

**NOTIONS PRATIQUES
SUR L'EXTRUSION
DES PLASTIQUES**



NOTIONS PRATIQUES SUR L'EXTRUSION DES PLASTIQUES

Ce manuel de formation et de promotion a été établi à la demande du Syndicat National des Extrudeurs de Profilés Plastiques, en collaboration avec le Centre d'Etude des Matières Plastiques, la Commission Technique du SNEPP et Monsieur Jean-Claude Limoges, élève-Ingénieur de l'ENSAM, sous la direction de Monsieur Michel Chatain, professeur à l'ENSAM.

Il sera complété par un manuel sur les matières plastiques, commun aux diverses techniques de transformation, comprenant un tableau sur l'évolution des consommations.

o
o o
1 9 7 2
o o
o

Edition conjointe

du Centre d'Etude des Matières Plastiques
21, rue Pinel, 75013, Tél. 707.65.59

du Syndicat National des Extrudeurs de Profilés Plastiques
3, rue Copernic, 75116, Tél. 553.34.05

Tout en remerciant le lecteur de son attention, le personnage illustrant le texte précise qu'il a souvent des attitudes humoristiques qu'il ne faut pas confondre avec la réalité.

Certains textes ou dessins pouvant être protégés par des brevets, leur description est donnée à titre documentaire et n'engage pas la responsabilité des auteurs et éditeurs.

TABLE DES MATIERES

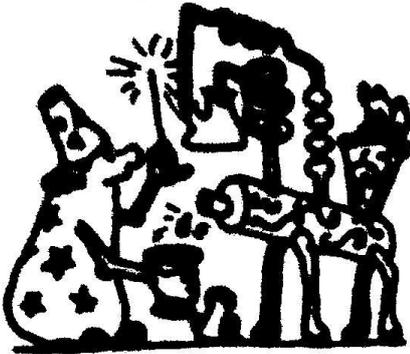
0 - HISTORIQUE	6
1 - DEFINITION ET PRINCIPES	8
2 - LES EXTRUDEUSES	
2.1 - les différents types d'extrudeuses	
2.1.1 - extrudeuses à une vis	11
2.1.2 - extrudeuses à deux vis	12
2.1.3 - extrudeuses spéciales	13
2.1.4 - types d'extrudeuses actuellement utilisées	14
2.2 - les principaux éléments des extrudeuses	
2.2.1 - la vis d'extrusion	15
2.2.2 - le corps de l'extrudeuse	15
2.2.3 - la régulation thermique	16
2.2.4 - les outillages	17
2.2.5 - les dispositifs d'alimentation	17
2.3 - vue en coupe d'une extrudeuse	18
3 - COMPORTEMENT DE LA MATIERE A L'INTERIEUR DE L'EXTRUDEUSE	
3.1 - gélification	
3.1.1 - les différentes zones d'une extrudeuse	21
3.1.2 - les modes de gélification	22
3.1.3 - progression de la matière	22
3.2 - orientation moléculaire	
3.2.1 - comportement de la molécule	23
3.2.2 - importance de l'orientation moléculaire	23
3.3 - gonflement de la matière	24
3.4 - importance de la constance de la vitesse	
3.4.1 - notions sur l'écoulement des fluides	24
3.4.2 - influence de la vitesse dans la filière	25
3.4.3 - longueur de la filière	26

4 - OUTILLAGES, RECEPTION	27.
4.1 - la tête porte-filière	28
4.1.1 - fixation de la tête	28
4.1.2 - matériaux de construction	28
4.1.3 - chauffage	29
4.1.4 - la grille	29
4.1.5 - fixation de la filière	30
4.1.6 - tête d'équerre	30
4.2 - LES FILIERES	30
4.2.1 - filière sans poinçon	31
4.2.2 - filière avec poinçon	31
4.2.3 - filière avec poinçon montée sur tête d'équerre	32
4.2.4 - filière à entrées multiples	33
4.2.5 - filière "outil"	34
4.3 - LES CALIBRES REFROIDISSEURS	36
4.3.1 - les diaphragmes	37
4.3.2 - les calibres ou conformateurs	37
4.4 - le tirage	
4.4.1 - tirage par cabestan	40
4.4.2 - tireuse à galets	40
4.4.3 - tireuse à chenilles	40
4.4.4 - tapis tireur	41
4.4.5 - tirage par rouleaux adjacents	41
4.4.6 - tirage par chariot	41
4.6 - le sciage	41
5 - CONDUITE DE L'EXTRUSION	
5.1 - mise en route de l'extrudeuse	43
5.2 - contrôles à effectuer en cours d'extrusion	47
5.3 - conseils pour la conduite de la machine	47
5.4 - arrêt de la machine	47
5.5 - entretien des outillages	48
5.6 - stockage des outillages	48

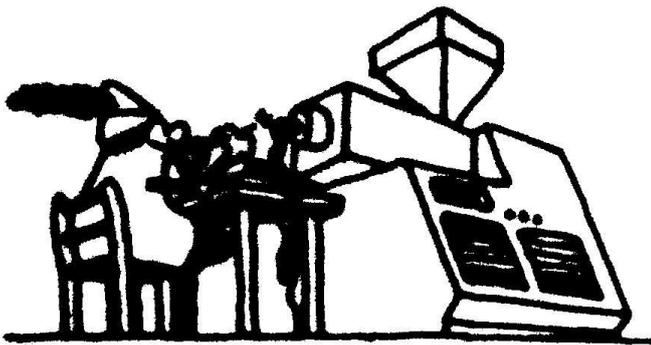
6 - PROBLEMES PARTICULIERS AUX TYPES D'EXTRUSION	
6.1 - profilés divers	
6.1.1 - profilés pleins	49
6.1.2 - tubes	50
6.1.3 - profilés creux	50
6.1.4 - profilés ouverts	50
6.1.5 - profilés multimatériaux ou multicouleurs	50
6.2 - profilés dissymétriques	
6.2.1 - problèmes posés par l'extrusion des profilés rigides dissymétriques	51
6.2.2 - solutions possibles	51
6.3 - recouvrement de fils et câbles	52
6.4 - plaques et feuilles	53
6.5 - films	
6.5.1 - filière plate	55
6.5.2 - extrusion "coating"	55
6.5.3 - extrusion-gonflage	55
6.5.4 - coextrusion	56
6.6 - extrusion-soufflage de corps creux	57
6.7 - monofilaments	58
7 - MATIERES PLASTIQUES EXTRUDEES	61
- o -	
BIBLIOGRAPHIE	62
ANNEXE - les causes d'accidents dans l'extrusion	63

HISTORIQUE

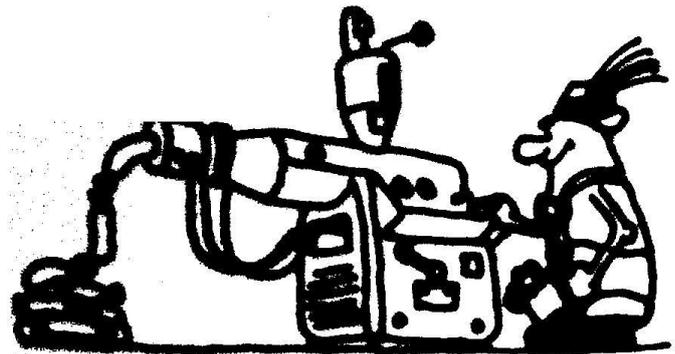
L'extrusion est une très vieille technique



... connue depuis longtemps pour la fabrication de ...



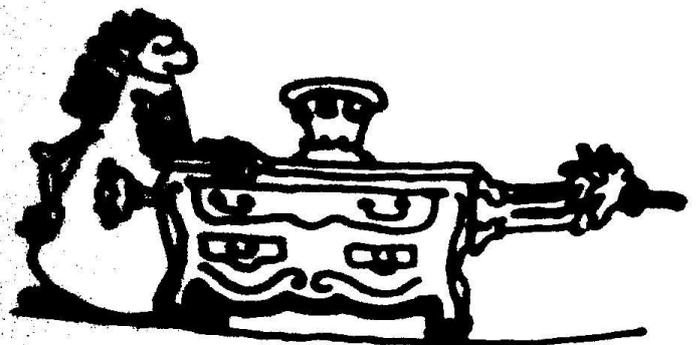
produits alimentaires (nouilles, spaghettis, ...



et autres).

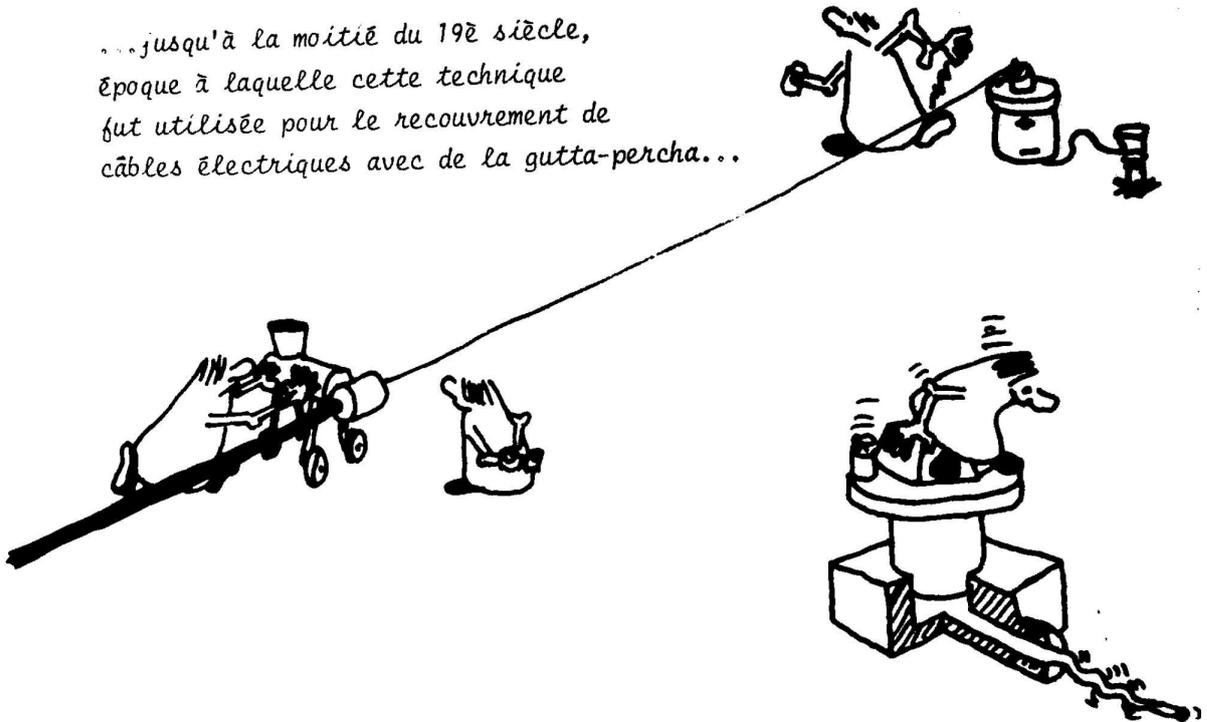


... de briques et de céramique

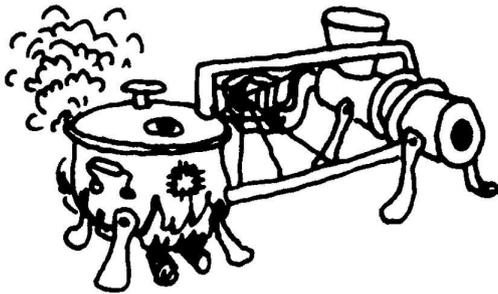


A la fin du 17^e siècle on commença à extruder des tuyaux de plomb, l'extrusion en resta là.

... jusqu'à la moitié du 19^e siècle,
époque à laquelle cette technique
fut utilisée pour le recouvrement de
câbles électriques avec de la gutta-percha...



... Les machines étaient alors du type à piston,
actionnées manuellement, puis hydrauliquement
ou mécaniquement...



... En 1879 les extrudeuses à vis font leur entrée et vers 1930,
avec l'apparition de nouvelles matières thermoplastiques le chauffage à la vapeur est peu à peu abandonné.

1 DEFINITION ET PRINCIPES DE L'EXTRUSION

L'extrusion sous ses différentes formes examinées plus loin est actuellement la technique de transformation des plastiques la plus employée. Le tonnage de plastiques extrudés représente en effet plus du tiers du tonnage global transformé.

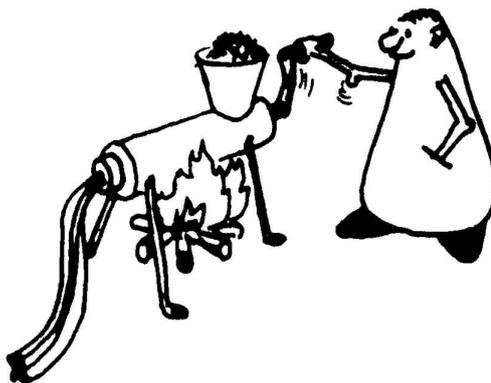
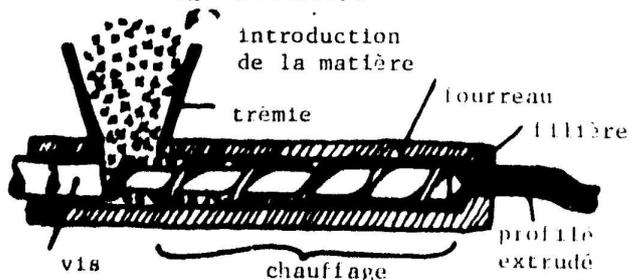
Cette place prépondérante est due principalement au haut degré de productivité permis par cette technique de transformation en continu, pour laquelle le coût des outillages est relativement peu élevé comparativement à d'autres techniques.

Définition

L'extrusion est spécifiquement la transformation d'une matière fragmentée (poudre ou granulé) en un produit continu ayant un profil donné, par forçage à travers une filière de la dite matière préalablement ramollie par la chaleur.

Principe

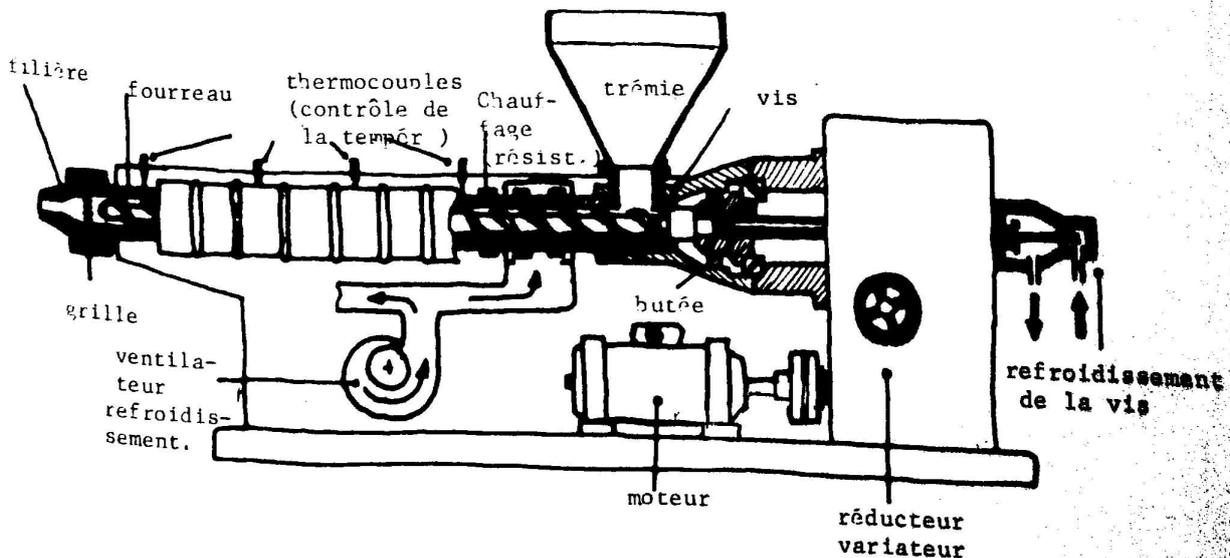
La principale méthode utilisée consiste à introduire la matière à la partie arrière d'une vis qui tourne dans un fourreau chauffé et remplit la double fonction de malaxer la matière et de la forcer à travers l'outillage (filière).

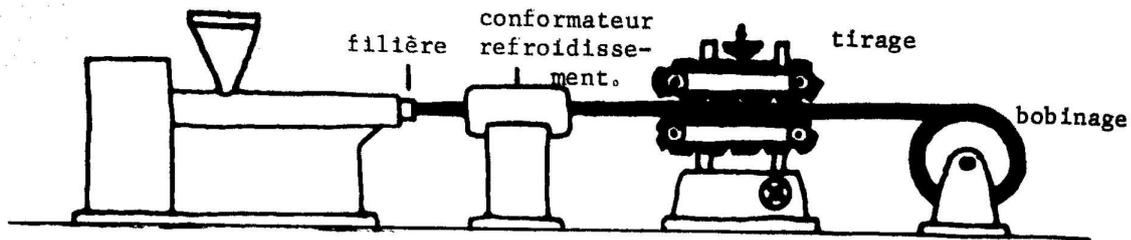


Les machines qui réalisent cette opération sont appelées extrudeuses. L'ancienne appellation "boudineuse" n'est plus guère utilisée. Le principe de l'extrusion était déjà matérialisé par les machines de fabrication des pâtes alimentaires, puis par le filage des métaux tendres, avant d'arriver au boudinage du caoutchouc, qui précède de peu l'extrusion des thermoplastiques.

Fondamentalement, une extrudeuse comprend une chambre chauffée, généralement horizontale, appelée fourreau, dans laquelle tournent une ou plusieurs vis entraînées par un moteur au moyen d'engrenages de réduction. Ces vis, qui tournent dans une chemise en acier durci avec un jeu inférieur à quelques dixièmes de millimètres, provoquent un mélange, une chaleur de friction et une homogénéisation. Elles forcent la matière à travers des zones de chauffage graduelles, soigneusement contrôlées.

A l'entrée du fourreau, est située une trémie qui permet l'alimentation de la machine en matière à extruder. Cette matière peut être amenée réchauffée ou non soit sous forme de granulés, soit sous forme de nœuds, préparés à l'avance. A l'autre extrémité du fourreau se trouve une tête qui aboutit à (et généralement contient) une filière qui donne sa forme à la section finie.





A la sortie de la filière le profilé obtenu est chaud et mou. Il doit être refroidi et maintenu en forme durant cette opération pour laquelle des systèmes différents sont utilisés. De plus, le profilé est souvent calibré lors de son refroidissement pour assurer le respect des formes et des cotes imposées.

Le profilé refroidi est entraîné au moyen d'un appareil de tirage à vitesse réglable, puis réceptionné en rouleaux ou en longueurs (après sciage)

Ouvrages complémentaires à consulter

<p>GUIDE DE L'UTILISATEUR DE PROFILES PLASTIQUES 1966 - 68 pages nombreux schémas et tableaux - o - Publication du Syndicat National des Extrudeurs de Profiles Plastiques 3, rue Copernic, 75-Paris (16^e)</p>	<p>NOTIONS SUR LES EXTRUDEUSES ET L'EXTRUSION DES PLASTIQUES 1968 - 88 pages 28 dessins et schémas hors texte - o - Publication du Centre d'Etude des Matières Plastiques 21, rue Pinel, 75-Paris (13^e)</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

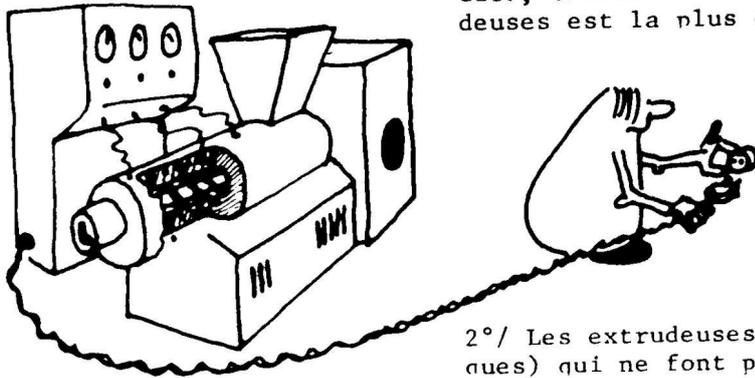
LES EXTRUDEUSES 2

2.1 LES DIFFERENTS TYPES D'EXTRUDEUSES

2.1.1 - EXTRUDEUSES A UNE VIS -

Les extrudeuses monovis se divisent en deux grandes catégories.

1°/ Les extrudeuses à fonctionnement polytropique qui font appel pour leurs besoins thermiques à une source extérieure (électricité, thermofluide). Cette catégorie d'extrudeuses est la plus couramment utilisée.



2°/ Les extrudeuses autothermiques adiabatiques) qui ne font pas appel à une source de chaleur extérieure. La chaleur nécessaire à la gélification est fournie par le frottement de la matière plastique sur la vis et le fourreau, ainsi que par la compression et la friction des particules de matière plastique entre elles sous l'effet de cisaillement et de compression de la vis en rotation.



Il faut noter que les extrudeuses polytropiques se comportent également dans une certaine mesure en extrudeuses adiabatiques. En effet, les calories nécessaires à la gélification sont apportées dans une proportion variable par l'énergie thermique extérieure et par les frictions internes.

La maîtrise des phénomènes thermiques est plus facile avec les extrudeuses polytropiques qu'avec les extrudeuses adiabatiques. Toutes les machines doivent être munies de moyens de refroidissement (liquide ou air).

Les extrudeuses monovis sont caractérisées par le diamètre et la longueur de la vis. Cette longueur est exprimée en multiples du diamètre. Habituellement, les longueurs de vis se situent entre 15 et 30 diamètres.

Les vis sont généralement percées dans le sens de leur longueur, le trou ne débouchant pas du côté sortie matière. Ce forage permet le refroidissement de la vis.

Les vis des monovis sont interchangeables en fonction de la nature et des caractéristiques des matières plastiques.

2.1.2 - EXTRUDEUSES A DEUX VIS -

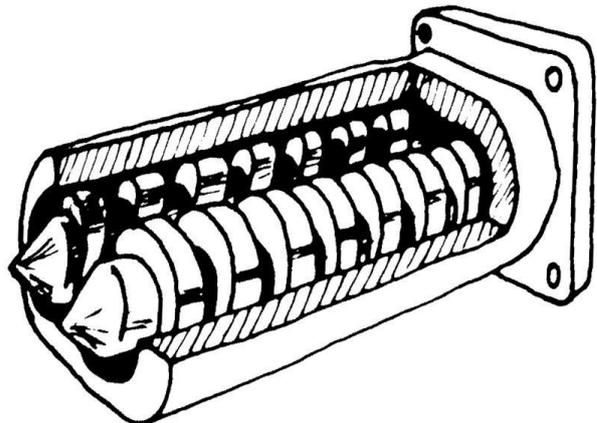
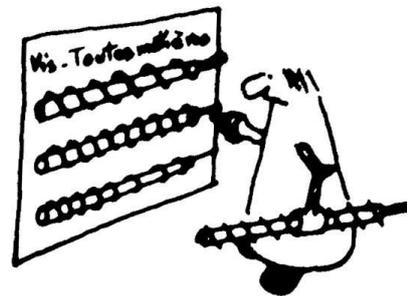
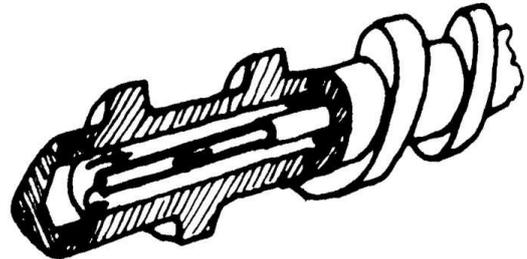
Les extrudeuses à deux vis, contrairement aux extrudeuses à une vis, peuvent travailler toutes les matières avec un seul type de vis, ceci parfois au détriment du rendement.

Les double-vis sont bien adaptées lorsqu'il faut transporter la matière plastifiée dans la filière en ayant à dominer la haute pression du flux. La double-vis agit alors comme une pompe à vis et parvient à surmonter aisément les risques de torsion et rupture, comme cela peut se produire avec les matières à haut poids moléculaire.

Les double-vis sont d'un usage moins répandu que les monovis, mais on admet qu'elles permettent d'extruder le P.V.C rigide en poudre dans de très bonnes conditions.

Les double-vis sont plus fragiles, plus délicates à conduire et à entretenir que les monovis. Des progrès ont été réalisés en ce qui concerne les butées arrière des vis, l'entraxe des vis étant insuffisant pour utiliser des butées de grandes dimensions.

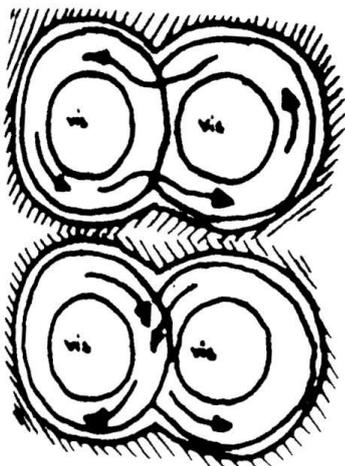
La puissance-moteur est moins importante sur les double-vis que sur les monovis du fait que les frictions internes sur la matière sont moins élevées. Par contre, l'apport thermique du chauffage est supérieur pour assurer une même gélification.



Sens de rotation des vis,

Les deux vis tournent dans le même sens. La matière a tendance à parcourir un chemin en huit, mais sans passer par le point de contact des vis. L'avantage se traduit par une augmentation du chemin parcouru par la matière. L'échauffement est plus régulier

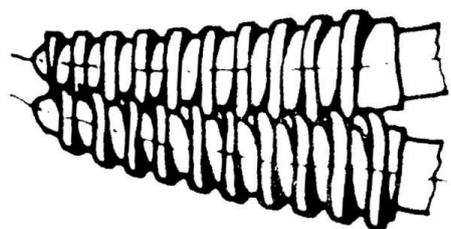
Les deux vis tournent en sens inverse. La matière passe entre les deux vis et subit de ce fait un malaxage très important qui facilite la dispersion.



Obtention du rapport de compression

Chaque constructeur propose sa méthode et joue pour obtenir ce rapport sur la profondeur, le pas, la forme des filets. On trouve aussi des vis à étages de diamètres différents et d'autres coniques à axes convergents.

