

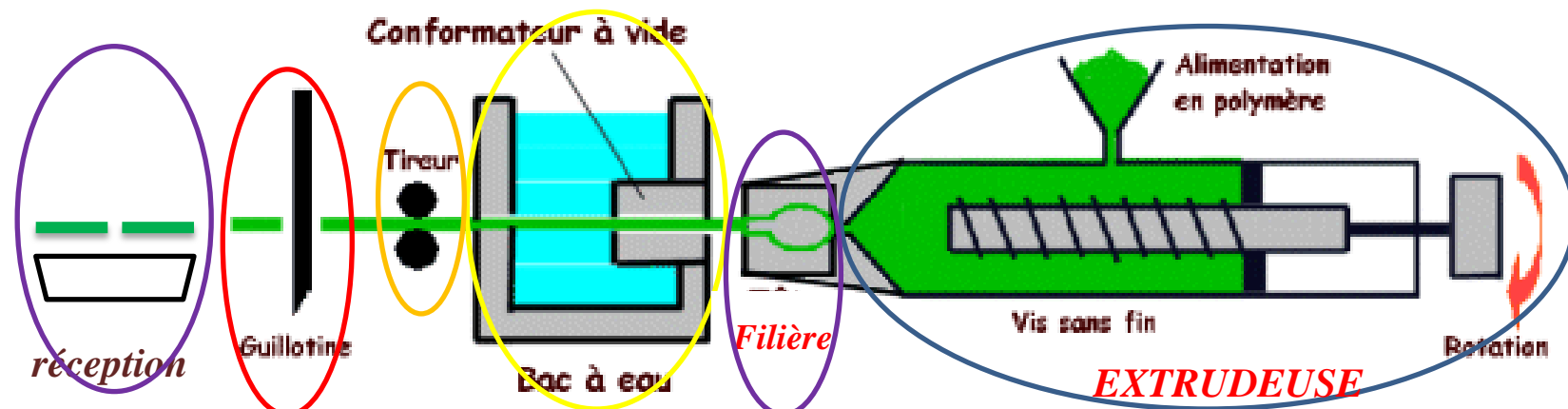
Chapitre 2

Les Extrudeuses

1. ETUDE DE L'EXTRUDEUSE
2. ETUDE DE LA SUITE DE LIGNE
- ~~3. EXTRUDEUSE BIVIS (S2)~~

- 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>

- ✓ **La matière** plastifiée par
 - chauffage
 - et frottement sur la vis passe au travers d'une filière plus ou moins complexe.
- ✓ L'extrusion s'effectue en continue tant que la trémie est alimentée.
- ✓ Le *schéma de principe* d'une ligne d'extrusion monovis est présenté figure suivante.



Vidéos

EXTRUSION :



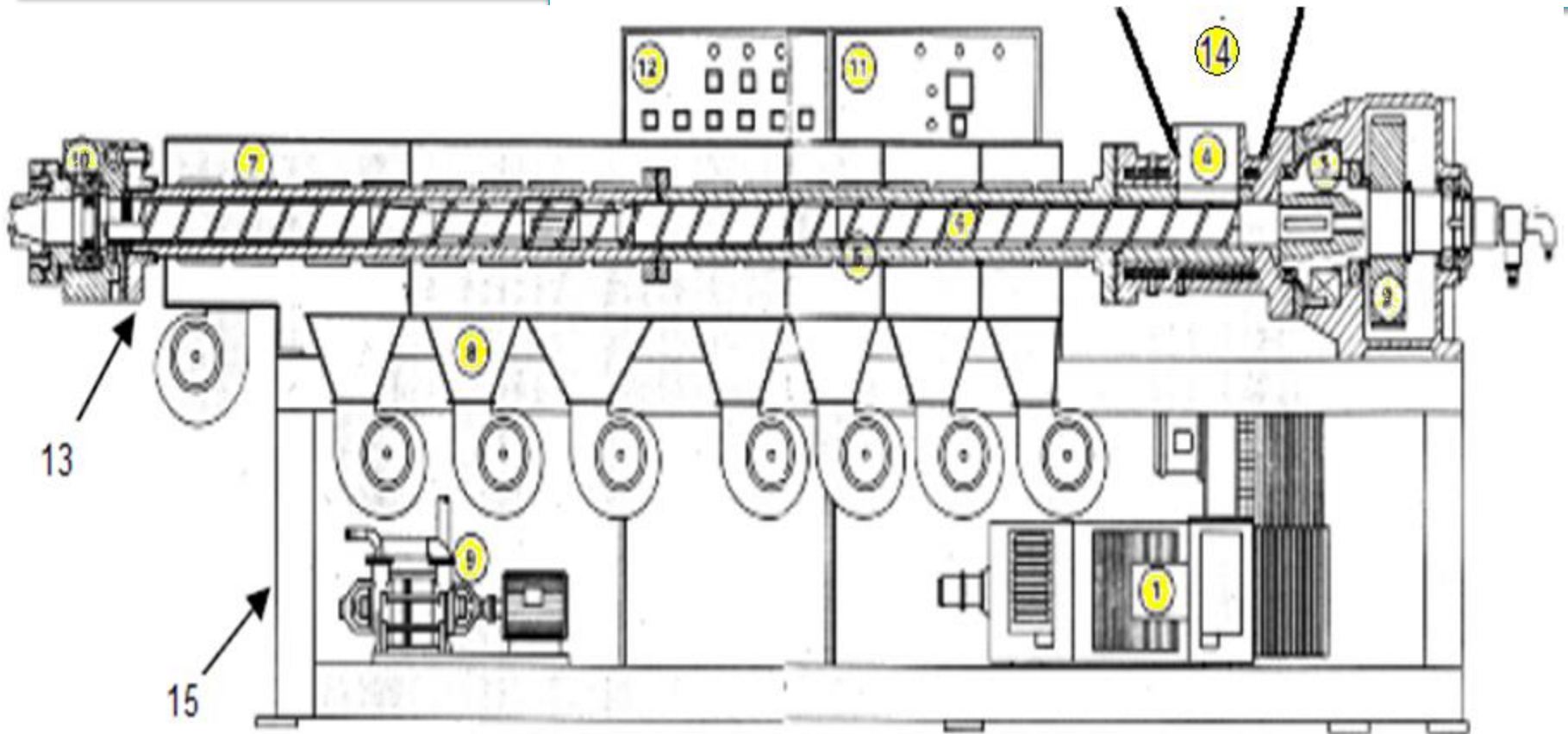
1. 2 Extrusion tube profilé (suite)
 2. 2 extrusion des tubes 4
 3. 2 Extrusion Démarrage extrudeuse
tube centre PL
-

Une **extrudeuse monovis**, celle la plus couramment employée, **se compose** des éléments suivants :

- Une **vis d'Archimède** tournant dans un fourreau ;
- Un **dispositif de chauffage et de régulation** autour de fourreau ;
- Un ensemble **motoréducteur** pour entrainer la vis ;
- Une **trémie** qui alimente la machine en matière première ;
- Une **culasse** (ou pied de trémie), partie de fourreau située sous la trémie ;
- Des **colliers chauffants** autour de fourreau, reliés à des régulateurs pour assurer le maintien aux températures désirées.
- Une **grille et Des filtres** en bout de vis ;
- Une **tête d'extrusion** (filière) pour donner la forme à la matière.

1. ETUDE DE L'EXTRUDEUSE

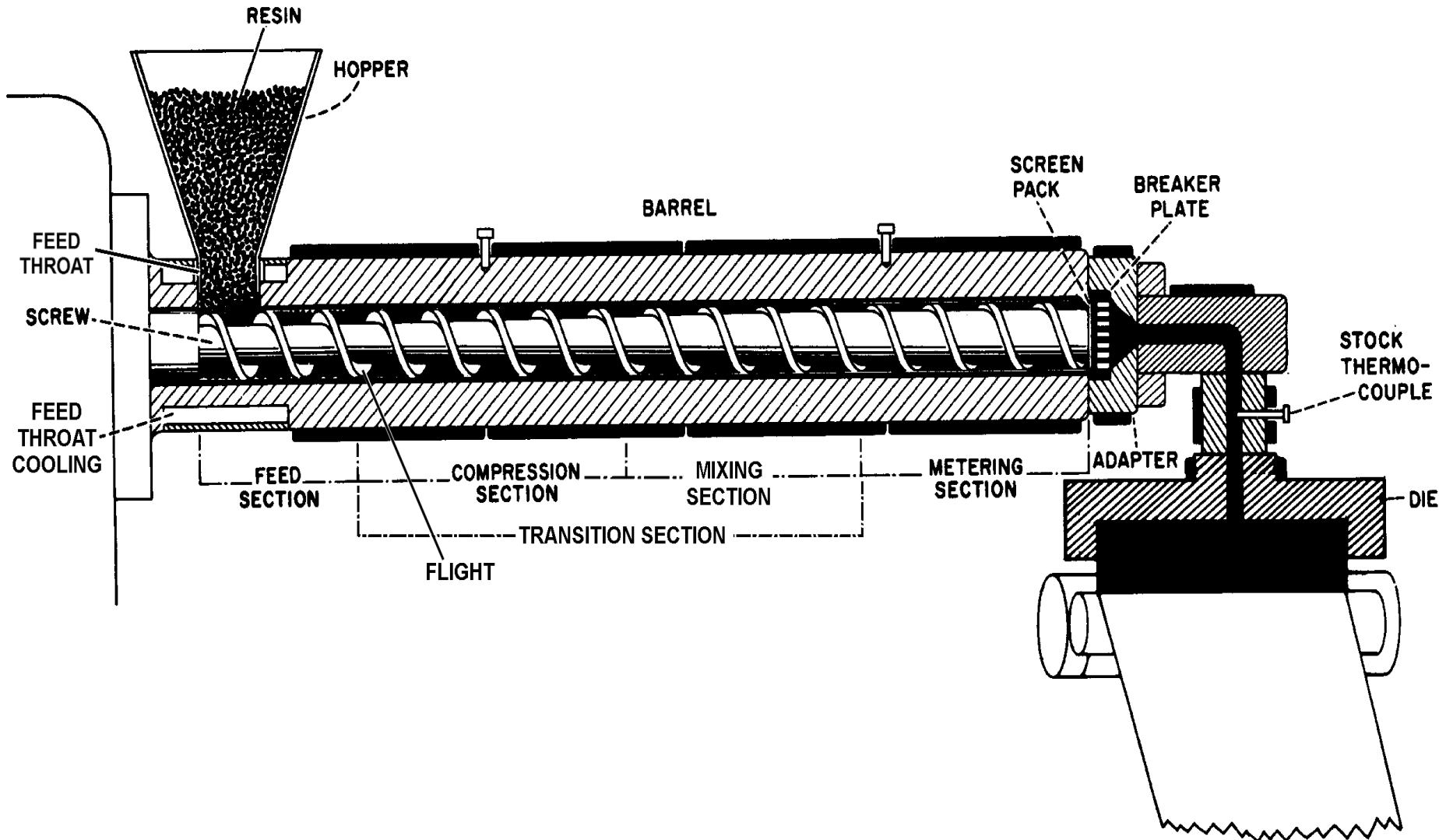
B. DESCRIPTION DE L'EXTRUDEUSE



Numéro et Désignation
1 Moteur électrique
2 Réducteur
3 Butée
4 Goulotte ou culasse
5 Fourreau ou cylindre
6 Vis d'extrusion
7 Collier chauffant + coque
8 Ventilateur
9 Pompe à vide
10 Tête d'extrusion
11 Commande moteur
12 Commande chauffe
13 Système de fixation filière
14 Trémie
15 Bâti

1. ETUDE DE L'EXTRUDEUSE

B. DESCRIPTION DE L'EXTRUDEUSE



Les **matériaux mélangés** et plastifiés au cours de leur transfert à l'intérieur du fourreau peuvent être chauffés, refroidis (parfois) et dégazés ; ils peuvent passer à travers un filtre avant d'être extrudés à l'aide d'une filière ou d'une filière et d'un poinçon.

Les caractéristiques des extrudeuses (figure 3) varient en fonction de la nature et des débits de matière à transformer.

Exemple : caractéristiques d'une machine utilisée pour la transformation des matières plastiques et des élastomères.

- **Diamètre** de la vis : 120 mm.
- **Longueur** de la vis : 24 fois le diamètre.
- **Vitesse** de rotation de la vis : de 1 à 80 tr/min.
- Moteur d'entraînement, à courant continu, de puissance 120 kW.
- **Pression** en amont du filtre : de 150 à 300 bar.
- **Température** au niveau de la **tête d'extrusion** :
 - pour le poly(chlorure de vinyle) : 170 °C ;
 - pour le polyéthylène : 220 °C ;
 - pour les élastomères : 80 °C.

