

# TP 3GM PROFA

## Mise en œuvre des matières plastiques

**H. Tollenaere, P. Gelineau, F. Martoia, M. Yousfi**

# Introduction : logique des procédés

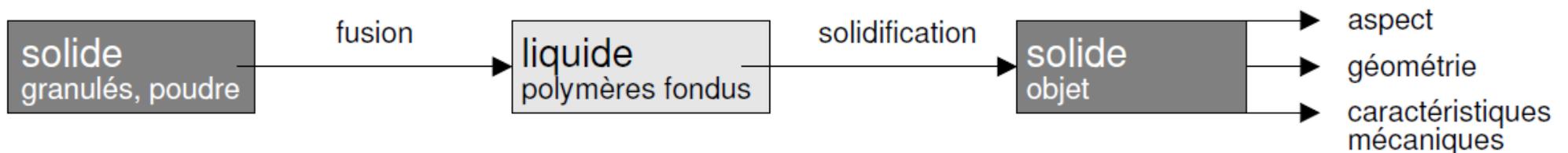
---

## Mise en forme des matériaux **polymères thermoplastiques**

### □ Étapes des procédés de transformation des matières plastiques

Les procédés de transformation des **polymères thermoplastiques** comportent généralement **trois étapes** :

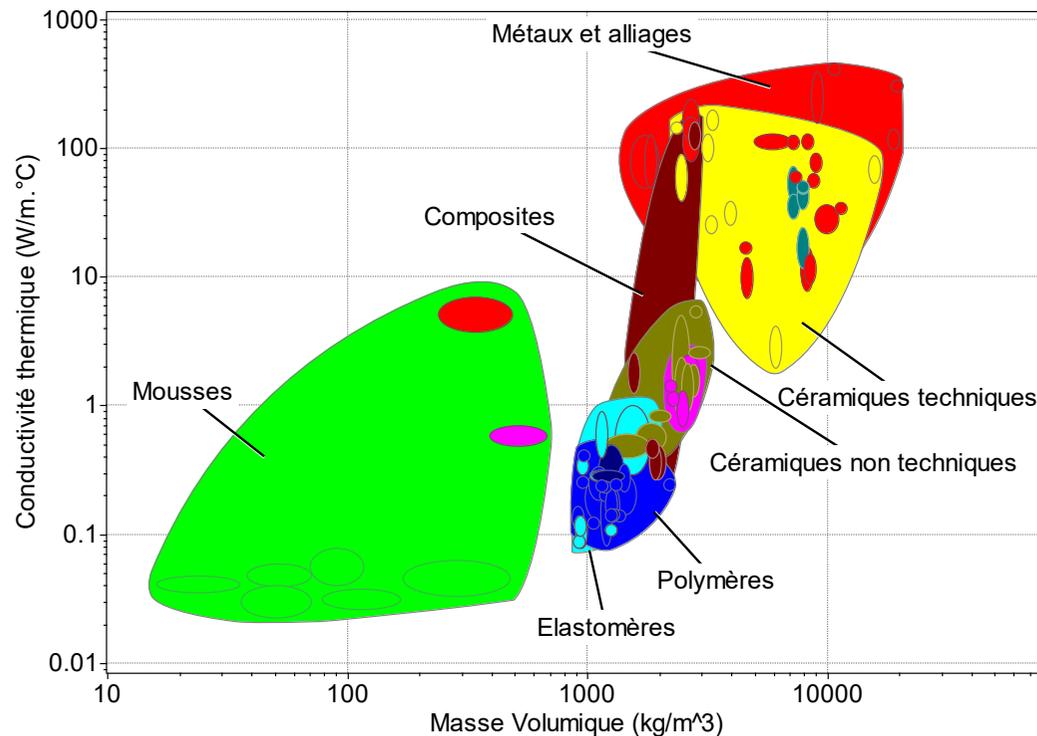
- La **fusion/plastification**, c'est-à-dire le passage de l'état de solide (poudre, granulés) à un état fondu, suffisamment homogène et fluide.
- La **mise en forme** à l'état fondu, **par écoulement** à travers une filière ou dans un moule.
- La **conformation et le refroidissement**, avec éventuellement des opérations d'étirage, bi-étirage, soufflage...



