

## Chapitre III. Technologie des moules

### III.1. Introduction

Le moule est comme le négatif d'une photographie: sa géométrie et sa texture de surface est directement transféré sur la pièce moulée par injection.

Il représente la plus grande partie des coûts de démarrage dans le moulage par injection: le coût d'un moule typique démarre à environ 2000-5000\$ pour une géométrie simple et des cycles de production relativement petits (de 1000 à 10000 unités) et peut aller jusqu'à 100000\$ pour les moules optimisés pour une production à grande échelle (100000 unités ou plus).

Cela est dû au haut niveau d'expertise requis pour concevoir et fabriquer un moule de grande qualité qui peut produire avec précision des milliers (ou des centaines de milliers) de pièces.

Les moules sont généralement usinés sur machine à commande numérique en aluminium ou en acier à outils, puis finis selon la norme requise. Outre le négatif de la pièce, ils ont également d'autres caractéristiques, comme le circuit d'injection plastique qui facilite l'écoulement du matériau dans le moule et les canaux de refroidissement à eau internes qui facilite et accélère le refroidissement de la pièce

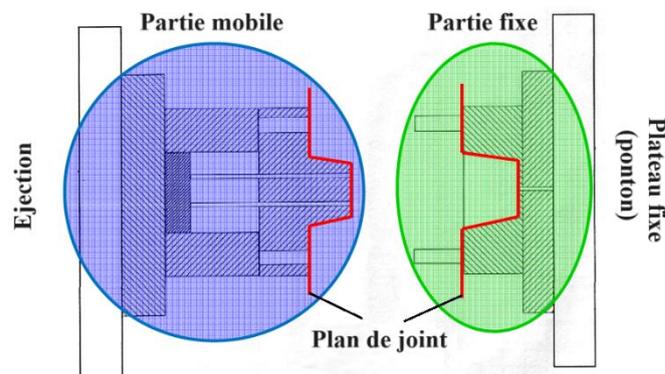
Un moule est composé de 2 parties bien distinctes :

- Une partie mobile
- Une partie fixe

La partie fixe, où se situe la buse moule, ne se déplace pas. La partie mobile, où se situe l'éjection, va subir un déplacement en translation.

La zone marquée de rouge est appelée

« *plan de joint* ». C'est toute la surface où les 2 parties citées précédemment sont en contact.



### III.2. Les deux côtés du moule

Les pièces moulées par injection ont deux côtés: le côté A, qui fait face à la partie fixe du moule et le côté B, qui fait face à la partie mobile du moule. Ces deux côtés ont des objectifs différents:

**Le côté A** : généralement une meilleure apparence visuelle et est souvent appelé le côté **esthétique**. Les faces du côté A seront lisses ou auront une texture selon vos spécifications de conception.

**Le côté B** : contient généralement les éléments structurels cachés (mais très importants) de la pièce (les bossages, les nervures, les encliquetages, etc.) fonctionnel. Le côté B aura souvent une finition plus rugueuse et des marques visibles des broches d'éjection.

III.3. Eléments de moule

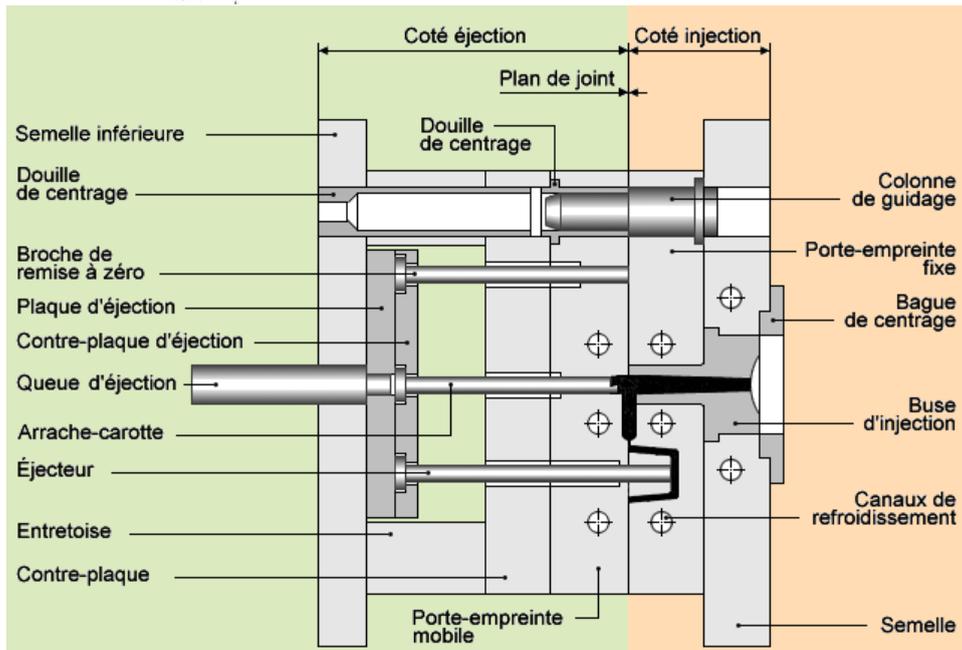
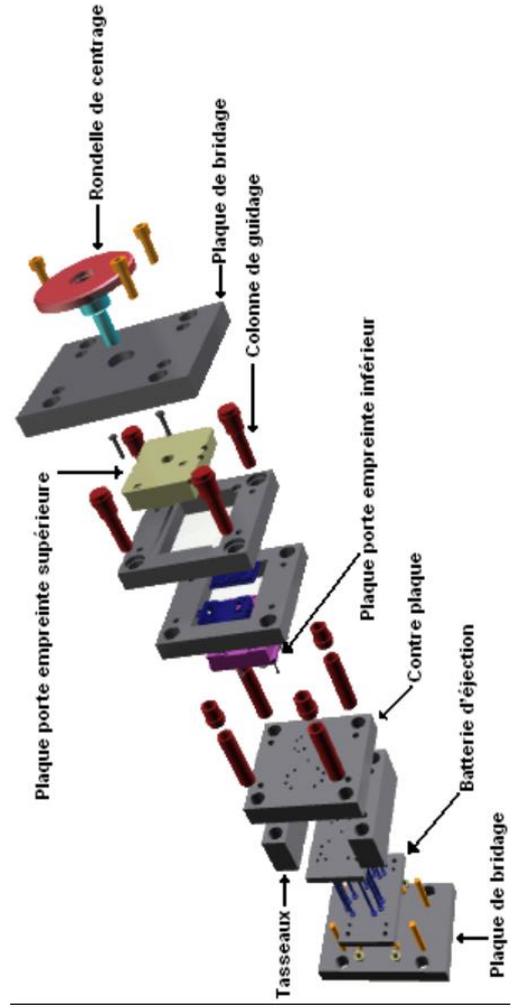
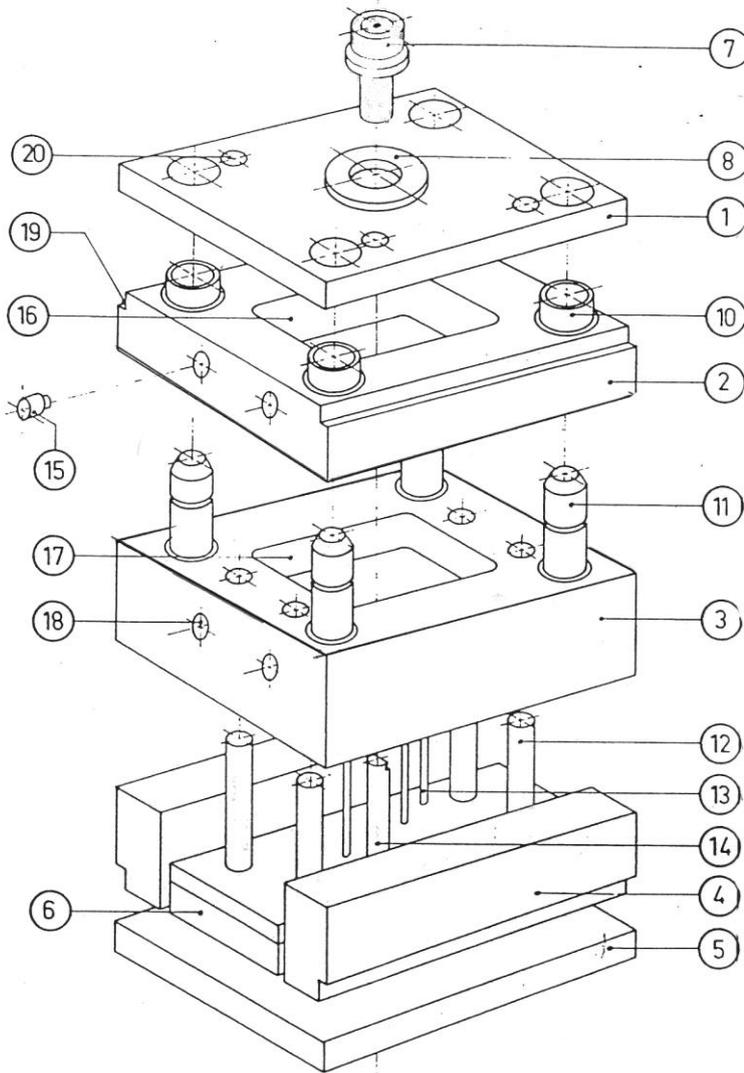


