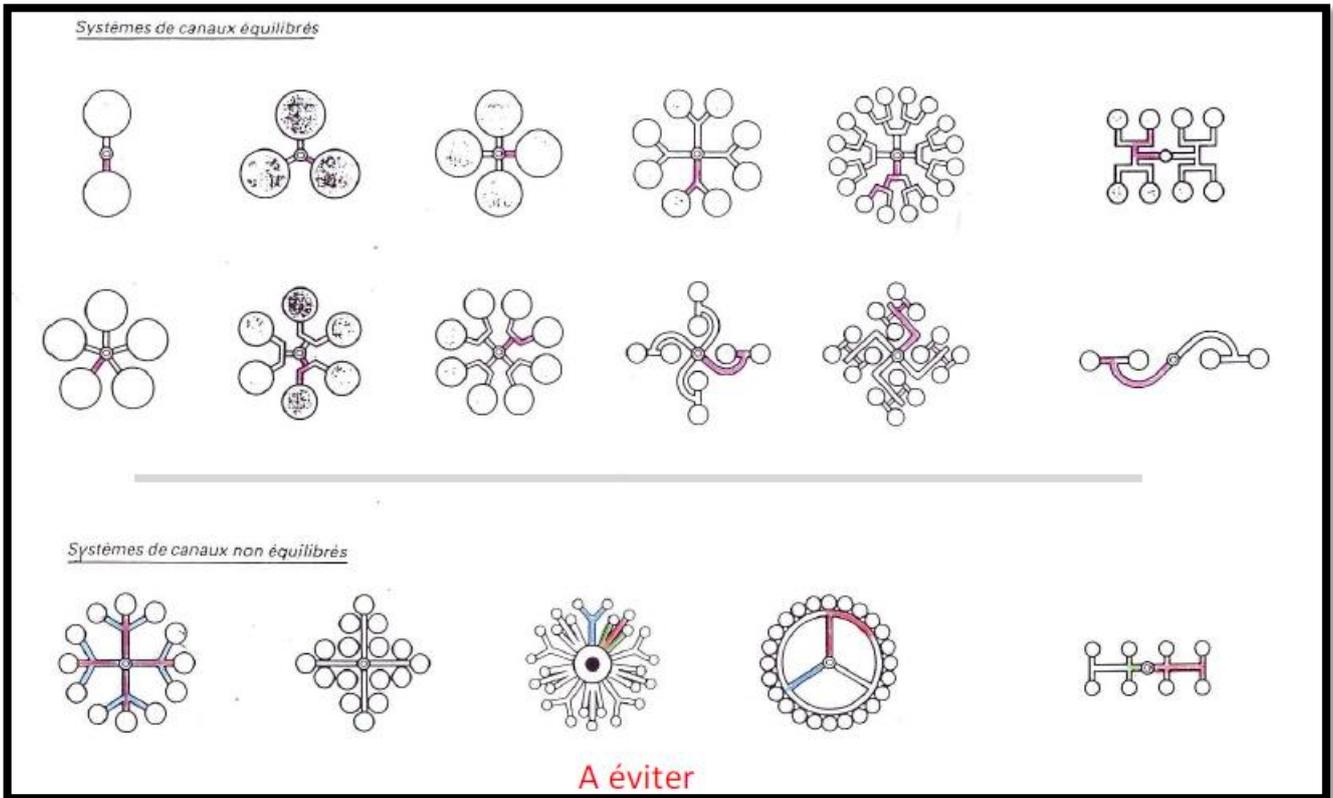
C'est un des aspects les plus importants de la conception des moules a empreintes multiples, les règles élémentaires a respecter sont :

- Grouper les empreintes dans un cercle ayant pour centre la carotte
- Le remplissage des empreintes doit être simultanées et a températures identiques
- Les canaux d'alimentation seront toujours les plus courts possibles
- Prévoir suffisamment de place entre les empreintes pour la régulation ainsi que l'éjection
- L'épaisseur des parois entre les différentes empreintes doit être suffisante pour éviter les déformations dues a la pression dans l'empreinte

Un système d'alimentation équilibré permet d'éviter :

- Des contraintes internes excessives
- Un retrait irrégulier
- Des écarts de tolérance importants
- Un démoulage difficile
- Une déformation du produit



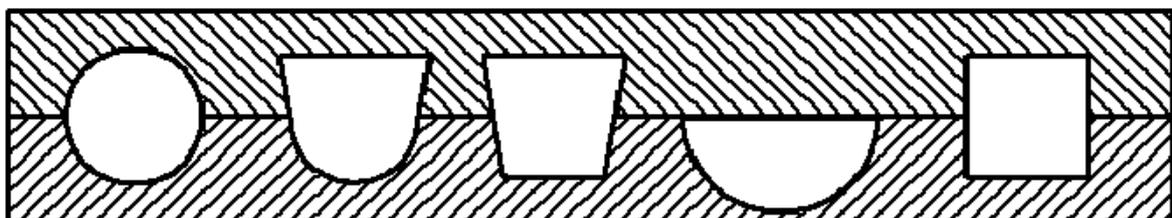


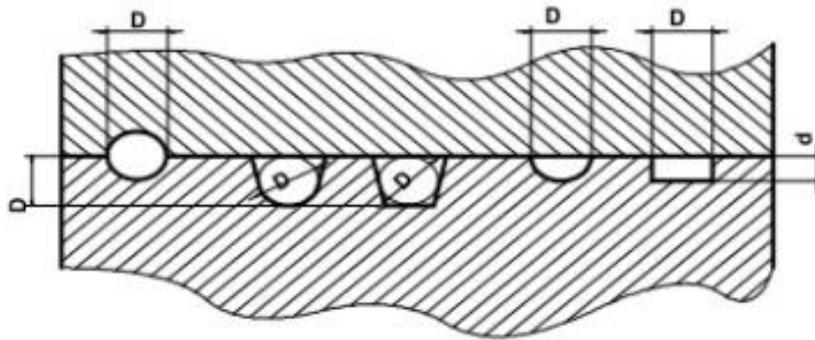
Forme et dimensions

Le refroidissement dans les canaux est directement proportionnel à au périmètre de la section du canal.

Afin de remplir dans les meilleures conditions le moule, il est nécessaire que la matière plastique se refroidisse le moins possible avant d'atteindre l'empreinte.

- La section circulaire est donc la géométrie optimale à privilégier.
- Difficile à usiner, on lui préférera parfois les sections parabolique et trapézoïdale.
- Les sections semi circulaire et carré sont à proscrire.





	Avantages	Inconvénients
Canal cylindrique	C'est le canal le plus performant, car il offre une section d'écoulement maximale pour un périmètre minimal.	Usinage sur 2 plaques du moule. Cependant avec les machines à commande numérique cet inconvénient disparaît. Utilisation difficile avec les moules 3 plaques.
Canal cylindrique plus dépouille pour déporter le plan de joint	Usinage sur une seule plaque Utilisation avec les moules 3 plaques.	-Difficulté pour la réalisation de l'outil spécial : affutage délicat. -Perte de matière par rapport au canal rond
Canal trapézoïdal	Usinage sur une seule plaque Utilisation avec les moules 3 plaques. Outil spécial plus facile à affuter	-Perte de matière par rapport au canal rond
Canal 1/2 cylindrique		Mauvais écoulement
Canal rectangulaire	Facilité d'exécution	Mauvais démoulage Mauvais écoulement

D. Fonction régulation et contrôle de température

Dans les procédés d'injection de pièces en thermoplastique, la qualité des pièces mises en forme ainsi que le temps de cycle du procédé sont fortement conditionnés par la phase de solidification du polymère dans la cavité moulante. L'analyse des transferts de chaleur pendant cette phase, conduit à investiguer le positionnement optimal des sources froides ainsi que leurs intensités. Notre approche est basée sur un positionnement du type « conformal cooling » des canaux de refroidissement, puis sur une méthode de contrôle optimal pour déterminer les flux de chaleur à évacuer en régime périodique établi.