# Introduction : logique des procédés

## Caractère **isolant thermique** des polymères fondus

→ La **conductivité thermique** des polymères  $\lambda$  est de l'ordre de  **$0.2 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$**



→ La fusion des polymères par simple conduction de chaleur nécessiterait **des temps de séjour** (dans les outillages) **très longs** et des **débites inadmissibles** !

→ La faible conductivité implique que la majorité des produits ont une **épaisseur inférieure à quelques mm** ( $\searrow$  temps de refroidissement et  $\nearrow$  cadences de production)

## Introduction : logique des procédés

---

### Très forte viscosité des polymères fondus

→ Les polymères fondus, aux températures de mise en œuvre, ont des **viscosités  $\eta$**  de l'ordre de  **$\sim 10^3 \text{ Pa.s}$**  (1 million de fois > que la viscosité de l'eau).

Cette propriété a trois conséquences pratiques :

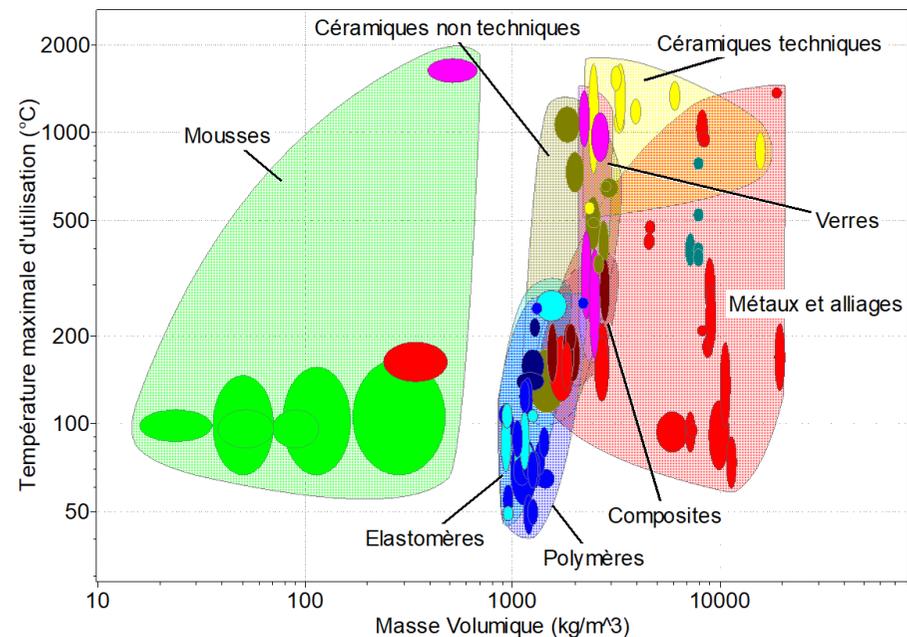
- Dans les procédés de mise en forme, les écoulements de polymères fondus sont caractérisés par des **faibles nombres de Reynolds** (écoulements laminaires, effets inertiels négligés) !
- **L'échauffement du polymère** par dissipation visqueuse est facile à obtenir !
- Les fortes viscosités impliquent des **pressions élevées** pour assurer l'écoulement dans les filières et dans les moules à des débits importants !

**Exercice** : Donner l'expression de la puissance de déformation  $\dot{W}$  pour une sollicitation de cisaillement simple.

# Introduction : logique des procédés

## Combinaison du caractère isolant et d'une forte viscosité

- L'échauffement par dissipation visqueuse est souvent localisé.
  - La faible conductivité thermique favorise l'existence de gradients thermiques élevés.
- Afin d'éviter la dégradation due à l'échauffement : limiter la quantité d'énergie apportée par dissipation visqueuse et/ou limiter les débits que l'on peut appliquer.
- Prise en compte dans la conception des outillages.