Figure III.1. Un moule standard

### III.3.1. Terminologie des éléments constituant l'outillage

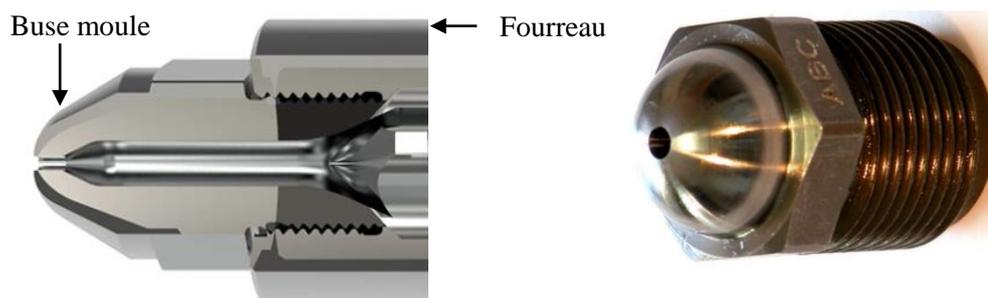
Repère	Désignation
1	Plaque arrière côté injection
2	Plaque porte empreinte côté injection
3	Plaque porte empreinte côté éjection
4	Tasseau
5	Plaque arrière côté éjection
6	Contre plaque d'éjection
7	Buse moule
8	Rondelle de centrage
9	Plaque porte éjecteurs
10	Bague de guidage
11	Colonne de guidage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

■ Batterie d'éjection

■ Guidage moule

### III.3.2. Les différents éléments d'un moule d'injection

**La buse moule :** (ou buse d'injection) permet le passage de la matière du fourreau vers les canaux ou l'empreinte. Elle assure aussi le contact étanche entre le moule et le fourreau.



**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 (ou semelle) arrière (côté injection):** Permet de fixer la rondelle de centrage, la buse moule et les colonnes de guidage, ainsi que le bridage (fixation du moule sur le plateau de la presse).

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



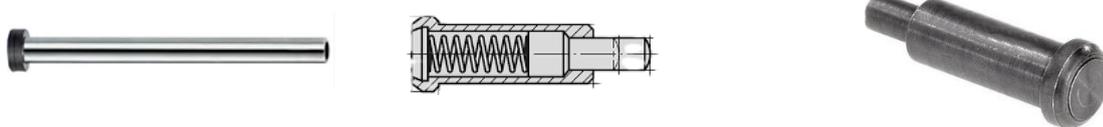
**Bague de guidage :** Permet le guidage des colonnes de guidages



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

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

**Ejecteurs :** Permet d'éjecter la pièce quand le moule est ouvert, il est fixé à la partie mobile du moule. Il est généralement constitué d'un corps cylindrique, d'une pointe et d'un ressort.



**Ejecteur de rappel :** c'est un élément pneumatique qui est fixé à la partie mobile du moule. Il est généralement constitué d'un piston, d'un cylindre et d'un clapet.

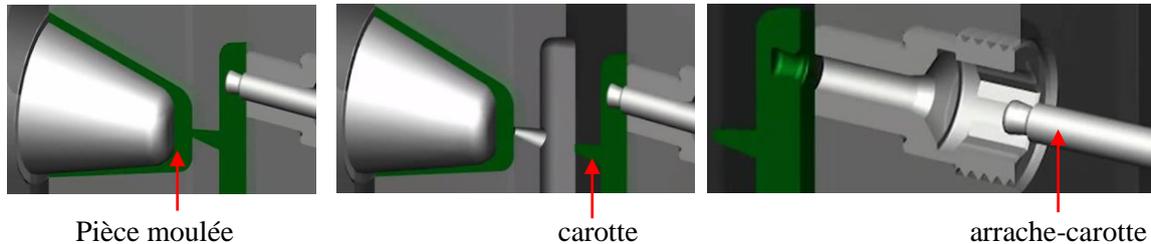
Les principales différences entre l'éjecteur et l'éjecteur de rappel sont les suivantes :

- L'éjecteur est un mécanisme mécanique, tandis que l'éjecteur de rappel est un mécanisme pneumatique.
- La force d'éjection de l'éjecteur est constante, tandis que la force d'éjection de l'éjecteur de rappel peut être réglée en fonction des besoins.
- L'éjecteur est utilisé pour les pièces de forme simple, tandis que l'éjecteur de rappel est utilisé pour les pièces de forme complexe.

- L'éjecteur est également utilisé pour les pièces qui doivent être expulsées rapidement, tandis que l'éjecteur de rappel est utilisé pour les pièces qui doivent être expulsées avec précision.

**Extracteur de carotte (arrache-carotte) :** Permet l'extraction de la carotte qui est un résidu de plastique qui se forme à l'extrémité de la buse moule.

(<https://www.youtube.com/watch?v=Zl1Ba2rJKPs>)



**Tasseaux d'éjection :** Permet d'obtenir une course optimum de la batterie d'éjection. Ils servent à maintenir les éjecteurs en place et à fournir un support aux éjecteurs pendant le processus d'injection.

Les tasseaux d'éjection sont généralement constitués des éléments suivants :

- Un corps : le corps est la partie principale du tasseau d'éjection. Il est généralement constitué d'un bloc métallique.
- Une ou plusieurs fentes : les fentes sont des ouvertures qui permettent aux éjecteurs de passer à travers le tasseau d'éjection.
- Un ou plusieurs trous : les trous sont des ouvertures qui permettent de fixer les tasseaux d'éjection au moule.