Plusieurs constructeurs prévoient maintenant des vis à différentes zones et intercalent parfois entre celles-ci des disques ou cylindres, lisses ou entaillés, qui agissent comme organe malaxeur ou créent des zones de décomposition et de dégazage.



2.1.3 - EXTRUDEUSES SPECIALES

2131. Extrudeuses verticales .

Beaucoup de procédés d'extrusion classiques obligent le flux de matière à changer de direction entre la vis et la filière et on a toujours pris grand soin, dans le dessin des filières, de déduire les effets de tourbillon. Par exemple, pour la fabrication des films tubulaires, la sortie de filière est souvent à 90° par rapport à l'axe de la vis. Si ceci n'a pas grande importance avec le polyéthylène, il n'en est pas de même lorsqu'il s'agit du P.V.C. La conception d'une extrudeuse verticale qui évite ce changement de direction a souvent été discutée et maintenant plusieurs constructeurs en proposent sur le marché. Ces extrudeuses ont par ailleurs l'avantage de tenir moins de place que les extrudeuses classiques.

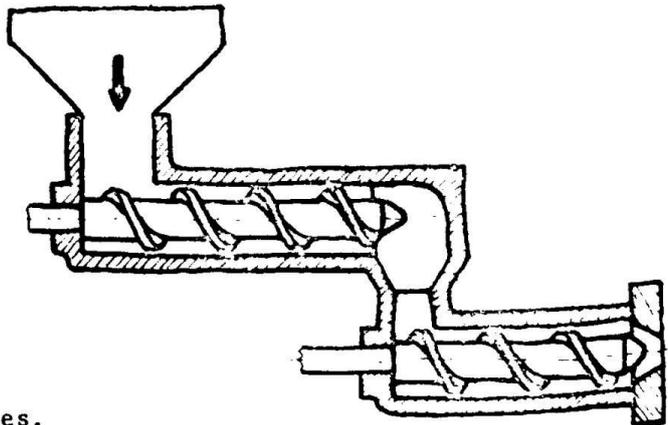
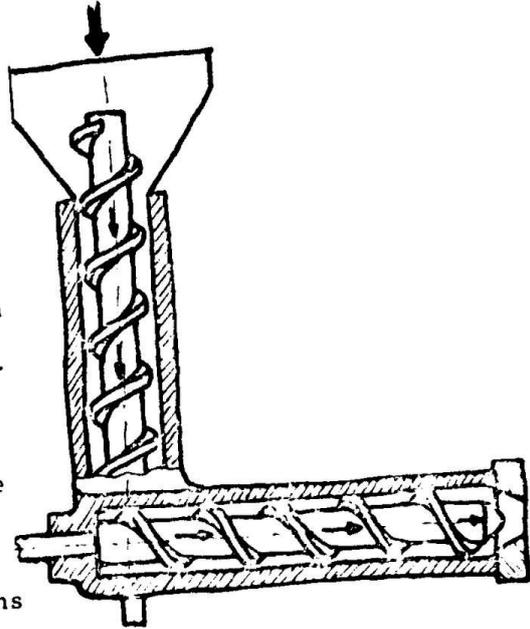
2132. Extrudeuses à étages.

Ces machines présentent deux organes d'extrusion, reliés l'un à l'autre par une chambre de transfert, et comportent des vis dont les vitesses peuvent être réglées indépendamment.

. En monovis, un constructeur a ainsi présenté une extrudeuse dite en "L", qui se compose d'un organe d'extrusion vertical, alimenté par une trémie, située au dessus, et qui débouche dans la zone d'alimentation d'une seconde vis, située en dessous et perpendiculairement.

. En double vis, un autre constructeur produit un modèle dont les deux étages sont parallèles et superposés.

Ces nouvelles dispositions permettent d'ajuster très exactement les conditions de gélification des matières thermodurcissables à transformer, en jouant sur les vitesses respectives des vis.



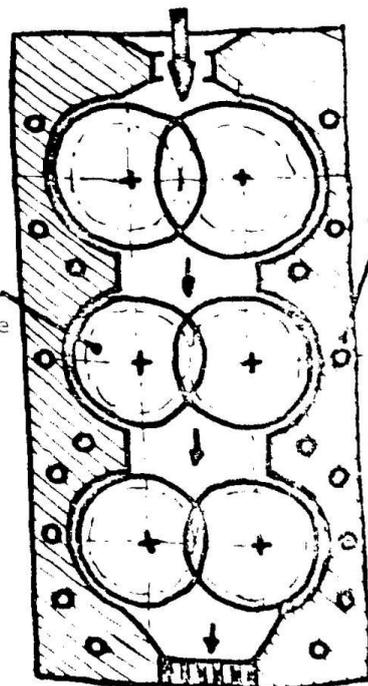
2133. Extrudeuses exceptionnelles.

Elles ne sont ici que citées, aucune de ces machines n'étant réellement utilisée dans l'industrie :

- extrudeuses à effet Weissenberg,
- extrudeuses type Maxwell
- extrudeuses à engrenages.

Chauffage par circulation d'huile

engrenage



2.1.4 - TYPES D'EXTRUDEUSES

ACTUELLEMENT UTILISEES

Dans l'ouvrage "notions sur les extrudeuses et l'extrusion des plastiques" publié par le C.E.M.P., on trouve un tableau non limitatif des principaux types et des principales marques de machines utilisées.

2.2 LES PRINCIPAUX ELEMENTS DES EXTRUDEUSES

Ces éléments sont décrits dans l'ouvrage "notions sur les extrudeuses et l'extrusion des plastiques". Un résumé de cette description est donné ici.

2.2.1 - LA VIS D'EXTRUSION

C'est l'élément actif de l'extrudeuse. Elle a différentes fonctions :

- 1 - absorber la matière qu'elle reçoit par l'intermédiaire de la goulotte;
- 2 - transporter la matière à l'intérieur du corps de l'extrudeuse;
- 3 - gélifier la matière pendant le cours du transport, avec le concours des calories apportées par les colliers chauffants;
- 4 - pousser la matière gélifiée à travers la filière pour obtenir le profil désiré.

La vis d'extrudeuse est caractérisée par son diamètre en millimètres et par sa longueur exprimée en multiples du diamètre. Par exemple, pour une vis de 60 mm de diamètre et d'une longueur filetée de 1,20 m, on parle de "vis de 60 - 20 D".

La vis doit être adaptée à la nature de la matière à extruder, c'est-à-dire qu'elle peut, soit être à pas constant, soit présenter des pas successifs différents. Le noyau de la vis peut être cylindrique ou conique.

La vis devant être adaptée à la matière, elle doit obligatoirement être démontable. Elle est perforée sur toute sa longueur pour permettre sa régulation thermique.

La vis est animée d'un mouvement de rotation dont la vitesse doit être adaptée à la matière et au type de profil fabriqué. Les anciennes extrudeuses étaient munies de boîtes de vitesses, mais on préfère actuellement les extrudeuses munies d'une régulation variable de vitesses, par des moyens mécaniques, hydrauliques, électriques ou électroniques.

2.2.2 - LE CORPS DE L'EXTRUDEUSE

Il s'agit d'un cylindre creux dans lequel tourne la vis d'extrusion. De ce fait, le pas de la vis limite, avec l'alésage du corps de l'extrudeuse, un volume rempli par la matière, la rotation de la vis permettant la progression de la matière et sa gélification.

Le corps de l'extrudeuse est muni d'éléments chauffants qui apportent les calories nécessaires à la fusion de la matière plastique. De nombreux principes sont utilisés; les principaux d'entre eux sont mentionnés ici :

- 1 - chauffage par résistance électrique (colliers chauffants, cordon en spirale, épingles chauffantes) : c'est le principe le plus couramment utilisés;
- 2 - chauffage électrique par induction : il s'agit d'un chauffage "in situ" prenant naissance dans la masse des pièces métalliques, grâce aux spires de fils conducteurs qui enserrant le corps de l'extrudeuse;
- 3 - chauffage par circulation d'huile;
- 4 - chauffage par action mécanique : les calories sont apportées par la friction mécanique de la vis sur la matière plastique (extrudeuse travaillant en "adiabatique").

La présence de traces d'humidité ou la formation de gaz, dans les différentes matières plastiques utilisées, peuvent créer des difficultés en cours d'extrusion. On peut éviter ces difficultés en utilisant un système de dégazage; il s'agit d'un orifice pratiqué dans le corps de l'extrudeuse, généralement dans le tiers externe, par lequel on applique une dépression entraînant les gaz produits par la gélification de la matière.

2.2.3 - LA REGULATION THERMIQUE

Elle a pour but de maintenir une température constante, avec une fourchette d'amplitude la plus réduite possible, cela en différentes zones du corps de l'extrudeuse, chaque zone pouvant être réglée à une température différente. La régulation thermique doit également intéresser la tête et la filière de l'extrudeuse.

Des différents types de régulation existants, les plus utilisés sont les suivants :

- 1 - Le régulateur galvanométrique : le principe de cet appareil est basé sur le déplacement de l'aiguille d'un galvanomètre; un détecteur-sonde à thermocouple engendre une variation électrique qui fait dévier l'aiguille du galvanomètre; il suffit d'installer un contact sur le point choisi de la graduation pour que l'aiguille, en touchant ce contact,

détermine le passage du courant; il s'agit là du principe et, dans la pratique, l'aiguille ne met pas directement le contact, ce dernier étant obtenu par différents mécanismes électriques ou photo-électriques;

2 - Le régulateur électronique : il fonctionne selon le principe du réglage potentiométrique; il est équipé d'indicateurs-sondes à thermistances, ou de sondes à résistances platine; le principe repose sur le déséquilibre d'un "pont de Wheastone";

3 - Le doseur statique d'énergie : cet appareil fonctionne sans détecteur; il agit directement sur l'énergie fournie aux résistances de chauffage, par l'intermédiaire de diodes réglables.

4 - Le doseur cyclique : il ne s'agit pas à proprement parler d'une régulation, mais d'un principe de chauffage discontinu par action "tout ou rien".



2.2.4 - LES OUTILLAGES

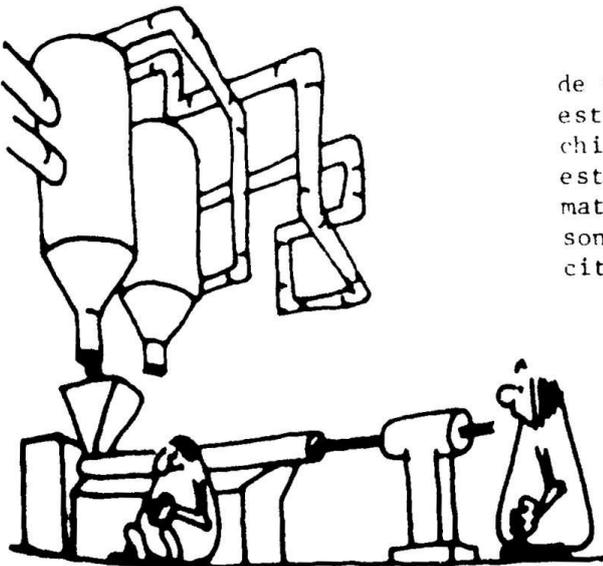
Il s'agit des filières et porte-filières, fixés à l'extrémité du corps de l'extrudeuse. La matière plastique poussée par la vis doit traverser la filière, dont la forme engendre le profil désiré.

La description de ces outillages est donnée plus loin.

2.2.5 - LES DISPOSITIFS D'ALIMENTATION

La matière - sous forme de poudre ou de granulés le plus souvent - est introduite dans le cylindre de la machine par un dispositif d'alimentation qui est en général une trémie. Pour amener la matière dans cette trémie, différents moyens sont utilisés. Parmi les principaux, on peut citer :

- . le transport manuel par sacs;
- . le transport par pompe à dépression placée sur la trémie;
- . le transport par goulotte depuis des silos de stockage.



VUE EN COUPE D'UNE EXTRUDEUSE

- o -

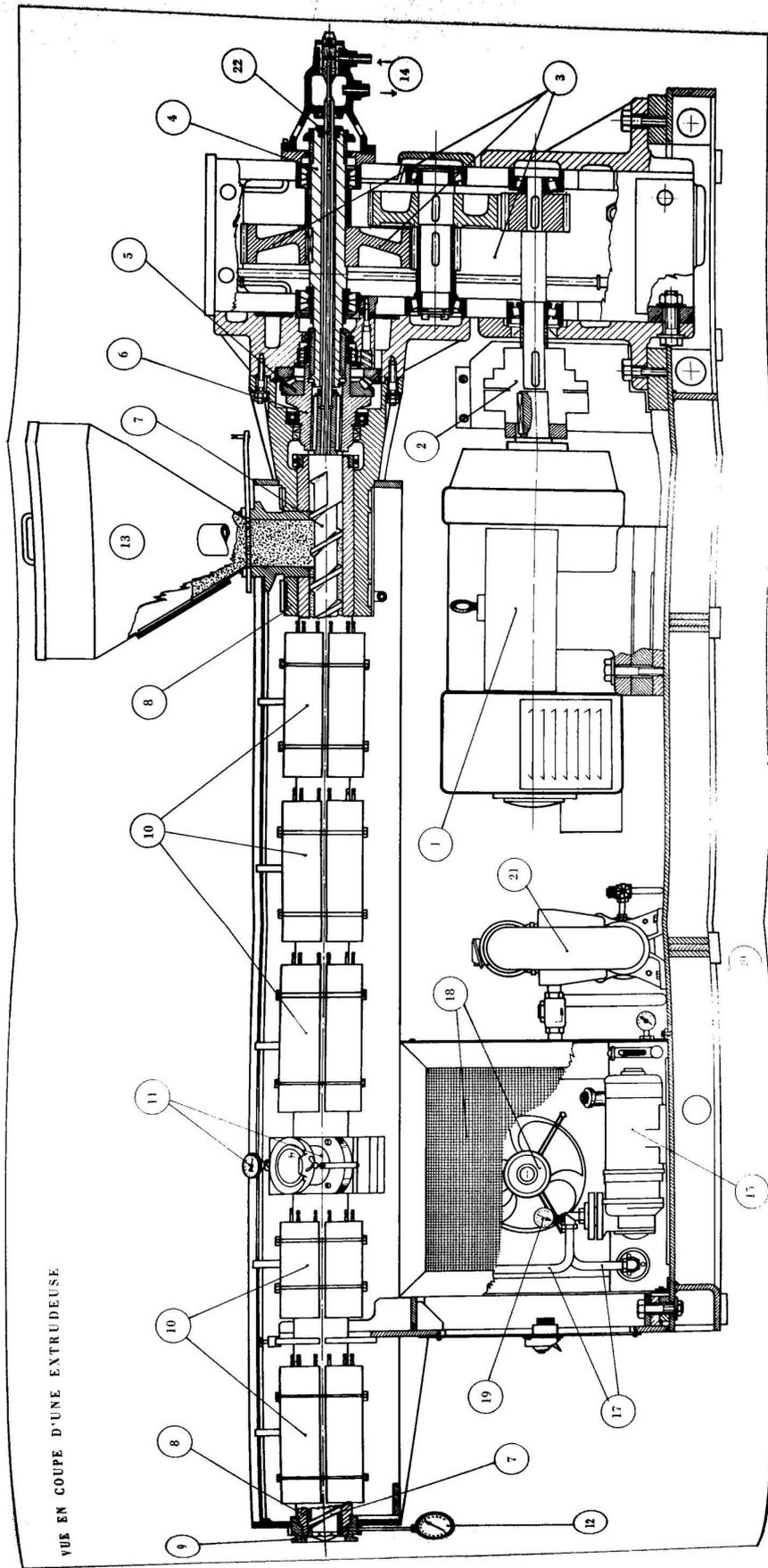
- 1 - Moteur à vitesse variable.
- 2 - Manchons d'accouplement.
- 3 - Réducteur de vitesse à engrenages.
- 4 - Arbre de commande de la vis.
- 5 - Cage de la butée.
- 6 - Moyeu cannelé d'entraînement de la vis.
- 7 - Vis d'extrusion.
- 8 - Fourreau d'extrusion.
- 9 - Collet de raccordement tête-fourreau.
- 10 - Manchons thermiques
- 11 - Dispositif de dégazage avec indicateur de vide.
- 12 - Manomètre de pression de la matière.
- 13 - Trémie d'alimentation.
- 14 - Arrivée et départ du fluide de régulation de température de la vis.
- 15 - Pompe de refroidissement du fourreau.
- 16 - Bac à huile avec niveau.
- 17 - Tuyauteries de circulation d'huile.
- 18 - Ventilateur et échangeur pour refroidissement d'huile.
- 19 - Manomètre de pression d'huile.
- 20 - Thermomètre de température d'huile
- 21 - Groupe moto-pompe de dégazage.
- 22 - Tubes de circulation du fluide de régulation de la vis.

- o -

Ne figurent pas sur la vue en coupe :

- l'armoire de commande de l'extrudeuse;
- le groupe d'échange thermique pour la régulation de la vis.

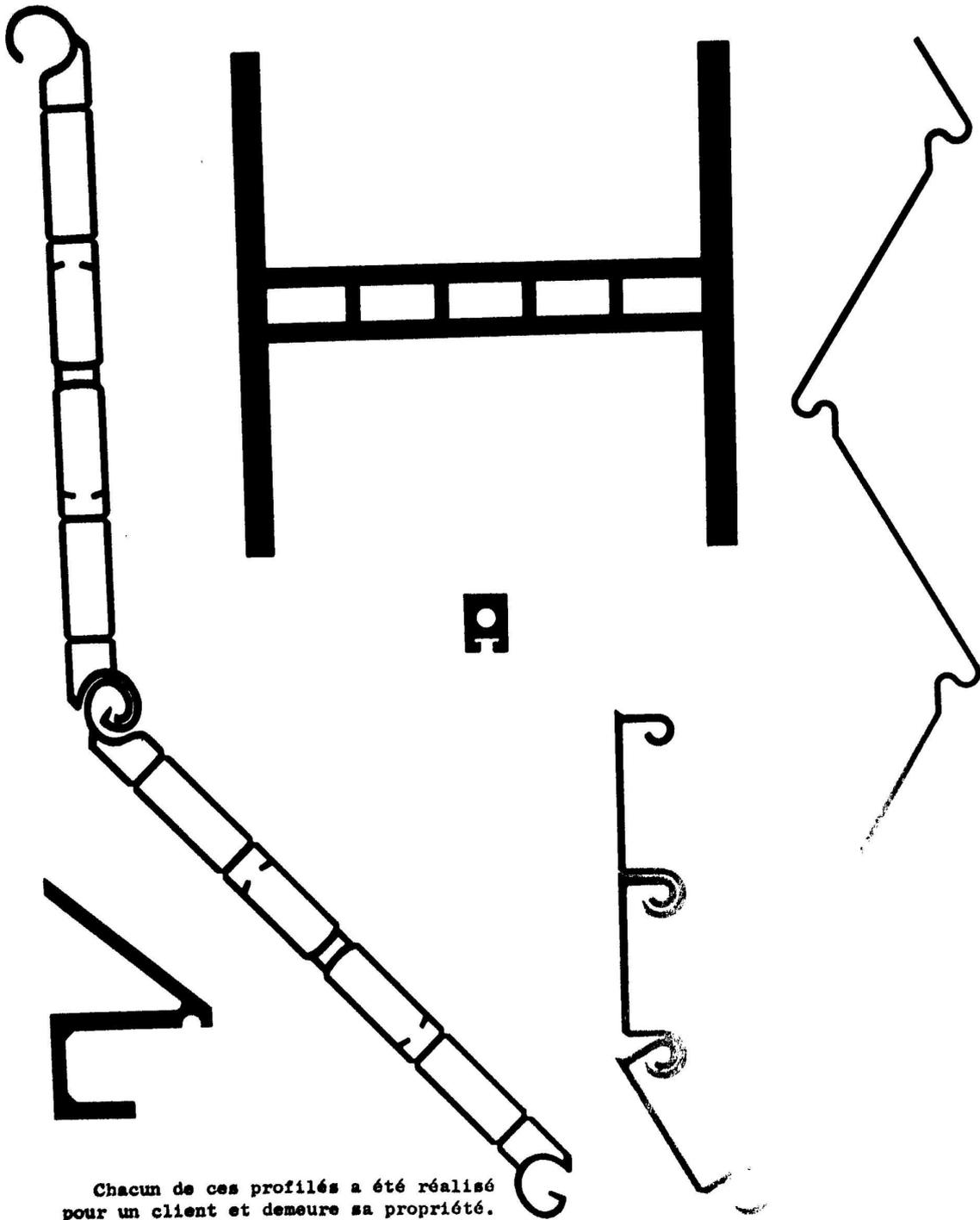
- o -



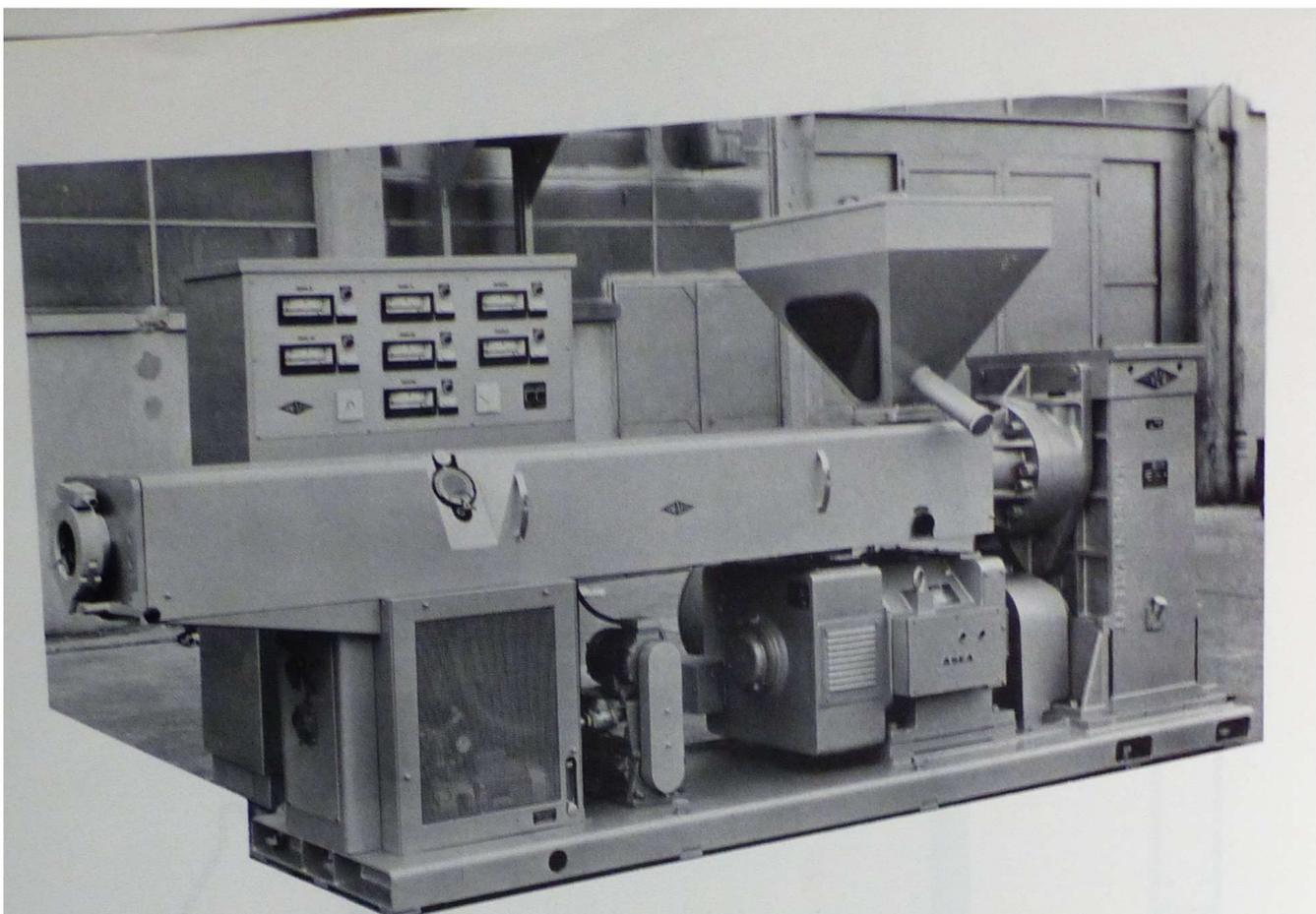
VUE EN COUPE D'UNE EXTRUDEUSE

COUPES DE QUELQUES PROFILÉS

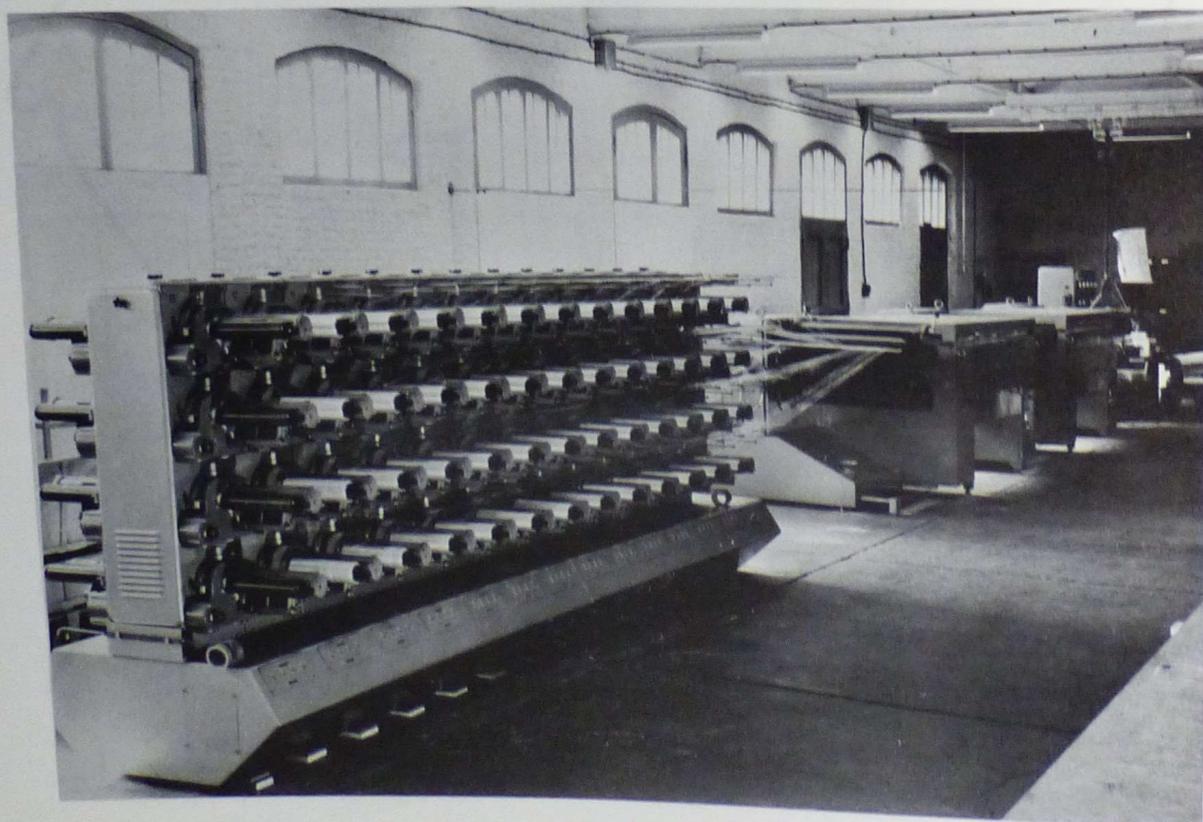
grandeur nature



Chacun de ces profilés a été réalisé pour un client et demeure sa propriété.