## Introduction : logique des procédés

---

### Combinaison du caractère isolant et d'une forte viscosité

- L'échauffement par dissipation visqueuse est souvent localisé.
- La faible conductivité thermique favorise l'existence de gradients thermiques élevés.

→ Afin d'éviter la dégradation due à l'échauffement : limiter la quantité d'énergie apportée par dissipation visqueuse et/ou limiter les débits que l'on peut appliquer



La forte viscosité + la faible conductivité thermique permet de concevoir le trajet dans l'air « d'un extrudat » de polymère encore à l'état fondu avant son passage dans un conformateur ou dans un système d'étirage (idem techniques verrières)

Cas du filage, du soufflage (bouteilles, gaines, etc.), (bi-)étirage de films, etc.



# Introduction : logique des procédés

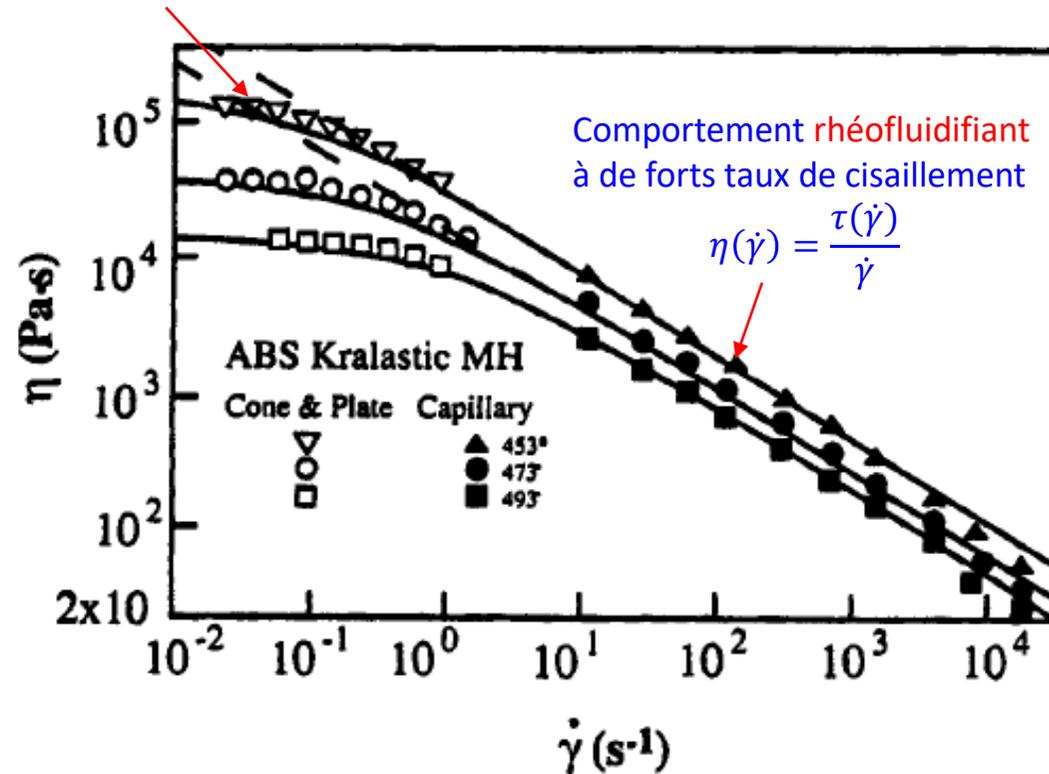
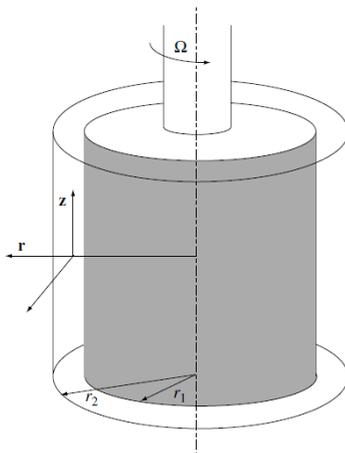
## Sensibilité du comportement rhéologique à la vitesse de déformation et à la température