<https://www.youtube.com/watch?v=M1u6M-omYE4&t=16s>

<https://www.youtube.com/watch?v=AJDxvBAJ3h8>

**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 :** C'est un ensemble de composants qui servent à expulser la pièce du moule d'injection plastique après le processus d'injection. Elle est composée des éjecteurs, des arrache-carotte, de la plaque porte éjecteurs 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 :** Les rainures de bridage sont des rainures situées sur la surface extérieure des plaques du moule d'injection plastique. Elles servent à fixer les plaques du moule ensemble et à garantir leur alignement correct.

Le passage de la bride est un orifice situé dans la plaque fixe du moule qui permet à la buse moule d'injecter le plastique liquide dans l'empreinte.

(Le bridage est l'action de limiter de façon voulue la puissance d'un moteur).

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



Raccord rapide avec verrouillage à baïonnette



Raccord rapide à passage intégral RPL (Reduced Pressure Liquid)

**Circuit de régulation thermique :** Le circuit de régulation thermique est utilisé pour maintenir la température du moule à une valeur constante. La température du moule est un facteur important qui influence la qualité de la pièce fabriquée.

#### III.4. Les fonctions d'un moule

Il existe quatre grandes fonctions pour un moule d'injection :

- **Fonction alimentation :** Le moule doit conduire la matière en fusion depuis la buse de presse jusqu'à l'empreinte.
- **Fonction mise en forme :** C'est la forme et les dimensions des parties moulantes qui déterminent la forme et les dimensions de la pièce plastique.
- **Fonction éjection :** Pour démouler les pièces plastiques, il faut souvent faire des mouvements plus ou moins complexes puis l'éjecter pour sortir la pièce de l'outillage.
- **Fonction régulation thermique :** La matière entre en fusion dans les parties moulantes.

Il faut donc la refroidir pour qu'elle se solidifie. C'est souvent le refroidissement qui est le temps le plus important dans un cycle de moulage

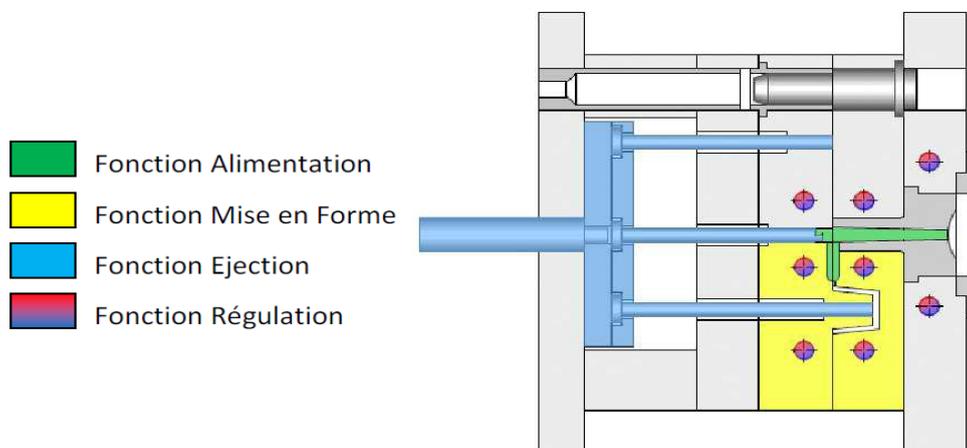


Figure III.2. Les fonctions d'un moule

### III.5. La fonction alimentation

Le plastique fondu entre dans le moule par le système d'alimentation. Il se compose généralement de trois sections principales :

- 1)- La carotte (le canal principal) : Conduit la matière plastique depuis l'orifice d'entre du moule jusqu' au plans de joint. Elle est perpendiculaire en plans de joint.
- 2)- Les canaux d'alimentation (les canaux secondaires) : Les canaux d'alimentation sont des canaux qui relient la carotte aux seuils
- 3)- Les points d'injection (les seuils) : Les seuils relient le système d'alimentation à l'empreinte et sont les orifices à travers lesquels la matière à l'état fondu pénètre dans le moule.

Le système d'alimentation est détaché de la pièce après l'éjection. C'est le seul déchet de matière en injection plastique, dont 15 à 30 % peuvent être recyclés et réutilisés.

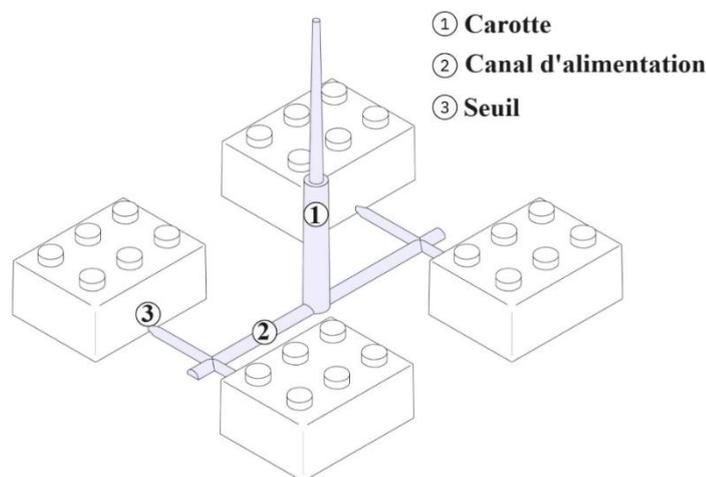


Figure III.3. Les différentes parties d'une fonction alimentation

### III.6. Les type de seuil d'injection

**III.6.1. Définition :** Le seuil d'injection est le point où la matière pénètre dans l'empreinte du moule. Différents types de seuil d'injection conviennent à différentes applications :

#### III.6.2. Seuil en masse ou direct (Direct or sprue gate)

La matière fondue pénètre dans la cavité du moule directement par la carotte, ce qui convient aux moules en forme de coquille ou de boîte qui présentent une cavité unique profonde.

Avantages : Très bon remplissage, Bonne stabilité dimensionnelle de la pièce Faible coût de conception. La pression d'injection a été réduite grâce au remplissage direct de la cavité. Conception et entretien faciles.

Inconvénients : Opération de reprise pour enlever la carotte. Trace non esthétique sur la pièce. Ne s'applique pas aux produits de petite taille. Ce type d'opercule ne peut produire qu'une seule pièce par injection.



Figure III.4. Seuil en masse ou direct

### III.6.3. Seuil en nappe ou ventilateur (Fan gate)

Utilise pour des pièces plates de grande dimension devant présenter un faible gauchissement. La construction de la porte permet un remplissage rapide des grandes pièces ou des sections fragiles de la zone de moulage avec une grande zone d'entrée.

Avantage : Bonne qualité dimensionnelle, la vitesse de la matière fondue est constante, toute la largeur est utilisée pour l'écoulement, La pression est la même sur toute la largeur.

Inconvénient : Opération de reprise, Esthétisme. Le système d'alimentation doit être retiré plus tard manuellement, laissant une petite imperfection au point d'injection.

