

27/90

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
HOUARI BOUMEDIENNE
(U.S.T.H.B) ALGER

INSTITUT DE GENIE MECANIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET

DE FIN D'ETUDES
EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIORAT D'ETAT

OPTION : CONSTRUCTION MECANIQUE

1er

THEME
ELABORATION D'UN LOGICIEL POUR LA
CONCEPTION DES FILIERES D'EXTRUSION
DES TUBES

6 PLANCHES

DIRIGE PAR : T. SELATNIA

ETUDIE PAR : A. OUNIS
M. MOULERICHE

SESSION : ██████████ - Juin 1990 -

المدرسة الوطنية المتعددة التخصصات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
HOUARI BOUMEDIENNE
(U.S.T.H.B) ALGER

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

INSTITUT DE GENIE MECANIQUE

PROJET

DE FIN D'ETUDES
EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIORAT D'ETAT

OPTION : CONSTRUCTION MECANIQUE

THEME

ELABORATION D'UN LOGICIEL POUR LA
CONCEPTION DES FILIERES D'EXTRUSION
DES TUBES

DIRIGE PAR : T. SELATNIA

ETUDIE PAR : A. OUNIS
M. MOULERICHE

SESSION : SEPTEMBRE 1989

DEDICACES

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

- A MON PERE,
- A MA MERE,
- A MES FRERES ET SOEURS,
- A TOUS MES AMIS.

M. MOULERICHE.

- A MES PARENTS QUI ONT VEILLE A MA REUSSITE,
- A MES FRERES ET SOEURS,
- A TOUS MES AMIS.

A. OUNIS .

REMERCIEMENTS:

En plus de notre promoteur: T.SELATNIA qui n'a pas ménagé ses efforts pour l'aboutissement de cette étude. Nous voulons remercier d'autres personnes dont nous valorisons la contribution.

Farmis elles, nous citons Mr BOUAROU DJ pour ses conseils et son accueil fraternel à chaque fois renouvelé, de même que Mr SAH KI, cadre à l'ENPC pour sa collaboration, sans oublier Mr CHIBANI HAMID qui a mis à notre disposition son micro-ordinateur et son temps, ainsi que MAMIA pour les livres de la bibliothèque centrale.

TITRE: ELABORATION D'UN LOGICIEL POUR LA CONCEPTION DES
FILIÈRES D'EXTRUSION DES TUBES.

RESUME: Cette étude consiste à établir un logiciel pour la conception des filières
d'extrusion des tubes. Ce logiciel nous donne les résultats suivants:

- dimensions du canal
- dimensions extérieur de la filière
- diamètre des vis de fixation

TITLE: LOGICIEL FOR DESIGN OF EXTRUSION DIES

SUMMARY: This study consist to establish logiciel for design of extrusion dies.
This logiciel give us the following results :

- Dimensions of chanal
- Die exterior dimensions
- ϕ fixation screws

العنوان: تصميم برنامج معلوماتي لتصميم قوالب
لانتاج الانابيب .

الخلاصة: هذه الدراسة تتعلق بتصميم برنامج
معلوماتي يمكننا من تصميم قوالب للانتاج الانابيب
هذا البرنامج يعطينا النتائج التالية

- ابعاد القناة
- الابعاد الخارجية للقالب
- قطر برغي التثبيت

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....
EXPOSE DU SUJET.....

CH I: DESCRIPTION DU PROCÉDÉ D'EXTRUSION DES TUBES.

I.1 Principe de l'extrudeuse.....
I.2 Description de l'extrudeuse.....
I.3 Differentes zones de l'extrudeuse.....
I.4 Vis d'extrudeuse.....
I.5 Differents types de vis.....
I.6 Chauffages de l'extrudeuse.....
I.7 Ligne d'extrusion des tubes.....
 I.7.1 Installation et équipement.....
 I.7.2 Filière d'extrusion des tubes.....
 I.7.2.1 La tête de filière.....
 I.7.2.2 Le canal d'approche.....
 I.7.2.3 La zone annulaire.....
I.7.3 Conformation extérieure.....
I.7.4 Calibrage intérieur.....
I.7.5 Dispositifs de tirage.....
I.7.6 Reception de l'extrudat.....

CH II. COMPORTEMENTS ET PROPRIETES DES MATERIAUX PLASTIQUES.

II.1 Comportements des matériaux.....
 II.1.1 Comportement rhéologiques.....
 II.1.1.1 Comportement visqueux.....
 II.1.1.2 Comportement élastique.....
 II.1.2 Comportement thermodynamique.....
 II.1.2.1 Densité et volume spécifique.....
 II.1.2.2 Conductivité thermique.....
 II.1.2.3 Diffusivité thermique.....
 II.1.2.4 Chaleur spécifique.....
II.2 Propriétés des matériaux.....
 II.2.1 Propriétés physiques et mécaniques.....
 II.2.2 Propriétés électriques.....
 II.2.3 Propriétés chimiques.....

CH III. CHOIX ET CALCUL DU CANAL D'ÉCOULEMENT.

- III.1 Mise en pression du polymère-----
- III.2 Dimensionnement du canal d'écoulement-----
- III.3 Calcul de la chute de pression-----
 - II.3.1 Chute de pression dans des canaux simples-----
 - II.3.2 Calcul de la chute de pression dans les différentes zones du canal-----
- III.4 Choix du filtre et calcul de la chute de pression-----
- III.5 Calcul de la pression dans quelques points particuliers-----

CH. IV CONCEPTION MECANIQUE

- IV.1 Dimensionnement mécanique de la filière-----
- IV.2 Calcul des vis de fixation-----
- IV.3 Choix et propriétés des matériaux de filières-----

CH. V CONCEPTION THERMIQUE

- V.1 Bilan thermique de la filière-----
- V.2 Calcul de la température des éléments chauffants-----

CH. VI PROGRAMMATION ET APPLICATION

- VI.1 Programmation-----
- VI.2 Essai rhéologique-----
- VI.3 Données et résultats-----

CH. VIII. MANIPULATION , ENTRETIEN, ET SOIN DES FILIERES-----

CONCLUSION-----

LEXIQUE-----

BIBLIOGRAPHIE-----

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

INTRODUCTION

INTRODUCTION :

Exposé du sujet: Notre projet consiste en l'elaboration d'un logiciel qui nous permet de construire des filieres pour tubes et cela pour differents materiaux plastiques.

Ce logiciel nous donnent les resultats suivants:

1. Dimensions du canal.
2. La depression dans les différentes zones du canal.
3. Les forces de pression et de cisaillement .
4. Dimensions de la filiere.
5. La quantité de chaleur à ajouter par colliers.

Dans le cas de notre projet, on va faire une application pour :

- une extrudeuse B120
- matière: PVC rigide
- diamètre extérieur: 90 mm
- diamètre intérieur : 85 mm

CH I. DESCRIPTION DU PROCÉDE
D'EXTRUSION DES TUBES

I. DESCRIPTION DU PROCEDE D'EXTRUSION DES TUBES

I.1 Principe de l'extrusion:

L'extrusion est le procédé de transformation d'un matériau se trouvant sous des formes diverses, en un produit continu de section transversale bien définie, Cette section généralement constante est obtenue en obligeant la matière à s'écouler par un orifice de forme adaptée au profil final souhaité.

Cette technique est utilisée pour de multiples fabrications comme les briques, Les tuyaux en plomb, de nombreux produits alimentaires ainsi que les matières thermoplastiques. Ces matières extrudées peuvent se présenter sous forme de poudre, paillettes, granulés, bandes, etc.

L'extrusion permet d'obtenir une masse plastique homogène capable de s'écouler, sous l'effet de la pression engendrée à travers l'outillage de mise en forme appelé :filière.

Les diverses fonctions :transport, malaxage, mise en pression, sont normalement réalisés dans la même machine : L'extrudeuse, ou presse à extruder, au bout de laquelle se trouve la filière.

Dans la majorité des applications, ce travail est le fait d'une ou plusieurs vis tournant à l'intérieur d'un fourreau réglé en température en fonction de la matière de base et du produit à réaliser.

Tous les paramètres comme les profils des vis et des fourreaux. Le régime thermique employé, Le système d'entraînement des vis, concourent à la réalisation du profil souhaité et ce, dans des conditions optimales.

I.2 Description de l'extrudeuse :

Une extrudeuse monovis est composée principalement d'une vis sans fin tournant à l'intérieur d'un fourreau cylindrique réglé en température.

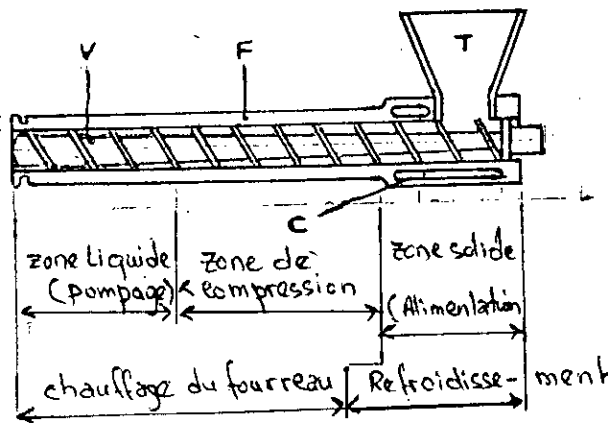
La matière à transformer est introduite dans le fourreau par une ouverture surmontée d'une tremie de stockage de grande capacité.

La vis d'extrusion tourne par l'intermédiaire d'un ensemble (moto-variateur et réducteur de vitesse) capable d'assurer une vitesse déterminée de façon fiable et précise.

La section amont du fourreau appelée culasse est généralement refroidie par circulation d'eau afin de faciliter l'alimentation en matière de la vis. Le fourreau proprement dit est réglé en température par un ensemble comprenant généralement un système de chauffage électrique par colliers chauffant, et un dispositif de refroidissement, soit à air, soit à circulation de fluide (eau ou huile thermique selon la température requise) pour certaines machines qu'on appelle degazeuses, les constructeurs ont cherché à éliminer les matières volatiles qui peuvent accompagner la matière dans le corps de l'extrudeuse ou qui apparaissent à la température de travail.

Une pompe à vide aspire les gaz qui s'échappent du corps de la machine par une cheminée située face à la zone de la vis marquant une modification des filets.

Une grille, en général en acier inoxydable, peut être interposée entre le bout de la vis et la filière son but est non seulement de retenir les corps étrangers, mais aussi de parfaire l'homogénéisation.



c: culasse

T: Tremie

F: fourreau réglé

V: Vis d'extrusion

Principe et fonctionnement de la vis d'extrusion

1.3 LES DIFFERENTES ZONES DE L'EXRUDEUSE :-

Le polymère progresse le long du chenal de la vis en passant de l'état solide à l'état fondu. D'après les observations qui ont été faites sur l'état du polymère dans la machine en régime permanent, on peut distinguer trois zones :-

- La zone d'alimentation, dans laquelle le polymère est entièrement solide (en granulés ou en poudre, plus ou moins compacté);

- La zone de plastification, dans laquelle coexistent le polymère solide et le polymère fondu;

- La zone de pompage, dans laquelle le polymère est totalement fondu.

I.4 LA VIS D'EXTRUSION:

La vis d'extrusion est l'organe essentiel de l'extrudeuse, elle est adaptée au travail à réaliser, car conçue pour être interchangeable.

Son profil sera étudié en fonction de la rhéologie de la matière à transformer.

Il existe de nombreux types de vis d'extrusion ; Cependant le plus répandu et le plus simple à un filet déterminant un canal de section rectangulaire et se compose de la façon suivante:

-Une première zone à noyau de diamètre constant, appelée zone d'alimentation,

-La zone suivante, à noyau cône de sorte que le volume de sortie soit inférieur au volume d'entrée du canal de la vis, désigné par les termes zones de compression ou zone de plastification,

-La troisième et dernière partie de la vis, à noyau de diamètre constant porte le nom de zone de mise en pression ou zone de pompage.

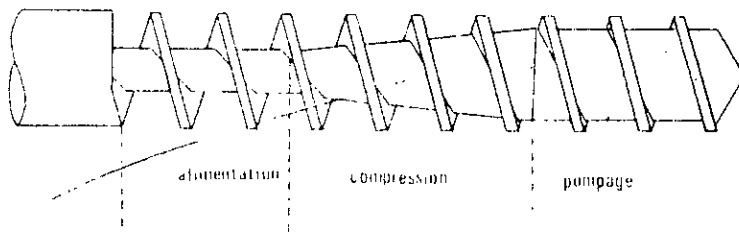


Figure 1.1 : Profil de la vis

1.5 différents types de vis:

En commençant par l'origine du développement de l'extrusion à vis, on s'aperçoit que dans un premier temps les transformateurs ont cherché à travailler les polymères avec les outils conçus pour le caoutchouc. Les premières vis étaient caractérisées par une profondeur de filet très grande. Un noyau cylindrique est un rapport L/D de 7 à 12.

La première mutation fut l'intégration du changement de densité apparente du polymère au cours de son passage dans l'extrudeuse. En effet, entre le produit massif, et le même sous forme de granules, il existe un rapport apparent de densité d'environ 60%. Par exemple, un polyéthylène de densité 0.918 produit des granules, de densité apparente 0.55. Cette constatation a débouché sur deux types différents de vis :

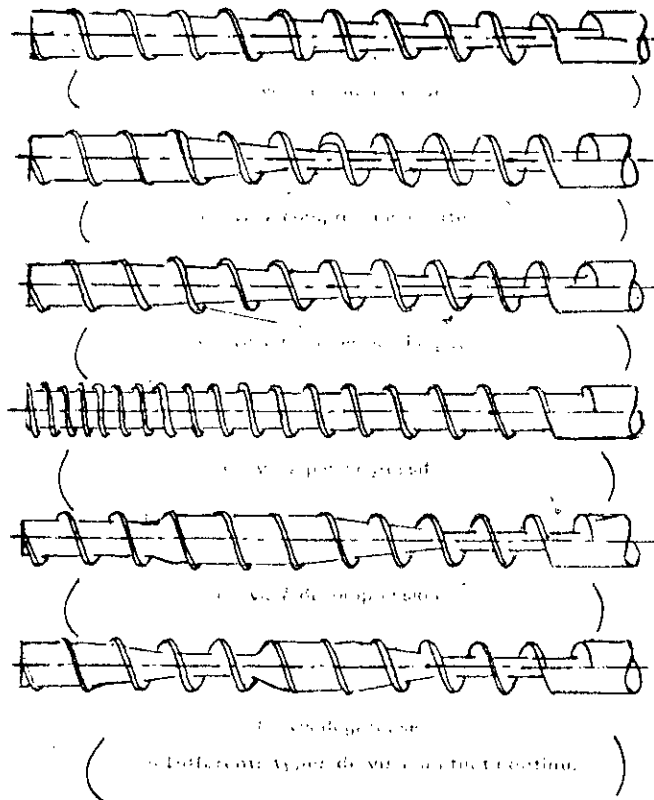
- Les vis à pas dégressifs et à noyau cylindrique,
- Les vis à pas constant et à noyau conique.

Dans les deux cas, la section du canal se réduisait pour tenir compte de la diminution du volume massique du produit, et aussi de la nécessité d'expulser l'air contenu dans les interstices des granules en le comprimant pour le forcer à s'échapper.

Les difficultés d'usinage des vis à pas dégressif font qu'aujourd'hui cette technique est pratiquement abandonnée au profit du noyau conique.

Actuellement, on s'oriente vers les profils conjuguant des zones à noyau cylindrique avec des zones à noyau conique.

Il existe des autres types de vis comme vis dégaseuse ou vis à zones de malaxage.



1.6 chauffage d'extrudeuse :-

- La méthode de chauffage du cylindre la plus courante agit par conduction à l'aide de résistances électriques fixées autour du cylindre . On dispose généralement d'un refroidissement par circulation d'eau dans la paroi du cylindre. Un autre système consiste en un chauffage par un circuit de liquide chaud, par exemple de l'huile . Cette méthode permet une régulation par chauffage ou refroidissement en agissant sur la température du liquide .Le chauffage par circuit d'huile est plus inerte que le chauffage par résistance électriques .Il est peu employé .On l'utilise sur les très grosses machines .Le chauffage par induction est un nouveau système déjà appliqué industriellement . Un conducteur électrique enroulé autour du cylindre en acier est parcouru par un courant alternatif qui engendre un flux magnétique induit dans le fourreau de la vis . Il y'a possibilité de combiner facilement le chauffage par induction et le refroidissement d'une machine.La régulation peut être assuré à $\pm 0.5^{\circ} C$.

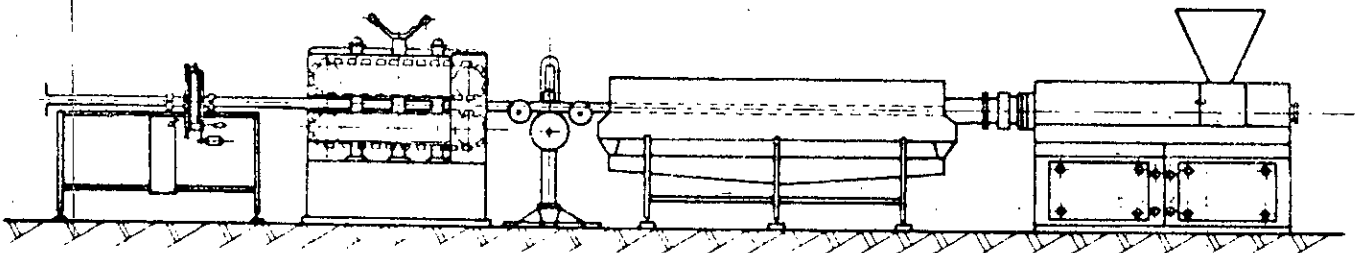
Conclusion: La consommation de courant du chauffage par induction est diminuée par rapport au chauffage par résistances électriques et le chauffage est rapide.

I.7 ligne d'extrusion de tubes :

I.7.1 installation et équipement :-

Une installation pour la fabrication des tubes rigides ou souples comprend les éléments suivants : extrudeuse , tête d'extrudeuse droite ou équerre , équipée d'une filière , appareil de calibrage, système de refroidissement , système de tirage , dispositif de sciage automatique à la longueur voulue(pour les tubes rigides)ou de bobinages(pour les tubes souples).

Comme équipement supplémentaire , la chaîne d'extrusion peut être équipée d'un appareil automatique de contrôle de l'épaisseur , d'un dispositif de stockage de tubes coupés .



Chaîne de fabrication de tubes

I.7.2 Filière d'extrusion de tubes :-

Après le tamis de filtration à l'extrémité de la boudineuse se trouve la tête de filière et la filière.

Les filières de mise en forme des polymères sont formées de restrictions ou de conduits dont le but est de donner une configuration ou section spécifique à un écoulement de polymère fondu qui y circule.

Elles sont constituées de trois régions fonctionnelles et géométriques.

I.7.2.1 La tête de la filière :-

La tête présente un élément monté au bout du cylindre de l'extrudeuse en aval de la vis. Son rôle est de laisser passer la matière plastifiée par la filière et cela sur les cotés d'une tourpille afin de ramener l'écoulement du fluide à un écoulement annulaire similaire à la forme de notre produit. La tourpille est une partie du poinçon ; et ce dernier est soutenu sur le corps extérieur de la filière par le porte poinçon. Inconvénient majeur de ce porte poinçon sont les ailettes du support qui cisailent le fluide qui les traversent, laissant ainsi des traces visibles sur le produit fini, se présentant sous forme de trait ou "lignes de soudure" indiquant ainsi une fragilisation de ce produit.

I.7.2.2 Le canal d'approche :

Il conduit le polymère fondu à la dernière ouverture de la filière. La largeur de ce canal doit diminuer de façon constante ; Ceci est indispensable pour assurer la contre pression nécessaire à la soudure du flux plastique après passage entre ailettes du porte poinçon.

I.7.2.3 La zone annulaire circulaire :

C'est la région de sortie de la filière, elle confère la forme correcte au produit. Elle permet aussi au polymère fondu de s'homogénéiser ou de s'uniformiser de nouveau après toutes les perturbations dues à l'écoulement dans les régions une et deux. Il faut éviter dans la construction des filières les angles morts où la matière pourrait stagner ; d'où risque de dégradation surtout dans le cas du PVC. De même, il faut que les ailettes du porte poinçon soient conçues de telle façon que l'épaisseur des bouts soit aussi faible que possible, et orientés dans le sens de l'écoulement. Il faut aussi prévoir un démontage simple et rapide pour permettre le nettoyage. La filière est chauffée par l'intermédiaire d'un ou plusieurs colliers chauffants. Ces derniers épousent la forme extérieure de la filière.

I.7.3 conformation exterieur :-

Un calibreur ou conformateur sert à maintenir la forme et les dimensions requises d'un profil sortant d'une filière dans état visqueux .Il existe plusieurs types de conformateurs dans lesquelles les parois encore chaudes et déformables sont plaqués contre les faces refroidies du calibreur par le vide , agissant de l'exterieur , ou par la pression de l'air à l'interieur du tube.

Un des systèmes , nommé <<conformation en bac d'eau sous vide>> est utilisé avec beaucoup de succès , il se compose d'un long reservoir fermé , rempli aux deux tiers d'eau froide constamment renouvelée .L'air au dessus de l'eau est maintenu sous depression de quelques 300 Pa.Le tube extrudé est introduit à travers un orifice équipée d'un joint d'étanchéité dans les calibres alésés d'une serie de plaques metaliques .

Un autre système de conformateur calibreur <<à canal sec>>est composé d'une serie de compartiment en tournant le canal central par lequel passe l'extrudat . Les uns sont refroidies par eau , les autres qui communiquent par des petits orifices avec le profil extrudé ,se rouvent sous la depression à l'entrée du conformateur .L'extrudat est arrosé par l'eau ce qui le refroidit et facilite son avancement dans le canal central du conformateur .

Une autre methode utilisée depuis quelques dizaines d'années utilise une surpression d'air dans le tube extrudé fermé par un bouchon (retenu par une chaine à l'interieur du profil extrudé).

I.7.4 Calibrage interieur :-

Le calibrage interieur des tubes est plus difficile à realiser .Il exige un système spécial sous forme d'un mandrin refroidi par eau . Pour le calibrage interne l'utilisation de la tête équerre est recommandée.

I.7.5 dispositifs de tirages:-

Les dispositifs de tirages doivent être ajustés ou profilés extrudés. Pour les tubes on utilise le plus frequement les tireurs à chenilles.On rencontre les tireurs à deux ou à trois series de rouleaux . Ces derniers assurent une bonne conformation de la linearité de l'extrudat .Les sabots des chenilles sont réalisés en caoutchouc ce qui assure un bon entrainement.

Le dispositif de tirage le plus simple peut être réalisés sous forme d'un tapis, sur lequel repose le profilé .L'effet d'entrainement peut être amélioré par quelques galets presseurs .

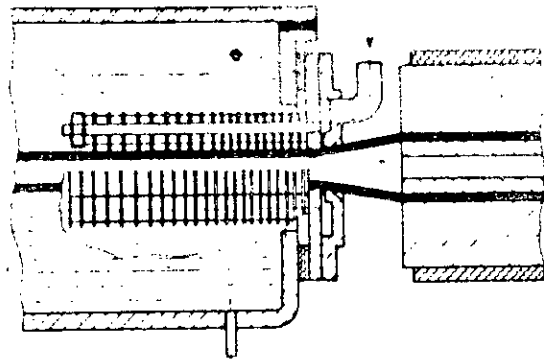
I.7.5 Réception de l'extrudat :-

Les tubes rigides sont sciés à la longueur désiré .En général la scie circulaire suit le profilé dans son mouvement d'avance et pour cela est entrainé par le profilé lui-même .commandé automatiquement par un contacteur électrique , elle coupe le tube , et recule à la position de départ .

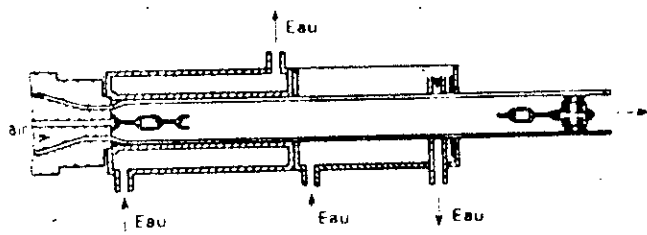
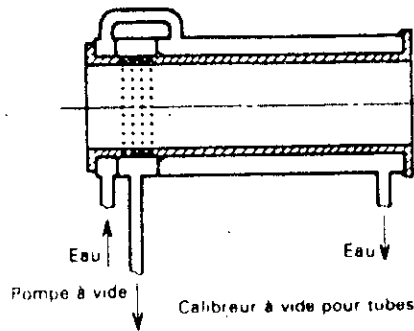
Plusieurs autres systèmes trouvent ici leur application et dépendent en général de la taille et de la consistance du tube extrudé.

Les tubes souples sont dans la plupart des cas enroulés sur des bobines dont la rotation est liée à la vitesse de tirage.

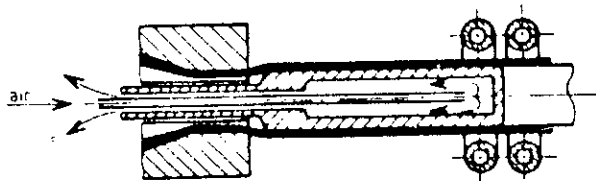
Les appareils automatiques de mesure en continu de l'épaisseur de la paroi sont coûteux et installés à la demande de transformateur. La mesure est réalisée par retrodiffusion beta et gamma ou par ultrasons.



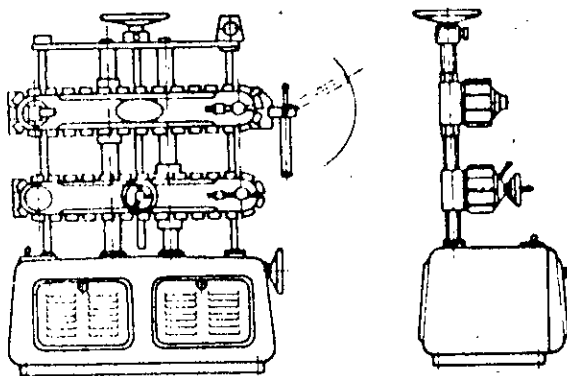
Bac de refroidissement avec calibre
à plusieurs disques



Calibre à pression interne et refroidissement à eau



Calibre à mandrin — Refroidissement interne et externe



Chenilles de tirage pour extrudeuses

**CH. II COMPORTEMENTS ET PROPRIETES
DES MATERIAUX PLASTIQUES .**

II.1 COMPORTEMENTS DES MATERIAUX :

La transformation et la mise en oeuvre des matériaux thermoplastiques ^{thermoplastique.} comportent habituellement trois étapes: Le chauffage, la mise en forme proprement dite et le refroidissement. Au cours de chaque opération de transformation interviennent donc des phénomènes liés à la chaleur et au temps (phénomène thermodynamique) et à l'écoulement (phénomène rhéologiques).

II.1.1 COMPORTEMENT RHEOLOGIQUE:

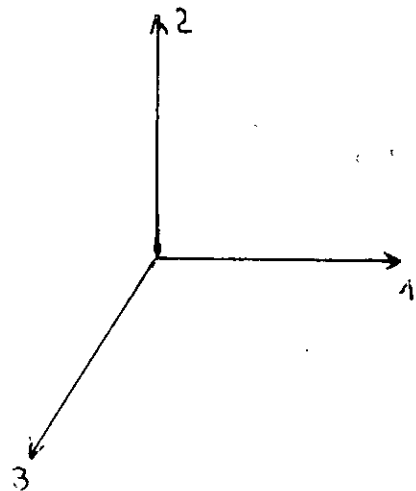
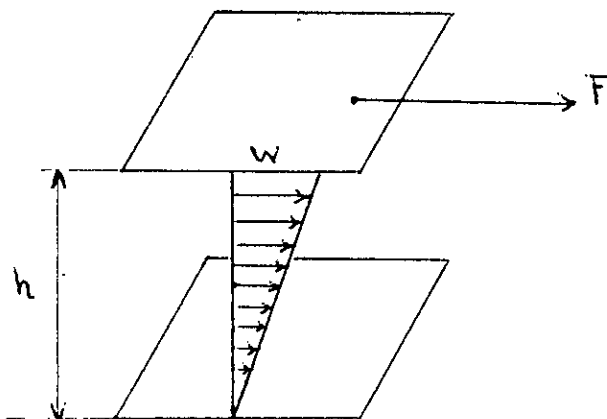
Les matières thermoplastiques sont décrites, dans leur comportement rhéologique, comme viscoélastiques, c'est à dire qu'elles se comportent d'une manière visqueuse comme un liquide mais aussi d'une manière élastique comme un corps solide élastique.

III.1.1.1 COMPORTEMENT VISQUEUX:

Le comportement visqueux est introduit ici le premier car c'est la première approximation du comportement rhéologique des polymères fondus.

a- La loi de comportement Newtonien

Considérons un liquide visqueux cisailé entre deux plaques de surface S , distante de h , l'une des plaques est animée par rapport à l'autre de la vitesse w .



- le taux de cisaillement est :- $\dot{\gamma} = \frac{\omega}{h}$.

- il faut exercer une force f qui induit une cission :- $\tau = \frac{F}{S}$.

Expérimentalement pour la plupart des liquides à une température et à une pression données, le rapport entre τ et $\dot{\gamma}$ est indépendant de $\dot{\gamma}$:-

Newton a défini la viscosité η par la relation

$$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma}$$

Les polymères fondus ont un comportement particulier, dû à leur structure macromoléculaire.

