

Chapitre II

Principe de l'injection plastique

II.1. Introduction

Parmi les procédés de fabrication des pièces mécaniques, on a l'injection thermoplastique. L'injection plastique, aussi appelé le moulage par injection, est un procédé de mise en œuvre des thermoplastiques. Il est généralement utilisé pour la production de très grandes séries pour l'automobile ou l'électroménager par exemple ou pour des séries plus réduites en aéronautique. Le procédé d'injection permet d'obtenir une productivité élevée avec une très bonne reproductibilité des pièces. L'avantage principal de ce procédé réside dans la possibilité d'obtenir des géométries de pièces très complexes tout en ayant des temps cycles très rapides, permettant une production à très haute cadence.

De ce fait, le principe du procédé de moulage par injection consiste à injecter et transformé une matière de polymères thermoplastiques, préalablement chauffée est injectée dans un moule. Le polymère se solidifiant dans le moule créera un solide épousant la forme et les dimensions de l'empreinte du moule.



Figure II.1. Exemples de pièces obtenus par injection plastique

II.2. Histoire de l'injection thermoplastique

L'américain **John Wesley Hyatt** a breveté la **première machine de moulage par injection en 1872**. Cette machine était relativement simple par rapport aux machines en usage aujourd'hui: elle fonctionnait comme une grande aiguille hypodermique, en utilisant un plongeur pour injecter du plastique à travers un cylindre chauffé dans un moule. A l'époque on produisait surtout des colliers, boutons et peignes.

En 1919, Arthur Eichengrün a développé la première presse de moulage par injection, qu'on peut considérer comme la première machine à injection moderne. Dans les années 1930 voit l'apparition des premières presses à injecter en France. C'est le début des articles ménagers et jouets en plastiques sur le marché de consommation.

L'industrie s'est développée rapidement dans les années 1940, suite à une demande énorme pour des produits peu coûteux, produits en série. En 1946, l'inventeur américain James Watson Hendry construit la première machine avec vis à injection. Aujourd'hui les machines avec vis d'injection représentent la grande majorité de toutes les machines d'injection.

II.3. Définition du procédé

Le moulage par injection est un procédé de fabrication qui consiste à ramollir la matière plastique en la chauffant puis à injecter dans un moule. Une fois dans le moule, la matière refroidit et se solidifie, puis un mécanisme éjecte la pièce hors du moule.

II.4. Le fonctionnement du moulage par injection

Le fonctionnement d'une presse à injecter pour la production de pièces plastique est relativement simple : des granulés de 2 à 3 mm de plastique sont d'abord versés dans la trémie. Ensuite, cette matière est ramollie en étant portée à 200 °C – 250 °C grâce à l'action combinée de la friction de la vis et des colliers de chauffe. La matière ainsi malléable est poussée vers la buse puis injectée dans le moule grâce au vérin d'injection. La pression d'injection plastique peut atteindre 2 500 bars. La matière se répartit de façon homogène dans la cavité de l'outillage pour prendre sa forme définitive.

La pièce à injecter est ensuite refroidie en quelques secondes entre 50°C et 80°C afin de la solidifier. La presse ouvre l'outillage et les éventuels tiroirs, la pièce est éjectée par la batterie d'éjection et chute dans un bac ou est saisie par un robot manipulateur. La presse se referme et le cycle recommence.

II.5. Etude de la Presse à injection

Une presse est composée principalement de deux parties :

- Unité d'injection (groupe de plastification).
- Unité de fermeture (Le dispositif du mouvement du moule).