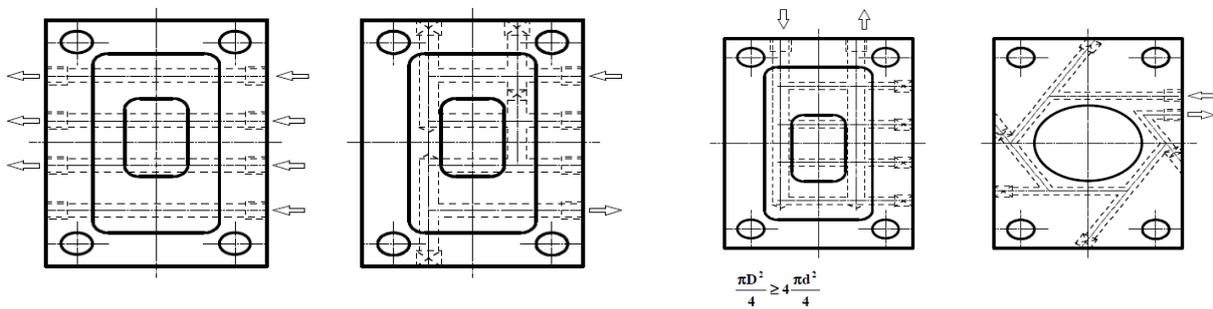
On refroidit les moules par rapport à la température d'injection du polymère. Bien souvent la température des moules est comprise entre 40°C et 100°C. La plupart du temps on perce des trous pour faire circuler un liquide de refroidissement



La régulation de la température de l'outillage se fait à travers un liquide caloporteur qui peut être :

- l'eau pour des températures faibles (eau à 15 °C)
- l'huile pour des températures allant à 130 °C

Ce liquide est envoyé à travers des canaux percés dans la carcasse de l'outillage et les empreintes en utilisant un thermorégulateur.

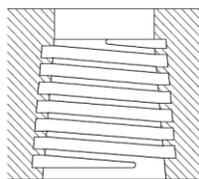


différents types de circuits de refroidissement

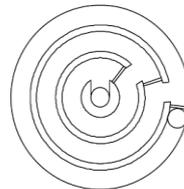
Une autre technique consiste à faire des rainures soit sur un fond, soit sur le périmètre d'une pièce circulaire.



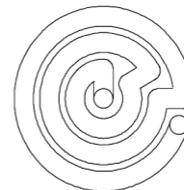
Spirale simple



Spirale simple



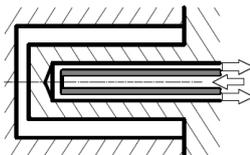
Cercles complets avec tôles de séparation



Cercles décalés fraisés

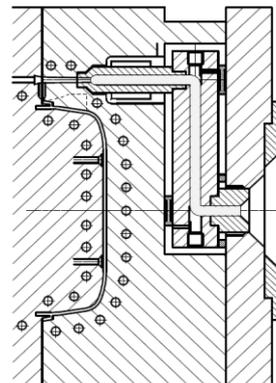
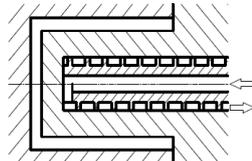
Pour broche > φ 8

Refroidissement en fontaine dans un puits alimenté par un tube.



Pour broche > φ 20

Refroidissement par spirale simple filet avec arrivée par le centre par élément rapporté.



➤ Calcul du temps de refroidissement

La pièce sera éjectée lorsque elle atteint une température appelée température de démoulage, cette température peut être atteinte au centre de la pièce ou bien elle peut une température moyenne de la totalité de la pièce

1° cas : on injecte la pièce que si la température au centre de la pièce atteindra la température de démoulage, dans ce cas le temps de refroidissement est obtenue par la formule suivante :

$$t_{ref} = \frac{s^2}{a\pi^2} \ln \left\{ \frac{4}{\pi} \frac{\theta_i - \theta_M}{\theta_{dém} - \theta_M} \right\}$$

2° cas : on injecte la pièce que si la température moyenne de la pièce atteindra la température de démoulage, dans ce cas le temps de refroidissement est obtenue par la formule suivante :

$$t_{ref} = \frac{s^2}{a\pi^2} \ln \left\{ \frac{8}{\pi^2} \frac{\theta_i - \theta_M}{\theta_{dém} - \theta_M} \right\}$$

Avec

S : épaisseur de la pièce (mm),

a : diffusivité thermique de la matière injectée (mm²/s)

θ_i : température d'injection (°C) ;

θ_M : température du moule (°C) ;

θ_{dém} : température de démoulage (°C) ;

T_{ref} : temps de refroidissement en (s)

➤ Notion de diffusivité thermique

La diffusivité thermique est une grandeur physique qui caractérise la capacité d'un matériau continu à transmettre un signal de température d'un point à un autre de ce matériau. Elle dépend de la capacité du matériau à conduire la chaleur (sa conductivité thermique) et de sa capacité à stocker la chaleur (Capacité thermique). La diffusivité thermique est souvent désignée par les lettres a, D ou la lettre grecque α. (en m²/s)

Évolution avec la température

La conductivité thermique évolue avec la température.

Pour les solides, elle répond à la loi suivante :

$$\lambda = \lambda_0(1 + a\theta)$$

où

- λ_0 est la conductivité thermique du matériau à 0°C
- a est un coefficient caractéristique de chaque matériau
- θ est la température en degré Celsius.

$$D = \frac{\lambda}{\rho c}$$

a est positif pour les isolants thermiques et négatif pour les conducteurs thermiques.

Quand la température augmente, un isolant perd de sa capacité d'isolation et inversement un conducteur perd de sa capacité de conduction.

λ : est la conductivité thermique du matériau, en $[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$

ρ est la masse volumique du matériau, en $[kg \cdot m^{-3}]$

c est la capacité thermique massique du matériau, en $[J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$

La diffusivité thermique est une grandeur intensive. Elle détermine l'inertie thermique d'un solide.

Polymères	T° matière (°C)	T° moule (°C)	Pression injection (Bars)	Pression maintien (Bars)	Vitesse injection	Temps de maintien	Contre pression (Bars)	Etuvage
PEbd	160-260	20-70	500-1000	Minimum sans retassures				
PEhd	260-310	50-70	600	30-100% Pmax				
PP	250-270	40-100	600	50-100% Pinjec				
PS	180-230 <250	20-60 ; 45-60	1000		Maximum			Oui
PS choc	180-230 <250	20-60 ; 45-60	1000		Maximum			Oui
SAN	220-260	50-70	1000		Forte			Oui
ABS	220-280	60-80	800-1400					Oui
PA-6,6	250-290	80-90	700-1200	40-100% Pinjec	Forte			Oui
PA-6	240-290	80-90	800-1300	20-60% Pinjec	Forte			Oui
PA-11	230-300	30-90	400-700		Moyenne			Oui
POM	180-220	50-120	800-2000	Pinjection	Forte	Minimum		Oui
PC	270-320	80-120	800-2000	70% Pinjec	Forte	Minimum	Faible	Oui
PET	260-270	140	1200-1700		Forte			Oui
PET amorphe	270-290	40-50	1200-1700		Forte			Oui
PBT	260-270	70-80	1000-2000	60-100% Pinjec	Forte		10-20% Pinjec	Oui
PPO	260-300	80-110	1000-2000	60-80% Pinjec	Forte		Faible	Oui
PVC	170-190	50-60	1200-1400	50-80% Pinjec	Faible-moyenne		Maxi 150	
PMMA	200-250	40-90	500-2000	Gradient décroissant		Minimum	100-200	Oui

E. Fonction éjection

La plupart des pièces réalisées par injection plastique resteraient dans le moule après son ouverture et ne seraient pas évacuées sous l'effet de la gravité seule si aucun système d'éjection n'existait.

Plusieurs systèmes ont donc été conçus afin d'aider l'extraction de la pièce à l'ouverture du moule :

- Les éjecteurs sont des barres métalliques cylindriques pleines (parfois creuses) qui, lors de l'ouverture du moule, viennent pousser la pièce plastique pour l'extraire du moule. Il s'agit de la technique d'éjection la plus utilisée car elle peut s'appliquer à quasiment toutes les pièces plastiques. Les traces des éjecteurs sont souvent visibles sur la pièce et sont considérées comme "inesthétiques". Les concepteurs de pièces injectées s'arrangent alors pour que ces traces d'éjecteurs se situent sur la partie cachée de la pièce plastique lors de son utilisation.



