

## PROCEDES DE MISE EN FORME DES MATIERES PLASTIQUES

### 1. Introduction :

Comme pour les métaux, les produits en matières plastiques peuvent être fabriqués par enlèvement de matière, par pliage et par soudage. Ces techniques de transformation restent cependant marginales. Généralement l'obtention des pièces de formes données est faite par des procédés de mise en forme permettant de réaliser des séries importantes ou de produit en continue.

Pour les matières thermoplastiques, on emploiera principalement les procédés suivants :

- L'injection.
- L'extrusion.
- L'extrusion soufflage.
- L'injection soufflage.
- Le thermoformage.
- Le rotomoulage

Ces procédés sont aussi utilisés pour les matières thermodurcissable, mais qui nécessitent une attention particulière pour la température, d'autres procédés prennent place comme la compression. [1]

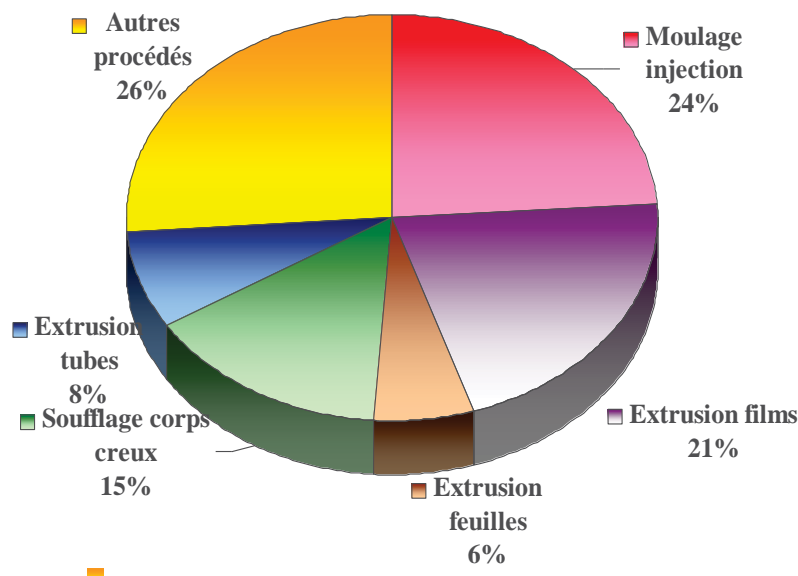


Figure 1. Répartition des procédés de mise en forme des matières plastiques par taux

### 2. Le procédé d'injection des matières plastiques :

#### 2.1. Définition

Le procédé injection est destiné à produire très rapidement des objets en très grandes quantités. Cette technique permet d'obtenir en une seule opération des pièces finies en matière plastique, de formes complexes, dans une gamme de poids allant de quelques grammes à plusieurs kilogrammes.

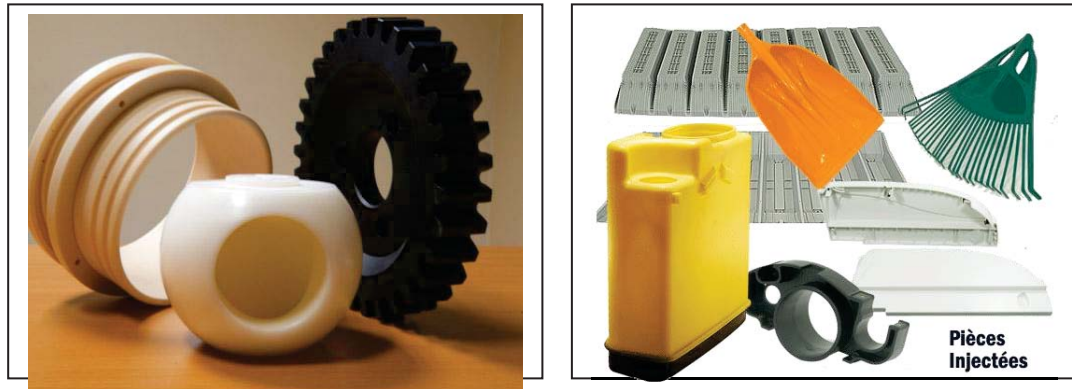


Figure 2. Exemples de pièces obtenus par injection plastique

## 2.2. Principe de l'injection plastique

La matière, en granulé, ramollie par la chaleur est injectée dans un moule sous forte pression. Après refroidissement ces moules permettent la réalisation d'objets de dimensions et formes variables, ainsi que de pièces techniques très complexes et de grandes précisions.

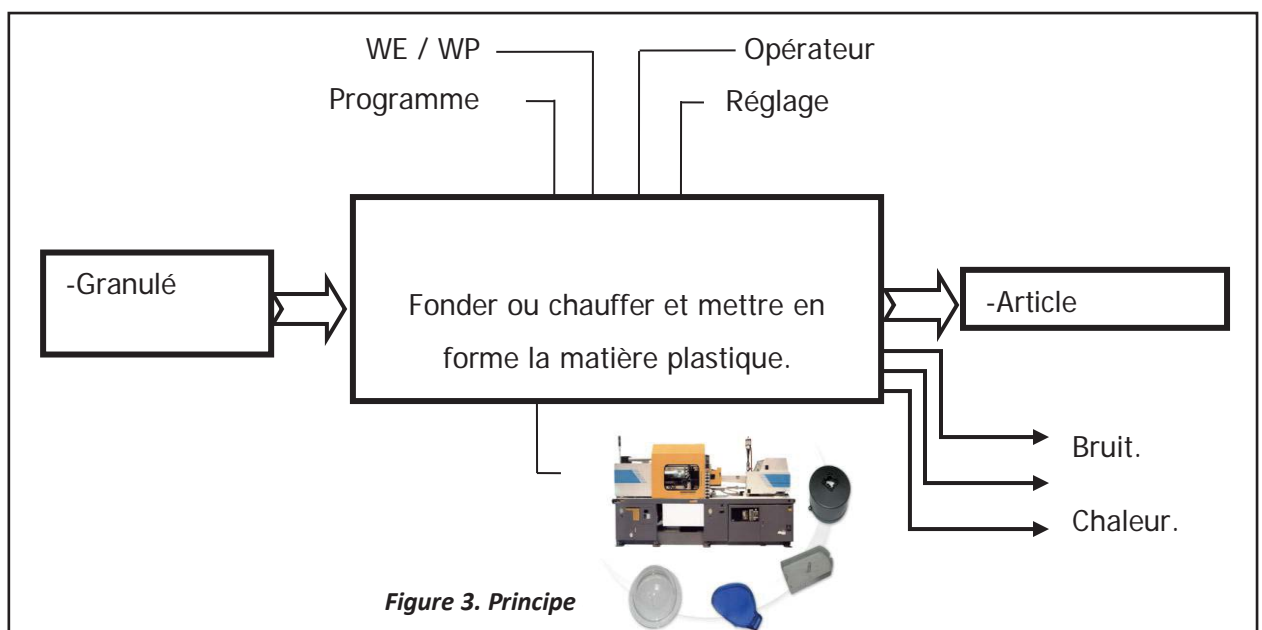


Figure 3. Principe

## 2.3. Les Presses d'injection plastique :

Une presse d'injection des thermoplastiques est composée par les ensembles suivants :