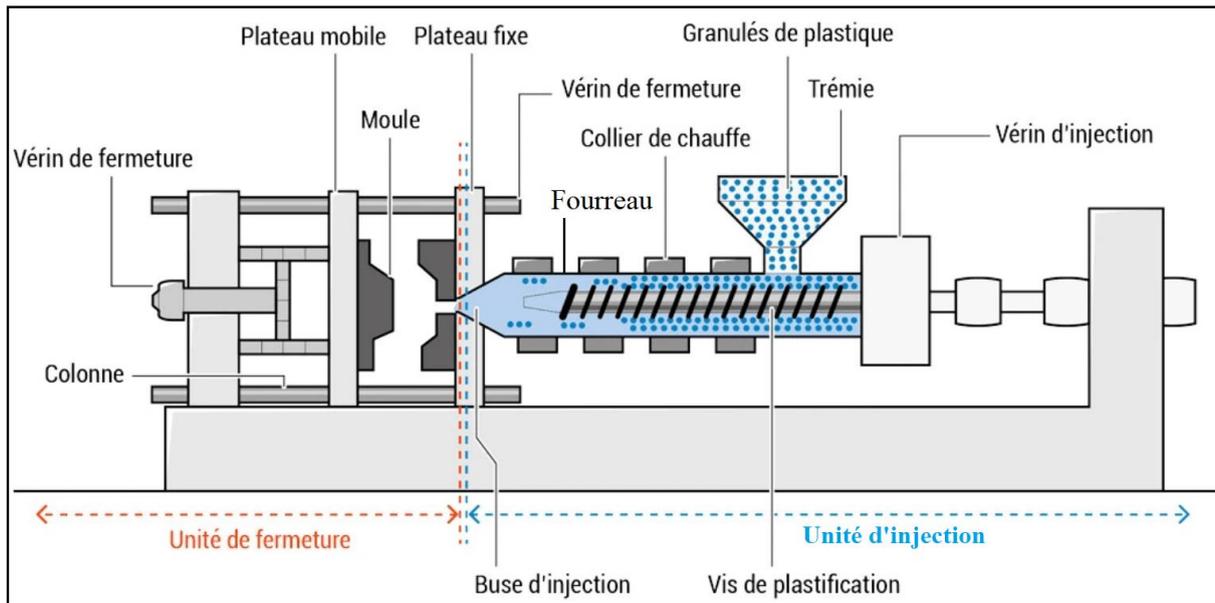


Figure II.2. Dispositif d'une presse d'injection.

II.5.1. Unité d'injection (groupe de plastification ou bien ponton)

L'unité d'injection principale est constituée des ensembles suivants : la force de fermeture commandée par un vérin hydraulique et une genouillère de fermeture, le fourreau (cylindre de plastification), un clapet anti-retour, un support mobile, la buse d'injection et d'une vis de plastification et de dosage de la matière plastique.

Les fonctions principales de l'unité d'injection sont :

- Plastification
- Injection
- Maintien
- Dosage

Le volume injectable s'exprime en cm^3



Figure II.3. Unité d'injection (pontoon)

Les principaux éléments constitutifs de ce groupe sont :

- 1- **Trémie** : La trémie est l'endroit où sont placés les granulés de matière plastique.
- 2- **Fourreau** : Le fourreau est la pièce qui entoure la vis d'injection.
- 3- **Collier chauffant** : Ils permettent de chauffer le fourreau.
- 4- **Le moteur** : Il assure la mise en rotation de la vis.
- 5- **Le vérin de fermeture** : il permet le déplacement transversal de la vis. La force nécessaire à l'injection du polymère dans le moule est développée en imposant une pression hydraulique sur le cylindre d'injection.
- 6- **La buse** : La buse (ou le nez), situé à l'extrémité du fourreau, assure le contact avec le moule. Il doit être chauffé de façon à pouvoir compenser les déperditions calorifiques vers le moule, plus froid. Tous les types de buse à obturateur peuvent être utilisés. Les systèmes à aiguille avec fermeture à ressort sont préférables pour leur bonne étanchéité et l'absence de zones de stagnation.
- 7- **Clapet anti-retour** : Laisser passer la matière vers l'avant durant le dosage et empêcher le refoulement vers l'arrière. Le clapet comporte trois pièces : Pointe de vis, bague et siège. Dans la phase de plastification, la bague, poussée par la matière vient en appui sur la pointe Dans la phase d'injection, la bague est refoulée sur le siège assurant l'étanchéité