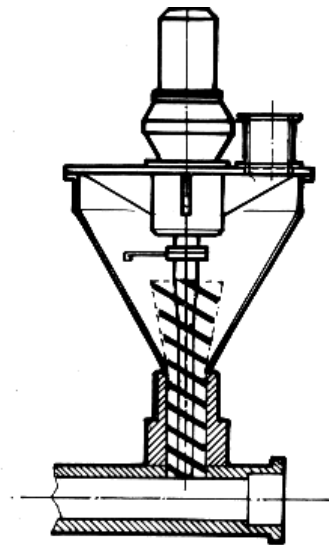
1. La trémie :

En règle générale, on porte une attention particulière à la hauteur matière dans une trémie **qui influence la régularité** du processus de transformation.

a) Les éléments à l'intérieur d'une trémie :

(1) Un gaveur :

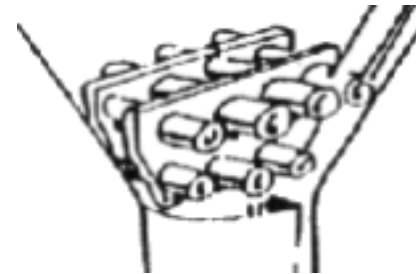
C'est appareil qui comprend une vis, généralement verticale, de géométrie particulière, qui va **pré-compacter la matière et la forcer** à alimenter la vis d'extrusion.



a) Les éléments à l'intérieur d'une trémie :

(2) *La grille magnétique :*

Elle permet de **retenir toute particule** à base de fer pour éviter qu'elle n'endommage l'ensemble vis/ fourreau. Toute autre particule non magnétique passe (crayon, etc.).

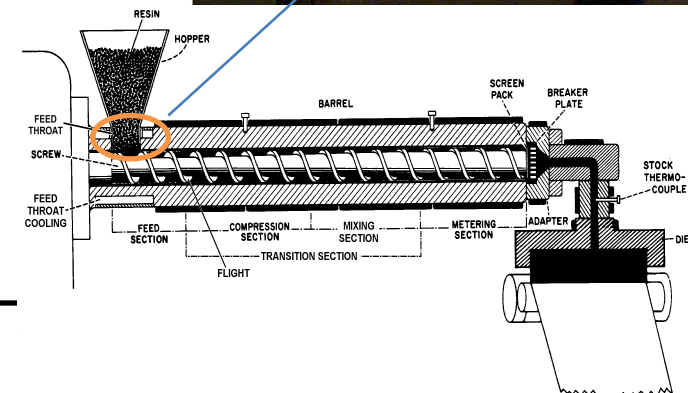
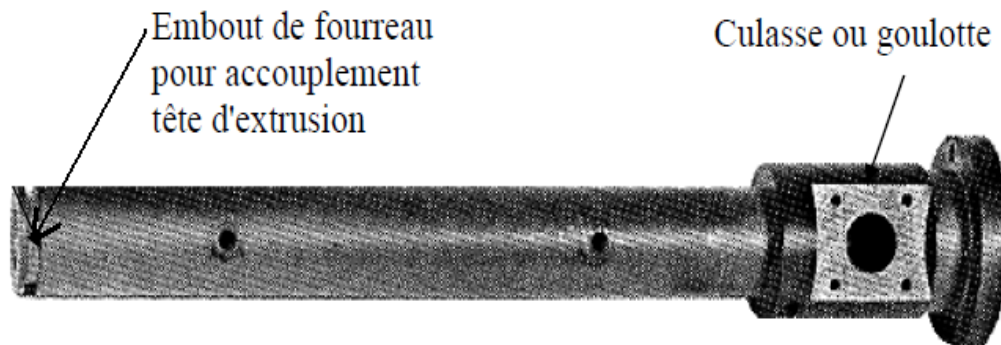
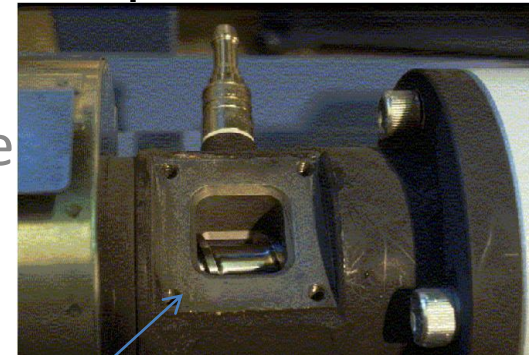


2. Le fourreau ou cylindre de plastification :

C'est un **cylindre creux** dans lequel la ou les vis tournent. La partie arrière possède un orifice pour le passage de la matière venant de la trémie.

Cette partie est **régulée en température** par un circuit d'eau qui évite la conductivité thermique, elle s'appelle la **goulotte ou la culasse**.

La partie avant est usinée pour recevoir la tête d'extrusion et son système d'accouplement.



2. Le fourreau ou cylindre de plastification :

Régulation thermique des fourreaux

Deux types principaux de régulation sont utilisés sur les extrudeuses.

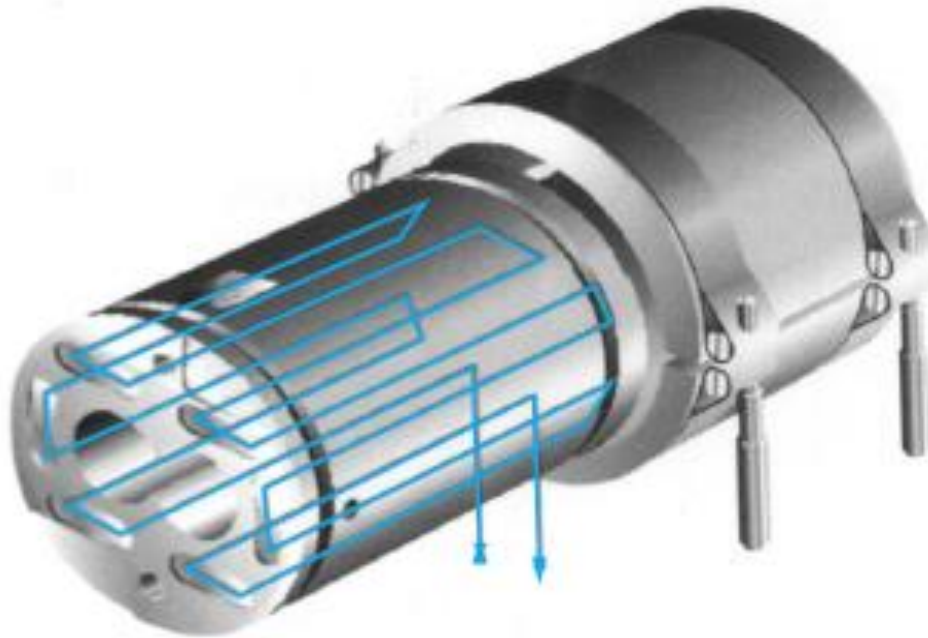
- la chauffe par **des bandes résistives** chauffantes et le refroidissement **par air pulsé** circulant sur des ailettes en matériau conducteur.
- une régulation **thermique par fluide** (eau ou huile selon les puissances de chauffe ou de refroidissement demandées).

Ces fluides viennent directement en contact avec le fourreau ou passent dans des conduites en cuivre elles-mêmes placées à l'intérieur de gorges situées sur le cylindre

2. Le fourreau ou cylindre de plastification :

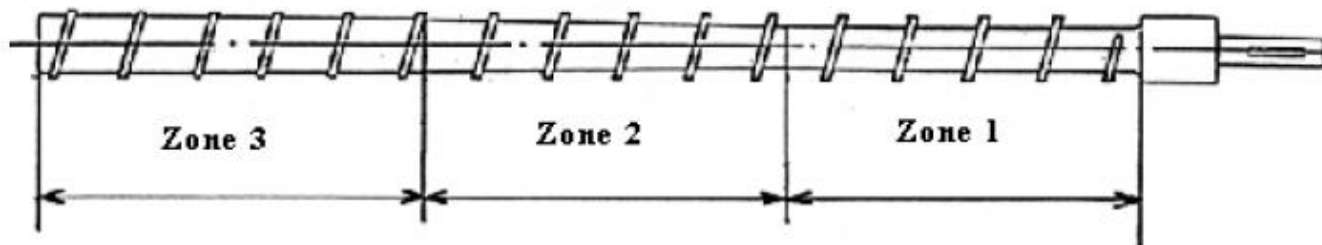
Régulation thermique des fourreaux

- chauffage par collier***
- et refroidissement par circulation de fluide***



3. La vis :

Elle **plastifie** la matière plastique tout en **la convoyant** vers la filière. En générale une vis de transformation des matières TP possède 3 zones bien distinctes.



a) Zone Z 1 :

Zone d'alimentation,

b) zone Z 2 :

Zone de compression

c) Zone Z 3 :

Zone d'homogénéisation ou de pompage



3. La vis :

d) Caractéristiques de la vis :

- (1) Le diamètre extérieur.
- (2) La longueur exprimée en nombre de diamètre extérieur.
- (3) Sa forme ou profil.
- (4) Son taux de compression.
- (5) Son pas (c'est souvent le diamètre de la vis).



3. La vis :

e) Le taux de compression :

C'est le rapport de volume engendré entre 2 filets de la vis, côté trémie et côté outillage.

$$Tc = \text{Vol matière 1}^{\text{er}} \text{ filet zone Z 1} / \text{Vol matière dernier filet zone Z3}$$

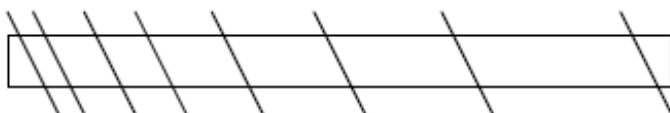
Les façons d'obtenir une compression de la matière :

(1) Noyau conique pas constant :



Vis TP

(2) Noyau cylindrique pas décroissant :



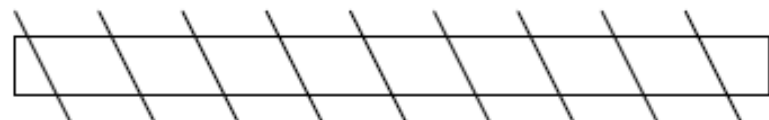
Vis TP

(3) Noyau conique pas décroissant :



Vis TP

(4) Noyau cylindrique pas constant :



Vis TD

Taux de compression T_c

a) Méthode de calcul approximative:

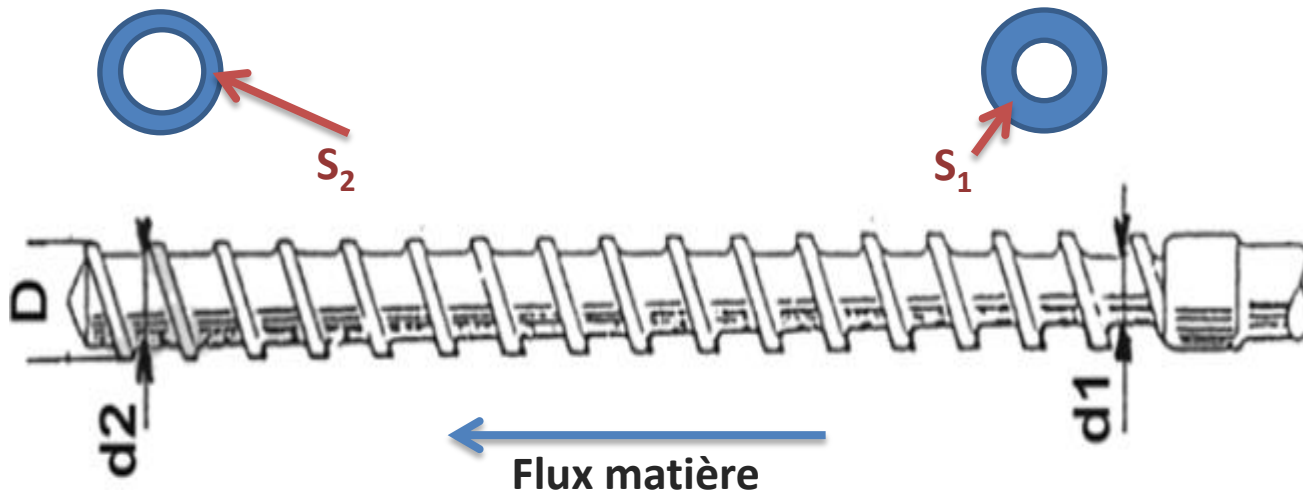
le taux de compression est égal au rapport:

$$T_c = H_a / H_p$$

b) Méthode de calcul plus précise :

par projection de la section du creux de filet sur un plan normal à l'axe de la vis: $T_c = S_1 / S_2 =$

$$S_1 = \frac{\pi \times D^2}{4} - \frac{\pi \times d_1^2}{4} \quad S_2 = \frac{\pi \times D^2}{4} - \frac{\pi \times d_2^2}{4} \quad T_c = \frac{S_1}{S_2} =$$