- Ensemble d'injection et de plastification (trémie, fourreau, vis).
- Ensemble de fermeture (moule, vérin de fermeture).
- Ensemble hydraulique (système hydraulique).
- La partie commande

Une machine est caractérisée par :

- la force de fermeture qui est comprise entre 50 tonnes et 3000 tonnes
- la pression sur la matière injectée qui peut atteindre 2000 bars
- la capacité d'injection (en cm<sup>3</sup> ou en kg)

Suivant le sens d'injection on distingue :

- les presses verticales (faible capacité)
- les presses horizontales (machines plus fréquentes)

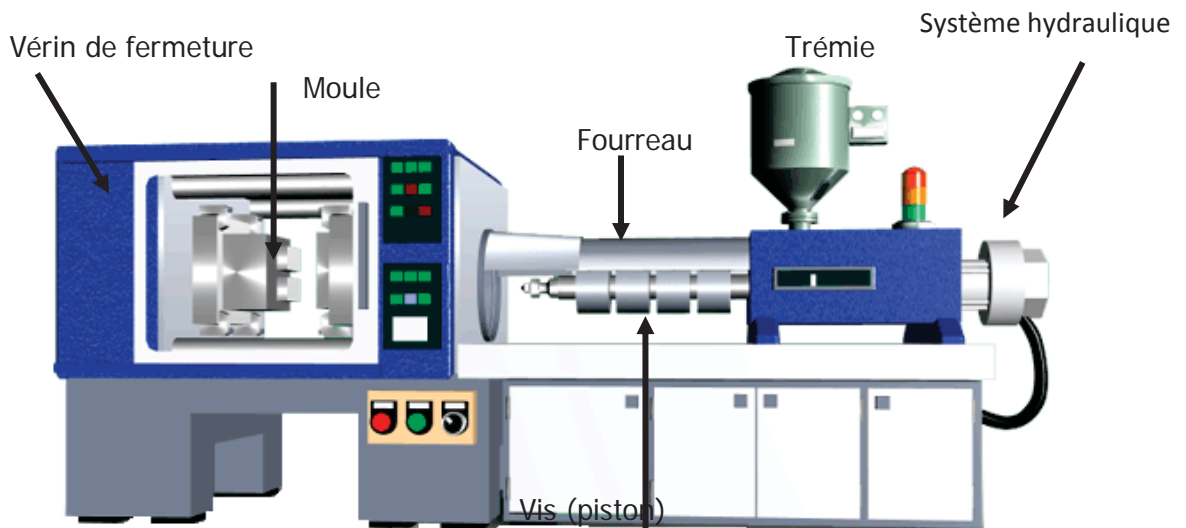
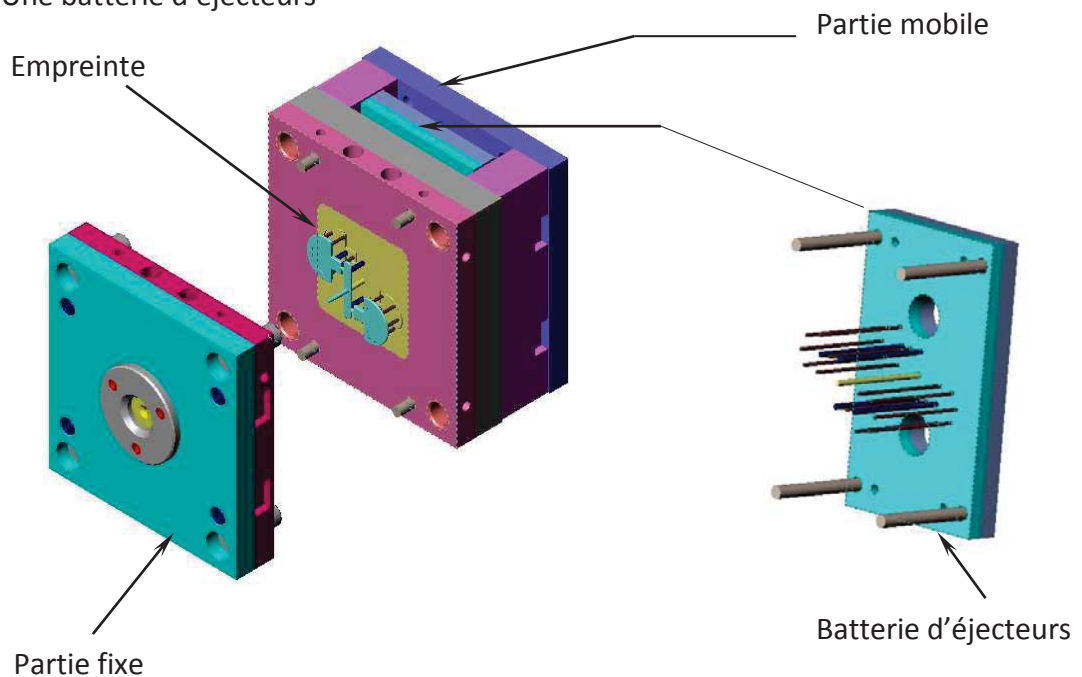


Figure 4. Les parties constituantes d'une Presse d'injection.

