

Chapitre V

Extrusion des Thermoplastiques. Tubes et profilés

- **Site** : <https://choucheneslim.wordpress.com/>
- **Article** cours et TP : [10- Procédés de mise en forme des matières plastiques](#)
- **PLAYLIST YOUTUBE** « **Procédés - Extrusion des thermoplastiques** » :
<https://www.youtube.com/playlist?list=PLVdWnPZXu-Oi835AX9dqXHLdD1KTo6WwK>

Extrusion des Thermoplastiques.

Tubes et profilés

1. GENERALITES SUR L'EXTRUSION

- A. LES DIFFERENTES TECHNIQUES
- B. LES DIFFERENTS PRODUITS OBTENUS
- C. GENERALITES
- D. LES PRINCIPALES MATIERES

2. ETUDE DE L'EXTRUDEUSE

- A. PRINCIPE DE L'EXTRUSION
- B. ENERGIE D'EXTRUSION:
- C. GÉOMÉTRIE DU SYSTÈME VIS/FOURREAU

3. ETUDE DE LA TETE D'EXTRUSION

- A. DESCRIPTION DE LA TETE D'EXTRUSION
- B. LES SYSTEMES DE FIXATION

4. EXTRUSION DES TUBES (filières)

5. EXTRUSION DES PROFILES

1. GENERALITES SUR L'EXTRUSION

A. LES DIFFERENTES TECHNIQUES

1. Profilés, tubes.
2. Gainage.
3. Gonflage.
4. Soufflage.
5. Filière plate.

B. LES DIFFERENTS PRODUITS OBTENUS

1. Bouteille, flacon.
2. Tuyau.
3. Câble électrique.
4. Sac poubelle.
5. Joint de fenêtre.
6. Profil de fenêtre.
7. Film.
8. Feuille.

1. GENERALITES SUR L'EXTRUSION

C. GENERALITES

1. Les différents types d'extrudeuses :

Il en existe 3 types :

- a) **Les extrudeuses mono vis** nécessitant un apport de calories par un système de chauffage extérieur. La vitesse de rotation est comprise entre **10 et 100 tr/min**.
- b) **Les extrudeuses mono vis** dans lesquelles les calories sont apportées par la très grande vitesse de rotation de la vis sont appelées : extrudeuse adiabatique. La vitesse de rotation est comprise entre **100 et 1000 tr/min**.
- c) **Les extrudeuses multi-vis**, les plus courantes les bi-vis, a existé des 3, 4, 5 vis.

1. GENERALITES SUR L'EXTRUSION

D. LES PRINCIPALES MATIERES

MATIERES	SYMBOLE	UTILISATION
Polychlorure de vinyle rigide	PVCr	Tuyaux, profilés, plinthes, gouttières
Polychlorure de vinyle souple	PVCs	Tuyaux d'arrosage, tubes médicaux
Polyéthylène, polypropylène	PEhd, PEbd, PP	Tubes, cartouches, profilés
Polystyrène, styrène butadiène	PS, PSB	Corps de stylo, tubes de rouleaux
Polyamide 11, 6	PA 11, 6	Tubes pneumatiques, cordages tennis
Polycarbonate	PC	Joncs et barres pour usinage
Polyméthacrylate de méthyle	PMMA	Profilés pour l'éclairage
Polyoxyméthylène	POM	Corps de stylo
Polyfluorure de vynilidène	PVDF	Tuyaux pour industrie chimique, alimentaire
Acétobutyrate de cellulose	CAB	Tuyaux de pétrole, fuel, gaz
Elastomère silicone	SI	Tubes médicaux
Elastomère de polyuréthane	PUR	Tubes médicaux

1. GENERALITES SUR L'EXTRUSION

Ligne d'extrusion.

- L'**extrusion** est un **procédé continu** permettant de fabriquer des **articles de section constante**.
- L'extrusion est utilisée pour fabriquer des produits finis ou des **semi-produits de section constante** (films, plaques, tubes, profilés...) par passage au travers d'un outillage appelé filière.

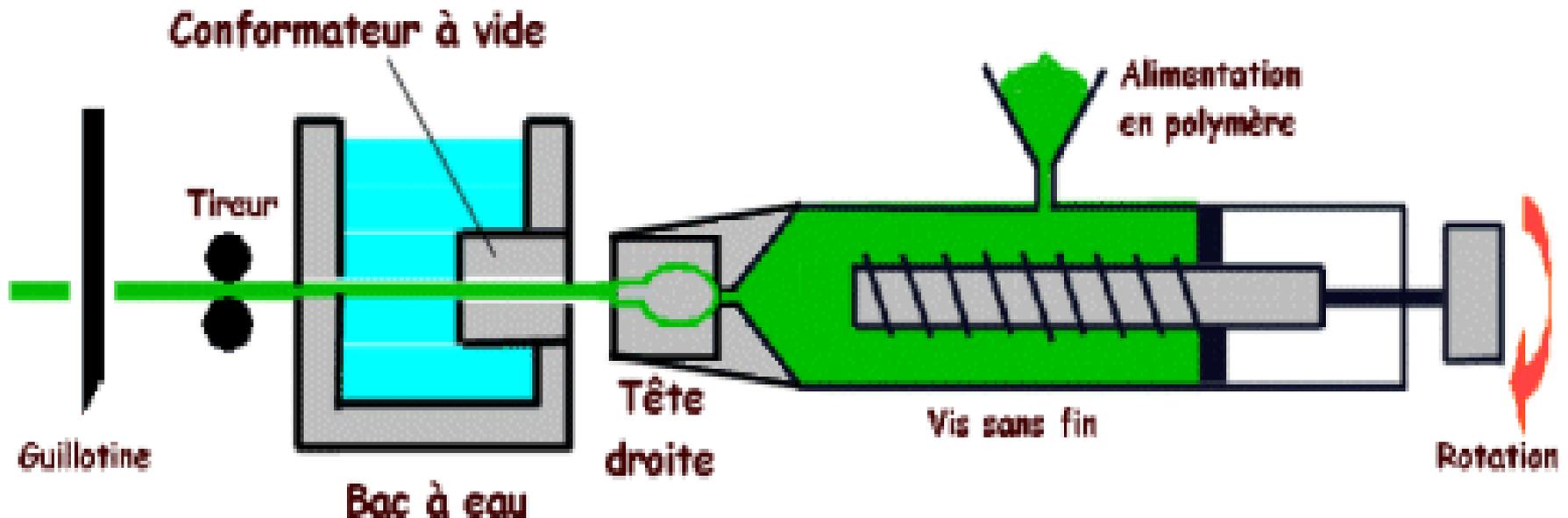


Figure 1. Ligne d'extrusion.