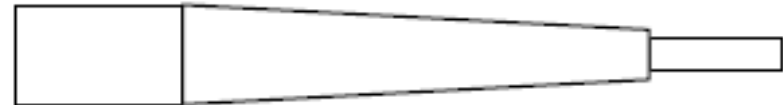


3. La vis :

f) Les profils de vis :

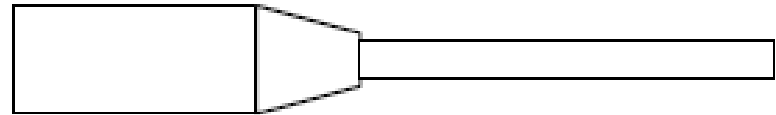
(1) **Amorphe** :

(PC, PS, PMMA, ABS)



(2) **Semi cristallin** :

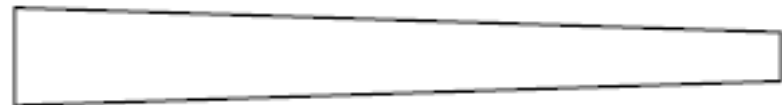
(PP, PE, PA, POM, PBT)



(3) **Standard** :



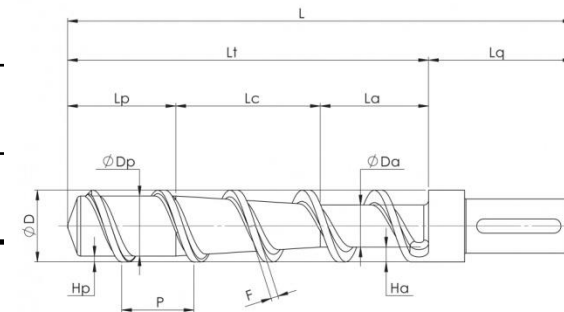
(4) Vis **PVC** :



3. La vis :

g) Tableau usuel des taux de compression :

Matière	Tc
PS-ABS	2,5 À 3
PVC rigide	2,5
PVC souple	2,2 À 3,5
PE hd bd	3 À 3,5
PA	3 À 4
PP	3,5 À 4
PC	2,5 À 2,8



3. La vis :

Etude de la Résistance mécanique de la vis (torsion)

1. Calculer le moment de torsion M_t ;
2. Calculer la contrainte de cisaillement τ ;
3. Vérifier la résistance de la vis (coefficient de sécurité =1,5).

Exemple : un acier allié au chrome et au molybdène est utilisé couramment pour la fabrication des vis. La limite élastique est de 800 N/mm^2 pour les petites dimensions ($< 100 \text{ mm}$) et de 700 N/mm^2 pour les dimensions supérieures. Il faut aussi tenir compte de la température de fonctionnement, qui a pour effet de diminuer la valeur de cette limite élastique.

Pour une vis 80-24D, on a les valeurs suivantes, en début de vis (là où le diamètre de la vis est le plus faible) :

- profondeur de filet = $8 \text{ mm} \Rightarrow d = 80 - (2 \times 8) = 64 \text{ mm}$;
- diamètre du perçage $d_p = 31 \text{ mm}$;
- le moteur possède une puissance maximale P_{\max} de 79 kW pour une vitesse de rotation de la vis N_{\max} de 120 tr/min .

3. La vis :

h) Résistance mécanique de la vis à la torsion

1. Calculer le moment de torsion M_t (M_{max})

$$P = M_t \omega$$

(W) (N.m) (rad/s)

$$M_{max} = \frac{79\,000}{\frac{2\pi}{60} \cdot 120} \cong 6\,287 \text{ N} \cdot \text{m}$$

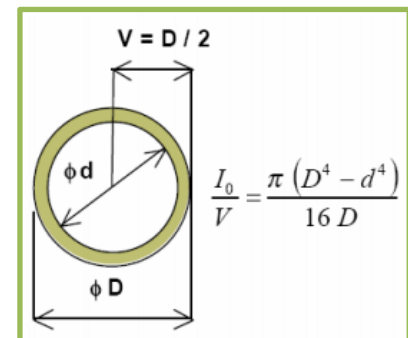
2. Calculer la contrainte de cisaillement τ_t

On obtient donc une contrainte maximale de cisaillement de :

$$\tau_t = \frac{6\,287 \times 10^3 \times 16 \times 64}{\pi (64^4 - 31^4)} = 129 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

3. La contrainte maximal admissible est : $(700/1.5) = 455 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$,
ce qui laisse donc une marge de sécurité appréciable ($129 < 455$).

$$\tau_0 = \frac{M_T}{\left(\frac{I_0}{V}\right)}$$



3. La vis :

j) Eléments de mélange

À la sortie de l'extrudeuse, le **matériau devrait être homogène**.

L'écoulement le long du chenal de l'extrudeuse, en raison des trajectoires hélicoïdales, est peu efficace pour effectuer une opération de mélange.

Pour pallier ce défaut, on utilise donc des éléments particuliers, appelés **éléments de mélange**, qui sont placés dans la zone de pompage ou en tête de vis. Un nombre important d'embouts mélangeurs a été développé au cours des années.

3. La vis :

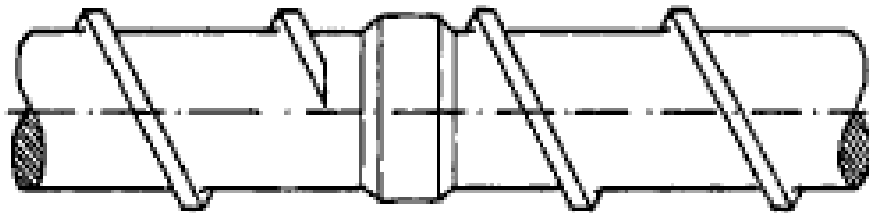
j) Eléments de mélange

Le **critère principal** de sélection de ces embouts est la **qualité de mélange** obtenue, mais *d'autres critères* doivent aussi être pris en compte :

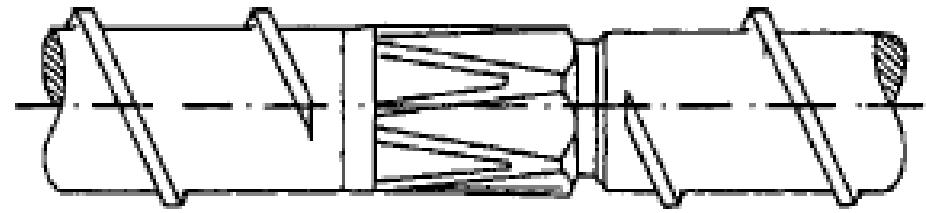
- l'embout doit présenter une **perte de charge minimale**
- Les points de **stagnation** doivent être bannis afin d'éviter les zones mortes donnant des dégradations de la matière.
- Enfin, l'embout doit être **facilement démonté** par les opérateurs pour assurer le nettoyage.

Exemples d'éléments de mélange dispersif

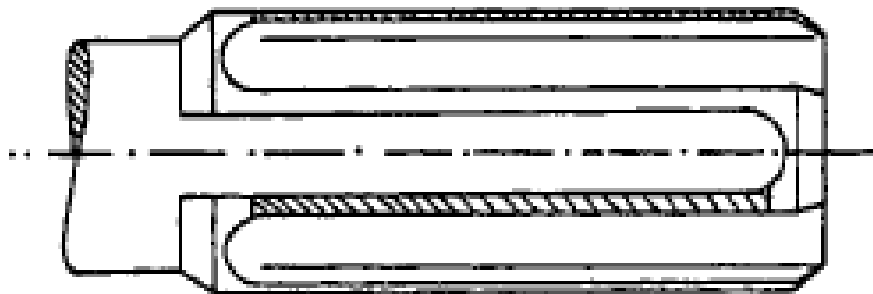
La figure 15 donne quelques exemples de ce type d'éléments, souvent plus consommateurs de pression que les mélangeurs distributifs.



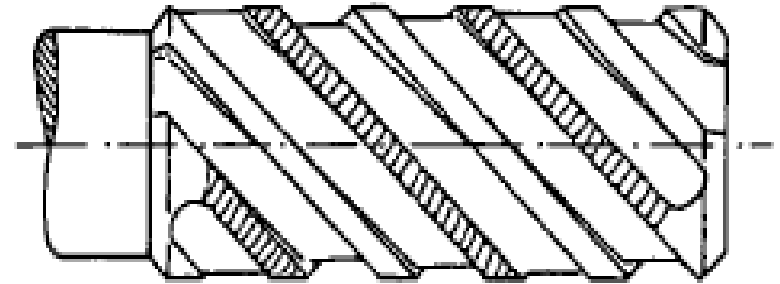
(a) embout à anneau de cisaillement



(c) embout Dray



(b) embout Maddock



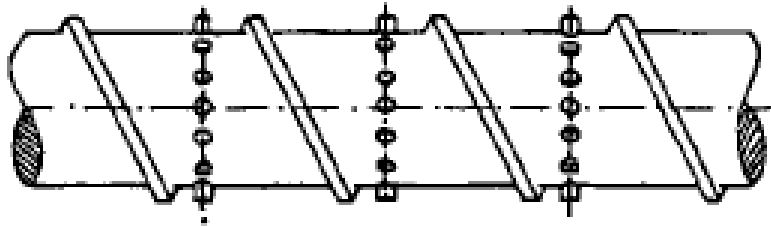
(d) embout Egan

Exemples d'éléments de mélange distributif

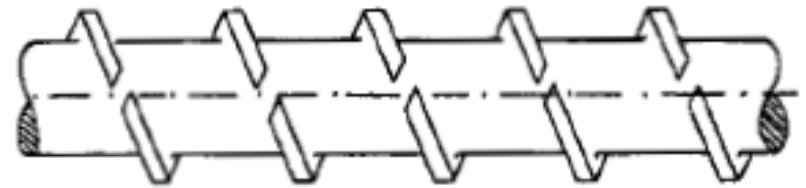
- ❑ Le mélange distributif est favorisé **par des séparations et recombinaisons des flux** de matière.
- ❑ Pour des opérations de ce type, on utilise des éléments de mélange, qui sont qualifiés **de statique** ou **de dynamique**, selon qu'ils sont entraînés ou non par le mouvement de rotation de la vis.



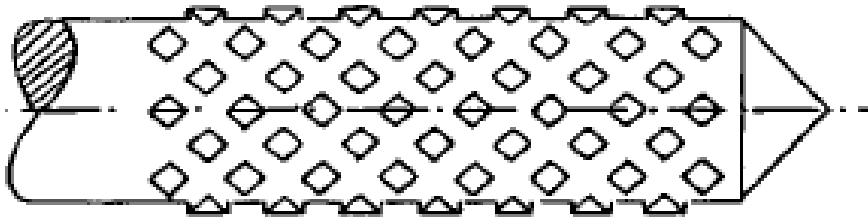
Exemples d'éléments de mélange distributif (dynamique)



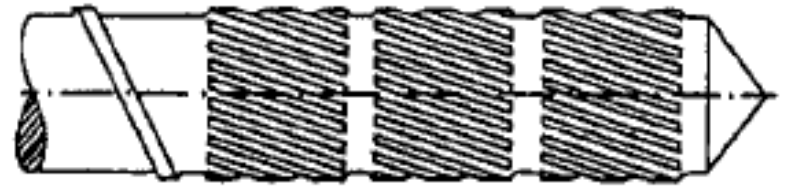
(a) embout à picots de fragmentation



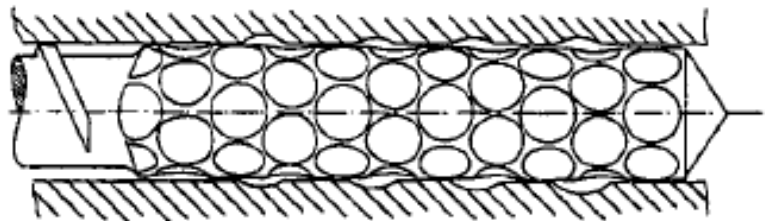
(d) embout à filets interrompus



(b) embout ananas



(e) embout Dulmage



(c) embout Rapra



(f) embou



Le mélange distributif et le mélange dispersif

Dans un mélange parfaitement homogène (ce que l'on cherche à obtenir), la concentration du composant minoritaire est la **même dans tout le mélange**

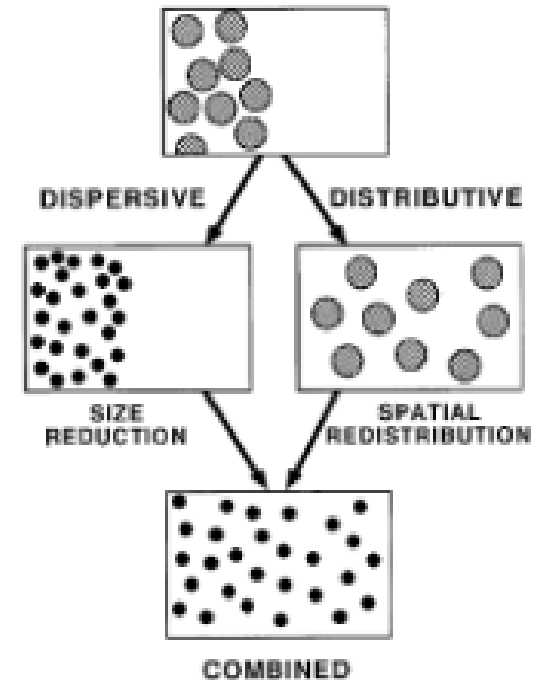


Figure 1.2 :Schéma représentant le mélange distributif et dispersif (Todd, 2004, p989)

- **Le mélange distributif** permet de **répartir uniformément** les composants, dans tout l'espace.
- En ce qui concerne **le mélange dispersif**, il permet de **réduire la taille** des composants cohésifs en cassant les agglomérats. Il a donc une action plus localisée. Le mélange dispersif résulte des contraintes mécaniques appliquées sur la matière.