#### 2.4. Outillages d'injection (moule) :

La plupart des moules sont conçus selon le schéma ci-dessous. Dans un moule nous trouvons donc :

- Une partie fixe
- Une partie mobile
- Une batterie d'éjecteurs



Le moule thermoplastique est généralement défini par :

- Le nombre d'empreintes (1, 2, 4, 8, 16, 32 ...)
- Son architecture : nombre de plaques, tiroirs...
- Le système d'alimentation : carotte perdue, canaux chauffants
- Le type d'alimentation des empreintes : pin point, en masse, en parapluie, sous-marine, en ligne, en "n" points
- L'éjection des pièces
- Système de refroidissement

**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

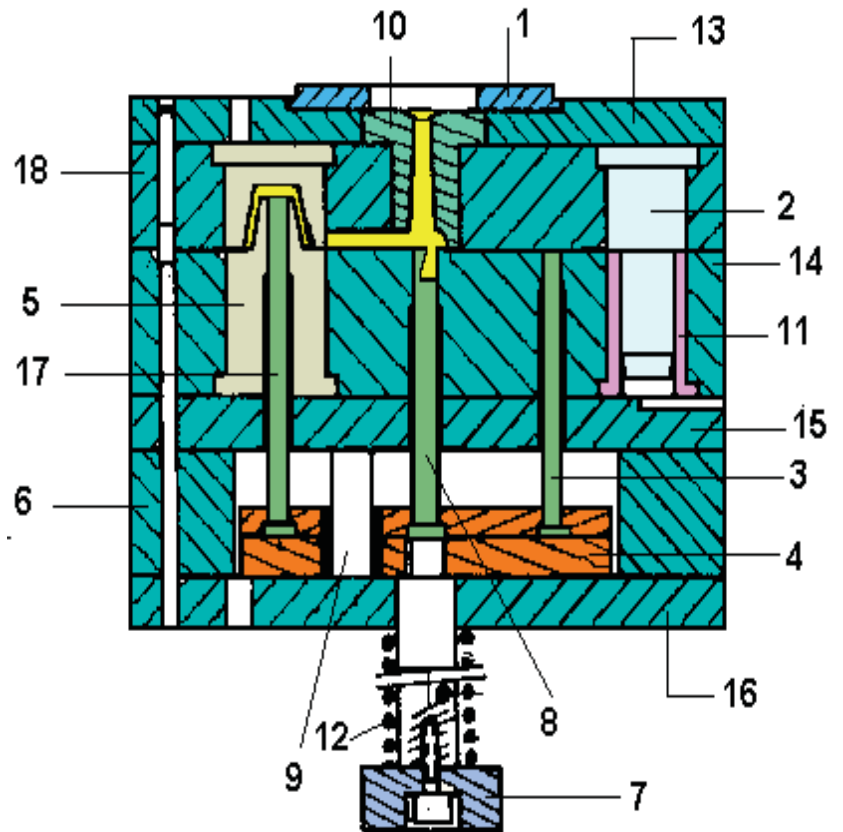


Figure 5. Moule d'injection plastique (composants)

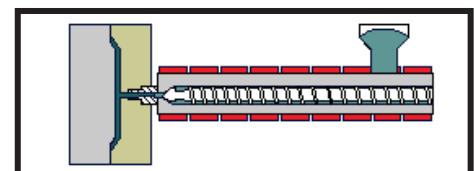
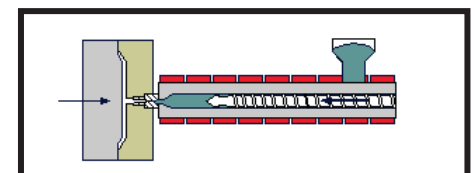
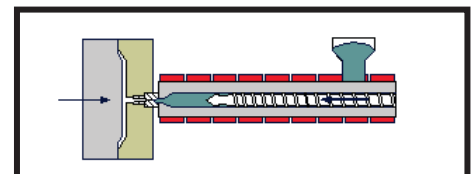
## 2.5. Les phases d'injection :

On peut distinguer six phases essentielles du procédé de moulage d'un polymère constituant le cycle de fabrication [3]:

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

**2-Verrouillage :** Si 'le système de sécurité n'a décelé aucune anomalie, la commande peut appliquer la force de fermeture. Selon le système de fermeture, la force est créée par le produit de la surface et de la pression, ou par la mise en contrainte des colonnes.

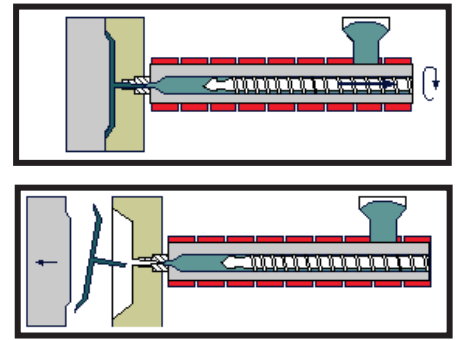
**3-Injection :** C'est la phase de remplissage de(s) (l') empreinte(s) avec la matière plastifiée et le maintien sous pression pour compenser les retraits.



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

**5-Ouverture du moule** : Le plastique étant suffisamment refroidi pour pouvoir être démoulé, la partie mobile du moule s'écarte de la partie fixe.

**6-Démoulage (éjection)** : Le moule occupe la position de fin d'ouverture qui assure à la pièce l'espace libre pour être éjectée.



## 2.6. La vis de plastification

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

- Transport et plastification de la matière.
- Injection sous pression de la masse fondue dans le moule.

Elle est composée de 3 zones :

### 1. 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.

### 2. Zone de compression

On diminue progressivement la profondeur des filets.

On comprime et on cisaille la matière.

La conjugaison friction + apport calorifique des résistances chauffantes provoque la fusion des granulés.

### 3. Zone d'homogénéisation

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

Les longueurs de ces différentes zones et leur profil peut être différent, On retrouvera :

- Vis à profil pour matières amorphes.
- Vis pour matières semi-cristallines
- Vis pour matières spécifiques (sans clapet pour PVC rigide)

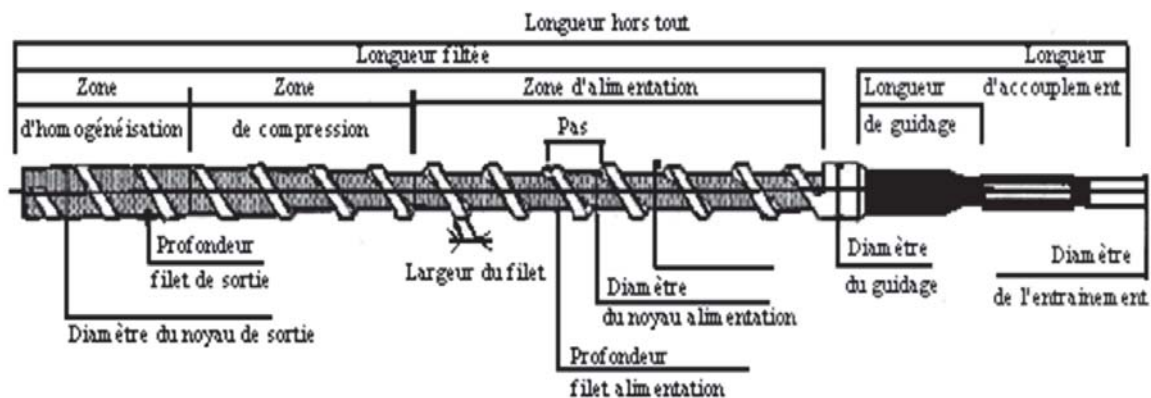


Figure 6. Architecture d'une vis d'injection plastique [2]



Figure 7. Vis pour matière amorphe



Figure 8. Vis pour matière semi cristalline

## 2.7. Paramètres d'injection

L'injection plastique sur une presse d'injection est gouverné par plusieurs paramètres sur lesquels il faut agir et les optimiser, ces paramètres sont [4].