-d'une part, leur viscosité varie très rapidement avec le temps,

-d'autre part, la viscosité est non-newtonienne, en ce sens qu'elle décroît avec $\dot{\gamma}$. Cette propriété est appelé Pseudo-plasticité.

b- Le comportement pseudo-plastique:

La modélisation la plus courante de ce comportement est la loi puissance , en cisaillement simple

$$\tau = K |\dot{\gamma}|^{m-1} \cdot \dot{\gamma}$$

ce qui correspond à la loi de viscosité

$$\eta(\dot{\gamma}) = K |\dot{\gamma}|^{m-1}$$

K: consistance du liquide

m: indice de pseudoplasticité

Les deux comportements extrêmes sont:-

-le comportement Newtonien si $m = 1$.

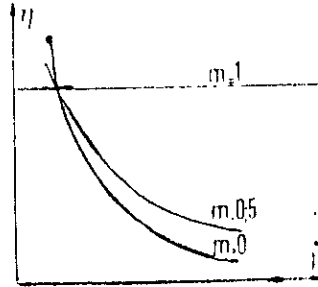
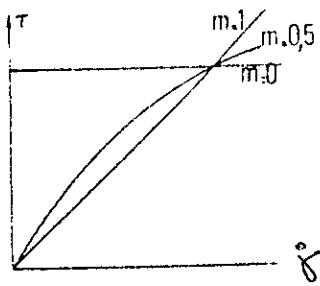
-le comportement plastique si $m = 0$.

c. ^{viscosimétrique} Ecoulement viscosimétrique .

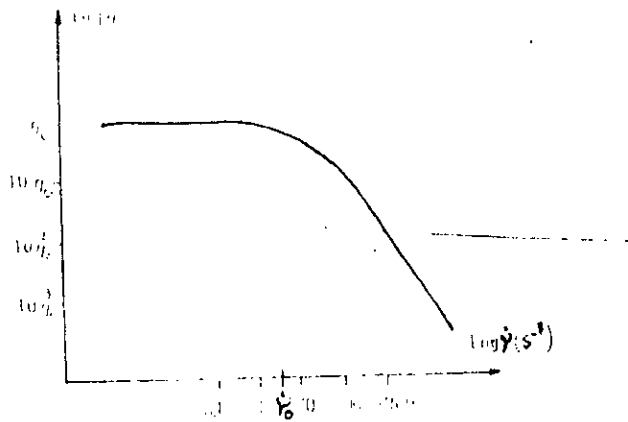
Les mesures de viscosité capillaire permettent d'accéder à la valeur de la viscosité correspondant au taux de cisaillement à la paroi du tube.

Quelque soit le comportement du matériau, la cission τ_w à la paroi du tube est reliée à la perte de charge dans le tube par la relation:

$$\eta = \frac{\tau_w}{\dot{\gamma}_w}$$



(: Comportement pseudo-plastique ou loi puissance)



Evolution typique de la viscosité d'un polymère fondu avec le taux de cisaillement

II.1.1.2 COMPORTEMENT-ÉLASTIQUE DU MATERIAU

Les matières plastiques ont un comportement viscoélastique, qui s'extériorise d'une part par le phénomène suivant: dans le cas d'une forte variation de section, ^{gonflement} comme par exemple, lors de l'écoulement de la matière en fusion dans un capillaire, d'autre part, le comportement viscoélastique des matières plastiques s'extériorise

→ ?

$$\Delta P \pi R^2 = 2 \pi R L \cdot \tau_{\omega}$$

soit
$$\tau_{\omega} = \frac{\Delta P R}{2L}$$

Le taux de cisaillement à la paroi du tube s'écrit :
si le tube a un comportement Newtonien

$$\dot{\gamma}_{\omega} = \frac{4Q}{R^3} \text{ ne dépend que du débit}$$

si le fluide a un comportement pseudoplastique

$$\dot{\gamma}_{\omega} = \frac{(3m+1)Q}{m R^3} \text{ dépend du débit et } m$$

m: indice de plasticité

On remarque que:-

$$\dot{\gamma}_{\omega} = \frac{3m+1}{4m} \dot{\gamma}_{\omega} \quad (1)$$

La relation entre la cission et le taux de cisaillement s'écrit :

$$\tau_{\omega} = K \dot{\gamma}_{\omega}^m$$

soit

$$\tau_{\omega} = K \left[\frac{3m+1}{4m} \right]^m \dot{\gamma}_{\omega}^m$$

En traçant, en coordonnées logarithmiques, l'évolution de τ_{ω} (ne dépendant que de la perte de charge) en fonction de $\dot{\gamma}_{\omega}$ (qui lui dépend du débit Q) on obtient l'indice m de pseudoplasticité recherché. De là on peut alors calculer le taux de cisaillement réel à la paroi.

D'après (1) la viscosité est :

ainsi: les déformations pouvant se produire lors de la transformation sont, en partie réversible. Ceci s'explique ainsi:

La chaîne de molécule ne se défait pas directement ou bien lentement lors d'une déformation, mais s'oriente plus ou moins fortement dans le sens de déformation.

En raison de la déformation primaire élastique, le matériau déformé est contraint à reprendre son état de sortie, cependant avec le temps ce matériau s'adapte plus ou moins vite à cet état forcé, et si cet état de désorientation n'est pas arrêté totalement à la sortie d'une filière d'extrusion, il peut se produire alors finalement une position de retrait de déformation élastique du matériau, ce qui s'explique par le gonflement du ^{produit} semi fini extrudé. Si une matière s'écoule à travers une filière d'extrusion, les déformations seront introduites par deux processus:—

- déformation par allongement ou compression dans les sections de canaux convergents ou divergents,
- déformation par cisaillement.

a-Gonflement en sortie de filière:

Appelé: Effet BARRUS, phénomène propre à l'extrusion des matières plastique, il se traduit par:

Sr: taux de gonflement

$$Sr = \frac{D}{D_0}$$

D :Diamètre final de l'extrudat.

D₀:Diamètre de la filière.

Sr est compris entre 1 et 3

Tous les auteurs s'accordent à penser que le gonflement en sortie de filières est relié aux propriétés viscoélastiques des polymères.

b- Origine du phénomène:

Du point de vue structural, le gonflement est dû à la désorientation des molécules par le champ de cisaillement. Du moment que l'élasticité des polymères est toujours partiellement retardée; le gonflement n'est pas instantané.

c-Paramètres influant sur le gonflement

! -Temps de résidence du polymère dans la filière

-Cisaillement: Sr est une fonction croissante de cisaillement à la paroi.

-Longueur de filière : Sr est une fonction décroissante de la longueur, à une certaine longueur Sr= Constante

-Entrée de la filière: géométrie.

d-Instabilité d'écoulement:

Si la valeur critique de la contrainte à la paroi est atteinte, l'extrudat présente une distorsion irrégulière, le cisaillement à la paroi étant une fonction croissante du débit, d'où les instabilités d'écoulement limitent le débit des extrudeuses car l'amplitude de la distorsion augmente avec le débit. Il est clair qu'on ne peut pas supprimer l'apparition des instabilités mais on peut les retarder en :-

-augmentant la température (à débit constant) .

-dessinant les filières de manière que le gradient de pression axiale $\frac{\partial p}{\partial x}$, soit le plus constant possible.

e- Rupture à l'état liquide :-

Un liquide viscoélastique en écoulement emmagazine une certaine énergie élastique correspondant à une déformation des macromolécules. Cette énergie est nécessairement limitée, et certaines vitesses de déformation critiques ne peuvent pas être dépassées sans que la structure physique du liquide ne soit affectée.

-En élongation, le niveau des contraintes augmente rapidement avec le taux d'élongation, au delà d'un certain niveau, il se produit une rupture.

-En cisaillement, la rupture est possible également.

La plus grande partie des défauts d'extrusion sont dues effectivement à une rupture du polymère fondu dans la filière. Le régime oscillatoire qui s'établit correspond à un mécanisme du type.

Augmentation de contrainte ==> rupture ==> Augmentation de débit Diminution de débit ==> ressoudure ==> Relaxation de contraintes

II.1.2 COMPORTEMENT THERMODYNAMIQUE DE LA MATIERE

Les données thermodynamique sont généralement fonction de pression et de température. La fonction pression peut être mise de côté (pression relativement faible dans les filières à extrusion < 600 bars).

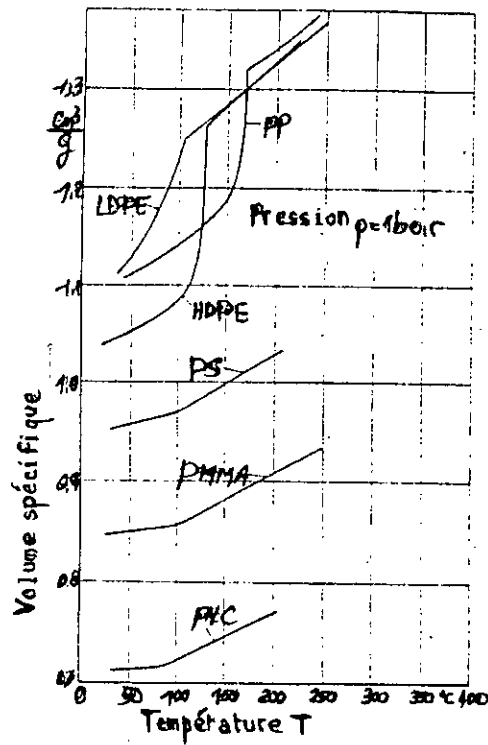
Pour la fonction température si l'on ne passe pas par exemple par une zone de transition, si l'on reste donc comme dans une filière d'extrusion dans la zone de fusion quelques données peuvent être considérées comme constantes.

II.1.2.1 DENSITE ET VOLUME SPECIFIQUE .

La figure II.1 montre, pour quelque polymères, le volume spécifique V_p qui est relié à la densité par le rapport:

$$V_p = \frac{1}{\rho}$$

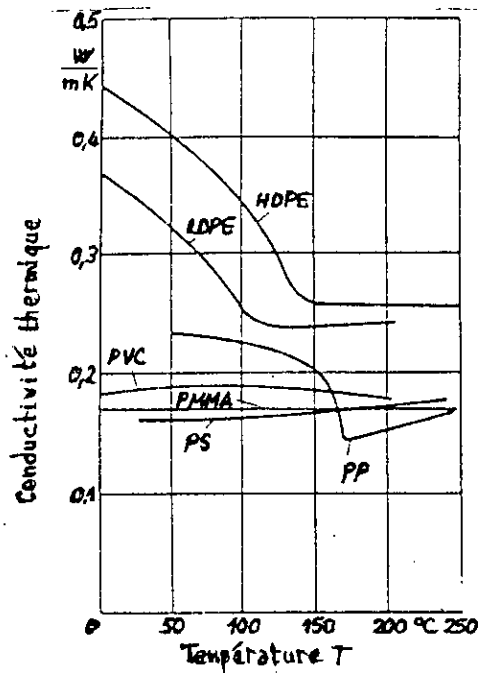
Dans la zone de pression des filières d'extrusion, en négligeant l'influence de la pression, la marge d'erreur est de 1 à 3%



Volume spécifique en tant que fonction de la température.

II.1.2.2 CONDUCTIVITE THERMIQUE .

La conductivité thermique en tant que fonction de la température est représentée par la figure fig.II.2 . On remarque que dans une filière c'est à dire pour une température > 160°C ,La conductivité thermique est presque constante.



Conductivité thermique en tant que fonction de la température / 1 /.

...THERMIQUE.

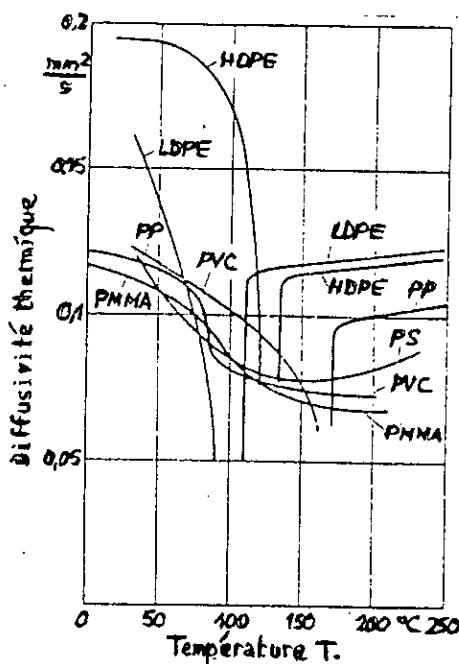
II 1.2.3 DIFFUSIVITE THERMIQUE

Lors de la détermination du champ de température stationnaire en tant que donnée, seule la conductivité thermique doit être considérée, alors que lors des processus non-stationnaires, il faut considérer la relation conductibilité thermique par rapport à la capacité de réserve thermique.

Cette relation se traduit en terme de diffusivité thermique par la figure (fig II.3):

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot C_p}$$

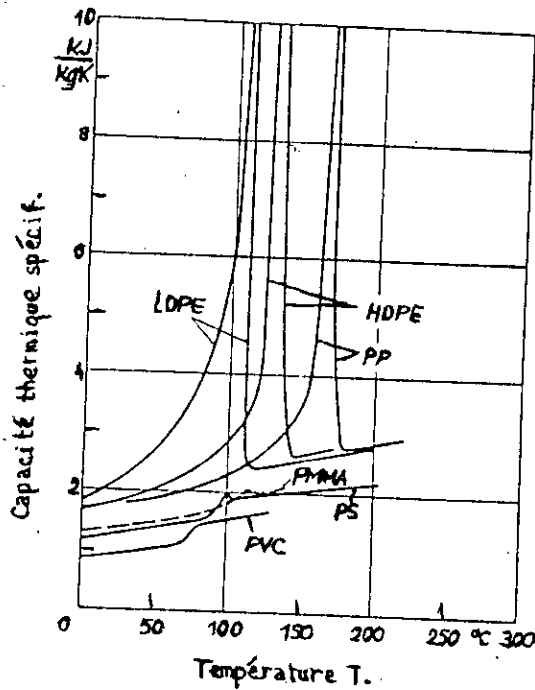
Dans ce cas également, l'influence de la pression peut dans la pratique, être négligée.



Diffusivité thermique en fonction de la température / 1 /.

II.1.2.4 CHALEUR SPECIFIQUE:

Même dans le cas de calcul de la capacité thermique C_p présentée par la figure (fig II.04), l'influence de la pression peut être négligée.



Capacité thermique spécifique / 1 /.

II.2. PROPRIETES DES MATERIAUX .

II.2.1 PROPRIETES PHYSIQUES ET MECANIQUES .

Elle sont spécifiques pour chacune de ces matières. Tel produit a une résistance au choc particulièrement élevée (les polycarbonates par exemple), tel autre a une résistance à la flexion alternée exceptionnelle (cas du polypropylène), tel autre une excellente résistance à l'abrasion (cas de beaucoup d'entre eux, du PVC en particulier), tel autre est utilisé pour la confection de hublots pour avions supersoniques, car il allie à la fois la légèreté, la transparence, la résistance à la chaleur et la dureté de surface (cas de certains polyméthacrylates modifiés.).

II.2.2 PROPRIETES ELECTRIQUES •

Les propriétés électriques sont remarquables et les matières plastiques remplacent de plus en plus les matériaux traditionnels, en particulier dans le domaine de l'isolement. Les matières plastiques extrudables sont utilisées depuis longtemps pour le gainage des fils électriques.

II.2.3 PROPRIETES CHIMIQUES •

Au contact des liquides ou des gaz le comportement des matières plastiques varie suivant leur nature et leur composition Il peut y avoir diffusion, absorption avec gonflement ou gelatinisation, dissolution ou destruction selon l'agressivité des produits en presence.

CH-III CHOIX ET CALCUL DU CANAL D'ECOULEMENT:

III.1 MISE EN PRESSION DU POLYMERE FONDU:—

Dans l'extrudeuse, on rencontre deux types d'écoulements de polymères fondus:

-un écoulement dans la zone de compression où la section de passage entre la vis et le fourreau diminue et où coexistent généralement du polymère solide et du polymère liquide.

-un écoulement dans la zone de pompage où la section de passage est constante et où tout le polymère est à l'état fondu.

La dernière zone sert à amener le polymère à la pression requise pour atteindre l'écoulement dans l'outillage de mise en forme (filière) au débit désiré. Son rôle est lié à la nature de la perte de charge. Les pressions utiles en extrusion varient entre 100 et 700 bars. Le débit de la vis dépendra de cette pression, et on considère le débit réel comme la différence du débit de pompage et du débit de contre pression. Ce débit réel est fonction de:

-La profondeur du filet de vis dans la zone de pompage.

-La valeur du jeu entre vis et fourreau.

-La viscosité du polymère à la température de transformation.

-La perte de charge engendrée par l'écoulement dans la filière.

Si l'on néglige l'existence d'un jeu entre le sommet du filet et le fourreau, et que l'on considère la matière entièrement fondue, le débit sera la différence entre le débit nominal de cisaillement de la zone de pompage et le débit de reffoulement dû à la contre-pression de la filière fixée au bout de l'extrudeuse.

Le débit volume global est la somme algébrique du débit de cisaillement et du débit de poiseuille.

$$Q_v = Q_{v1} - Q_{v2} = (W h V_z / 2) - (W h^3 \Delta P / 12 \eta Z)$$

W : largeur du canal

h : profondeur du canal

V_z : vitesse relative du canal et du corps

ΔP : perte de charge dans la zone de pompage

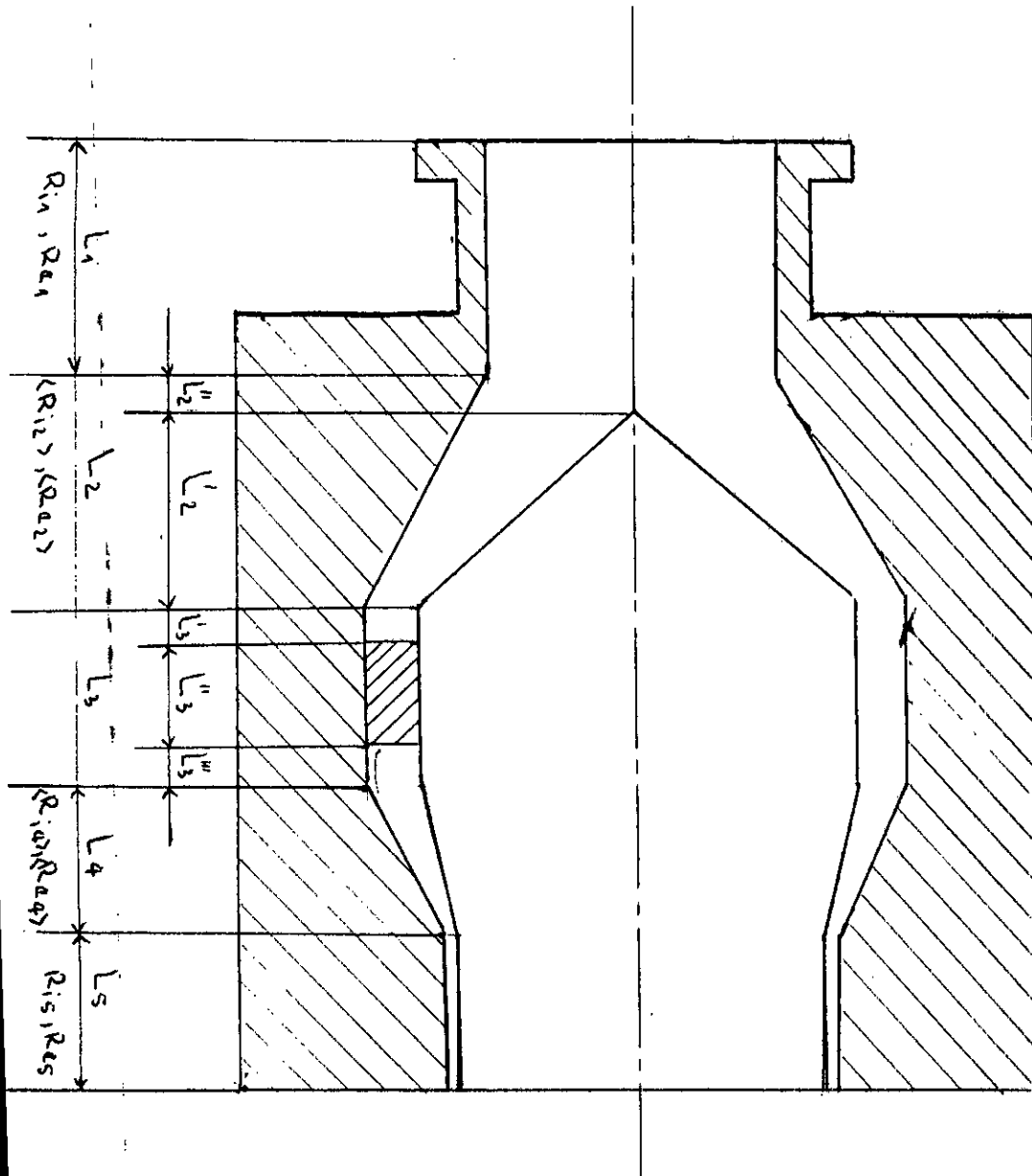
η : viscosité du polymère

Z : longueur du canal enroulé.

Si on considère que Q_v = Q_{v,max} de la machine alors la pression en tête de l'extrudeuse sera : —

$$\Delta P = \left[\frac{W h V_z}{2} - Q \right] \times \frac{12 \eta Z}{W h^3}$$

III.2 DIMENSIONNEMENT DU CANAL D'ÉCOULEMENT



La première filière considérée, est une filière avec un porte poinçon laquelle présente un canal divisé en 5 zones . Le poinçon est retenu par des entratoises sur le segment III.

ZONE V .

On commence le calcul du canal par la zone V car c'est dans cette zone qu'on a le plus de données (pression de sortie, Données rhéologiques: taux de tirage, taux de gonflement...etc) .

Le taux de tirage DDR est égale à 1.22 pour les tubes.

On a la relation suivante :

$$\text{DDR} = \frac{V_{\text{tube}}}{V_{\text{écoulement}}} = \frac{V_t}{V_{e'}}$$

V_t : vitesse du tube(solide)

$V_{e'}$: vitesse du tube à la sortie de la filière

$$V_t = \frac{Q_v}{S_{\text{tube}}} \quad (1)$$

Q_v : débit volumique de la matière plastique refroidie .

S_t : section du tube (final) .

$$S_t = \frac{\pi}{4} (D_e^2 - D_i^2)$$

D_e et D_i (dimensions finales du tube)

$$Q_{v,\tau} = \frac{Q_{m,\tau}}{\rho_\tau}$$

$Q_{m,\tau}$: débit massique à la température de travail τ .

ρ_τ : densité à la température de travail τ .

$Q_{m,\tau} = \text{constante} \sqrt{\tau}$ la température de travail .

d'où :- $Q_{m,t} = Q_m$ (Q_m : débit massique à l'état solide) .

$$\begin{cases} Q_{m,t} = Q_{v,t} \cdot \rho_T \\ Q_m = Q_v \cdot \rho_s \end{cases} \implies Q_{v,t} \times \rho_T = Q_v \times \rho_s$$

($T = \text{ambiante}$) .

d'où :- $Q_v = \frac{Q_{v,t} \times \rho_T}{\rho_s}$. (2)

de (1) et (2) on calcul V_t et on détermine ainsi V_e' .

On a une relation qui nous permet de calculer la section du tube à l'état gonflé.

$$S_g = \frac{Q_{v,t}}{V_e'}$$

S_g : section du tube à l'état gonflée: (V_e' : Vitesse d'écoulement à la sortie de la filière) .

$$\frac{S_g}{S_f} = K = \frac{(D_{Ge}^2 - D_{Gi}^2)}{(D_e^2 - D_i^2)} \implies \begin{cases} D_{Ge} = \sqrt{k} D_e \\ D_{Gi} = \sqrt{K} D_i \end{cases}$$

k : c'est le rapport de la section à l'état gonflé sur la section du tube finale.

Taux de gonflement: S_r

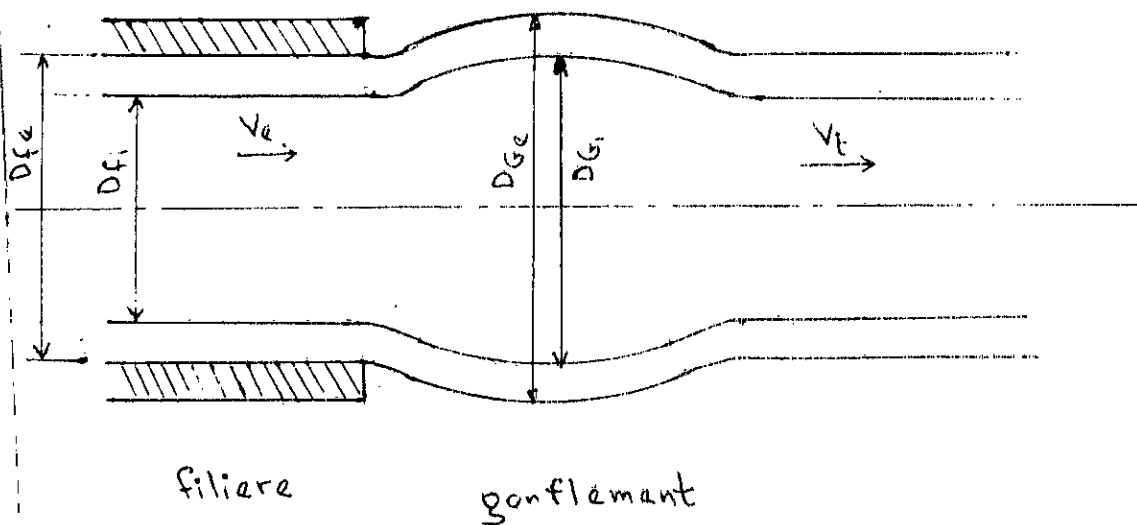
S_r : dépend de la vitesse d'écoulement (déterminé à partir des essais rhéologiques).

$$S_r = \frac{S_g}{S_f} = \frac{(D_{Ge}^2 - D_{Gi}^2)}{(D_e^2 - D_i^2)} \implies \begin{cases} D_{fe} = D_{Ge} / \sqrt{S_r} \\ D_{fi} = D_{Gi} / \sqrt{S_r} \end{cases}$$

• Si nous remplaçons (D_{Ge} et D_{Gi}), $(k)^{1/2}$ et d'autres; nous aurons :

$$D_{fe} = \frac{D_e}{\sqrt{S_r}} \left(\frac{\beta_s}{\beta_r} DDR \right)^{1/2}$$

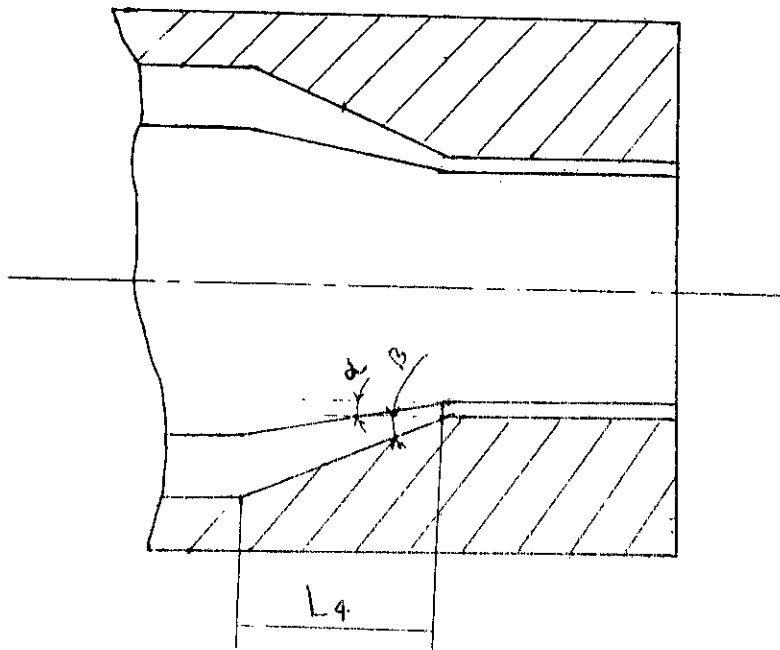
$$D_{fi} = \frac{D_i}{\sqrt{S_r}} \left(\frac{\beta_s}{\beta_r} DDR \right)^{1/2}$$



$$L_5 = (10 \text{ à } 30) H = (10 \text{ à } 30) \cdot \frac{D_{fe} - D_{fi}}{2}$$

On prend la plus grande valeur généralement car :-
 Experimentalement nous avons vu qu'à chaque fois qu'on augmente la longueur de la zone 5, on minimisé le gonflement à la sortie .