Vidéos

EXTRUSION :

1. 2 Extrusion tube profilé (rappel)
 2. 2 extrusion élément de mélange statique
 3. 2 Extrusion Remplacement du filtre sur extrudeuse granuleuse
-

4. Le réducteur :

Il est constitué d'un ensemble de pignons, de poulies et de courroies disposés dans le bâti. Cet ensemble assure la liaison et la transmission du mouvement de rotation depuis le moteur jusqu'à la vis. **Le rapport de transmission est de l'ordre de 15/1 à 30/1.**

5. Le moteur :

Il existe différents types de motorisation de l'entraînement de la vis :

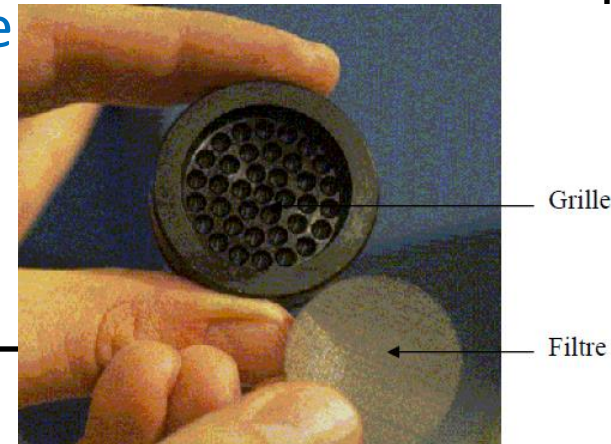
- a) Moteur hydraulique**
- b) Moteur électrique à courant alternatif à vitesse non variable**
- c) Moteur électrique à courant continu avec variateur de vitesse**
- d) Moteur électrique à courant alternatif avec variateur de fréquence**

6. Les grilles :

Elle se compose d'une ou deux plaques percées de trous de diamètre de 0,8 à 5 mm (suivant le diamètre de la vis, du débit et du type de matière). La forme, le nombre, le diamètre et la longueur des trous sont très important. Cela va conditionner certain réglage machine.

d) Rôle des grilles :

- (1) Filtrer les impuretés et les infondus ;**
- (2) Faire monter en pression la matière en bout de vis (améliorer le malaxage et l'homogénéisation de la matière) ;**
- (3) Casser le mouvement hélicoïdal de la matière**
- (4) Élément d'étanchéité et de centrage entre la tête d'extrusion et le bout du fourreau**

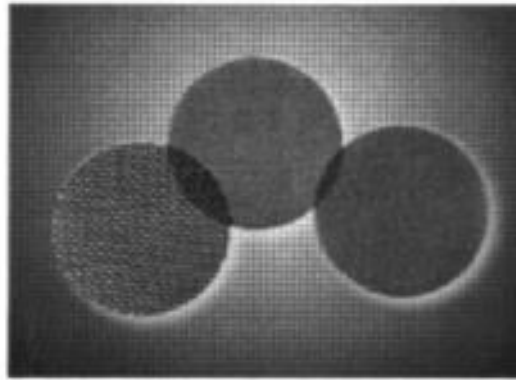


7. Les filtres :

Les filtres sont constitués d'un fil métallique très résistant, tissé plus ou moins serré : on appelle le maillage.



(a) plaque à trous

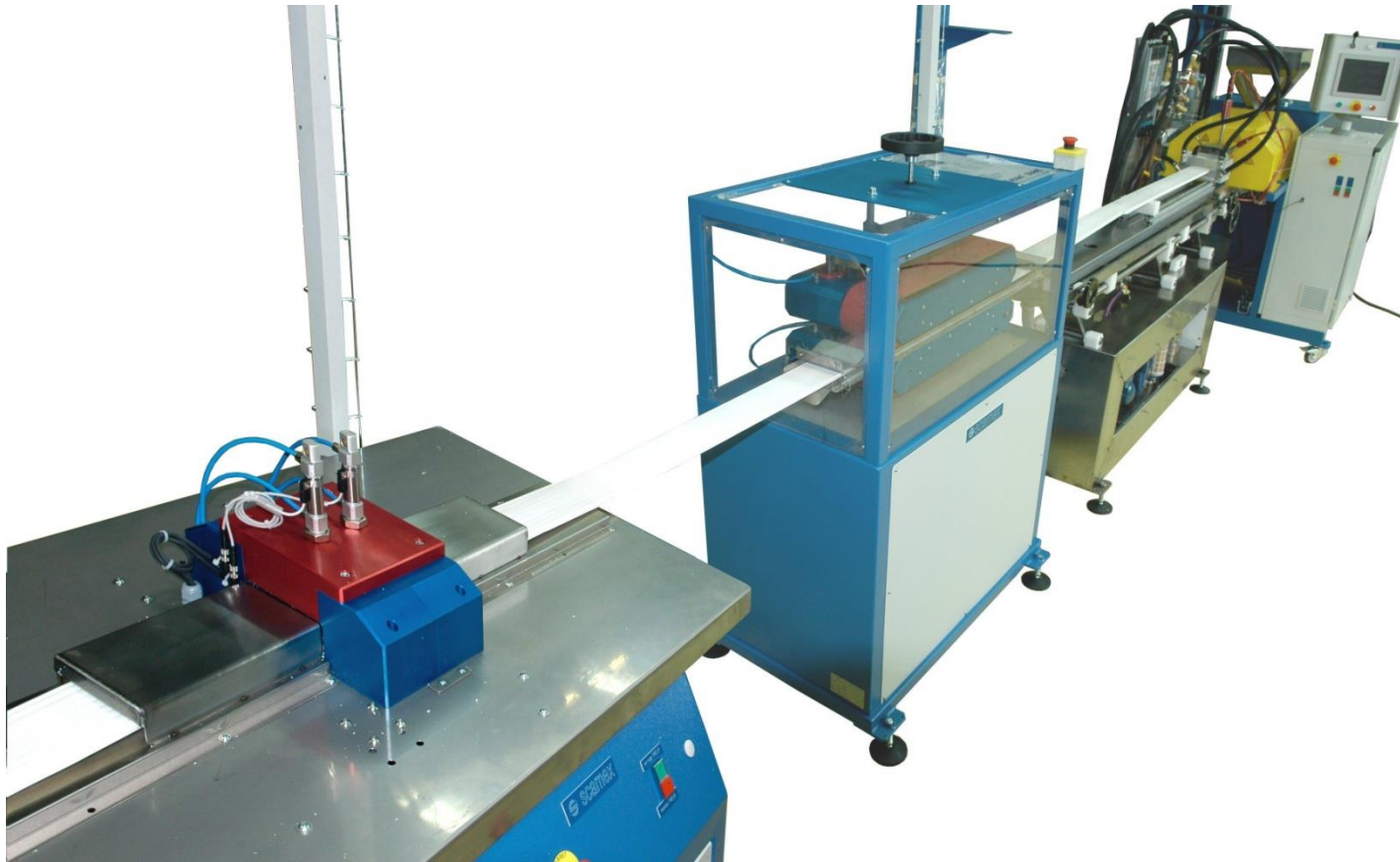


(b) différents tamis



**Changeur de filtre
manuel pour
extrudeuse**

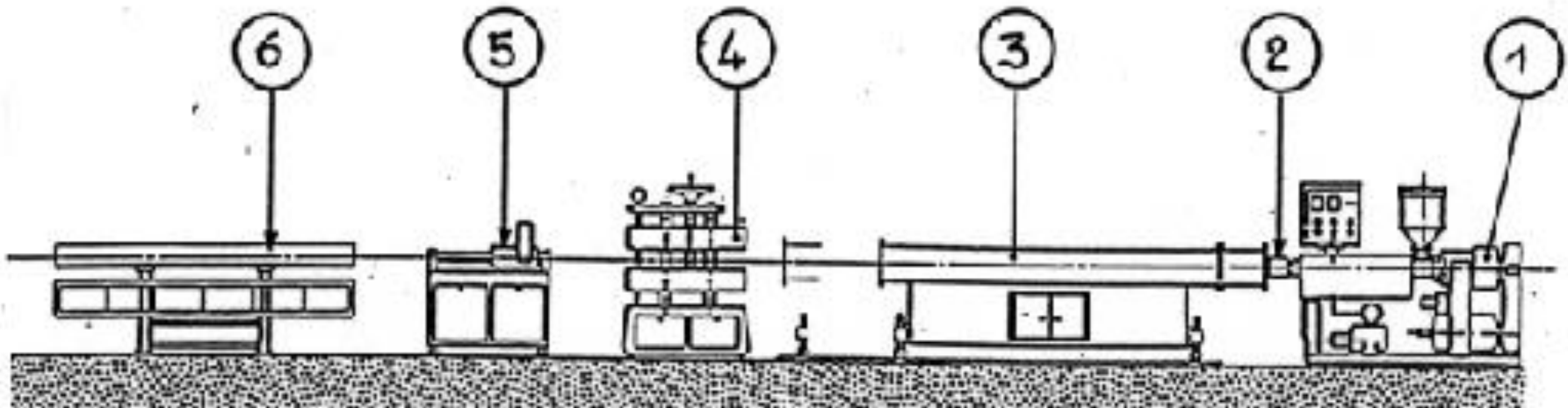
2. ETUDE DE LA SUITE DE LIGNE



2. ETUDE DE LA SUITE DE LIGNE

A. LIGNE D'EXTRUSION TYPE

ETUDE DE LA SUITE DE LIGNE A. LIGNE D'EXTRUSION TYPE.



N°	ORGANES	FONCTIONS
1	Extrudeuse	Plastification
2	Tête d'extrusion	Mise en forme
3	Bac de conformation	Refroidissement + côtes
4	Tireur	Tirage (vitesse)
5	Scie circulaire	Débit (longueur)
6	Banc de réception	Conditionnement

La tête d'extrusion donne la forme générale du produit, la conformation a pour but de **figer la matière à la forme définitive**.