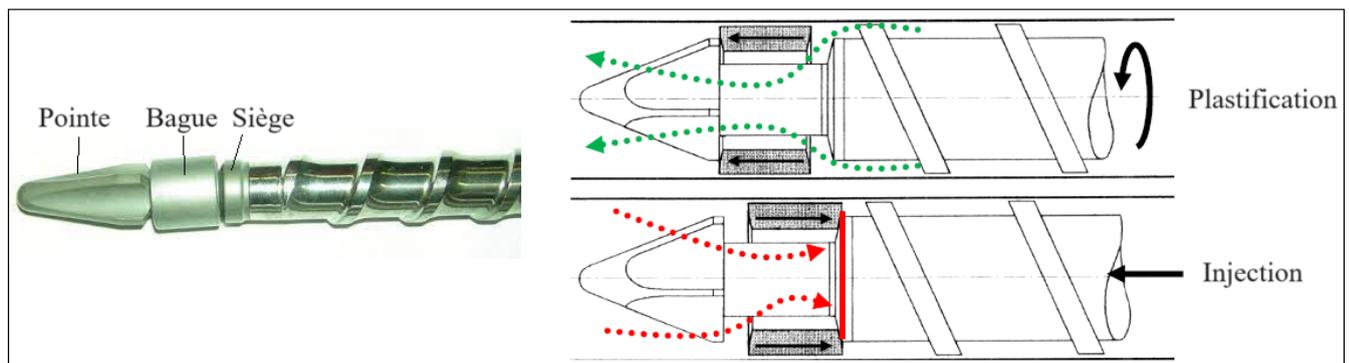


Figure II.4 : Clapet anti-retour

8- **La vis d'injection** : C'est l'élément le plus important de la presse à injecter. Le but étant de plastifier une matière sans lui faire perdre ses caractéristiques au moment du passage en fusion. Elle assure deux fonctions essentielles :

- 1- Transport et plastification de la matière
- 2- Injection sous pression de la mousse fondue dans le moule

La vis par la variation de sa forme comporte trois zones :

A- Une zone d'alimentation : Alimenter et transporter les granulés à l'intérieur du cylindre. Dans cette zone, la profondeur des filets de la vis est importante, et reste constante.

B- Une zone de compression : Les granulés vont y être progressivement fondus par action conjuguée des colliers chauffants. On diminue progressivement la profondeur des filets (c'est une zone de travail généralement conique). On comprime la matière.

Les deux premières zones d'une vis permettent de plastifier la matière.

C- Une zone de pompage :

Dans cette zone, la profondeur redevient constante (cylindrique), ce qui permet d'homogénéiser la masse de matière fondue et de bien mélanger les additifs.

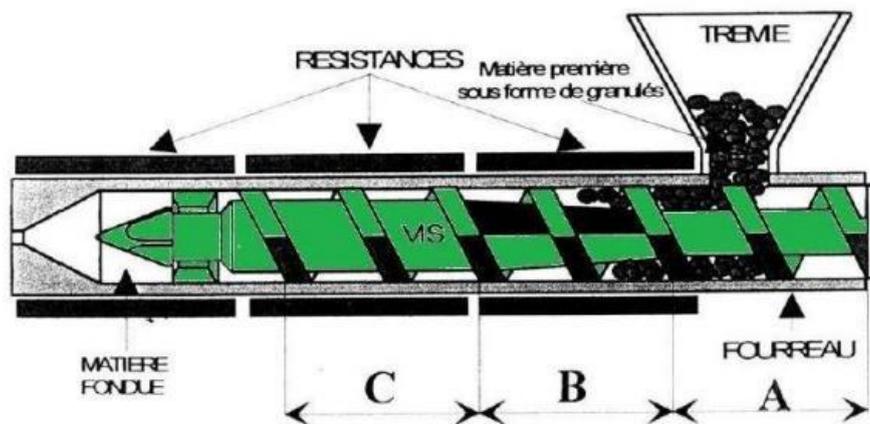


Figure II.5. Vis d'injection

II.5.2. Unité de fermeture (Le dispositif du mouvement du moule)

Ce dispositif de manœuvre des plateaux porte moule doit assurer l'ouverture, la fermeture et le verrouillage du moule avec une force suffisante pour s'opposer à l'ouverture du moule pendant l'injection. Les fonctions principales de l'unité de fermeture sont :

Fermeture
Verrouillage
Déverrouillage
Ouverture
Ejection

La force de fermeture s'exprime en tonne $1t = 10\text{ kn}$

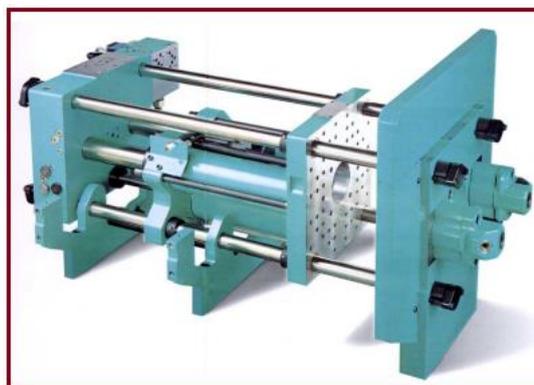


Figure II.6. Unité de fermeture

II.5.2.1. Le moule

Les moules, installés sur une presse d'injection, 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.