ZONE :-4



$$A = \frac{\text{Ø. porte poinçon}}{\text{Ø. sortie de la filière}} = 1.4 \text{ à } 1.6 \text{ (pour le PVC)}$$

$$A = 2 \text{ (Pour le PE) .}$$

$$\text{d'où : } \frac{R_{14}}{R_{15}} = A \implies R_{14} = A R_{15}$$

$$\text{on a : } 15^\circ < \alpha < 30^\circ .$$

$$15^\circ < \beta < 30^\circ \text{ et } 10^\circ < \beta - \alpha < 15^\circ .$$

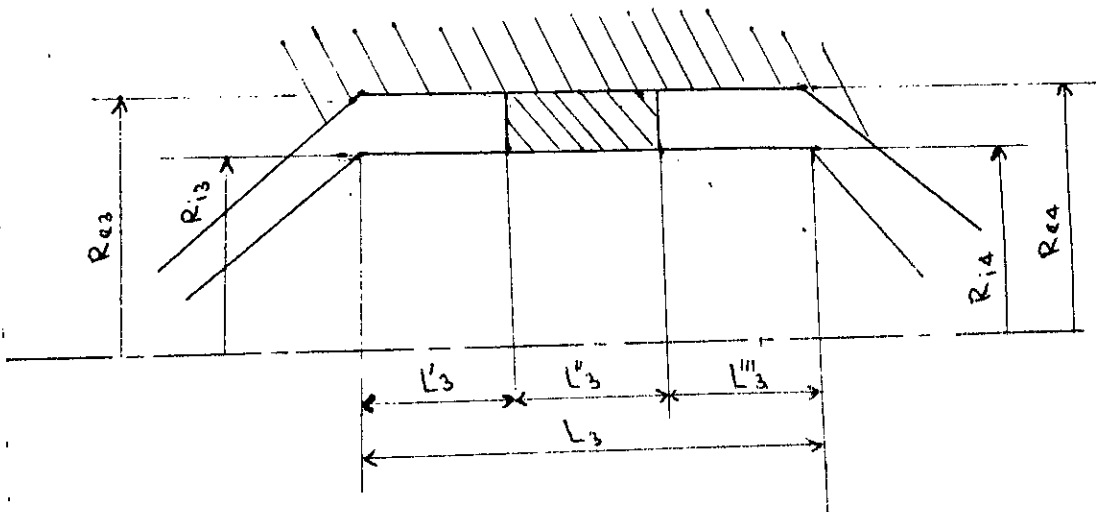
on choisit la valeur de α et β

$\beta \neq \alpha$ et ($\beta > \alpha$: généralement) : pour assurer une meilleure soudure du tube.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{R_{j4} - R_{j5}}{L_4} = \frac{(A-1) R_{j5}}{L_4} \implies L_4 = \frac{(A-1) R_{j5}}{\operatorname{tg} \alpha}$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{R_{e4} - R_{e5}}{L_4} \implies R_{e4} = L_4 \operatorname{tg} \beta + R_{e5}$$

Zone 3:



Pour la zone 3 •

$$R_{i3} = R_{i4}$$

$$R_{e3} = R_{e4}$$

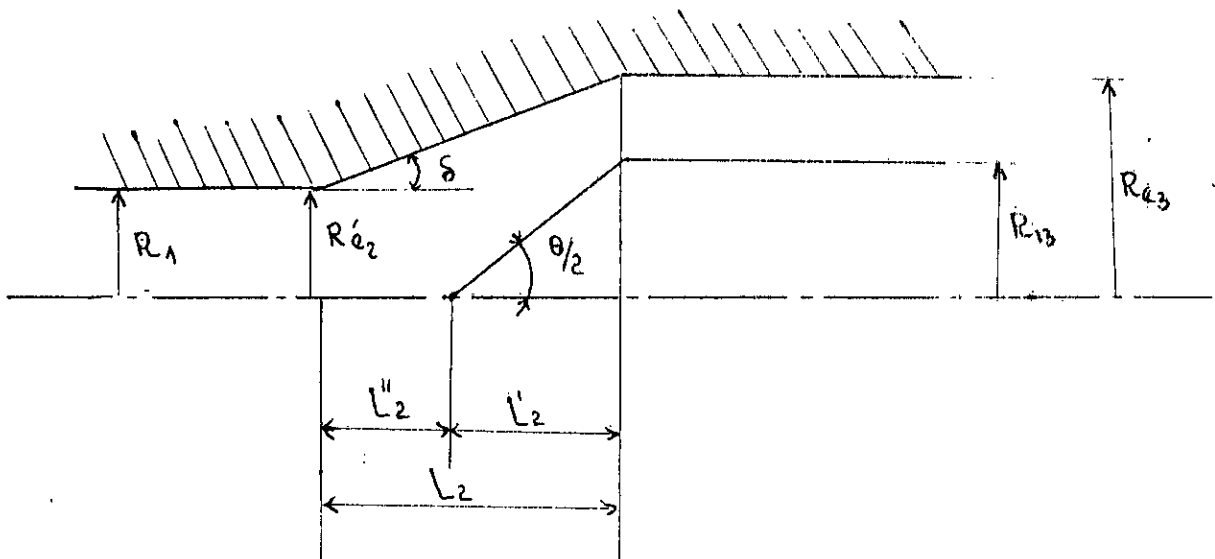
longueur de la zone 3 •

$$L_3 = L'_3 + L''_3 + L'''_3$$

L''_3 : longueur de l'ailette

L'_3 , L'''_3 : Laissées de part et d'autre de l'ailette.

Zone 2:



$$\bullet R_{e2} = R_1 = \frac{\text{diamètre du fourreau}}{2} \bullet$$

Longueur de la zone L_2 :-

$$\text{tg } \delta = \frac{R_{e3} - R_{e2}}{L_2} \implies L_2 = \frac{R_{e3} - R_{e2}}{\text{tg } \delta}$$

$$L'_2 = \frac{R_{i3}}{\text{tg } \theta/2} \implies L''_2 = L_2 - L'_2$$

Zone 1 : C'est la zone cylindrique de rayon $R_1 = \frac{\varnothing}{2}$ fourreau

III.3 CALCUL DE LA CHUTE DE PRESSION .

III.3.1 CHUTE DE PRESSION DANS DES CANAUX SIMPLES:-

Hypotheses:-

-écoulement stationnaire: $v(t+\Delta t)=v(t)$

-écoulement laminaire : $(Re < 1)$

-écoulement isotherme : toutes les particules ont la même température pendant le processus d'écoulement .Nous utiliserons pour notre matériau la loi de puissance: OSTWALD DE WEALE;

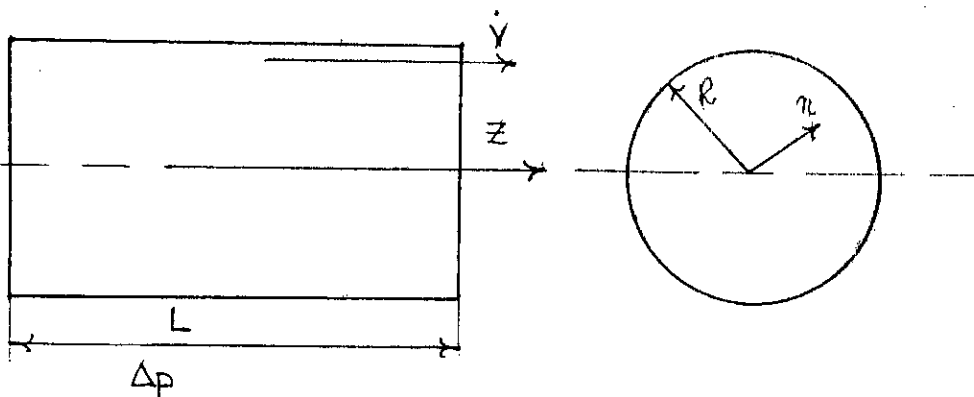
$$\tau^m = \frac{1}{\phi} \dot{\gamma}$$

m: indice d'écoulement

ϕ : fluidité du liquide

$\dot{\gamma}$: taux de cisaillement

a) pour un cercle:-



$$\tau = \frac{\Delta P}{2L} r, \quad \tau_w = \frac{\Delta P}{2L} R$$

τ_w : cisaillement à la paroi.

$\dot{\gamma}$: taux de cisaillement.

\dot{V} : débit volumique.

$$\tau = \tau_w \frac{r}{R}$$

$$\dot{\gamma} = \frac{(m+3) \dot{V}}{\pi R^3}$$

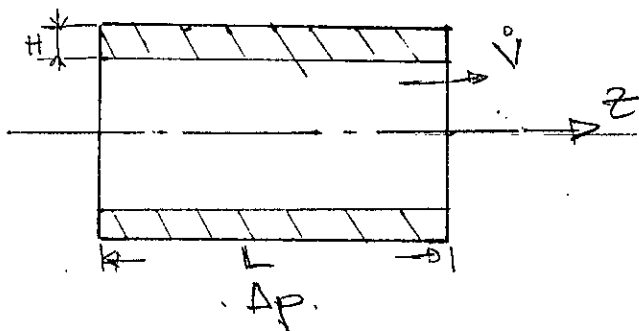
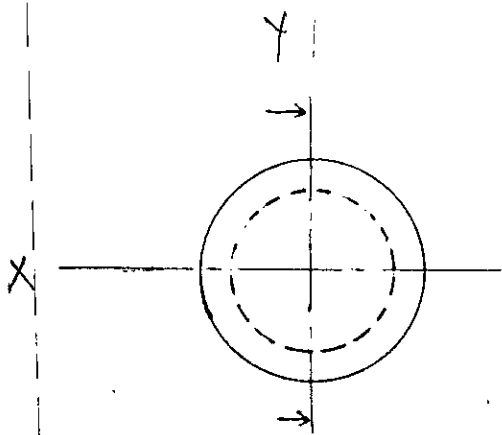
$$v_z = v_{z \max} \left(1 - \left(\frac{r}{R} \right)^{m+1} \right) \quad \text{avec } v_{z \max} = \phi \left(\frac{\Delta P}{2L} \right)^m \frac{R^{m+1}}{m+1}$$

$$\bar{v}_z = \frac{\phi}{m+3} \cdot \left(\frac{\Delta P}{2L} \right)^m \cdot R^{m+1}$$

$$\frac{\Delta P}{L} = \left[\frac{2^m \dot{V} (m+3)}{\phi \pi R^{m+3}} \right]^{1/m}$$

fente.

b/fonte annulaire:



$$\tau = \frac{\Delta P}{L} \cdot y$$

$$\tau_{\omega} = \frac{\Delta P \cdot H}{2L}$$

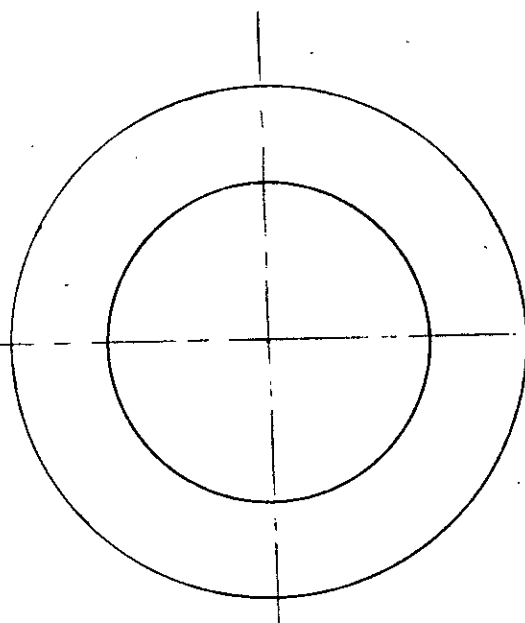
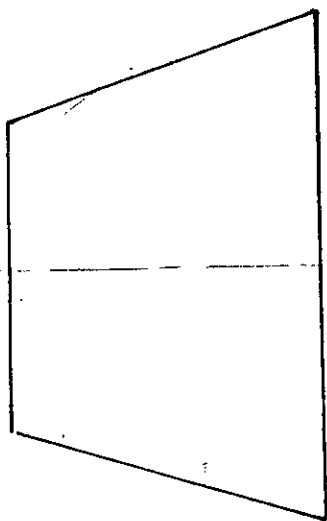
$$\tau = \frac{R}{2} \cdot \frac{\Delta P}{L} \left[\left(\frac{z}{R} \right)^2 - \frac{1 - k^2}{2 \ln \frac{1}{k}} \cdot \left(\frac{R}{z} \right) \right] \quad \text{avec } k = \frac{r_i}{r_e}$$

$$\tau = \tau_{\omega} \left(\frac{2y}{H} \right)$$

$$\dot{\gamma} = \frac{2(m+2)\dot{v}}{\pi D H^2}$$

$$\text{et } \frac{\Delta P}{L} = \left[\frac{2^{m+1} (m+2) \dot{v}}{\phi \pi D H^{m+2}} \right]^{1/m}$$

c/écoulement dans un cône.



$$\dot{v} = \phi k' \Delta p^m$$

$$k' = \frac{\pi}{2^m (m+3)} \left[\frac{3 \left(\left(\frac{R_0}{r_0} \right) - 1 \right)}{m \cdot L \cdot \left(1 - \left(\frac{r_0}{R_0} \right)^{3/m} \right)} \right] r_0^{m+3}$$

III.2.2 CALCUL DE LA CHUTE DE PRESSION DANS LES DIFFERENTES ZONES DU CANAL .

Après avoir déterminé le débit de la machine , la pression à l'entrée de la filière , ainsi que les dimensions du canal . On est amené à calculer la chute de pression dans les différentes zones du canal . Mais on remarque que toutes les formules donnant la pression dans les zones du canal sont en fonction de m et ϕ

m : indice d'écoulement.

ϕ : fluidité du fluide.

Pour cela on doit déterminer ces deux paramètres, qui sont obtenus à partir des essais rhéologiques sur la matière utilisée . Pendant ces essais une rupture apparaît à l'état liquide à la température de l'essai à partir des valeurs critiques .

τ_c : constante de cisaillement critique,

$\dot{\gamma}_{wc}$: Taux de cisaillement critique.

Le polymère pseudoplastique est décrit (en rhéologie) par la formule :-

$$\tau_w = m^* \cdot \dot{\gamma}_w^n$$

m^* : consistance du liquide

n : indice de pseudoplasticité

d'après le graphe: $\log(\tau_w) = f(\log \dot{\gamma}_{aw})$ on déduit n

$$\text{tel que } n = \frac{d(\log(\tau_w))}{d(\log \dot{\gamma}_{aw})} .$$

τ_w : constante de cisaillement à la paroi

$\dot{\gamma}_{aw}$: taux de cisaillement apparent

d'après l'expression :

$$\tau_w = m^* \left(\frac{3n+1}{4n} \right)^n \cdot \dot{\gamma}_{aw} \quad \text{on aura :-}$$

Pour La zone conique de longueur L''_2 :

$$\Delta P''_2 = \left(\frac{\dot{V}}{k' \phi} \right)^{1/m}$$

avec :

$$k' = \frac{\pi}{2(m+2)} \left[\frac{3(-1 + Re/re)}{m \cdot L''_2 \cdot \left(1 - \left(\frac{re}{Re}\right)^{3/m}\right)} \right]^{3+m}$$

$$Re = Re_{m+1}$$

$$re = R_1 \quad (\text{rayon de la zone 1})$$

finalement :

$$\Delta P_2 = \Delta P'_2 + \Delta P''_2$$

Calcul de la chute de pression dans la zone I:

La zone I est une zone cylindrique de diamètre D_1 = Diamètre du fourreau, elle sert à recevoir les boudins de matières plastiques sortant des trous du filtre. La chute de pression dans cette zone est insignifiante relativement à la valeur totale dans la filière.

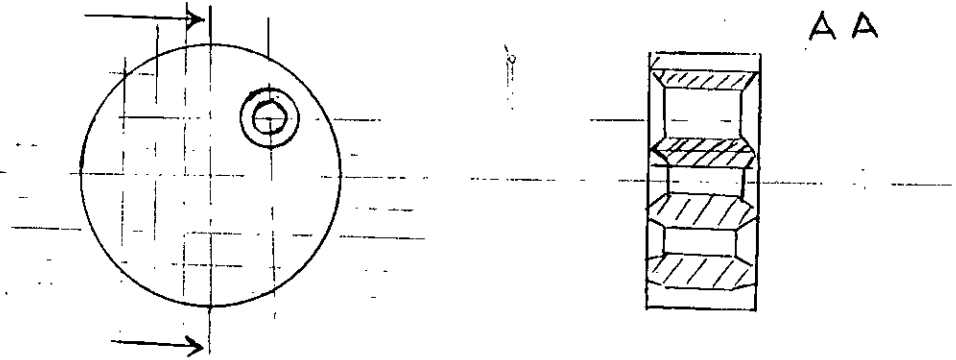
On choisit une valeur de L_1 , et de là on calcule ΔP_1 .

$$\Delta P_1 = \left[\frac{2^m (3+m) \dot{V}}{\phi \pi \left(\frac{D_1}{2}\right)^{3+m}} \right] \times L_j$$

III.4. choix du filtre et calcul de la chute de pression :-

Le filtre se situe entre l'extrudeuse et la filière , il permet de filtrer le polymère et d'empêcher les impuretés et les corps étrangers d'y accéder à la filière.

on a choisi un filtre comme suit:



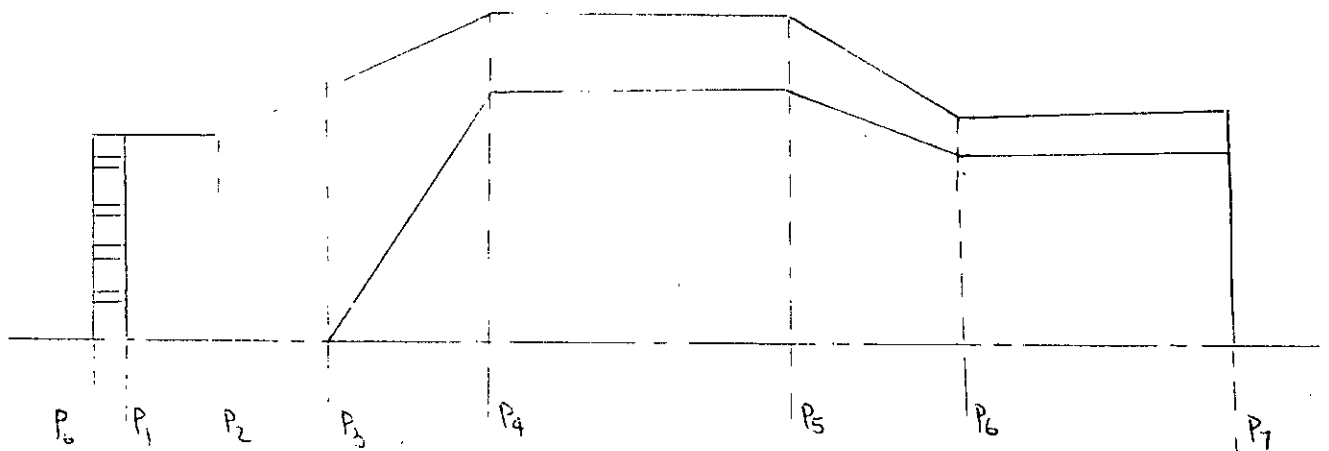
La chute de pression dans le filtre est:

$$\Delta P_T = \left[\frac{2^m (m+3) \dot{V}}{X \phi \pi r^{m+3}} \right] \times L_T$$

Pour cela on dimensionne le filtre càd donner:

- sa longueur, L_t
- nombres de trous; X
- rayon des trous , r .

III.5 CALCUL DE LA PRESSION DANS QUELQUES POINTS PARTICULIERS :



$$* P_0 = \Delta P - P_{atm}$$

$$* P_1 = P_0 - \Delta P_T$$

$$* P_2 = P_1 - \Delta P_1$$

$$* P_3 = P_2 - \Delta P_2''$$

$$* P_4 = P_3 - \Delta P_2'$$

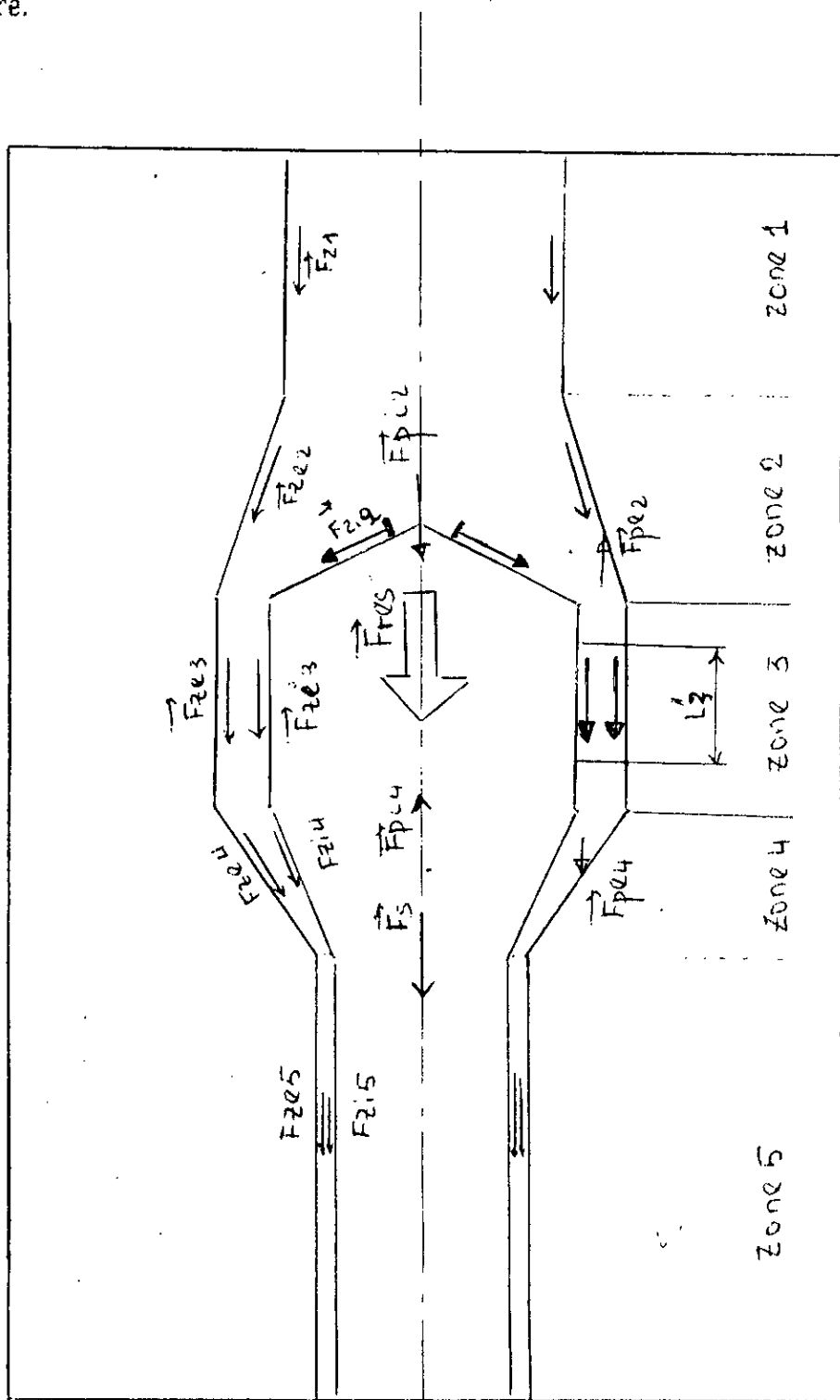
$$* P_5 = P_4 - \Delta P_3$$

$$* P_6 = P_5 - \Delta P_4$$

$$* P_7 = P_6 - \Delta P_5 \approx P_{atm}$$

CH IV CONCEPTION MECANIQUE

— La conception mécanique d'une filière, est le calcul des forces et des déformations survenant lors du fonctionnement puis le dimensionnement de la filière dépend en très grande partie des conditions rhéologiques et thermique dans la filière.



• bilan des forces dans le canal.

IV.1 dimensionnement mécanique de la filière .

Pendant que la matière s'écoule à travers la filière, les forces de viscosités F_z et les forces de pression F_p s'exercent (dans 3 directions) sur le poinçon et sur les parois du canal.

- Les pressions internes P_i essaient d'élargir la filière radialement
- Les forces de gravités sont négligeables.

Segment I

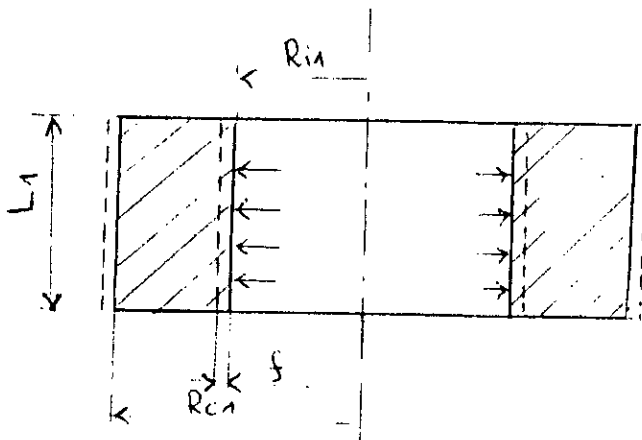
Forces de viscosité sur les parois du canal

$$\tau_{\omega} = \left(\frac{\Delta P}{2L} \right) R \implies \tau_{\omega 1} = \frac{\Delta P_1}{L_1} R_1.$$

Verification de la contraintes-

$$\tau_{\omega 1} \leq [\tau_{\omega}]_{adm}.$$

Forces de cisaillements:-



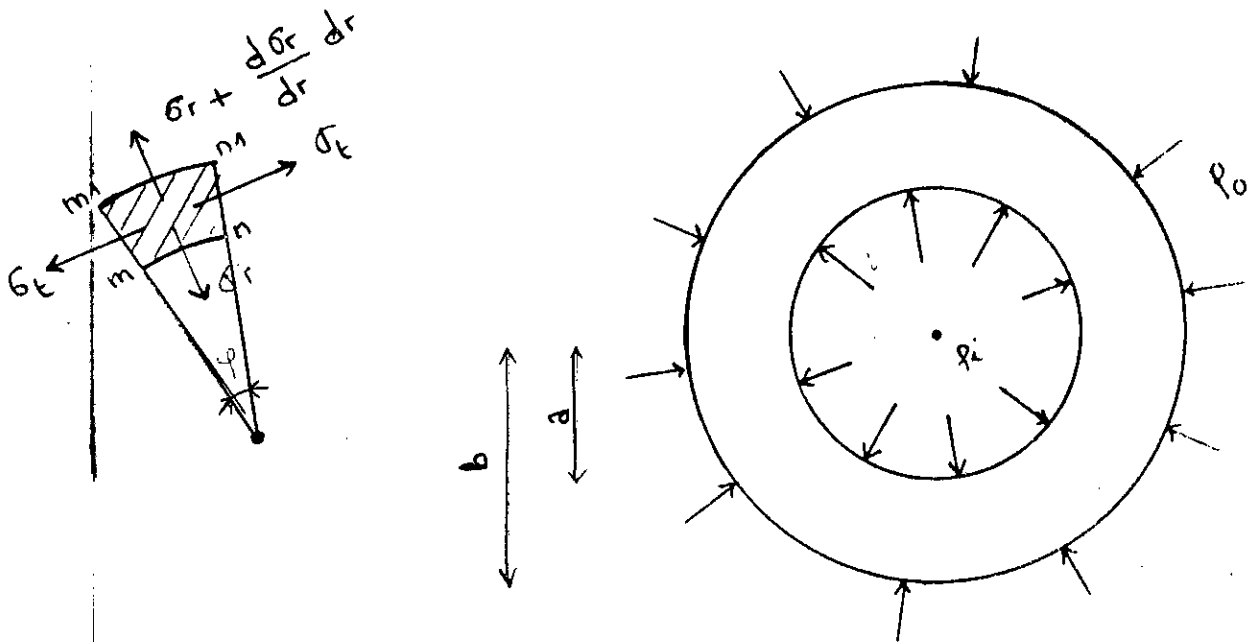
$$F_{z1} = \tau_{\omega 1} \cdot A_1 = \tau_{\omega 2} \cdot 2\pi R_1 L_1$$

d'où :

$$F_{z1} = \pi \cdot R_1^2 \cdot \Delta P_1.$$

Elargissement sous la pression interne:—

La zone I présente un cylindre creux à paroi épaisse, avec une pression interne. Lorsqu'un cylindre, dont la paroi a une épaisseur constante, et est soumis à l'action de la pression interne et extérieure uniformément réparties, la déformation résultante est symétrique par rapport à l'axe du cylindre et reste invariable suivant sa longueur.



On considère l'anneau dont la longueur est l'unité. Par raison de symétrie, il n'y a pas de cisaillement sur les faces d'un élément d'anneau ($mm1n1$), limité par deux plaques passant par l'axe et par deux surfaces cylindriques concentriques.

Les contraintes agissant sont:

σ_t : Contrainte normale circonférentielle agissant sur les faces $mm1$ et $nn1$ de l'élément

σ_r : Contrainte radiale agissant sur la face mn (varie avec r).

$$(a) \quad \sum F = 0 \Rightarrow \sigma_r \cdot r \cdot dr + \sigma_t \cdot r \cdot d\varphi - \left(\sigma_r + \frac{d\sigma_r}{dr} \cdot dr \right) \cdot (r + dr) \cdot d\varphi = 0$$

$$(b) \quad \sigma_t - \sigma_r - r \frac{d\sigma_r}{dr} = 0$$

$$(c) \quad \begin{cases} \sigma_r = \frac{E}{1-\nu^2} \left(\frac{du}{dr} + \nu \frac{u}{r} \right) \\ \sigma_t = \frac{E}{1-\nu^2} \left(\frac{u}{r} + \nu \frac{du}{dr} \right) \end{cases}$$

Si on remplace σ_r et σ_t dans (b) on aura:

$$(d) \quad \frac{d^2 u}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{du}{dr} - \frac{u}{r^2} = 0$$

La solution générale de cette équation est:

$$(e) \quad u = C_1 r + \frac{C_2}{r}$$

Par substitution, les constantes c_1 et c_2 sont déterminées par les conditions aux surfaces intérieures et extérieures du cylindre ou les pressions, c'est-à-dire les contraintes normales sont connues. Portant (e) dans (c) on aura:

$$(f) \quad \sigma_r = \frac{E}{1-\nu^2} \left[C_1 (1+\nu) - C_2 \frac{1-\nu}{r^2} \right]$$

$$(g) \quad \sigma_t = \frac{E}{1-\nu^2} \left[C_1 (1+\nu) + C_2 \frac{1-\nu}{r^2} \right]$$

On désigne par P_i : la pression intérieure,
 P_o : la pression extérieure.