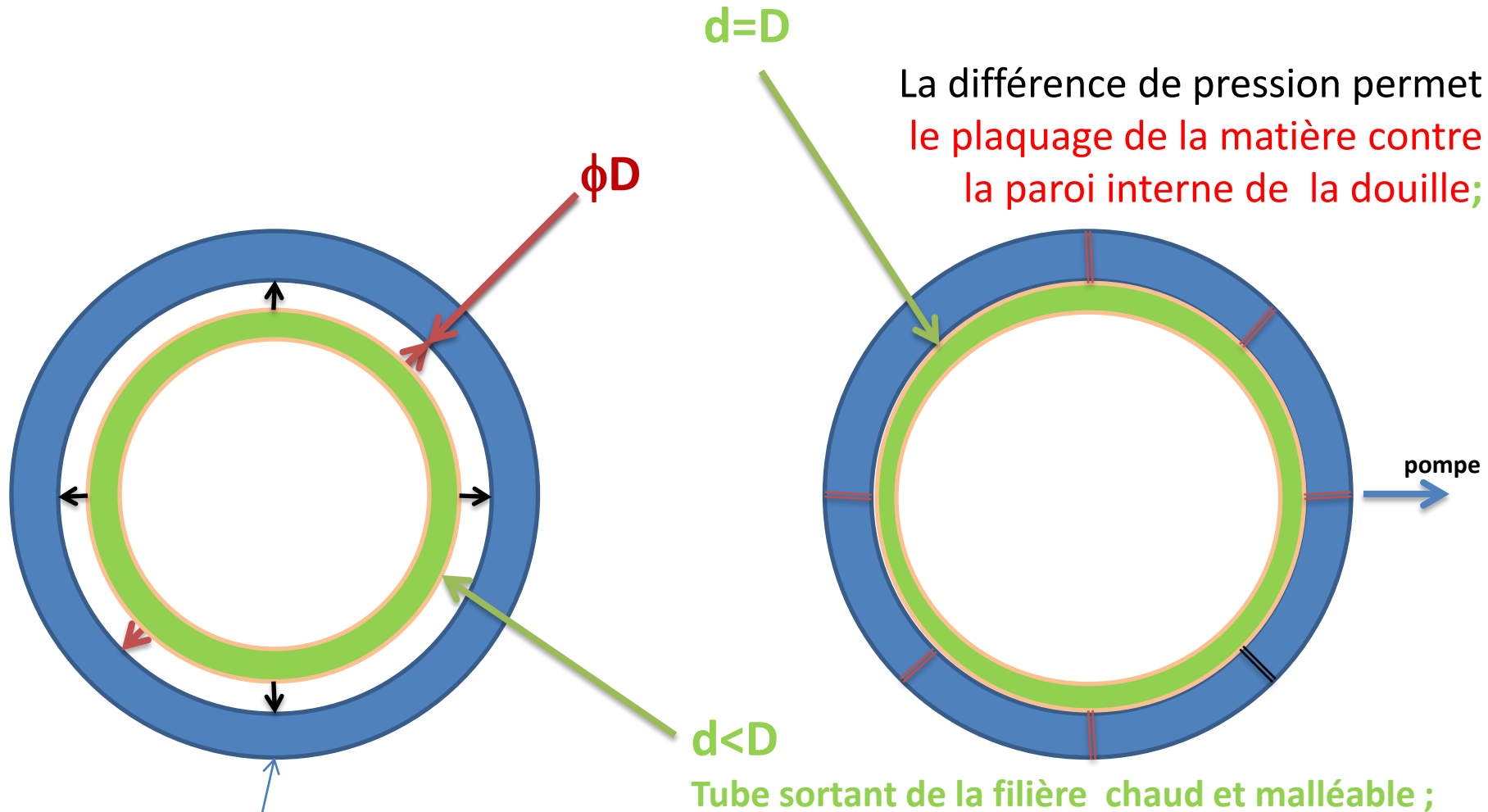
1. La conformation par le vide :

a) Conformation avec une douille de calibrage :

- ❖ La **tête d'extrusion** va répartir de façon régulière et homogène la matière autour de la torpille, en prenant progressivement la forme poinçon/filière.
- ❖ La **conformation** devient possible quand il existe une différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur du tube.
- ❖ A l'intérieur du tube, il y a pression atmosphérique (rendu possible par le passage de l'air à l'intérieur du poinçon); **à l'extérieur du tube, on réalise le vide**, alors que la matière est chaude et malléable. La différence de pression permet **le plaquage de la matière contre la paroi interne de la douille** d'une manière précise (côtes extérieures du tube)

2. ETUDE DE LA SUITE DE LIGNE

B. LA CONFORMATION





Vidéos

EXTRUSION :

1. [2 Extrusion Conformateur](#)
 2. [2 Extrusion Démarrage extrudeuse profilé centre
PL](#)
 3. [2 Extrusion Démarrage extrudeuse tube centre PL](#)
-

1. La conformation par le vide :

b) Calibreur à disques :

Le **diamètre des disques va décroître** légèrement pour compenser le retrait de la matière.

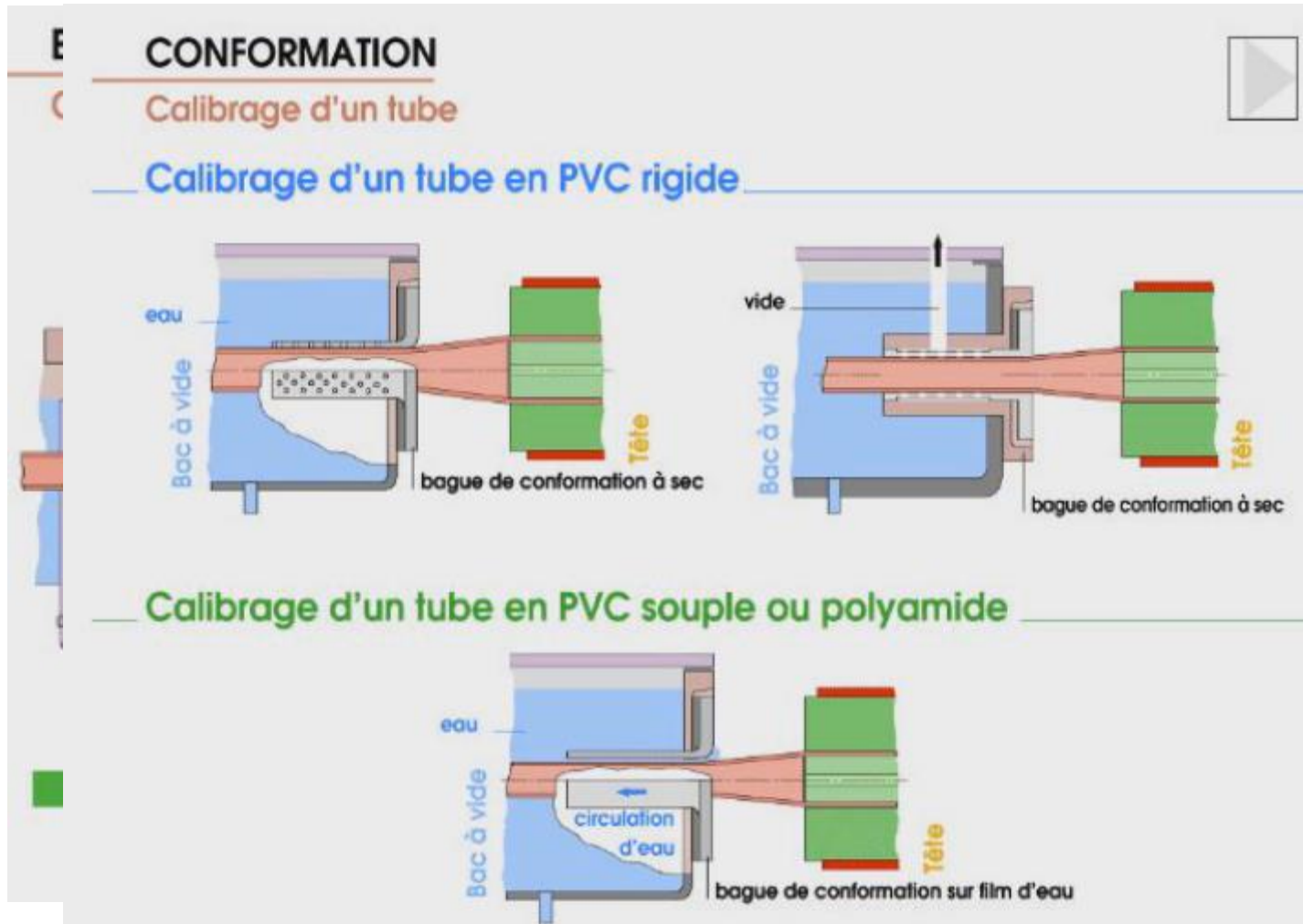
Ce type de conformation est très précise, utilisée pour les grandes vitesses de production. Par contre, **ne convient pas pour les matières souples ou polymères plastifiés.**