1. GENERALITES SUR L'EXTRUSION

- Les thermoplastiques peuvent être mis en forme par plastification ou fusion puis par forçage à travers une filière et éventuellement un poinçon formant un entrefer ayant approximativement la forme de la section définitive du profilé.
- L'extrudeuse est l'élément principal de l'ensemble du matériel nécessaire à l'extrusion d'un produit. Cet ensemble constitue une ligne d'extrusion comprenant principalement :
 - **l'extrudeuse**, en général à vis, qui, alimentée en granulés, réchauffe et plastifie la matière avant de l'amener sous pression à la filière ;
 - la **filière** et éventuellement le **poinçon**, qui vont donner la forme voulue au flux de matière ;
 - les **dispositifs de calibrage** (calibreur ou conformateur) et de refroidissement, qui vont donner la forme définitive du profilé et la fixer par refroidissement ;
 - le **dispositif de tirage**, qui assure l'entraînement du profilé à vitesse constante ;
 - **les dispositifs annexes** : coupe à longueur, marquage, réception.

1. GENERALITES SUR L'EXTRUSION

Les applications de l'extrusion sont très diversifiées, par exemple :

- **fabrication de tubes et tuyaux** jusqu'à 2 m de diamètre avec des extrudeuses simple ou double vis ;
- **gainage de fils électriques** ;
- **fabrication de profilés** en tous genres pour le bâtiment, l'automobile... : profilés pour fenêtres, décoration, protection, etc. ;
- **production de films et feuilles** ;
- **moussage** de polystyrène, polyéthylène, polypropylène, polyester thermoplastique, polyétherimide, polysulfone, PVC rigide et souple ;
- **étapes auxiliaires** de la fabrication des polymères : **mélangeage**, dégazage... ;
- **recyclage mécanique** des déchets.

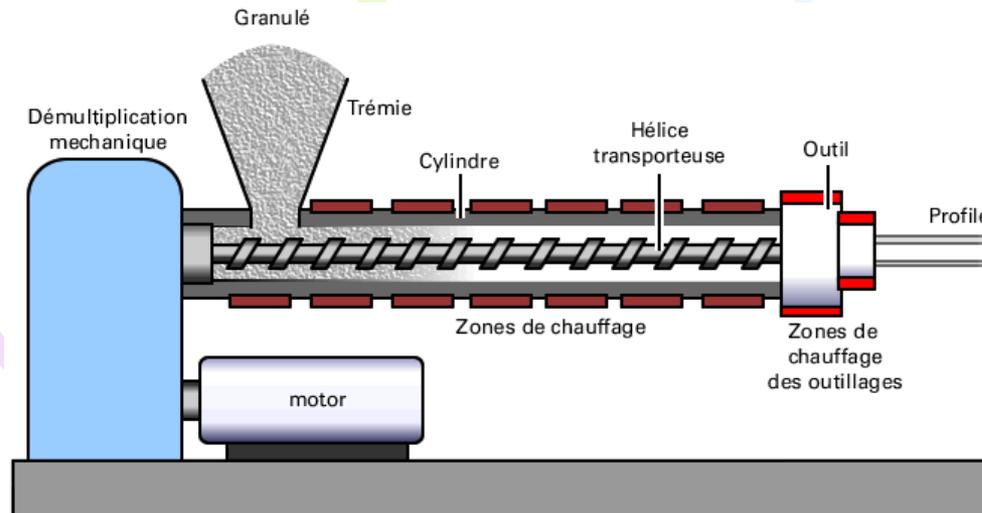
Pratiquement tous les thermoplastiques sont extrudables dans des conditions de températures et de pression différentes.

2. ETUDE DE L'EXTRUDEUSE

A. PRINCIPE DE L'EXTRUSION

Principe de l'extrusion

- La principale fonction de l'extrudeuse est de **convoyer** le polymère, de le **fondre** et de le **mettre en pression**, pour qu'il puisse franchir la filière placée à son extrémité.
- D'un point de vue industriel, on cherche à obtenir à la sortie de la machine un **débit régulier**, avec un matériau homogène, à la température contrôlée, et des conditions de production satisfaisantes (débit maximal, consommation énergétique limitée).

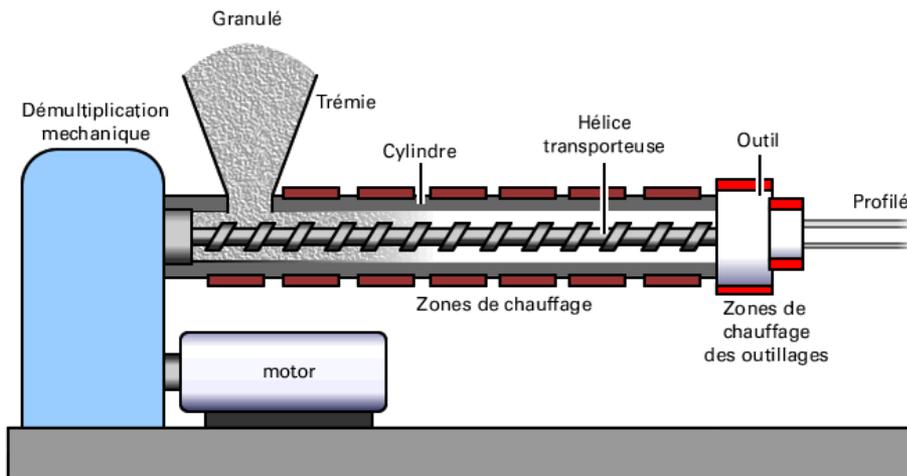


2. ETUDE DE L'EXTRUDEUSE

A. PRINCIPE DE L'EXTRUSION

L'**extrudeuse monovis** courante comprend principalement :