- Force de verrouillage :
- Temps de dosage :
- Vitesse d'injection :
- Débit d'injection :
- Temps d'injection :
- Pression d'injection :
- Pression de maintien :
- Temps de maintien :

## 2.8. Autres types d'injection

Des solutions technologiques apportées à la machine ou au moule apparaissent sous divers noms on site [2, 4].

- Injection Gaz ou injection à l'Eau
- L'injection Bi-matière ou Bi-couleur
- Injection IML(In Mold labelling),



Fig. 9 : Injection Gaz



Fig. 10 : Injection Bi-matière ou Bi-couleur



Fig. 11 : Injection IML



### 3. Le procédé d'extrusion

#### 3.1. Introduction :

L'extrusion est un procédé très utilisé en plasturgie puisque la majorité des matières thermoplastiques est au moins extrudée une fois lors de sa préparation, néanmoins d'autres sortent sous forme d'objets finis.

L'extrusion est largement utilisée pour la fabrication des produits semi-ouvrés tels que : plaques, feuilles, tubes. [4]

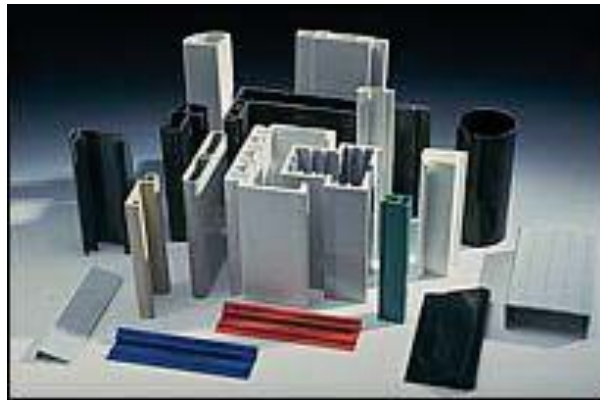


Figure12. Article obtenu par extrusion (profilés)

#### 3.2. L'extrudeuse monovis

Une extrudeuse monovis est constituée d'une vis sans fin en rotation à l'intérieur d'un fourreau chauffé. Ce système assure les trois fonctions suivantes.

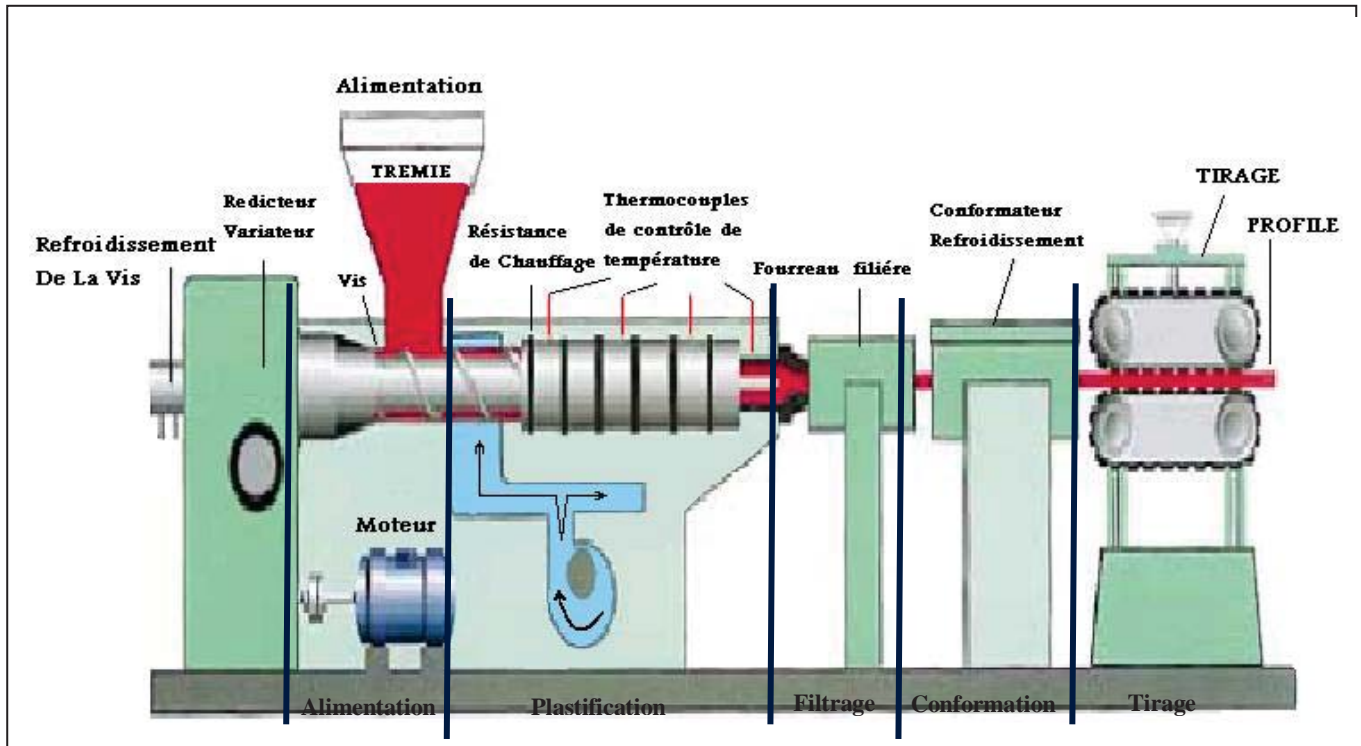


Figure 13. Extrudeuse monovis

- **Une fonction de convoyage** : le polymère descendant de la trémie sous forme de poudre ou de granulés est compacté et convoyé : c'est le principe de la vis d'Archimède ;
- **Une fonction de plastification** : le passage de l'état solide à l'état liquide est réalisé progressivement grâce à la fois à la chaleur fournie par conduction et à la dissipation d'énergie de cisaillement ;
- **Une fonction de pompage** : le diamètre de la vis augmente entre la zone d'alimentation et la zone terminale de l'extrudeuse, ce qui aboutit à mettre le polymère liquide en pression pour obtenir un débit régulier dans la filière.