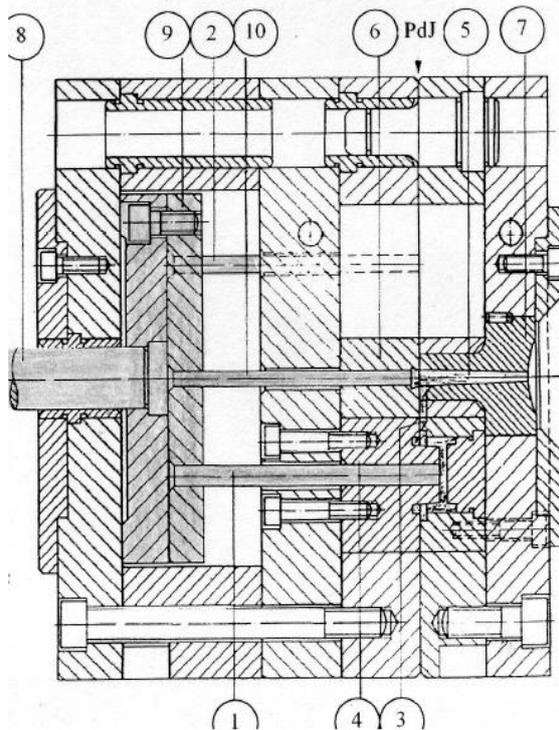
Éjecteur lame



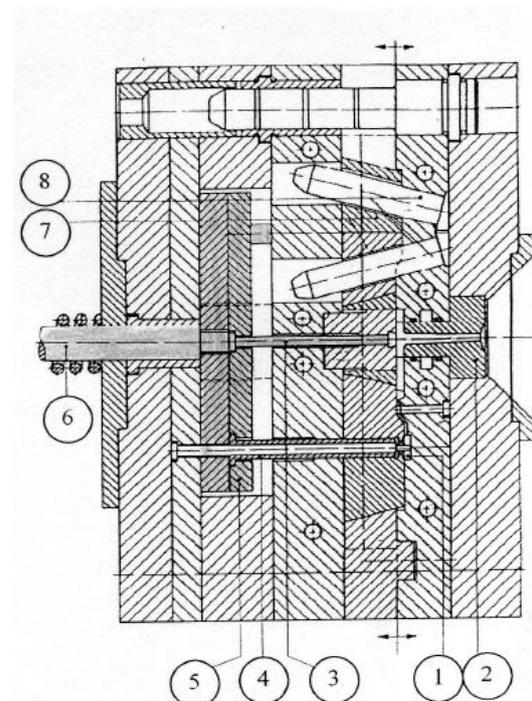
Ejecteur tubulaire



Ejecteur cylindrique



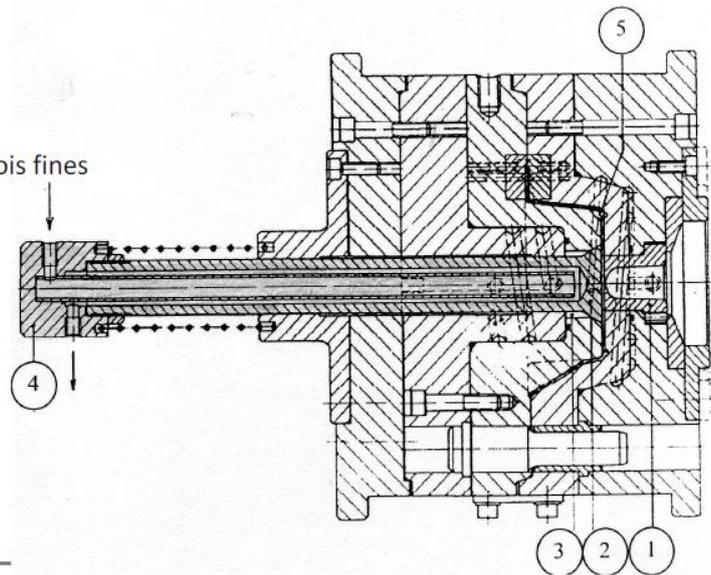
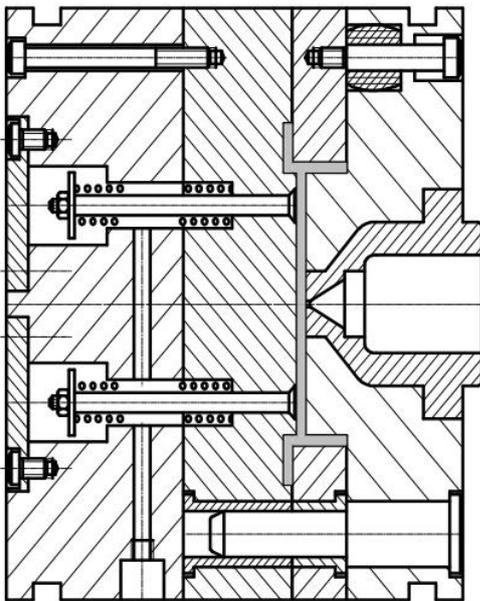
Moule à éjecteur cylindrique



Moule à éjecteur tubulaire

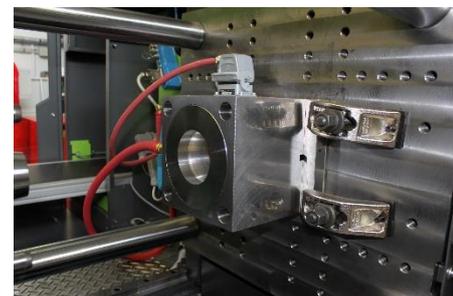
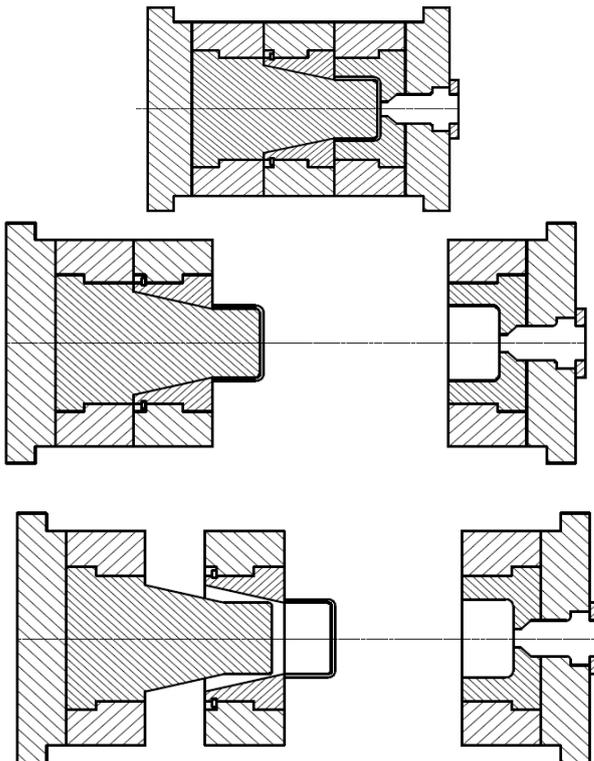
Types de pièces obtenues :

- Pièce d'aspect
- Dépouilles faibles
- Pièces profondes à parois fines



Moule à soupape d'éjection

- Les plaques dévétisseuses : La fonction de la plaque dévétisseuse est la même que celle des éjecteurs. Il s'agit d'une plaque qui va venir pousser sur les bords d'une pièce. Ces bords doivent donc se situer dans un même plan. L'avantage principal d'une plaque dévétisseuse est le fait qu'aucune marque n'est réellement visible sur la pièce finie.