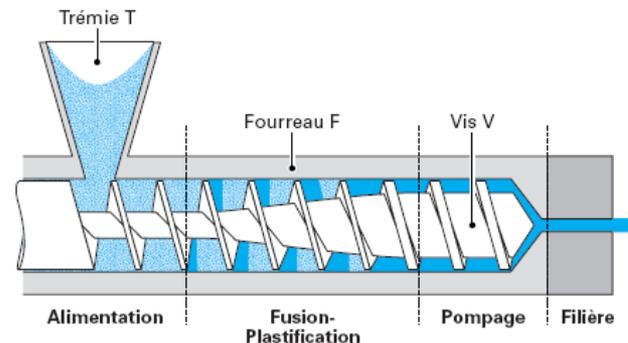
- une **trémie** d'alimentation qui est approvisionnée avec le produit à extruder, en général du granulé ;
- une **vis sans fin** dite vis d'Archimède ;
- le **fourreau** dans lequel tourne la vis sans fin ;
- le **groupe d'entraînement** de la vis ;
- la **filière** : extrémité de l'extrudeuse qui donne la forme finale au produit ;
- les **dispositifs de chauffage et de refroidissement** du fourreau et, éventuellement de la vis ;
- la **partie commande**.



2. ETUDE DE L'EXTRUDEUSE

C. PRINCIPE DE L'EXTRUSION

- **La vis** est responsable du **transport** de la résine jusqu'à la filière, de sa **plastification**, de la **mise en pression** de la masse fondue, de la **régularité de la température et de la pression**
→ qui vont conditionner la **régularité des cotes du profilé**.
- D'après les observations qui ont été faites sur l'état du polymère dans la machine, on peut distinguer **trois zones** phénoménologiques :
 - **la zone de convoyage solide**, dans laquelle le polymère est entièrement solide ;
 - **la zone de fusion**, dans laquelle coexistent du polymère encore solide et du polymère déjà fondu ;
 - **la zone de pompage**, dans laquelle le polymère est totalement fondu.



2. ETUDE DE L'EXTRUDEUSE

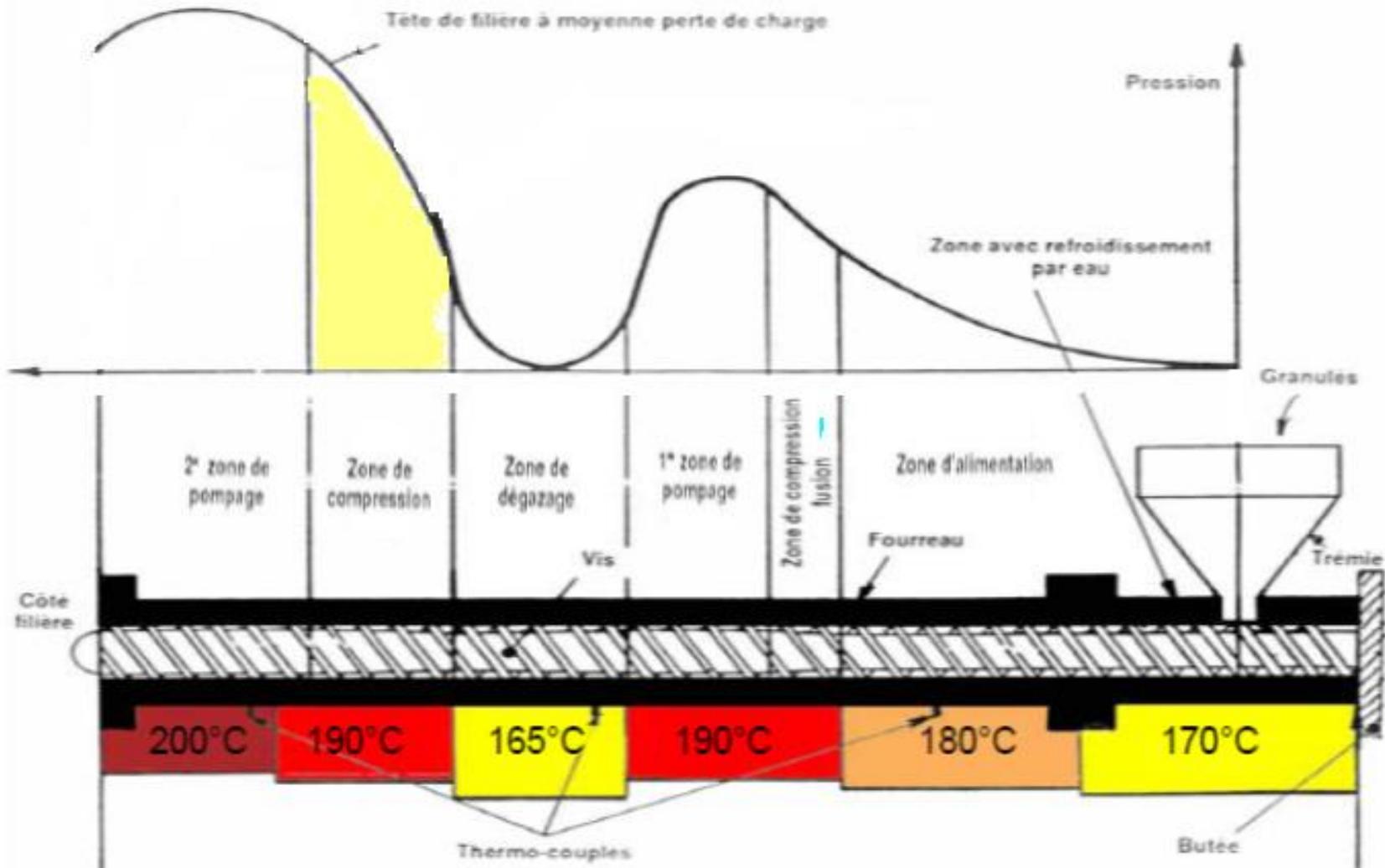
B. CYCLE DE L'EXTRUSION

Le cycle d'extrusion se déroule en quatre ou cinq phases :

1. **plastification** de la matière par le travail mécanique de la vis et l'apport de chaleur du système de chauffage ;
2. **mise en pression** du matériau ;
3. éventuellement dégazage ;
4. **mise en forme** par passage du matériau sous pression et chaud à travers la filière ;
5. **refroidissement** jusqu'à consolidation physique suffisante du profilé.