Les conditions aux surfaces intérieures et extérieures du cylindre sont:

$$(i) \quad \begin{cases} (\sigma_r)_{r=b} = -P_o \\ (\sigma_r)_{r=a} = -P_i \end{cases}$$

De là, on détermine c_1 et c_2 .

$$(j) \quad \begin{cases} c_1 = \frac{1-\gamma}{E} \cdot \frac{a^2 P_i - b^2 P_o}{b^2 - a^2} \\ c_2 = \frac{1+\gamma}{E} \cdot a^2 b^2 (P_i - P_o) \end{cases}$$

$$\sigma_r = \frac{a^2 P_i - b^2 P_o}{b^2 - a^2} - \frac{(P_i - P_o) a^2 b^2}{r^2 (b^2 - a^2)}$$

$$\sigma_t = \frac{a^2 P_i - b^2 P_o}{b^2 - a^2} + \frac{(P_i - P_o) a^2 b^2}{r^2 (b^2 - a^2)}$$

Cas où la pression n'est soumise qu'à la pression extérieure

$P_i = 0$

$$\sigma_r = - \frac{P_o b^2}{b^2 - a^2} \left(1 - \frac{a^2}{r^2} \right)$$

$$\sigma_t = - \frac{P_o b^2}{b^2 - a^2} \left(1 + \frac{a^2}{r^2} \right)$$

$$(\sigma_t)_{r=a}^{\max} = - \frac{2 P_o b^2}{b^2 - a^2}$$

Cas où le cylindre n'est soumis qu'à la pression interne

$P_o = 0$

$$\sigma_r = \frac{a^2 P_i}{b^2 - a^2} - \frac{P_i a^2 b^2}{r^2 (b^2 - a^2)} = \frac{a^2 P_i}{b^2 - a^2} \left(1 - \frac{b^2}{r^2} \right)$$

$$\sigma_t = \frac{a^2 P_i}{b^2 - a^2} + \frac{P_i a^2 b^2}{r^2 (b^2 - a^2)} = \frac{a^2 P_i}{b^2 - a^2} \left(1 + \frac{b^2}{r^2} \right)$$

$$(\sigma_t)_{\max} = \frac{P_i (a^2 + b^2)}{b^2 - a^2} \quad \text{Pour } r = a$$

$$u = \frac{1 - \nu}{E} \frac{a^2 P_i - b^2 P_o}{b^2 - a^2} r + \frac{1 + \nu}{E} \frac{a^2 b^2 (P_i - P_o)}{(b^2 - a^2) r}$$

si $P_o = 0$

$$(u)_{r=a} = \frac{a P_i}{E} \left(\frac{a^2 + b^2}{b^2 - a^2} + \nu \right)$$

si $P_i = 0$

$$(u)_{r=b} = - \frac{b P_o}{E} \left(\frac{a^2 + b^2}{b^2 - a^2} - \nu \right)$$

dans notre cas on a $P_o = 0$

donc :

$$f_i = \frac{P_i R_i}{E} \left[\frac{R_c^2 + R_i^2}{R_c^2 - R_i^2} + \nu \right]$$

c a d :

$$\frac{E f_i}{P_i R_i} = \frac{R_c^2 + R_i^2}{R_c^2 - R_i^2} + \nu$$

f: élargissement du cylindre dans la zone I:—

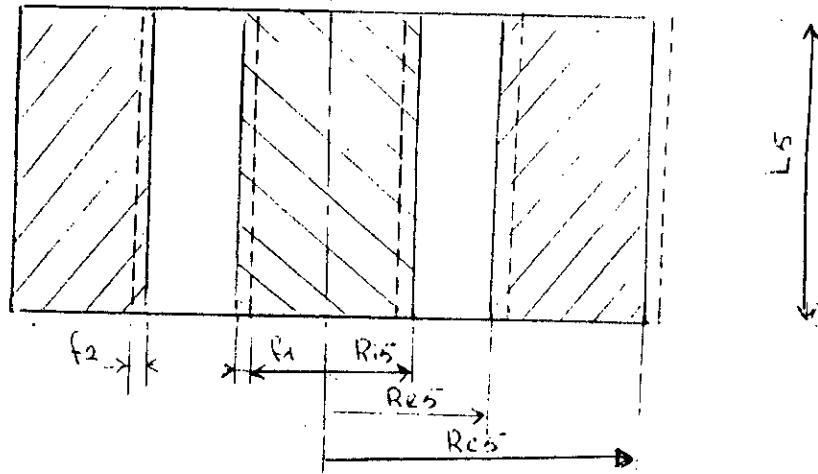
soit $\alpha = \frac{E f_i}{P_i R_i} \Rightarrow \alpha - \nu = \frac{R_c^2 + R_i^2}{R_c^2 - R_i^2}$

$$\Rightarrow (\alpha - \nu - 1) R_c^2 = (\alpha - \nu + 1) R_i^2 \Rightarrow R_{c1 \min} = R_i \sqrt{\frac{\alpha - \nu + 1}{\alpha - \nu - 1}}$$

Avec $P_i = P_{\max}$ (pression à l'entrée de la zone 1) $P_i = P_1$

$R_i = R_1$: rayon de la zone 1

Segment V.



contrainte de cisaillement sur les parois du canal.

$$\tau_{w_{i5}} = \frac{R_{e5}}{2} \cdot \frac{\Delta P_5}{L_5} \cdot \left(k^2 - \frac{1-k^2}{2k \ln \frac{1}{k}} \right) ; \quad k = \frac{R_i}{R_e}$$

$$\tau_{w_{e5}} = \frac{R_{e5}}{2} \cdot \frac{\Delta P_5}{L_5} \cdot \left(1 - \frac{1-k^2}{2 \ln \frac{1}{k}} \right)$$

Vérification des contraintes:

$$\tau_{w_{i5}} \leq [\tau_w]_{adm.}$$

$$\tau_{w_{e5}} \leq [\tau_w]_{adm.}$$

Forces de cisaillement:

$$F_{z_{i5}} = \tau_{w_{i5}} \cdot A_{i5}$$

$$F_{z_{e5}} = \tau_{w_{e5}} \cdot A_{e5}$$

avec:

$$A_{i5} = 2\pi R_{i5} L_5$$

$$A_{e5} = 2\pi R_{e5} L_5$$

Elargissement du canal:

dans cette zone on a:

- Elargissement de la paroi extérieure : f_2
- Retrecissement de la paroi intérieure : f_1

$$f_1 + f_2 = f_{adm.}$$

Compression:

$$f_1 = \frac{R_{i5} \cdot P_6}{E} (\alpha - \gamma)$$

$$f_1 + f_2 = f_{adm} \Rightarrow f_2 = f_{adm} - f_1 = f - f_1$$

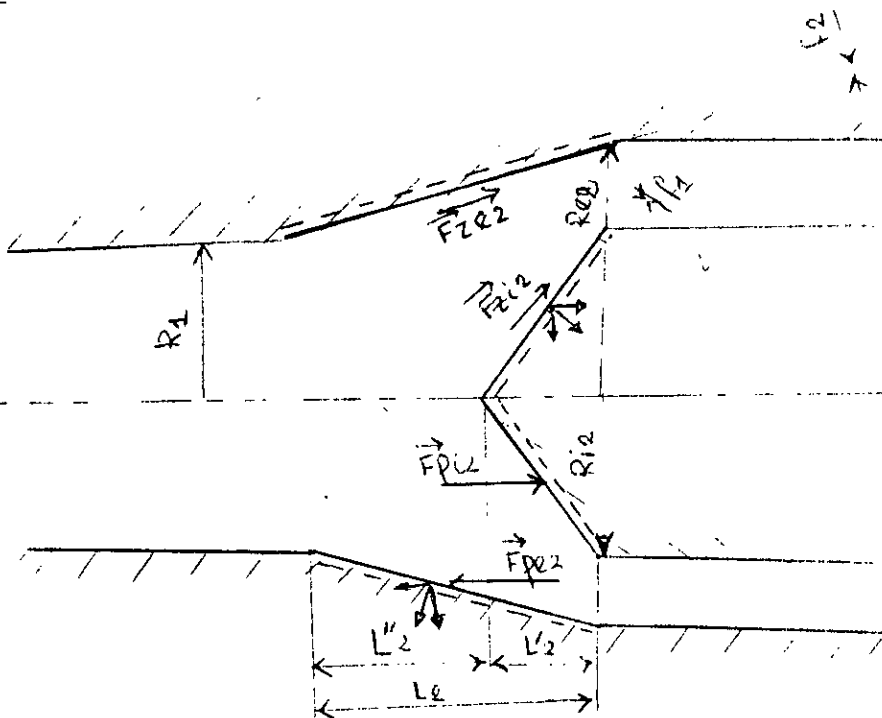
d'où

$$R_{c5 \text{ min}} = R_{e5} \sqrt{\frac{\alpha - \gamma + 1}{\alpha - \gamma - 1}}$$

avec :

$$\alpha = \frac{E \cdot f_2}{P_6 \cdot R_{e5}}$$

Zone II



On approxime la zone canonique de longueur L''_2 à un tube cylindrique de rayon moyen \bar{R}'' tel que:

$$\bar{R}'' = \frac{R_{e,m+1} + R_1}{2}$$

$$\tau''_{\omega_2} = \frac{\Delta P''_2 \cdot \bar{R}''}{2 L''_2} \implies F_z'' = \tau''_{\omega_2} \cdot A''$$

soit

$$F_z = \tau''_{\omega} \cdot 2\pi \cdot \bar{R}'' \cdot L''_2 \implies F_z = \Delta P''_2 \cdot \bar{R}''^2 \cdot \pi$$

d'où

$$R_c'' \text{ min} = \bar{R}'' \sqrt{\frac{\alpha - \gamma + 1}{\alpha - \gamma - 1}}$$

avec:

$$\alpha = \frac{f \cdot E}{P_i \bar{R}''}$$

$P_i = P_2$ (Pression à l'entrée de la zone 2).

La zone de la longueur L'_2 est subdivisée en un nombre M de segments annulaires (déjà fait en pression).

On a deux parois qui se cisailent (interne et externe).

$$F_{z ij} = - \tau_{\omega ij} \cdot \bar{A}_{ij}$$

$$F_{z ej} = + \tau_{\omega ej} \cdot \bar{A}_{ej}$$

avec

$$\left\{ \begin{array}{l} \tau_{\omega ij} = \frac{\bar{R}_{ej}}{2} \frac{\Delta P_j}{L_j} \left[k^2 - \frac{1-k^2}{2k \ln \frac{1}{k}} \right]; \quad k = \frac{\bar{R}_{ij}}{\bar{R}_{ej}} \\ \bar{A}_{ij} = 2\pi \bar{R}_{ij} L_j \\ F_{z ij} = \sum_{j=1}^M F_{z ij} \end{array} \right.$$

$$\tau_{wej} = \frac{\bar{R}_{e,j}}{2} \frac{\Delta P_j}{L_j} \left[1 - \frac{1-k^2}{2 \ln \frac{1}{k}} \right]; \quad k = \frac{\bar{R}_{i,j}}{\bar{R}_{e,j}}$$

$$\bar{A}_{e,j} = 2 \pi \bar{R}_{e,j} L_j$$

$$F_{ze2} = \sum_{j=1}^m F_{zej} + F_{ze}''$$

Verification des contraintes: -

$$\tau_{wi2} = \sum_{j=1}^m \tau_{wij} \leq [\tau_w]_{adm.} \quad \left\{ \begin{array}{l} \epsilon_{wi,j} \leq [\epsilon_w]_{adm.} \end{array} \right.$$

$$\tau_{we2} = \sum_{j=1}^m \tau_{wej} \leq [\tau_w]_{adm.} \quad \left\{ \begin{array}{l} \epsilon_{we,j} \leq [\epsilon_w]_{adm.} \end{array} \right.$$

Calcul de l'élargissement et de la compression: -

Dans cette zone on a une compression de la paroi interne et un élargissement de la paroi externe.

$$\delta_1 = \frac{(1-\gamma)}{\epsilon} \cdot r_i \cdot P_{max.}$$

La compression (sur le poinçon) est maximale pour le rayon :-

$$r_i = R_{i2} = R_{i3}.$$

$P_2 = P_{max}$ (pression à l'entrée de la zone II) pour l'élargissement

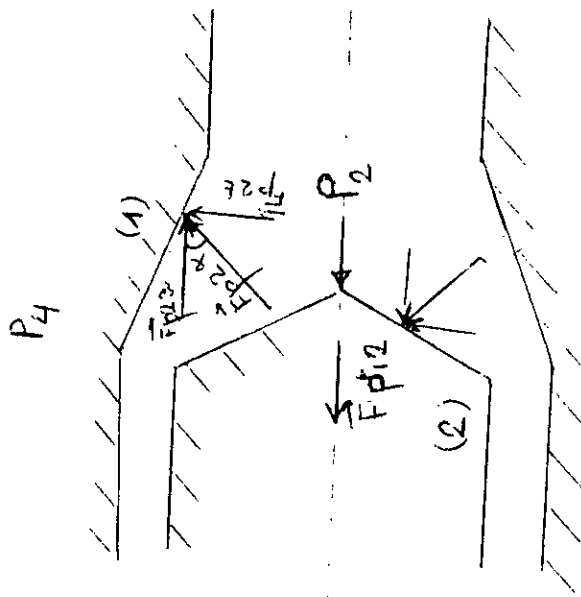
$$f_2 = f - f_1$$

et de là, on calcul le rayon extérieur du corps :-

$$R_{c2 \min} = R_{e2} \sqrt{\frac{\alpha - \gamma + 1}{\alpha - \gamma - 1}}.$$

avec $\alpha = \frac{f_2 E}{P_2 \cdot R e_2}$

Calcul de la force de pression axiale:



F_{pa} : force de pression axiale.

F_{pt} : force de pression transversale.

F_p : force de pression.

$$\vec{F}_{p_2} = \vec{F}_{p_2 t} + \vec{F}_{p_2 a}$$

Par raison de symetrie, les forces de pression s'annulent mutuellement.

D'après Michaeelli la force de pression de cette zone est considérée lineaire:

$$F_{pa2} = F_{p2} \cos \alpha = \int P_2 ds \cos \alpha$$

$$F_{Pa2} = P_2 \cdot S \cdot \cos \alpha = P_2 S'$$

Avec $S' = S \cos \alpha$
 c'est la surface projetée dans le plan perpendiculaire
 à la direction de \vec{F}_{Pa2}

Pour la surface (1):

$$F_{Pe2} = \pi P_2 (R_{e3}^2 - R_{e1}^2) + \frac{2}{3} \frac{(P_2 - P_4)}{R_{e3} - R_{e1}} (R_{e3}^3 - R_{e1}^3)$$

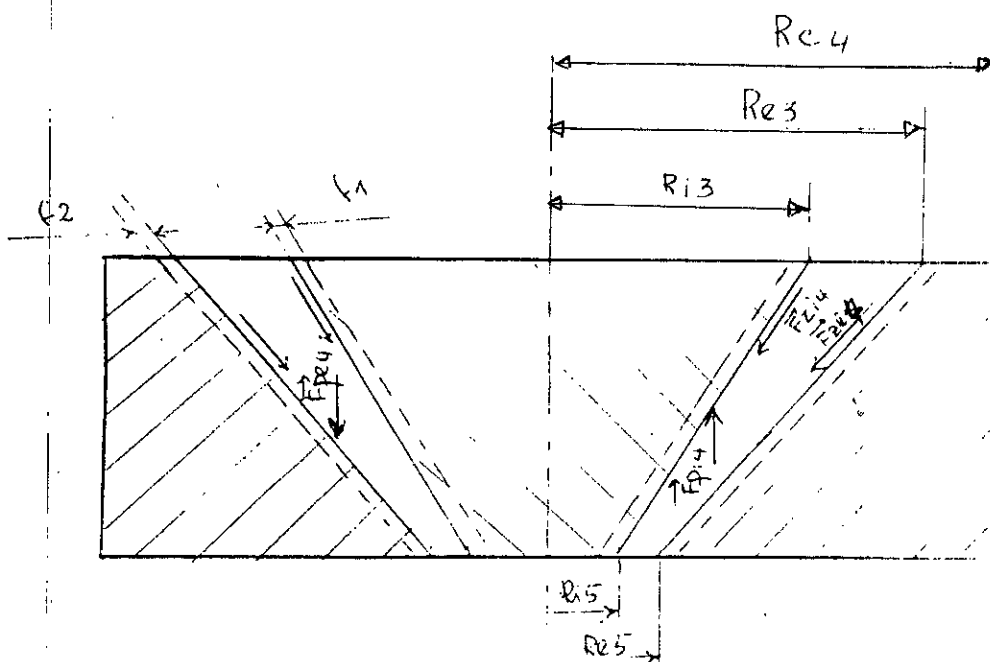
Pour la surface (2):

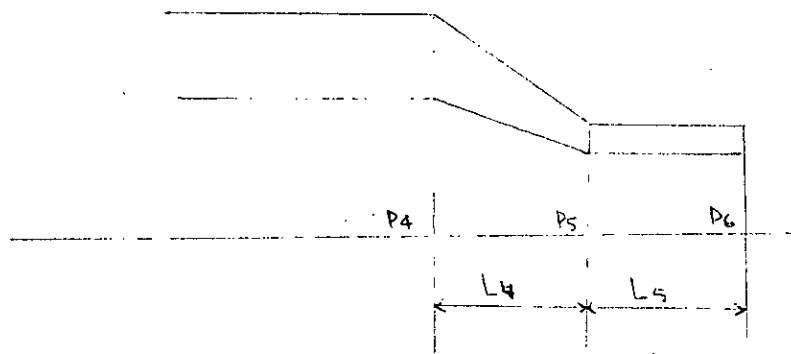
$$F_{Pi2} = \pi P_3 R_{i3}^2 + \frac{2}{3} \frac{(P_3 - P_4)}{R_{i3}} R_{i3}^3$$

$$F_{Pi2} = \pi R_{i3}^2 \left[P_3 + \frac{2}{3} (P_3 - P_4) \right]$$

$$F_{Pi2} = \pi R_{i3}^2 \left[\frac{5}{3} P_3 - \frac{2}{3} P_4 \right]$$

Zone IV





La zone (4) est une fente conique convergente d'angle (sup = β et d'angle inf = α) pour ce cas là on n'a pas une formule qui puisse nous donner la chute de pression, pour cela on a divisé cette zone en petits segments, ainsi on assimile chaque partie à une fente circulaire annulaire et puis on applique la formule qui lui est attachée.

$$L_4 = L_j \cdot N$$

N: nombre de parties,

L_j : longueur de la zone circulaire annulaire.

$$\Delta P_j = \left[\frac{2^{m+1} (2+m) \dot{V}}{\phi \pi D_j H_j^{m+2}} \right]^{1/m} \times L_j$$

avec:

$$D_j = \bar{R}_{e,j} + \bar{R}_{i,j}$$

$$H_j = \bar{R}_{e,j} - \bar{R}_{i,j}$$

$$\bar{R}_{e,j} = \frac{R_{e,j+1} + R_{e,j}}{2}$$

$$\bar{R}_{i,j} = \frac{R_{i,j+1} + R_{i,j}}{2}$$

à partir du graphe: $(\dot{\gamma}_w, \tau_w)$ on tire m^*

$$\text{on a: } \tau_w = m^* \dot{\gamma}_w^{n^*} = \left(\frac{1}{\phi}\right)^{1/m} \dot{\gamma}_w^{1/m}$$

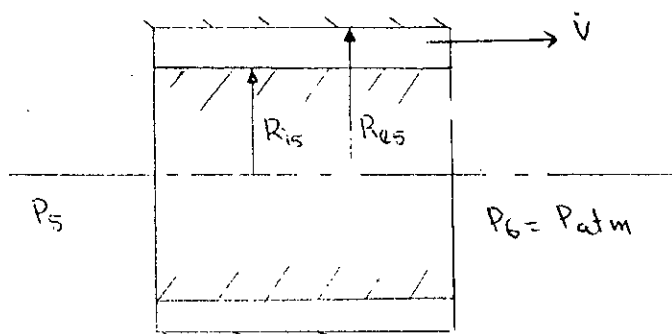
par identification

$$\left(\frac{1}{\phi}\right)^{1/m} = m^*$$

$$\Rightarrow \phi \text{ et } m$$

$$\frac{1}{m} = n$$

on commence le calcul par la zone 5:



La zone 5 est une fonte annulaire de rayons (R_{i5}, R_{e5}) et de longueur L_5

$$\Delta P_5 = \left[\frac{2^{m+1} (2+m) \dot{V}}{\phi \pi D H^{m+2}} \right]^{1/m} L_5$$

$$D = R_{e5} + R_{i5}$$

$$H = R_{e5} - R_{i5}$$

\dot{V} = débit volumétrique

calcul de la chute de pression dans la zone IV

on a :

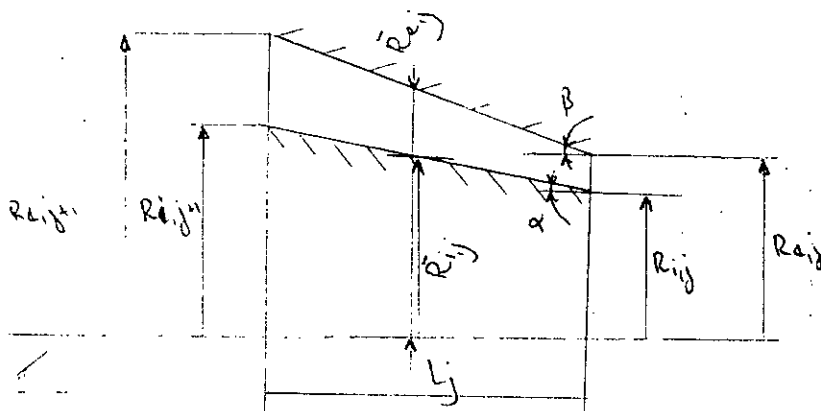
$$\frac{R_{e,j+1} - R_{e,j}}{L_j} = \operatorname{tg} \beta \Rightarrow R_{e,j+1} = L_j \operatorname{tg} \beta + R_{e,j}$$

$$\frac{R_{i,j+1} - R_{i,j}}{L_j} = \operatorname{tg} \alpha \Rightarrow R_{i,j+1} = L_j \operatorname{tg} \alpha + R_{i,j}$$

avec :

$$R_{e,j=1} = R_{e5}$$

$$R_{i,j=1} = R_{i5}$$

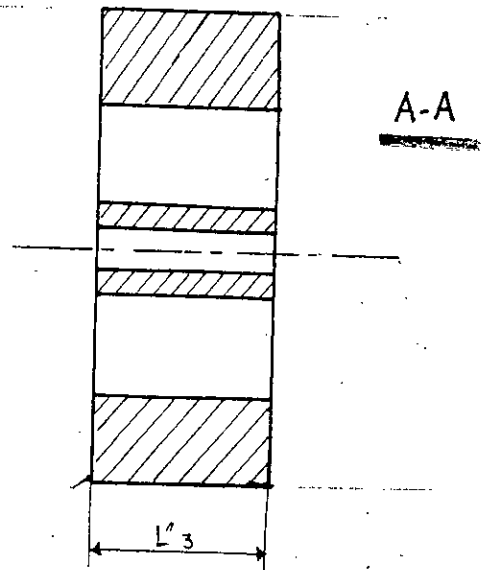
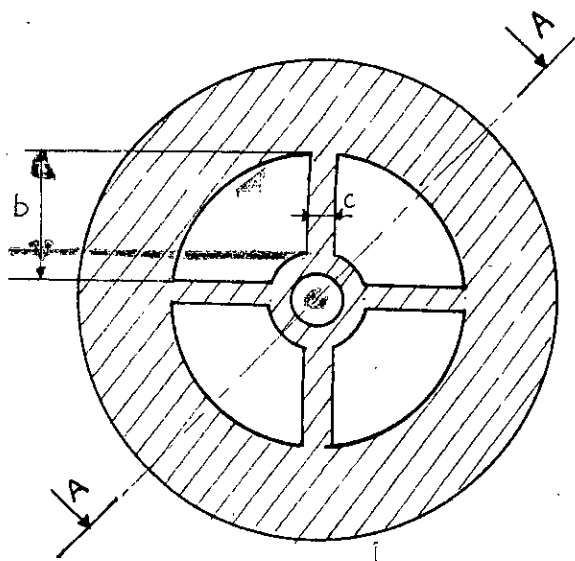


F_4 : pression dans la zone 4 .

$$\Delta P_4 = \sum_{j=1}^N \Delta P_j$$

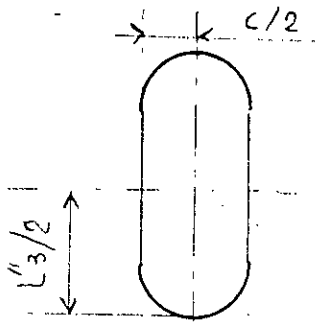
CALCUL DE LA CHUTE DE PRESSION DANS LA ZONE 3:-

Pour fixer le poinçon au corps de la filière dans une position bien déterminée et précise, on utilise des ailettes (entretoises). Il y'a plusieurs types d'entretoises qui sont utilisées pour l'extrusion des tubes, les plus répandues sont celles de types radiales car leur mode de calcul est facile et leur usinage est plus ou moins simple par rapport aux autres.



Les entretoises sont conçues avec :

- des longueurs $L < 30$ mm,
- épaisseur des ailettes $C < 9$ à 12 mm et présente un angle aigu de 8° environ,
- la hauteur de la fente de passage se situe entre 10 à 25 mm,
- la section des ailettes et de formes elliptiques.



d'où sa surface est :

$$A = \frac{L''_3}{2} \cdot \frac{c}{2} \cdot \pi = \frac{\pi L''_3 \cdot c}{4}$$

L'expression qui donne la dépression dans les ailettes (longueur L''_3) est :

$$\dot{V} = 4 \left[8 \cdot \left(\frac{A}{Z} \right)^2 \cdot \frac{\Delta P_3''}{2 L''_3} \cdot \frac{A}{f \cdot Re} \right]$$

coef 4 : Il y'a 4 ouvertures dans le porte poinçon.

A : Section de la lumière.

Z : périmètre mouillé de l'ouverture .

f : coefficient de friction.

Re : nombre de Reynolds.

f . Re : est déterminé à partir d'un graphe pour une ouverture égale au $1/4$ de la section totale du passage du polymère en fonction de k :

$$K = \frac{R_{i3}}{Re^3}$$

Dimensionnement de l'ailette (ouverture)

$b = R_{e3} - R_{i3}$ hauteur de l'ailette.

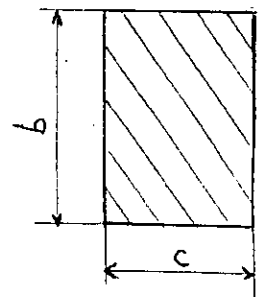
L''_3 : longueur de l'ailette choisie

c : épaisseur de l'ailette choisie

la projection de la section des ailettes dans le sens de l'écoulement étant rectangulaire :

déterminons la section de l'ouverture (A) :

$$A = \frac{1}{4} \left[\pi (R_{e3}^2 - R_{i3}^2) - 4bc \right]$$



Déterminons le périmètre mouillé de l'ouverture :

$$Z = \left[\frac{2\pi R_{e3}}{4} - c \right] + \left[\frac{2\pi R_{i3}}{4} - c \right] + 2b$$

$f Re = f(K)$ avec $K = \frac{R_{i3}}{R_{e3}}$

A partir du graphe on détermine $f Re$ (pour une ouverture égale au quart de la section annulaire).

d'où :

$$\Delta P''_3 = \frac{Z \cdot L''_3 \cdot f Re \cdot \dot{V}}{32 \cdot \left(\frac{A}{Z}\right)^2 \cdot A}$$

La longueur totale de la zone III est : $L_3 = L'_3 + L''_3 + L'''_3$

On prend ($L'_3 = L'''_3$)

$$\Delta P'_3 = \Delta P'''_3 = L'_3 \left[\frac{2^{m+1} \cdot (2+m) \cdot \dot{V}}{\phi \pi D_3 b^{m+2}} \right]^{1/m}$$

avec :

$$D_3 = R_{e3} + R_{i3}$$

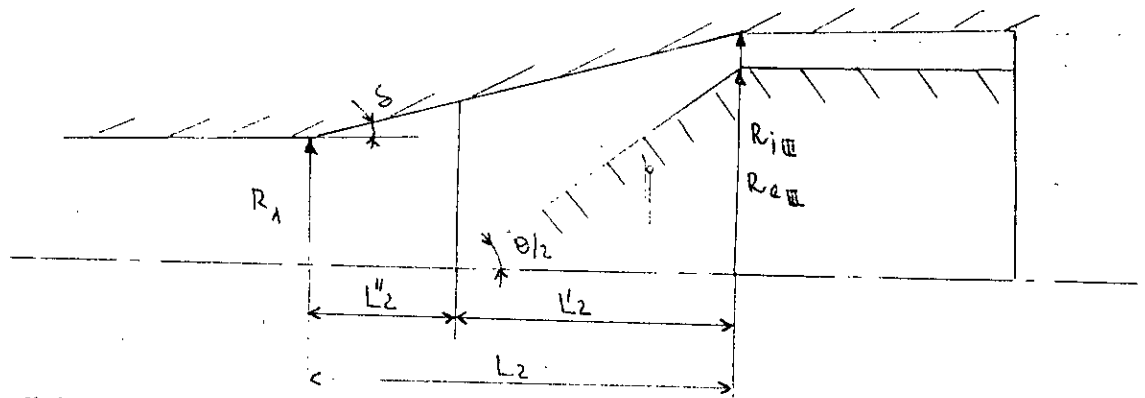
$$b_3 = R_{e3} - R_{i3}$$

$$\Delta P'_3 = \Delta P'''_3$$

donc la pression totale dans la zone 3 est :

$$\Delta P_3 = \Delta P'_3 + \Delta P''_3 + \Delta P'''_3$$

CALCUL DE LA CHUTE DE PRESSION DANS LA ZONE II:



on divise cette zone en deux parties :

- la première partie est une zone conique annulaire.
- La deuxième partie est une zone conique.