Ejection par plaque dévétisseuse

Choix du dispositif d'éjection :

En fonction de la forme de la pièce, du nombre de pièces, des spécifications du cahier des charges pièce, on choisira un type d'éjection différent :

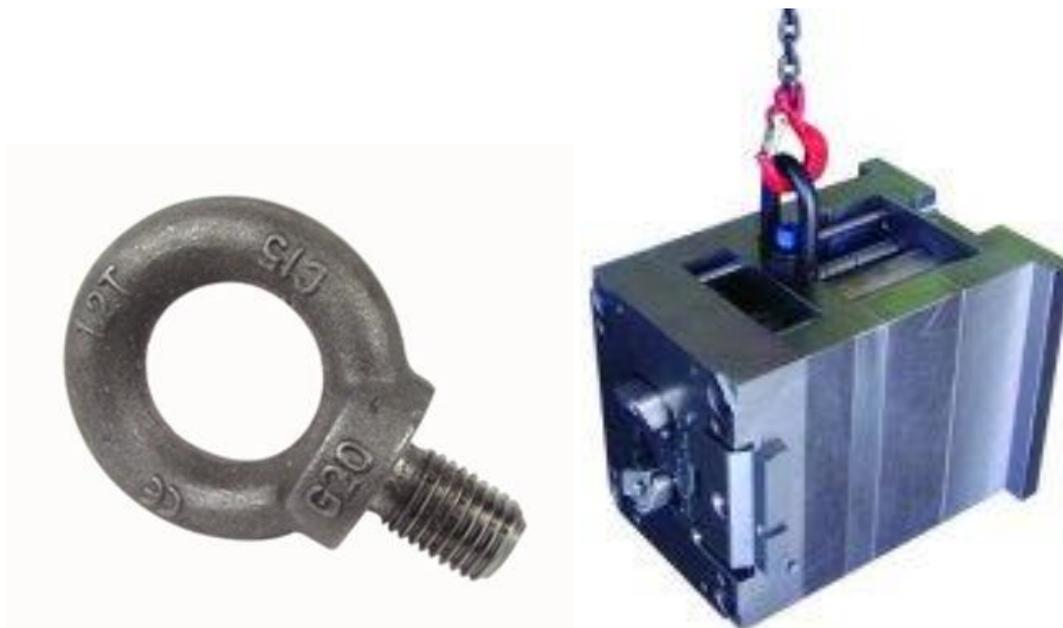
- Ejecteur cylindrique ou tubulaire
- Ejecteurs à lames
- Plaque dévétisseuse
- Soupape d'éjection
- Ejection combine (associe 2 ou 3 systèmes)
- Ejecteur annulaire

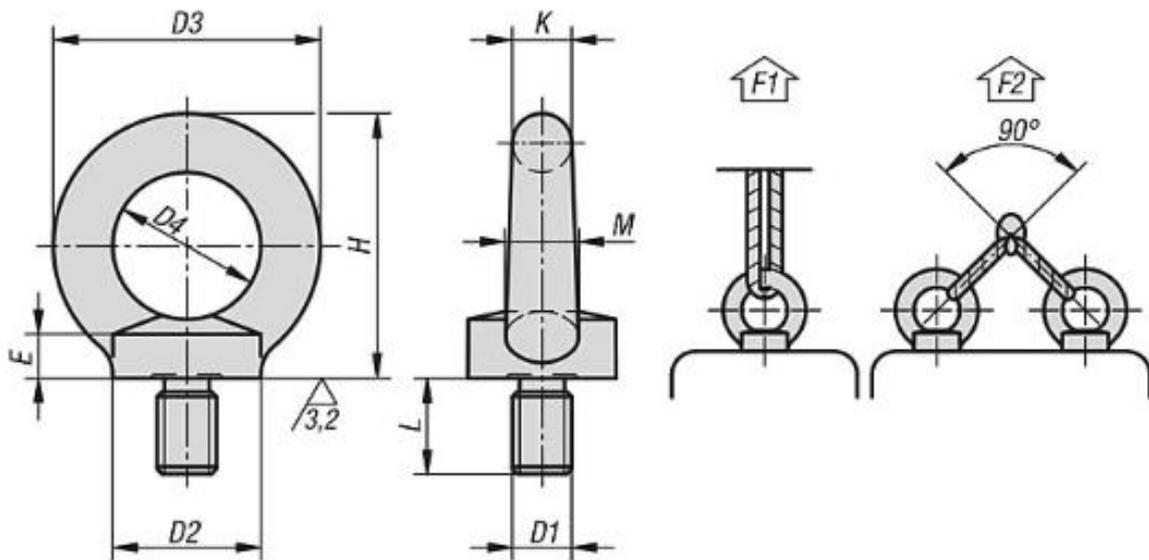
F. Fonctions manutention, stockage, sécurité et liaison machine

Afin d'éviter toute détérioration de l'outillage, il est impératif qu'à la fermeture du moule le dispositif d'éjection soit rentré. Les systèmes permettant le retour de la batterie d'éjection sont :

- Les ressorts
- Les vérins
- Les éjecteurs de remise à zéro
- Les capteurs

En outre des solutions constructives sont mise en place pour assurer la manutention des Moules pour le stockage et les opérations de maintenances et de fin de série.





																	Reset
Référence	Matériau	D1	L	D2	D3	D4	E	H	K	M	F1 max. kN	F2 max. kN	Poids env. kg	CAO	Acc.	Prix	Commander
07680-08	Acier	M8	13	20	36	20	6	36	8	10	1,4	0,95	0,050			2,51 €	<input type="text" value="0"/>
07680-10	Acier	M10	17	25	45	25	8	45	10	12	2,3	1,7	0,110			3,09 €	<input type="text" value="0"/>
07680-12	Acier	M12	20,5	30	54	30	10	53	12	14	3,4	2,4	0,190			4,23 €	<input type="text" value="0"/>
07680-16	Acier	M16	27	35	63	35	12	62	14	16	7	5	0,300			5,78 €	<input type="text" value="0"/>
07680-20	Acier	M20	30	40	72	40	14	71	16	19	12	8,3	0,470			7,81 €	<input type="text" value="0"/>
07680-24	Acier	M24	36	50	90	50	18	90	20	24	18	12,7	0,950			14,44 €	<input type="text" value="0"/>
07680-108	Inox	M8	13	20	36	20	6	36	8	10	1,4	0,95	0,050			7,75 €	<input type="text" value="0"/>
07680-110	Inox	M10	17	25	45	25	8	45	10	12	2,3	1,7	0,110			11,18 €	<input type="text" value="0"/>
07680-112	Inox	M12	20,5	30	54	30	10	53	12	14	3,4	2,4	0,190			18,50 €	<input type="text" value="0"/>
07680-116	Inox	M16	27	35	63	35	12	62	14	16	7	5	0,300			26,24 €	<input type="text" value="0"/>

5. Calcul du nombre d'empreinte dans un moule

Le calcul est nécessaire chaque fois que l'on aura le choix du nombre d'empreintes à disposer dans un moule d'injection sans que celui-ci modifie notablement l'architecture générale du moule ou le choix de la presse. X – le prix du moule à 1 empreinte en Francs Y – le coût de l'empreinte additionnelle en Francs Q – le coût horaire de la presse en Francs S – le coût horaire des salaires en Francs N – le nombre total de pièces à fabriquer t – la durée du cycle en minute

Soit n le nombre d'empreintes recherché

Coût du moule pour n empreintes :

$$C_n = X + Y(n-1) = (X - Y) + Yn$$

Coût du fonctionnement de la presse :

$$Q_u = \frac{Qt}{60n}$$

Coût du salaire par pièce :

$$S_u = \frac{St}{60n}$$

Coût du moule par pièce :

$$C_u = \frac{C_n}{N}$$

En remplaçant C_n par sa valeur :

$$C_u = \frac{(X - Y) + Yn}{N}$$

Coût de moulage d'une pièce :

$$C_{um} = Q_u + S_u + C_u$$

En remplaçant Q_u, S_u et C_u par leurs valeurs

$$C_{um} = \frac{Qt}{60n} + \frac{St}{60n} + \frac{X - Y}{N} + \frac{Yn}{N}$$

$$C_{um} = \frac{t}{60n}(Q + S) + \frac{X - Y}{N} + \frac{Yn}{N}$$

Si l'on trace la courbe des points représentant le coût de moulage fonction du nombre d'empreintes, on s'aperçoit que cette courbe passe par un minimum. Pour trouver la valeur de ce nombre d'empreintes nous donnant **le coût minimum**, nous procédons à la dérivée de la fonction, puis nous égalons à zéro pour trouver son minimum.