Extrudeuse Φ 90 – 35 D avec prise de dégazage



Extrusion de monofilaments

COMPORTEMENT DE LA MATIERE A L'INTERIEUR DE L'EXTRUDEUSE 3

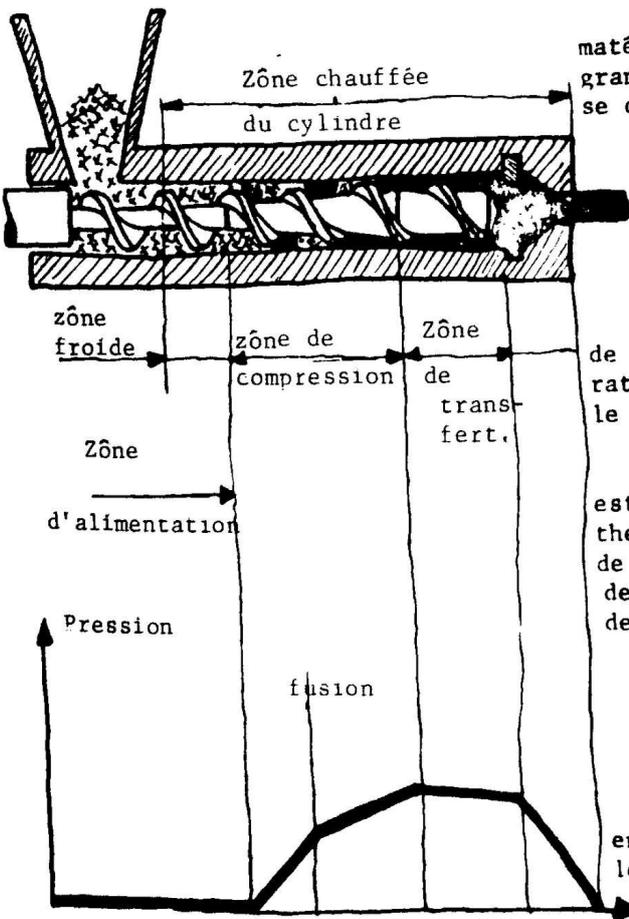


3.1 GELIFICATION

3.1.1 - LES DIFFERENTES ZONES D'UNE EXTRUDEUSE.

3111 - Zône d'alimentation

Dans cette zône, le matériau est pulvérulent ou sous forme de granulés; mais comme il est compacté, il se comporte comme une masse solide.



3112 - Zône de compression

Sous l'action combinée de la compression de la vis, de la température du cylindre et du freinage du filtre, le matériau se gélifie progressivement.

La vitesse de gélification est fonction des propriétés physiques et thermiques de la matière, des dimensions et de la forme des particules, de la température de la vitesse de rotation et de la géométrie de la vis.

3113 - Zône de transfert

Le matériau, qui est entièrement gélifié, est poussé à travers le filtre.

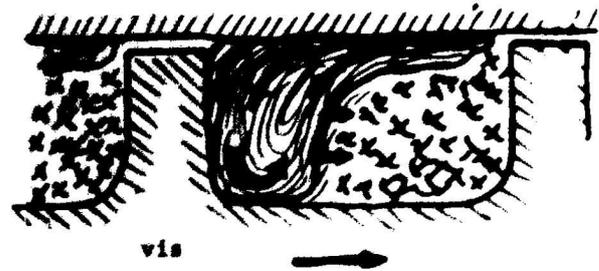
Ce filtre a pour but de freiner l'écoulement de la matière, de supprimer sa rotation et de retenir les morceaux de matières insuffisamment gélifiés.

3.1.2 - Les modes de gélification

3121 - Fusion par l'arrière du filet

Ce mode de fusion est le plus fréquent; il se produit pour les noudres de polystyrène, polyoléfine, polychlorure de vinyle.

La matière fondue au contact du cylindre se tasse à l'arrière du filet.



3122 - Fusion par l'avant du filet

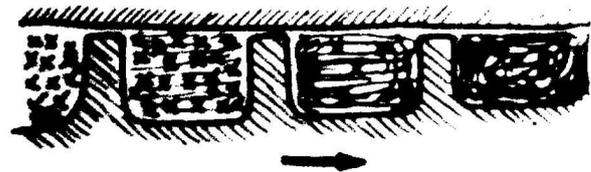
C'est le mode de fusion des polymères moyennement visqueux.

La noudre, amollie par la chaleur du cylindre, passe entre la vis et le cylindre où les contraintes de cisaillement importantes terminent la fusion. Le départ de noudre vers l'arrière du filet crée une zone de dépression où se loge le polymère fondu.



3123 - Frittage

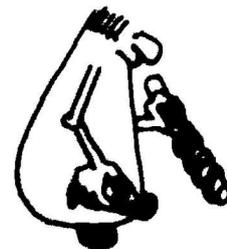
Le matériau se gélifie en masse; il n'y a pas de zone de fusion. C'est le cas des polyéthylènes haute densité.



3.1.3 - PROGRESSION DE LA MATIERE

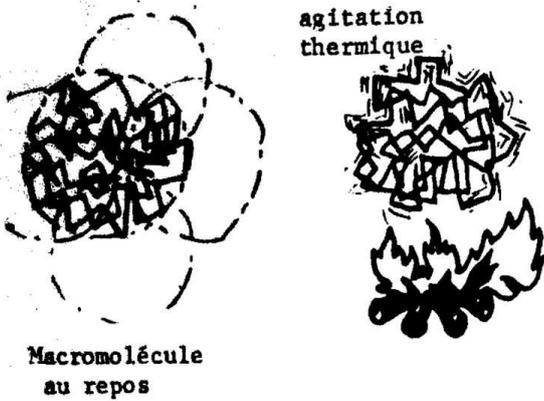
Dans un fonctionnement idéal, l'ensemble vis-matière devrait se comporter comme un système vis-écrou.

Pour cela, il faut empêcher la rotation de la matière avec la vis et lui imposer un écoulement longitudinal, en augmentant le coefficient de frottement matière-cylindre et en diminuant celui de la vis et de la matière. C'est ce que l'on obtient en refroidissant la vis, car le frottement matière-métal augmente avec la température.



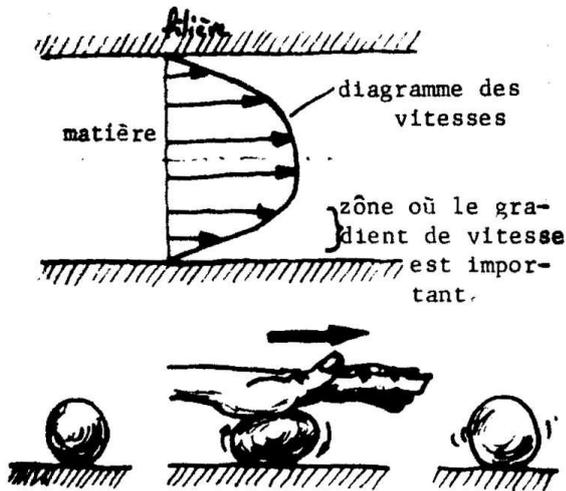
3.2 ORIENTATION MOLECULAIRE

3.2.1 - COMPORTEMENT DE LA MOLECULE



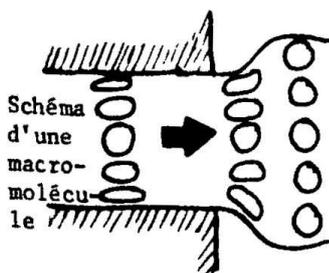
Lorsqu'elle n'est soumise à aucune contrainte, la macromolécule linéaire occupe la position dans laquelle son énergie potentielle est minimum. Elle est pelotonnée sur elle-même.

Si sa température s'élève, les atomes de la molécule s'agitent (agitation thermique) et tournent autour des liaisons "carbone". Des contraintes mécaniques peuvent alors facilement la déformer.



Dans la filière, la macromolécule a tendance à s'allonger, là où le gradient de vitesse est le plus important, c'est-à-dire quand la différence de vitesse de deux points voisins est la plus grande.

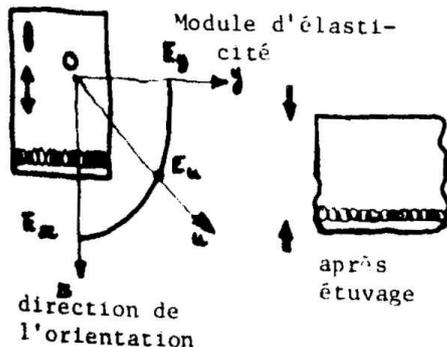
Dans la zone de fort gradient de vitesse, la macromolécule se comporte un peu comme une balle en mousse que l'on pousse sur une table. La balle s'anlatit puis reprend sa position initiale dès qu'on cesse de la pousser. C'est ce qui se passe à la sortie de la filière où l'on constate un gonflement de la matière.



3.2.2 - IMPORTANCE DE L'ORIENTATION

MOLECULAIRE

Les caractéristiques d'un matériau avant une orientation moléculaire sont différentes suivant les axes où elles sont mesurées.

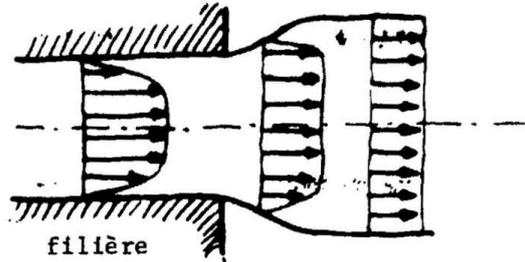


Par ailleurs, lorsqu'un tel matériau est chauffé, les molécules reprennent leur position pelotonnée et l'on observe une contraction dans la direction de l'orientation.

3.3 GONFLEMENT DE LA MATIERE

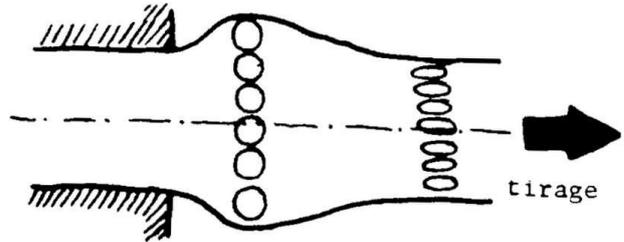
Comme on vient de le voir, lorsque les molécules ne sont plus soumises à des contraintes, elles retrouvent leur forme initiale à la sortie de la filière.

Le diagramme des vitesses, qui avait une forme approximativement parabolique, devient linéaire.



Il faut noter cependant que ce gonflement n'est pas dû à la compressibilité du matériau, car pour obtenir la même augmentation de section il faudrait des pressions considérables. De ce fait, les débits dans la filière et à la sortie de celle-ci sont à peu près constants.

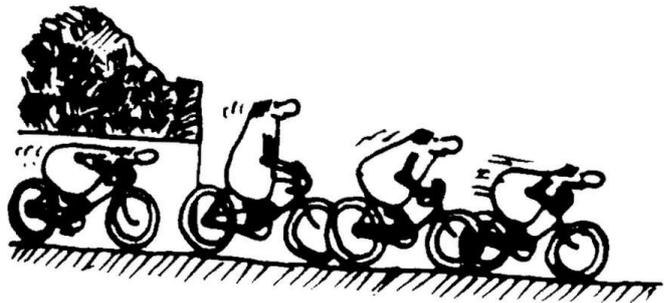
Si l'on tire sur le profilé afin de l'amener à une section voisine de celle de la filière, la vitesse de la matière va augmenter derrière la zone de gonflement et l'on aura un allongement des molécules dans toute la section.



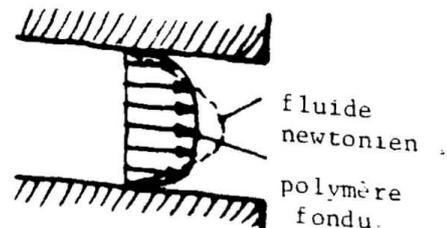
3.4 IMPORTANCE DE LA CONSTANCE DE LA VITESSE.

3.4.1 - NOTIONS SUR L'ÉCOULEMENT DES FLUIDES.

Pour les fluides visqueux incompressibles (fluides newtoniens) des équations relativement simples permettent de connaître la façon dont ils s'écoulent dans des conduits; par contre, les polymères fondus se comportent comme des fluides visqueux élastiques et les équations qui régissent leur écoulement sont d'un emploi peu commode.



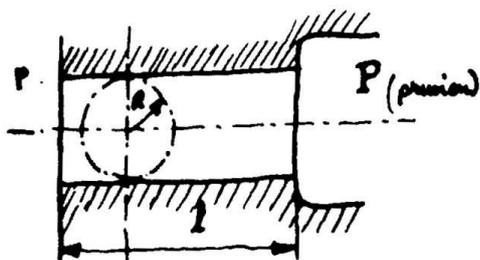
Cependant, avec une approximation satisfaisante, on peut considérer que les plastiques fondus se comportent comme des fluides newtoniens.



Comparaison entre l'écoulement du fluide newtonien et celui du polymère fondu.

Valeur des débits et des vitesses

D'après l'équation de Poiseuille qui régit l'écoulement d'un fluide Newtonien, les vitesses et les débits sont proportionnels à un coefficient qui dépend de la forme de la section, à la différence de pression entre les deux extrémités du canal, et inversement proportionnels à la longueur du canal et à la viscosité du fluide.



$P - P' = \Delta P$

. Dans un tube de section circulaire :

le débit $q = \frac{\pi}{8\eta} R^4 \cdot \frac{\Delta P}{l}$ est proportionnel à la puissance 4 du rayon;

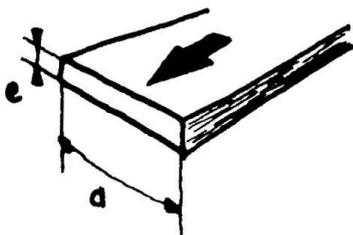
la vitesse $v = \frac{R^2}{8\eta} \frac{\Delta P}{l}$ est proportionnelle au carré du rayon.

. Dans un canal rectangulaire étroit :

le débit : $q = \frac{a \cdot e^3}{k\eta} \cdot \frac{\Delta P}{l}$ est proportionnel à la largeur et au cube de l'épaisseur.

la vitesse: $v = \frac{e^2}{k\eta} \cdot \frac{\Delta P}{l}$ est proportionnelle au carré de l'épaisseur.

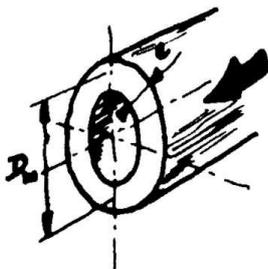
(k est un terme qui dépend du rapport $\frac{a}{e}$, il vaut 12 quand $\frac{a}{e}$ est grand)



. Dans un anneau :

le débit $q = \frac{\pi}{\eta k} \cdot D_m \cdot e^3 \cdot \frac{\Delta P}{l}$ est proportionnel au diamètre moyen et au cube de l'épaisseur;

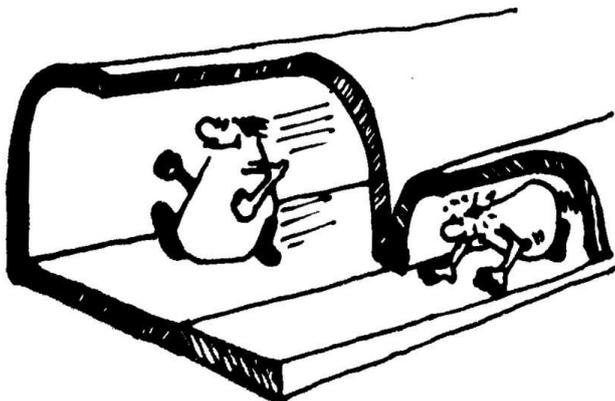
la vitesse $v = \frac{\pi}{\eta k} e^2 \cdot \frac{\Delta P}{l}$ est proportionnelle au carré de l'épaisseur.



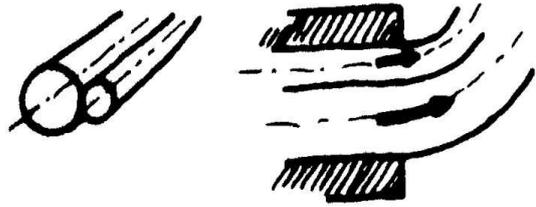
3.4.2 - INFLUENCE DE LA VITESSE

DANS LA FILIERE.

Dans le cas d'un profilé de section dissymétrique - exemple de deux cercles de rayons différents, l'un étant double de l'autre - d'après ce que l'on vient de voir la vitesse dans la section la plus grande sera 4 fois supérieure à celle de l'autre section. Le profilé qui sortira ne sera pas rectiligne et les dimensions ne seront pas respectées.



Par ailleurs, les orientations moléculaires risquent d'être différentes dans la section et le profilé aura un mauvais comportement à la chaleur.



3.4.3 - LONGUEUR DE LA FILIERE

On a vu l'influence de la longueur du canal sur la vitesse d'écoulement; cependant les rapports longueur filière/épaisseur sont fixés en fonction de la viscosité de la matière extrudée : 10/1 pour les matières de grande viscosité à 30/1 pour les viscosités plus faibles.

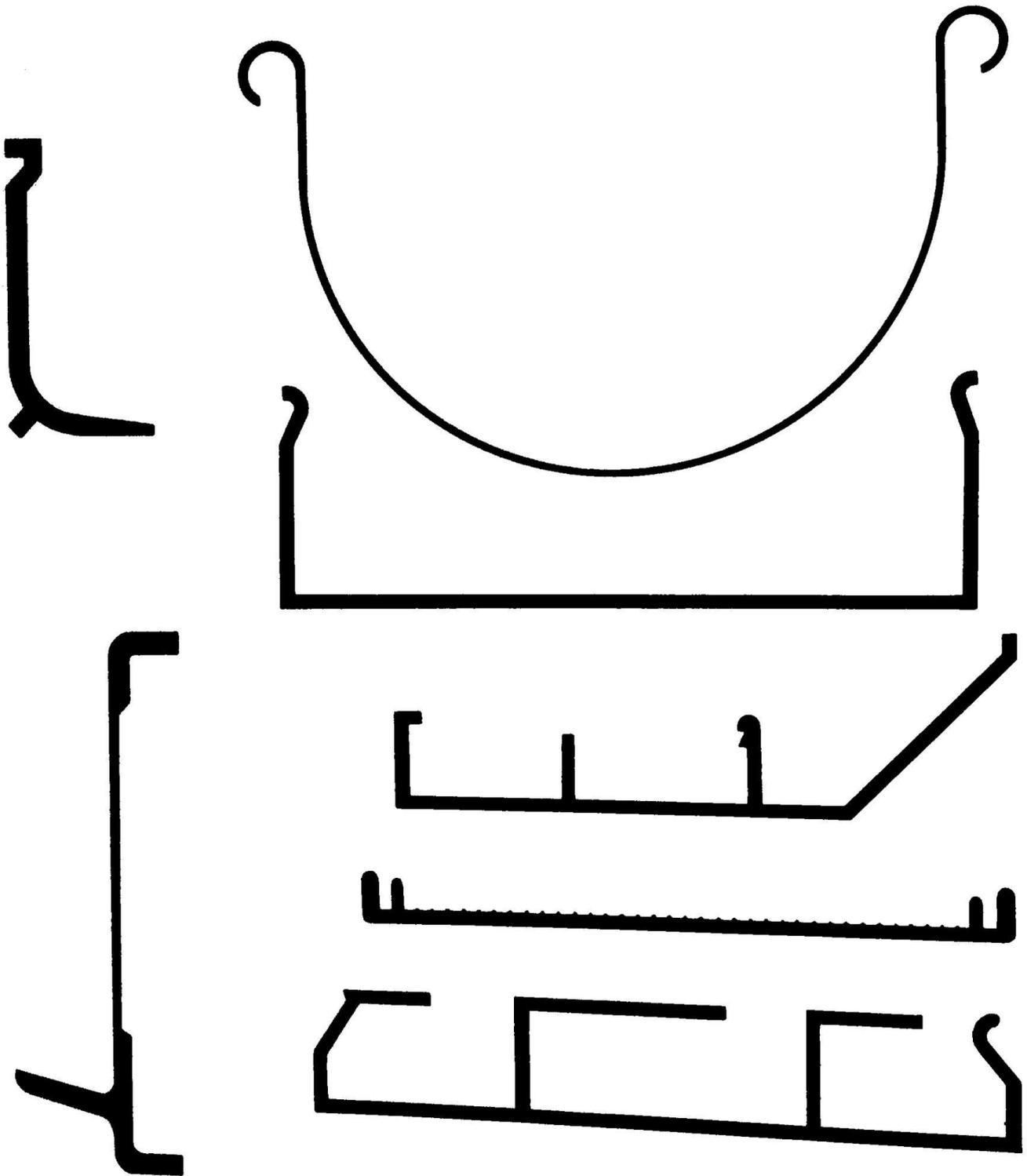
Ouvrages complémentaires à consulter

GUIDE
DE L'UTILISATEUR
DE
PROFILES PLASTIQUES
1966 - 68 pages
nombreux schémas et tableaux
- o -
Publication du
Syndicat National des Extrudeurs
de Profilés Plastiques
3, rue Copernic, 75-Paris (16°)

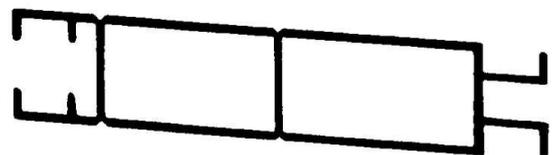
NOTIONS
SUR LES EXTRUDEUSES
ET L'EXTRUSION
DES PLASTIQUES
1968 - 88 pages
28 dessins et schémas hors texte
- o -
Publication du
Centre d'Etude
des Matières Plastiques
21, rue Pinel, 75-Paris (13°)