### ❑ Écoulements de polymères fondus

Comportement newtonien à de faibles  
taux de cisaillement  $\eta_0 = \tau/\dot{\gamma}$

**Figure 2.4.1.**  
Plot of viscosity versus shear  
rate for an ABS polymer melt  
at three temperatures (Cox  
and Macosko, 1974): dashed  
lines, power law fit; solid line  
represents a Cross or Ellis  
model. See Table 2.4.1.



➤ Fort couplage entre mécanique et thermique !

# Aperçu des principaux procédés de mise en forme des matériaux polymères

Une grande diversité de pièces (et de procédés)



Fils lyocell, Lenzing



Connecteurs, AdduXi (01)



Réservoir poids lourds, MTS (01)



Pont en polymère recyclé (Ecosse)



Pignon, MIHB (01)



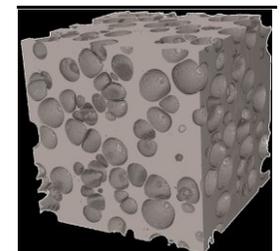
Dispositifs médicaux, Infiplast (01)



Fixation corticale tibiale, Orthomed (06)



Dispositifs médicaux, Aptar (01)



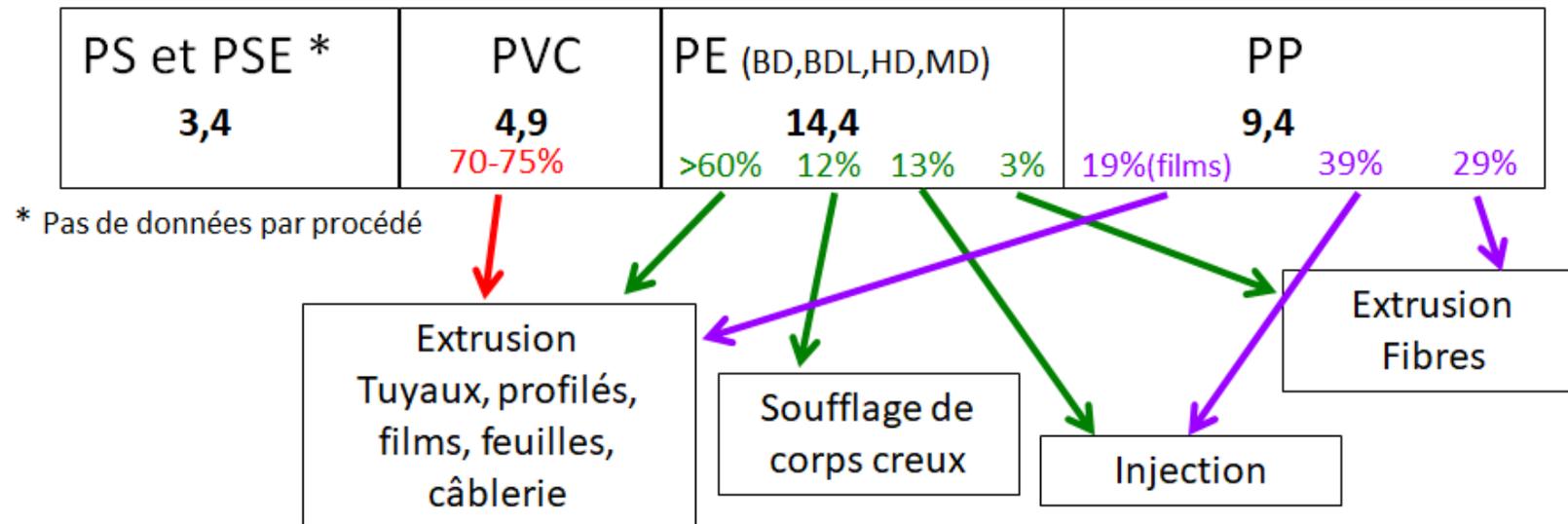
Mousse

# Etat des lieux

## Consommation et transformation de polymères de commodité

Plus de 70% de la consommation de matières thermoplastiques concerne 4 grandes familles de polymères, dits de commodité : PE, PP, PVC, PS (et plus de 80% avec le PET)