Dérivons donc par rapport à n

$$\frac{dC_{um}}{dn} = \frac{-t}{60n^2}(Q + S) + \frac{Y}{N}$$

Egalons à zéro

$$\frac{-t}{60n^2}(Q + S) + \frac{Y}{N} = 0$$

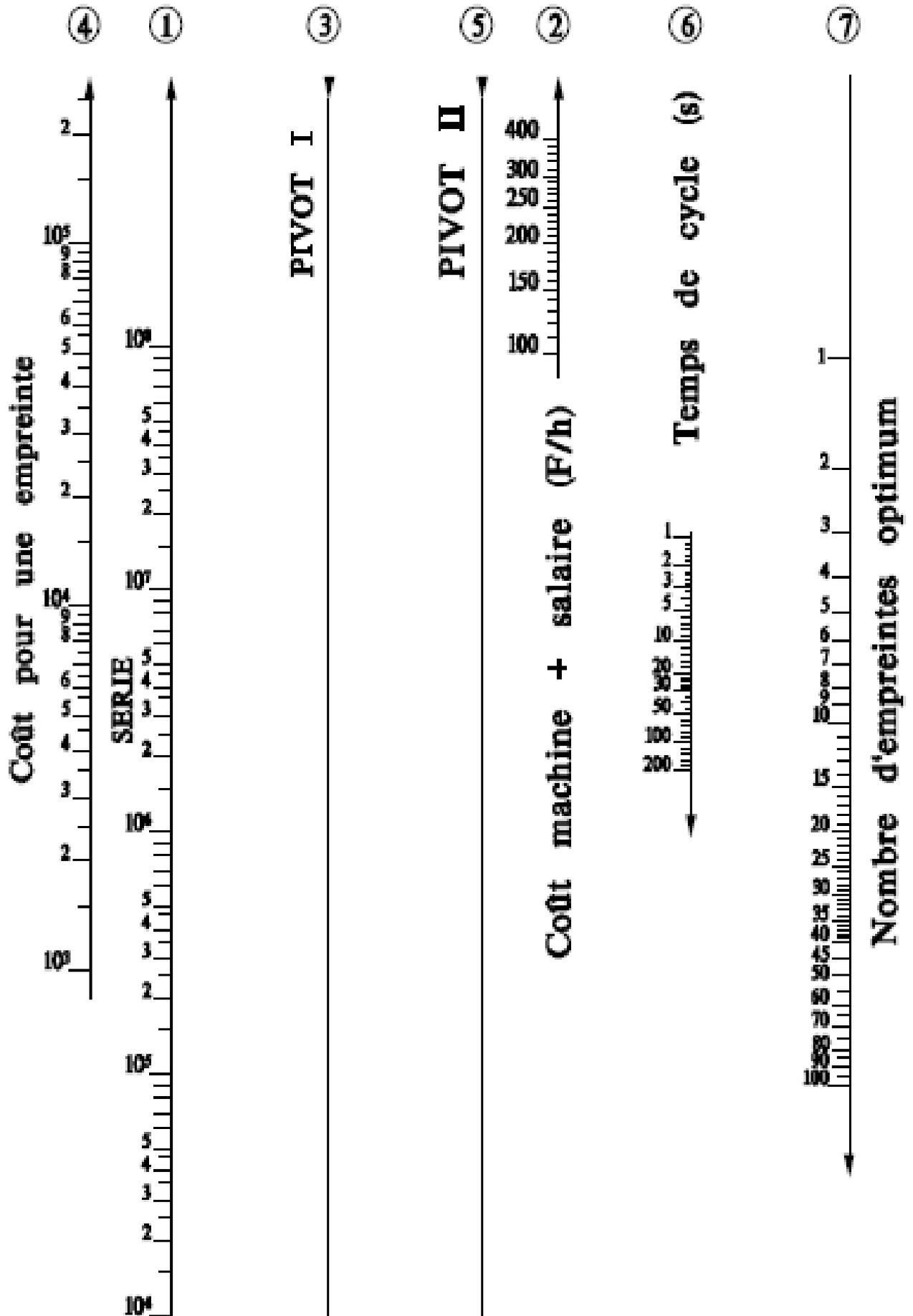
d'ou

$$n^2 = \frac{(Q + S)t}{60} \frac{N}{Y}$$

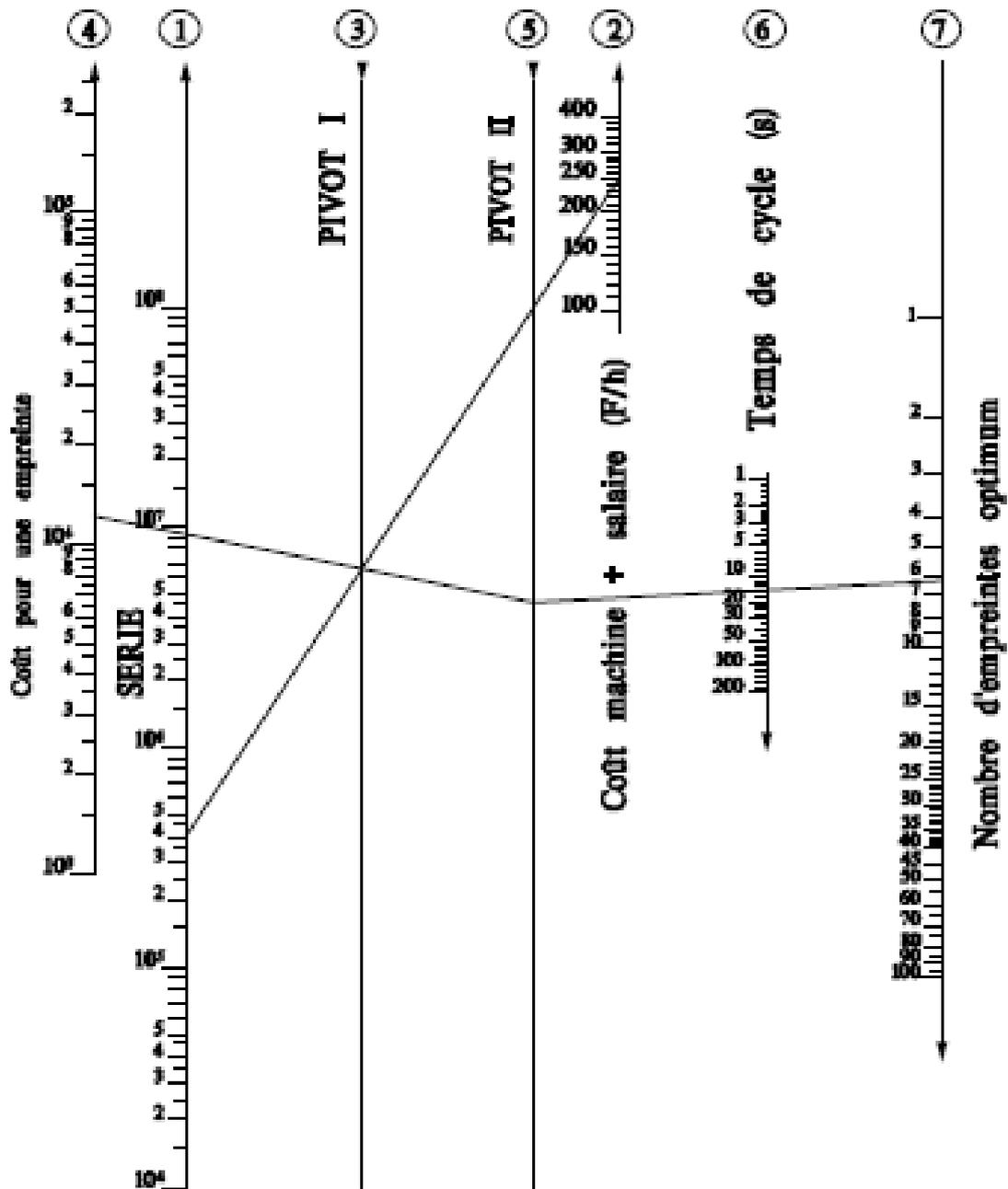
$$n = \sqrt{\frac{(Q + S)tN}{60Y}}$$

Nota : Nous remarquons que x a disparu dans la dérivée. Ceci paraît normal puisque le calcul n'a d'intérêt qu'à partir de la deuxième empreinte.