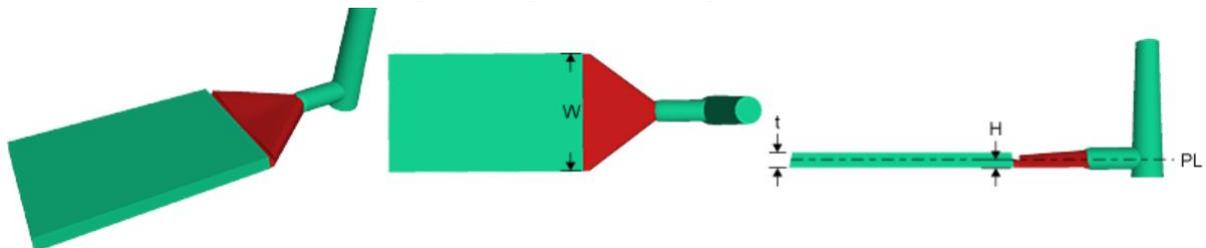
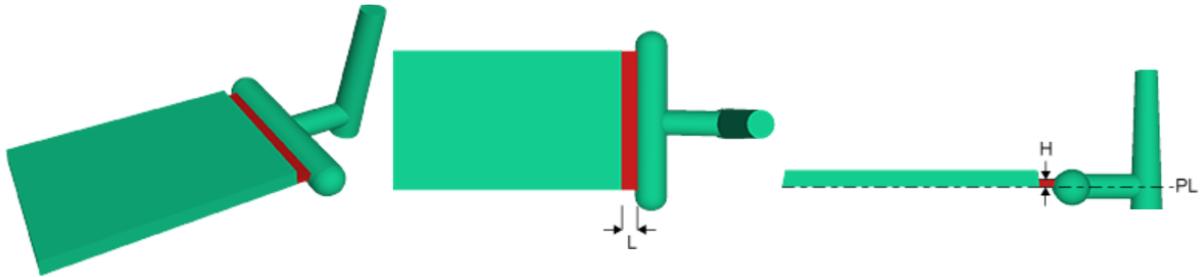


Figure III.5. Seuil en nappe

### III.6.4. Seuil capillaire (Film or flash gate)

Le seuil flash est une extension de seuil ventilateur. Il s'agit d'un accès fin, en forme de fente, qui peut réduire les marques visibles sur la pièce. Ils peuvent tous être utilisés sur des pièces plates ou de grande surface. Le gauchissement de ces pièces est à éviter autant que possible, mais le traitement ultérieur sera très difficile.



**Figure III.6.** Seuil capillaire

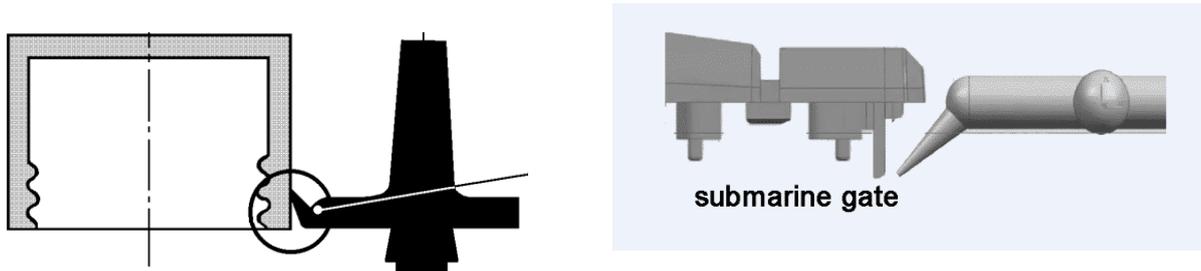
### III.6.5. Seuil en tunnel (Tunnel Gate) ou bien Seuil sous-marin (Submarine Gates)

L'ouverture du tunnel permet le dégagement automatique de la pièce moulée du système d'alimentation. Cela rend ce type de seuil idéal pour les très grands volumes.

Il est souvent utilisé pour des pièces aux géométries difficiles ou lorsque les considérations esthétiques sont importantes.

En raison de la conception enterrée de seuil, l'emprisonnement de gaz et la combustion de la surface de moulage qui en résulte peuvent s'avérer problématiques en cours d'utilisation.

C'est pourquoi il faut ajouter un système d'aération adéquat à un moule qui comporte un système de fermeture en tunnel.



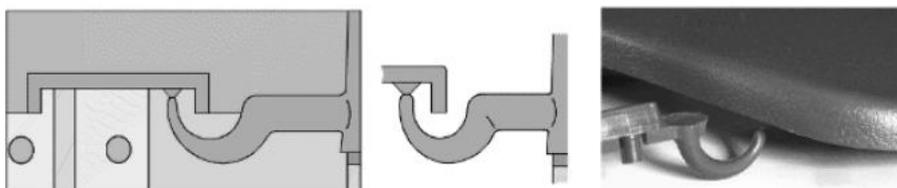
**Figure III.7.** Seuil en tunnel

### III.6.6. Seuil à tunnel courbe (Cashew Gate)

Utilise pour les pièces minces (<https://www.youtube.com/watch?v=IXYGsjCtaO8>)

Avantage : Dégrappage automatique

Inconvénient : Usinage couteux, ne convient pas à toutes les matières



**Figure III.8.** Seuil à tunnel courbe

### III.6.7. Seuil annulaire (ring gate)

Utilisé pour la réalisation de pièce cylindrique ayant un diamètre intérieur ouvert. Il est utilisé lorsque la présence d'une ligne de soudure n'est pas acceptable.

Avantages : Remplissage uniforme de l'empreinte

Inconvénients : Opération de reprise pour enlever la carotte, Déchets importants

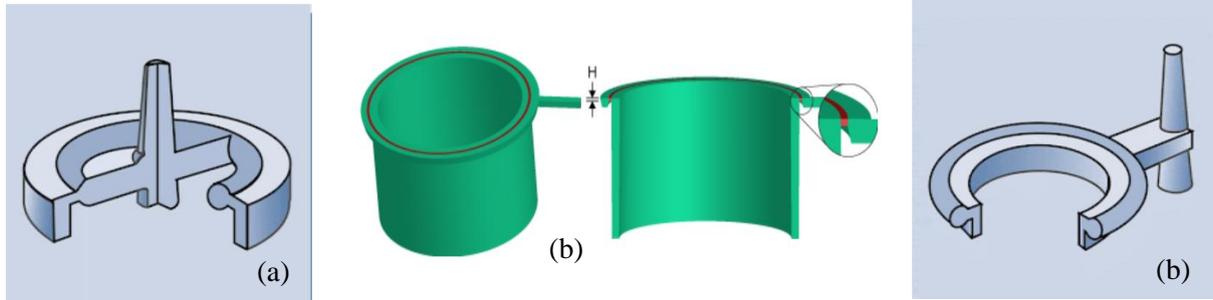


Figure III.9. Seuil annulaire, (a) Seuil annulaire interne, (b) Seuil annulaire externe.

### III.6.8. Seuil capillaire centrale en pin-point (Pin gates)

Utilisé avec un moule à 3 plaques est réputé pour sa finition de surface de haute qualité.

A : Démoulage automatique et faible trace sur la pièce

I : Uniquement pour les matières fluides, Cout du moule élevé. En raison de l'épaisseur réduite de l'opercule, les opercules pinpoint sont facilement endommagés et ont tendance à s'user.