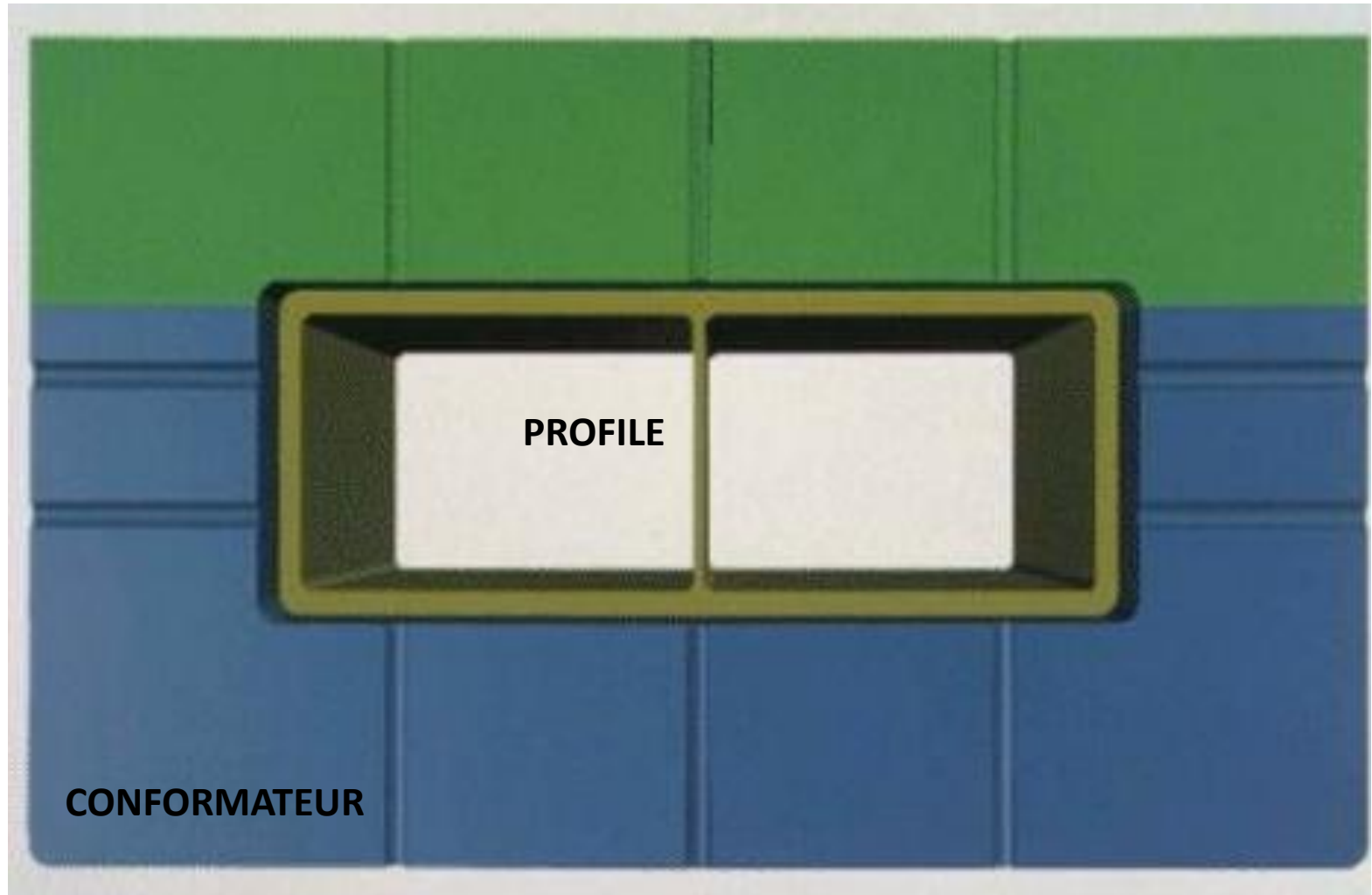
2. ETUDE DE LA SUITE DE LIGNE

B. LA CONFORMATION

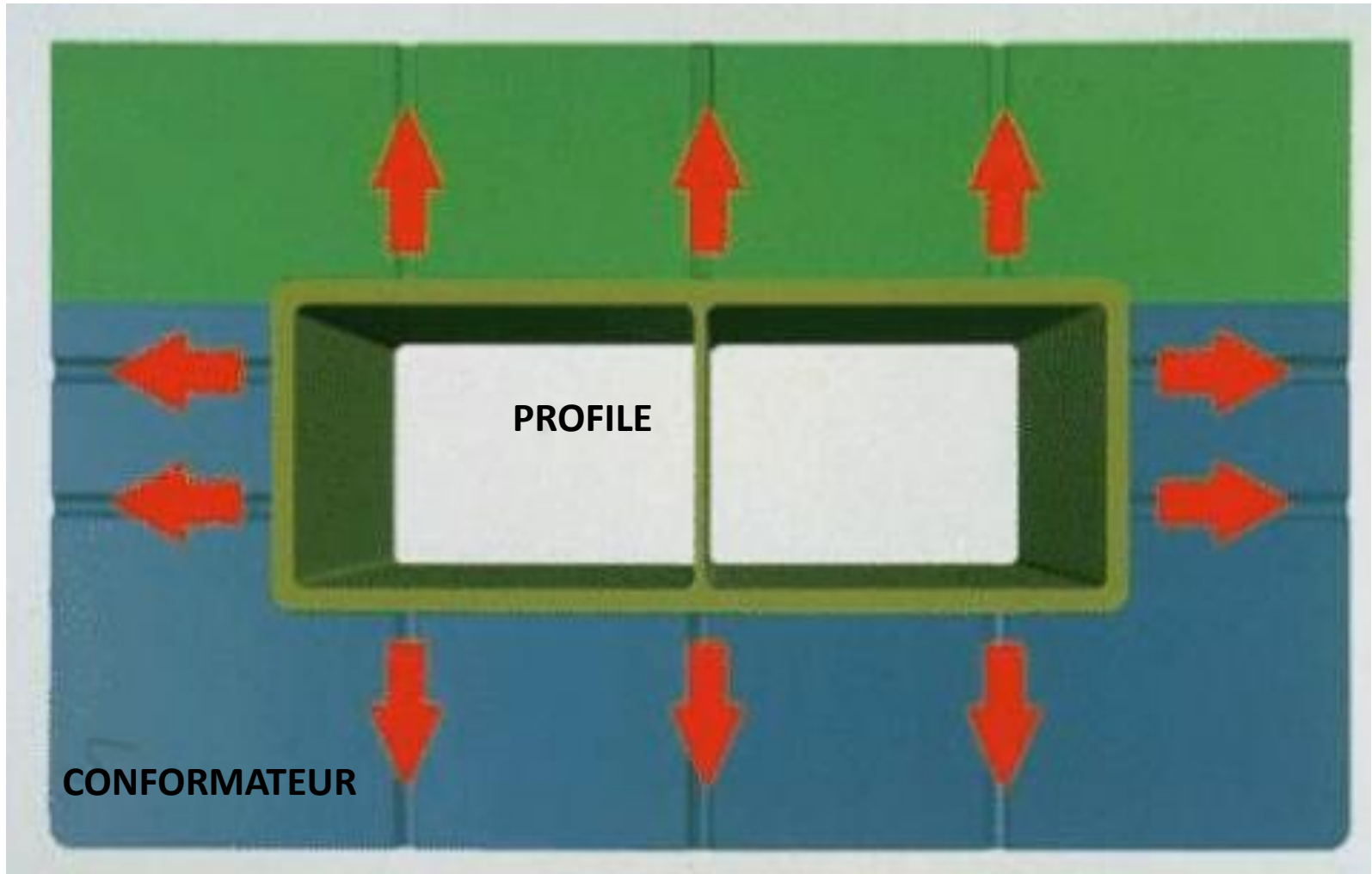
1. La conformation par le vide : b) Calibreur à disques :



Conformation par le vide d'un profilé

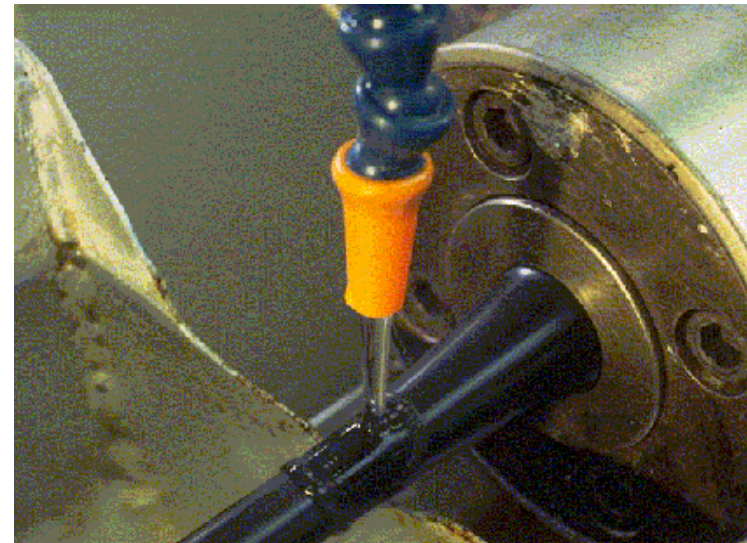


Conformation par le vide d'un profilé



2. La conformation par jet d'eau :

Un jet d'eau est dirigé sur le tube en sortie de filière, plus une immersion dans le bac de refroidissement. Le refroidissement est très rapide et fige la matière dès sa sortie. Les côtes du produit ne seront pas d'une grande précision. Ce type de conformation est souvent utilisé pour les **matières souples**.



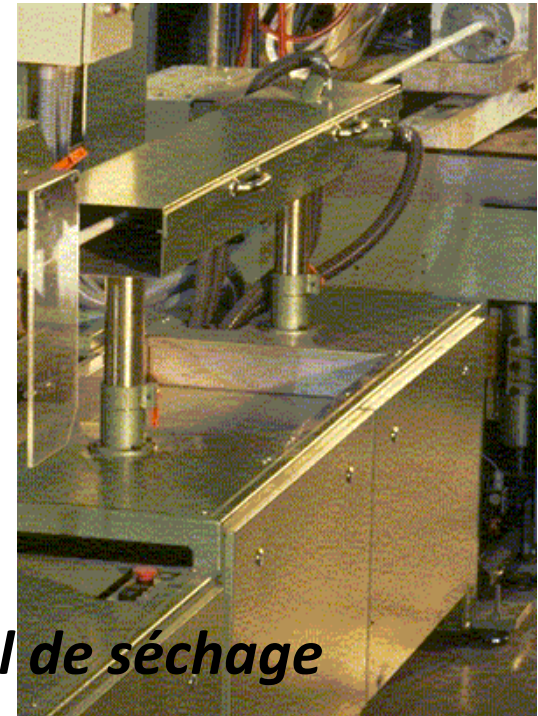
2. ETUDE DE LA SUITE DE LIGNE

C. LA FONCTION REFROIDISSEMENT

Il s'effectue dans un **bac**, son rôle **refroidir** le tube.

Le plus souvent le bac de refroidissement fait partie du bac sous vide pour les petits et moyens tubes.

On trouve aussi **des bacs à eau pulvérisée**, **des tunnels de séchage** et tout simplement **des soufflettes d'air** avant le tireur.



Tunnel de séchage

- ❑ Ce dispositif **exerce un effort de traction** sur la matière plastifiée et entraîne l'extrudât le long des différents postes de la ligne d'extrusion.
- ❑ Il joue un rôle important sur la qualité du produit.
- ❑ Le rapport entre le débit de l'extrudeuse et la vitesse de tirage conditionne directement la masse et les épaisseurs du produit

1. Les caractéristiques :

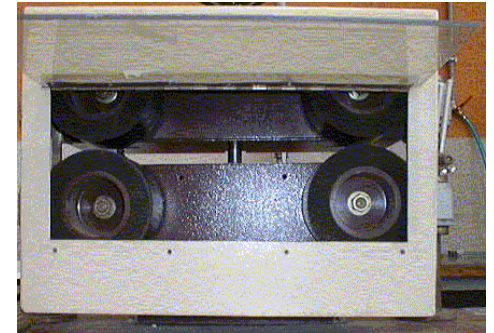
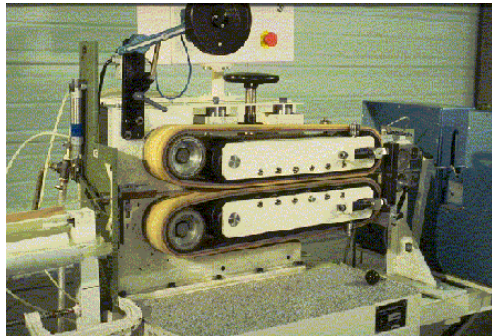
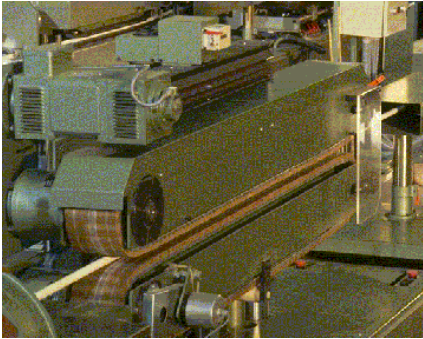
- a) Diamètre maxi de tirage (hauteur de réglage du tirage).
- b) Vitesse maxi de tirage.
- c) Longueur du tirage.
- d) Largeur.
- e) Force de traction.

2. ETUDE DE LA SUITE DE LIGNE

D. LA FONCTION TIRAGE

2. les dispositifs de tirage :

- Le tireur à chenille, c'est le plus répandu.
- Le tireur à bandes, utilisé pour les tubes.
- Le tireur à galet, utilisé pour les matières souples

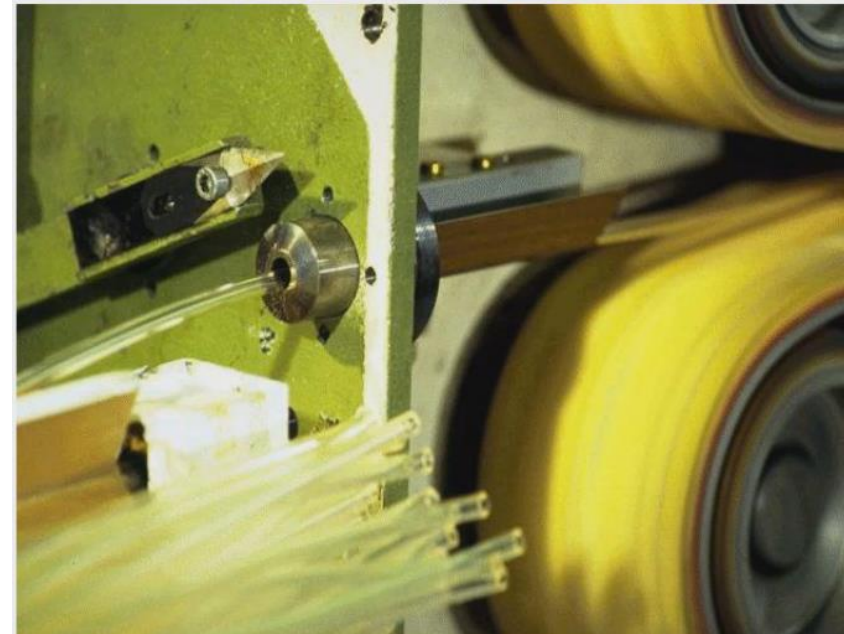
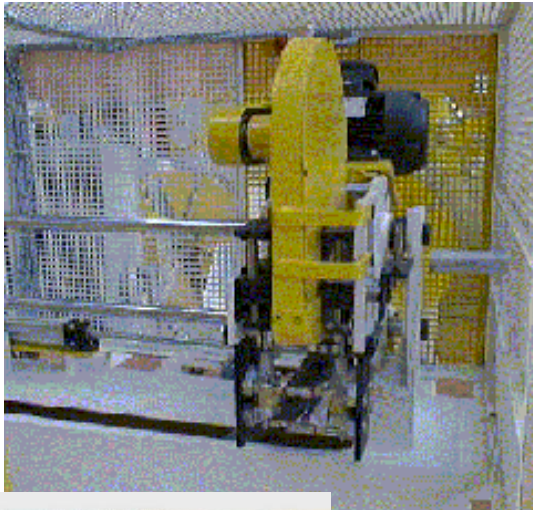


2. ETUDE DE LA SUITE DE LIGNE

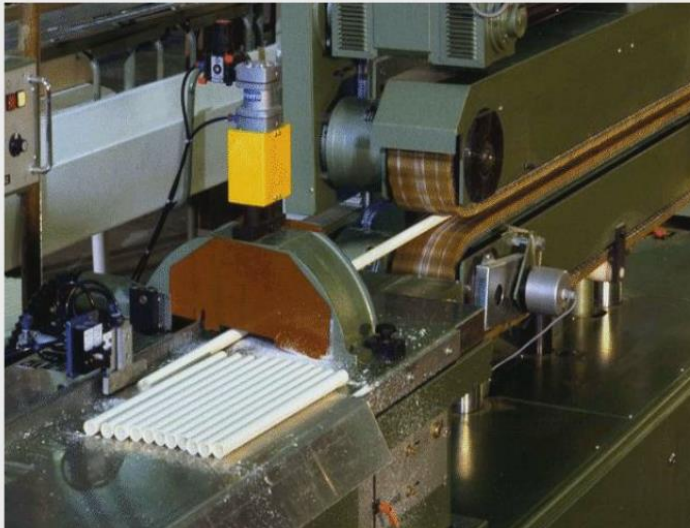
E. LA FONCTION DEBIT

On trouve plusieurs types de découpe des produits suivant la matière transformée.