Principaux polymères consommés en Europe (Mt) et répartition par procédé de transformation (%) \*\*:



\*\* : répartition estimée d'après différentes études 2010-2014

**Consommation totale de matières plastiques :**  
en France (année 2014) : 5 Mt  
dans l'UE ( année 2015) : 49 Mt

# Procédés de mise en forme des matériaux polymères

## Extrusion de polymères thermoplastiques

L'**extrusion** est un **procédé continu** permettant de fabriquer des **produits (ou semi-produits)** de section constante.

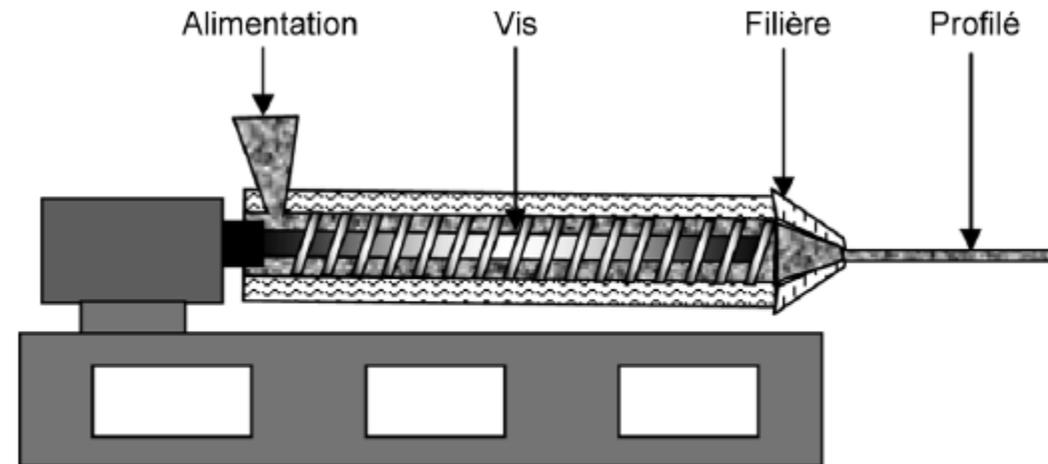
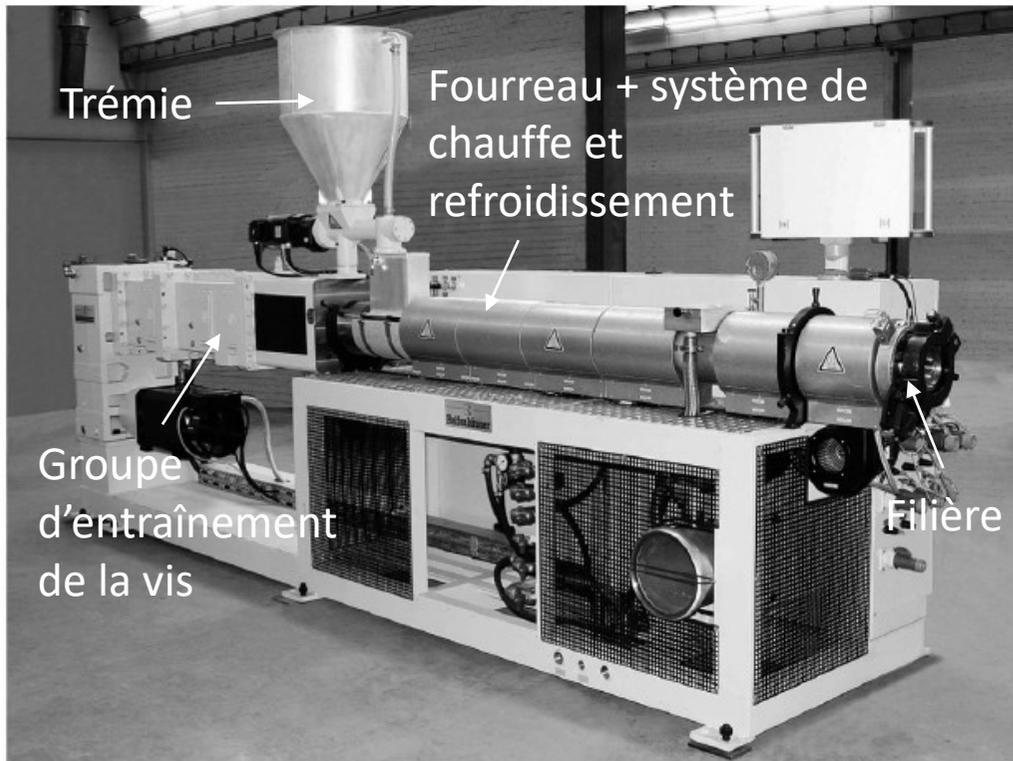