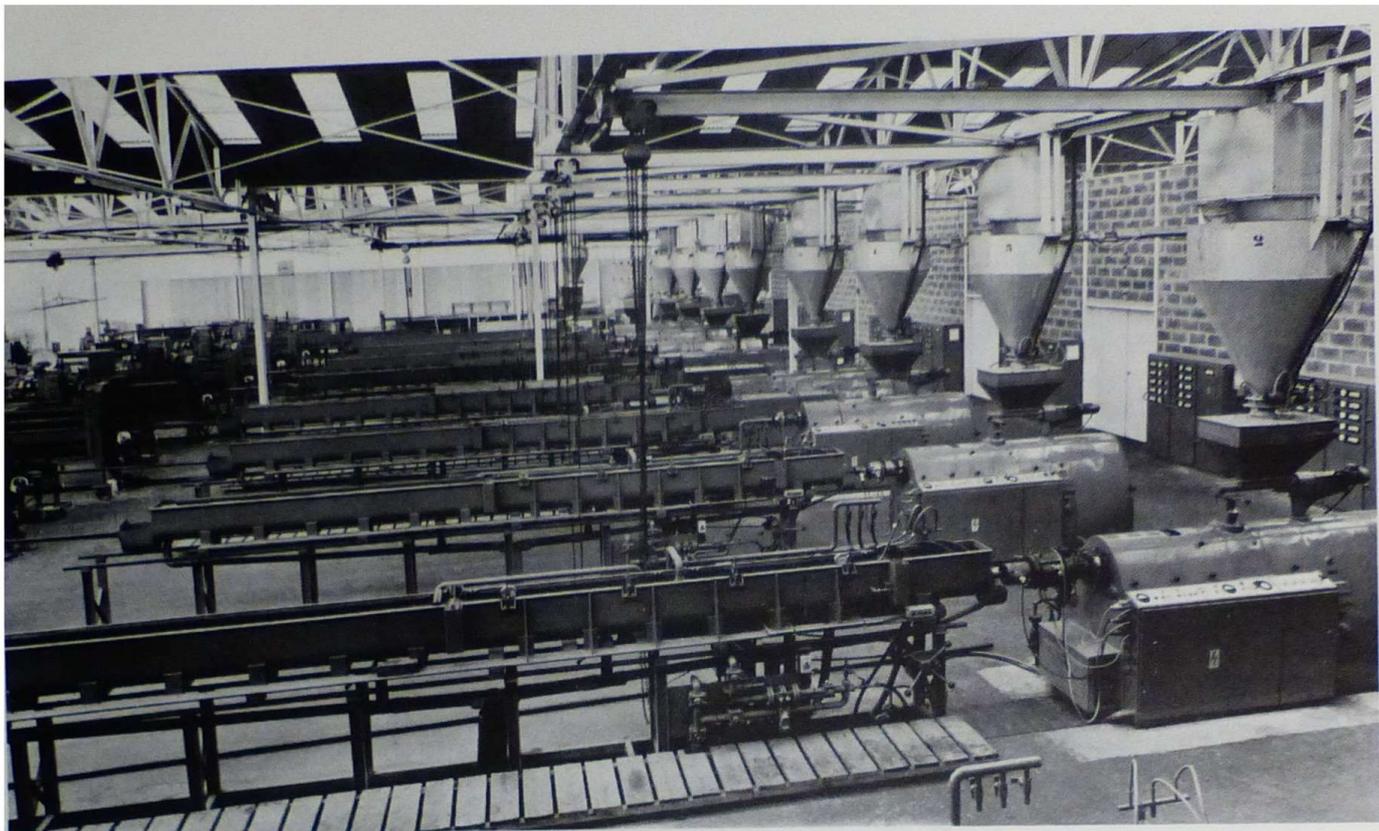
COUPES DE QUELQUES PROFILÉS

grandeur nature

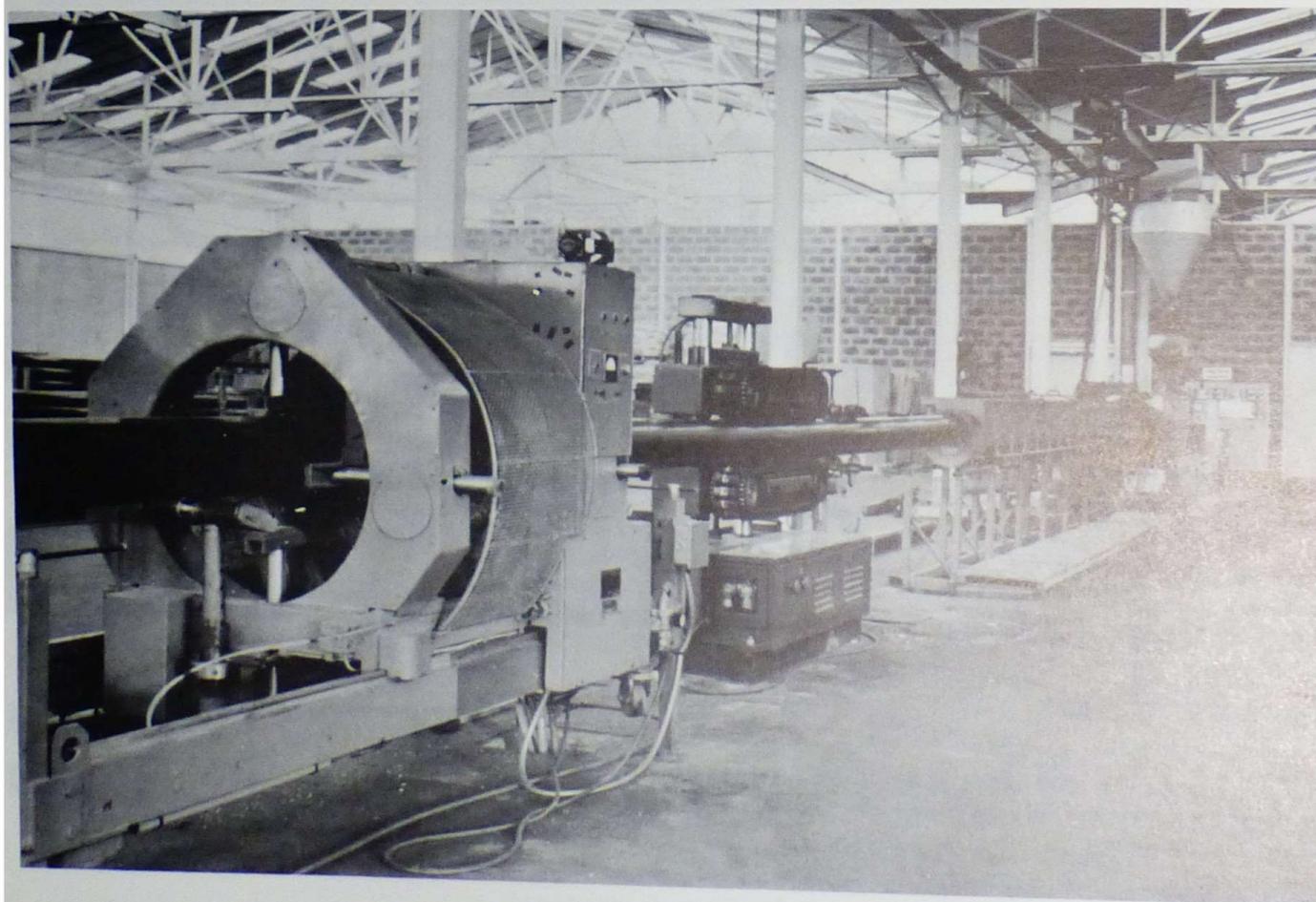


Chacun de ces profilés a été réalisé pour un client et demeure sa propriété.





Atelier d'extrusion de tubes PVC



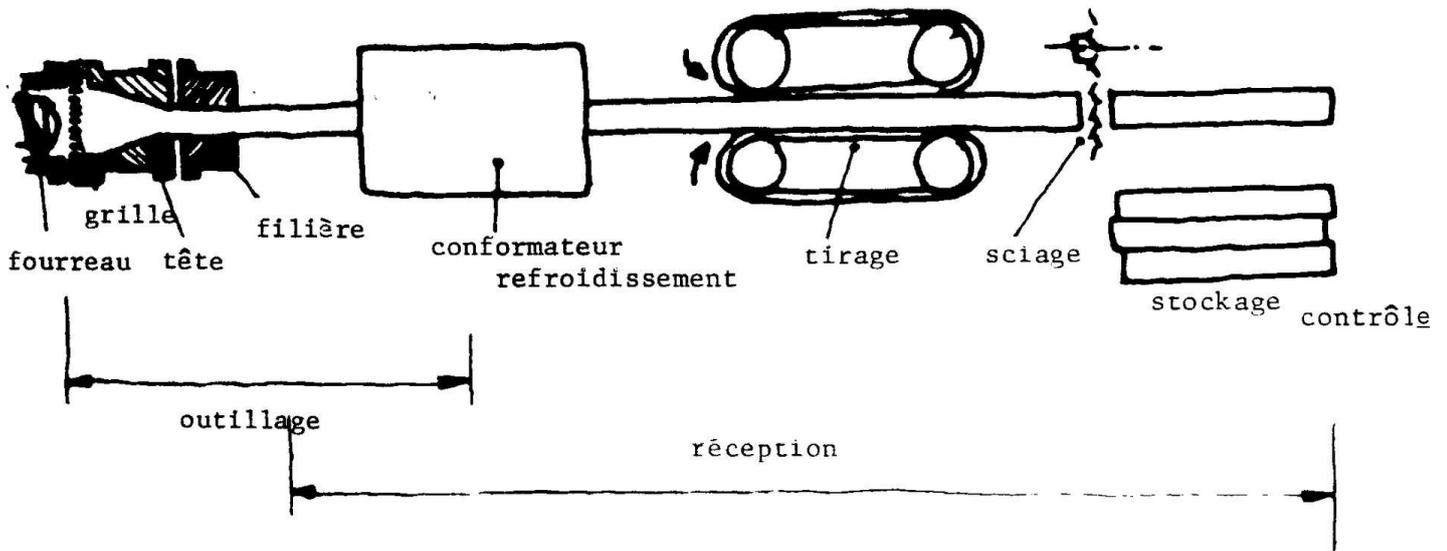
Extrusion d'un tube rigide de gros diamètre en PVC

OUTILLAGES . RECEPTION 4

Outillages

Sous la dénomination "outillages d'extrudeuses" est rangé l'ensemble des pièces mécaniques spécialement conçues pour l'obtention d'un profil déterminé. Chaque profil nécessite un outillage comprenant :

- une tête porte-filière : pièce généralement commune à plusieurs profils;
- une filière : pièce conçue spécialement pour obtenir un profil déterminé;
- un calibre refroidisseur ou conformateur : ensemble de pièces dont certaines sont adaptées au profil extrudé, les autres étant communes à plusieurs fabrications



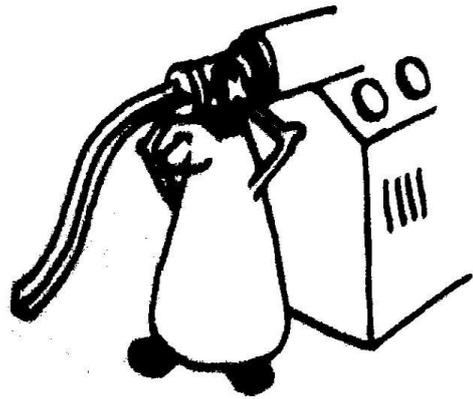
Réception

C'est l'ensemble des opérations ou machines nécessaires à l'obtention du produit fini, situées entre la filière et le contrôle.

La technique propre à chaque profilé est exposée dans le chapitre 6 traitant des différents types de profilés.

4.1 LA TÊTE PORTE-FILIERE

La tête est l'ensemble mécanique fixé en bout du fourreau de l'extrudeuse, en aval de la vis de plastification. Son rôle essentiel est de permettre le montage d'une filière à travers laquelle sera extrudée une veine de plastique dont la forme (profil) correspondra à la géométrie du trou de cette filière.

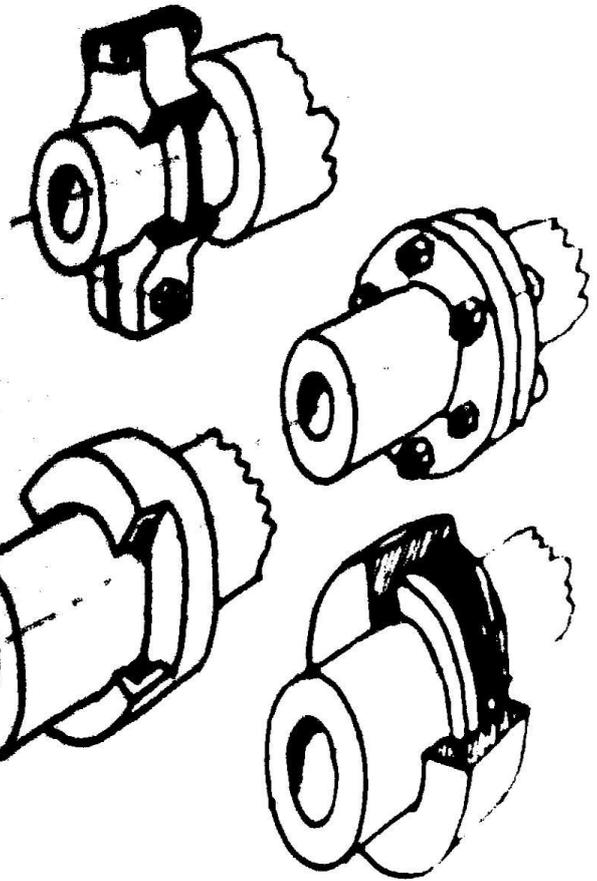


La tête est un élément mécanique commun à de nombreuses filières; les caractéristiques dimensionnelles de la tête, ainsi que des filières, sont déterminées par le diamètre de la vis de plastification.

4.1.1 - FIXATION DE LA TÊTE

La tête est fixée sur le fourreau de l'extrudeuse de diverses manières selon les constructeurs :

- par colliers de serrage coniques,
- par brides et boulons,
- par bafanette,
- par filetage, etc



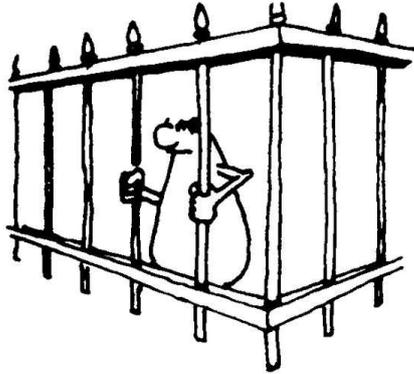
4.1.2 - MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

La tête est généralement construite en acier mi-dur (40 kg/cm²), parfois en acier traité ou en acier nickel-chrome si elle doit être partiellement en contact avec la matière (PVC).

4.1.3 - CHAUFFAGE

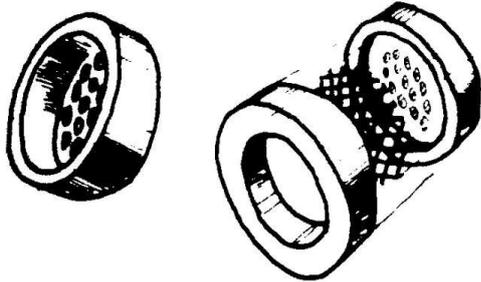
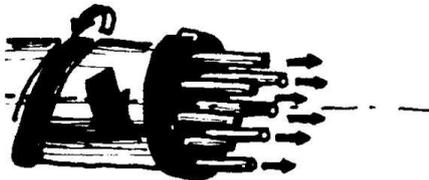
Il doit être précis, une régulation étant nécessaire si l'on veut éviter une dégradation de la matière. Dans la plupart des cas, le chauffage est obtenu par des résistances électriques en colliers enserrent toute la surface extérieure de la tête, sans discontinuité, afin que l'apport calorifique soit régulier et rayonnant vers l'axe de la tête. On peut également utiliser des résistances tubulaires ou des cartouches chauffantes, mais il faut toujours que leur répartition soit judicieusement faite, pour éviter toute zone de surchauffe. La régulation de la température de la tête est d'autant plus nécessaire qu'il n'y a généralement pas de dispositif de refroidissement à ce niveau.

4.1.4 - LA GRILLE

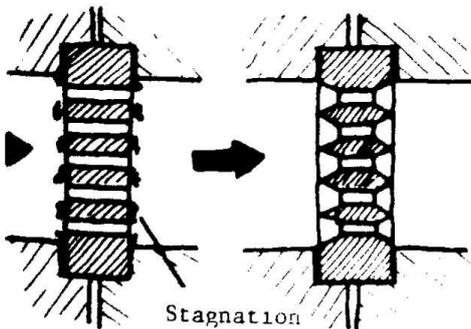


C'est une pièce indépendante de la tête, mais qui y est fonctionnellement intégrée. Il s'agit dans la plupart des cas d'un disque d'acier au chrome, percé de trous, qui se trouve bloqué entre l'extrémité du fourreau et l'arrière de la tête, lorsque celle-ci est fixée sur le fourreau.

La forme de cette grille peut varier avec la forme de la tête; ce peut être un disque de 1 à 2 cms d'épaisseur ou une cuvette dont le fond est percé de trous. La grille peut également être constituée de deux disques identiques comportant entre leurs deux faces un tamis en fil d'acier inoxydable, à mailles plus ou moins fines selon la nature de la matière plastique qui le traversera. Les entrées et les sorties des trous doivent être parfaitement profilées, pour qu'il n'y ait aucun risque côté entrée ou côté sortie, que la matière ne soit freinée et se dégrade.



La grille, dénommée aussi "grille de contre-pression", permet d'augmenter la pression de la matière en bout de vis, donc d'améliorer le malaxage et l'homogénéisation du produit extrudé. Elle permet également de fractionner les veines de matière sortant du fourreau sous l'action de la vis et par là de régulariser le flux de matière avant son passage à travers la filière; mais, pour atteindre ce but, il faut naturellement que les trous de la grille aient été parfaitement répartis et exécutés, pour que la grille ne perturbe la progression de la matière au lieu de la faciliter. Lorsque l'on adapte un tamis à la grille, son rôle est de retenir les impuretés de la matière, tout en augmentant la pression en bout de vis.



Le chauffage de la grille se fait à partir de la tête par conduction. Il faut noter que la friction de la matière, en passant à travers les trous de la grille, engendre une élévation de la température; de ce fait, la grille est souvent portée à une température plus élevée que la tête. C'est un incident fréquent et difficile à contrôler.

4.1.5 - FIXATION DE LA FILIERE

La filière est fixée par vis, cône, etc. - à l'extrémité de la tête. Elle y est généralement emboîtée avec jeu. Elle peut ou non dépasser de l'extrémité de la tête.

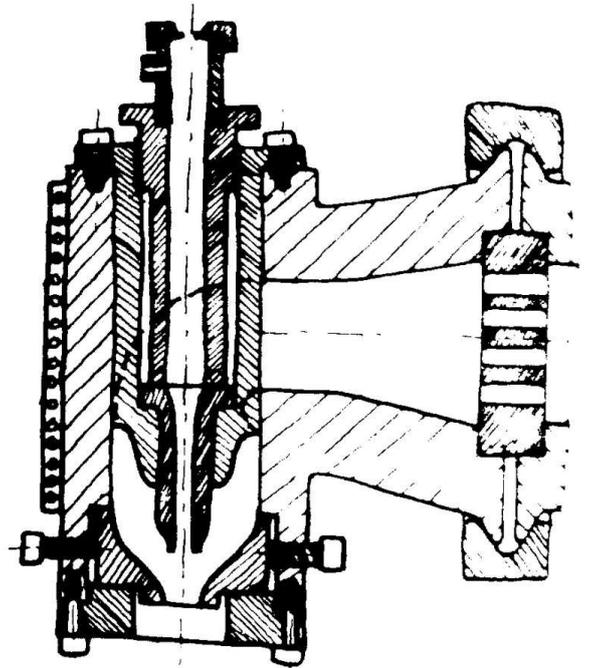
Pour certains types de filières, des vis (4 généralement), disposées radialement et sur le même plan, traversent l'épaisseur des parois de la tête, permettant de déplacer la filière par rapport aux autres éléments fixes de l'outillage (poinçon); cette manoeuvre a pour but de régler les épaisseurs des parois du profil extrudé.

Par souci de simplification, il a été admis que la tête porte-filière est un élément mécanique n'ayant pas de contact direct avec le flux de matière, celle-ci transitant par la filière. En fait, très souvent, les surfaces internes de la tête sont en contact avec la matière et participent à la mise en forme du flux avant son passage dans la filière; il faut donc que la qualité de l'acier et la précision d'usinage soient égales à celles des filières.

4.1.6 - TETE D'EQUERRE

Lorsque l'on désire réaliser un profil creux et simultanément introduire en continu dans ce creux un autre profil-en métal, bois, textile, etc. - il est nécessaire d'utiliser une tête d'équerre. L'axe de sortie du profil creux est généralement à 90° de l'axe de la vis d'extrudeuse; cet angle peut varier selon les conditions de travail. Le sens de sortie peut être soit vertical vers le bas ou vers le haut, soit horizontal.

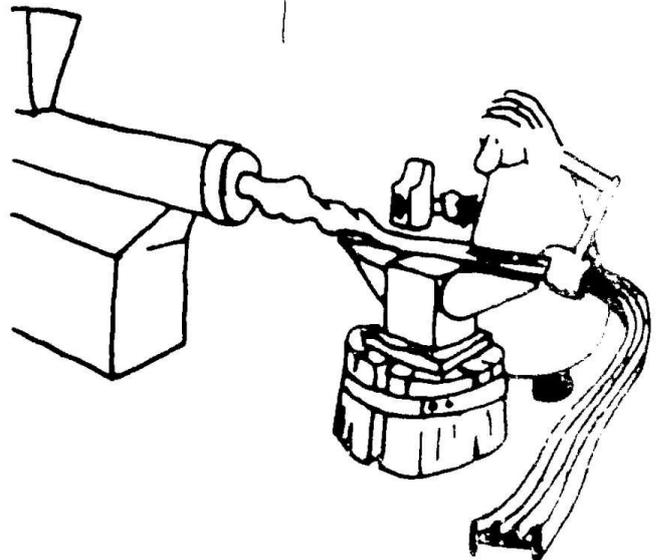
La tête d'équerre est également utilisée lorsqu'on désire introduire dans l'axe du profil une pression d'air dans le but de déformer les parois du profil (extrusion-soufflage, extrusion-gonflage).



4.2 LA FILIERE

La filière est l'outil qui façonne le flux de matière gélifiée, afin de lui donner le profil désiré. La filière est exécutée en acier traité ou en acier au chrome, pour éviter l'usure et l'oxydation. Elle doit se démonter et se nettoyer facilement.

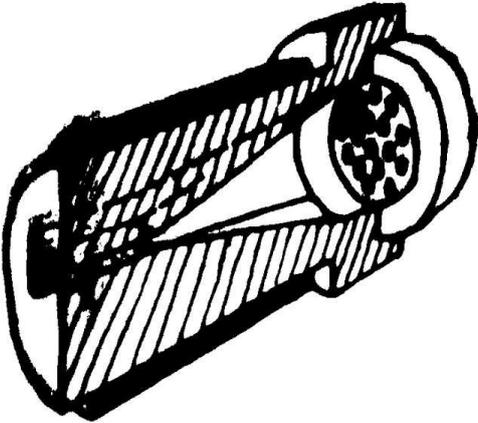
Les filières sont différentes selon le type de profil que l'on désire réaliser. On peut schématiquement les classer de la façon suivante : filière sans poinçon, filière avec poinçon, filière avec poinçon montée sur tête d'équerre, filière à entrées multiples, filière "outil".



Nota : tous les types de filières peuvent être à sorties multiples.

4.2.1 - FILIERE SANS POINCON

Elle est destinée à la réalisation de profils " pleins ", tels que joncs, fils, profils à sections diverses, plaques, etc.

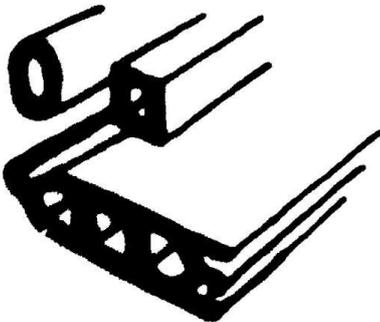


La filière a pour but de transformer graduellement un cylindre de matière gélifiée, ayant le même diamètre que le diamètre de la vis (cas d'une monovis), en un profil ayant une surface de section plus faible que la section du cylindre initial; ce travail est réalisé sous l'action de la pression exercée par la vis et des calories fournies à la matière thermoplastique. La diminution de volume imposée par les outillages engendre une augmentation de la pression en bout de vis, ce qui améliore l'homogénéisation de la matière. Ce transit sous pression de la matière à travers la filière doit se faire graduellement, sans freinage local, l'idéal étant d'obtenir une vitesse de défilement égale en tous les points de la masse plastique. Pour ce faire, le volume intérieur de la filière, dans le cas de l'extrusion d'un jonc, est schématiquement un tronc de cône, le grand diamètre du cône faisant face à la sortie de vis et le petit diamètre correspondant à la zone de sortie.

La matière plastique, avant de sortir de la filière, traverse une zone dite "zone parallèle" où la section est constante. La matière est laminée à travers cet orifice à section constante, les veines de matière se trouvent toutes orientées parallèlement à l'axe du profil. La longueur de cette zone est fonction de la nature de la matière extrudée et de l'épaisseur des parois du profil. Elle varie entre 10 et 20 fois l'épaisseur de la paroi du profil extrudé.

4.2.2 - FILIERE AVEC POINCON

Elle est destinée à la réalisation de profils creux, tels que : tubes à section circulaire, carrée ou autre, profils creux avec cloisons (lames de volets), gaines, etc.



Ce type de filière ne diffère pas fondamentalement de la filière sans poinçon; on retrouve les mêmes impératifs mécaniques pour laminier graduellement la matière plastique. La différence réside dans la présence d'un poinçon fixé dans l'évidement central de la filière.

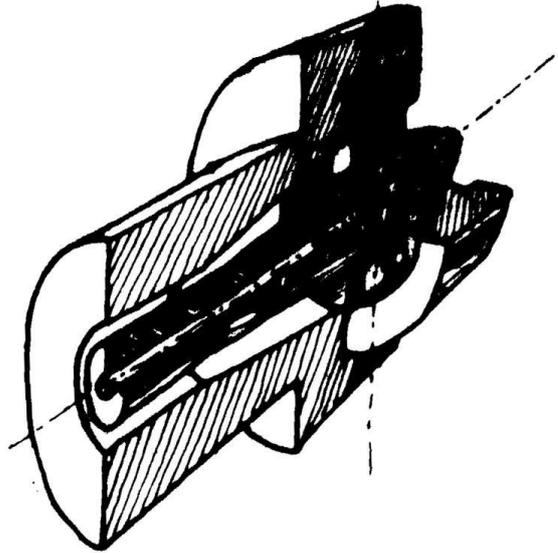
Ce poinçon est maintenu en place par des ailettes, qui sont disposées le plus loin possible de la sortie, afin que ses points d'attache ne puissent perturber la régularité du flux.

Généralement, les attaches qui réunissent le poinçon à la tête porte filière ou à la filière jouent le rôle de grille et permettent le fractionnement du flux.

Le poinçon est souvent réglable en position, pour régler l'épaisseur des parois du profil. Lorsque le poinçon n'est pas réglable, c'est la filière qui peut être légèrement déplacée par rapport au poinçon.

Dans le cas d'outillage destiné aux grandes séries, il est préférable de réaliser un ensemble "filière-poinçon" non réglable afin d'éviter les dérèglages toujours possibles en cours de travail. Ce type d'outillage nécessite naturellement une mise au point plus minutieuse.

Le poinçon peut être de forme simple (extrusion de tubes) ou compliqué (extrusion de lames de volets). Le poinçon peut être percé d'un trou dans toute sa longueur, par lequel on insuffle de l'air à pression faible mais régulière, afin de maintenir les parois et éviter leur déformation avant leur entrée dans le conformateur.

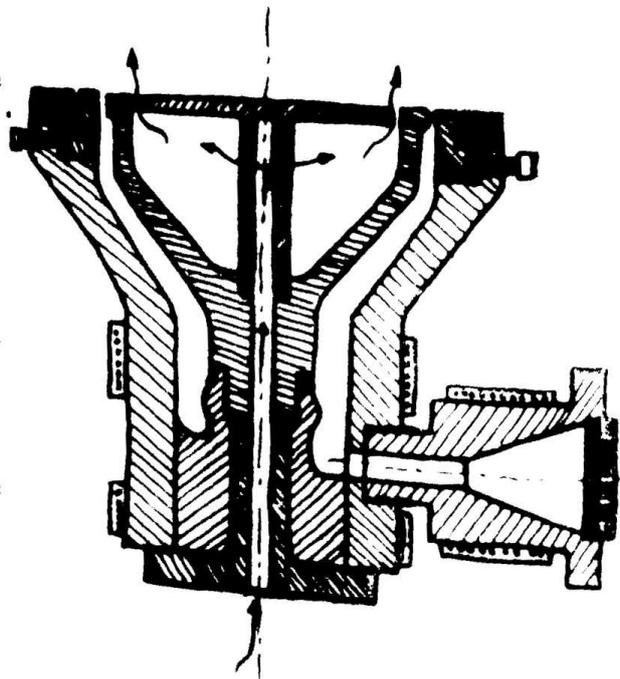


4.2.3 - FILIERE AVEC POINCON

MONTEE SUR TETE D'EUERRE

Elle est destinée à la réalisation de profils creux et permet d'introduire en continu dans ce creux un autre profil (gainage de métal, bois, textile, etc.). Ce dispositif permet également d'introduire aisément dans le creux du profil une pression d'air pour déformer par gonflage le profil plastique encore chaud lorsqu'il sort de la filière : extrusion-gonflage de gaines, films; extrusion-soufflage de corps creux, flacons, etc.