Utilisation de l'abaque pour calculer « n »



NOMBRE OPTIMAL D'EMPREINTE



- 1 Série : 400 000 pièces
- 2 Coût horaire machine+salaire : 250F/h
- 3 Pivote I à relier avec point 4
- 4 Coût pour une empreinte : 12 500 F
- 5 Pivote II à relier avec point 6
- 6 Temps de cycle 15s
- 7 Nombre d'empreintes optimum : 6

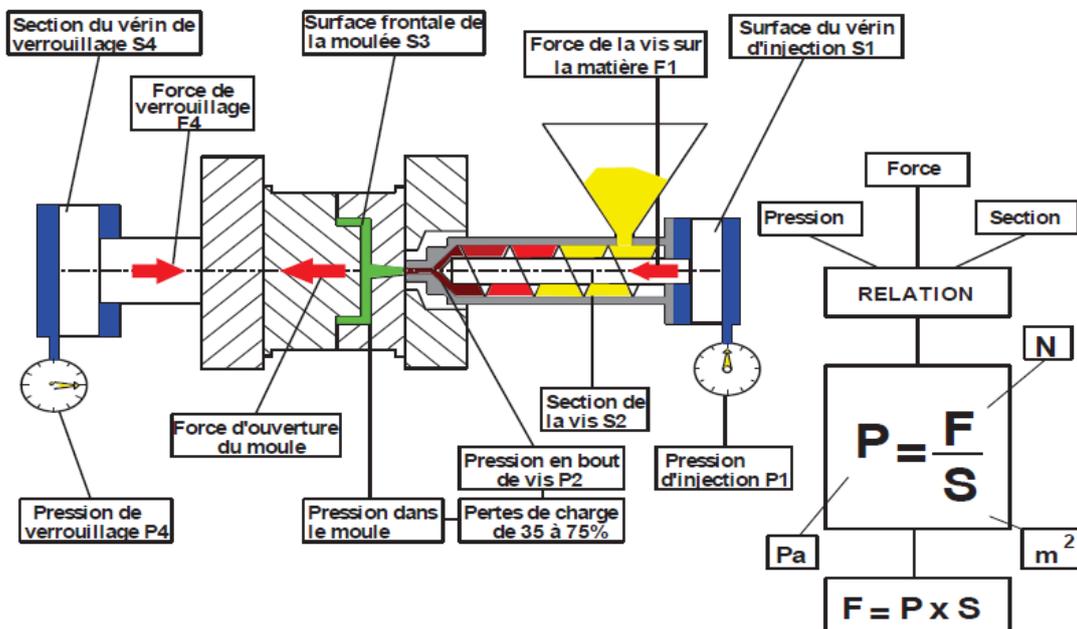
6.Dimensionnement

Lors de la conception d'un moule, il convient de passer par des opérations de calcul, pour déterminer les pressions à manipuler, ainsi que les efforts, la quantité de matière plastique injectable dans le but de choisir la presse. On détermine aussi le nombre des empreintes dans le moule et on choisit les autres paramètres pour bien concevoir le moule [6].

Les efforts sur une presse

Tous les efforts mis en œuvre sur une presse d'injection et un moule peuvent se déterminer facilement.

La force en Newton N ou en KN	La pression en Pascal Pa ou en Mpa
Force N : 1kN = 1000N, 10 kN =1Tonne, 1 daN = 10N	Pression : Pa, 1Pa=1N/m ² , 1 MPa=1N/mm ²
Section (m ²), m ² =10 ⁶ mm ²	1 MPa=10bar, 1bar=1 DaN/cm2
La section en mètre carré m ² ou en mm ²	



Exemple de calcul

Les Dimensions de la Boite : 100mm x 100mm x 50mm

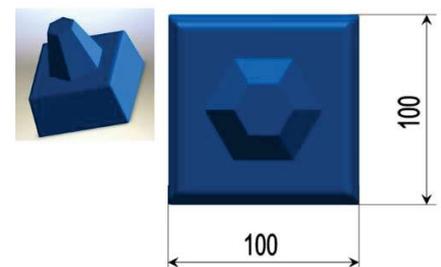
- Epaisseur : 1.2mm
- Matière : PP
- Pression maintien donnée : 300 bars
- Soit pour 1 empreinte

$$P = F / S \text{ ou } F = P \times S$$

$$F \text{ (daN)} = P \text{ (Bar ou Kg/cm}^2\text{)} \times S \text{ (cm}^2\text{)} \times (\text{Coef sécurité } 20\%^*)$$

$$F \text{ (daN)} = 300 \times 10 \times 10 \times 1.2, F \text{ (daN)} = 36000 \text{ daN}$$

Soit 36T nécessaire théoriquement, le choix se portera sur une 50T



	Injection				Fermeture						Plateaux			
	Diamètre des vis	Volume théorique injectable	Pression max-matériau	Force d'appui sur la buse	Modèle	Force de verrouillage	Course d'ouverture	Épaisseur des moules mini-maxi	Diamètre des colonnes	Force d'ouverture du moule	Désignation	Passage entre colonnes	Dimensions des plateaux	Espace maxi entre plateaux
Unités	mm	cm ³	bars	kN	T	kN	mm	mm	mm	kN		mm	mm	mm
H 260	32	116	2205	43	90	900	380	180 à 400	70	130	555	370 x 370	555 x 555	780
	35	139	1843											
	38	163	1564											
H 470	38	198	2327	67	140	1400	500	240 à 480	85	161	650	430	650	980
	40	220	2100											
	45	278	1659											
H 780	45	342	2276	67	200	2000	560	280 à 580	100	290	760	500	760	1140
	50	422	1843											
	55	511	1523											
H 1 300	55	582	2200	82	320	3200	660	330 à 680	120	370	920	610	920	1340
	60	693	1849											
	65	813	1575											
H 2 000	65	946	2113	82	320	3200	660	330 à 680	120	370	1045	735	1045	1340
	70	1097	1822											
	75	1259	1587											
H 2 500	75	1215	2065	82	420	4200	750	250 à 800	140	426	1040	680	1040	1550
	90	1750	1430											
H 4 340	75	1988	2184	110	420	4200	750	250 à 800	140	426	1180	820	1180	1550
	90	2863	1517											
	105	3897	1115											
H 6 860	90	3340	2053	110	700	7000	1100	300 à 1100	180	781	1370	910	1370	2200
	105	4546	1509											
	120	5938	1155											
H 10 140	105	5195	1950	110	900	9000	1250	300 à 1200	195	1007	1550	1025	1550	2450
	120	6786	1493											
	140	9236	1097											
H 16 470	120	7917	2080	173	1150	11500	1650	400 à 1600	220	1357	1770	1170	1770	3250
	140	10776	1528											
	160	14074	1170											
H 24 400	140	12315	2023	270	1800	18000	2100	500 à 1800	280	1365	2250	1450 x 2250	2200 x 2250	3900
	160	16084	1548											
	180	20357	1223											
H 34 400	160	18095	1968	270	2200	22000	2100	500 à 1800	310	1365	2600	1450 x 1800	2260 x 2660	3900
	180	22902	1555											
	200	28274	1253											

Source : Document Presses hydrauliques Billion (01810 Bellignat)

Recommandations :

1 - Bien vérifier les caractéristiques de la presse :

- Volume injectable
- Passage entre colonne par rapport aux dimensions maximum de l'outillage
- Course d'ouverture et d'éjection de la presse
- Présence nécessaire d'un noyau hydraulique sur presse

2 - Prendre en compte la surface frontale du canal d'alimentation si nécessaire ou augmenter le Coefficient de sécurité

3 - Ne jamais se mettre aux limites maxi de la Presse

7. Bien maîtriser le phénomène de RETRAIT

On entend par retrait les processus qui conduisent à la réduction des dimensions de la pièce par rapport à celles du moule froid.

Le retrait exerce une influence directe sur les dimensions d'une pièce moulée par injection.

Un retrait différentiel provoque des déformations (gauchissement ou voilage). Le blocage du retrait (maintien prolongé de la pièce dans le moule ou utilisation de conformateur) engendre des tensions internes qui d'une part altèrent la résistance globale de la pièce et d'autre part se libéreront dans le temps entraînant des déformations.

Le retrait commence à se produire pendant la transformation, lorsque la matière passe de l'état plastique à l'état solide (refroidissement) et que la masse fondue amorphe se transforme en une matière partiellement cristalline en se contractant. Ainsi, une pièce moulée par injection est plus petite que la cote du moule froid correspondant. Le retrait de moulage des matières partiellement cristallines est plus important que pour les matières amorphes.

On appelle retrait de moulage **Rm** la différence entre la cote du moule froid **Mf** et la cote **L** de la pièce moulée refroidie (24h après sa fabrication, DIN 16 901).