### 3.3. Les phases d'extrusion

Dans l'extrudeuse, la matière est ajoutée dans la trémie sous forme de poudre ou de granules. La trémie alimente en continu le cylindre chauffé contenant une vis rotative. La vis assure à la fois le chauffage, le malaxage, la mise en pression et le dosage du polymère qui est refoulé sous pression dans la tête d'extrusion. La tête contient une filière qui donne la forme approximative de la pièce dont le polymère est ensuite refroidi à l'eau ou à l'air pour prendre sa forme finale. Les dispositifs de tirage entraînent le polymère qui se refroidit, soit pour l'enrouler en bobine, soit pour permettre de le couper à la longueur [4].



## 4. Le procédé du thermoformage

### 4.1. Introduction

Le thermoformage est un procédé de transformation qui utilise des produits semi-finis tels que des feuilles et des plaques et les transforme en objets finis à large domaine d'applications comme les carrosseries, planches à voile, bateaux, vasques de luminaires, vitres blindées, panneaux publicitaires, emballages de produits alimentaires et d'articles de consommation.



Figure 14. Objets mis en œuvre par thermoformage



## 4.2. Principe

Le thermoformage est la technique consistant à former à l'aide d'un moule, une feuille de plastique ramollie par chauffage. La feuille ainsi déformée épouse la forme du moule et en refroidissant conserve sa forme [4].

La technique de thermoformage utilise des produits semi-ouvrés (plaques et feuilles rigides en thermoplastiques) pour les transformer en objets tridimensionnels [1].

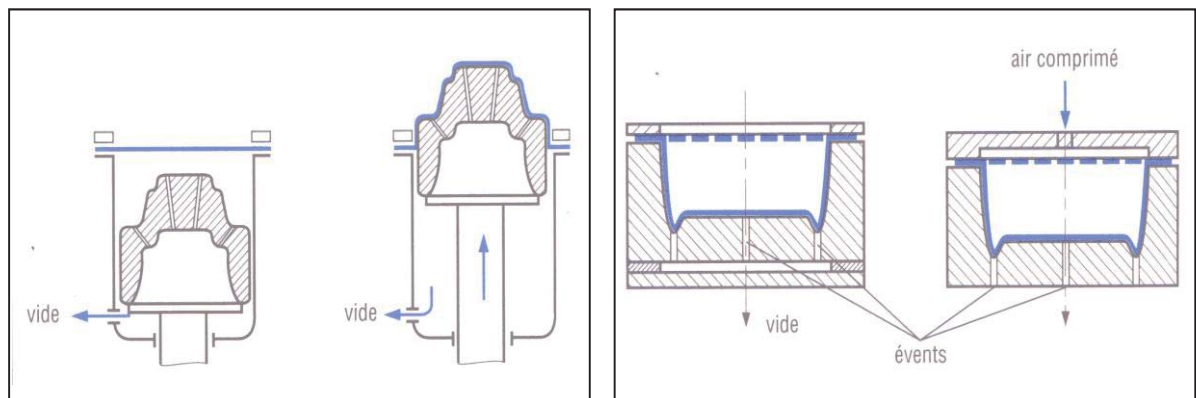


Figure 15. a. Formage par vide

b. Formage par vide et air comprimé

## 4.3. Les machines de thermoformage

Une machine de thermoformage est généralement constituée d'un poste de chauffage, d'un poste de formage, d'un poste de découpe et d'un poste d'empilage.

Actuellement, ces machines sont équipées d'automates ou commandés par ordinateur assurant le réglage et le suivi des principales opérations et une reproductibilité fiable du cycle de formage pour que les objets thermoformés aient la qualité requise.



Figure 16. Les machines de thermoformage

## 4.4. Les phases du thermoformage

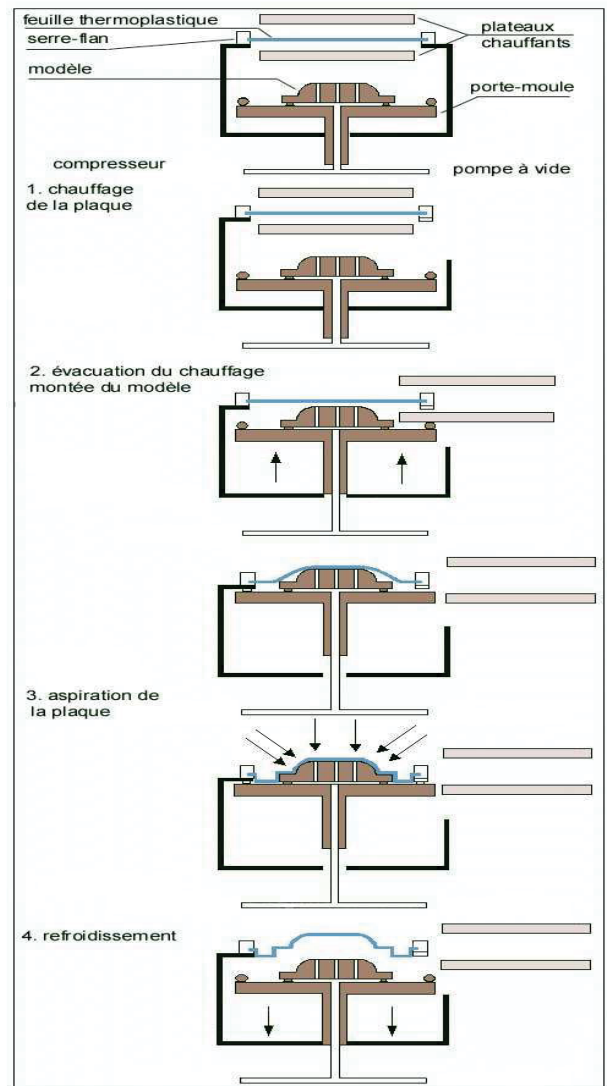
La feuille de plastique est tendue sur un cadre chargé de la maintenir et chauffée par des résistances. Une fois ramollie, le moule situé en dessous de la feuille est remonté. On crée alors une dépression entre la feuille et le moule en aspirant l'air grâce à une pompe à vide. La pression atmosphérique située au-dessus de la feuille plaque alors la feuille sur le moule. On peut résumer le cycle de mise en forme en thermoformage par les phases suivantes. [4]

- 1- Chauffage de la plaque thermoplastique préalablement fixée à l'endroit approprié de la machine.
- 2- Une fois la température de thermoformage est atteinte, retraitement des appareils de chauffage et élévation du plateau portant le moule générant ainsi une pression sur la plaque ramollie sous l'action de la chaleur.
- 3- Aspiration d'air (entre la plaque et le moule) pour que la feuille adhère au moule.
- 4- Refroidissement de la plaque thermoformée et descente du moule.