2. ETUDE DE L'EXTRUDEUSE

C. PROFIL DE TEMPÉRATURE ET DE PRESSION



Vue en coupe de la vis et du fourreau (profil de température et de pression)

2. ETUDE DE L'EXTRUDEUSE

D. ENERGIE D'EXTRUSION:

L'énergie nécessaire à la fusion et à la mise en pression du polymère est issue de deux sources principales :

- L'énergie mécanique, fournie par la rotation de la vis, qui engendre des déformations au sein d'un milieu très visqueux ;
- L'énergie thermique, fournie par la régulation du fourreau.
- Le rapport de ces deux termes est ce que l'on appelle le nombre de Brinkman :

Le nombre de Brinkman est généralement très supérieur à 1 dans le cas de l'extrusion monovis, ce qui montre que l'apport d'énergie mécanique est prépondérant devant celui d'énergie thermique.

2. ETUDE DE L'EXTRUDEUSE

D. ENERGIE D'EXTRUSION:

Le rapport de ces deux termes est ce que l'on appelle le nombre de Brinkman :

$$Br = \frac{\eta v_F^2}{\lambda (T_F - \bar{T})}$$

avec η (Pa · s) viscosité,
 v_F (m · s⁻¹) vitesse linéaire de la vis au sommet du filet,
 λ (W · m⁻¹ · °C⁻¹) conductivité thermique du polymère,
 T_F (°C) température du fourreau,
 \bar{T} (°C) température moyenne du polymère.

- **Le nombre de Brinkman est généralement très supérieur à 1 dans le cas de l'extrusion monovis, ce qui montre que l'apport d'énergie mécanique est prépondérant devant celui d'énergie thermique.**
- **Cela est bien sûr lié à la très forte viscosité des polymères fondus (10³ à 10⁵ Pa s) et à leur faible conductivité thermique (0,1 à 0,3 W · m⁻¹ · °C⁻¹).**

2. ETUDE DE L'EXTRUDEUSE

D. ENERGIE D'EXTRUSION:

$$Br = \frac{\eta v_F^2}{\lambda (T_F - \bar{T})}$$

avec	η (Pa · s)	viscosité,
	v_F (m · s ⁻¹)	vitesse linéaire de la vis au sommet du filet,
	λ (W · m ⁻¹ · °C ⁻¹)	conductivité thermique du polymère,
	T_F (°C)	température du fourreau,
	\bar{T} (°C)	température moyenne du polymère.

Exemple : considérons une vis de diamètre 80 mm, tournant à 60 tr/min. Le polymère a une viscosité de 10^3 Pa · s et une conductivité de $0,2$ W · m⁻¹ · °C⁻¹. La différence entre la température du fourreau et celle du polymère est de 30 °C. On trouve :

$$Br = \frac{10^3 \times (2\pi \times 40 \times 10^{-3})^2}{0,2 \times 30} = 10,5$$

2. ETUDE DE L'EXTRUDEUSE

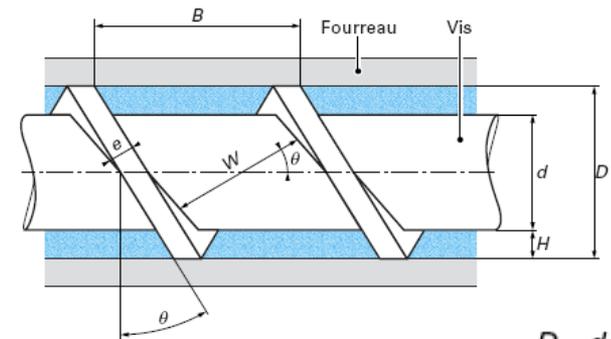
E. Géométrie du système vis/fourreau

- La géométrie de la vis est définie pour permettre au **procédé de travailler dans des conditions optimales** en fonction du polymère utilisé.
- Le diamètre du corps de la vis augmente généralement de l'arrière à l'avant de la machine, soit sur toute la longueur, soit sur une partie seulement de la longueur.
- Dans ce dernier cas, qui est le plus courant, on peut distinguer trois zones géométriques :
 - **la zone d'alimentation**, où la **profondeur du chenal est constante** ;
 - **la zone de compression**, où la **profondeur du chenal diminue progressivement** ;
 - **la zone de pompage**, où la profondeur du **chenal est à nouveau constante**, mais plus faible qu'en alimentation. On trouve parfois dans cette zone de pompage des éléments de mélange

Les éléments géométriques essentiels de ce système vis-fourreau sont indiqués sur la figure suivante. Quatre paramètres suffisent à définir cette géométrie :

- le diamètre intérieur du fourreau : **D** ;
- le diamètre du corps, ou diamètre interne, de la vis : **d** ;
- le pas de la vis : **B** ;
- l'épaisseur du filet : **e**.