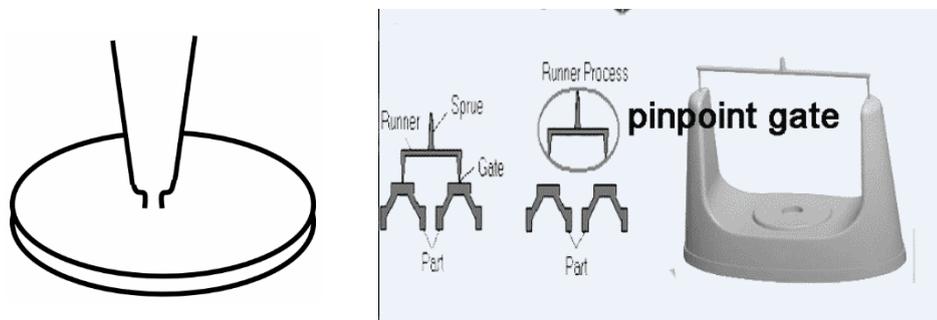
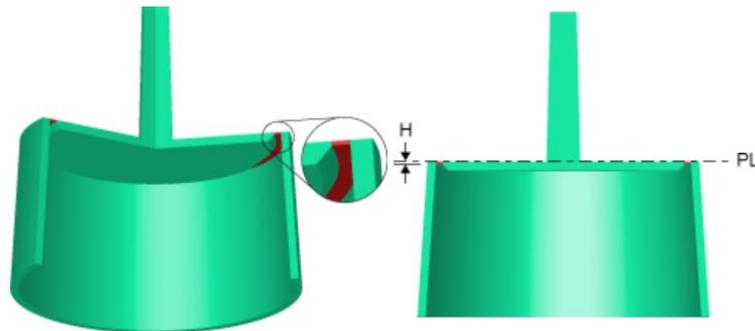


Figure III.10. Seuil capillaire centrale en pin-point

### III.6.9. Seuil à disque ou à membrane (Disc or diaphragm gate)

Utilisé pour la réalisation de pièce cylindrique ayant un diamètre intérieur ouvert. Il est utilisé pour les moules à cavité unique ayant un diamètre interne petit à moyen. Il est utilisé lorsque la concentricité est importante et que la présence d'une ligne de soudure n'est pas acceptable.



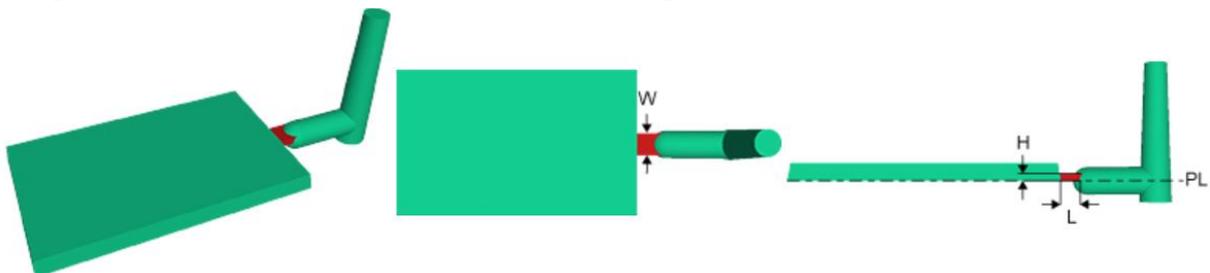
**Figure III.11.** Seuil à disque ou à diaphragme

### III.6.10. Seuil de bord ou standard (Edge (side) or standard gate)

Il représente la plus simple des seuils de bord, il est facile à fabriquer

Ils sont très limités en raison d'un mauvais remplissage. Le seuil de bord est généralement utilisé pour les exigences de qualité des pièces plastiques qui ne sont pas très élevées ou pour les produits qui n'ont pas d'exigences en matière d'apparence. En outre, il faut couper le portail plus tard, ce qui entraîne de vilaines cicatrices.

L'emplacement limité, la longue distance entre la porte et la cavité parfois, et la grande perte de pression ; les articles moulés plats ou de grande taille présentent facilement des bulles ou des marques d'écoulement sur la surface en raison de la petite taille de seuil.



**Figure III.12.** Seuil sur le bord ou standard

### III.6.11. Seuil à Onglet (Tab gate)

Elle est similaire à un seuil de bord, mais une partie de la porte chevauche la pièce, comme le montrent les schémas suivants. L'effet de remplissage latéral du format de la porte à onglet réduit la probabilité de formation de jets lorsque le flux de matière fondue sort de la porte.

Pour des raisons esthétiques, les portillons à languettes sont souvent utilisés pour fermer de grandes pièces moulées décoratives telles que des boîtiers.

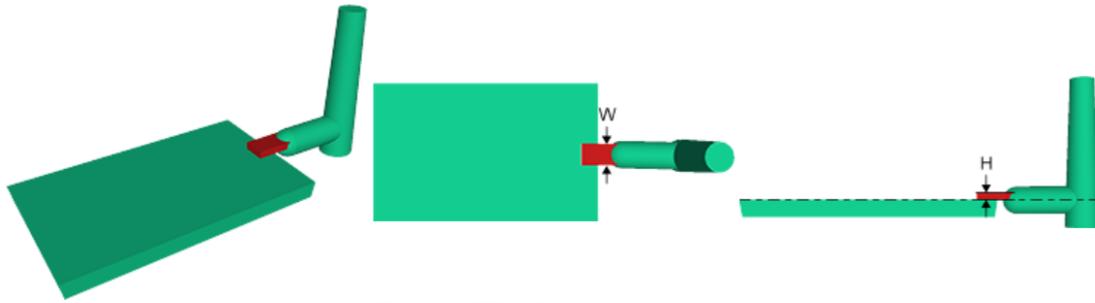


Figure III.13. Seuil à onglet

### III.6.12. Seuil dit Indirect (Tab gate)

Il est généralement utilisé pour les pièces nécessitant de faibles contraintes de cisaillement, telles que les pièces optiques.

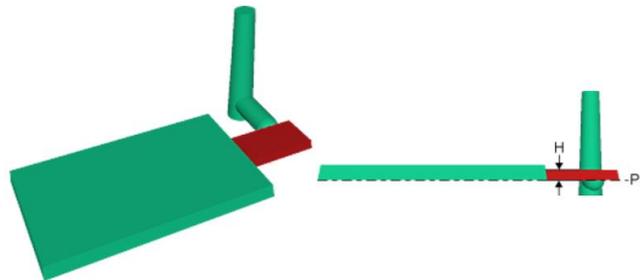


Figure III.14. Seuil dit Indirect

### III.6.13. Seuil à rayons ou araignée (Spoke or spider gate)

Il est utilisé pour les pièces en forme de tube et permet un cisaillement facile de seuil et des économies de matériaux. Les inconvénients sont la possibilité de lignes de soudure et le fait qu'une rondeur parfaite est peu probable.