Pour la zone conique annulaire:

On procède de la même façon que pour la zone IV. c.à.d on divise la longueur L'_2 à un nombre m de segments afin qu'on puisse assimiler chaque partie à une fente annulaire :

$$\frac{L'_2}{m} = L_j$$

L_j : longueur du segment de la fente annulaire.

$$\Delta P'_j = \left[\frac{2^{m+1} (m+2) \dot{v}}{\phi \pi D_j H_j^{m+2}} \right]^{1/m} \cdot L_j$$

avec :

$$H_j = \bar{R}_{e,j} - \bar{R}_{i,j}$$

$$D_j = \bar{R}_{e,j} + \bar{R}_{i,j}$$

$$\bar{R}_{e,j} = \frac{R_{e,j+1} + R_{e,j}}{2}$$

$$\bar{R}_{i,j} = \frac{R_{i,j+1} + R_{i,j}}{2}$$

On a :

$$\frac{R_{e,j+1} - R_{e,j}}{L_j} = - \operatorname{tg} \delta \implies R_{e,j+1} = - \operatorname{tg} \delta \cdot L_j + R_{e,j}$$

$$\frac{R_{i,j+1} - R_{i,j}}{L_j} = - \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} \implies R_{i,j+1} = - L_j \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} + R_{i,j}$$

avec :

$$\left. \begin{array}{l} R_{e,3} = R_{e,1} \\ R_{i,3} = R_{i,1} \end{array} \right\} \text{c.à.d à } j=1$$

$$\Delta P'_2 = \sum_{j=1}^m \Delta P'_j$$

Forces de viscosités sur les parois du canal:—

$$F_{z i j} = + \tau_{w i j} \cdot \bar{A}_{i j} \quad ; \quad F_{z i 4} = \sum_{j=1}^P F_{z i j}$$

$$F_{z e j} = + \tau_{w e j} \cdot \bar{A}_{e j} \quad ; \quad F_{z e 4} = \sum_{j=1}^P F_{z e j}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \tau_{w i j} = \frac{\bar{R}_{e j} \cdot \Delta P_j}{2 L_j} \left[K^2 - \frac{1-K^2}{2 K \ln \frac{1}{K}} \right] ; \quad K = \frac{\bar{R}_{i j}}{\bar{R}_{e j}} \\ \bar{A}_{i j} = 2 \pi \cdot \bar{R}_{i j} \cdot L_j \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \tau_{w e j} = \frac{\bar{R}_{e j} \cdot \Delta P_j}{2 L_j} \left[1 - \frac{1-K^2}{2 \ln \frac{1}{K}} \right] \\ \bar{A}_{e j} = 2 \pi \cdot \bar{R}_{e j} \cdot L_j \end{array} \right.$$

Verification des contraintes:—

$$\tau_{w i 4} = \sum_{j=1}^P \tau_{w i j} \leq [\tau_w]_{adm} \cdot ?$$

$$\tau_{w e 4} = \sum_{j=1}^P \tau_{w e j} \leq [\tau_w]_{adm} \cdot ?$$

Elargissement:

Dans cette zone on a:

f_1 : Compression du poinçon (radialement).

f_2 : Elargissement de la filière (radialement)

calcul de f_1

$$f_1 = \frac{r_i P_{\max}}{E} (1 - \nu) \quad r_i \text{ variable}$$

$$f_1 \text{ est max pour: } \begin{cases} r_i = R_{i3} \rightarrow (R_{i5}) \\ P_{\max} = P_3 \text{ (Pression à} \\ \text{l'entrée de la zone 4).} \end{cases}$$

On sait que: $f_1 + f_2 = f$

d'où $f_2 = f - f_1$

$$f_2 = \frac{P_5 R_{e5}}{E} \left[\frac{R_{c4} + R_{e5}}{R_{c4} - R_{e3}} + \nu \right] \quad (R_{e3})$$

d'où

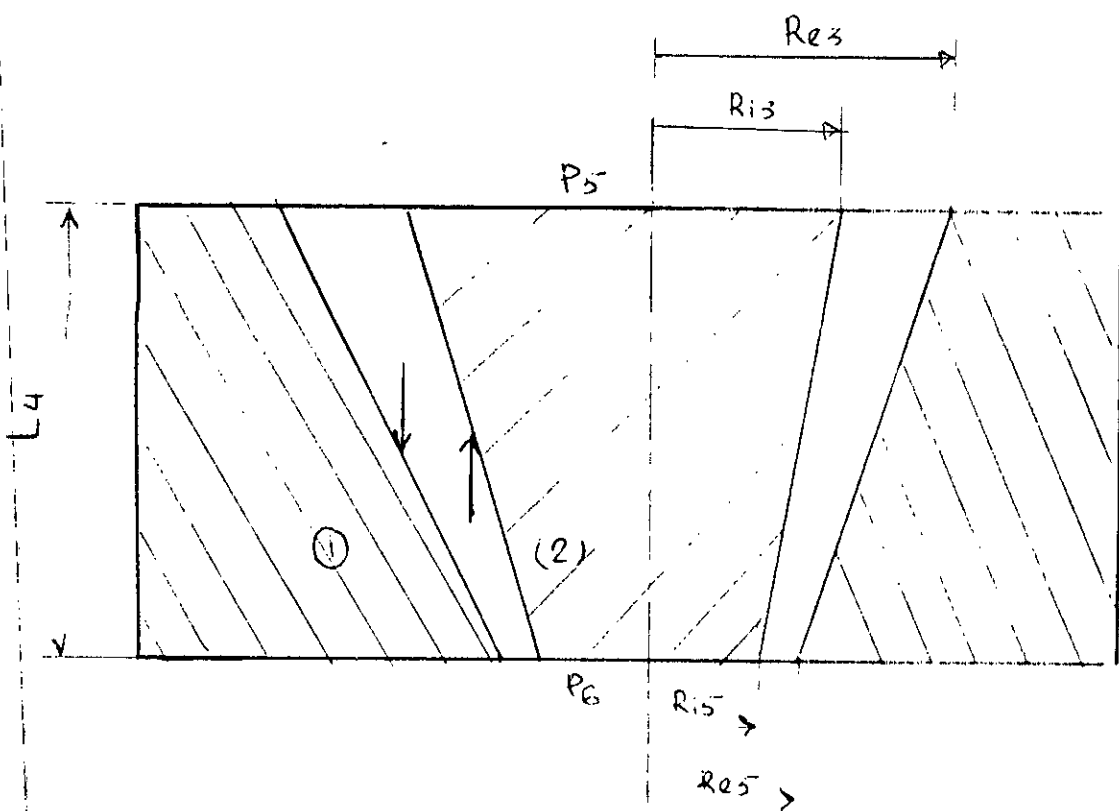
$$R_{c4 \min} = R_{e3} \sqrt{\frac{\alpha - \nu + 1}{\alpha - \nu - 1}}$$

avec

$$\alpha = \frac{E \cdot f_2}{P_5 R_{e3}}$$

Calcul des forces de pressions axiales.

Comme pour le segment (2) la chute de pression est considérée linéaire.



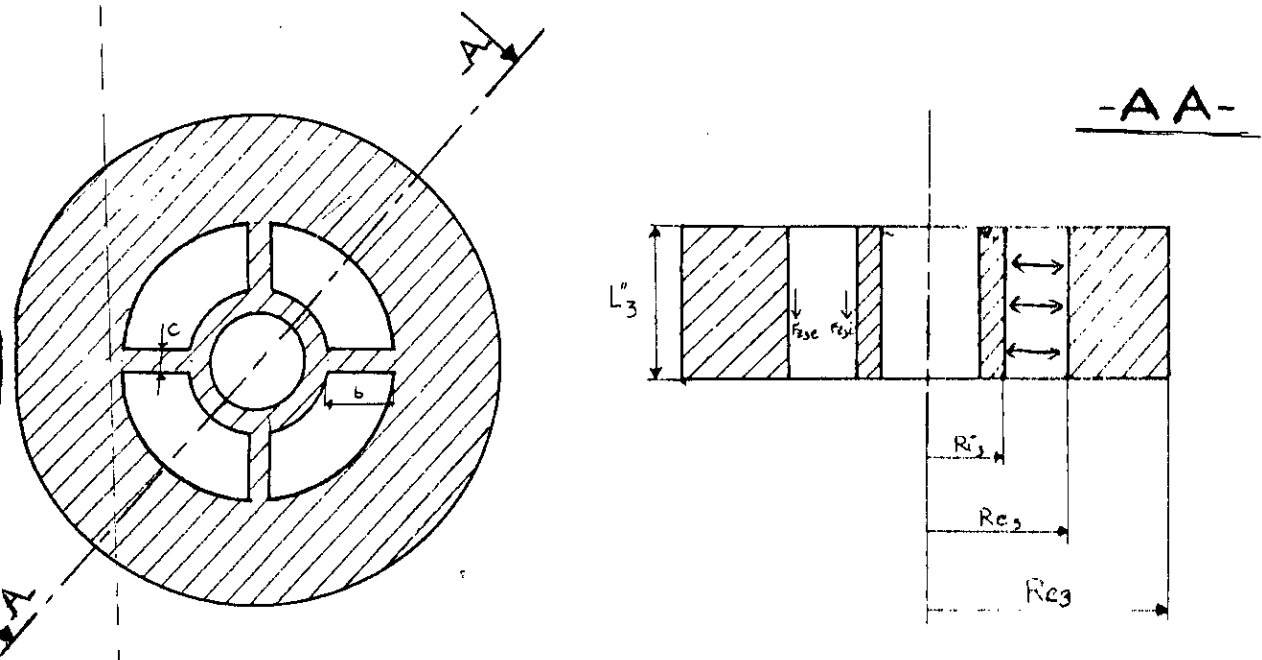
Pour la surface (1):

$$F_{pe4} = \pi P_5 (R_{e3}^2 - R_{e5}^2) - \frac{2}{3} \frac{(P_5 - P_6) (R_{e3}^3 - R_{e5}^3)}{R_{e3} - R_{e5}}$$

Pour la surface (2):

$$F_{pi4} = \pi P_5 (R_{i3}^2 - R_{i5}^2) - \frac{2}{3} \frac{(P_5 - P_6) (R_{i3}^3 - R_{i5}^3)}{R_{i3} - R_{i5}}$$

Segment III .

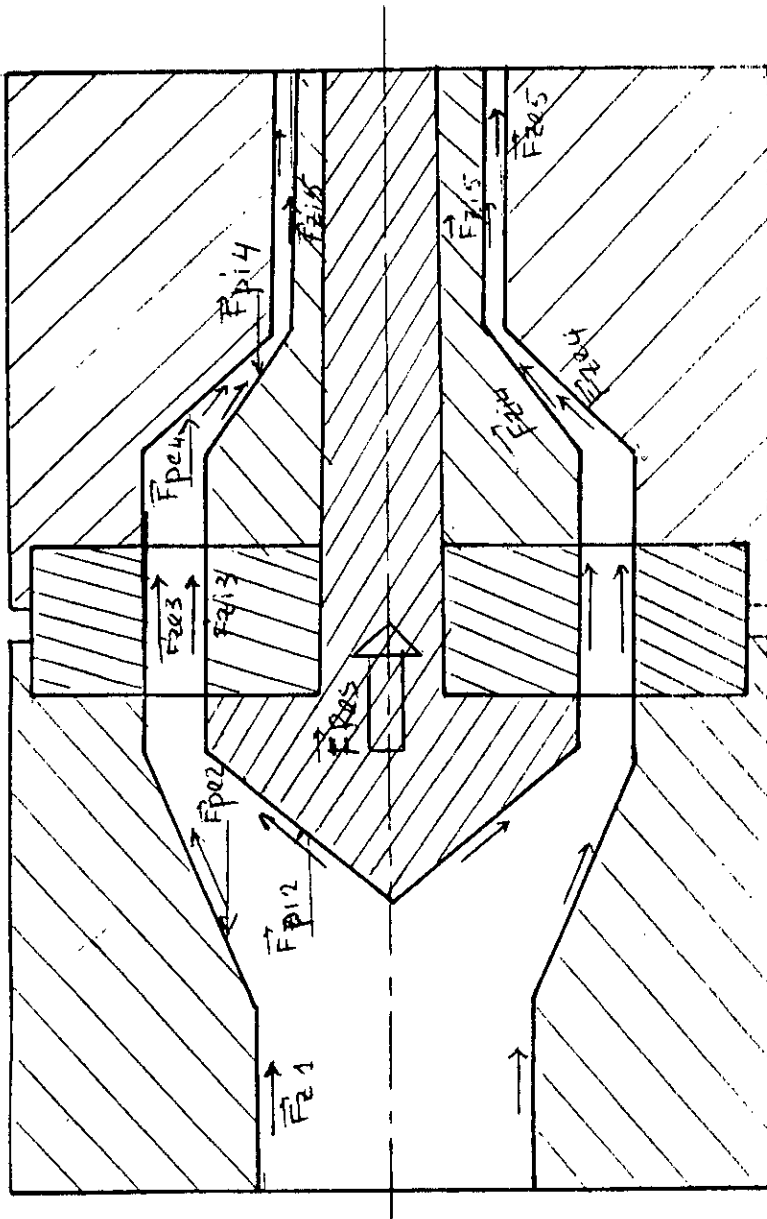


Détermination du rayon extérieure de la bague (porte poinçon) :-

Puisque la chute de pression de la zone III est inférieure à celle de la zone II (d'après Michaeli ΔP III est négligeable) et les rayons intérieurs et extérieurs du canal III sont utilisés pour le dimensionnement du rayon extérieur du corps de la filière dans la zone II on peut alors écrire:

$$R_{c3 \text{ min}} = R_{c2 \text{ min}}$$

Calcul du déplacement axial du poinçon.



Vue de coupe de la filière type

(entreforces)
Les forces influent sur les entreforces sont: -

Comme pour le segment V, on peut calculer les forces de viscosité sur les parois du segment III, mais puisque peu d'entreforces sont prévues ($n=A$) alors on peut négliger ces forces de viscosité. De même que la déformation radiale sous l'effet de la pression interne, on peut la négliger aussi du moment que le porte poinçon est écrasé entre les deux parties du corps de la filière.

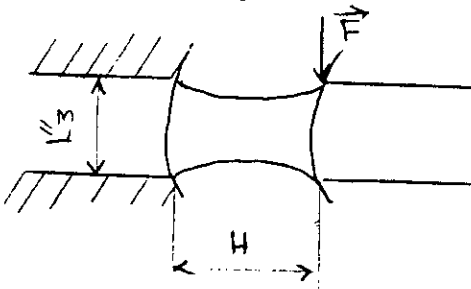
La figure montre les forces s'exerçant sur le poinçon réunies à une force résultante F_{res} .

$$F_{res} = F_{z12} + F_{p12} + F_{z14} + F_{z15} - F_{p14}$$

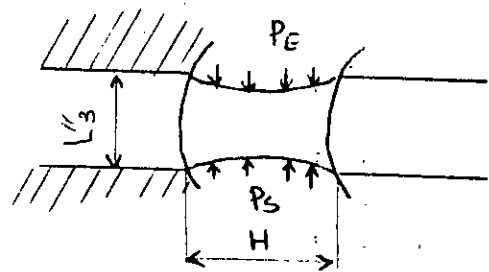
(entreforces)
 chaque entreforce perçoit une force $F = \frac{F_{res}}{4}$

Calcul de la déformation de l'entreforces:

Déformation sous l'effet de la force F

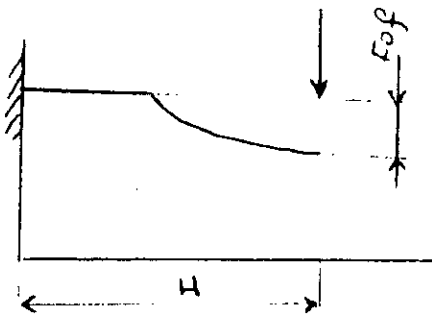


Déformation sous l'effet de la charge ΔP

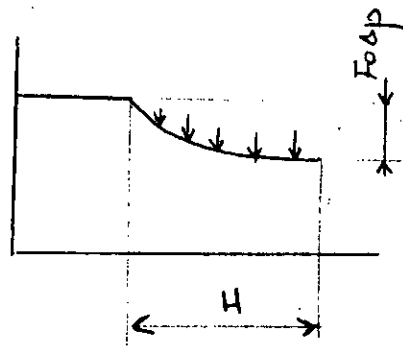


$$\Delta P = P_{\epsilon} - P_s$$

Fléchissement



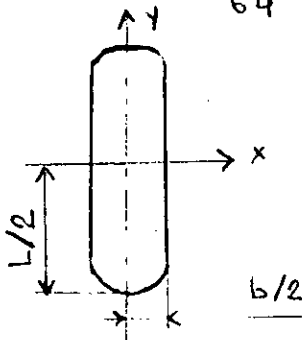
Fléchissement



$$I_x = \frac{\pi L^3 b}{64}$$

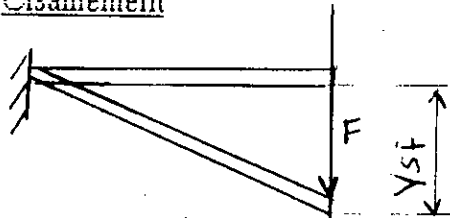
$$q = \frac{F}{H} = \frac{\Delta P \cdot bH}{H} = \Delta P \cdot b$$

$$F_{0\Delta P} = \frac{q H^4}{24 E I_x}$$



$$F_{0F} = \frac{F \cdot H^3}{12 E I_x}$$

Cisaillement

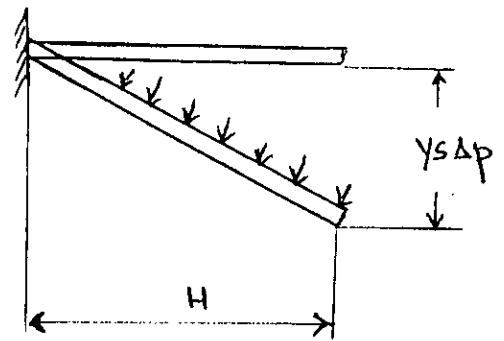


$$Y_{SF} = \frac{F H}{G A}$$

$$G = \frac{E}{2(\nu + 1)}$$

$$A = \frac{\pi L b}{4}$$

Cisaillement



$$Y_{SF} = \frac{q H^3}{2 G A}$$

charge avec F

$$f_{res} = F_{0f} + Y_{sf}$$

charge avec ΔP

$$f_{res} = f_0 + Y_s$$

On prend le premier cas et on vérifie la condition suivante :

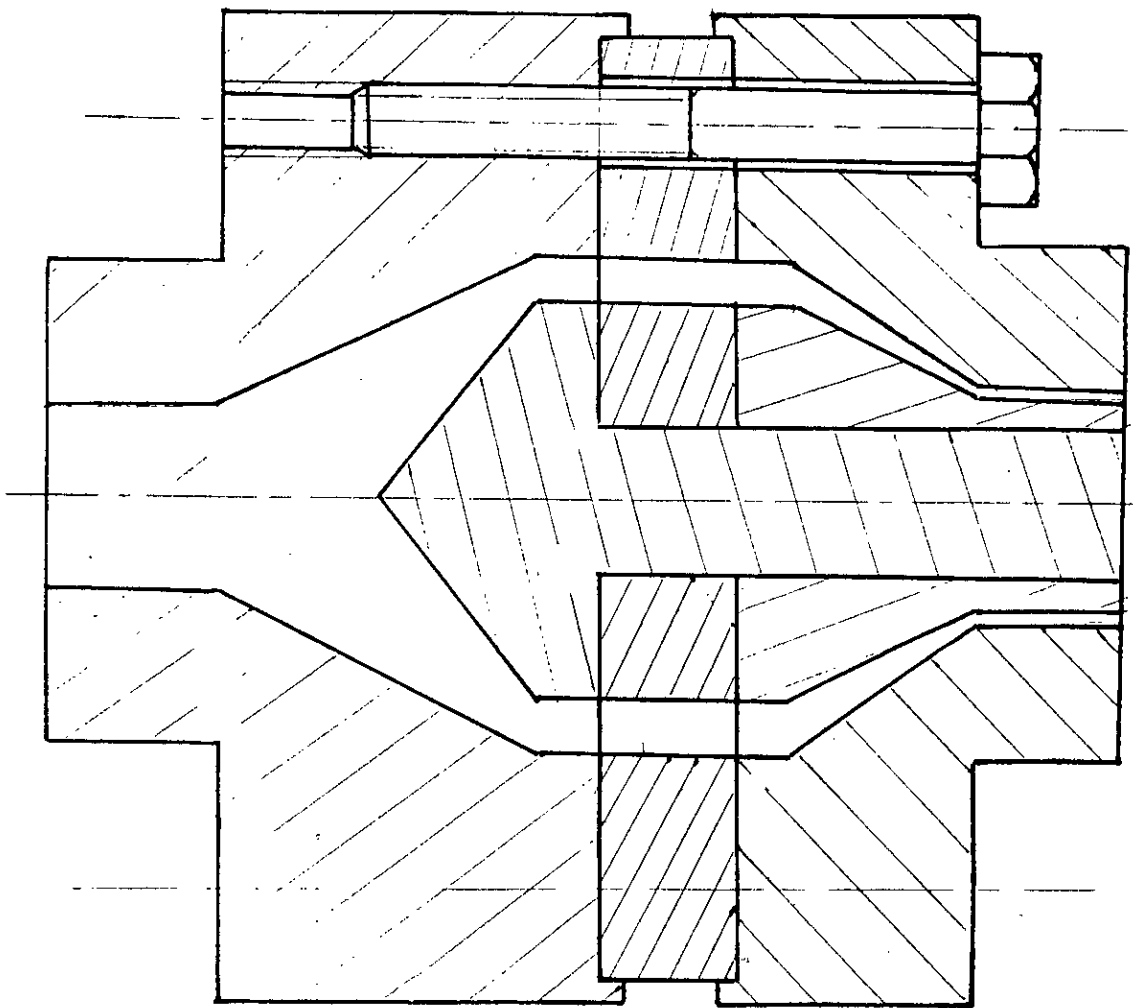
$$f_{res} < f_{adm} = 0.05$$

de là on dimensionne l'entretoise.

$$f_{res} = \frac{F H^3}{12 E I_x} + \frac{F H}{G A} < 0.05$$

d'où : on détermine les dimensions exactes de l'entretoise : b, H, L^3

Dimensionnement des vis de fixation :-



La forme extérieur de la filière est un assemblage de deux parties par l'intermédiaire de vis. D'après Michaelli, la filière doit être tenue par quelques grandes vis au lieu de nombreuses petites vis, et ça, pour réduire le temps de montage et démontage et assurer une durée de vie plus longue pour les grandes vis.

Calcul de la force supportée par les vis :

$$\vec{F}_v = \vec{F}_{pi2} + \vec{F}_{pi4} + \vec{F}_{pe4} + \vec{F}_{zi2} + \vec{F}_{zi5} + \vec{F}_{ze4} + \vec{F}_{ze5}$$

$$F_v = F_{pi2} + F_{pe4} - F_{pi4} + F_{zi2} \cos \frac{\theta}{2} + F_{zi5} + F_{ze4} \cos \beta + F_{ze5}$$

Choix du matériau des vis : —

On choisit un acier de propriétés suivantes : (R_m et R_e)

Condition de résistance des vis : —

$$\frac{F_v}{s} \leq [\sigma_{tr}]_{adm} = R_e / n_s$$

$$\Rightarrow \frac{F_v}{\frac{n \cdot \pi d^2}{4}} \leq [\sigma_{tr}]_{adm} \quad (1)$$

n_s : coefficient de sécurité: dans le cas pareil $n_s = 1.5$

d : diamètre du noyau de la vis.

n : nombre de vis.

$$(1) \implies d_{min} = \sqrt{\frac{4 F_v}{n \pi R_e / n_s}}$$

Dans cette formule, on fixe les nombres de vis n et on calcule le diamètre d_{min} , et à partir du guide du dessinateur, on détermine le pas, la longueur totale, la longueur filetée et toutes les caractéristiques de la vis, et ça, après avoir calculer les dimensions mécaniques réelles de tous les organes de la filière.

IV.3 CHOIX DU MATERIAU :

Les matériaux doivent répondre aux exigences suivantes :

- Bonne usinabilité (résistance à l'usure et à l'érosion)
- Bonne résistance à la pression, aux températures élevées et à l'usure
- Solidité et tenacité suffisante
- Dureté de surface suffisante
- Facilité de polissage sur surfaces irréprochables
- Traitement thermique simple
- Gauchissement minimal et faible variation de cotes lors du traitement thermique

- Résistances aux agressions chimiques (corrosion)
- Possibilité de traitement de surface
- Bonne conductibilité thermique
- Non soumis aux tensions

Ces exigences ne doivent cependant pas être remplies par un seul matériau .

Le choix du matériau doit se faire :

- La matière à transformer (température de transformation, corrosion, usure élevée).
- Le type et la grandeur de la contrainte mécanique
- La fabrication des filières (une finition par usinage est possible jusqu'à une résistance du matériau d'environ 1500 N/mm², les conditions optimales de résistances se situent aux alentours de 600 à 800 N/mm²)
- Le traitement thermique nécessaire et , par voie de conséquence, le retrait , et toute variation de cote

Ainsi , pour les filières d'extrusion , on emploie en plus d'un nombre très réduit de matériaux non ferreux, Les aciers suivants:

- Aciers de nitruration
- Aciers de cimentation
- Aciers durcis
- Aciers pré-traités

-Aciers inoxydables

Afin d'augmenter la résistance à la corrosion et à l'usure, on fait appel pour les filières d'extrusion aux :

- Couches protectrices en chrome (chromage dur)
- Couches protectrices au nickel ou alliages avec fort pourcentage de nickel
- Couches en carbure de titane

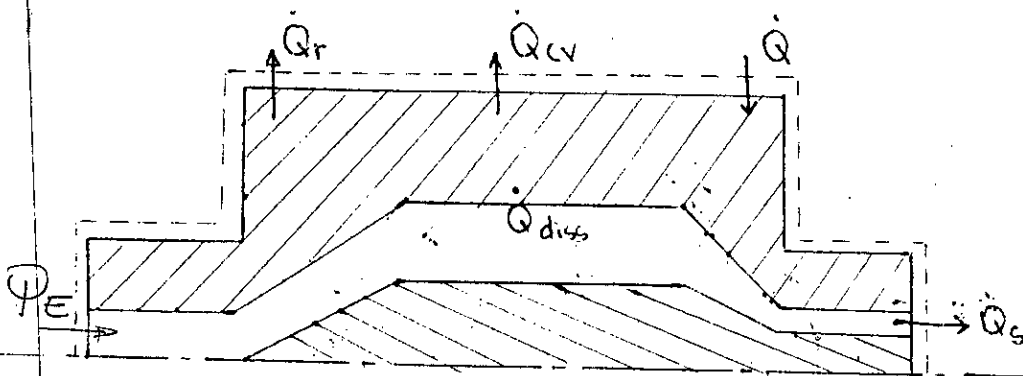
CH V CONCEPTION THERMIQUE

Les conditions de température dans une filière ont une grande influence sur la grandeur du flux local de matière (en raison de la variation de la viscosité locale de la matière), sur la chute de pression et la température de la matière.

Ainsi donc, il apparait nécessaire d'apporter une attention toute particulière à la conception thermique des filières, afin de ne pas utiliser de manière plus ou moins absurde les points de vues rhéologiques qui conduisent à la conception du canal, en raison de conditions aux limites thermiques insatisfaisantes.