Les deux premiers permettent de calculer la profondeur du chenal H : $H = \frac{D-d}{2}$





Vidéos

EXTRUSION :



1. 2 Extrusion 0 principe tamis et

grille simulation

2. 2 Extrusion tube profilé



ANNEXE :

$$\tan \theta = \frac{B}{\pi D}$$

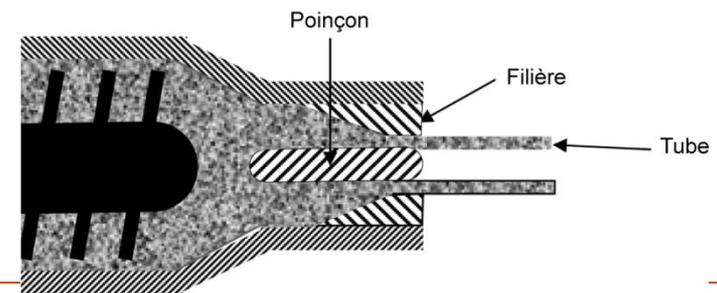
$$W = B \cos \theta - e$$

$$Z = \frac{\pi D}{\cos \theta} = \frac{B}{\sin \theta}$$

3. ETUDE DE LA TETE D'EXTRUSION

A. DESCRIPTION DE LA TETE D'EXTRUSION

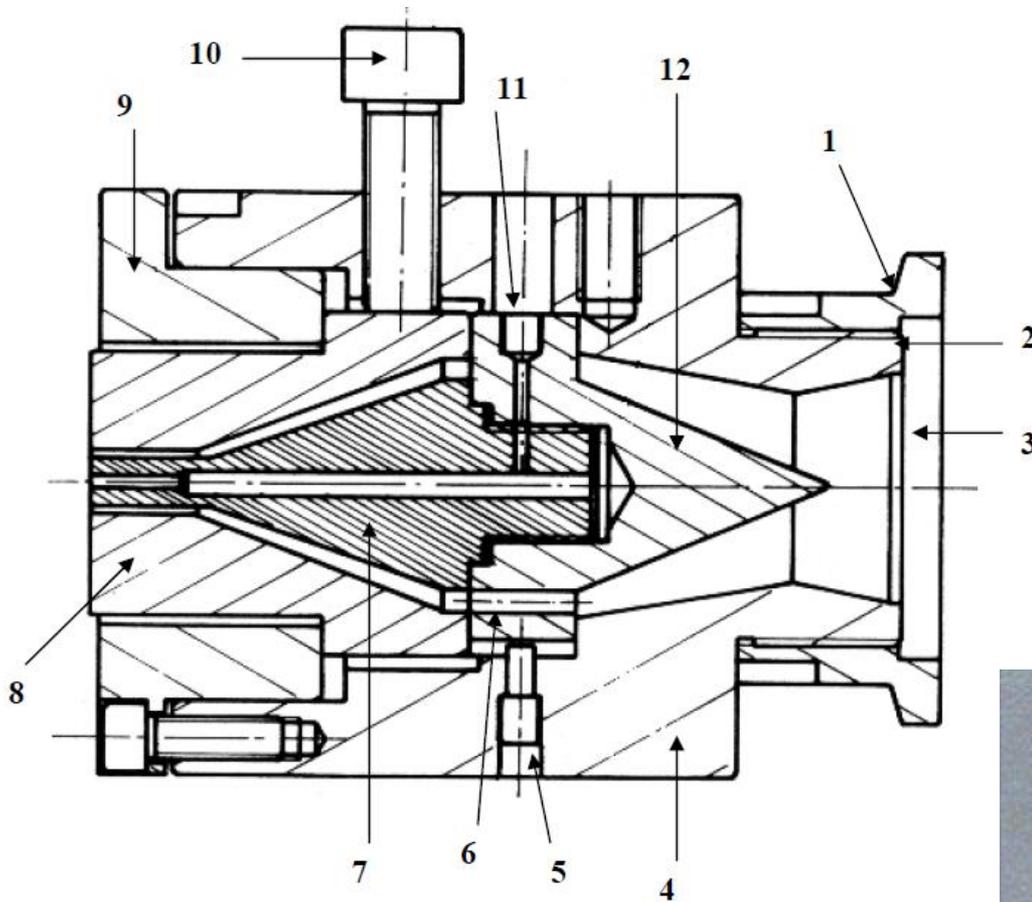
- La filière a pour mission de donner la forme et les cotes voulues à l'extrudat dans les meilleures conditions de régularité et d'aspect.
- Si le profilé est creux, il faut utiliser, en plus, un poinçon pour obturer la partie correspondant à la cavité.
- La figure suivante illustre schématiquement le principe de l'extrusion d'un tube. On imagine bien que, si le poinçon est omis, on obtient un jonc de même diamètre extérieur que le tube.
- Le diamètre intérieur de la filière et le diamètre extérieur de l'extrudat n'ont pas exactement la même valeur car le polymère, du fait de son retour à la pression atmosphérique dès sa sortie de la filière, se relaxe et donne lieu à une dilatation dite « **gonflement à la filière** ».
- En admettant que le polymère arrive à la filière dans de bonnes conditions de température, viscosité et pression, il faut encore concevoir la filière et le poinçon pour que la réduction de section entre le fourreau et l'entrefer filière/poinçon soit très progressif et que les écoulements dans la filière ne soient pas turbulents afin que l'extrudat se forme régulièrement en sortie d'extrudeuse.