II.5.2.2. Différents mécanismes de fermeture

Il existe 3 types de fermetures pour presses à injecter :

1. Mécanique.
2. Hydraulique.
3. Mixte.

a- Fermeture mécanique

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.

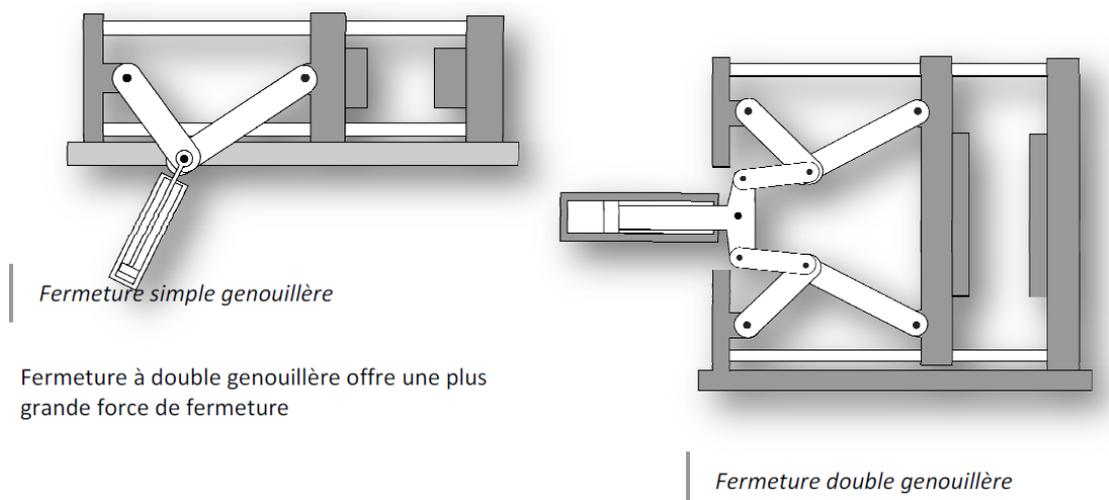


Figure II.7. Fermeture mécanique

Avantage	Inconvénients
Système simple	Force de fermeture non constante
Diamètre vérin faible	Réglage difficile
Vitesse de fermeture diminue naturellement	Faible course

b- 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.

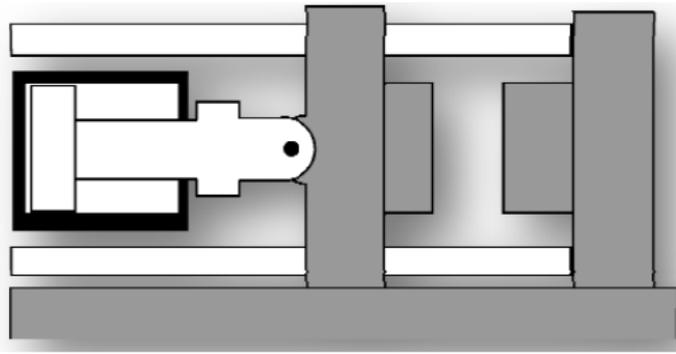


Figure II.8. Fermeture hydraulique

Avantage	Inconvénients
Effort de fermeture	Déplacement lent
Réglage simple	Fabrication couteuse
Sécurité de fonctionnement	Entretien couteux

c- 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.

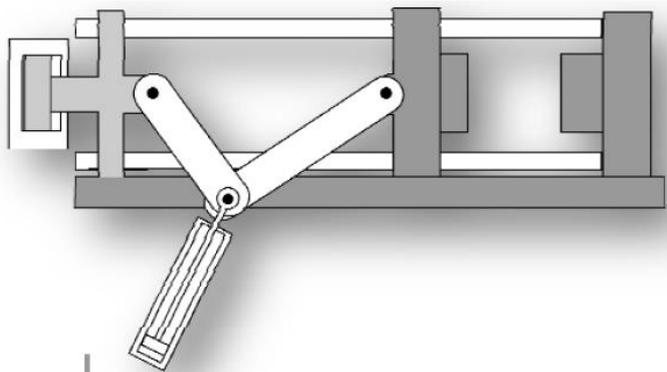


Figure II.9. Fermeture mixte

Avantage	Inconvénients
Fabrication et entretien correct	Course limitée
Réglage facile	

II.5.2.3. 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.

$$F_{\text{fer}} = P_i \times S_{\text{proj}}$$

F_{fer} : Force de fermeture en (N)

P_i : Pression d'injection en (Pa)

S_{proj} : Surface projetée en (mm²)

NB : La pression de verrouillage doit être de 20 à 25% supérieure à la pression d'injection.