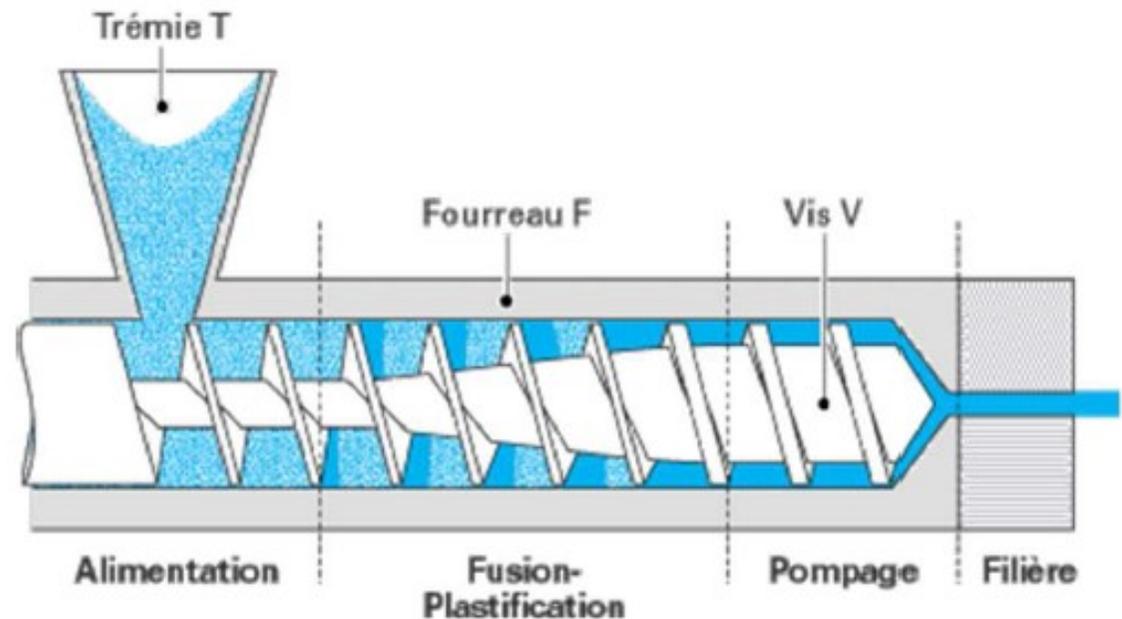
Figure 4.2 – Schéma d'une extrudeuse monovis.