Le principe de construction de cette filière ne diffère pas de celui vu précédemment. La différence réside dans le fait que le flux de matière, au lieu d'être introduit dans l'axe de l'outillage, y est introduit sous un angle de 90° (ou autre inclinaison selon les cas), ce qui permet de dégager l'arrière du poinçon, donc de pouvoir grâce à un poinçon perforé dans toute sa longueur introduire en continu, dans le creux du profil plastique, un ou plusieurs profils de matières diverses ou de l'air sous pression.



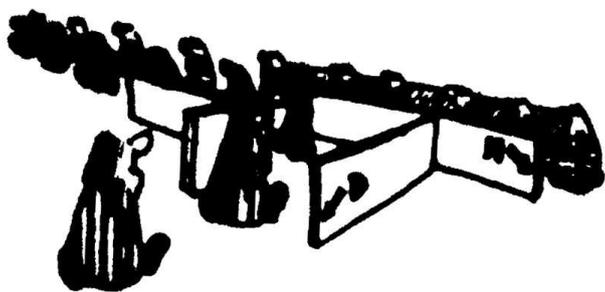
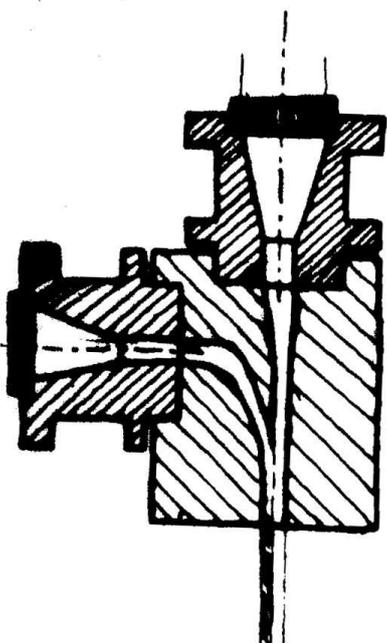
4.2.4 - FILIERE A ENTREES MULTIPLES

Elle est destinée à la réalisation de profils hétérogènes (matières différentes, teintes différentes, etc.) par exemple : joints d'étanchéité présentant une partie en matière rigide et une lèvre en plastique souple, charnière souple entre deux parties rigides, effets décoratifs par assemblage de couleurs, etc.

Le principe consiste à faire converger dans un même outillage des flux de matières différentes provenant de plusieurs extrudeuses. L'outillage transforme ces flux convergents en flux parallèles ; à 2 ou 3 cms de la sortie de la filière (avant cette sortie), ces flux parallèles sont mis en contact les uns avec les autres; ils se soudent alors sous l'effet de la température et de la pression régnant dans la filière.

Ce procédé d'extrusion, simple dans sa théorie, impose des conditions de travail simplement évoquées ici :

- Il faut que les matières différentes utilisées aient des points de ramollissement assez voisins, car l'outillage est porté dans son ensemble à une même température. Il ne faut pas que celle-ci soit trop élevée pour une des matières et trop basse pour l'autre.
- Il faut que les matières aient entre elles des affinités moléculaires, sinon leur soudure ne serait qu'un collage fragile: par exemple, le PVC et les polyéthylènes ne permettent pas une liaison satisfaisante. Généralement, on utilise des matières d'une même famille, telles que PVC rigide et PVC souple, acéto-chlorure et PVC souple.
- Il faut impérativement que les vitesses des différentes veines plastiques soient les mêmes au moment de leur soudure. Pour ce faire, on joue sur le nombre de tours de vis des différentes extrudeuses, ce qui impose des entraînements par variateur continu.
- Dans le cas où les matières utilisées sont dégradables, telles le PVC rigide, la difficulté d'extrusion augmente, car il faut, malgré la complexité des canaux convergents à l'intérieur de la tête et de la filière, qu'en aucun endroit le flux ne soit freiné, tout ralentissement entraînant une surchauffe locale.

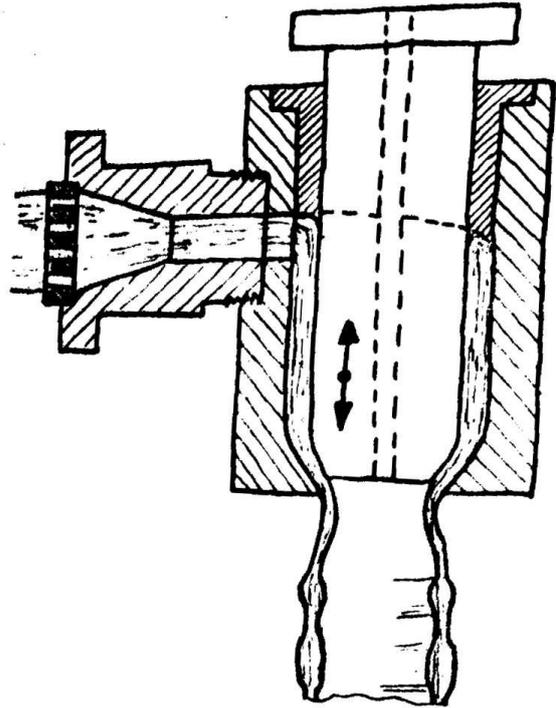


4.2.5 - FILIERE "OUTIL"

Il peut être nécessaire de modifier de façon répétitive les dimensions ou la forme du profil extrudé, sans pour cela interrompre la continuité du profil.

4251 - Filière pour corps creux

Par exemple, dans la fabrication de corps creux (bouteilles), pour obtenir une épaisseur régulière des parois de l'objet fini, il est nécessaire que la paroi du tube (paraison) ne soit pas régulière : la paroi qui une fois soufflée formera le corps doit être initialement plus épaisse que celle qui formera le goulot.

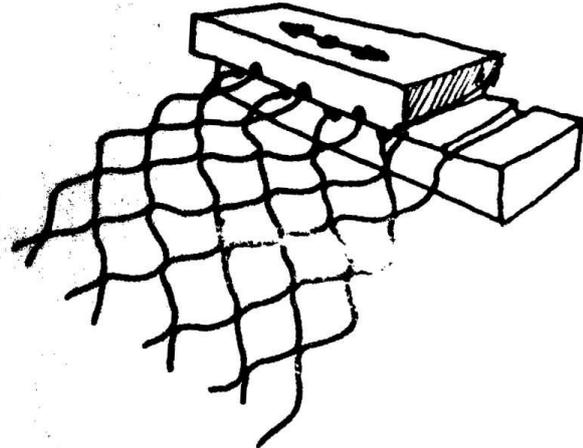
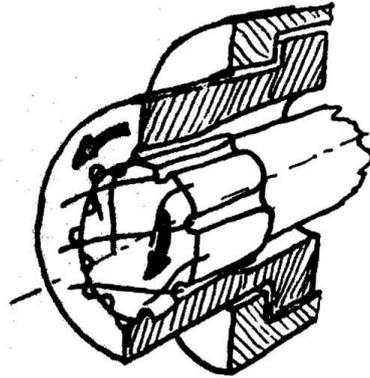


4252 - Filière pour filets

De même, pour la fabrication de mailles en continu (filets), on peut utiliser des filières-outils de trois types :

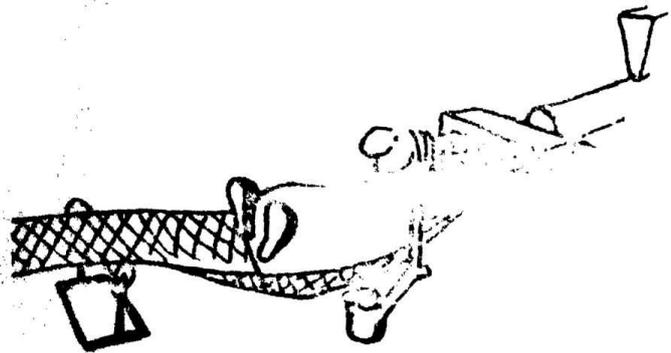
a/ filière circulaire rotative :

Le poinçon de la filière tourne sur son axe et présente à sa périphérie des encoches réparties régulièrement, encoches ayant une dimension correspondant à la section d'un fil de maille. Autour de ce poinçon, tourne en sens inverse une bague fraisée à sa surface interne d'encoches semblables à celles du poinçon. La matière plastique ne peut sortir que par les encoches et non par le plan de joint rotatif. Lorsque les encoches de la bague se trouvent en face des encoches du poinçon, la matière plastique qui en sort forme le noeud des mailles. La rotation inverse du poinçon et de la bague éloigne leurs encoches respectives et la matière plastique forme les fils de mailles. Puis les encoches sont de nouveau alignées pour réaliser un noeud et ainsi de suite. Le filet ainsi extrudé est tubulaire à mailles en losange.



b/ filière plate :

Le principe de cet outillage est le même que l'outillage rotatif. La filière est constituée de deux lèvres glissant l'une sur l'autre d'un mouvement alternatif et opposé. Chaque lèvre est fraisée d'encoches qui tantôt se présentent en face les unes des autres et tantôt s'éloignent; la course des lèvres est égale au pas de la maille. Le filet extrudé est plat.



Il est inutile de souligner la complexité de tels outillages, qu'ils soient rotatifs ou alternatifs notamment la difficulté d'obtenir les plans de joints glissants et cependant étanches.

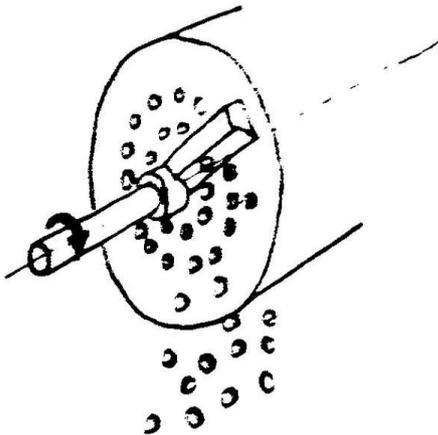
c/filière circulaire rainurée avec poinçon alternatif :

La filière possède des rainures parallèles à l'axe et débite en continu un grand nombre de fils. Le poinçon fait office de soudeur et libère à intervalles réguliers des anneaux de matière qui lient entre eux les fils extrudés. Le filet ainsi obtenu est tubulaire à mailles carrées.

Nota - Les principes de filières décrits ci-dessus font l'objet de brevets.

4253 - Filière de granulation

Il s'agit d'une filière à sorties circulaires multiples, chaque trou ayant de 2 à 3 mm de diamètre. Les joncs extrudés à travers ces trous sont sectionnés par un outil tournant monté en bout de filière. La vitesse de rotation de l'outil est réglée en fonction de la vitesse de l'extrudeuse et de la grandeur des grains que l'on désire fabriquer.

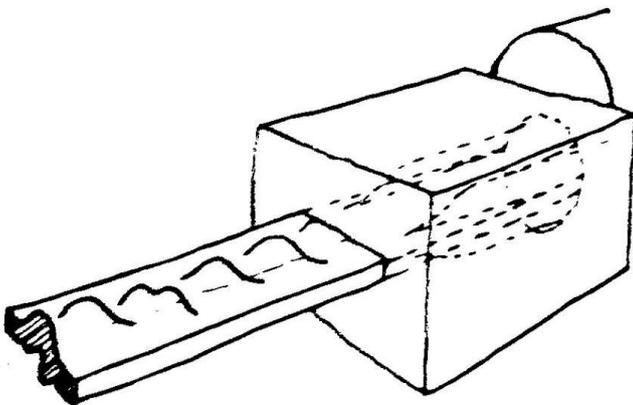


4254 - Filière ondulante

Elle est utilisée pour obtenir sur un profil des effets décoratifs répétés sur toute sa longueur.

Par exemple, si l'on réalise une filière plate pour extruder un ruban de PVC souple et que l'on canalise plus de matière au centre du ruban qu'à ses bords, la vitesse de sortie de la matière au centre sera supérieure à la vitesse sur les bords. Pour une certaine pression d'extrusion et une vitesse de tirage déterminée, on provoque une vibration de la veine plastique au centre du ruban, alors que les deux bords restent plans.

En fait, on cherche à contrôler un phénomène bien connu et généralement gênant de déséquilibre de pression de la filière dans le but d'obtenir un effet décoratif.



4.3 LES CALIBRES REFROIDISSEURS

Lorsque le profil sort de la filière, il est chaud et mou; si on n'exerce aucune traction sur lui, il se déforme immédiatement sous l'effet de son poids.

La traction que l'on exerce sur le profil participe au maintien de sa forme, grâce à l'étirement qui oriente les molécules de la matière plastique. Cette traction doit être régulière et réglée en fonction de la vitesse de sortie du profil.

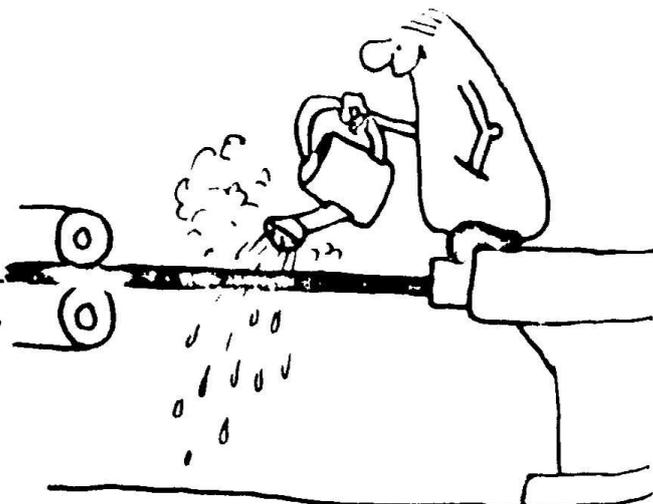
Si la vitesse de traction est trop faible par rapport à la vitesse d'extrusion, le profil ondule et se déforme; si la vitesse est trop grande, l'étirage des veines plastiques se fait irrégulièrement selon la géométrie du profil et on aboutit également à une déformation par rapport au profil que l'on désire obtenir.

On recherche donc un état d'équilibre entre la vitesse de sortie provoquée par la pression de la vis et la vitesse de traction du profil réalisée par le tapis de tirage.

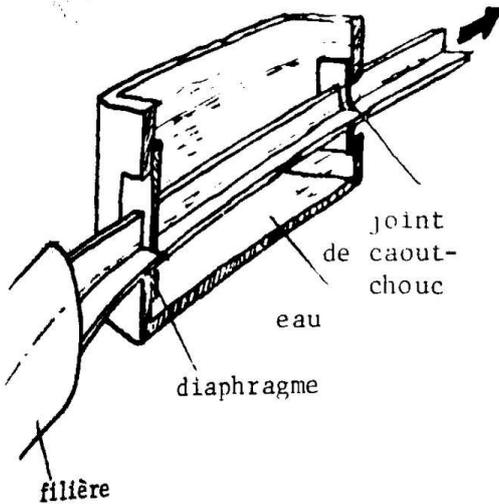
Le profil étant chaud et mou, il faut le refroidir pour stabiliser son état d'équilibre et il faut en plus le calibrer en même temps qu'on le refroidit pour obtenir une régularité dimensionnelle.

Le principe utilisé est fonction de la nature de la matière extrudée.

Le refroidissement doit être contrôlé pour éviter de faire naître au sein de la matière des phénomènes de trempe, engendrant des tensions internes qui, en se libérant lentement, provoquent des déformations imprévues du profil. Ce phénomène est notamment sensible avec le PVC rigide.



4.3.1 - LES DIAPHRAGMES



A la sortie de la filière, à l'endroit où le profil est dimensionnellement stabilisé (étirage nul), on place une plaque métallique de 2 à 5 mm d'épaisseur, percée d'une ouverture ayant la forme du profil. Ce diaphragme calibre la matière encore chaude et ductile.

Le métal du diaphragme refroidit la surface du profil et permet à ce dernier de conserver sa forme. Il faut donc refroidir en permanence le calibre pour qu'il soit toujours à une température inférieure à la matière qui le traverse; sinon, il y a adhérence et blocage. Ce refroidissement peut se faire par ventilation ou, mieux, par circuit d'eau froide.

Un principe très employé consiste à disposer le diaphragme en avant d'un bac d'eau, formant ainsi barrage à l'eau. Le profil plastique obture l'orifice du diaphragme métallique, empêchant l'eau de s'écouler à l'extérieur; en sortant du diaphragme, il se trouve donc baigné complètement dans l'eau, et se refroidit rapidement. L'eau est régulée à une température propre à éviter les risques de "trempe" de la matière plastique.

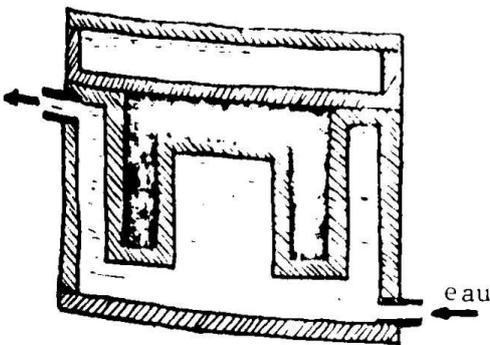
4.3.2 - LES CALIBRES OU CONFORMATEURS

Ce sont des pièces métalliques (acier chromé, aluminium, bronze) fraisées en creux à la forme du profil et refroidies par un circuit d'eau.

Les calibres sont généralement constitués de deux parties :

a/ La semelle inférieure fixée sur un bâti, en aval de la filière, l'entrée étant placée au point d'équilibre de l'étirage du profil. Ce dernier vient glisser dans la fraisure pratiquée sur toute la longueur de la semelle.

b/ Le couvercle, symétrique de la semelle qui une fois assujéti sur cette dernière emprisonne le profil. La longueur du calibre est fonction de la vitesse de défilement et de la nature de la matière; elle peut varier de 0,20 à 1 mètre.



Le profil se refroidit par contact, en glissant sur les faces refroidies du calibre, et de ce fait, il ressort froid et dimensionnellement stabilisé.

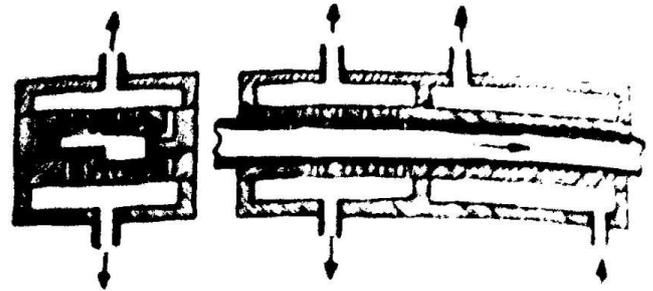
4321 - Conformateur sous vide.

Cet outillage est principalement utilisé pour conformer (ou calibrer) des profils creux rigides, tels que tubes, lames de volets ou persiennes, etc.

Les pièces formant le conformateur sont semblables à celles du calibre métallique précédemment décrit.

Il présente également des canaux de circulation d'eau pour assurer le refroidissement du profil. Mais, en plus, les surfaces sur lesquelles vient glisser le profil sont percées de petits orifices disposés en ligne ou répartis sur une certaine surface. Ces orifices communiquent avec des conduits ménagés dans l'épaisseur de la paroi du conformateur et sont reliés à une pompe à vide.

Les parois chaudes et déformables du profil sont plaquées par le vide contre les faces refroidies du calibre et de ce fait le profil est maintenu à la forme désirée en étant refroidi.



vers pompe à vide

4322 - Conformateur en pression

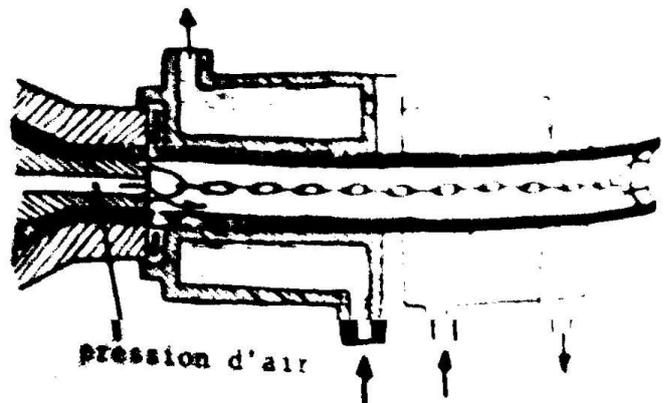
Ce conformateur est utilisé pour le calibrage des tubes et principalement des tubes rigides.

La filière est prolongée par un tube calibre avant le même diamètre intérieur que l'alésage de la filière.

Afin que cette dernière ne soit pas refroidie par le contact du tube calibre, un joint non conducteur est intercalé entre les deux. Le tube calibre est entouré d'une chambre à circulation d'eau froide (température régulière). Le poinçon de la filière est percé pour que l'on puisse admettre à l'intérieur du tube extrudé une pression d'air de l'ordre de 0,5 à 2 bars (selon l'épaisseur de la paroi du tube).

Pour maintenir en permanence cette pression à l'intérieur du tube plastique, il suffit de boucher l'extrémité libre de ce tube.

Pour éviter qu'à chaque coupe la pression interne devienne nulle, on met en place un bouchon "glissant", muni de joints d'étanchéité, maintenu à 10 ou 20 cm en aval du tube calibre par une chaîne ou mieux par une tige munie d'un crochet à l'extrémité opposée au bouchon; ce crochet correspond à un anneau fixé à l'extrémité du poinçon de la filière.



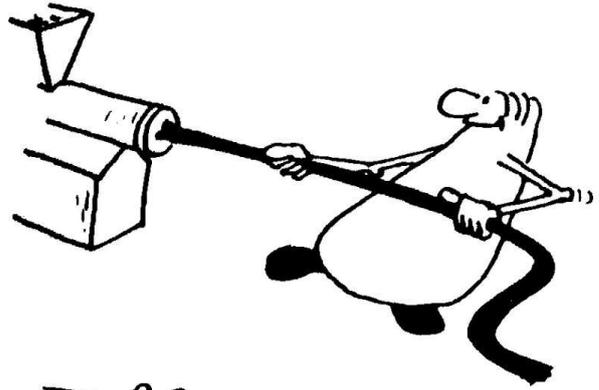
Grâce à ce bouchon glissant, on délimite à l'intérieur du tube plastique, sur 0,5 à 1 mètre, une zone dans laquelle une pression d'air est maintenue constante. Cette pression fait plaquer le tube, encore chaud à sa sortie de filière, contre la paroi intérieure et refroidie du tube calibreur. En se refroidissant, le tube conserve sa forme.

Pour mettre en place le bouchon glissant, il suffit d'extruder quelques mètres de tube sans le refroidir; on peut facilement fendre ce tube selon une génératrice juste en aval du tube calibreur; on écarte les deux lèvres et on introduit la tige rigide du bouchon glissant en direction du poinçon afin de passer le crochet de la tige dans l'anneau fixé en bout du poinçon.

Il est également possible de maintenir un bouchon glissant à corps ferreux, à l'aide d'un champ magnétique produit par une bobine d'induction entourant le tube. Ce principe, bien que séduisant, est moins utilisé que celui précédemment décrit, car il est toujours possible qu'un rétrécissement accidentel du tube extrudé n'entraîne le bouchon glissant métallique, qui échappe à l'action de la bobine d'induction et qui peut venir détériorer la scie de coupe à longueur.

4.4 LE TIRAGE

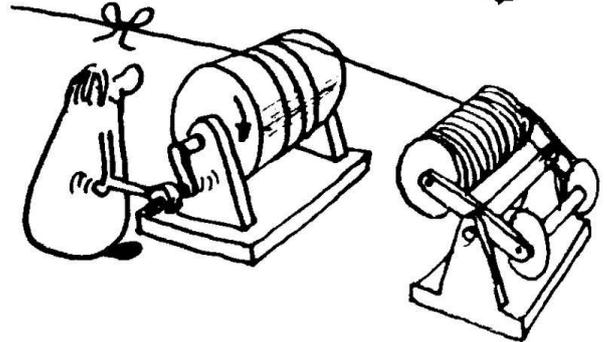
Le tirage a pour but d'entraîner le profilé refroidi. La vitesse de tirage ayant une grande importance sur la dimension du profilé, son réglage doit être effectué avec précision. Ceci impose à chaque appareil de tirage d'être muni d'un variateur continu. Le dispositif de tirage fournit en outre l'effort nécessaire au passage de la matière dans le conformateur.



4.4.1 - TIRAGE PAR CABESTAN

Ce système est utilisé pour l'entraînement de câbles revêtus de matière thermoplastique, ou pour des profilés souples de petites dimensions.

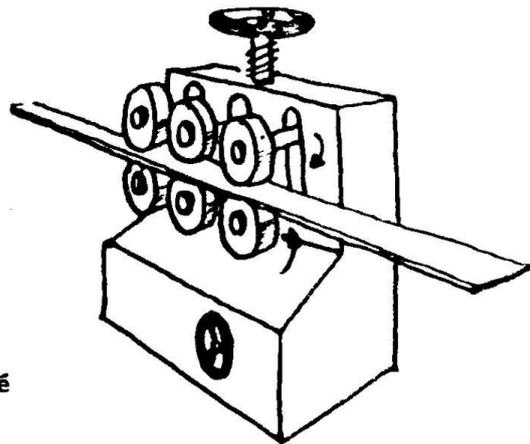
Le cabestan est constitué d'un cylindre dont le diamètre peut varier de 30 cm à 150 cm, tournant à vitesse constante et sur lequel 4 ou 5 spires du câble sont enroulées.



4.4.2 - TIREUR A GALETS

Le profilé est serré entre un certain nombre de paires de galets. Une des roues étant motrice, celle qui lui fait vis-à-vis assure la pression nécessaire à l'entraînement.