V.1 BILAN THERMIQUE DE LA FILIERE:

Afin d'obtenir une représentation de la qualité de chaleur à véhiculer dans la zone stationnaire d'une filière c'est à dire lorsque la température du corps de filière reste quasi-constante, il est nécessaire d'établir un bilan thermique de toute la filière et de déterminer le flux thermique un par un. Partant de l'hypothèse admissible qu'il n'ya aucun échange thermique par conduction entre l'extrudeuse et la filière. La fig ci-dessous montre le flux thermique à considérer lors du bilan



- Q_e : flux thermique entrant dans la filière avec la matière .
- Q_s : " " sortant de " " " " " .
- Q_{cv} : " " de la filière par convection .
- Q_r : " " " " " rayonnement .
- Q : " " " " " élément chauffant .
- Q_{diss} : énergie dissipée dans la filière par unité de temps .

donc le bilan sera :

$$(\dot{Q}_e + \dot{Q}) - (\dot{Q}_s + \dot{Q}_{cv} + \dot{Q}_r) + \dot{Q}_{diss} = 0$$

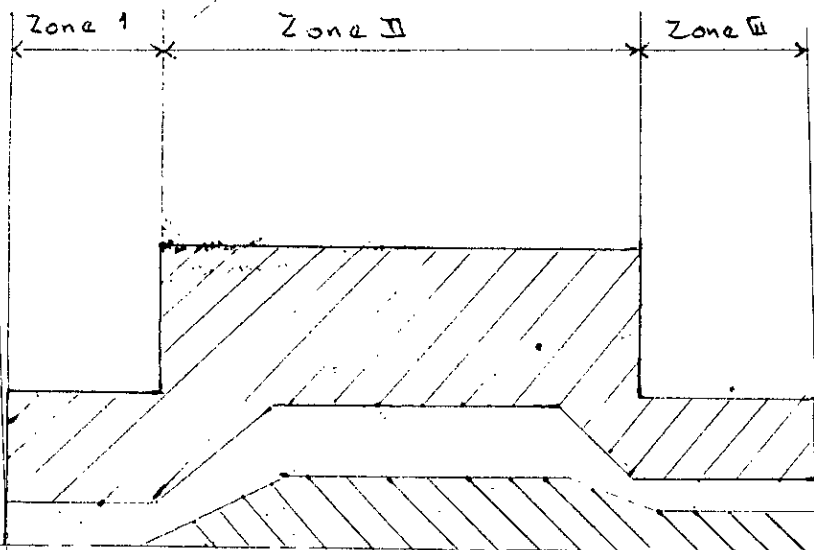
On considère l'état stationnaire, à cet état une obligation à respecter la matière entrant dans la filière doit si possible ressortir avec la même température.

$$\dot{Q}_e = \dot{Q}_s$$

$$\implies \dot{Q} + \dot{Q}_{diss} = \dot{Q}_{cv} + \dot{Q}_r$$

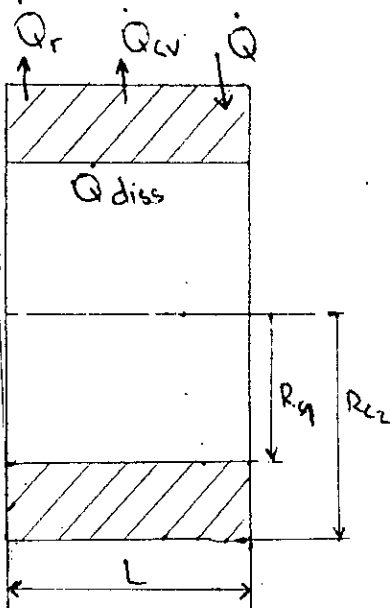
Remarque: La température de la paroi du canal doit être approximativement égale à celle de la matière. De cette dernière remarque on peut dire que le flux thermique convectifs entre parois interne et externe est nulle.

A cause de la non uniformité des parois externes on divise la filière en 3 parties chauffées séparément.



V.2 CALCUL DE LA TEMPERATURE DES ÉLÉMENTS CHAUFFANTS :-

Bilan thermique de la zone 1



- α_{cv} : Coef de transfert par convection
- α_R : Coef de transfert thermique par rayonnement
- T_{fe} : Température des éléments chauffants
- T_a : Température ambiante
- A_c : surface cylindrique externe

$$\dot{Q} + Q_{diss} = Q_{cv} + Q_r$$

$$\dot{Q} = Q_{cv} + Q_r - Q_{diss}$$

$$\dot{Q}_{cv} = A_c \alpha_{cv} \Delta T = A_c \cdot \alpha_{cv} \cdot (T_{fe} - T_a)$$

$$\dot{Q}_R = A_c \alpha_R \Delta T = A_c \cdot \alpha_R \cdot (T_{fe} - T_a)$$

$$\dot{Q}_{diss} = \Delta P \dot{V}$$

$$\dot{Q} = A_c (T_{fe} - T_a) (\alpha_{cv} + \alpha_R) - \Delta P \dot{V} \quad (1)$$

d'autre part

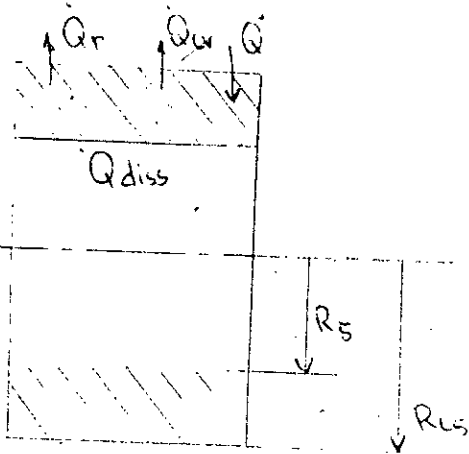
$$Q = 2\pi \lambda L \frac{T_{fe} - T_{fi}}{\ln \frac{R_{e2}}{R_{e1}}} \quad (2)$$

on a (1) = (2)

$$\text{d'où: } \left[(\alpha_{cv} R_{e2} + \alpha_R R_{e2}) T_a + \Delta P \dot{V} - \frac{\lambda}{\ln \frac{R_{e2}}{R_{e1}}} \right] \frac{1}{\alpha_{cv} R_{e2} + \alpha_R R_{e2} - \frac{\lambda}{\ln \frac{R_{e2}}{R_{e1}}}} = T_{fe1}$$

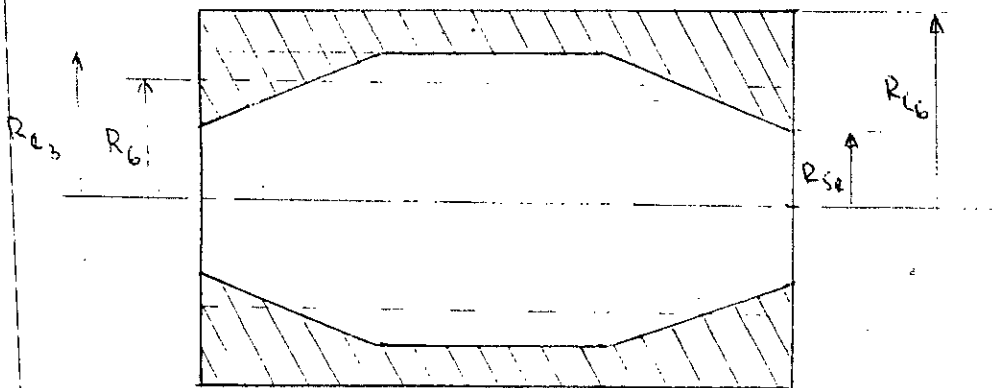
Bilan thermique de la zone V

Cette zone a une forme semblable à la zone I



$$T_{fe5} = \left[(\alpha_{cv} R_{cs} + \alpha_R R_{cs}) T_a + \Delta P V - \frac{\lambda T_{fi}}{\ln \frac{R_{cs}}{R_5}} \right] \frac{1}{\alpha_c R_{cs} + \alpha_R R_{cs} - \frac{\lambda}{\ln \frac{R_{cs}}{R_5}}}$$

Bilan thermique de la zone II



On remarque que la paroi interne de cette zone n'est pas uniforme mais on peut considérer cette zone comme étant un cylindre avec un diamètre moyen égal à la moyenne des diamètres intérieurs.

$$R_6 = \frac{1}{3} \left[\frac{R_{e2} + R_{e3}}{2} + R_{e3} + \frac{R_{e3} + R_{e4}}{2} \right]$$

de là on aura :

$$T_{fe} = \left[(\alpha_{cv} \cdot R_{cs} + \alpha_R \cdot R_{cs}) T_a + \Delta P V - \frac{\lambda T_{fi}}{\ln \frac{R_{cs}}{R_6}} \right] \frac{1}{\alpha_c R_{cs} + \alpha_R R_{cs} - \frac{\lambda}{\ln \frac{R_{cs}}{R_6}}}$$

CH VI PROGRAMMATION & APPLICATION

VI.1 Programmation

Après avoir établi toutes les formules nécessaires pour le calcul des différentes étapes, on a élaboré un logiciel qui nous permet d'avoir les résultats pour le dimensionnement mécanique des filières.

Programme : (voir annexe)

VI.2 Essais rhéologiques :

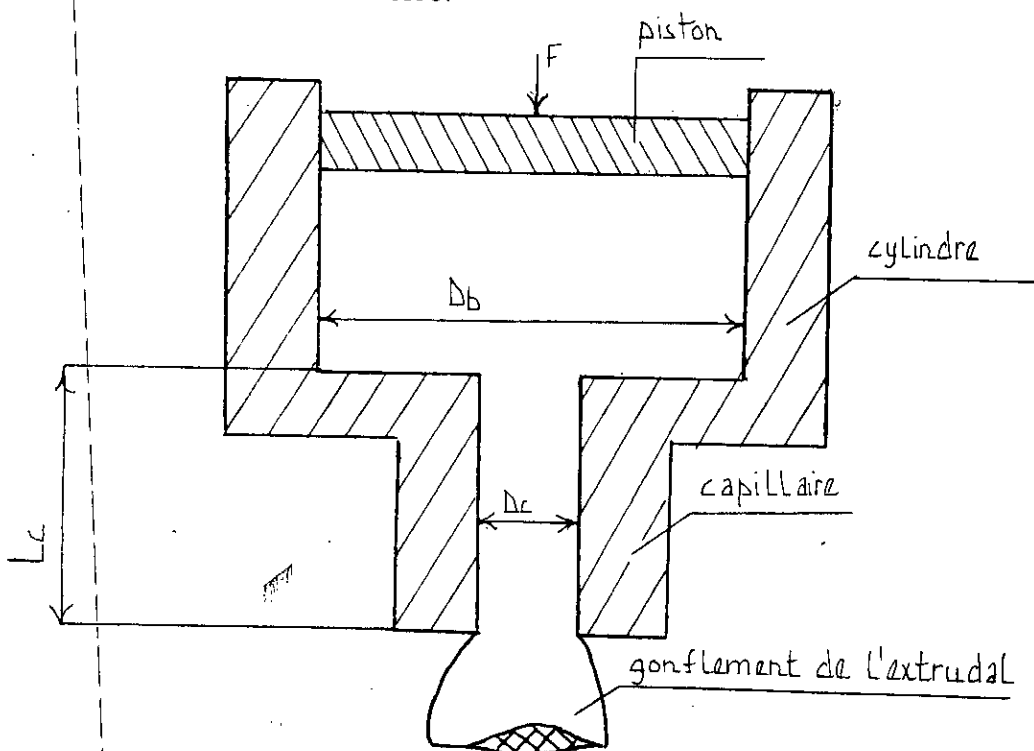
Le but de cette expérience est d'étudier le gonflement à la sortie de la filière. Les mesures de viscosité capillaire permettent d'accéder à la valeur de la viscosité correspondant au taux de cisaillement à la paroi du tube.

L'appareil utilisé est le rhéomètre capillaire.

Description de l'équipement

L'appareil utilisé consiste à un piston de diamètre D_p placé à l'intérieur d'un cylindre de diamètre D_b avec $D_b = D_p$. La partie essentielle d'un rhéomètre est le capillaire de dimensions connues (D_c, L_c). On applique une charge F sur le piston, sa descente dans le cylindre force la matière plastique fondu dans le capillaire.

Des dispositifs électriques permettent de contrôler les différents paramètres. Le capillaire possède 3 zones chauffées par des résistances pour assurer la fusion de la matière.



Procédure:

On place le capillaire (L_c, D_c) dans le cylindre, on porte les trois zones à la température désirée, on remplit le cylindre avec la matière première, qui est

tassée à l'aide du piston pour éviter les bulles d'air dans l'extrudat, puis on accroche le piston à l'unité de charge F, on fixe la vitesse V, on lie la valeur de F et on mesure le diamètre ϕ de l'extrudat. L'extrudat sortant du capillaire ne doit pas être tiré mais coupé brusquement afin de ne pas altérer la mesure de son diamètre ϕ .

$$\bar{V} = \frac{V \times H}{60} \left(\frac{D_b}{D_c} \right)^2$$

V x H : Vitesse réelle du polymère fondu

V : Vitesse sélectionnée et lue sur le pupitre

le taux de cisaillement apparent est:

$$\dot{\gamma}_{aw} = \frac{\bar{V}}{D_c}$$

La contrainte de cisaillement à la paroi est:

$$\tau_w = \frac{F}{4 A_p (L_c / D_c)}$$

A_p : section du piston

La force appliquée est déterminée comme suit:

$$F[\text{kg f}] = \left[\begin{array}{l} \text{lecture de la force x multiplicateur d'échelle} \\ \text{x échelle de la charge} \end{array} \right] \times 1/100$$

La viscosité apparente:

$$\eta = \frac{\tau_w}{\dot{\gamma}_{aw}}$$

Le taux de cisaillement corrigé:

$$\dot{\gamma}_w = \frac{3n+1}{4n} \dot{\gamma}_{aw}$$

A partir des courbes,
on déduit n:

$$n = \frac{d(\log \tau_w)}{d(\log \dot{\gamma}_{aw})}$$

La viscosité corrigé est donc

$$\eta = \frac{\tau_w}{\dot{\gamma}_w}$$

CH VII . MANIPULATION , ENTRETIEN ET SOIN
DES FILIERES.

A partir de ces données, on établit des tableaux récapitulatifs des résultats obtenus pour deux essais à deux températures différentes:

- Essai à $T = 180\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Essai à $T = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$

VI.3 Données et résultats:

VI.3.1 Données :

a) Caractéristiques du matériaux utilisé:

- Matière plastique: PVC rigide.
- Température d'extrusion: $T=200\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Viscosité du polymère : $=6722\text{ (Pa.s)}$
- Densité du polymère à l'état solide : $=1,4 \times 10^3\text{ kg/m}^3$
- Densité du polymère à $T=200\text{ }^{\circ}\text{C}$: $=1,28 \times 10^3\text{ kg/m}^3$
- Taux de gonflement : $Sr=1,48$
- Indice d'écoulement : $m=2,31\text{ M}^m/\text{N}^m \times S$
- Fluidité du fluide : $\text{PHI}=2,4 \times 10^{-11}$

b) Caractéristiques de la machine d'extrusion:

- Nom de la machine B 120
- Débit max de la machine $Q=3,6 \times 10^{-5}\text{ m}^3/\text{s}$
- Diamètre intérieur du fourreau $D1=120\text{ mm}$
- Diamètre du noyau de la vis $D2=119,5\text{ mm}$
- Epaisseur du filet de la vis $E1=12\text{ mm}$
- Distance corps vis-cylindre $H=5\text{ mm}$
- Angle d'inclinaison de l'arrête du filet $\text{PSI}=17^{\circ}45'$
- Nbre de tours de la vis $N=20\text{ tr/mn}$
- Longueur de la vis $\text{DTZ}=1800\text{ mm}$
- Taux de tirage $\text{DDR}=1,22$

c) Caractéristiques de la filière

- Longueur du tamis $Lt=15\text{ mm}$
- Nbre de trous dans le tamis $X=260$
- Rayon des trous du tamis $R=3\text{ mm}$
- Longueur de l'entretoise $L''_3=30\text{ mm}$
- Epaisseur de l'entretoise $C=18\text{ mm}$
- Coefficient de l'ouverture de l'ailette $f. \text{Re}=21$
- Rapport de diamètres (poinçon / sortie de filière) $A1=1,5$
- Angle d'inclinaison du cône du poinçon $\text{ALPHA}=20^{\circ}$
- Angle d'inclinaison du corps de la filière $\text{BETA}=30^{\circ}$
- Longueur de la zone 3 $L3=40\text{ mm}$
- Longueur de la zone 1 $L1=60\text{ mm}$
- Angle d'inclinaison du corps de la filière $\text{Sigma}=10^{\circ}$
- Angle de la pointe du poinçon $\text{TETA}=94^{\circ}$

- Nbre de segments de la zone 2 P=20
- Nbre de segments de la zone 4 M1=20

c) Caractéristiques du matériau de la filière:

- Désignation N° 1.41122 (Z35 CD 17)
- Contrainte de cisaillement admissible =38 dan/mm²
- Coefficient de poisson Mu=0,33
- Module de young E =21 x 10³ dan/mm²

d) Caractéristiques du matériau des vis:

- Désignation XC 48
- Résistance à la traction minimale Re=655 N/mm²
- Résistance minimale à la rupture Rm=830 N/mm²
- Nbre de vis S=6
- Coef de sécurité NS=1,5
- Déformation admissible F=0,05

e) Caractéristiques du produit final

- Diamètre intérieur du tube Di=85 mm
- Diamètre extérieur du tube De=90 mm

VI.3.2 Résultats:

- Pression à l'entrée de la filière
DTP=3.897448 x 10⁶ Pa

a) Dimensions du canal d'écoulement (en mètres):

- DE5= 8.54759 x 10⁻²
- DI5= 8.070995 x 10⁻²
- H5 = 2,382975 x 10⁻³
- L5 = 7.121466 x 10⁻²
- DI4= 0.1210649
- DE4= 0.1493955
- L4 = 5,544855 x 10⁻²
- DI3= 0,1210649
- DE3= 0,1493955
- L3 = 0,04
- LS3= 0,03
- DE2= 0,1433955
- DI2= 0,121049
- L2 = 8,361576 x 10⁻²
- LS2= 2,713383 x 10⁻²

- $L'2 = 5,648193 \times 10^{-2}$

- $LT = 0,015$

- $D1 = 0,12$

b) Chute de pression dans les différentes zones: (en bars)

- $DTP5 = 24,08378$

- $DTP4 = 32,22572$

- $DTP3 = 2,9444713$

- $DTP2 = 7,656226$

- $DTF1 = 0,4573527$

- $DTPT = 10,07923$

- $DTFP = 294,20080$ (DTTF: somme des chutes de pressions dans les différents canaux de la filière)

c) Contrainte de cisaillement dans le canal: (en N/m²)

- = 22867,64

- = 397681,3

- = 784426,6

- = 2932677

- = 5700798

- = 3563431

- = 8649114

d) Valeur des forces de cisaillement et de pression axiales (en N)

- $Fz1 = 516,9915$

- $FzE5 = 1599,497$

- $FzI5 = 14157,24$

- $FzE4 = 2768,261$

- $FzI4 = 4719,812$

- $FzI2 = 2958,532$

- $FzE2 = 4344,964$

- $FPE2 = 198233,6$

- $FPI2 = 320559,6$

- $FPE4 = 250387,7$

- $FPI4 = 122358,1$

e) Dimensions mécaniques extérieures minimales de la filière:

- $RC1 = 7,135046 \times 10^{-2}$

- $RC2 = 9,59172 \times 10^{-2}$

- $RC3 = 9,586729 \times 10^{-2}$

- $RC4 = 9,480209 \times 10^{-2}$

- $RC5 = 4,763256 \times 10^{-2}$

f) Déplacement axiale de l'entretoise: (en mm)

$$F_{res} = 4,652359 \times 10^{-2}$$

g) Diamètre minimal des vis de fixation: (en m)

$$d_{min} = 1,507389 \times 10^{-2}$$

```
*****
* diamètre * pas * diamètre du noyau * diamètre intérieur *
* nominal d * p * de la vis d1 * du taraudage d2 *
*****
* 16 * 2 * 13.5464 * 14.701 *
*****
```

Valeurs normalisées des vis de fixation: en (mm)

```
*****
* a * d * p * d * L * x *
*****
* 24 * 16 * 2 * 10 * 170 * 44 *
*****
```

Les filières d'extrusion sont, en générale, des pièces de haute précision, assez couteuse, lesquelles nécessitent un entretien très soigneux et un soin très particulier. Ceci afin d'éviter toute détérioration de la filière, qui entraînerait des dépenses élevées en raison du temps accru de non-fonctionnement

La cause principale des dommages subis par les filières réside dans les inévitables erreurs humaines. Avant tout le mauvais maniement de la filière lors de l'entretien, du nettoyage et de la mise en route.

Le personnel affecté à l'extrusion doit donc connaître et comprendre parfaitement la fonction de cet outillage. Il faut faire attention d'éliminer la matière à l'embouchure avec des racles ou matériels moux (cuivre, laiton, aluminium) afin d'éviter toute entaille sur les bords de l'embouchure. Pour cette raison, la mesure des cotes de la largeur de la fente de sortie d'une filière doit se faire seulement avec un élément sensible "souple". Ce personnel doit être familiarisé avec la construction et la fonction de chaque filière et disposer de tous les documents nécessaire (dessins, directives pour le montage, nomenclature.)

Afin de familiariser ces personnes avec leur "nouvel outil", il apparait judicieux de leur laisser démonter, inspecter puis monter la filière en l'état de repos.

Les filières devraient être toujours démontées, nettoyées et entretenues dans un lieu spécial, suffisamment éloigné de la production. Un tel lieu de travail devrait être toujours très propres et recouvert d'épais papiers. Un petit évier avec robinet devrait être prévu à cet endroit. Dans ce même lieu de travail, on doit trouver toutes sortes d'outils nécessaires: clés, tournevis, racles (cuivre, laiton...), agent de polissage.

Si un nettoyage total de la filière s'avère nécessaire, les vis principales de la filière doivent être divissées tant que la filière est encore fixée à l'extrudeuse. La filière doit être démontée tout en étant chauffée, on doit alors travailler rapidement pour éviter un refroidissement prématuré. La matière plastique se trouvant dans le canal peut être retiré avec une râcle souple, des agents solvants peuvent être d'une aide partielle. En plus de ces processus manuels de nettoyage, il est possible de réaliser des bains comme le bain de nitrate de sel à (400-500)°c, ce procédé n'est pas utilisable s'il ya des surfaces chromées, il faut contrôler aussi si à ces hautes températures ne produisent aucune déformation dans le matériau de la filière. Ce qui entraînerait une diminution de la résistance.

Un nettoyage long mais efficace peut aussi être réaliser dans une solution en ébullition. Les filières sont souvent nettoyées au moyen de rayons ultra-violets. Le canal devrait être poli avant le montage. Tous les vis et tous les pas de vis doivent être repassé lors du montage avec un lubrifiant supportant de haute températures afin de garantir une facilité lors du prochain démontage.

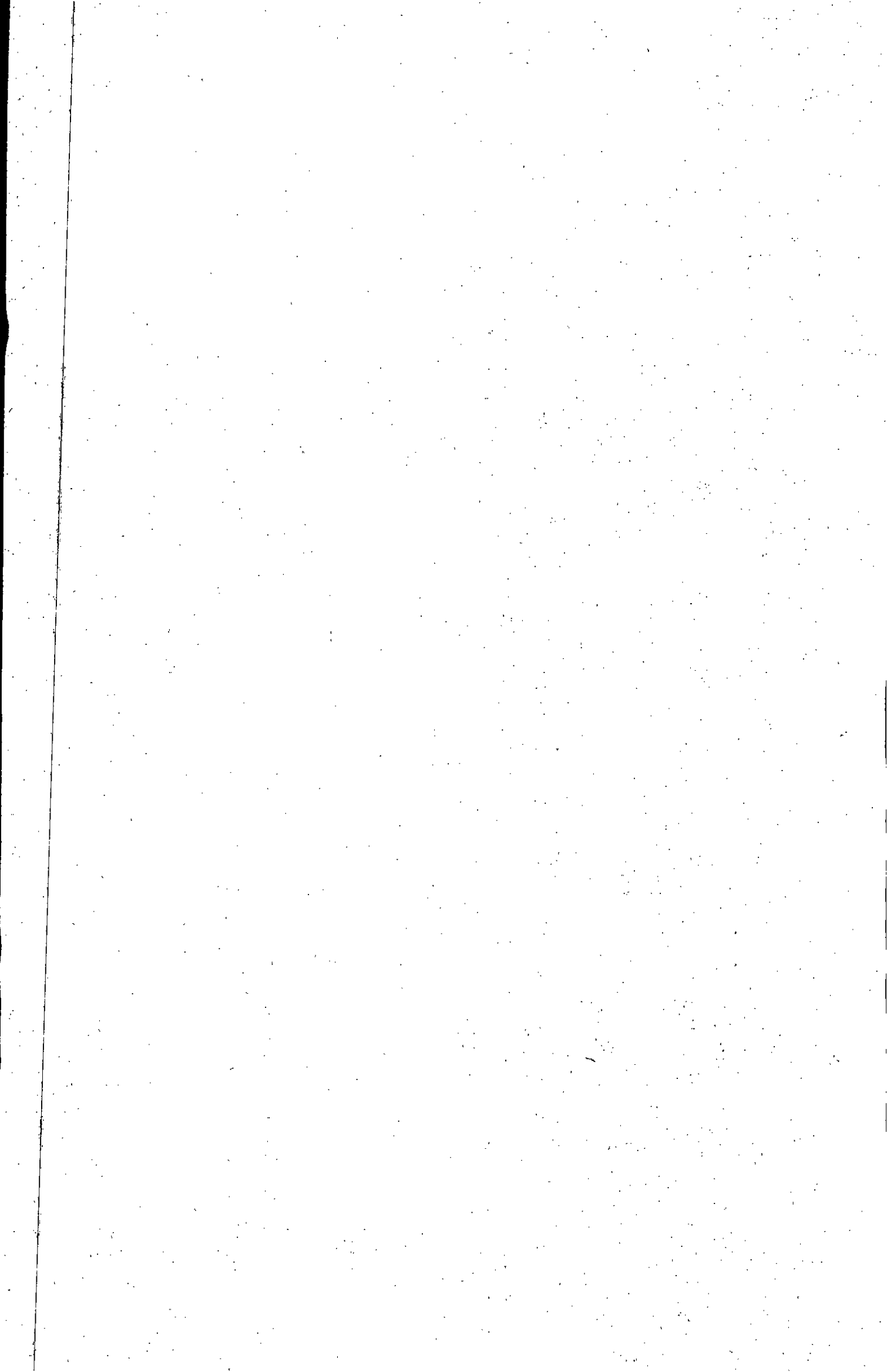
Un demontage complet, un nettoyage et un controle est recommandé dans environ tous les six mois, toutes les parties de filières (vis, boulons, cartouches chauffantes, conducteurs électrique) devant être remplacées afin d'éviter toute panne future.

Cette indication dans le temps dépend fortement du matériau transformé, si bien que plusieurs entreprises par exemple, qui, transforment le PCV, sont obligées de nettoyer et entretenir les filières chaque fin de semaine après 5 jours de production.

CONCLUSION

L'obtention d'un bon produit fini nécessite un dimensionnement soigné du canal d'écoulement et cela en se basant sur l'aspect rhéologique.

En étudiant les ouvrages spécialisé dans ce domaine, on remarque que pour plus de rigueur, il faut pratiquer d'autres expériences sur la matière première menant à la détermination du profil des vitesses, ainsi que le profil de températures dans les différentes zone de la filière, ceci devient une tache plus ardue, qui n'est utilisé que par des bureaux d'études de renomé mondiale.



Essai 3 T = 130°C

VxH (cm/min)	Lecture	Cslibre multiplicateur	Cslibre	Dmoy (mm)	Observation sur le produit
0.3	35	10	20	1.49	Bon aspect exterieur
0.9	70	10	20	1.58	" "
3.0	45	10	20	1.71	" "
9.0	27	10	200	1.51	" "
30.0	34	10	200	1.45	" "

VxH (cm/min)	F (N)	\bar{V} (m/sec)	$\dot{\gamma}_{aw}$ (S ⁻¹)	τ_w (Pa)	η_a (Pa.s)	$\dot{\gamma}_w$ (S)	η_c (Pa.s)	S_R
0.3	636.7	$0.275 \cdot 10^{-2}$	17.14	121755.3	7103.6	20	6037.76	1.16
0.9	1373.4	$0.826 \cdot 10^{-2}$	51.50	243510.6	4723.36	60.1	4051.75	1.23
3.0	382.9	$2.75 \cdot 10^{-2}$	171.46	156542.5	912.9	200	782.71	1.33
9.0	5297.4	$8.26 \cdot 10^{-2}$	515.00	939255.3	1823.8	600.33	1563.26	1.77
30.0	6670.9	$27.56 \cdot 10^{-2}$	1713.36	1182766	683.3	2004.75	590	1.43

Essai 3 T = 200°C.