# Procédés de mise en forme des matériaux polymères

## Extrusion de polymères thermoplastiques

Les fonctions principales assurées par le système « vis – fourreau » sont :

- La **fusion/plastification** du polymère solide.
- La **mise en pression** (2 à 35 MPa).
- Le **mélange**, l'homogénéisation et le transport du polymère fondu.
- La mise en forme du produit.



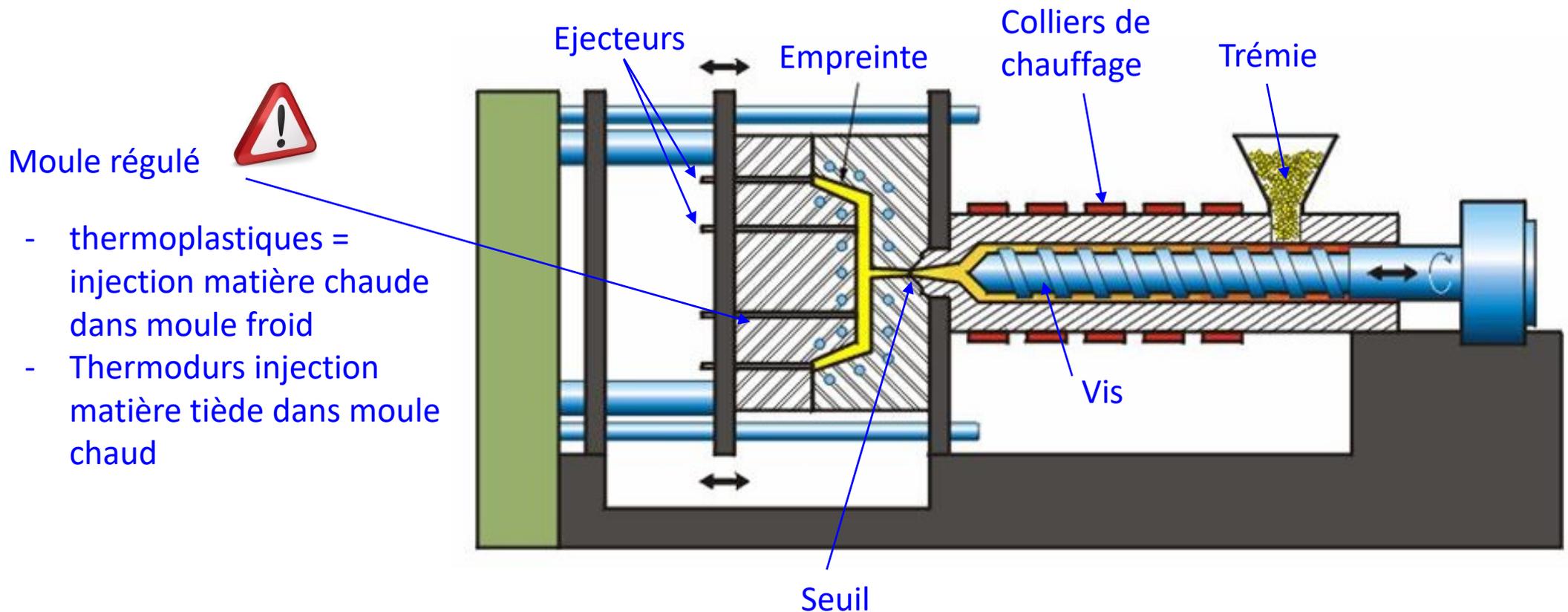
# Procédés de mise en forme des matériaux polymères