En fait, il existe trois grandes techniques de base pour obtenir ce résultat :

- L'évacuation d'air pour que la feuille adhère au moule (Exemple ci-dessous).
- L'utilisation d'air pressurisé pour pousser la feuille contre le moule (Thermocompression)
- L'utilisation d'une force mécanique assistée par tampon (Emboutissage à chaud)

Ces techniques peuvent être employées ensemble dans tout équipement de formage standard selon le modèle de la pièce à former.



## 5. Le rotomoulage

### 5.1. Introduction

Le moulage par rotation est une méthode de transformation des polymères permettant la production d'articles creux avec des contenances très diversifiées (de quelques dixièmes de litre à des milliers de litres). Le moulage par rotation permet de produire des petites et des grandes séries de pièces [1].



Figure 17. Articles mis en œuvre par rotomoulage

## 5.2. Principe

Le principe de cette méthode de transformation consiste à introduire de la matière (sous forme de poudre) dans un moule qu'on chauffe et qu'on introduit en double rotation. La matière fondue parvient ainsi à couvrir toutes les parois du moule et épouse alors sa forme.

Le polymère le plus utilisé en Rotomoulage est le PE (90% des applications) ; PP, PC, PA, PVC sont également utilisés. Pour être rotomoulé le PE doit être sous forme poudre avec une taille des particules entre 100 à 500  $\mu\text{m}$  [1].

## 5.3. Machines de rotomoulage

Un poste de rotomoulage doit assurer principalement la rotation du moule autour de deux axes perpendiculaires. Le temps de cycle est important en comparaison aux autres procédés (15-40 minutes par cycle); donc ces postes ont une faible cadence de production.

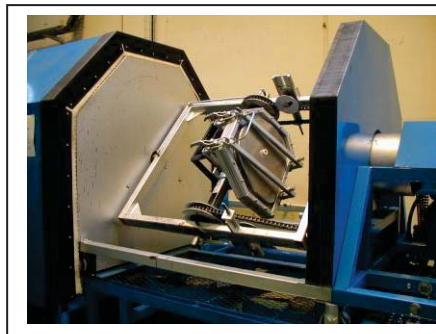


Figure 18 .Exemple de poste de rotomoulage

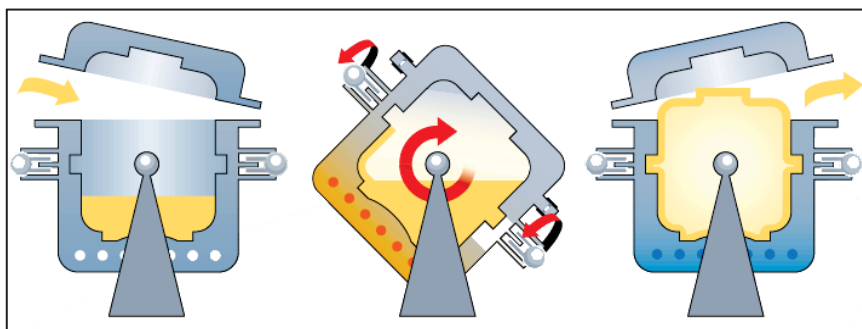


Figure 19 .les différentes phases d'obtention d'une pièce par rotomoulage

## 5.4. Les phases du rotomoulage

Le procédé est basé sur la rotation d'un moule chauffé dans un four sur deux axes perpendiculaires. Durant la rotation, tous les points de la surface interne du moule occupent toutes les positions de l'espace et sont périodiquement en contact avec le produit. [1]

Le procédé comprend 4 phases principales :

- Chargement de la matière et fermeture du moule.
- Chauffage du moule et de la matière, et mise en rotation double de l'ensemble.
- Refroidissement du moule.
- Démoulage de la pièce.

Phase/Désignation	Description
<p><b>Phase 1 :</b></p> <p><b>Chargement et fermeture du moule.</b></p>	<p>Un moule formé en général de 2 demi-coquilles, l'une fixe, l'autre mobile. La partie fixe est chargée de poudre de matière plastique ou de plastisol liquide, dont le poids correspond à celui de la pièce à obtenir.</p> <p>Le moule est alors fermé au moyen de raccords rapides.</p> <p>La partie fixe du moule a été au préalable, montée sur un système mécanique, qui lui permet de tourner autour de 2 axes perpendiculaires</p>
<p><b>Phase 2 :</b></p> <p><b>Le chauffage du moule jusqu'à la température de bonne fusion</b></p>	<p>L'ensemble moule matière, est mis en mouvement planétaire et la poudre de matière plastique ruisselle par gravité sur les parois. Les vitesses de rotation étant faibles l'effet de la force centrifuge est négligeable.</p> <p>L'ensemble moule matière plastique est alors chauffé par apport de chaleur au moyen d'un four, d'une rampe à gaz ou de panneaux infrarouge.</p> <p>Le moule métallique ainsi chauffé, transmet sa chaleur à la poudre dont les grains commencent à fondre et par suite à se coller sur la paroi du moule. La fusion se poursuit, jusqu'à ce que de proche en proche tous les grains soient fondus. On a alors atteint la température de bonne fusion de la matière sur la dernière couche qui représente la face interne de la pièce moulée.</p>
<p><b>Phase 3 :</b></p> <p><b>La solidification de la matière</b></p>	<p>A la fin de la période de chauffage la matière thermoplastique est à une température supérieure à son point de fusion, et sa consistance reste visqueuse, il faut donc la refroidir.</p> <p>Cela se fait en projetant sur le moule de l'air frais et/ou un brouillard d'eau.</p> <p>Lorsque la matière est arrivée en dessous de sa température de cristallisation ou de solidification, on continue à la refroidir jusqu'à ce qu'elle soit manipulable.</p>
<p><b>Phase 4 :</b></p> <p><b>Le démoulage</b></p>	<p>La pièce obtenue, est suffisamment rigide et froide, on ouvre les raccords rapides, on soulève la partie mobile du moule et on extrait la pièce qui reproduit exactement l'architecture interne du moule. La pièce est ainsi prête pour la finition ou l'assemblage avec d'autres pièces.</p>

## 6. Le calandrage

### 6.1. Introduction

Le calandrage est un procédé de fabrication en continu de films de thermoplastiques par laminage de la matière entre plusieurs cylindres parallèles.