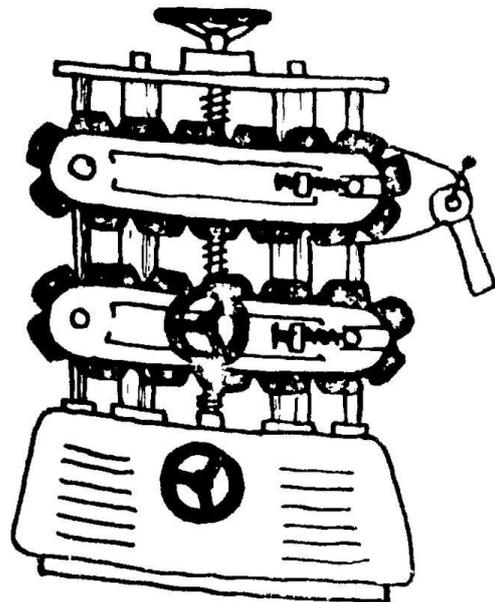
Ce système est employé lorsque le profilé présente deux faces parallèles sur lesquelles les galets peuvent s'appuyer. Il peut convenir à d'autres formes si les galets sont usinés avec une section dans un plan radial complémentaire de la section du profilé.



4.4.3 - TIREUR A CHENILLES

C'est un des systèmes les plus utilisés, car il convient à la plupart des types de profilés.

La machine est constituée de deux courroies qui portent des tampons en caoutchouc, le serrage le long du profilé étant assuré par deux séries de rouleaux prenant appui sur la courroie.



4.4.4 - TAPIS TIREUR

Il est essentiellement constitué d'un tapis sur lequel repose le profilé. La pression d'entraînement est fournie par le poids du profilé et complétée par un galet presseur.

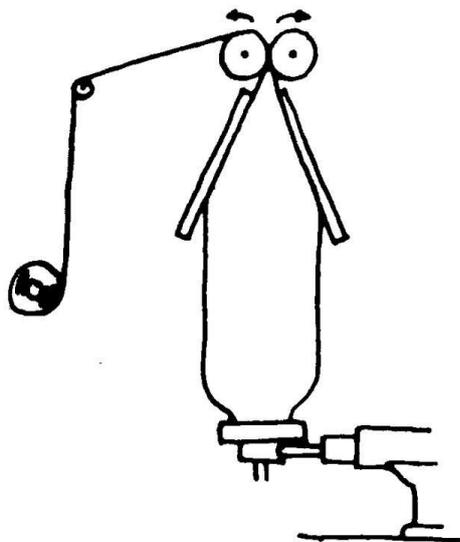


On utilise ce procédé pour le tirage des profilés souples.

4.4.5 - TIRAGE PAR ROULEAUX ADJACENTS

C'est de cette façon que l'on tire les films tubulaires.

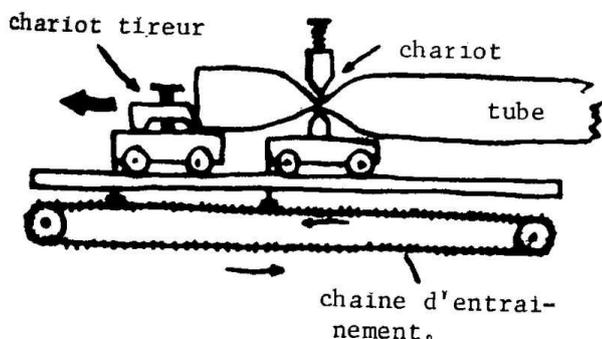
Deux rouleaux, dont l'un est caoutchouté, entraînent le film pincé entre leurs génératrices.



4.4.6- TIRAGE PAR CHARIOT

On a recourt à ce système pour tirer les tubes de grand diamètre car il permet d'éviter la fuite de l'air soufflé dans le tube et n'endommage pas la surface de celui-ci.

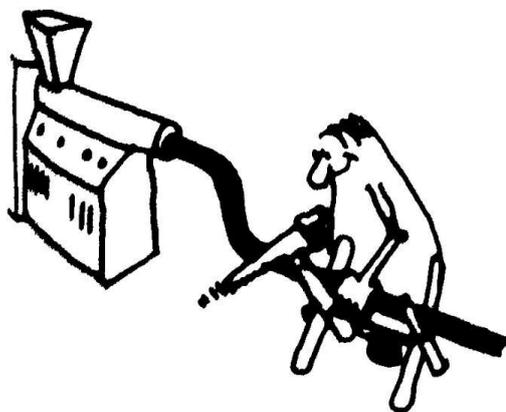
Deux chariots, solidaires de deux rails parallèles, viennent pincer alternativement le tube à sa sortie de la filière. Le premier chariot est muni de mâchoires qui collent entre elles les parois intérieures du tube encore mou, formant ainsi un joint étanche à l'air. Ce système est très peu répandu.



4.5 LE SCIAGE

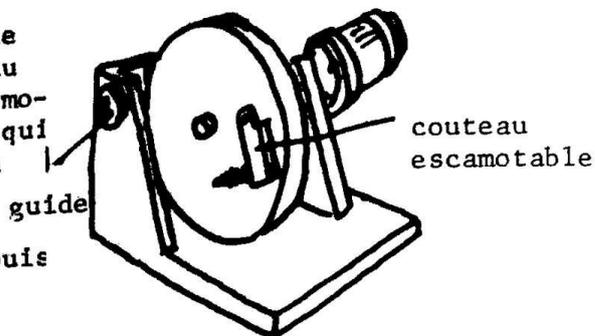
C'est l'opération qui suit le tirage lorsque le profilé est débité en longueurs.

Le sciage est généralement effectué par une scie circulaire, commandée automatiquement par une butée électrique, dont la position est réglée en fonction de la longueur désirée. La scie suit le profilé dans son mouvement d'avance et pour cela est entraînée par le profilé lui-même qui appuie sur la lame, ou par une mâchoire pneumatique pinçant le profilé.



Un autre système est constitué d'un disque tournant, sur lequel est fixé un couteau escamotable. Le profilé passe dans un guide situé devant le disque et à intervalles réguliers un mécanisme libère le couteau.

Dans une variante de ce système (cadences plus faibles), le couteau est fixé sur le disque. Le disque est lié au moteur par un embrayage électro-magnétique et équipé d'un frein électro-magnétique. L'impulsion de commande embraye le disque sur le moteur (qui tourne en permanence). Le disque tourne entraînant le couteau qui coupe le profilé, puis le frein bloque le disque, le tout en un peu moins d'un tour du disque.



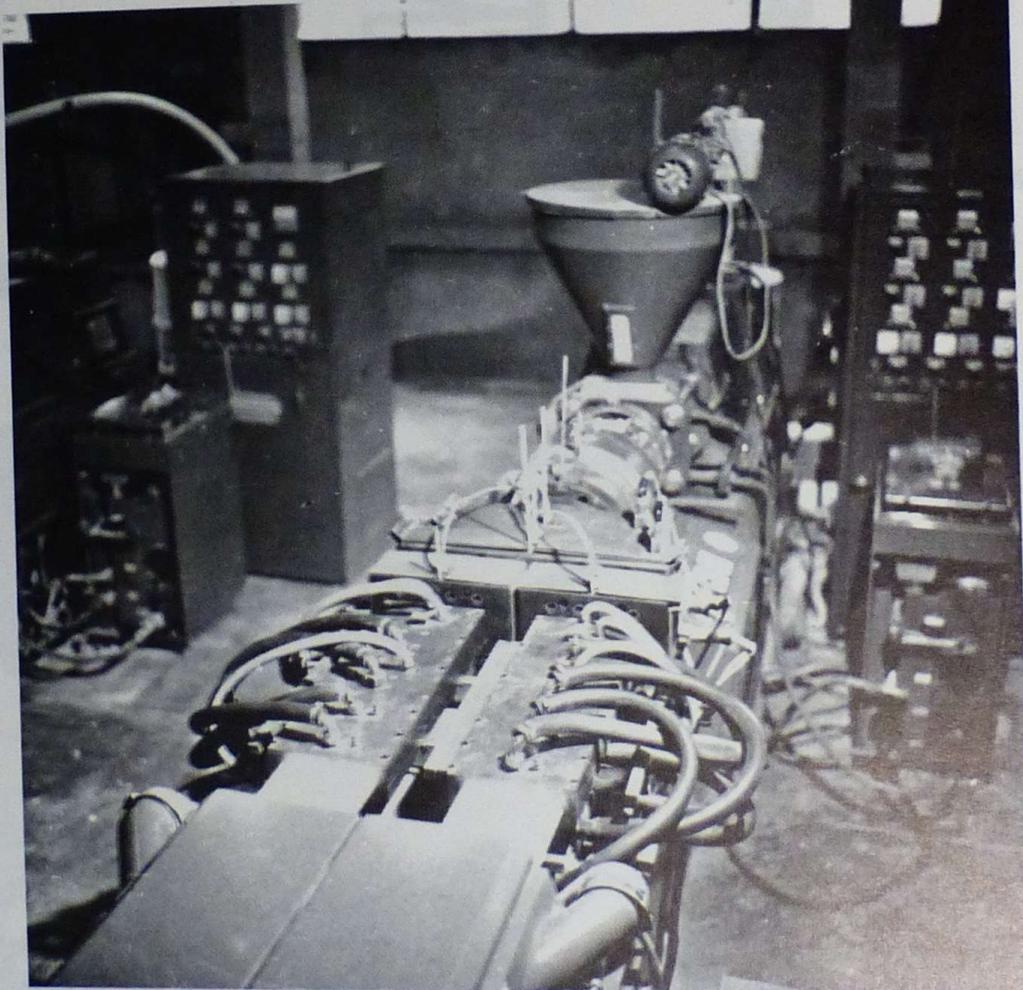
On peut également utiliser, pour la coupe de profilés simples et de petite section, un système à couteau guillotine, la vitesse du couteau étant très rapide pour éviter de perturber le tirage. La commande du couteau est réalisée à l'aide d'un marteau magnétique ou d'un vérin pneumatique.

Pour les tubes de grand diamètre, on utilise aussi des scies planétaires. Ce sont des scies circulaires qui tournent autour du profilé de façon à diminuer le temps de coupe.

Ouvrages complémentaires à consulter

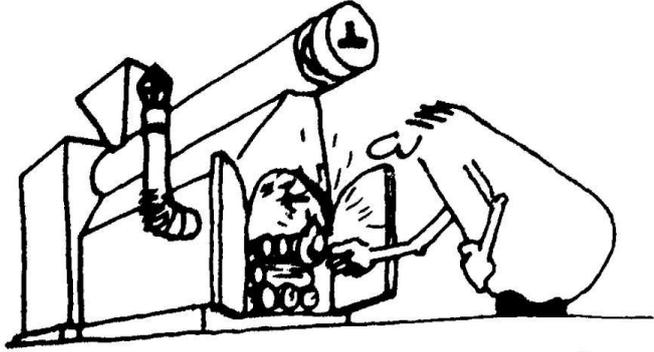
GUIDE
DE L'UTILISATEUR
DE
PROFILES PLASTIQUES
1966 - 68 pages
nombreux schémas et tableaux
- o -
Publication du
Syndicat National des Extrudeurs
de Profilés Plastiques
3, rue Copernic, 75-Paris (16°)

NOTIONS
SUR LES EXTRUDEUSES
ET L'EXTRUSION
DES PLASTIQUES
1968 - 88 pages
28 dessins et schémas hors texte
- o -
Publication du
Centre d'Etude
des Matières Plastiques
21, rue Pinel, 75-Paris (13°)

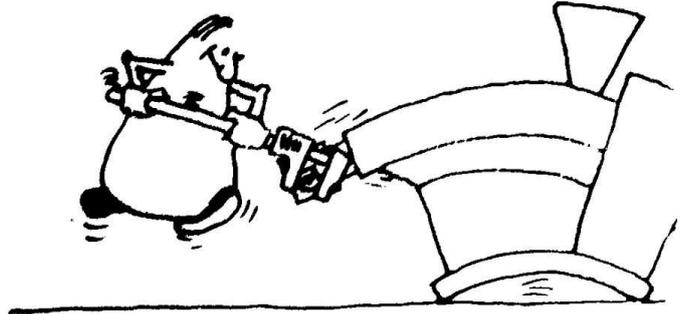


Ligne d'extrusion à double sortie

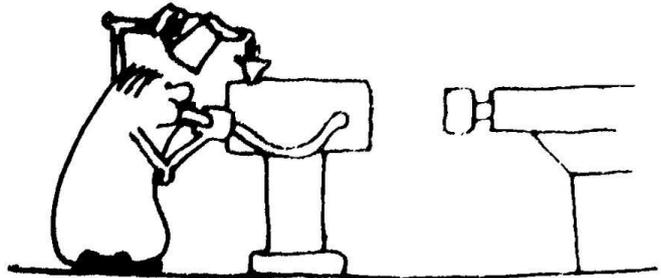
5°/ Mettre en chauffe



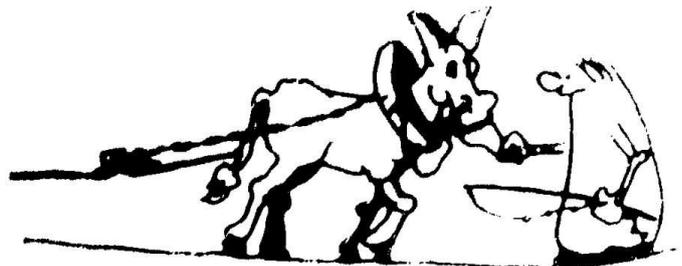
6°/ Vérifier à chaud le serrage des outillages et rétablir les températures prescrites.



7°/ Alimenter en eau ou en air la conformation, faire fonctionner la pompe à vide s'il y a lieu. S'assurer que la ligne d'extrusion est en parfait état de fonctionnement et que ses différents éléments sont en alignement.



8°/ Mettre en route le système de tirage et contrôler sa vitesse.

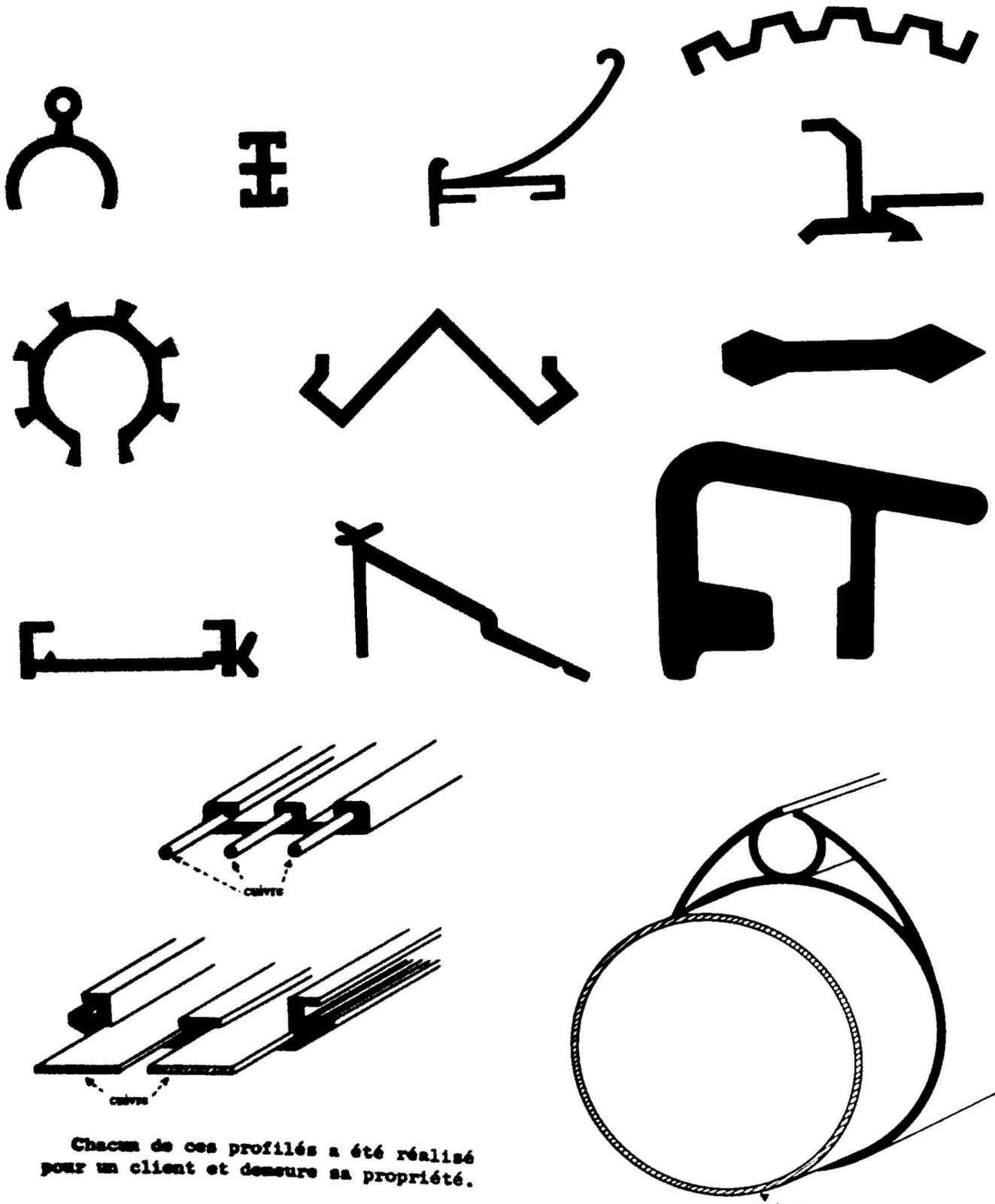


9°/ Brancher le dispositif de coupe.



COUPES DE QUELQUES PROFILÉS

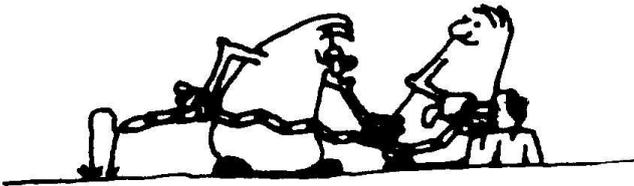
grandeur nature



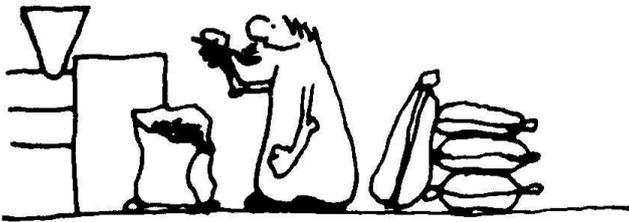
Chacun de ces profilés a été réalisé pour un client et demeure sa propriété.

aluminium

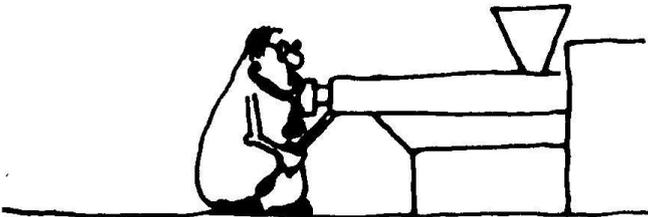
- 10°/ Mettre les connexions du contacteur de coupe et vérifier la cote.



- 11°/ S'assurer que la matière approvisionnée est celle indiquée sur la fiche et qu'elle est en quantité suffisante.



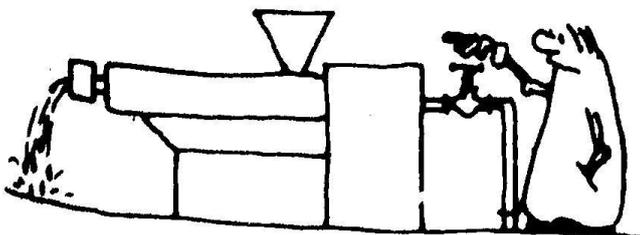
- 12°/ Contrôler la température des différentes parties du corps de l'extrudeuse, de la filière et de la tête; les régulateurs pouvant se dérégler, effectuer ce contrôle à l'aide d'un système indépendant.



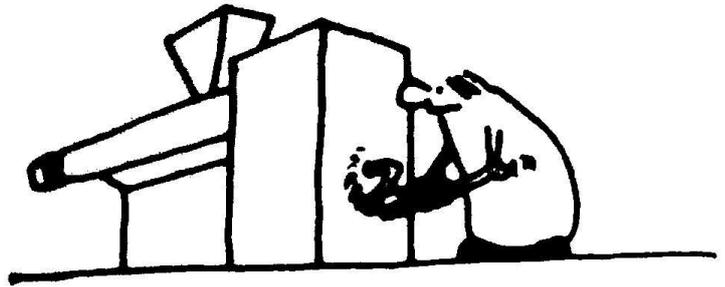
- 13°/ Brancher le ventilateur de l'extrudeuse.



- 14°/ Démarrer la machine à la vitesse minimale, la trémie étant vide.



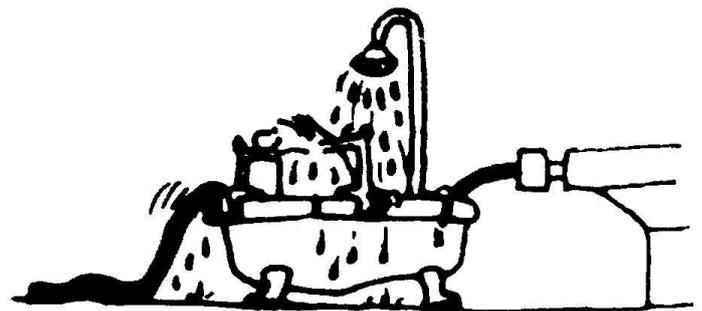
15°/ Introduire les granulés dans la machine lentement et progressivement, afin d'éviter une rupture de la vis.



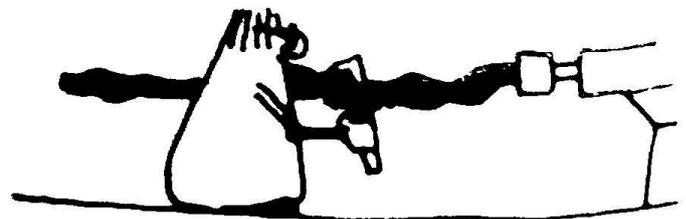
16°/ Lorsque le profilé sort de la filière, faire circuler le fluide de refroidissement de la vis si la fiche de travail le prévoit.



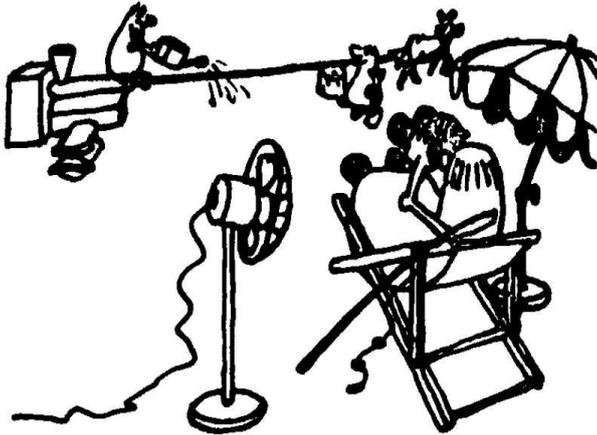
17°/ Mettre progressivement l'extrudeuse au régime indiqué et introduire le profilé dans les outillages de conformation, de refroidissement... jusqu'au tirage.



18°/ Après stabilisation, contrôler les dimensions du profilé et jouer sur les différents paramètres s'il y a lieu (vitesse de tirage, vitesse de vis, refroidissement, ...)



5.2 - CONTROLES A EFFECTUER EN COURS D'EXTRUSION



Contrôler :

- . les températures de la machine,
- . l'alimentation de la trémie,
- . l'intensité du courant d'alimentation du moteur de l'extrudeuse,
- . les dimensions du profilé (section et longueur).

5.3 - CONSEILS POUR LA CONDUITE DE LA MACHINE

- Ne jamais laisser des outils (clés, grattoirs) sur les machines, les vibrations les feraient tomber.
- La matière première doit être éloignée des machines pour éviter les pollutions possibles.
- Surveiller régulièrement les appareils de contrôle et signaler immédiatement toute anomalie. Le moindre dérèglement se répercuterait obligatoirement sur le profilé qui ne serait plus conforme.
- Eviter l'usage des soufflettes aux fins de nettoyage à proximité des machines, les projections risquant de détériorer les profilés ou de polluer la matière.
- Attention aux thermocouples : de leur bon état dépend la qualité du produit. Ils sont fragiles, de même que les prises de courant mobiles. Ne pas les laisser tomber.

5.4 - ARRET DE LA MACHINE

- . Fermer la trémie
- . Lorsqu'il ne sort plus de matière, débrancher les alimentations.
- . Arrêter la vis.
- . Fermer les arrivées d'air et d'eau et couper toutes les alimentations électriques, aussi bien de la machine que des matériels annexes : conformateur, tirage, coupe, etc.
- . Démontez et nettoyez les outillages (sauf pour le polyéthylène et le polystyrène).



5.5 - ENTRETIEN DES OUTILLAGES

Les outillages doivent être nettoyés à chaud. Certains produits facilitent ce nettoyage.

Faire particulièrement attention, en posant les outillages, que rien ne risque de les détériorer. Surveiller les raccords divers : prises de courant, thermocouples...

Ne pas employer de produits abrasifs ou d'outils coupants : utiliser des grattoirs en laiton.

Le marteau est prohibé pour les démontages; utiliser des vérins.

Une surface abîmée serait plus difficile à nettoyer ensuite et tout défaut interne se représenterait sur le profilé.