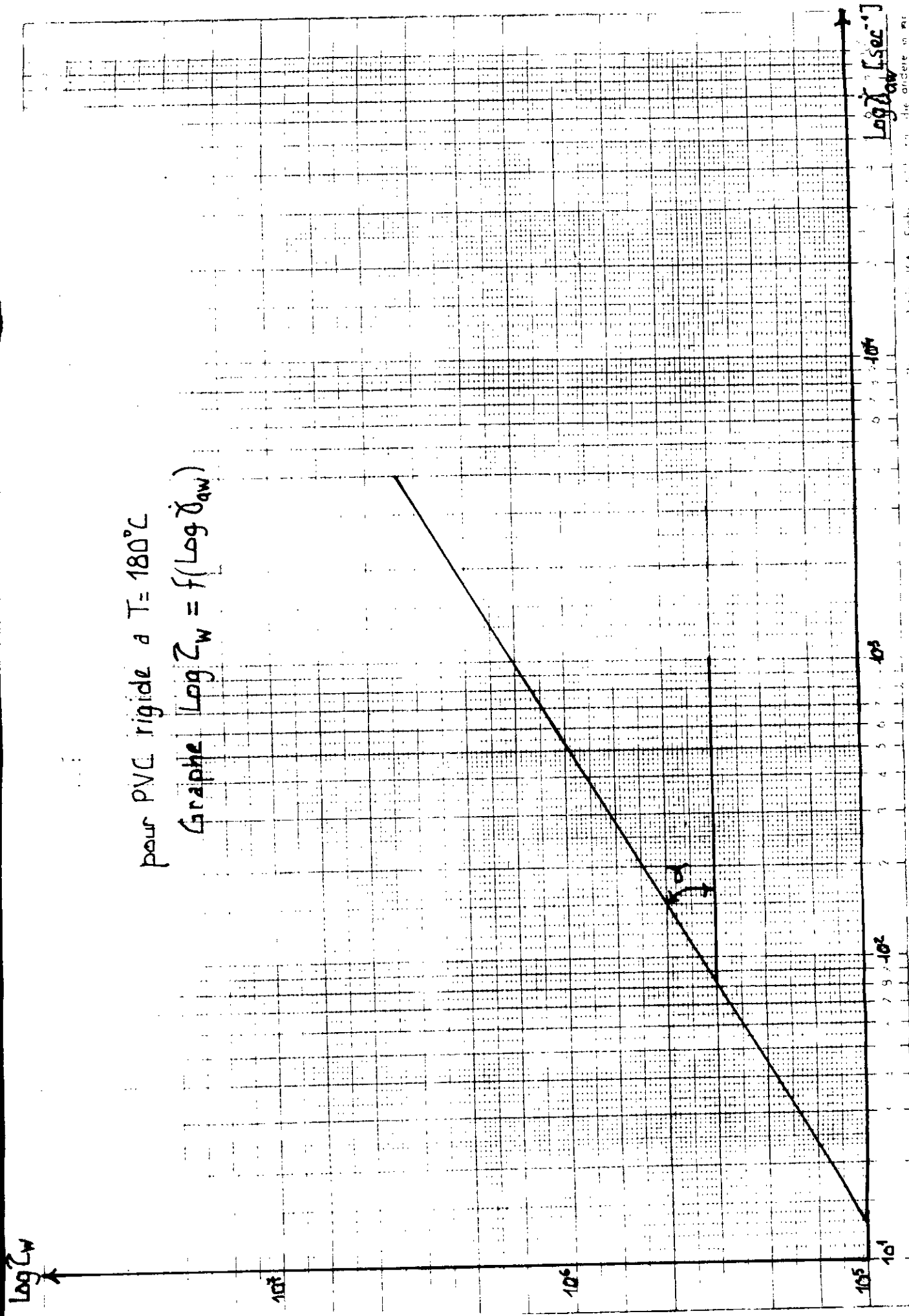
V x H (cm/min)	Lecture	CSlibre multiplicateur	CSlibre	D moy (mm)	Observation sur le produit
0.3	22	10	40	1.76	Bon aspect
0.9	30	10	40	1.32	Extrudat dégradé *
3.0	58	10	40	1.40	" "
9.0	38	10	100	1.37	" "
30.0	32	10	200	1.57	" "

V x H (cm/min)	F (N)	\bar{V} (m/s)	$\dot{\gamma}_{aw}$ (s ⁻¹)	τ_w (Pa)	η_a (Pa.s)	$\dot{\gamma}_w$ (s ⁻¹)	η_c (Pa.s)	Sr
0.3	963.23	$0.275 \cdot 10^{-2}$	17.14	153063.3	3930.2	22.77	6722.17	1.43
0.9	1117.2	$0.326 \cdot 10^{-2}$	51.5	203723.4	4052.9	63.43	3050.17	1.03
3.0	2275.92	$2.75 \cdot 10^{-2}$	171.46	403531.9	2353.5	227.92	1771.27	1.09
9.0	3727.8	$8.26 \cdot 10^{-2}$	515	660957.5	1233.4	634.23	965.91	1.07
30.0	6273.4	$27.56 \cdot 10^{-2}$	1713.36	1113151.5	647.3	2233.19	487.56	1.13

* phénomène de la rupture à l'état liquide.

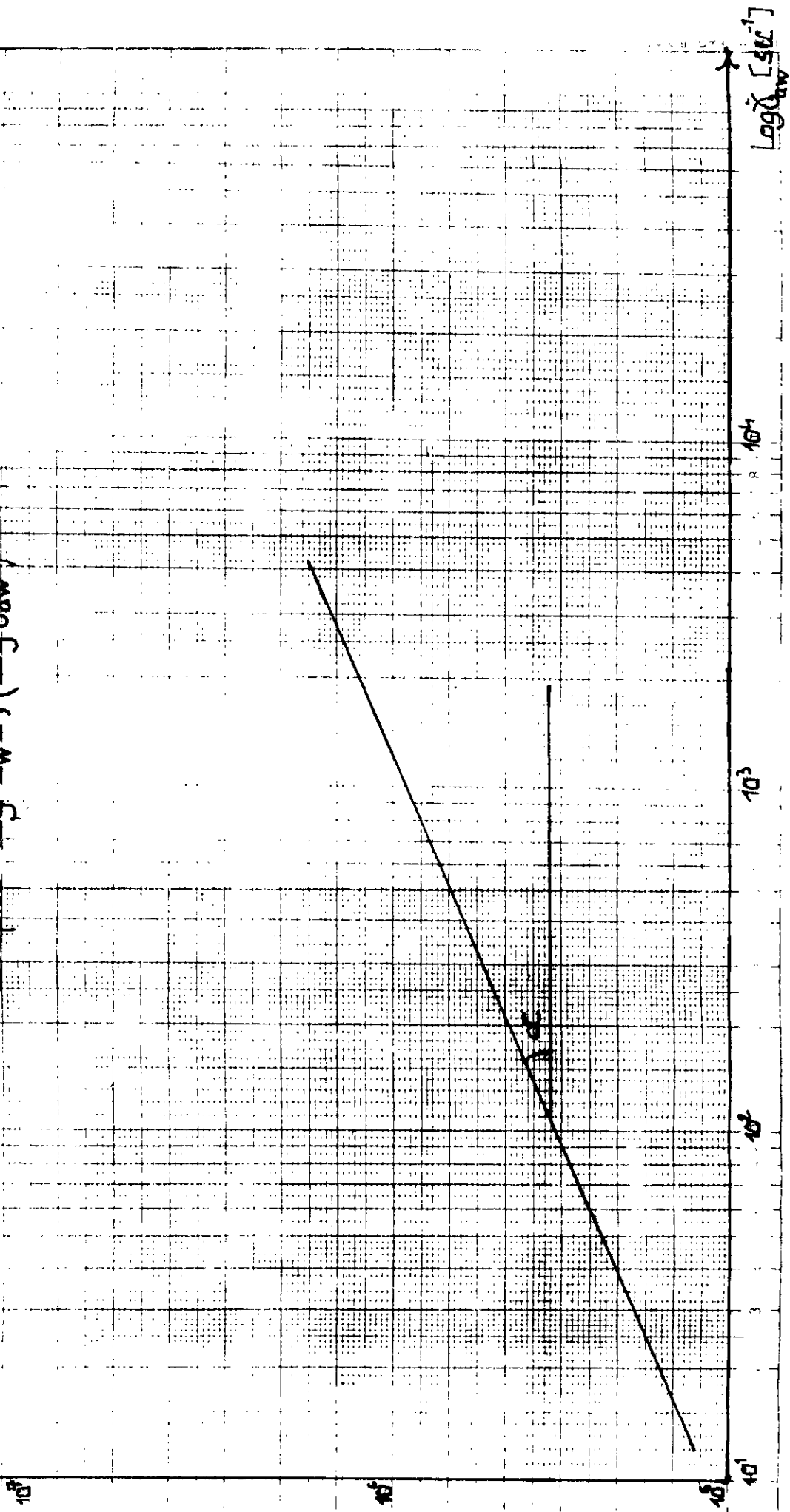
pour PVC rigide a $T = 180^{\circ}\text{C}$

Graphie $\text{Log } \zeta_w = f(\text{Log } \delta_{\text{qw}})$

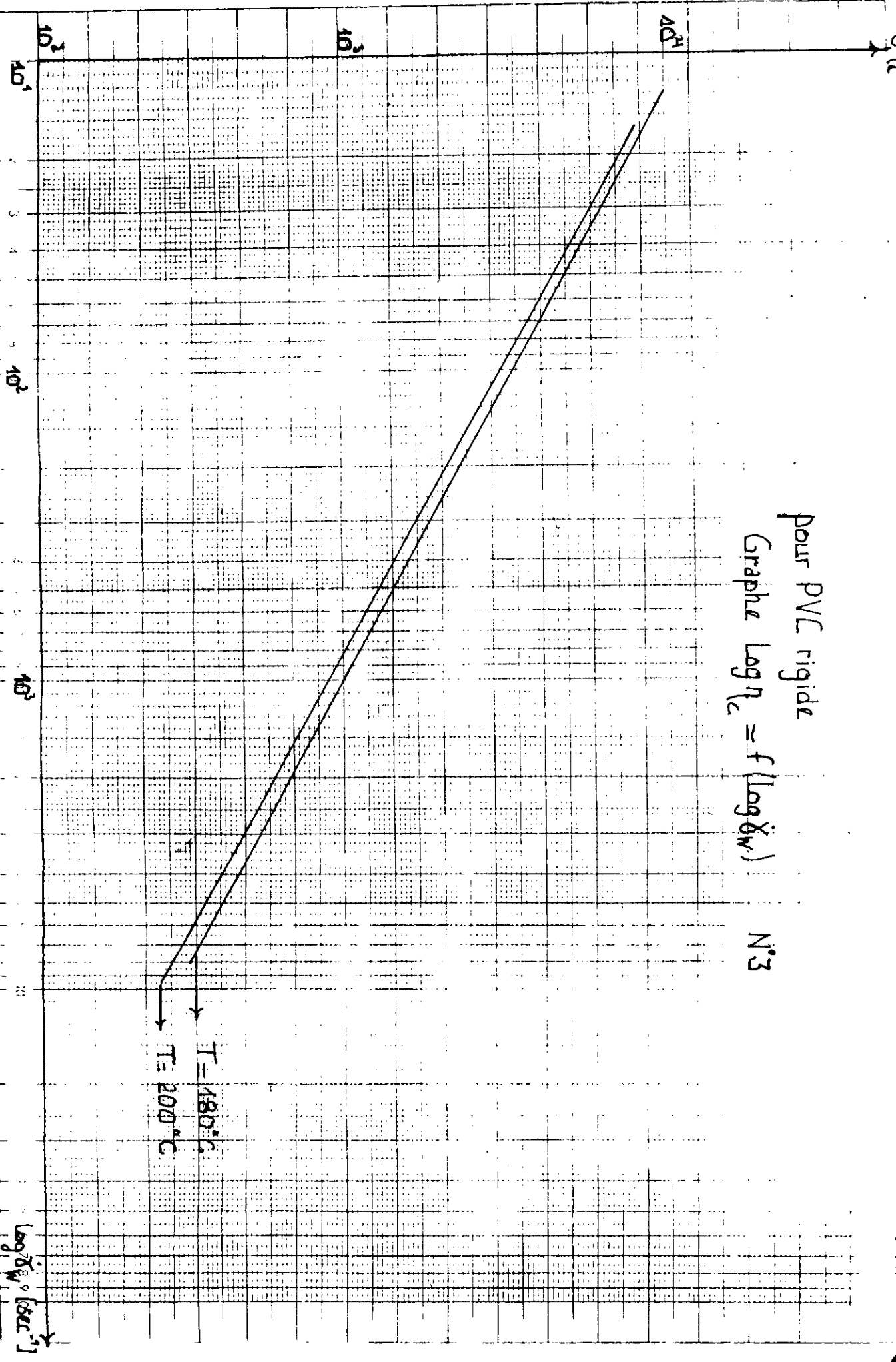


Pour PVC rigide a $T=200^{\circ}\text{C}$

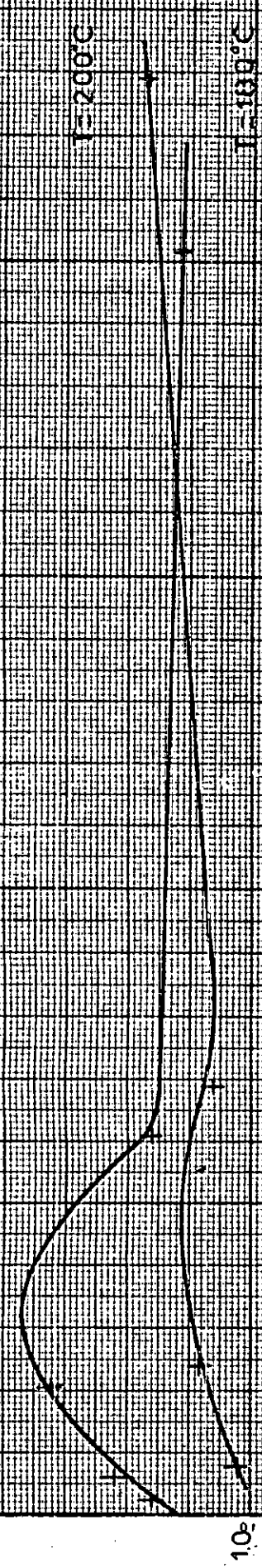
Grapher $\log \zeta_w = f(\log \delta_{aw})$



pour PVC rigide
 Graphie $\log \eta_c = f(\log \dot{\epsilon}_w)$ N°3



Eaux de gonflement $S_r = F(x, y)$



8W

2000

1500

1000

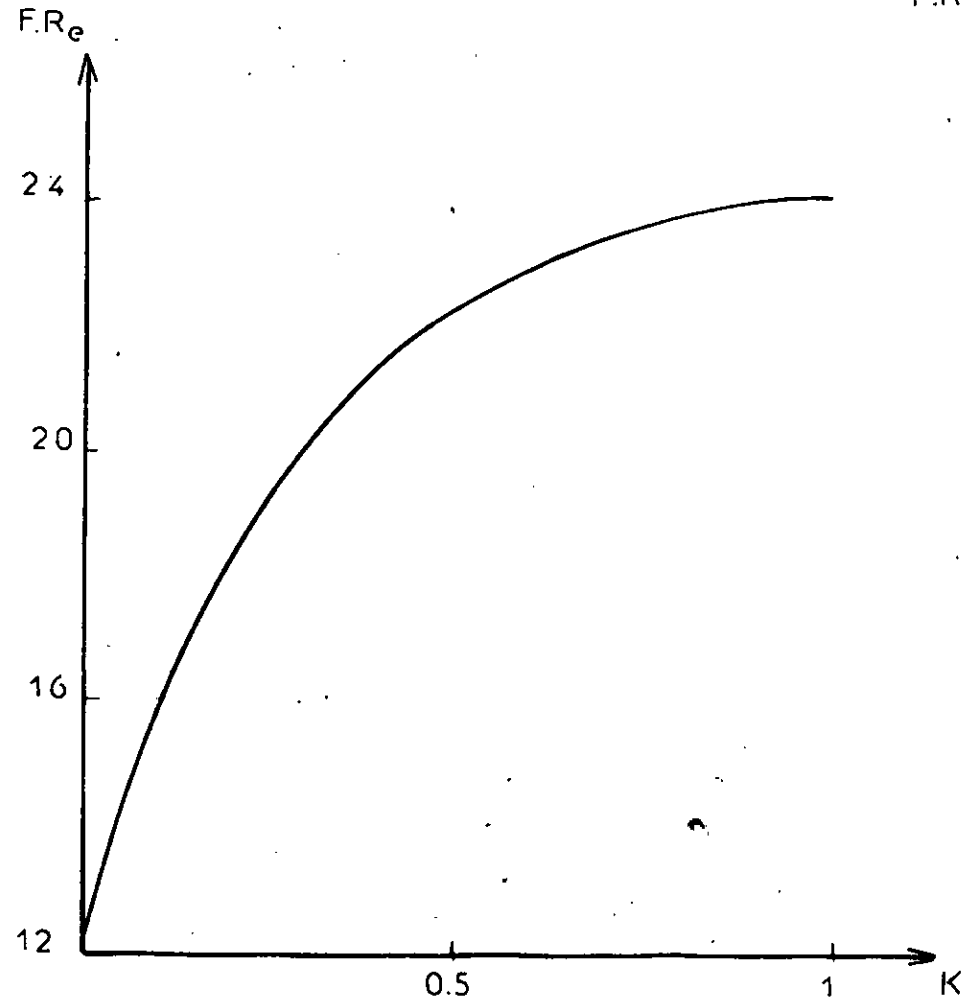
500

1.0

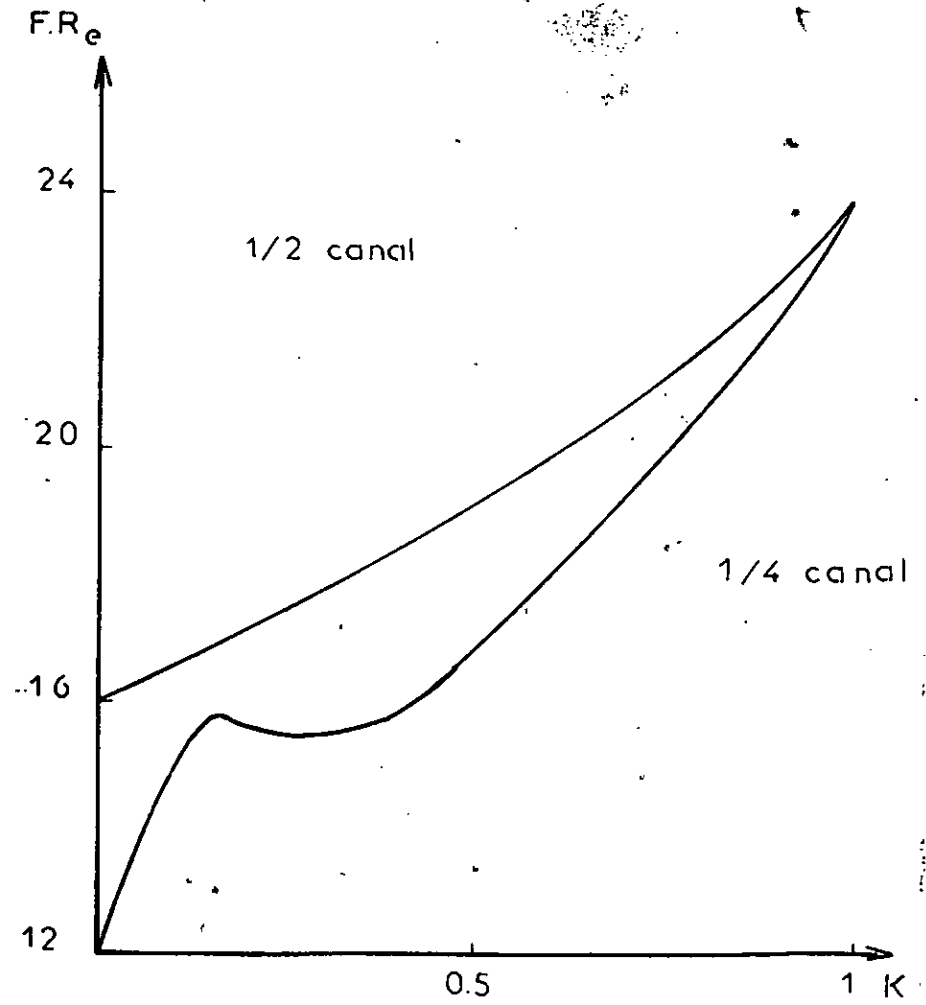
0.5

0.1

Canal annulaire



Quart et demi section annulaire

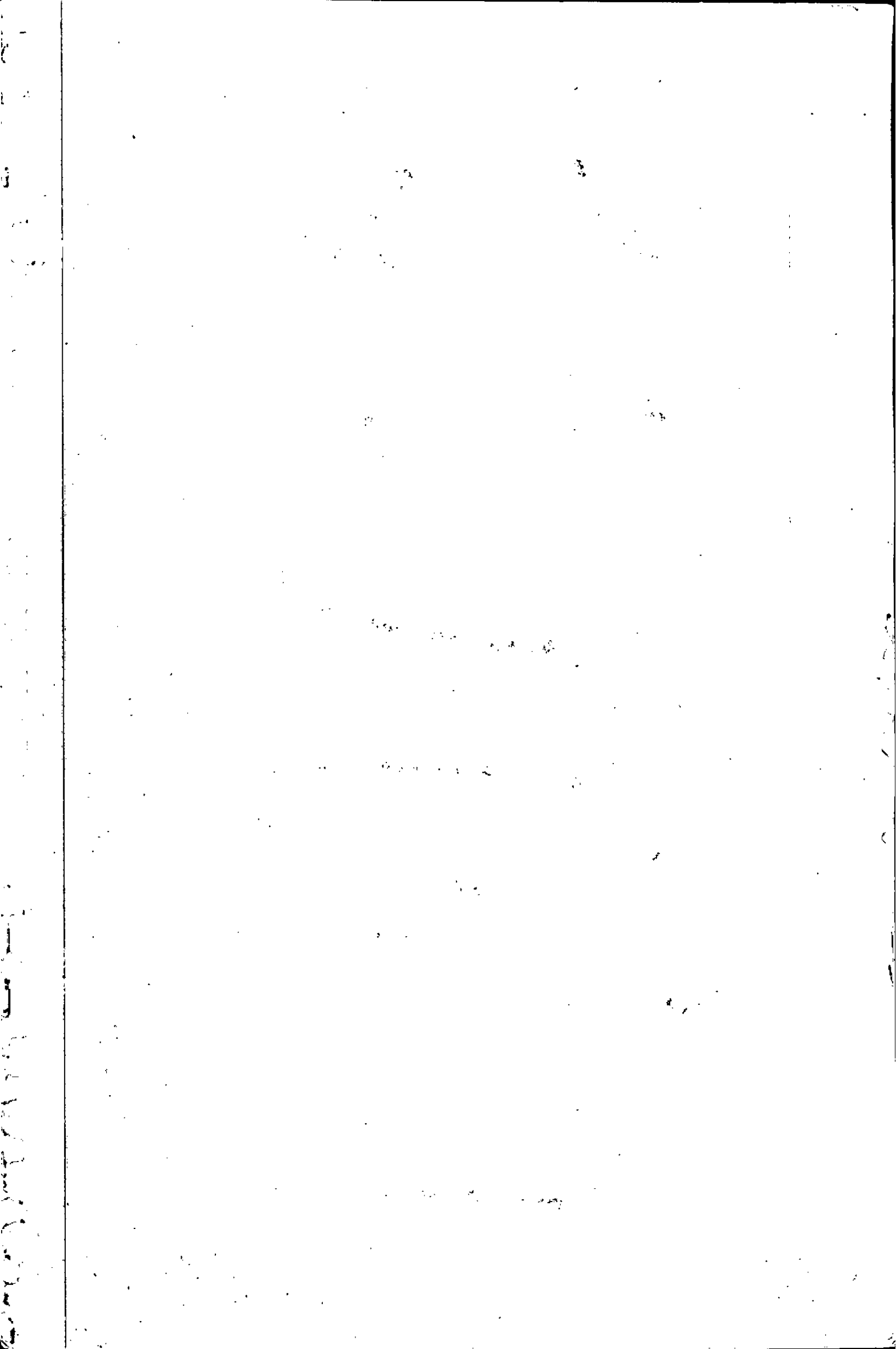


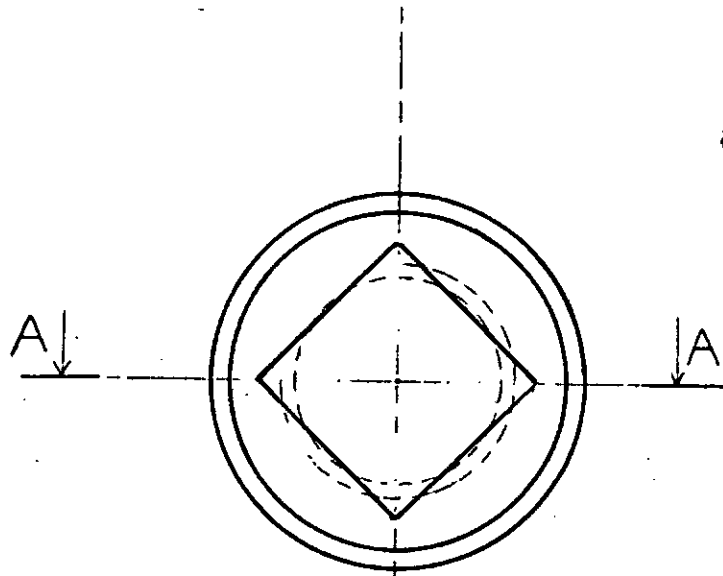
LEXIQUE:

FORCE	-----	STRANGHT	قوة
FILIERE	-----	DIE	فلييه
VIS	-----	SCREW	برغي
MASSE	-----	MASS	كتلة
DENSITE	-----	DENSITY	كثافة
ENERGIE	-----	ENERGY	طاقة
TRAITEMENT THERMIQUE	-----	HEAT TRATEMENT	معاملة حرارية
TUBE	-----	PIPE	انبوب
CONTRAINT	-----	STRESS	اجهاد
FROTTEMENT	-----	FRICITION	احتكاك
AXE	-----	PIN-AXIS	محور
MACHINE	-----	MACHIN	آلة
RHEOLOGIE	-----	RHEOLOGY	ريولوجيا
RUPTURE	-----	FAILURE	كسر - انهيار
CHARGE CRITIQUE	-----	CRITICAL LOAD	حمل حرج
CONSISTANCE	-----	CONSISTENCY	تماسك
CONTRAINTE ADMISSIBLE	-----	ALLOWABLE	اختصاص مسبوحي
DILATATION LINEAIRE	-----	LINEAR EXPANSION	تهدر خطي
ENTRETIEN	-----	MAINTENANCE	صيانة

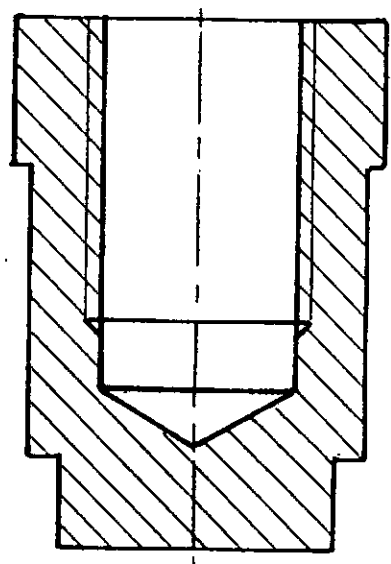
BIBLIOGRAPHIE

- W.MICHAELLI : FILERES D'EXTRUSION (PMP editions) (*Année - Editions*)
- AVENAS-SERGENT-AGASSANT: LA MISE EN FORME DES MATIERES PLASTIQUES (technique et documentation LAVOISIER)
- S.P.TIMOSHENKO: R.D.M. TOME III (dunod technique)
- TDMOR-GOGOS: PRINCIPLES OF POLYMER PROCESSING (JHON WILY)
- JEAU BOST : Matières plastiques (Technique et documentation LAVOISIER)
- TECHNIQUE DE L'INGENIEUR: PLASTIQUE
- TECHNIQUE DE L'INGENIEUR: GENIE CHIMIQUE
- AFNOR: CONSTRUCTION MECANIQUE TOME I ET II
- AFNOR: MATIERES PLASTIQUES
- A.CHEVALIER: GUIDE DU DESSINATEUR INDUSTRIEL (HACHETTE)





A-A



المدرسة الوطنية المتعددة التخصصات
 المكتبة — BIBLIOTHEQUE
 Ecole Nationale Polytechnique

U.S.T.H.B

I.C.M

dpt :