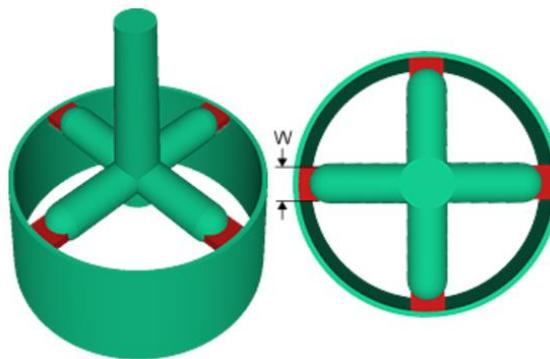


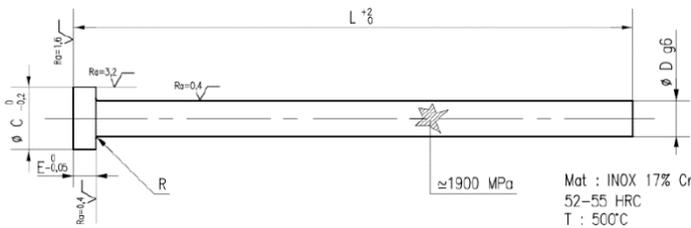
Figure III.15. Seuil à rayons

### III.7. Les différents types d'éjections

#### III.7.1. Ejecteurs cylindriques (Ejector Sleeves)

Les tiges d'éjecteurs cylindriques sont les éléments les plus utilisés pour le démoulage.

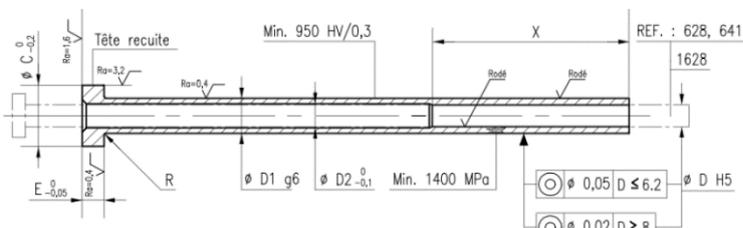
Ces éjecteurs doivent être situés judicieusement sur la pièce et en nombre suffisant, de façon à éjecter la pièce sans dommage ni déformation.



#### III.7.2. Ejecteurs tubulaires (Round Ejector Pin)

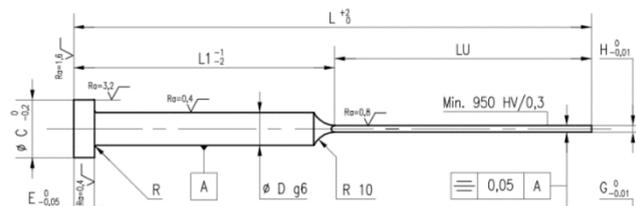
Pour certaines pièces à noyau central cylindrique, l'éjection peut se faire avantageusement à l'aide d'un éjecteur tubulaire ou annulaire. Il s'agit d'un tube qui coulisse sur la broche (qui sert de noyau fixe) et vient pousser la pièce sur une surface plane et circulaire.

Solution intéressante mais plus coûteuse qui nécessite un verrouillage en position de la broche centrale.



#### III.7.3. Ejecteur à lame (Blade Ejectors)

Les lames usinées ou rapportées permettent d'éjecter des pièces peu épaisses. Les éjecteurs à lames doivent être guidés pour éviter les risques de flexion ou de flambage.



#### III.7.4. Ejecteur à air (Air Ejection)

L'éjecteur d'air est un mécanisme qui introduit de l'air comprimé entre le produit et le moule par le biais de la vanne d'air installée dans le moule pour éjecter le produit. La pression de l'air comprimé est généralement comprise entre 0,5 et 0,6 MPa.

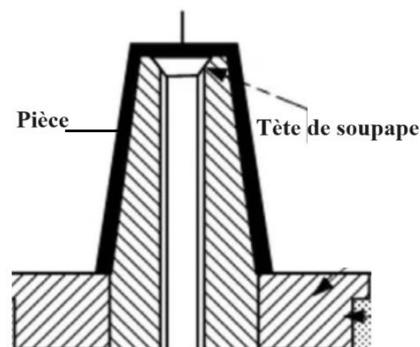
Ce système est utilisable pour la libération de récipients de grande taille, à cavité profonde et à paroi mince, mais surtout utilisation pour soutenir d'autres types d'éjecteurs. La structure du moule est grandement simplifiée et le produit peut être éjecté à n'importe quel endroit lorsque le moule s'ouvre.



### III.7.5. Éjecteur à soupape

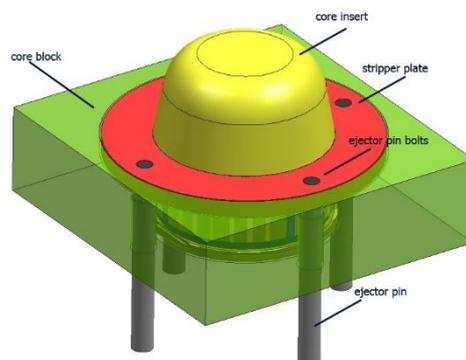
Les éjecteurs de soupapes offrent de grandes surfaces projetées pour la transmission de la charge. La conception de la tête plate permet d'apporter un soutien adéquat aux composants à parois minces sans qu'une déformation excessive ne se produise lors de l'actionnement.

Les polymères souples et les composants souples, par exemple les bouchons de bouteilles en PEHD, utilisent fréquemment cette forme d'éjecteur pour former des contre-dépouilles de joint et faciliter l'éjection.



### III.7.6. Ejecteur plaque (Striper Plate)

La plaque d'éjection convient à l'éjection de pièces plastiques cylindriques, de récipients à parois minces et de divers produits plastiques en forme de coquille. La principale caractéristique de ce mécanisme d'éjection est que la force d'éjection est élevée, uniforme et stable, que les pièces en plastique ne sont pas sujettes à la déformation et qu'il n'y a pas de marques d'éjection sur la surface.



### III.8. Les différents moules d'injection plastique

Plusieurs familles de moules trouvent leurs justifications en fonction du :

- forme de l'article;
- nombre d'empreintes; (1, 2, 4, 8, 16, 32 ...).
- emplacement du seuil d'alimentation et système d'injection;
- matière utilisée;
- presse à injecter;
- ventilation ou dégazage.

La division du moule joue un rôle important surtout lorsqu'on envisage une automatisation de la production. Cependant, ce qui est primordiale, c'est un bon démoulage de la pièce et un bon fonctionnement du moule. Un mauvais démoulage est la cause d'un cycle d'injection irrégulier et influence de façon négative la qualité finale de la pièce. Dans les cas extrêmes, un mauvais démoulage provoque même des détériorations du moule. Il existe différentes possibilités de construction de moules, dont les plus importantes sont exposées ci-dessous.

#### III.8.1. Moule à deux plaques

La figure suivante illustre le fonctionnement d'un moule à deux plaques, par les schémas associés.