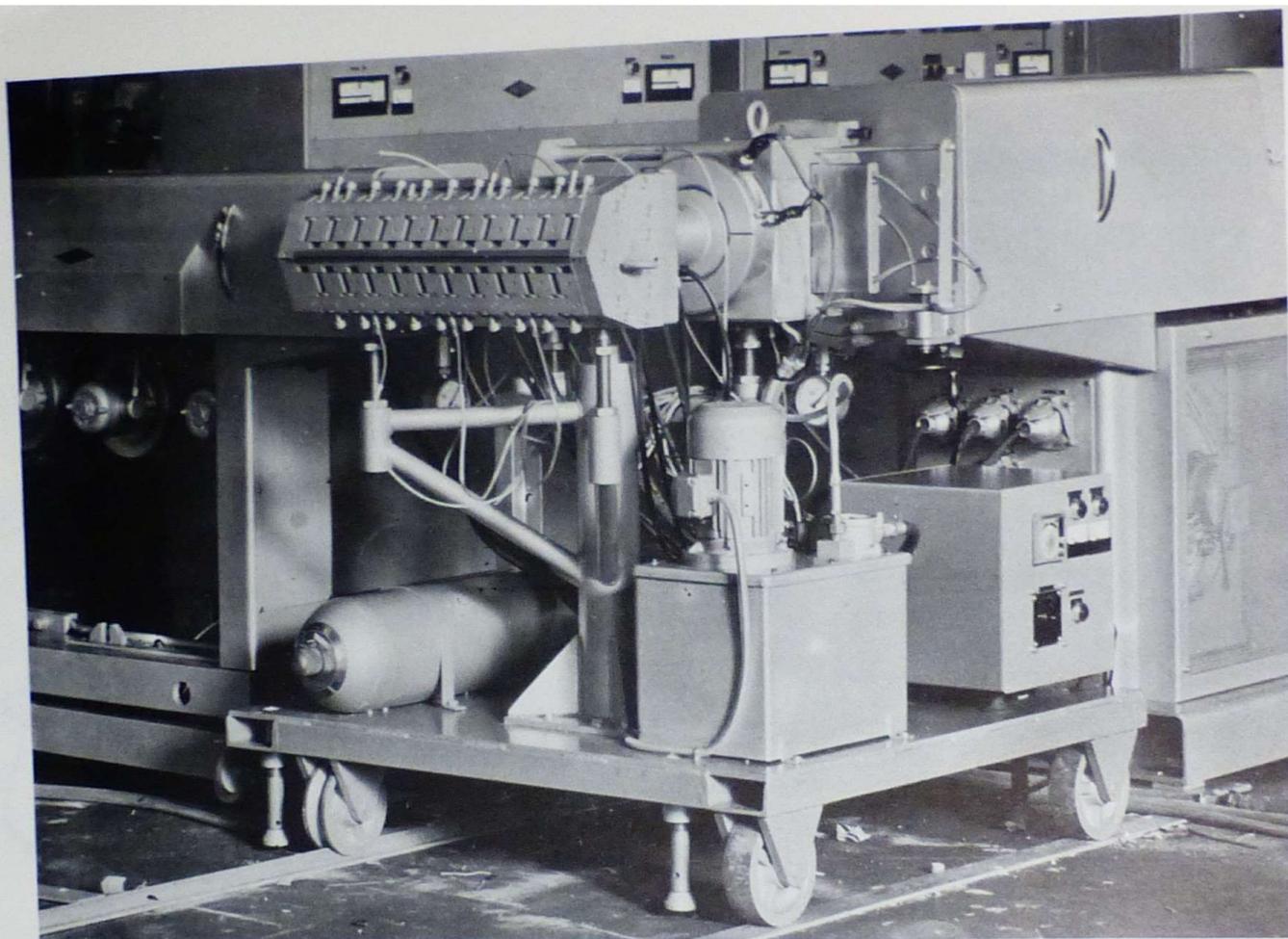
5.6 STOCKAGE DES OUTILLAGES

Les outillages doivent être de préférence graissés et remontés sans être bloqués avant rangement; veiller à ce qu'aucune pièce ne risque de se détériorer au stockage par chute ou choc de deux outillages.

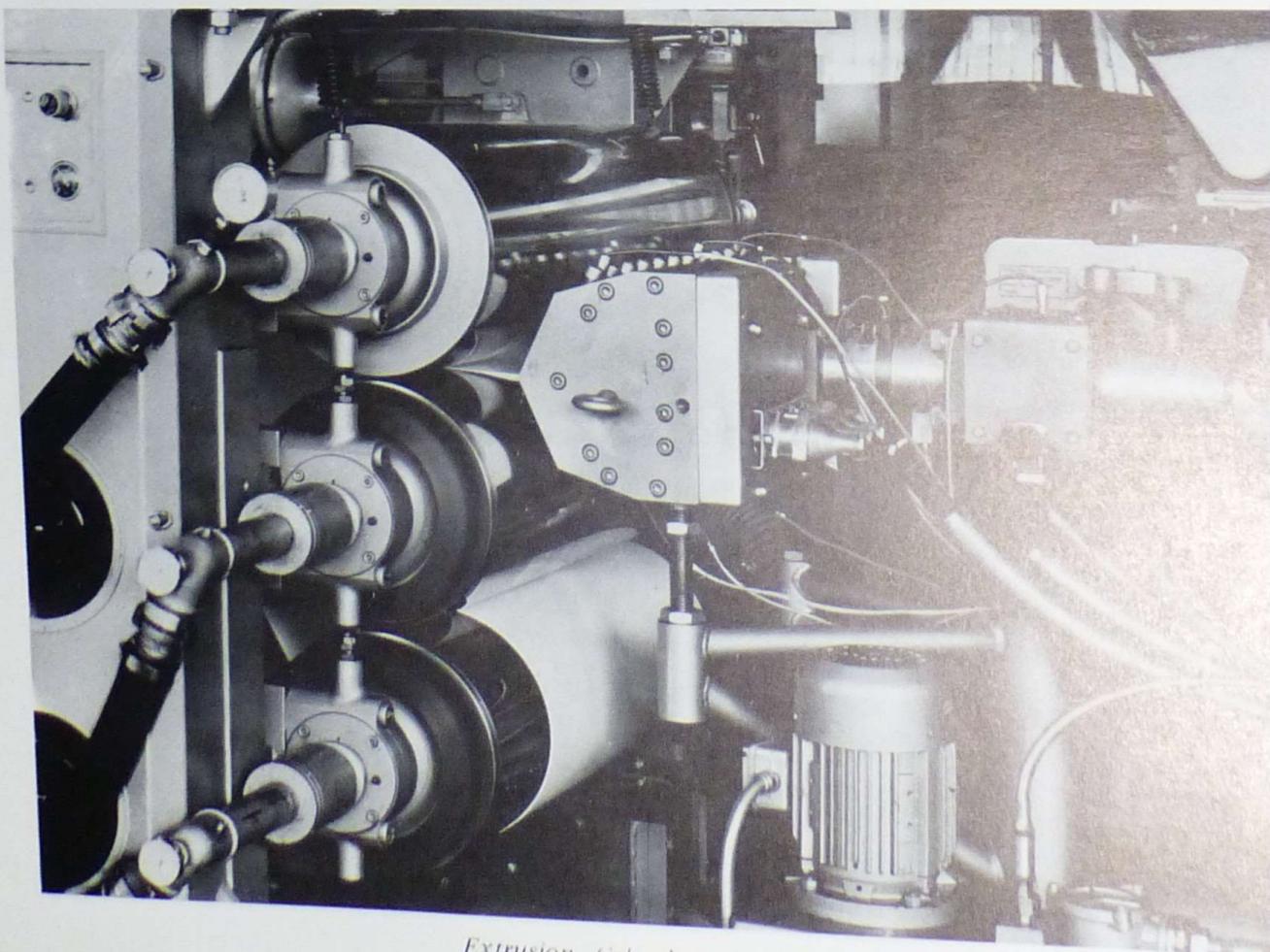
Ne jamais stocker un outillage avant subi un accident.



Ensemble d'extrusion de gaine en polyéthylène



Extrudeuse équipée d'une filière plate et d'un filtre à tiroir

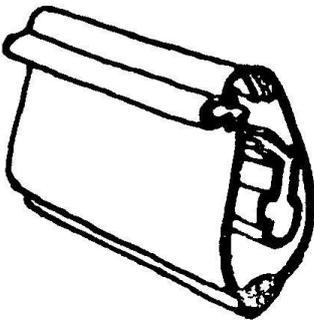


Extrusion - Calandrage de feuille

PROBLEMES PARTICULIERS AUX TYPES D'EXTRUSION 6

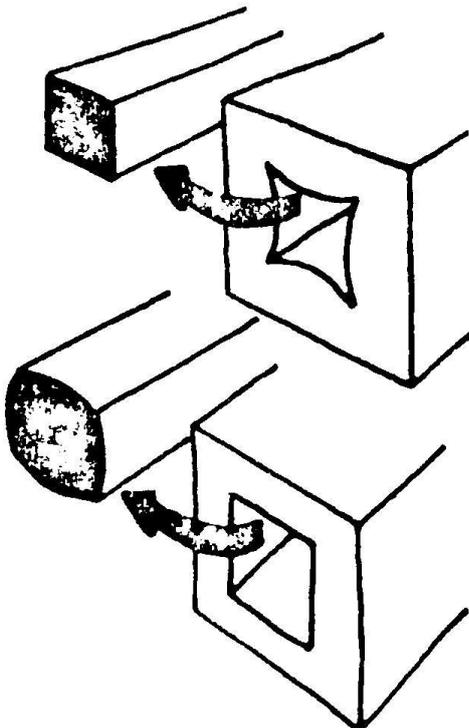
Le chapitre 4.2 décrivant les outillages et leur application pour divers types de profilés, seuls quelques problèmes particuliers sont traités ici.

6.1 - PROFILES DIVERS



Il s'agit des profilés pleins, tubes, profilés creux, profilés ouverts, profilés multimatériaux ou multicouleurs.

6.1.1 - PROFILES PLEINS



Les difficultés résident dans la mise au point de la filière et les guidages nécessaires pour maintenir la forme du profil avant sa stabilisation.

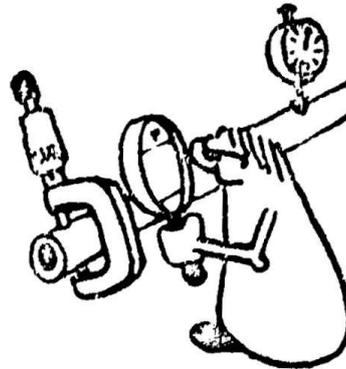
Lorsque le profil présente de grands déséquilibres de masses, on doit tenir compte des principes d'écoulement des fluides (Chapitre 4) qui permettent de dégrossir le problème. Les mises au point, longues et minutieuses, s'effectuent par retouches et essais successifs de l'outillage.

Les profilés rigides peuvent être calibrés par des conformateurs alliant l'action du vide et du refroidissement par eau. Par contre, les profilés souples doivent être calibrés par des guides aux formes du profil, réalisés en laiton, aluminium, Téflon, etc.

6.1.2 - TUBES

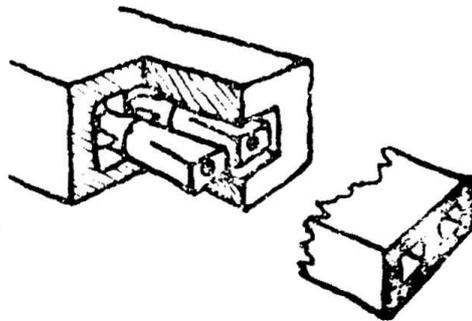
Le tube est le profilé le plus fabriqué actuellement. Il demande une grande précision dimensionnelle. C'est donc sur ce point que doit se porter l'attention de l'extrudeur.

L'un des nombreux systèmes de calibrage vus au chapitre 4 est choisi en fonction des qualités demandées au tube et des possibilités de l'atelier.



6.1.3 - PROFILES CREUX

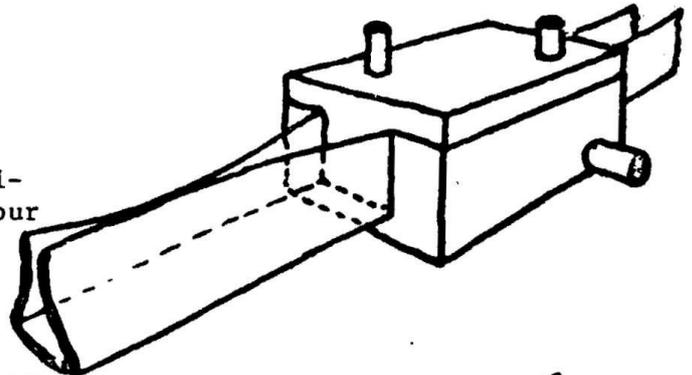
Pour l'extrusion de profilés creux, la filière comporte un ou plusieurs poinçons fixés à la torpille où à la grille. La conception de ces filières est souvent difficile en raison du nombre de pièces intérieures, chaque poinçon devant par ailleurs être perforé pour l'introduction d'air dans les creux du profil.



Les systèmes de calibrage peuvent être les mêmes que pour les tubes.

6.1.4 - PROFILES OUVERTS

La technique est la même que pour les profilés pleins. Lors de l'extrusion de profilés souples en U, des guides supplémentaires doivent être installés pour éviter un collage des bords.

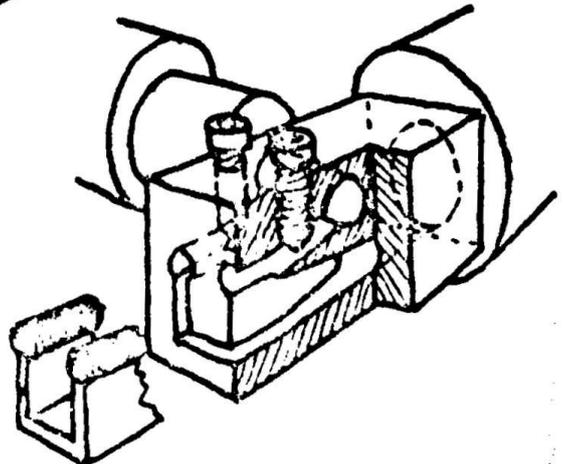


6.1.5 - PROFILES MULTIMATIERES OU MULTICOULEURS

Voir au Chapitre 4, le paragraphe "filière à entrées multiples"

On peut ajouter toutefois que lorsqu'une même extrudeuse alimente deux canaux distincts, chacun de ces canaux doit être muni d'un dispositif d'étranglement réglable, afin d'ajuster les débits.

Ce dispositif peut être tout simplement une vis obturant plus ou moins le canal, si la matière le permet.

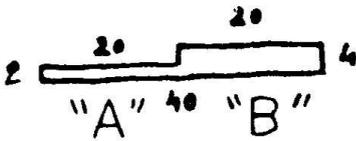


6.2 PROFILES DISSYMETRIQUES

6.2.1 - PROBLEMES POSES PAR L'EXTRUSION DES PROFILES RIGIDES DISSYMETRIQUES

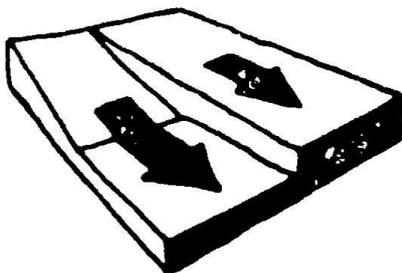
Dans le chapitre 3, on a vu l'influence des dimensions de la filière sur la vitesse d'écoulement.

Si une même filière comporte deux canaux de sections différentes, le premier "A" de 20 mm x 2 mm et le second "B" de 20 mm x 4 mm, la vitesse moyenne en "B" sera 4 fois plus grande qu'en "A" (voir chapitre 3).

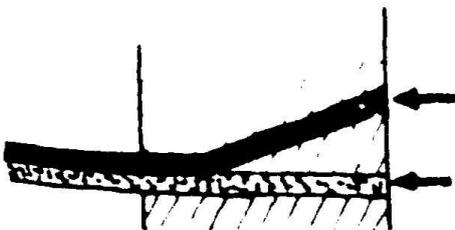


Théoriquement, si l'on veut que les deux canaux débitent à la même vitesse, il faut que le canal "B" soit 4 fois plus long que le canal "A", ce qui est incompatible avec le rapport R "épaisseur profilé/ longueur filière" fixé par la viscosité de la matière. Dans ce cas, on a un déséquilibre et un frottement trop important qui donnent lieu à des déformations; par ailleurs, si ces deux sorties sont juxtaposées, il est impossible d'obtenir un profilé rectiligne.

6.2.2 - SOLUTIONS POSSIBLES



a/ Calculer la longueur de la filière pour la plus grande épaisseur du profilé, soit dans l'hypothèse 20 mm de partie parallèle. La section d'alimentation est la même pour toute la largeur du profilé (section de la partie la plus épaisse); ensuite, on raccorde par un plan incliné la partie la moins épaisse afin de rétablir le rapport R.



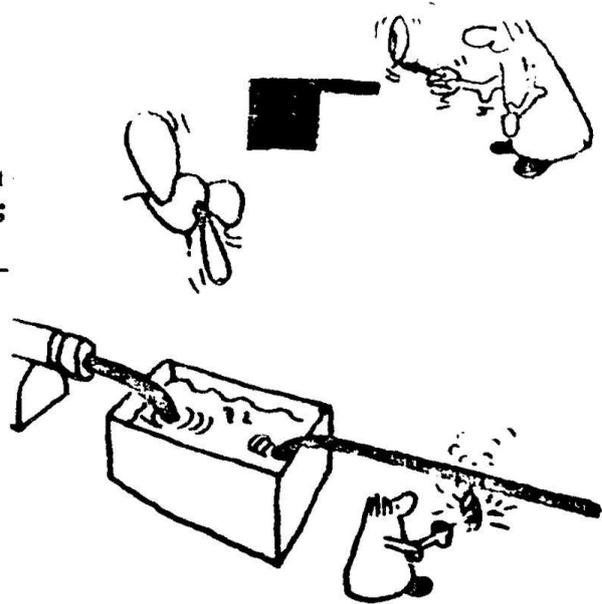
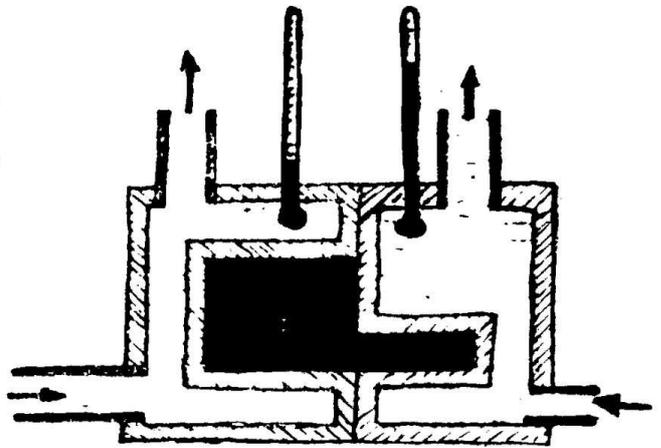
b/ La deuxième solution consiste à diviser le flux de matière afin d'avoir des sections égales qui se soudent à la sortie de la filière.

Cette solution a l'avantage de nécessiter un outillage moins long, de diminuer et d'égaliser les frottements; l'équilibrage est donc plus facile et le rendement meilleur.

Lorsque le profilé sort de la filière, il faut refroidir de façon identique toutes ses parties, quelle que soit leur épaisseur. Les matières plastiques étant de mauvaises conductrices de la chaleur, plus le profilé sera épais et plus il sera difficile de le refroidir. Au cours du refroidissement, des différences de températures entre des zones voisines feront se cintrer le profilé du fait du fort coefficient de dilatation des matières plastiques.

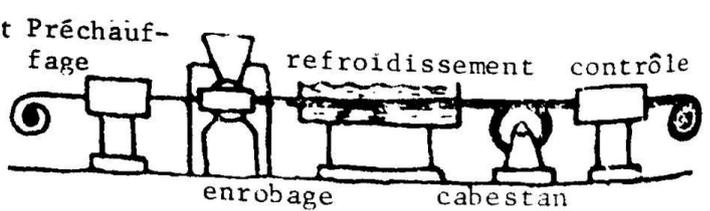
Les procédés de réception adoptés sont les suivants :

- a/ refroidissement en conformateur avec des températures de circulation de fluide réfrigérant différentes suivant les épaisseurs du profilé;
- b/ refroidissement à l'air, le débit étant plus important du côté des "masses";
- c/ refroidissement à l'eau, suivi d'un réchauffage des parties minces à la sortie du bac; il faut cependant prendre garde de ne pas refroidir à "cœur" le profilé; cette technique est à déconseiller dans le cas des profilés rigides;
- d/ pour les profilés de grandes dimensions, il est nécessaire de prévoir une filière avec des zones de chauffe de valeurs différentes; en effet, l'apport calorifique doit être moins important dans les parties où passe le plus de matière.

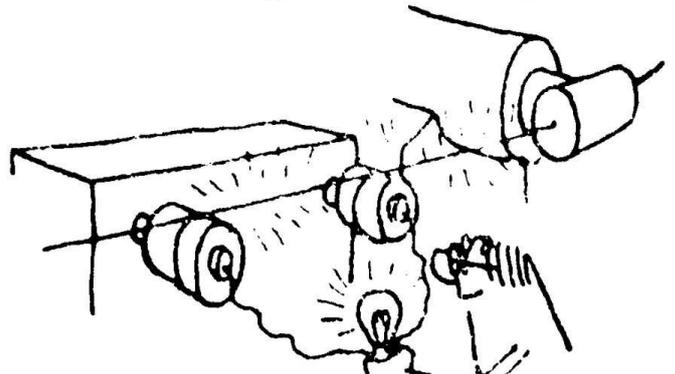


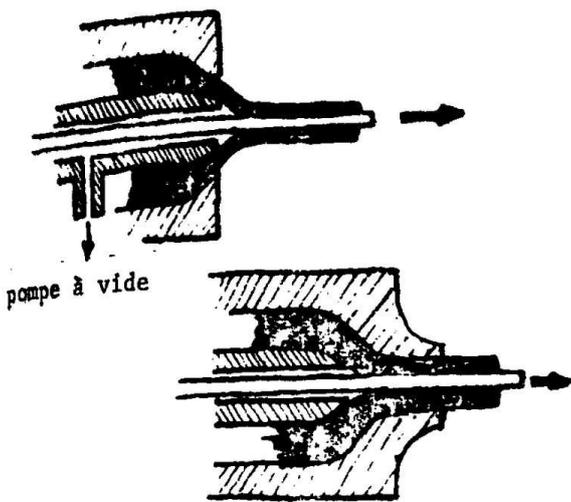
6.3 RECOUVREMENT DE FILS ET CABLES

Le plastique fondu est extrudé par une tête d'équerre à travers laquelle passe le câble à recouvrir.



Le câble, qui provient d'un dévidoir tournant ou fixe (axe horizontal), est ensuite préchauffé avant son passage dans la filière. Ce préchauffage a pour but d'assurer une meilleure adhérence du plastique et d'éviter la rupture de la gaine lors du refroidissement. Les fils sont chauffés par leur propre résistance électrique entre deux roues conductrices. Pour les câbles plus gros, on utilise une rampe à gaz ou un chauffage à induction.





Les filières sont de deux types : filière "tube" et filière "à pression", éventuellement une combinaison des deux. Dans le premier cas, le diamètre intérieur de la gaine extrudée est supérieur au diamètre extérieur du câble; une dépression créée entre la gaine et le câble assure le plaquage du plastique. Dans le second cas, le rétrécissement de la filière fournit la pression de collage.

Le refroidissement est assuré dans un bac long et étroit contenant de l'eau. Pour éviter un refroidissement trop rapide, le bac est parfois cloisonné. Le glaçage superficiel de la gaine est obtenu dans l'intervalle d'air entre la filière et le bac.

Entre le cabestan de tirage et le bobinage sont placés les appareils de contrôle du diamètre et de la tension de laquage.

6.4 PLAQUES ET FEUILLES

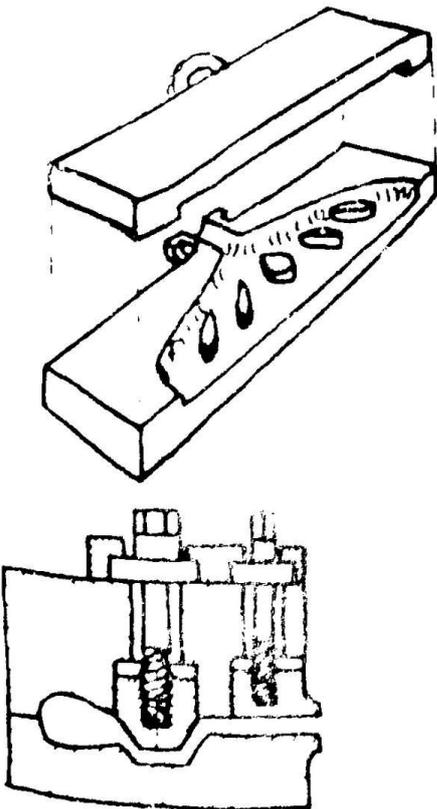
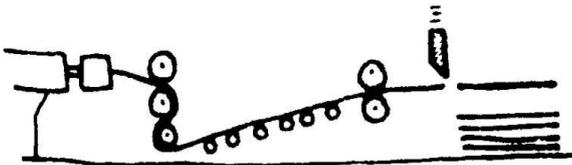
Les plaques et feuilles se distinguent des films par leur épaisseur, supérieure à 5/10 de millimètre.

Elles sont extrudées à partir d'une filière plate. A la sortie de celle-ci la matière est reçue sur des cylindres d'acier refroidis avant d'être tirée et découpée (ou bobinée).

La matière arrivant de l'extrudeuse est répartie dans la tête par un collecteur pour alimenter régulièrement toute la largeur de la filière. A cet effet, la plupart des têtes possèdent en aval du collecteur une barre d'étranglement déformable à l'aide de boulons.

Sur certaines filières, à la sortie du flux de matière, sont fixées deux lèvres dont l'écartement est réglable à l'aide de vis en fonction de l'épaisseur de plaque désirée. Pour le réglage de la largeur, on peut placer de chaque côté de la filière des barreaux de restriction.

Dans sa largeur, la filière est partagée en plusieurs zones de chauffage indépendantes (3 ou 5) pour une meilleure régulation de la température du polymère. Un contrôle plus précis de l'état de la matière dans le collecteur se fait avec des manomètres et des thermocouples plongés dans le plastique.



Le nombre et la disposition des rouleaux refroidisseurs, sur lesquels passe la feuille à sa sortie de la filière, sont variables suivant les constructeurs (2,3 ou 4, verticaux, en L, etc.)



Après refroidissement, la feuille est tirée par deux rouleaux caoutchoutés, situés à 1 ou 3 m des précédents. Dans l'intervalle, la feuille peut être supportée par de petits rouleaux et son refroidissement complété par des ventilateurs.



Tous les rouleaux tournent à la même vitesse circonférentielle et sont entraînés au moyen de roues et vis sans fin ou de chaînes.

Après le tirage, la feuille est bobinée ou découpée avec une cisaille automatique.

Au démarrage, on utilise une feuille de papier placée dans le circuit qu'empruntera la plaque extrudée; dès que la matière sort de la filière on la fixe au papier et l'on met en route le système de tirage, les rouleaux refroidisseurs étant à une température convenable pour éviter une rupture de la plaque.

L'opérateur doit ensuite contrôler l'épaisseur de la plaque et modifier en conséquence le réglage de la barre d'étranglement et l'écartement des lèvres de la filière. Cette mise au point est souvent longue et délicate.