Les principales caractéristiques d'une presse à injecter sont décrites par la norme EUROMAP. Cette norme permet d'identifier une presse à injecter.

Exemple : H 310-1000

H : presse à injection horizontale

310 : volume théorique injectable maxi en cm³

1000 : force de verrouillage maxi en kN

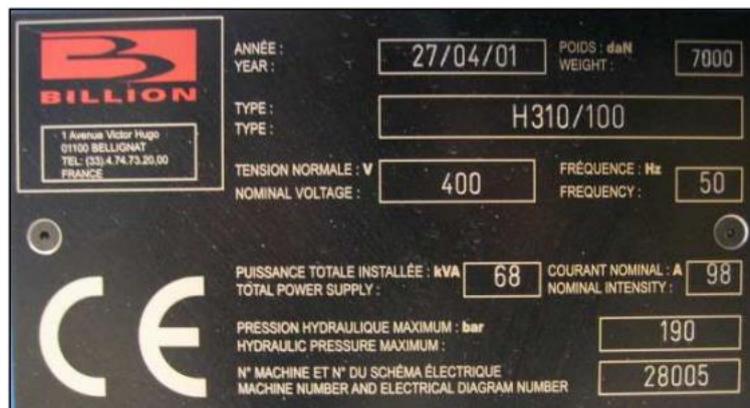


Figure II.10. Plaque signalétique d'une presse d'injection

II.6. Phases de moulage par injection

Lors d'une opération de moulage par injection, la fabrication de chaque pièce passe par quatre phases principales:

II.6.1. La phase de Plastification

La phase de plastification a pour objectif de faire passer le polymère de l'état initial (Sous forme de granulé) à l'état fondu. On peut dire que cette transformation commence au début par

l'ensemble vis fourreau dont la fonction est de broyer et de chauffer le granulé pour l'amener peu à peu à l'état fondu.

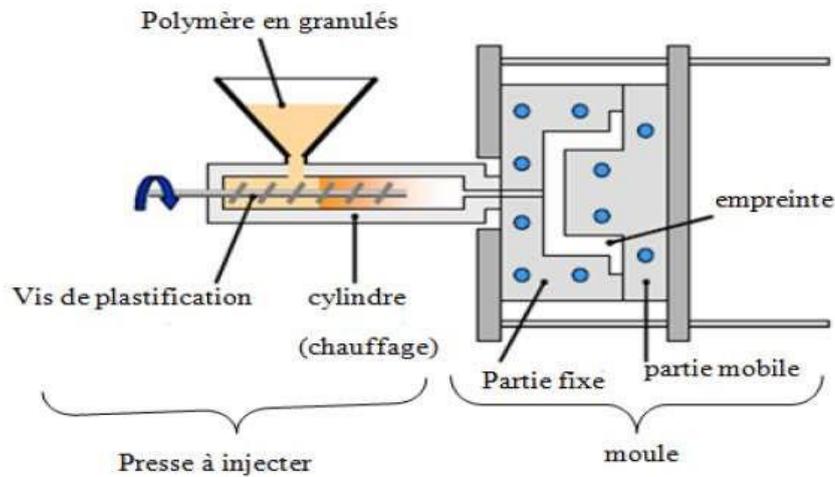


Figure II.11. Phase de plastification

II.6.2 La phase de remplissage

Lorsque la quantité voulue de la matière nécessaire à l'injection d'une moulée est plastifiée, la buse s'ouvre et la vis fait office de piston pour injecter sous haute pression et à grande vitesse le polymère dans le moule.

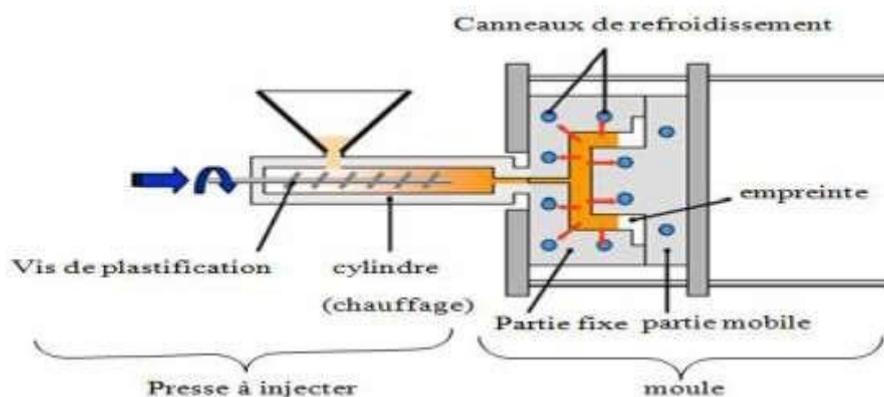


Figure II.12. Phase de remplissage.