C.M

Ech: 1:1

ECROU

JUIN 90



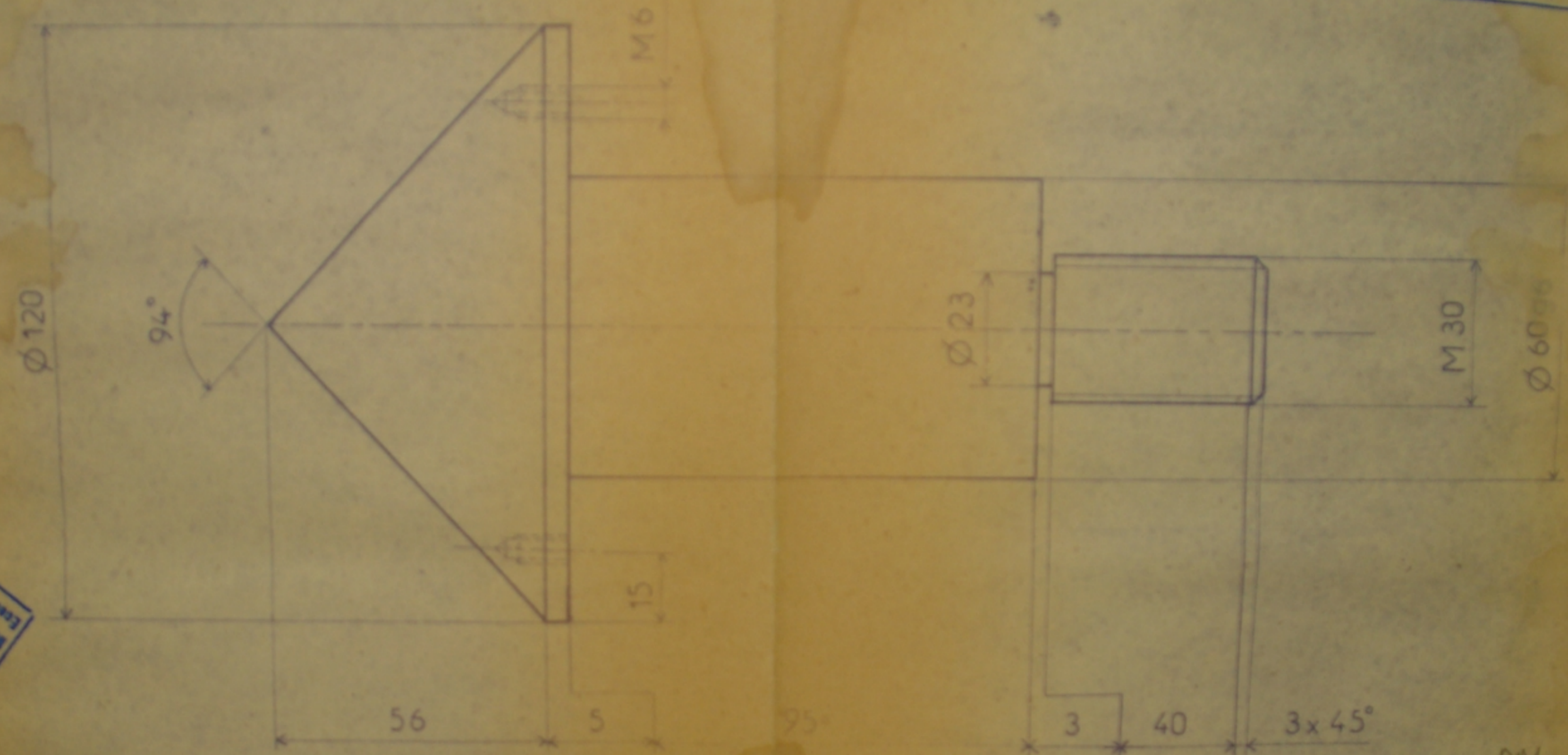
P.F.E.01

584 1096

M.MOULERICHE-A.OUNIS

584 1160

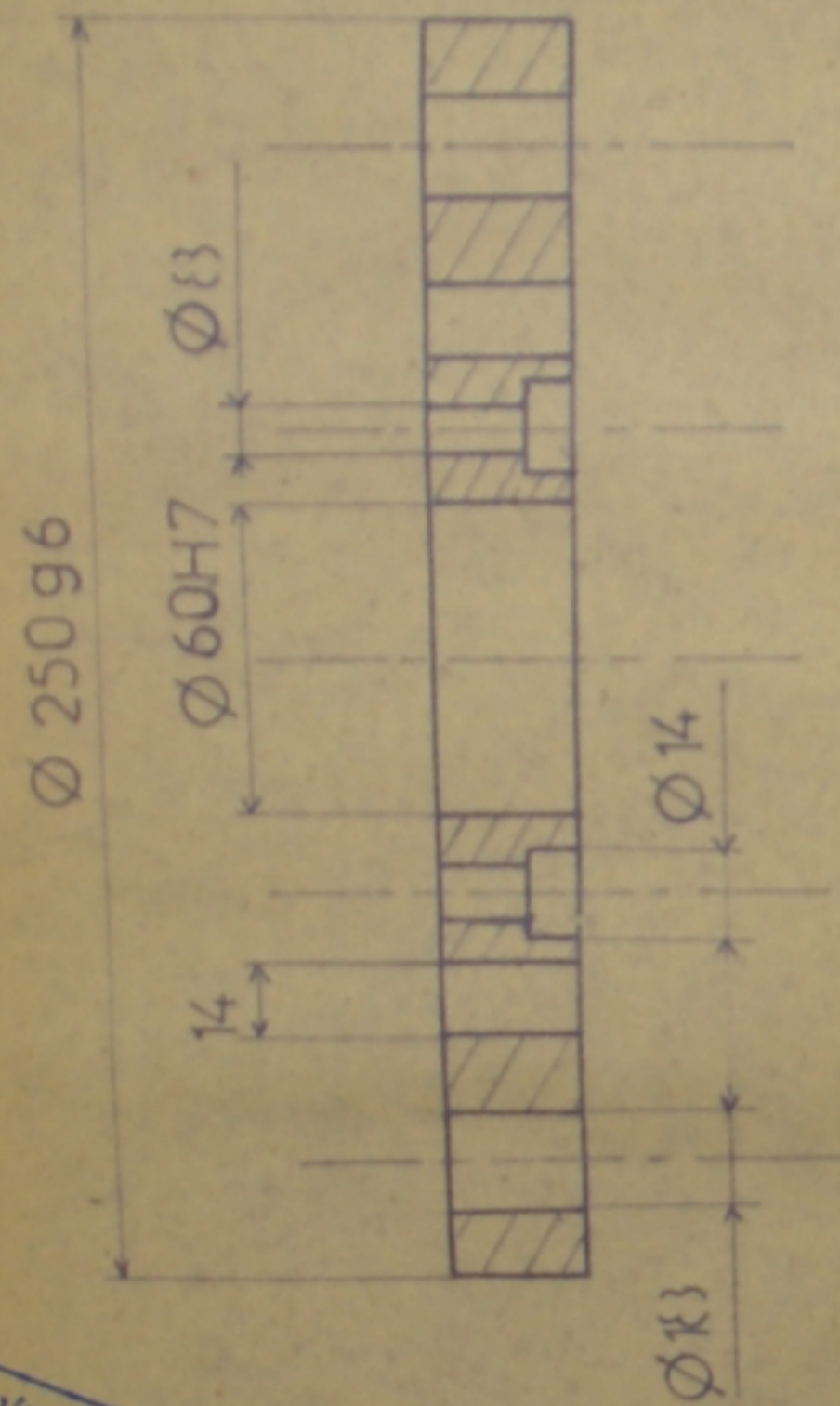
المركز الوطني لتعدد التقنيات
 المكتبة - BIBLIOTHEQUE
 Ecole Nationale Polytechnique



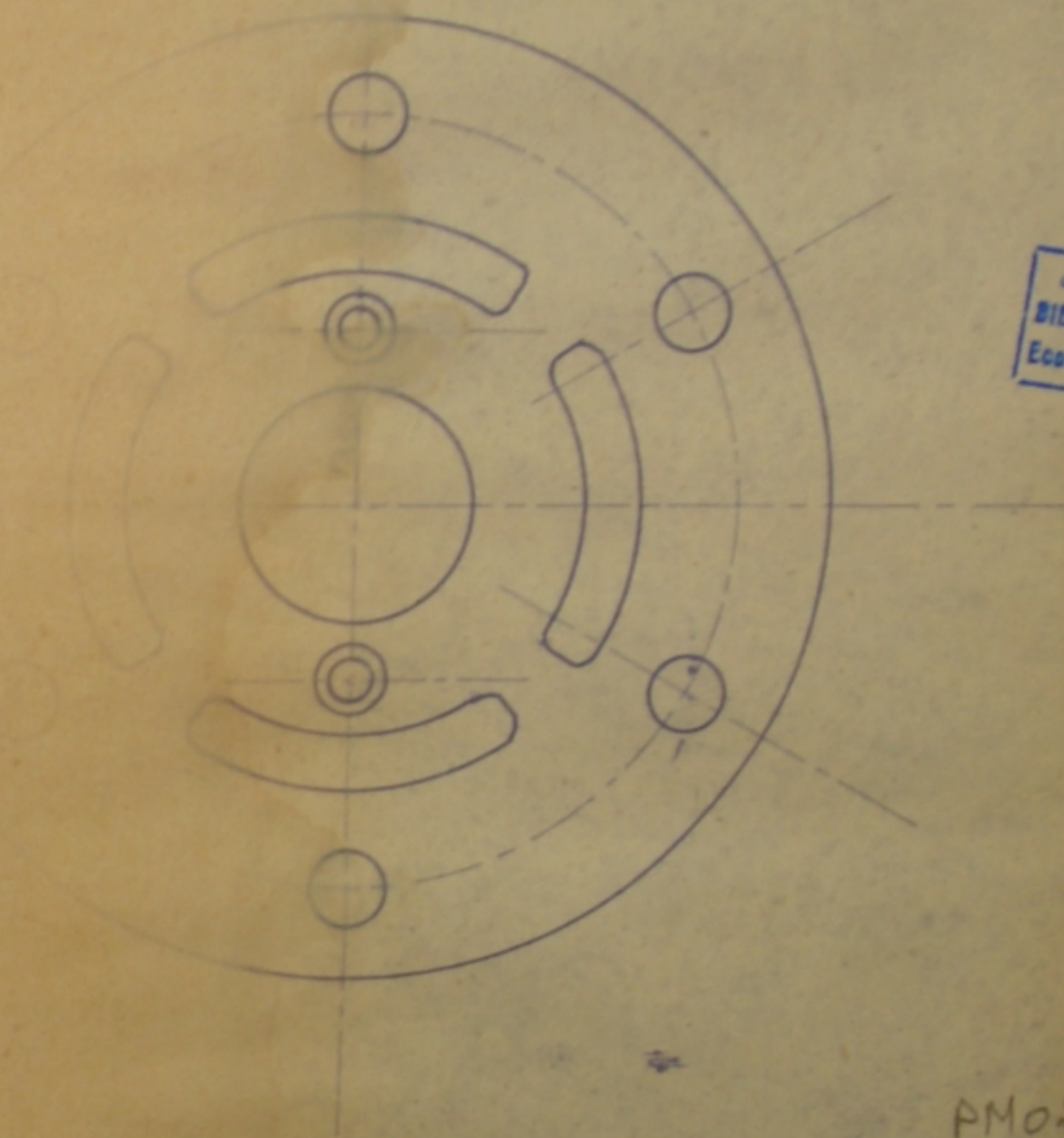
المركز الوطني لتعدد التقنيات
 المكتبة - BIBLIOTHEQUE
 Ecole Nationale Polytechnique

PM02790
 -1-

U.S.T.H.B	I.G.M	dpi : C.M
Ech: 1:1	TORPILLE	
SB4 1096		
M MOULERICHE - A OUNIS	JUN 90	PPE
	50	



المدرسة الوطنية المتعددة الفنون
BIBLIOTHEQUE - المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

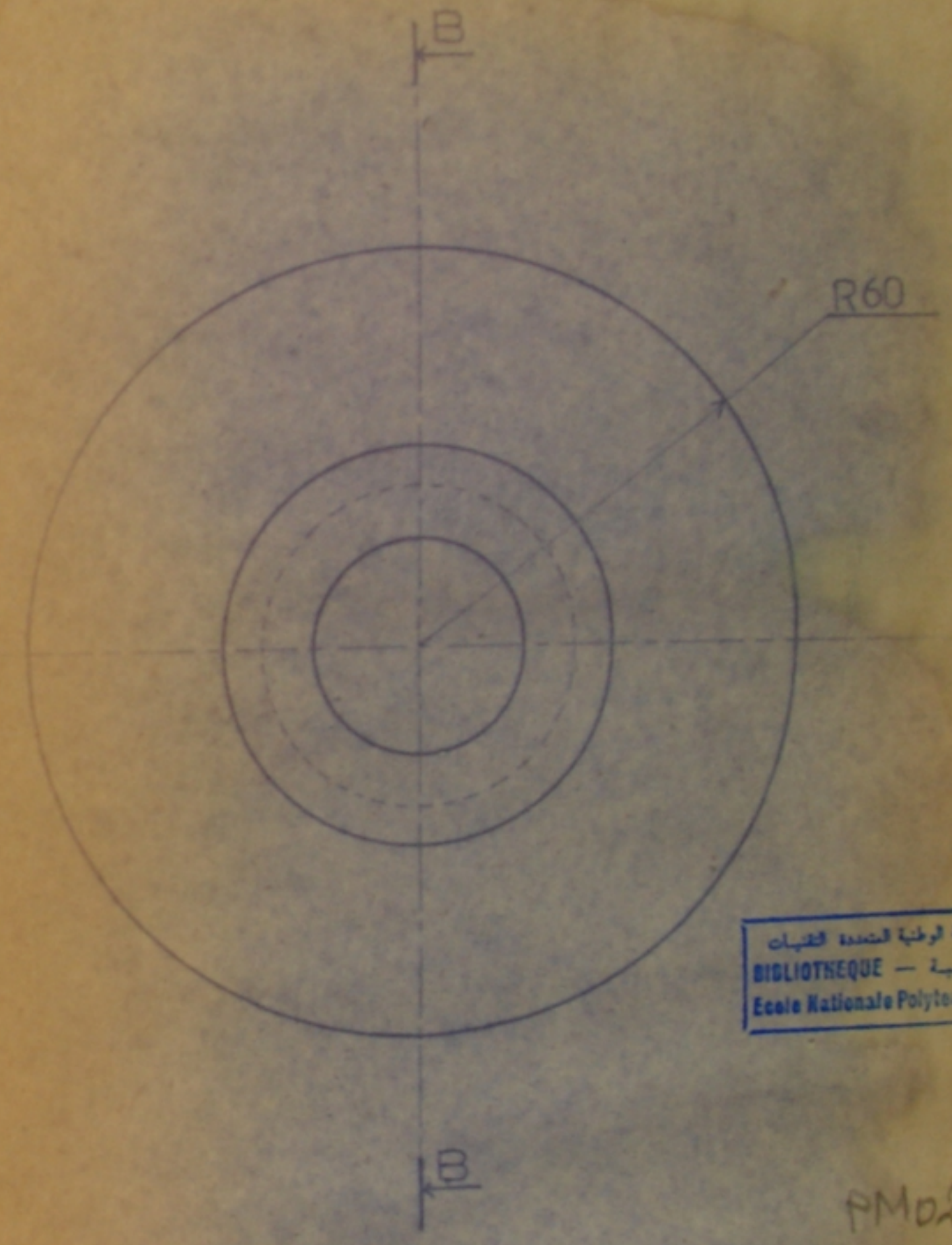
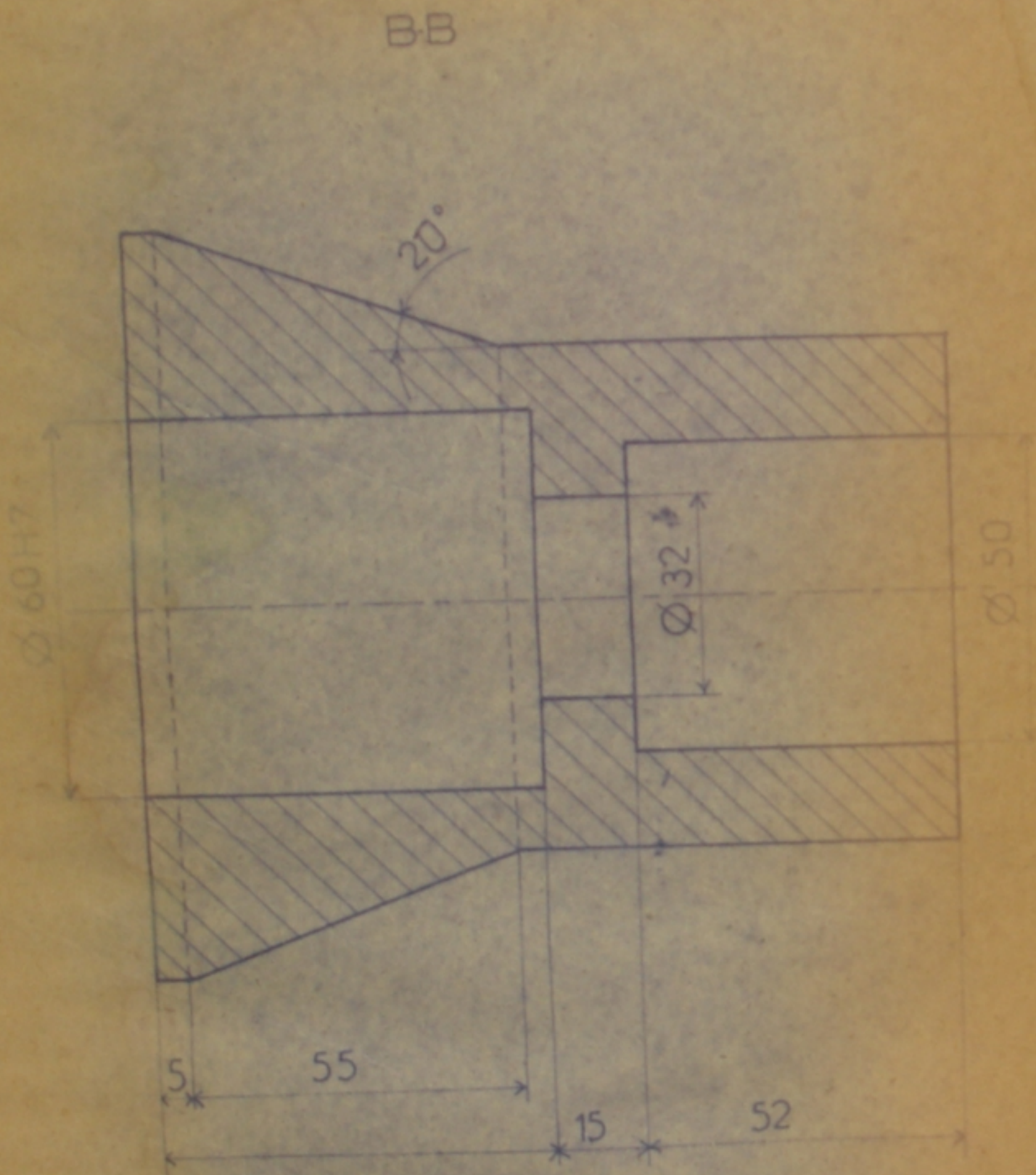


المدرسة الوطنية المتعددة الفنون
BIBLIOTHEQUE - المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

المدرسة الوطنية المتعددة الفنون
BIBLIOTHEQUE - المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PM02790
- 2 -

USTHB	IGM	dpt: C.M	
565 12	ENTRETOISE		JUIN
565 12			PFE 05
565 1096	M. MOULERICHE	A. OUNIS	504101



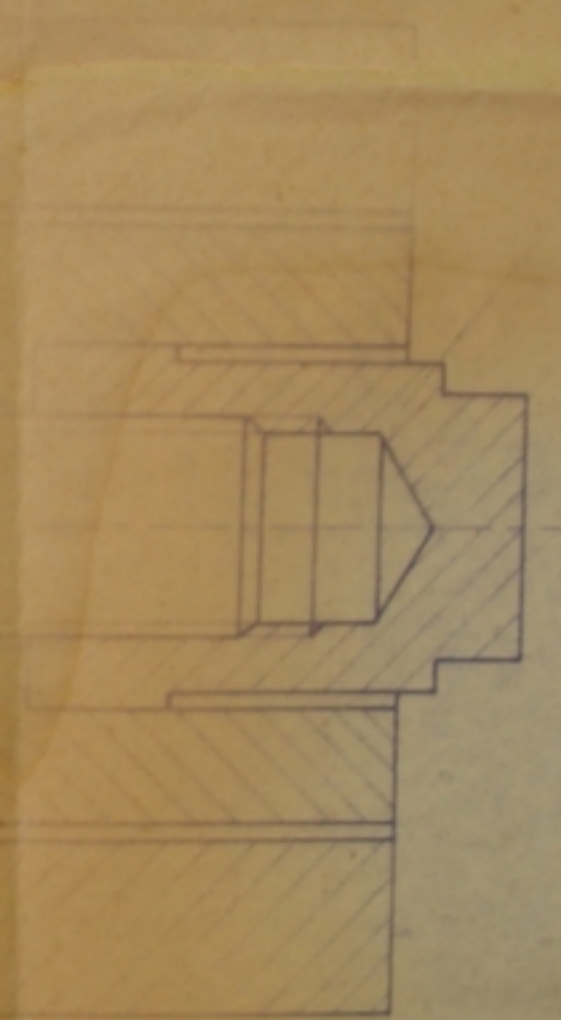
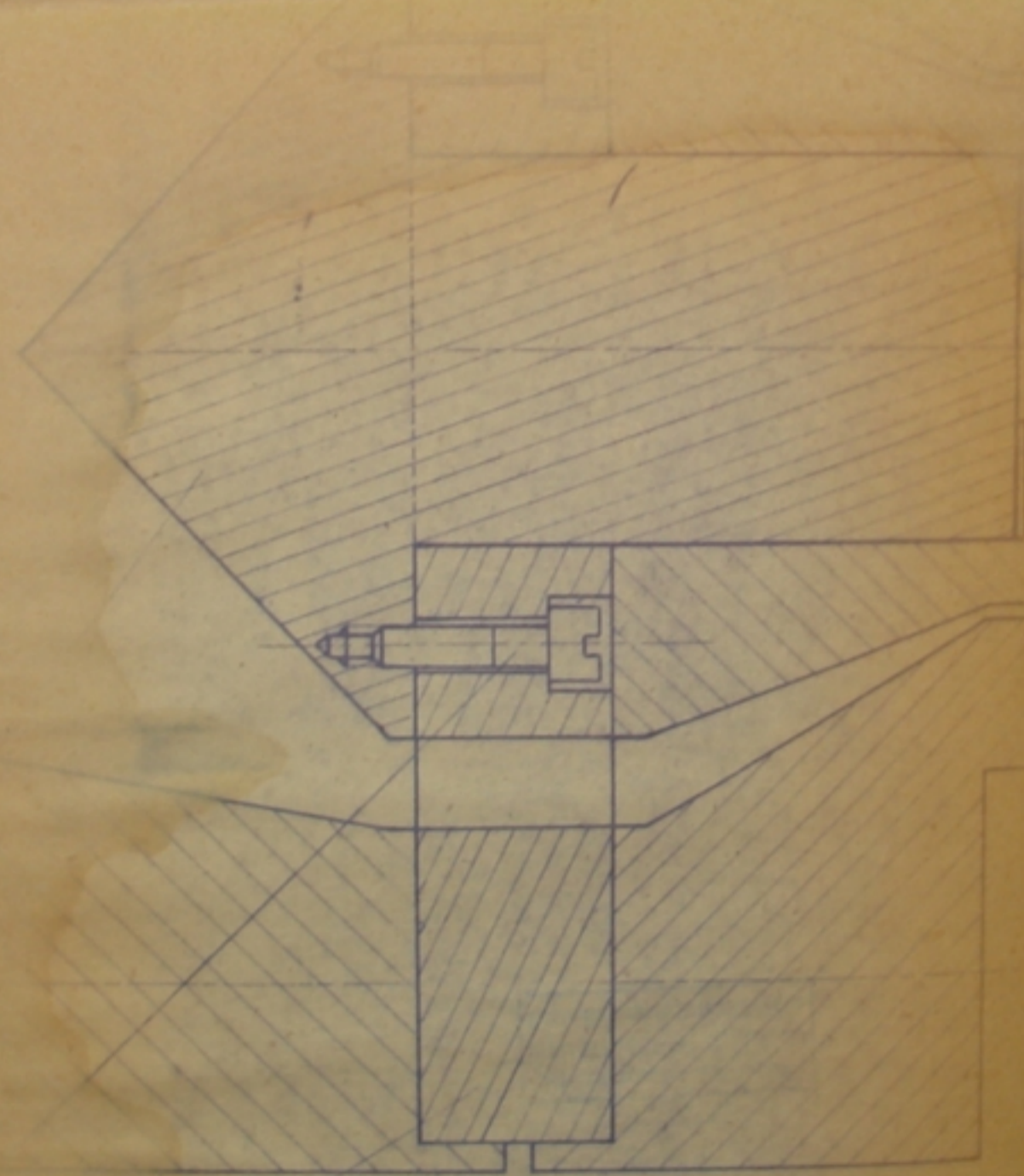
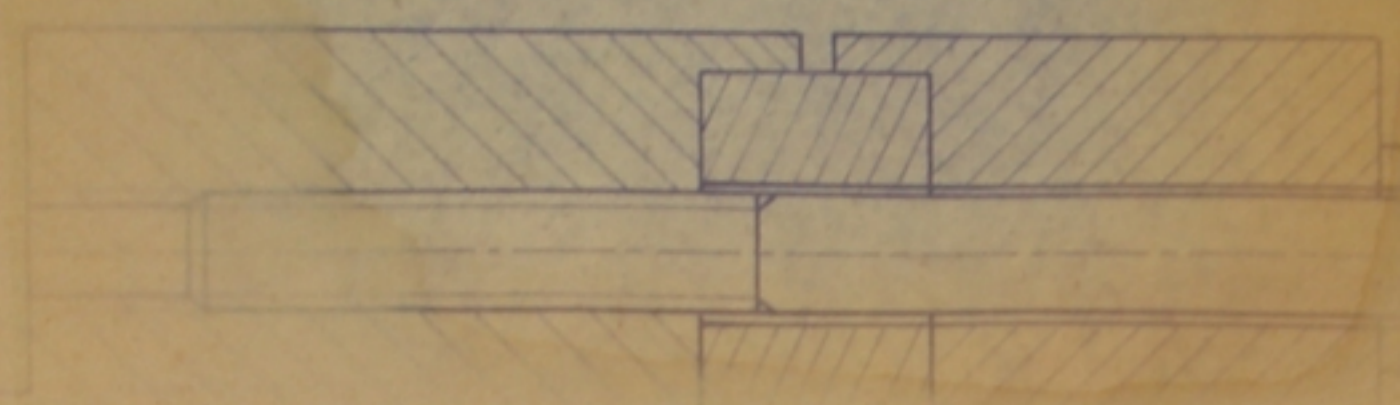
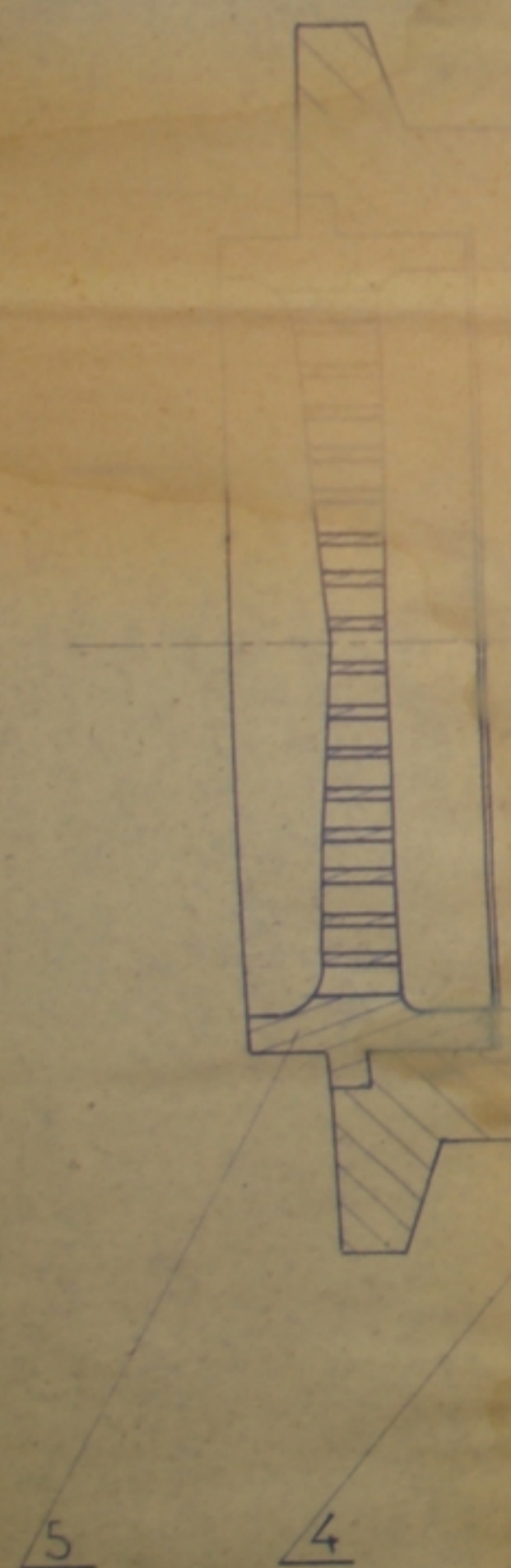
المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PM02790
- 3 -

المكتبة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

U.S.T.H.B	IGM dpt: C M	JUN 90
1:1	POINCON	PFE
584 1096	M. MOULERICHE AOUNIS	584 1096

6 7 8 9 10



بمراة لة لة لة لة لة
BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

PMo2790
-4-

5 4 3 2 1

1	Empaquet	XC 48	1		
2	Corps de filiere	Z 35 CD 17	1		Tremperec
3	Plaque	Z 35 CD 17	1		Tre+Rec
4	Vis H M16x170	XC 48	6	NF 27-311	
6	Bandelle Plaque	XC 48	6	NFE27611	
7	Corps de filiere	Z 35 CD 17	1		Tre+Rec
8	Corps de filiere	Z 35 CD 17	1		Tre+Rec

1	Torpille	Z 35 CD 17	1		
2	VIS CM6x28	XC 48	2	NFE27-115	
3	Embroche	Z 35 CD 17	1		
4	Designation	Matiere	Nb	Norme	
		U.S.T.H.13	I.G.M	DPT: C.M	
		FILIERE			JUL 1970
		M.H. FERRE-AGUI			