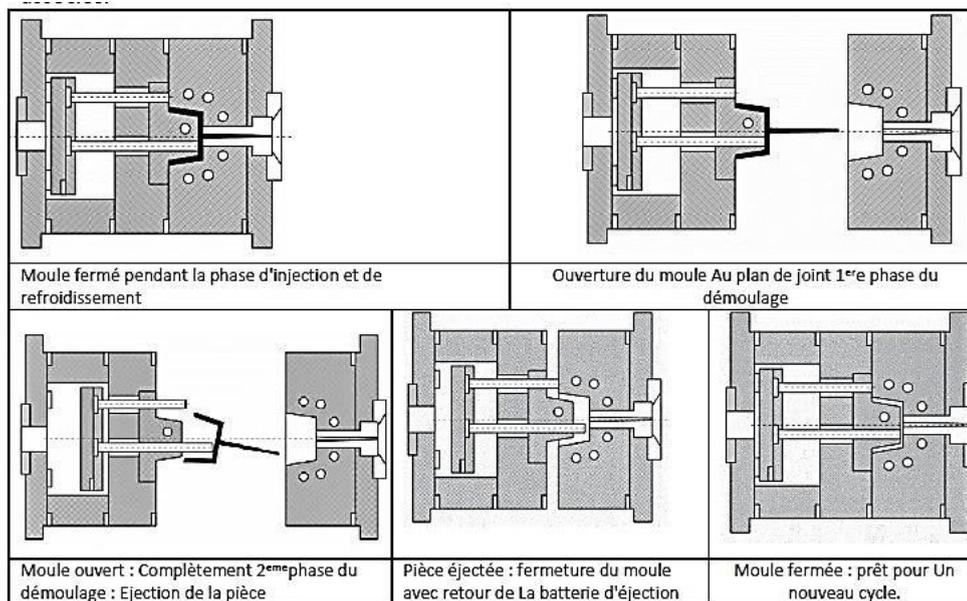
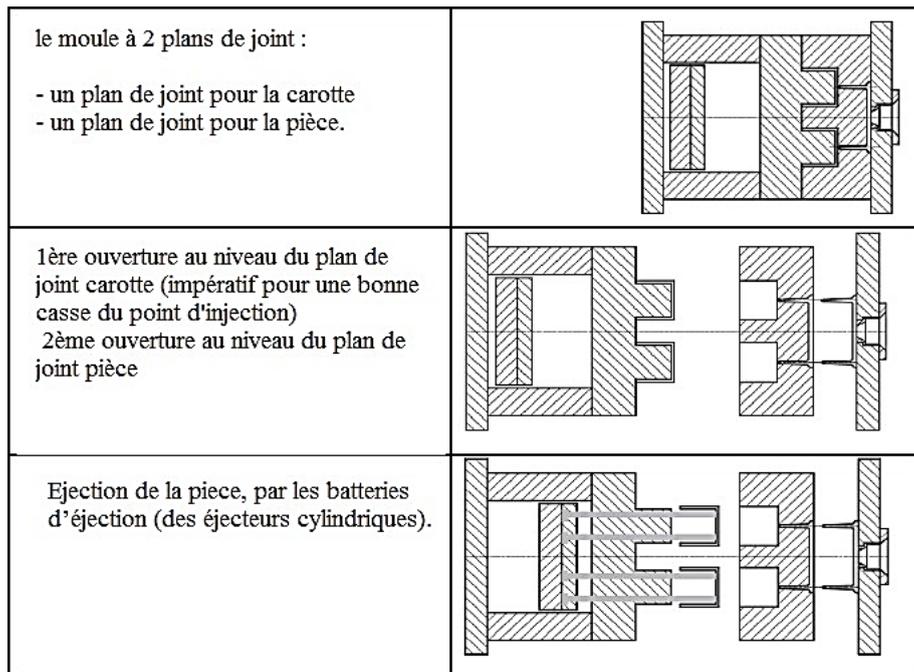


Figure III.16. Moule à deux plaques

#### III.8.2. Moule à trois plaques

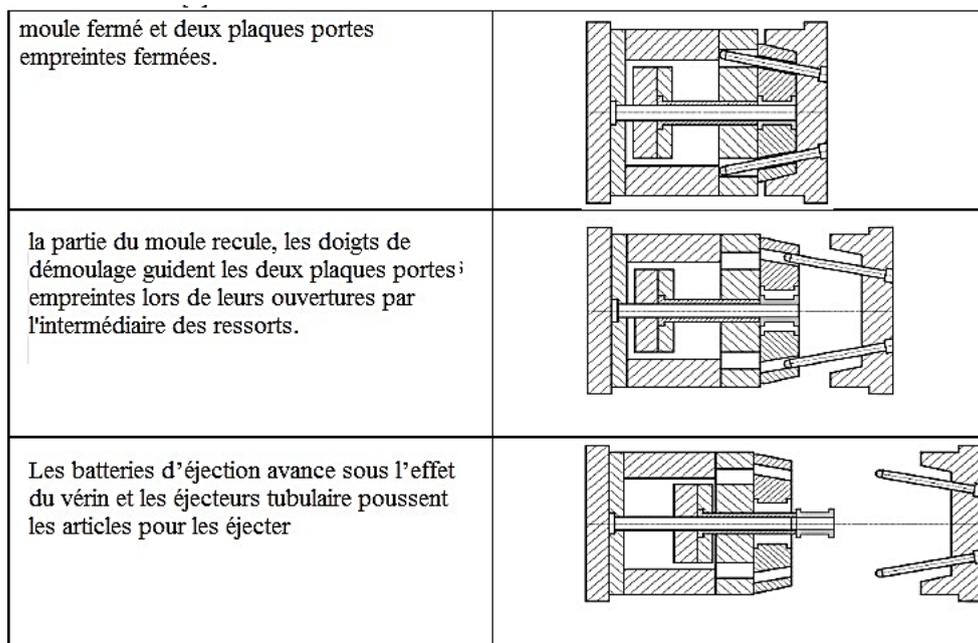
La figure suivante illustre le fonctionnement d'un moule à trois plaques, également on rencontre dans l'industrie des moules à plusieurs plaques utilisant le même principe, la chronologie des ouvertures, se fait les priorités définies par le concepteur, principalement on a un plan de joint carotte et un plan de joint pièce.



**Figure III.17.** Moule à trois plaques

### III.8.3. Moule à tiroir

Les moules à tiroir et à les moules à coins forment des solutions particulières pour permettre d'injecter des pièces présentant des contre dépouilles,



**Figure III.18.** Moule à tiroir

### III.8.4. Moule à canaux chauffant

La matière dans les canaux de transfert reste à la température de moulage jusqu'à l'entrée de l'empreinte, ce qui se traduit par une diminution des pertes de matière et un gain de productivité, en effet le temps de solidification de la matière n'est plus que celui propre de la pièce.

Dans cette technique une partie des éléments de transfert garde la matière chaude tandis qu'une autre solidifie des petits canaux (cas des petites pièces ou d'injections latérales décalées de l'axe de la machine). Ce compromis permet de limiter les investissements, notamment sur les busettes. Les petits canaux ne produisant que peu de déchet, ne perturbent pas le temps de refroidissement

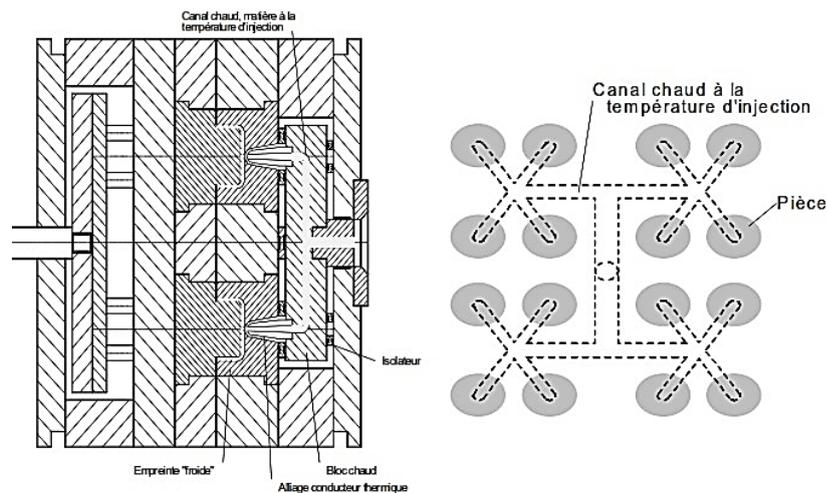


Figure III.19. Moule multi-empreintes Canal chaud – bloc chaud

### III.8.5. Moule à coquilles

Ce moule permet de réaliser les contre dépouilles extérieures, mais il est toujours demandé de prendre soins de la fermeture du moule et surveiller la fermeture de la machine.