II.6.3. La phase de compactage ou dosage

Le refroidissement du polymère est lent du fait de sa faible conductivité thermique. Il est donc possible de compenser en partie la variation de volume spécifique du polymère en continuant à injecter du polymère liquide sous forte pression : c'est la phase de compactage.

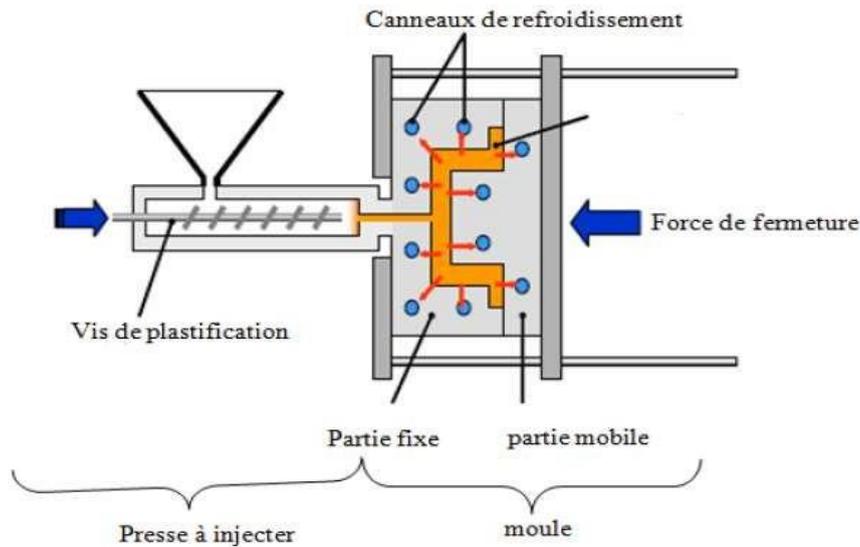


Figure II.13. Phase de compactage.

II.6.4. La phase de refroidissement

Cette phase commence généralement une fois que le seuil d'injection de l'empreinte est solidifié et qu'il est alors inutile de continuer à appliquer une pression. Le polymère refroidit librement dans la cavité moulante jusqu'à une température permettant l'éjection. Pendant cette période, la quantité de matière nécessaire pour la pièce suivante est dosée en avant de la vis.

II.7.5. La phase d'éjection

Le moule s'ouvre, et la pièce formée est éjectée du moule.

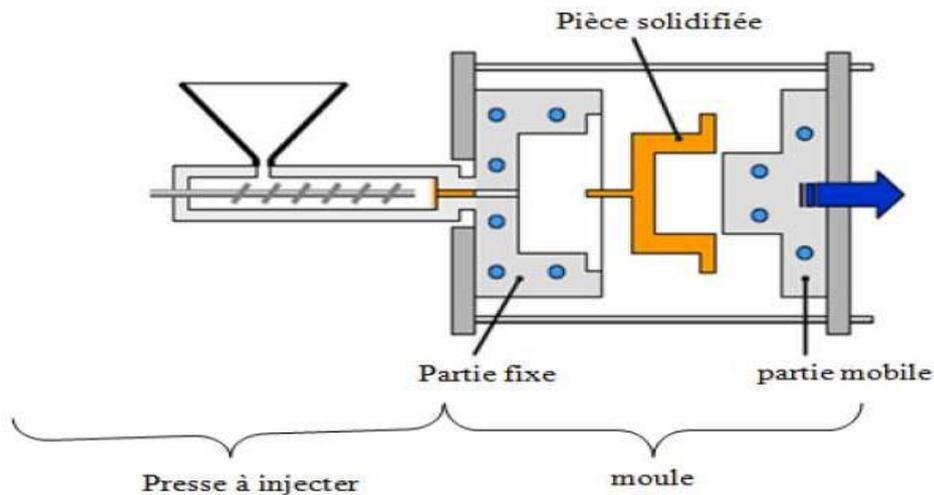


Figure II.14. Phase de refroidissement et d'éjection de la pièce.