Le retrait de moulage est indiqué en %

$$R_m = \frac{M_f - L}{M_f} 100$$

La diminution de volume de la pièce moulée n'est pas encore terminée. Le retrait se poursuit dans le temps et tend vers une valeur "définitive" d'autant plus vite atteinte que la température de stockage est élevée. Ce phénomène, essentiellement dû à une post-cristallisation est appelé Post-retrait Pr. Selon la norme DIN 53464, on entend par post-retrait la différence calculée entre la cote L de la pièce moulée et la cote L1 de cette même pièce après un traitement ultérieur à une température donnée.

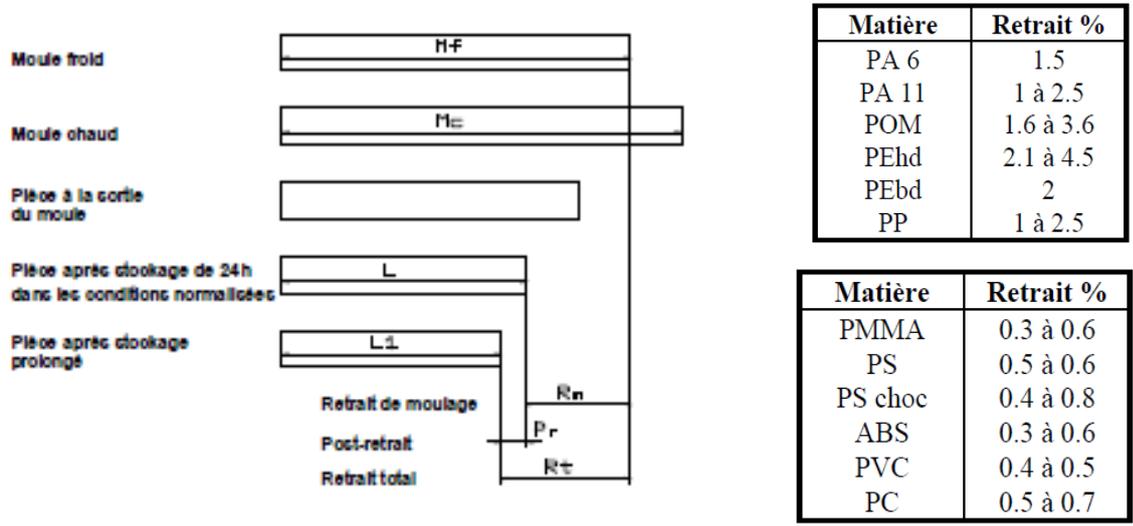
Le post-retrait est indiqué en %

$$P_r = \frac{L - L_1}{L} 100$$

Le post-retrait des matières plastiques partiellement cristallines est toujours inférieur au retrait de moulage. La somme du retrait de moulage et du post-retrait est appelé retrait total Rt

$$R_t = R_m + P_r$$

Représentation schématique du retrait de moulage Rm, du post-retrait Pr et du retrait total Rt

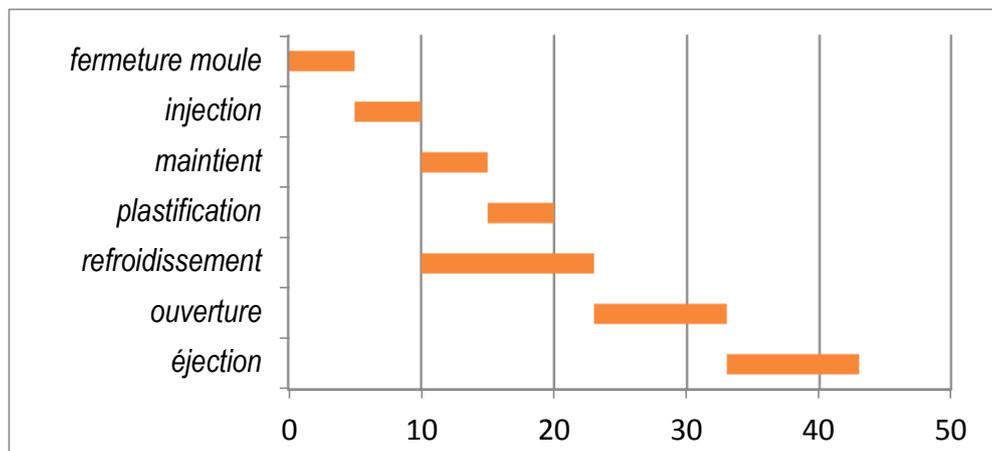


8. Calcul du temps de cycle de moulage par injection

➤ Cycle de moulage

Le cycle complet de fabrication qui démarre toujours avec le moule ouvert, se déroule de la façon suivante :

1. Fermeture du moule rapide en début de course, puis lente à la fin, puis verrouillage du moule pendant laquelle une force importante en fonction des critères techniques (matière à injecter, forme des pièces,...) est appliquée pour maintenir les 2 surfaces des parties fixes et mobiles en contact.
2. Injection de la matière, de l'entrée du moule vers les empreintes destinées à modeler la pièce. Cette matière est diffusée de manière homogène dans les empreintes pour bien les remplir.
3. Maintient en position de la vis d'injection pour empêcher le retour de la matière visqueuse vers la chambre de dosage jusqu'à la solidification des canaux.
4. Refroidissement rapide des empreintes pour solidifier la matière.
5. Ouverture lente du moule en début de course puis rapide en fin.
6. Ejection de la pièce solidifiée.



Le cycle de moulage peut durer de quelques secondes à plusieurs minutes. L'injection est contrôlée en vitesse et en position. La pression et le temps doivent être bien régulés. Après la phase de compactage on passe à la pression de maintien quand le moule est presque totalement rempli, il y a un temps précis à respecter avec pression plus haute que durant l'injection. Ensuite le temps de refroidissement doit être précis pour permettre l'ouverture sans déformation de la pièce.

Paramètres et réglages

Les temporisations principales à régler sont :

- le dosage- l'injection- l'ouverture- la fermeture- l'éjection- la post pression

Autres paramètres :

- Température du fourreau- Température de la matière- Température du moule injection

- Pressions durant l'injection- Pressions durant le maintien- La contrepression- La vitesse de rotation de la vis- La course de dosage

Courses d'ouvertures et d'éjections etc...

Le temps du cycle est calculé à partir du temps du cycle à vide additionné avec le temps d'injection et le temps de refroidissement ; d'après le graphe on constate que le temps de maintien et ce de la plastification sont des temps morts.

$$T_{cv} = T_{fr} + T_{ov} + T_{ej} \quad : \text{ temps du cycle à vide}$$

$$T_{cyc} = T_{cv} + T_{inj} + T_{ref}$$

Le temps d'injection est calculé à partir des caractéristiques de la presse tel que la vitesse d'injection, le volume injectable, le débit d'injection....

9. Détermination du cout de la pièce injectée

Le coût d'une pièce injectée en matière plastique peut être décomposée comme suit:

- Coût outillage
- Frais de lancement de la série
- Coût machine
- Coût de la matière plastique

$$C_{pièce} = \left[\frac{(I+E)}{N} + \frac{F_{la}}{N_e} + T_c \cdot \frac{T_h}{3600} + C_m \right]$$

I : investissement outillage (en DT)

E : frais d'entretien du moule (en DT)

N : nombre de pièces de la série

F_{la} : frais de lancement (en DT)

N_e : nombre de pièces par lancement

T_c : temps de cycle (en s)

T_h : taux horaire de la machine (en DT/h)

C_m : coût matière première par pièce (en DT)

Afin d'établir un prix de revient prévisionnel il faut suivre le synoptique ci-dessous :

OPERATION	DOCUMENT DE REFERENCE
CHOIX DU PLAN DE JOINT	Cahier des charges pièce, aspect, décoration, dimensionnel cotes dépendantes du moule.
SURFACE PIECE	Surface de projection.
VOLUME PIECE	Cours, les principaux volumes.
POIDS PIECE	Densité matière choix de la matière en fonction du cahier des charges pièces.
NOMBRE EMPREINTES	Calcul nombre empreintes (série, prix moule).
ENCOMBREMENT MOULE	Implantation des empreintes, choix des emplacements des seuils d'alimentation, cinématique moule.
CHOIX PRESSE	Calcul force de fermeture.
CHOIX PRESSE	Calcul volume injecté.
CALCUL CYCLE	Décomposition en TEMPS DYNAMIQUE REFROIDISSEMENT ENTRE CYCLE
TAUX HORAIRE	Travail en automatique, avec opérateur, part de l'opérateur.
CADENCE MOULAGE	Cycle x nombre empreintes
PART MATIERE	Poids brut (la moulée), poids net (pièce), part de carotte broyée à réincorporer.
COUT MATIERE	TARIFICATION MATIERE
OPERATIONS FINITION	Calcul des coûts par rapport à une cadence et taux horaire.
CONDITIONNEMENT	Calcul des coûts d'emballage, unitaire, carton, palette.
TRANSPORT	Calcul des coûts indexés au poids et volume.