3. ETUDE DE LA TETE D'EXTRUSION

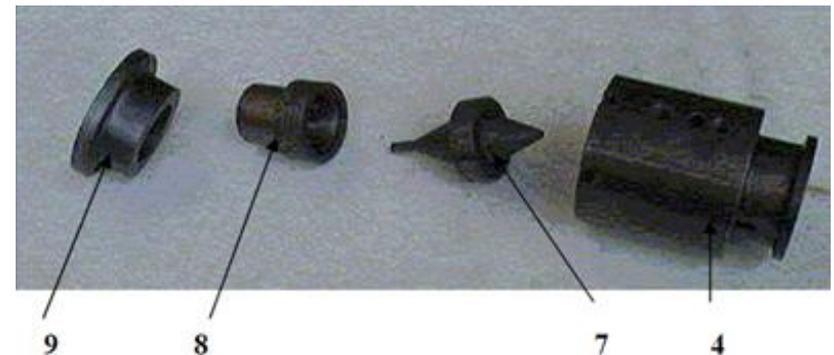
A. DESCRIPTION DE LA TETE D'EXTRUSION

1. Schéma :



2. Nomenclature :

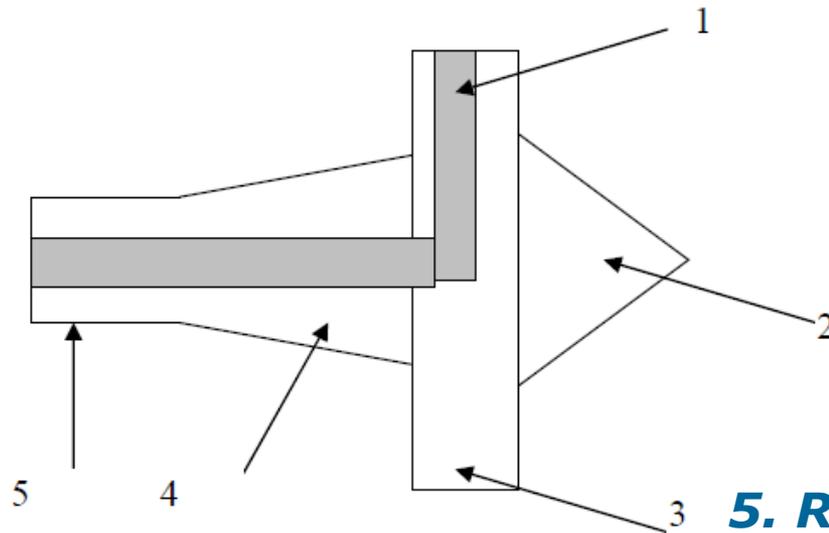
N°	Désignation
1	Système de fixation
2	Zone d'étanchéité
3	Logement de la grille
4	Corps
5	Vis à téton d'indexation
6	Plaque à ailette ou à trou
7	Poinçon
8	Filière
9	Porte filière
10	Vis de réglage
11	Trou de mise à la pression atmosphérique
12	Torpille



3. ETUDE DE LA TETE D'EXTRUSION

A. DESCRIPTION DE LA TETE D'EXTRUSION

3. Description du poinçon :



4. Nomenclature de la tête :



Poinçon

N°	Désignation
1	Trou de mise à la pression atmosphérique
2	Torpille
3	Plaque à ailette ou à trou
4	Poinçon
5	Land (partie linéaire du poinçon)

5. Rôle de la tête :

- La tête va répartir de façon homogène la matière tout autour de la torpille en prenant la forme poinçon/filière.
- L'entrefer sera réglable permettant une épaisseur régulière de l'extrudât.
- De l'air passe à l'intérieur de la torpille pour éviter que le tube ne s'écrase par aspiration.

3. ETUDE DE LA TETE D'EXTRUSION

B. LES SYSTEMES DE FIXATION

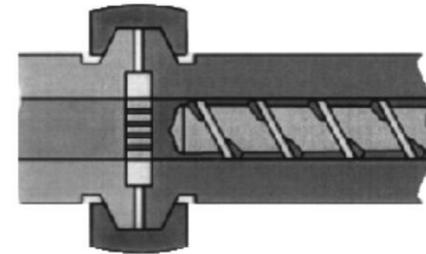
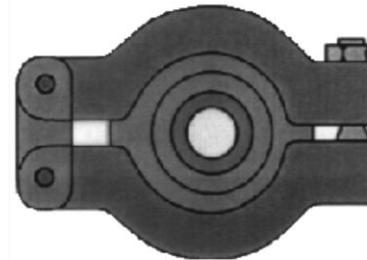
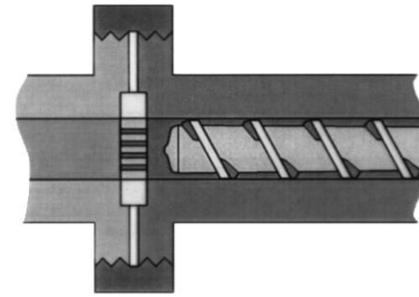
Ces systèmes permettent d'assurer la fixation de la tête sur l'extrudeuse.

1. Fixation par écrou :

Système plus employé, encrassement des filets par la matière plastique.

2. Fixation par collier de serrage :

Très pratique, utiliser sur les petites extrudeuses, le collier permet un serrage uniforme et régulier sur une pente par 1 ou 2 vis. Ce système permet d'assurer une bonne étanchéité avec possibilité d'adapter un collier chauffant autour. Par contre système coûteux car difficile à usiner.



3. ETUDE DE LA TETE D'EXTRUSION

B. LES SYSTEMES DE FIXATION

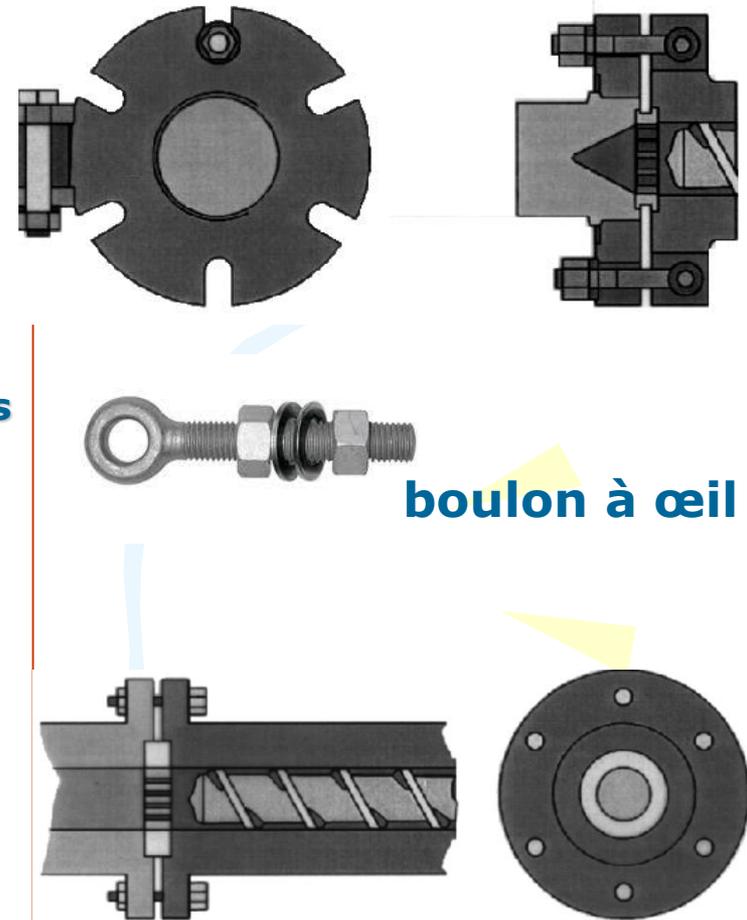
Ces systèmes permettent d'assurer la fixation de la tête sur l'extrudeuse.