*Découpe par scie
circulaire*



Découpe par cutter

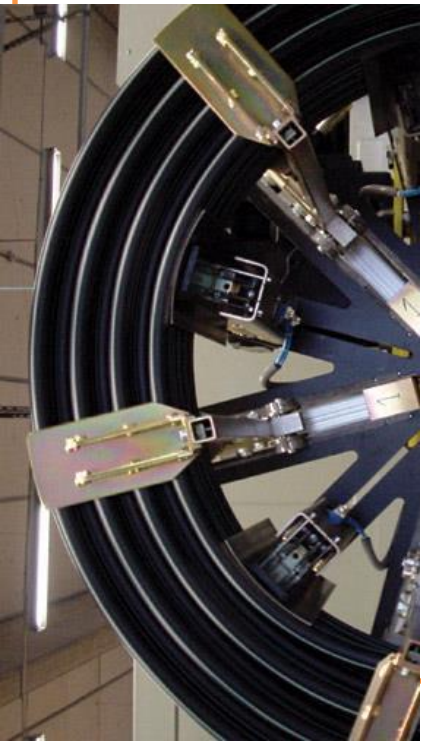
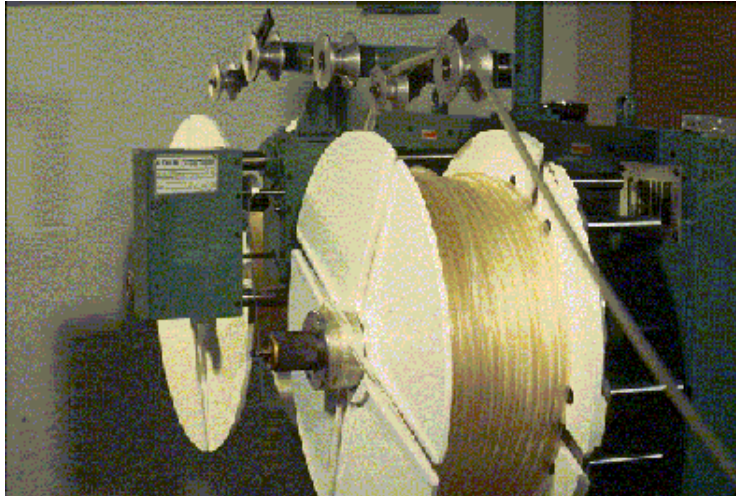


2. ETUDE DE LA SUITE DE LIGNE

F. LA FONCTION RECEPTION

La réception dépend essentiellement du produit et du type de conditionnement. C'est souvent un banc de réception adapté au produit ou tout simplement un carton de conditionnement.

Pour les tuyaux, on trouve des enrouleurs.

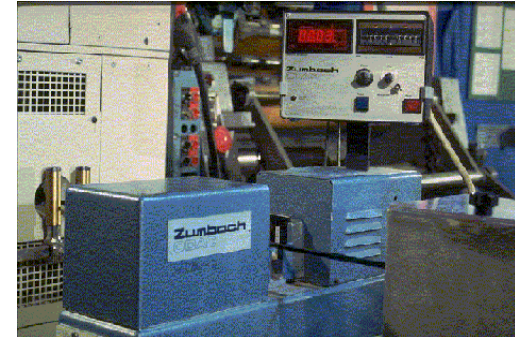


» Table de réception pour profilés

1. Le contrôle :

Le contrôle se fait généralement avec des **piges** entre, entre pas (mini, maxi) adapté au produit.

Pour des contrôles plus rigoureux, il existe des appareils de contrôle **laser ou rayon X**.



2. La reprise d'usinage :

Pour les reprises d'usinage, les techniques utilisées sont le poinçonnage, l'usinage classique et le formage des embouts de tube. Pour le formage, on rencontre des **tulipeuses** pour tubes.

2. ETUDE DE LA SUITE DE LIGNE

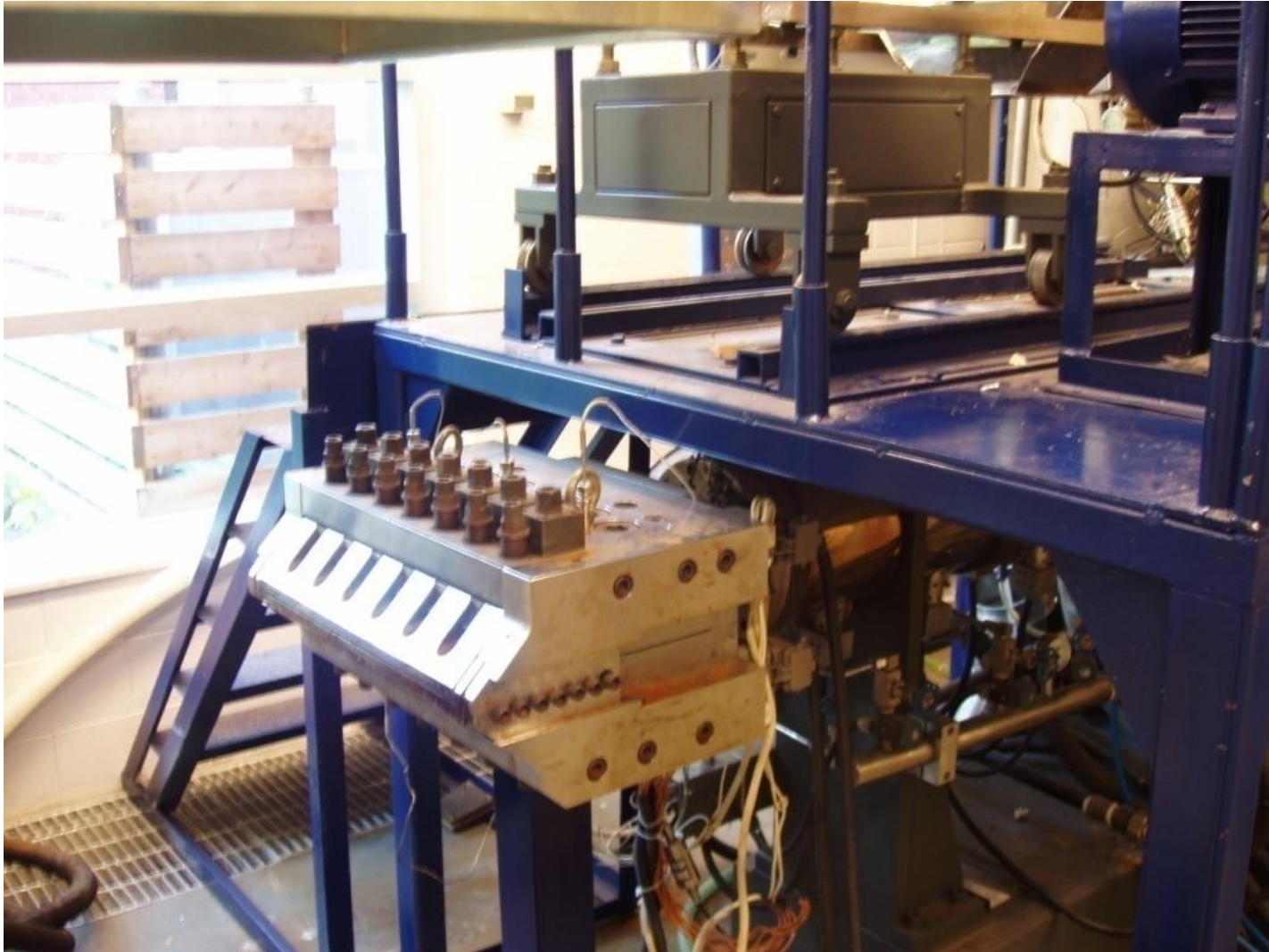


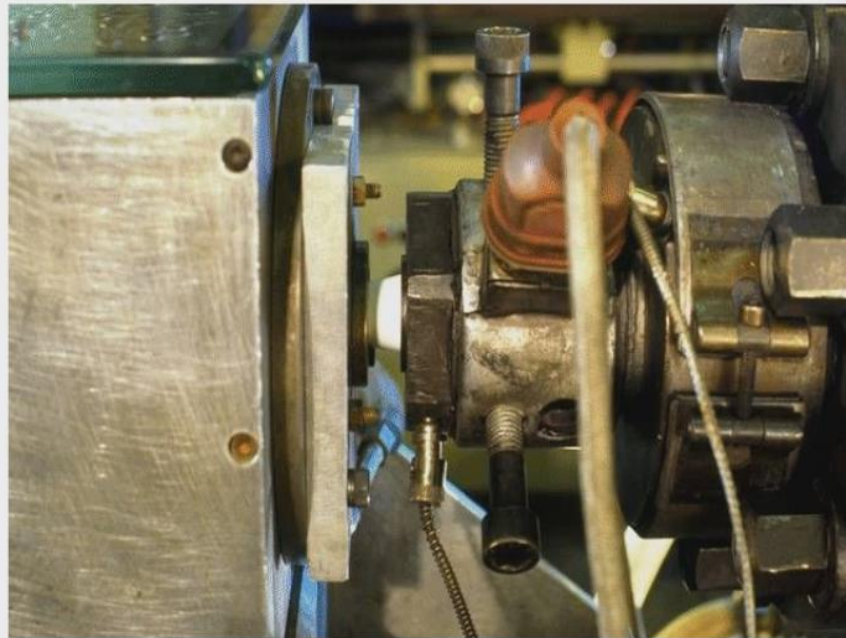
FIN

Annexes

(photos)

FILIERE plate

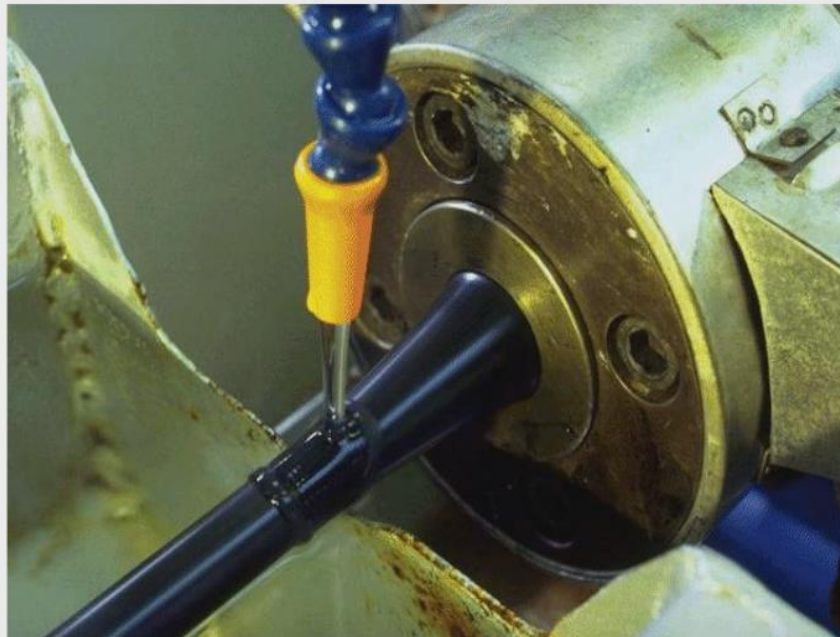




27

Conformation par arrosage seul

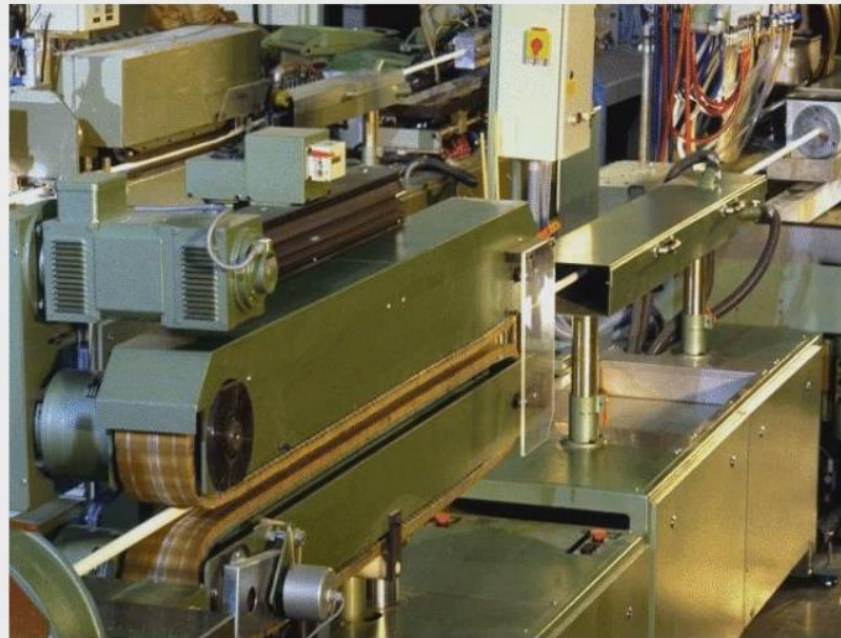
SlidePlayer



[29]