Ces cylindres sont chauffés et entraînés mécaniquement et forment la machine de calandrage qu'on appelle : Calandre. Leur nombre se situe généralement entre 3 et 6 cylindres. La feuille obtenue est étirée puis refroidie avant d'être enroulée.



Figure 20. Articles mis en œuvre par calandrage

## 6.2. Principe du procédé

La matière à calandrer préalablement malaxée et chauffée passe dans la calandre pour être laminée par les cylindres chauffés et tournants. Toutes les bulles d'air sont alors chassées de la matière laminée.

Un détecteur de particules métalliques qui agit par séparation magnétique est prévu à l'entrée de la matière.

Une graineuse et rouleaux décolleurs peuvent être prévus à la sortie de la matière afin de modifier l'aspect de la surface de la feuille.

Un convoyeur de stabilisation sert à transporter et étier le film laminé à la sortie de la calandre. Des tambours refroidissent ce film par action de contact. Une jauge d'épaisseur est également présente sur la chaîne pour mesurer l'épaisseur du film calandré.

A la sortie de la chaîne, des coupe-lisières sont prévues pour la finition par découpage des bords de la feuille à enrouler et enfin, une enrouleuse sert à bobiner le film à stocker.

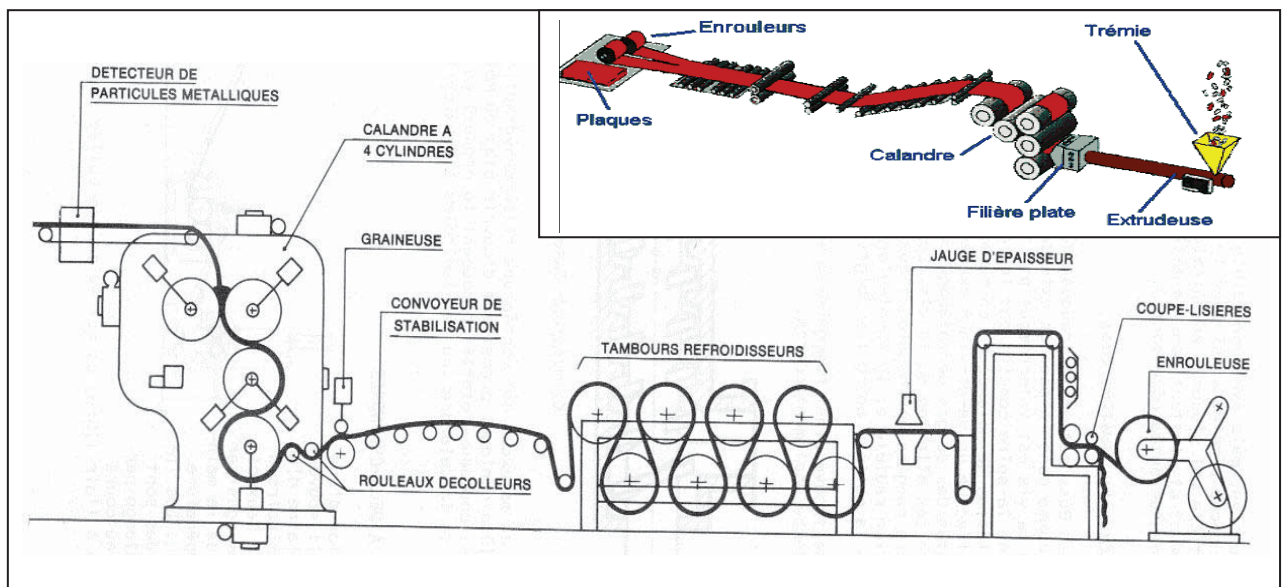


Figure 21. Schéma de principe d'une chaîne de calandrage

### 6.3. Les chaînes de calandrage

Suivant la nature du matériau à calandrer on distingue deux types de chaînes de calandrage ;

- Une chaîne de calandrage-alimentation par mélangeur interne (technique généralement utilisée dans le cas du PVC).
- Une chaîne de calandrage-alimentation par extrudeuse.

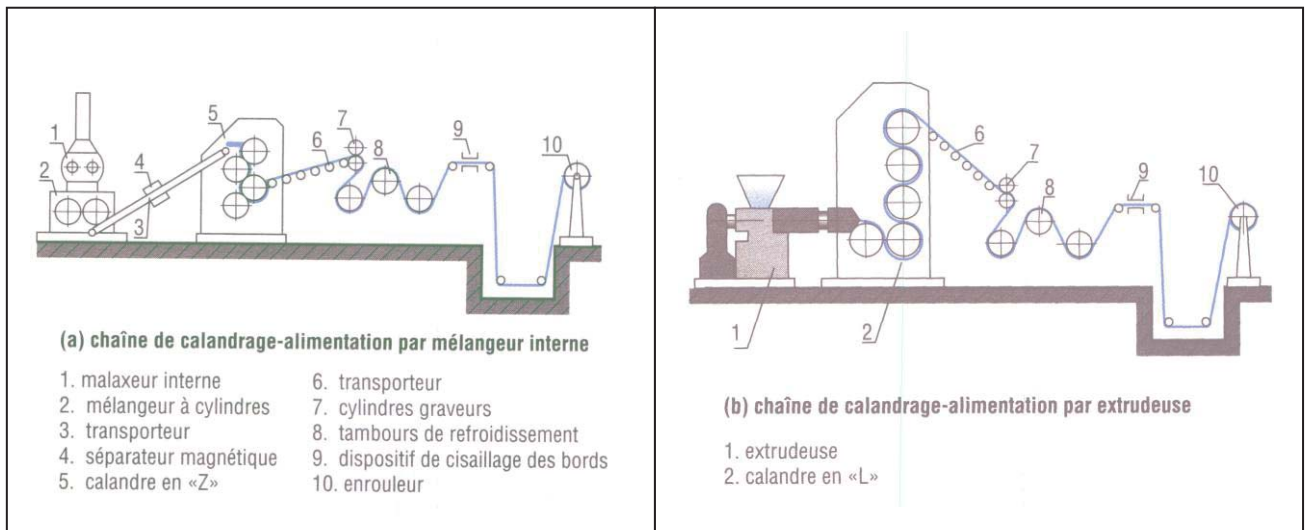


Figure 22. Différents types de chaînes de calandrage.

## 7. Autres procédés de mise en forme des matières plastiques

### 7.1. L'injection soufflage :

L'injection-soufflage est un procédé de mise en forme de matériaux polymères thermoplastiques qui est utilisé pour fabriquer des corps creux, tels que des flacons et bouteilles.