10. Conclusion

Problèmes de moulage et Précautions à prendre

A. Retassures

Les retassures sont dans leur grosse majorité des défauts de surface caractérisés par un affaissement de la matière, parmi elles :

- les retassures localisées : au voisinage de zones avec fortes variations d'épaisseurs (nervures) ;

- les retassures en osselets : le retrait de matière s'effectue sur une grande surface, de façon à se détacher de la paroi par pellicules (sauf sur les bords).

Mécanismes de formation :

Après le remplissage de l'empreinte, la matière chaude se rétracte (le retrait dépend de la matrice polymère utilisée, et des charges présentes : PA6 GF30 retrait de 0,1 % en sortie de moule). La pression de maintien appliquée pour compenser ce retrait ne joue pas son rôle.

Causes possibles :

- la pression de maintien est insuffisante, ce qui rend possible un retrait de la matière ;
- la vitesse d'injection est trop rapide, ce qui rend difficile le remplissage et rend inefficace le maintien ;
- la matière est déjà solidifiée au niveau du seuil ce qui entraîne des difficultés pour le maintien ;
- les paramètres choisis accentuent le retrait.

Actions correctives :

- renforcer la pression de maintien ;
- baisser la vitesse d'injection et augmenter la température de la matière pour faciliter le remplissage ;
- améliorer la conception du moule (éviter les variations d'épaisseurs des pièces, placement du seuil d'injection) ;
- augmenter la température du moule et diminuer la température de la matière (homogène).

B. Jet libre

Mécanismes de formation :

La matière sort du seuil d'injection à la façon d'un jet d'eau à la sortie d'un tuyau d'arrosage. Le remplissage de l'empreinte se fait toujours en mode laminaire (écoulement de type fontaine avec projection du front de matière) mais la différence de pression entre l'entrée et la sortie du seuil fait que l'inertie prend le dessus sur la viscosité du polymère. Le front de matière est projeté jusqu'à un obstacle dans l'empreinte. L'effet sur la pièce s'avvoisine à un serpent en surface.

Causes possibles :

- mauvaise conception du moule : seuil d'injection mal positionné (positionné dans une forte épaisseur ou mal dimensionné) ;
- matière trop visqueuse ;
- pression au niveau de seuil trop importante.

Actions correctives :

- améliorer la conception du moule (augmenter la section du seuil) ;

- augmenter la température de la matière ;
- injection lente au début, puis plus rapide ;
- injecter face à une paroi du moule pour casser le jet libre.

C. Défauts en ligne de soudure

Description :

- ligne de soudure marquée ;
- mauvaise résistance mécanique des lignes de soudure ;
- stries de couleur ;
- forte retassure le long de la ligne de soudure.

Mécanismes de formation :

- apparaît en fin de remplissage, la surpression dépasse la pression de maintien ;
- la jonction est facilement cassable ;
- dégradation de la coloration due à la température.

Causes possibles :

- mauvaise pression d'injection ;
- température trop basse de la matière injectée ;
- dégradation de la matière due à une surchauffe.

Actions correctives :

- augmenter la température de la matière ;
- augmenter la vitesse d'injection ;
- augmenter la température du moule ;
- diminuer les trajets d'écoulement de la matière.

D. Cernes et sillons

Description :

- les cernes, ou effet fleur sont des sillons concentriques mats autour du seuil d'injection ;
- les sillons, ou effets slick-slip sont concentriques et plus ou moins creusés autour du seuil d'injection, ou dans les zones de faible épaisseur.

Mécanisme de formation :

Le flux de matière pulse dans le moule, car il avance trop lentement. Le défaut est en général plus courant dans les matières amorphes, plus visqueuses à chaud. Attention, chaque matière

plastique se comporte différemment (semi-cristalline : polyamide, polyéthylène, polypropylène ; amorphe : polycarbonate, polystyrène, polyméthacrylate de méthyle (PMMA), poly(téréphtalate d'éthylène) (PET) pour bouteilles en plastique). Les polycarbonate, poly(téréphtalate de butylène), polyamide, polypropylène sont utilisés dans la fabrication des réflecteurs (phares automobiles).

Causes possibles :

- mauvaise introduction de la matière injectée ;
- mauvaise température matière ;
- mauvaise conception du moule.

Actions correctives :

- augmenter les vitesses d'injection ;
- adapter les flux de matière (remplissage régulier) ;
- augmenter la température de la matière ;
- augmenter la température de l'outillage ;
- augmenter l'épaisseur des pièces.

E. Entraînement d'air

Causes possibles :

L'air inclus peut provenir :

- d'une mauvaise plastification lors du dosage ;
- d'une mauvaise conception du moule (aspérités, rayures, renforcements, etc.).

Actions correctives :

- vérifier la qualité de la vis, choisir une unité de plastification adapté au volume de la matière ;
- augmenter la contrepression de la vis lors du dosage (freiner le recul de la vis) ;
- limiter la phase de décompression de la matière après dosage (diminuer la course de décompression) ;
- améliorer la conception du moule permettant l'évacuation de l'air ;
- utiliser un équipement de « sous-vide / vacuum » afin d'extraire l'air / gaz présents dans le moule avant l'injection.

F. Sous-dosage et surdosage

Description des défauts engendrés et mécanisme de formation :

- en cas de sous-dosage la pièce obtenue est incomplète ;

- pour un surdosage, l'excès de matière se traduira par des bavures (pouvant boucher jusqu'aux éjecteurs), un sur compactage (contraintes internes, cassures, déformations).

Causes possibles :

- quantité de matière injectée insuffisante ou trop importante ;
- matelas de matière instable ou nul ;
- clapet anti-retour de la vis de plastification usé ou cassé.

Actions correctives :

- diminuer ou augmenter le dosage de matière ;
- vérifier que le matelas de matière en fin d'injection est constant ;
- changer le clapet anti-retour de la vis de plastification.

G. Bulles – effets fontaine

Mécanisme de formation :

Surtout pour les pièces de forte épaisseur, le remplissage se fait par couches successives. La matière solidifiée en dernier se trouve à cœur, donc il peut y avoir formation de bulles (et être assimilées à des retassures).

Actions correctives :

- augmenter la vitesse d'injection.

H. Combustion ou effet Diesel - carbonisation

Description :

- apparition de zones brûlées (aux extrémités) ;
- coup de feu ;
- strie de surchauffe ;
- cratères (piques, pustules) ;
- écarts de couleur ;
- dégradation des propriétés mécaniques.

Causes possibles : Des bulles de gaz sont comprimées et s'enflamment sous l'effet de la température (principe du moteur Diesel : compression adiabatique).

Actions correctives :

- améliorer la conception du moule ;
- optimiser les paramètres (baisser vitesse d'injection, température et pression) ;
- température matière trop haute ;

- ajouter des événements sur le moule ;
- utilisation d'un équipement de « sous-vide / vacuum » ; en ôtant l'air / gaz présents dans le moule, on diminue considérablement le risque de « brûlures ».

I. Défauts à l'éjection

- Déformations.
- Les éjecteurs transpercent la pièce au moment de l'éjection.

Causes possibles :

- température matière trop importante au moment de l'éjection ;
- pression interne trop élevée ;
- mauvaise taille/disposition des éjecteurs.

Actions correctives :

- augmenter le temps de refroidissement ;
- adapter le profil des vitesses d'injection ;
- adapter la vitesse des éjecteurs ;
- baisser la température du moule ;
- vérifier que les éjecteurs soient correctement montés.

J. La pièce reste coincée dans le moule – dégradation mécanique de la pièce

Dégradations irréversibles :

- cassures ;
- rainures ;
- fissures.

Causes possibles / correction :

- pression interne trop élevée ;
- la pièce reste coincée sur ses parois externes : l'éjection est trop précoce ;
- la pièce reste coincée sur ses parois internes : l'éjection est trop tardive ;
- manque de dépouille sur la pièce moulée.