6.5 FILMS

L'extrusion de films peut s'effectuer selon différentes techniques dont les 3 principales sont :

- utilisation d'une filière plate dans l'axe de la vis;
- utilisation d'une filière plate perpendiculaire à l'axe de la vis pour l'enduction sur support (extrusion "coating");
- technique de l'extrusion-gonflage pour la production de films tubulaires.

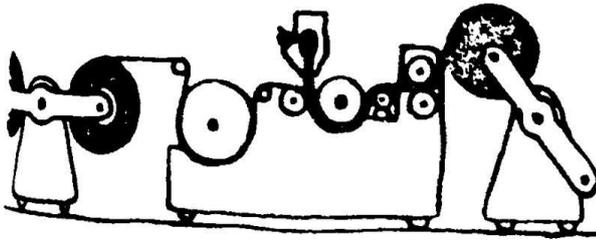
6.5.1 - FILIERE PLATE

La conception de la filière est la même que pour l'extrusion de feuilles ou plaques. Cependant, dans le cas de films rigides, un étirage mono-orienté ou bi-orienté, obtenu à l'aide de rouleaux chauffants situés derrière la filière, permet d'obtenir des films plus minces.

Les matières utilisées sont le PVC souple, le PVC rigide, le polypropylène, les ABS et le Polystyrène.

6.5.2 - EXTRUSION "COATING"

Cette technique est plus aisée que la précédente car la régularité de l'épaisseur est facilitée par l'utilisation de cylindres qui laminent le plastique et permettent le doublage.

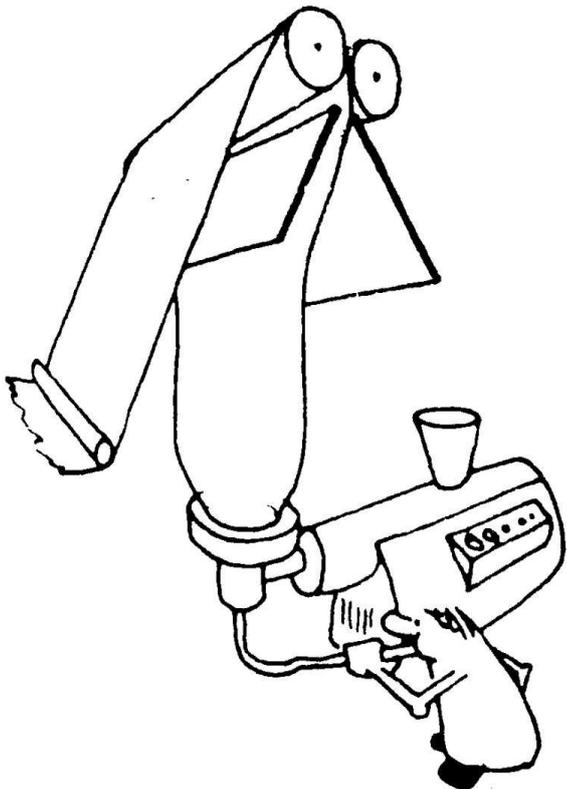


La filière plate chauffée répartit en nappe le plastique fondu sur toute la largeur du support; l'égalisation de l'enduction est assurée par la pression de deux rouleaux sur le film.

Les supports utilisés sont les films cellulosiques, les papiers, l'aluminium en feuille, les tissus synthétiques, etc.

6.5.3 - EXTRUSION-GONFLAGE

La technique consiste à extruder par une filière annulaire une gaine mince qui est gonflée à l'air puis pincée entre deux rouleaux tireurs.



L'extrusion peut se faire avec une tête droite ou avec une tête d'équerre. Cette dernière est souvent la plus commode car elle permet l'utilisation d'un poinçon tournant afin d'éviter que les inégalités d'épaisseurs ne se trouvent sur une même génératrice de la gaine. Ce défaut peu visible à la sortie de la filière est considérablement accentué sur le film bobiné où les surépaisseurs s'additionnent.

Dans la plupart des cas, la tête d'équerre est verticale et dirigée vers le haut, pour éviter une déformation de la bulle sous l'effet de son poids. Pour les faibles diamètres il existe des installations avec tête droite et horizontale.

L'air emprisonné dans la gaine, à une pression de 100 à 200 g/cm² a pour but de refroidir les parois du film, de permettre son étirage et d'éviter le collage du film sur lui-même.

Le refroidissement est complété par un anneau soufflant extérieur qui permet d'égaliser les épaisseurs; pour cela il est souvent tournant. Il faut aussi éviter les courants d'air qui agirait sur le ballon et donneraient des largeurs et des épaisseurs irrégulières.

La largeur de la gaine gonflée peut être de quelques dizaines de cm si l'on désire que le film colle sur lui-même entre les rouleaux afin de doubler son épaisseur. Cette longueur peut atteindre plusieurs mètres (3 à 6 suivant le refroidissement) pour permettre un bon étirage-serrage sans collage.

Le film enroulé peut être utilisé, soit sous forme de gaine, soit sous forme de film si la gaine est refendue.

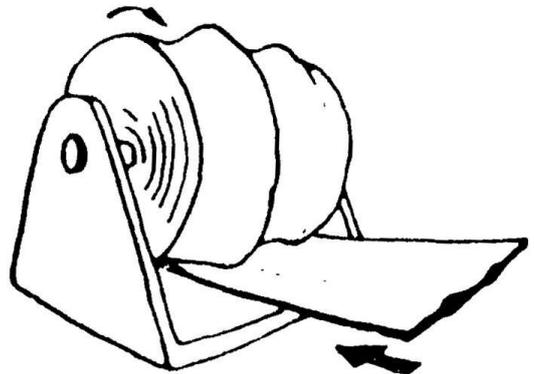
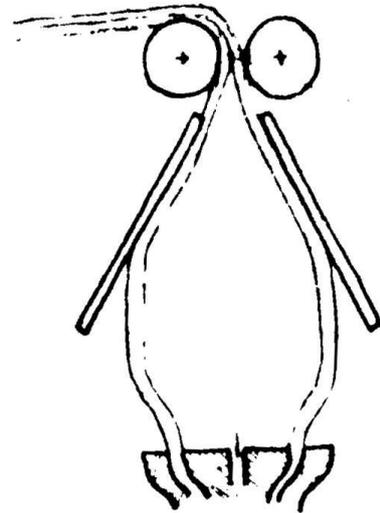
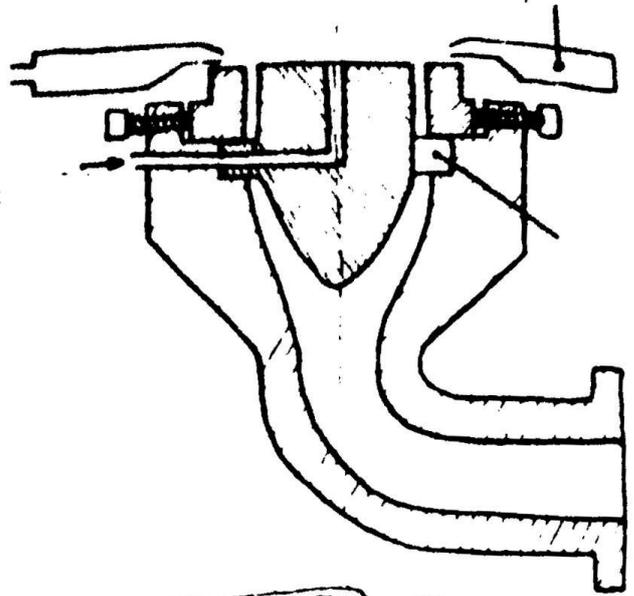
Pour éviter les défauts de présentation des bobines (superposition des surépaisseurs), plusieurs solutions sont utilisées; on a vu le poinçon tournant, mais il existe d'autres méthodes consistant à faire osciller autour de l'axe de la filière soit le système de tirage-bobinage, soit la machine elle-même placée verticalement.

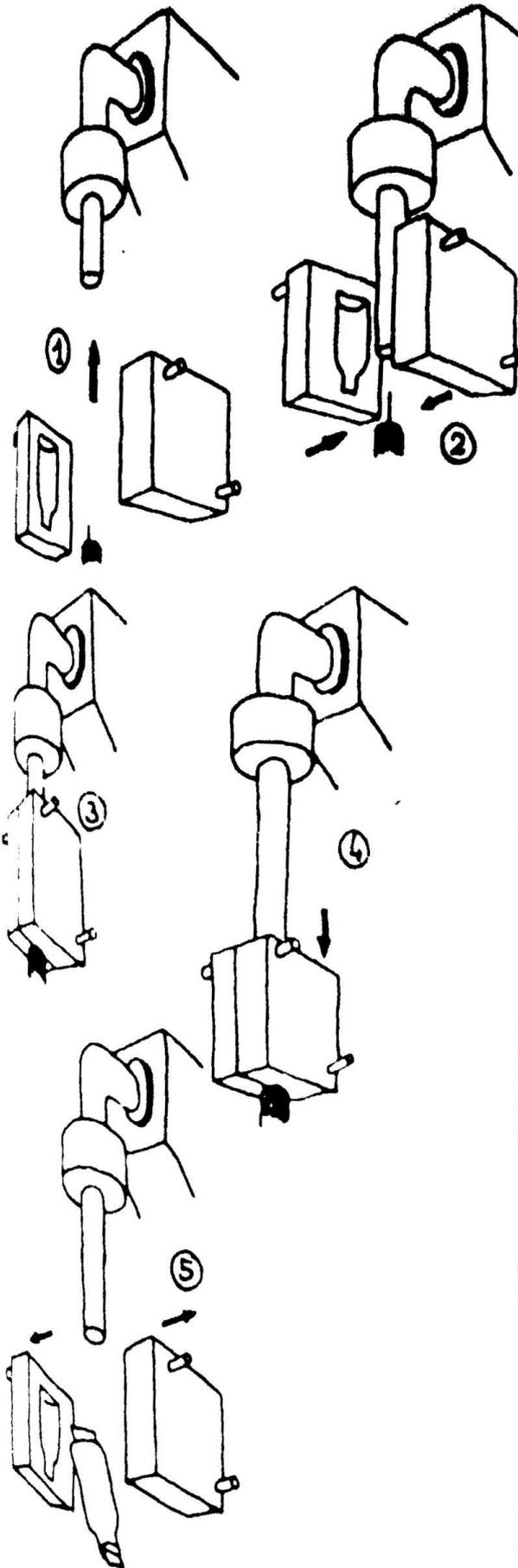
Les matières utilisées pour cette méthode sont le PEhd, le PVDC, le PVC souple et rigide et surtout le PEbd.

Dans le cas du polyéthylène, il existe des installations permettant la production de bâches plastiques d'au moins 15 à 20 m de large (installations complexes avec trois extrudeuses alimentant une seule filière de plus de 1,80 m de diamètre).

6.5.4 - CO-EXTRUSION

Lorsque les qualités demandées à un film sont difficiles à obtenir avec un film d'une seule matière, on extrude ensemble deux matières dont les propriétés se complètent (étanchéité et résistance mécanique par exemple).





La coextrusion peut se faire avec une filière plate alimentée par deux machines. Ces filières se classent en trois catégories :

- a/ filière à un seul canal
- b/ filière double à deux canaux,
- c/ filière simple à deux canaux.

La technique d'extrusion-gonflage permet aussi la fabrication de films complexes, c'est-à-dire plusieurs couches de une ou plusieurs matières.

6.6 EXTRUSION-SOUFFLAGE DE CORPS CREUX

Un tube, appelé paraison et obtenu par extrusion, est pincé à ses deux extrémités dans un moule, puis soufflé, soit à l'aide d'une aiguille, soit à l'aide d'une buse de soufflage.

La pression de l'air plaque la paraison encore chaude sur les parois du moule, dont elle reproduit la forme en se refroidissant.

La machine la plus classique pour l'extrusion-soufflage de corps creux est constituée d'une extrudeuse et d'un moule en discontinu.

Très souvent il existe deux ou plusieurs moules qui sont alors susceptibles de suivre la cadence élevée de l'extrudeuse.

Ces moules ont donc des mouvements variés selon les constructeurs, qui leur permettent de se présenter dans l'axe de la paraison à sa sortie de l'extrudeuse, de pincer la paraison, puis de laisser la place au moule suivant, en libérant l'axe de l'extrudeuse. Pendant ce temps, la paraison est soufflée, le flacon se forme, puis est refroidi et éjecté,

Il existe de nombreux modèles de machines, mais deux sont les plus courants :

- modèle de 500 à 1.000 flacons à l'heure (moules avec mouvement alternatif),
- modèle de 2.000 à 4.000 flacons à l'heure et plus (moules montés sur carroussel).

Les extrudeuses sont à une ou deux têtes. Ce dernier modèle est couramment utilisé pour le PE et même pour le PVC.

Cette technique d'ex-trusion-soufflage de corps creux a reçu un grand développement depuis quelques années, dans plusieurs domaines d'application : conditionnement des liquides pour produits d'entretien, cosmétiques, produits pharmaceutiques et surtout dans le domaine des produits alimentaires :

- avec le PVC : huile, vinaigre, eaux minérales, vin;
- avec le PE : lait.

Les matières plastiques les plus utilisées sont les PEbd et hd, le PVC souple et surtout le PVC rigide, le Polystyrène, les Polycarbonates...

6.7 MONOFILAMENTS

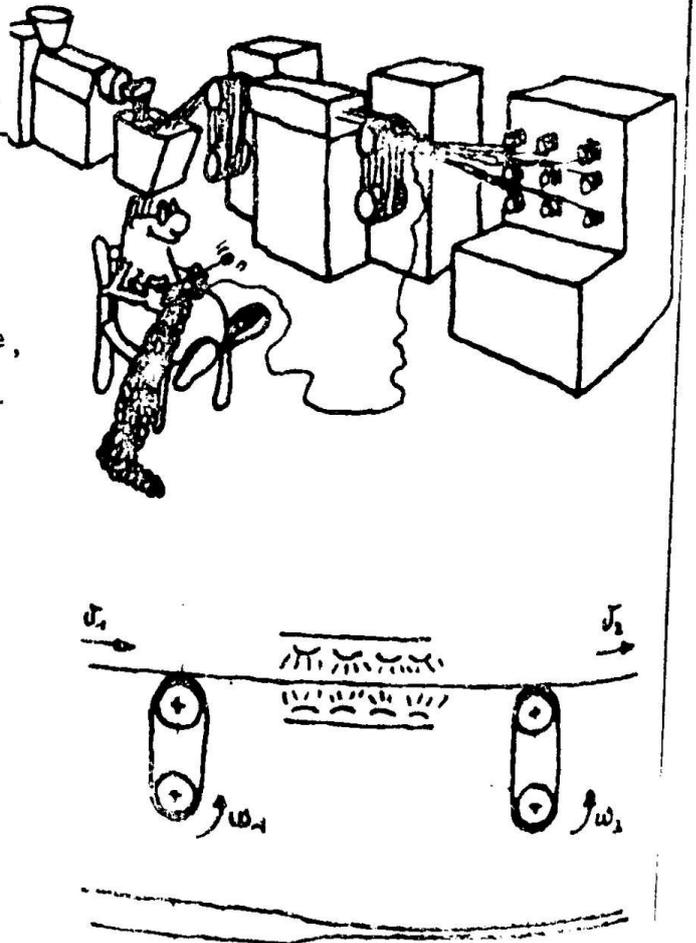
L'extrusion des monofilaments consiste à obtenir à partir d'une filière à orifices multiples, ou d'un film découpé en lanières, des fils qui sont étirés, puis bobinés séparément. Le diamètre de ces monofilaments est compris entre 0,1 et 1,5 mm.

Les monofilaments sortent d'une tête d'extrusion généralement verticale dirigée vers le bas et sont immergés dans un bac de refroidissement.

L'étirage qu'on leur fait subir ensuite, après les avoir chauffés pour qu'ils aient une consistance semi-plastique, a pour but de diminuer leur section et de leur donner une orientation moléculaire. Cette orientation augmente leur résistance à la traction.

Les systèmes d'étirage sont à peu près tous identiques. A la sortie du bac de refroidissement, les monofilaments sont entraînés par deux rouleaux (parfois 3, 4 ou 5) faisant office de cabestans et tournant à une vitesse ω_1 . Après chauffage, ils sont tirés par deux autres rouleaux tournant à une vitesse ω_2 , supérieure à ω_1 .

Le rapport des vitesses (3 à 10) détermine le degré d'orientation.

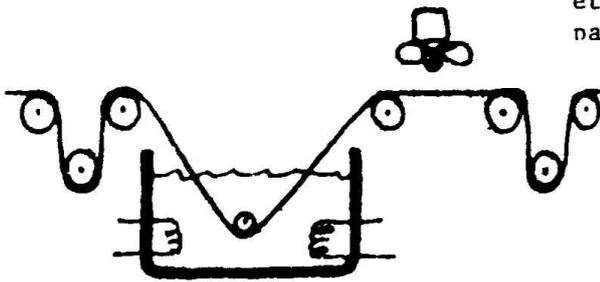


Sur la plupart des machines, l'axe d'un des rouleaux de chaque paire est oblique par rapport à l'axe de l'autre rouleau (3 à 5°). L'obliquité facilite la séparation des brins quand ils s'enroulent. Des guides sont parfois placés le long du parcours, pour que les filaments restent séparés.

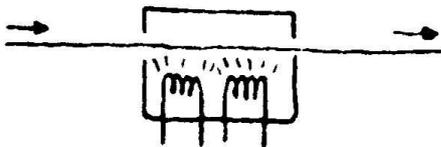
L'étirage est souvent suivi d'une autre opération appelée "bain de fixation" ou "recuit". Le bain de fixation a pour but de donner une détente moléculaire sans variation de section du fil, ni destruction complète de l'orientation moléculaire.

La technique est la même que pour l'étirage, mais dans ce cas les deux paires de rouleaux tournent à la même vitesse.

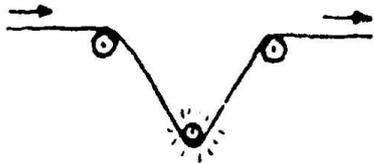
Le chauffage, qui doit être contrôlé avec précision, peut être obtenu par différents moyens :



. Immersion dans un liquide chaud, suivie d'un séchage à l'air. Le chauffage est alors très uniforme, mais nécessite une alimentation continue de liquide, pour remplacer celui entraîné par les filaments.



. Passage dans une étuve chauffée à la vapeur ou plus fréquemment à l'électricité. Dans ce cas, les courants de convection donnent souvent un chauffage irrégulier.

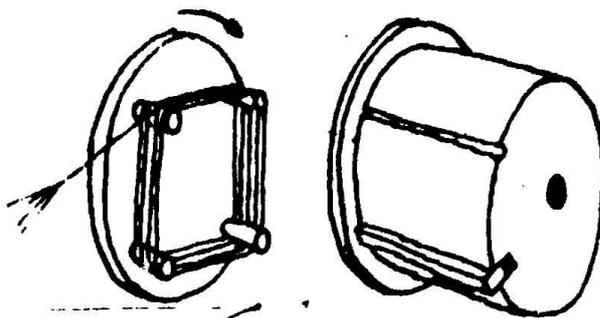


. Passage sur un rouleau chauffé, l'étirage se produisant juste en aval du rouleau. Ce système est limité aux petits filaments ou aux lanières car le chauffage se fait par conduction à partir d'une face.



. Chauffage des rouleaux constituant le système de tirage-étirage. La température du monofilament est alors fonction de la température des rouleaux, de la vitesse et du nombre de spires. Surtout utilisée pour le polystyrène rigide, cette technique évite la rupture des brins et la conservation de la courbure.

Les fibres sont enroulées soit en échevaux, soit en bobines. Dans le premier cas, elles sont destinées à la fabrication de crins de brosse après découpe à longueur convenable. Dans le second cas, les fibres sont bobinées séparément pour être tissées, câblées ou tressées. Un même dispositif de commande entraîne toutes les bobines, des frictions montées sur chaque axe assurant une tension constante à chaque filament.



Ouvrages complémentaires à consulter

GUIDE
DE L'UTILISATEUR
DE
PROFILES PLASTIQUES
1966 - 68 pages
nombreux schémas et tableaux
- o -
Publication du
Syndicat National des Extrudeurs
de Profilés Plastiques
3, rue Copernic, 75-Paris (16°)

NOTIONS
SUR LES EXTRUDEUSES
ET L'EXTRUSION
DES PLASTIQUES
1968 - 88 pages
28 dessins et schémas hors texte
- o -
Publication du
Centre d'Etude
des Matières Plastiques
21, rue Pinel, 75-Paris (13°)

MATIERES PLASTIQUES EXTRUDEES 7

Pratiquement tous les thermoplastiques sont extrudés actuellement. Ils sont ici classés dans un ordre approximatif d'importance décroissante. En face de chacun d'eux est indiquée la désignation normalisée.

polychlorures de vinyle	PVC
copolymères acéto-chlorure de vinyle	PVCA
polychlorures de vinylidène	PVDC
polyéthylènes basse densité	PE bd
polyéthylènes haute densité	PE hd
polystyrènes standard et chocs	PS
terpolymères-acrylonitrile-butadiène-styrène	ABS
polyamides	PA
polyméthylméthacrylates	PMM
polypropylènes	PP
polyacétals (polyformaldéhydes)	POM
polycarbonates	PC

Dans l'ouvrage "Guide de l'utilisateur de profilés plastiques", on trouve des données sommaires sur :

- . la classification des plastiques,
- . l'origine et l'élaboration des thermoplastiques,
- . leurs propriétés et caractéristiques.

8 BIBLIOGRAPHIE

"Plastics Extrusion Technology"

Allan H/GRIFF

Edition Reinhold Publishing Corporation (1963)

"Guide de l'utilisateur de profilés plastiques"

Syndicat National des Extrudeurs de Profilés
Plastiques (1966)

"Extrusion des plastiques" E.G. Fisher

traduit de l'anglais et édité par Eyrolles
(1967)

"Notions sur les extrudeuses et l'extrusion des
plastiques" CEMP (1968)

-o-

- Les illustrations sont de Jean-Claude Limoges
Elève-Ingénieur à l' E.N.S.A.M.
- Le schéma d'une extrudeuse a été fourni par
la Société Samafor.
- Les photographies proviennent des Sociétés
Plastival, Samafor, Tréfimétaux.

Ouvrages complémentaires à consulter

GUIDE
DE L' UTILISATEUR
DE
PROFILES PLASTIQUES
1966 - 68 pages
nombreux schémas et tableaux
- o -
Publication du
Syndicat National des Extrudeurs
de Profilés Plastiques
3, rue Copernic, 75-Paris (16°)

NOTIONS
SUR LES EXTRUDEUSES
ET L'EXTRUSION
DES PLASTIQUES
1968 - 88 pages
28 dessins et schémas hors texte
- o -
Publication du
Centre d'Etude
des Matières Plastiques
21, rue Pinel, 75-Paris (13°)

ANNEXE

LES CAUSES D'ACCIDENTS DANS L'EXTRUSION

Les extrudeuses et leurs machines annexes ne présentent pas de dangers spécifiques : ce sont les dangers propres à toutes machines électro-mécaniques.

Il faut que le personnel se soumette aux règles de prudence élémentaires que nécessite la conduite des machines-outils.

Les matériels actuellement utilisés par l'industrie de l'extrusion des plastiques possèdent tous les dispositifs agréés pour réduire et si possible supprimer les accidents corporels.

-o-

Les extrudeuses, comme toutes les machines-outils, sont alimentées en énergie électrique sous 220 ou 380 volts; elles possèdent des moteurs électriques et des résistances chauffantes, d'où possibilité de fuites électriques par défaut d'isolation. Les constructeurs ont donc prévu des mises à la terre sérieuses et les circuits d'alimentation sont eux-mêmes équipés de disjoncteurs efficaces.

Il faut contrôler la bonne étanchéité des canalisations de refroidissement par eau et notamment les canalisations des bacs de refroidissement des profils, afin que les fuites d'eau ne maintiennent pas le sol humide autour de l'extrudeuse.

-o-

Les outillages - filières et porte-filières - sont chauffés parfois à plus de 200°C sans qu'il soit toujours possible de les protéger efficacement. Il y a donc des risques de brûlures par contact des mains avec les outillages, en particulier lors des démontages de filières encore chaudes, lorsqu'il n'est pas possible d'attendre leur refroidissement pour les manipuler.

Il est donc nécessaire d'utiliser des gants isolants maintenus secs pour éviter la formation de vapeur au contact des pièces chaudes; on peut également utiliser des chiffons épais pour procéder à ces manipulations.

A noter que les brûlures ne peuvent qu'être localisées; si elles sont douloureuses, elles ne sont jamais graves.

-o-

Le chauffage et le malaxage de certaines matières plastiques peuvent provoquer en cours d'extrusion des émanations de vapeurs ou de fumées désagréables à l'odorat. Il est alors préférable de capter à la source - filières et trémies - ces dégagements de fumées et de les évacuer à l'extérieur grâce à des ventilateurs.

Dans le cas de l'extrusion de PVC, si un dérèglement accidentel du chauffage provoque une dégradation de la matière plastique, il y a émission d'HCl, irritant et corrosif. Il est nécessaire de ventiler énergiquement le local où s'est produit le dégagement d'HCl. Le personnel ne court aucun risque sérieux, mais seulement celui d'une irritation oculaire désagréable mais fugace. Pour éviter de tels risques, le port de lunettes est recommandé.

-o-

Aux extrudeuses, sont très souvent annexées des machines pour tirer et scier les profils sortant de la filière, ou des machines pour souffler des gaines ou des corps creux. Ces appareils sont munis de moteurs, d'engrenages, de chaînes, etc, qui nécessitent les mêmes précautions que pour toutes autres machines-outils.

Des carters de protection ont été prévus par les constructeurs et il faut veiller à ce que ces protections soient en place lorsque les machines sont en fonctionnement.

Tous droits réservés

Dépôt légal
N° - 9.12.1972 - 23 955

Principales Activités du

CENTRE D'ÉTUDE DES MATIÈRES PLASTIQUES

**Essais mécaniques, thermiques, physicochimiques
selon les normes AFNOR, ISO, ASTM, DIN...**

o o o

**Études sous contrats (aptitude à l'emploi,
propriétés, mise en oeuvre, conception...)**

**Conseils et informations par téléphone ou sur
rendez-vous**

Bulletin de documentation, publications

Marques de Qualité