Ce procédé consiste à combiner la technique d'injection avec celle du soufflage. La matière est injectée pour former une « éprouvette » (préforme) qui peut intégrer le vissage final de la pièce. La préforme peut être stockée, transportée ou directement réchauffée pour être ensuite soufflée à la forme voulue. L'éprouvette est alors enfermée dans un moule de soufflage en deux demi-coquilles ayant la forme désirée. Une extrémité de la préforme est pincée. De l'air comprimé (le plus souvent) est ensuite injecté dans la cavité par l'orifice de la préforme afin de plaquer la matière contre l'empreinte refroidie et figer la pièce dans sa forme finale.

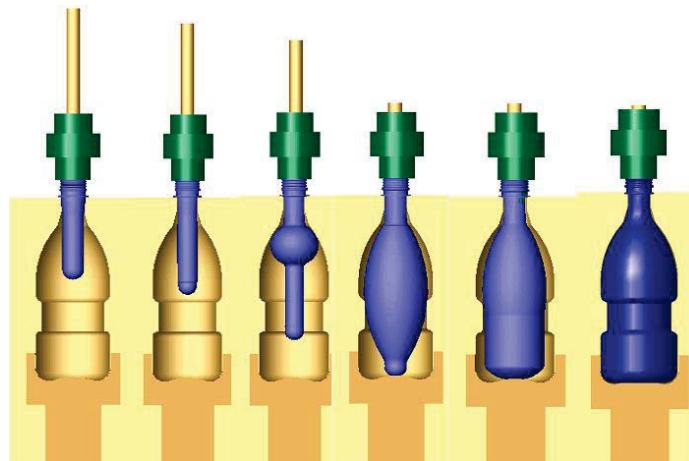


Figure 23. Injection soufflage

## 7.2. L'extrusion soufflage

Permet de réaliser des films d'épaisseur inférieure à 0,2 mm. Une filière annulaire (pouvant atteindre 1,80 m de diamètre) produit une gaine dans laquelle on admet de l'air sous pression. Le gonflage permet d'étirer la matière et d'obtenir l'épaisseur désirée.

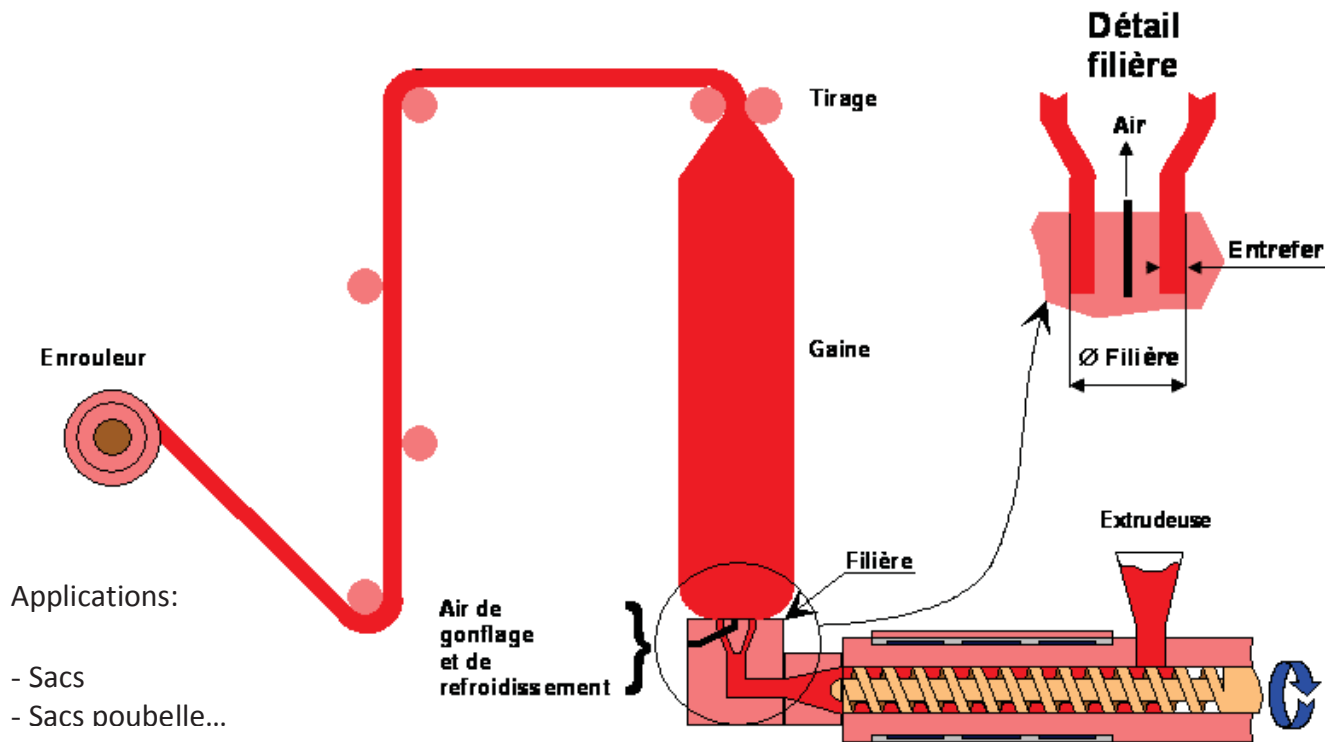
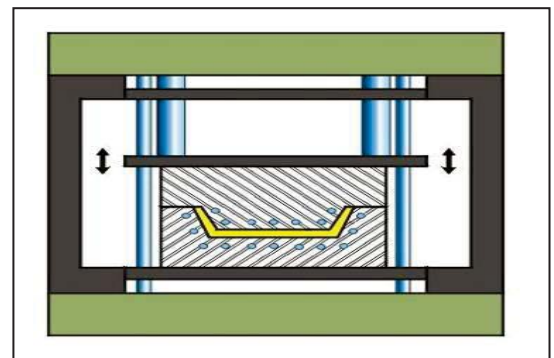


Figure 24. Extrusion soufflage

## 7.3. La compression

Technique surtout très utilisée pour transformer des matières en les comprimant fortement dans un moule. Ces matières (thermodurcissables) pour la plupart auront la particularité de ne plus fondre après moulage (pièces automobiles, électriques, poignées d'ustensiles ménagers, etc...)



## 7.4. Le polystyrène expansé

Un moule est rempli de petites billes de matière qui vont prendre du volume et se coller les unes aux autres sous l'effet de la chaleur et de plusieurs composants chimiques. (Plaques pour l'isolation, emballages,...).