## Injection

### □ Description d'une presse à injecter

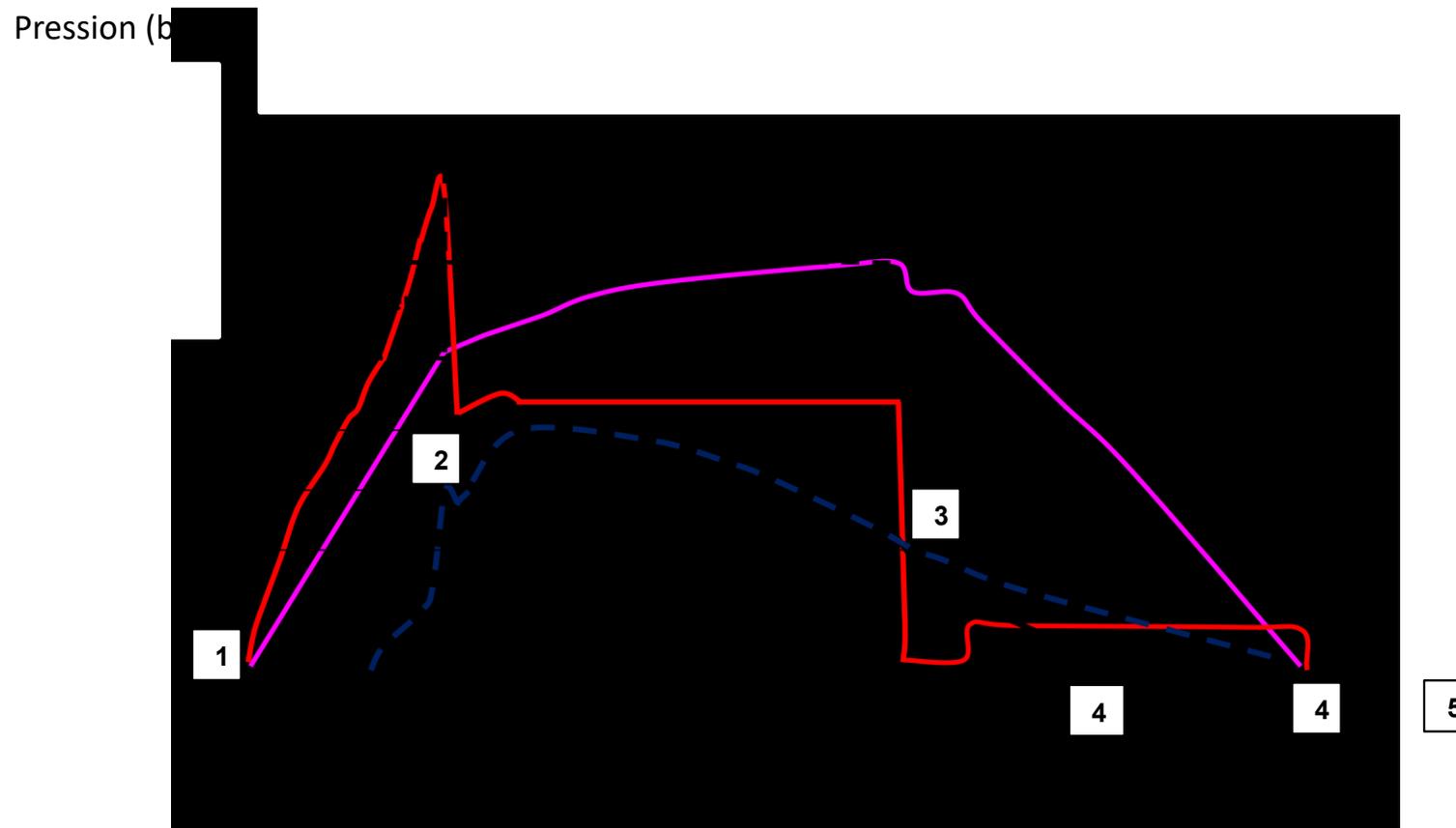
Le procédé d'injection permet **la fabrication en série** de pièces de formes complexes.

La presse à injecter comprend une **unité de plastification/injection** et une **unité de fermeture**, dans laquelle est fixé le moule



# Procédé de moulage par injection

## Analyse d'un cycle d'injection : profils typiques de pression



Au cours d'un cycle d'injection : des **évolutions importantes** de la **pression** et de la **température** du polymère et donc...de sa **masse volumique** ou **volume massique** !