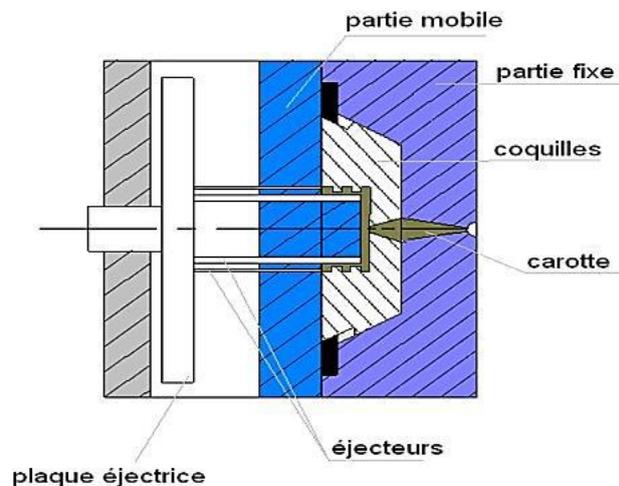


Figure III.20. Moule à coquilles

### III.8.6. Moules à dévissage

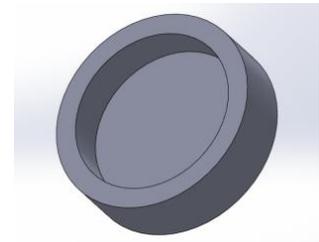
Ces moules permettent de réaliser des pièces avec des caractéristiques telles que des filetages internes ou externes, des bouchons à vis, des couvercles à vis, et d'autres pièces nécessitant un dévissage automatique pour l'éjection. Les moules à dévissage automatique sont conçus pour permettre l'éjection des pièces sans endommager les filetages ou les caractéristiques de dévissage. Ces moules offrent une solution efficace pour la production de pièces plastiques avec des caractéristiques de dévissage, et sont largement utilisés dans diverses industries.

### III.9. Choix des plans de joint

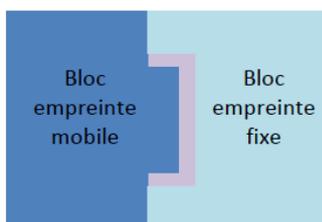
La ligne de plan de joint se forme sur la pièce au niveau de la rencontre des différents éléments mobiles de l'outillage. Elle forme une légère ligne continue qui fait le tour de la pièce, et au niveau de la jonction avec les tiroirs.

Lors de la conception de la pièce et du moule, surtout si c'est une pièce d'aspect, il faut trouver un endroit où faire passer cette ligne ou une façon de la masquer. Ainsi, sur un boîtier, elle sera souvent mise à la base qui n'est pas visible. Elle peut être également fondue entre deux états de surface différents ou posée sur une légère boursouffure décorative

**Exemple :** Pour injecter la pièce ci-contre plusieurs positions de plan de joint sont possibles. (*On privilégie la position 1*).

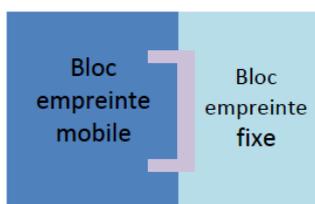


#### Position 1 :

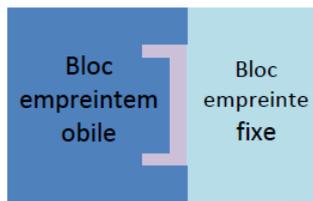


Avantages	Inconvénients
L'empreinte dans la partie fixe est relativement simple L'éjection de la pièce est facilitée	Usinage des deux coté du moule Le positionnement des deux blocs empreintes doit être assuré.

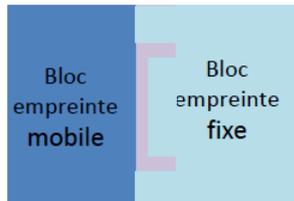
#### Position 2 :



Avantages	Inconvénients
L'empreinte dans la partie fixe est relativement simple	Apparition d'une ligne de joint sur la pièce Usinage des deux coté du moule Le positionnement des deux blocs empreintes doit être assuré. Difficulté d'éjection de la pièce.

**Position 3 :**

Avantages	Inconvénients
Partie fixe du moule non usinée (=face miroir) Pas de positionnement des deux blocs empreintes à assurer.	Ejection encore plus difficile

**Position 4 :**

Avantages	Inconvénients
Partie mobile du moule non usinée (=face miroir)	La pièce reste bloquée dans la partie fixe. (donc position impossible)

**III.10. Systèmes de refroidissement**

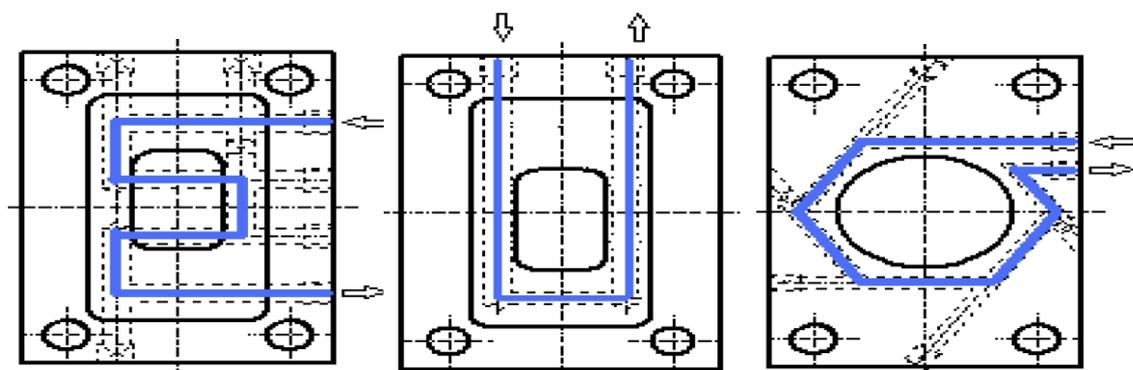
Le processus de moulage par injection des thermoplastiques en fusion est toujours suivi d'un refroidissement avant éjection. Le système de refroidissement est formé d'un circuit d'eau fermé et intégré à l'intérieur du moule. L'analyse des transferts de chaleur pendant cette phase, conduit à investiguer le positionnement optimal des sources froides ainsi que leurs intensités.

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 80 °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.



**Figure III.21.** Circuit de refroidissement des plaques de moules

### III.10.1. 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 être 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 obtenu 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 obtenu 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 (mm<sup>2</sup>/s)

Θ<sub>i</sub> : température d'injection (°C) ;

Θ<sub>M</sub> : température du moule (°C) ;

Θ<sub>dém</sub> : température de démoulage (°C) ;

T<sub>ref</sub> : 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 m<sup>2</sup>/s)

**[Les Moules d'injection \(youtube.com\)](https://www.youtube.com/watch?v=UxQIB6wOXYU)**

**<https://www.youtube.com/watch?v=UxQIB6wOXYU>**