3. Fixation par baïonnette :

La tête est vissée sur une bride solidarisée au fourreau de l'extrudeuse par des boulons à œil. Cette bride pivote autour d'un axe vertical après un desserrage des écrous. Permet de changer les grilles et tête rapidement.

4. Fixation par boulons et écrous :

Simple et peu coûteux, facile à réparer. Par contre difficile de serrer d'une façon régulière, serrage à la clé dynamométrique. Souvent utiliser sur les lignes d'extrusion où il y a peu de démontage.



4. EXTRUSION DES TUBES (filières)

- Ce sont des filières de géométrie axisymétrique, constituées d'un poinçon relié au carter par des ailettes réparties régulièrement sur la périphérie.
- Les flux de matière, séparés au passage des ailettes, se ressoudent ensuite en aval de celles-ci.
- Ce type de géométrie permet de couvrir une gamme très large de produits, depuis les tubes à usage médical de quelques millimètres de diamètre jusqu'aux tubes d'adduction d'eau pouvant atteindre 2 m de diamètre.

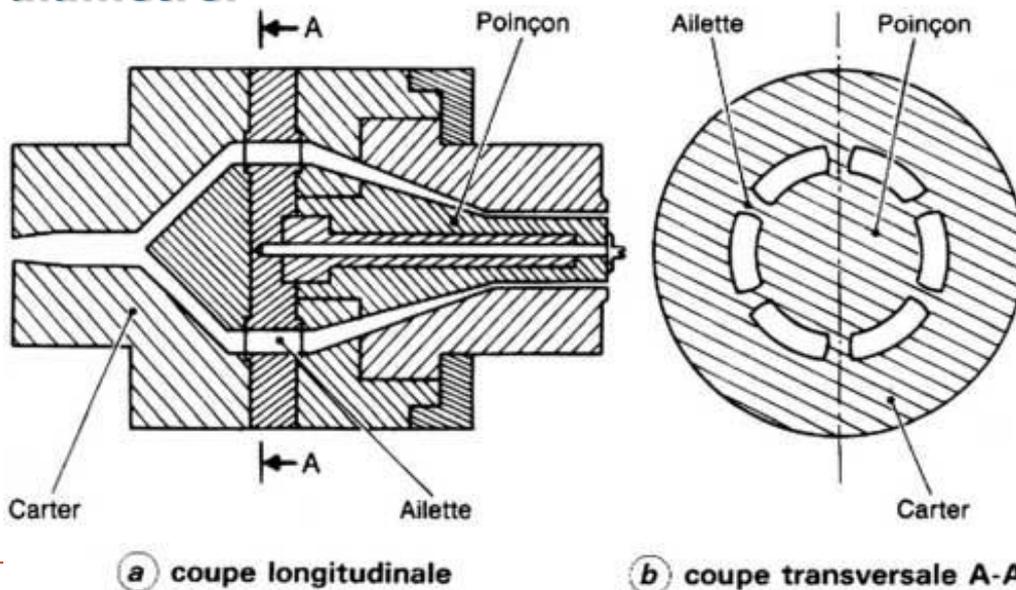


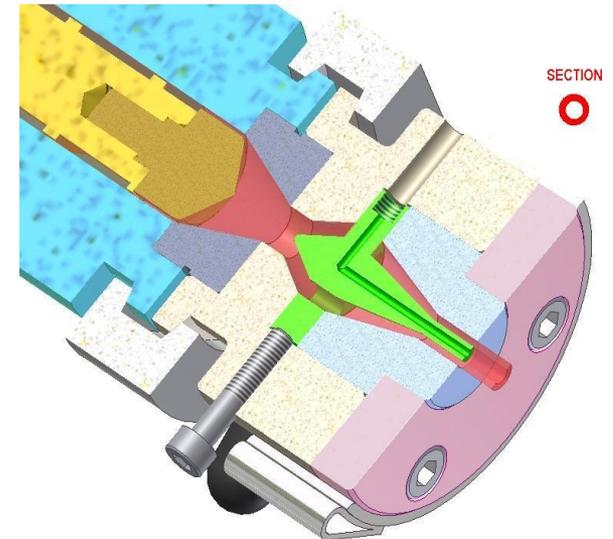
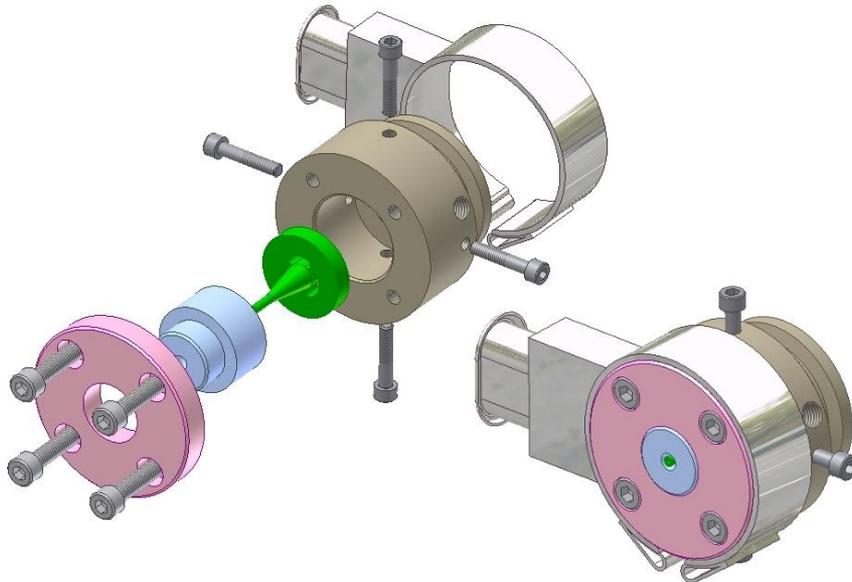
Figure - Filière de tubes.