05:02 / 15:44

Tireur à chenilles



30

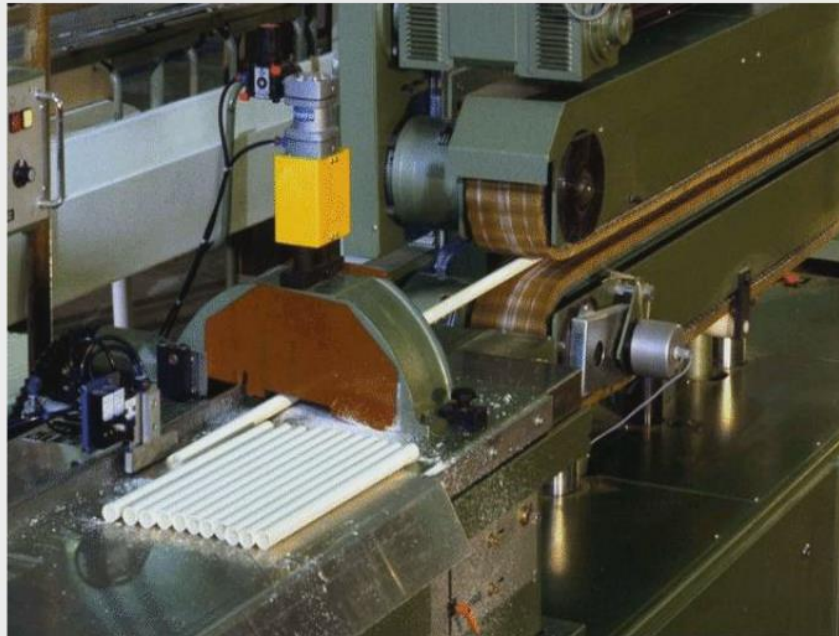
Tireur à bandes(matières extrudées souples)



{ 31 }

Découpe par scie circulaire montée sur chariot mobile

SlidePlayer



32

05:16 / 15:44

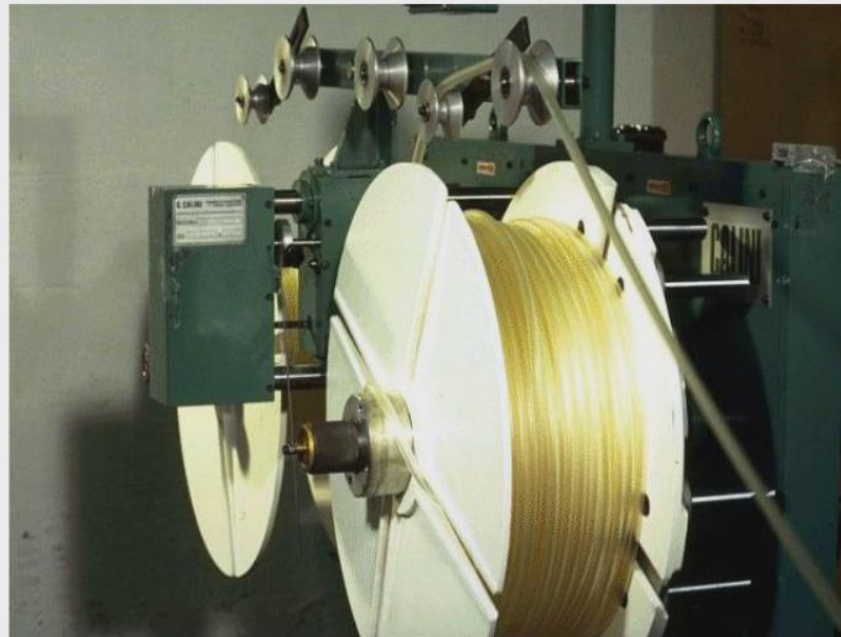
Découpe par lame



[33]

Enroulement sur touret cas des tubes souples

SlidePlayer



34

05:31 / 15:44

Outillage ouvert

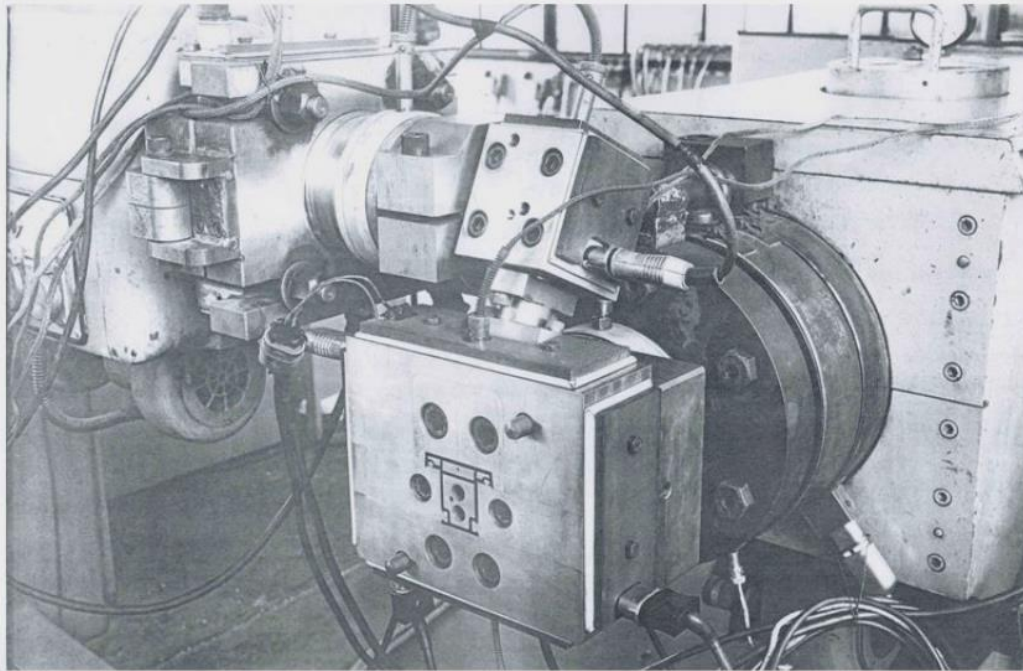


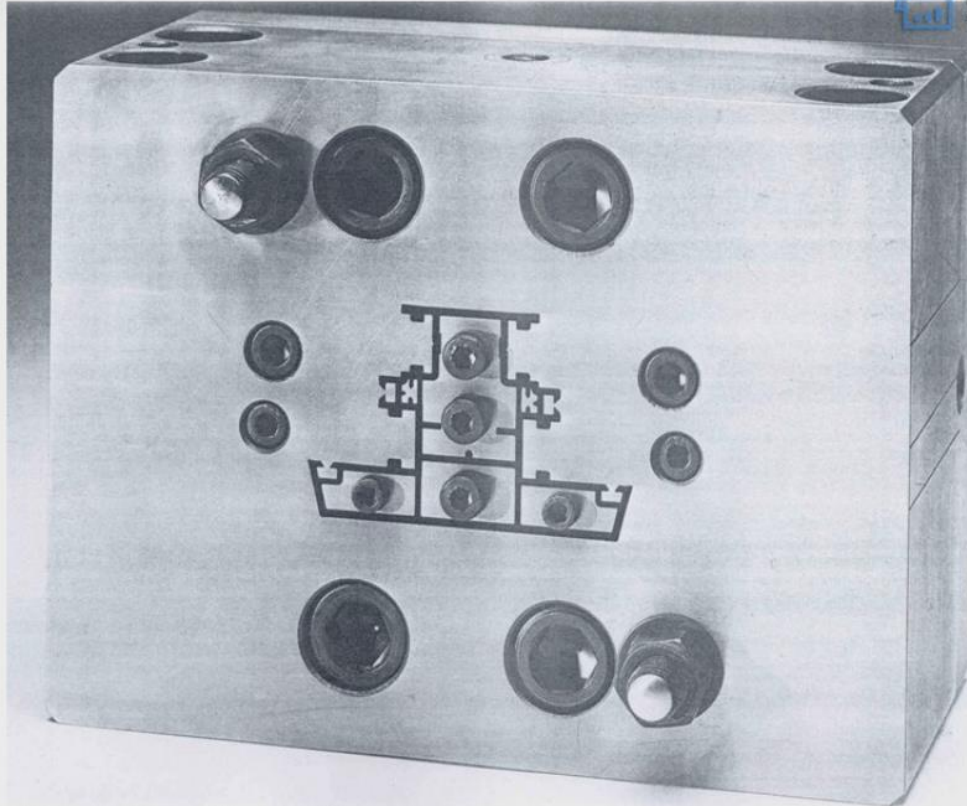
Plaque porte poinçon dit plaque « pont »

Plaque de sortie

[47]

Co extrusion deux couches rigide/souple

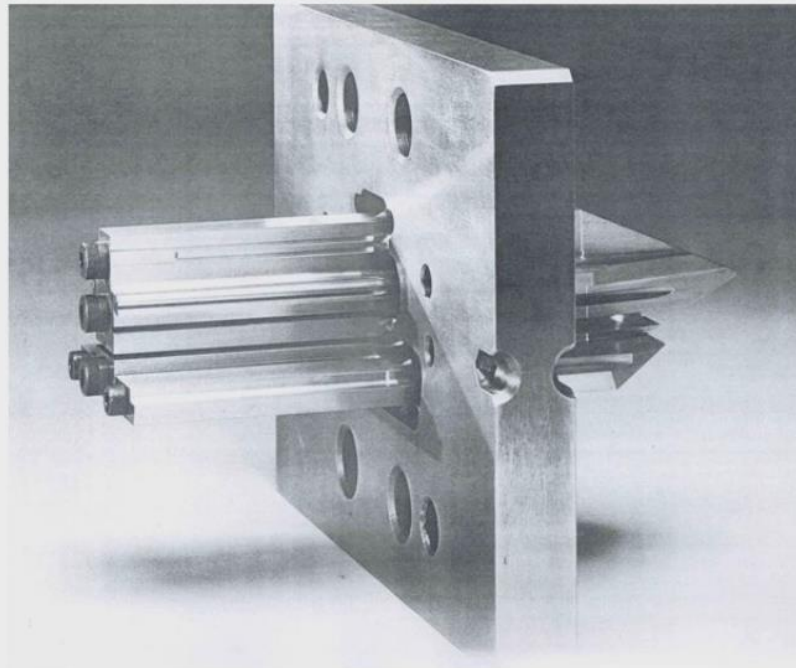




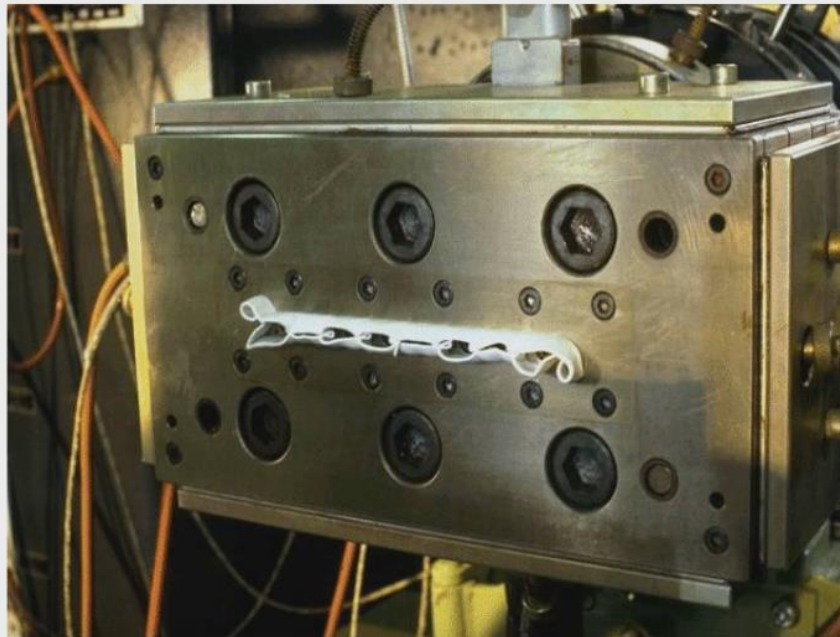
Plaque de sortie montée

50

Plaque porte poinçon ou plaque « pont »



Plaque de sortie



[54]