4. EXTRUSION DES TUBES (filières)

Les filières tube (figure ci-dessous) sont conçues pour la fabrication de tubes mono et multicouches.

Caractéristiques :

- exécutées en acier traité de haute résistance et d'un traitement de surface de haute dureté assurant une protection contre la corrosion facilitant le nettoyage et assurant un parfait écoulement de la matière tout en évitant les accrochages
- poinçon et filière démontables pour changer de dimension
- réglage se faisant par 4 vis





Vidéos

EXTRUSI

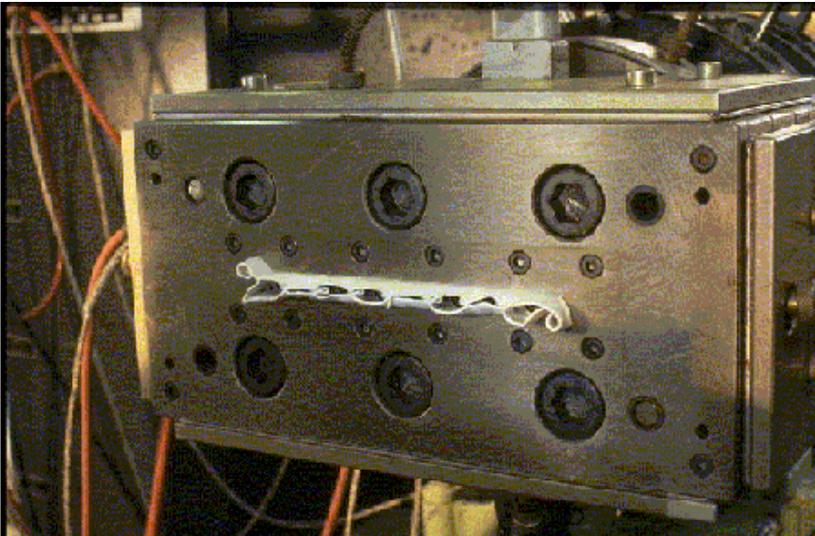


- 1. 2 Extrusion tube profilé**
(suite)
 - 2. 2 extrusion des tubes 4**
 - 3. 2 Extrusion Démarrage**
extrudeuse tube centre PL
-

5. EXTRUSION DES PROFILES

A. LA TETE D'EXTRUSION PROFILE

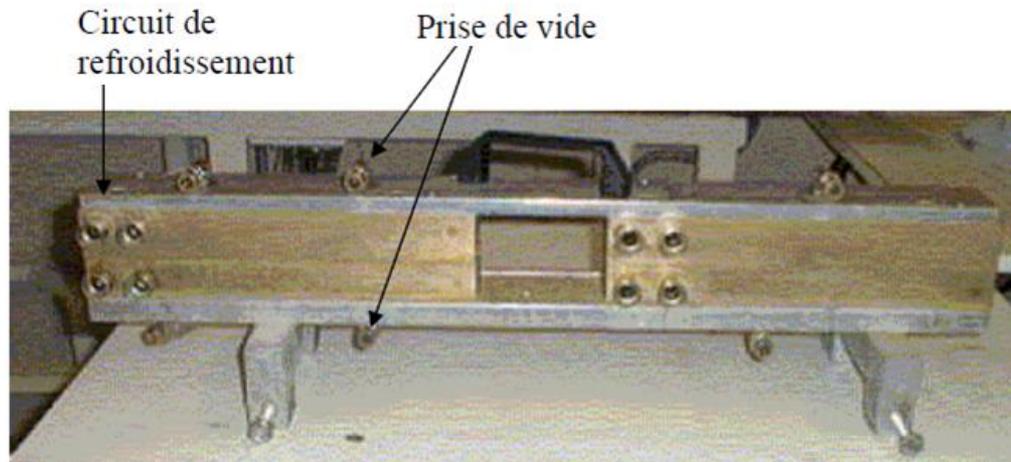
- Il s'agit de réaliser ici des pièces de forme généralement complexe, destinées par exemple à l'industrie automobile ou au bâtiment (huisserie).
- Du fait de la très grande variété de formes réalisées, il n'existe pas de géométrie type.
- En fait, une filière de profilés est souvent constituée d'une plaque de quelques centimètres d'épaisseur, dans laquelle est usinée la forme à réaliser.
- Par approximations successives, le *filiériste* va modifier cet usinage de façon à égaliser les vitesses d'écoulement entre les différentes zones du profilé.



5. EXTRUSION DES PROFILES

B. LE BANC DE CONFORMATION

- Le conformateur est un **bloc métallique** dans lequel est usiné la forme du profilé à conformer.
- Le conformateur est en deux parties, ce qui permet le démarrage de la ligne.
- Il comporte un circuit de refroidissement, ainsi que des saignées régulièrement réparties.
- Ces saignées sont reliées à une pompe à vide, ce qui oblige le profilé à se plaquer sur les parois du conformateur.
- Les conformateurs sont en aluminium ou en cuivre béryllium (bonne résistance au frottement).



5. EXTRUSION DES PROFILES

C. SUITE DE LIGNE

Une ligne d'extrusion profilé est identique à une ligne d'extrusion tube hormis le conformateur et le tireur à chenille qui peut avoir des patins adaptables au produit fabriqué.



Vidéos

EXTRUSION :



1. 2 Extrusion tube profilé (suite)
 2. 2 Extrusion des profilés 2
 3. 2 Extrusion Démarrage extrudeuse profilé centre PL
 4. 2 Extrusion EXTRUDEUSE à filière plate SIS
 5. 2 Extrusion des filmes PP sheets et filière plate
-

Recherche bibliographique 2 (6 pages max):

- Schéma de principe d'une extrudeuse (2 pages)
- Filière tube ;
- filière profilé ;
- filière film ;
- filière gainage (câble).



TEST N°3

1. CITER LES PRINCIPALES PARTIES D'UNE LIGNE D'EXTRUSION;
 2. Citer les 4 systèmes utilisés de **fixation** de la **tête** sur l'**extrudeuse**.
 3. On distingue **trois zones** phénoménologiques de la vis d'extrusion, lesquelles?
- 



fin