

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

9/88

وزارة التعليم و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement et de la Recherche Scientifique

1ex

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJ

**LA MESURE DE
COUPE EN T**

Propose par

CHAI

BELHADEF

PROMOTION

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement et de la Recherche Scientifique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

المركز الوطني للتوثيق
BIBLIOTHEQUE - المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

**LA MESURE DES EFFORTS DE
COUPE EN TOURNAGE**

Proposé par : I. BELHADEF

Étudié par : A. CHAIB

Dirigé par : I. BELHADEF

PROMOTION JANVIER 88

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : GENIE MECANIQUE

PROMOTEUR : Mr BELHADEF I.

ELEVE INGENIEUR : CHAIB Ahmed

وزارة التعليم العالي

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات

دائرة : الهندسة الميكانيكية

الموجه : السيد بلهادف

الطالب المهندس : شايب أحمد

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة - BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

الموضوع : قياس قوى القطع في حالة تخرير .
الملخص : يهدف عملنا إلى تعريف وهدف و تشغيل جهاز قياس
قوى القطع في حالة تخرير، موجود بدائرة الهندسة
الميكانيكية . بعد ! نتعائنا من هذا العمل ، قمنا بتجارب
على مضرة قصد تهيئة بعض الأعمال التطبيقية .

SUJET : La mesure des efforts de coupe en tournage .

RESUME : Notre travail consiste à présenter, decrire et mettre en
marche l'appareil de mesure des efforts de coupe pour le
tournage existant au niveau du departement de génie
mécanique. Une fois ce travail fait, nous avons procédé à
des essais sur tour, afin d'élaborer un travail pratique .

SUBJECT : Cutting efforts measurement in turning .

ABSTRACT : The objectif of this work is to present and to describe
a starting procedure of the apparatus measurements of
the cutting efforts for turning which exists in our
mechanical engineering department . Once this work is
completed we have proceed to some tests on machine turning,
in order to elaborate an experimental work .

A vous mes chers parents, après une
longue attente et un grand sacrifice,
pour me voir atteindre ce but .

A ma grand-mère

A mon oncle et à ma tante

A mes chers frères et soeurs

A mes cousines, et surtout à

mon cousin Nacer, en leur

souhaitant de réussir dans leurs études et

dans la vie ainsi que d'atteindre le but

qu'ils se sont fixés .

A tous(es) mes amis,

en particulier ceux

du lycée et à ceux de

cette dernière promotion

modulaire, ainsi qu'à l'ensemble du personnel

du département de génie mécanique .

Je dédie ce modeste travail .

Ahmed

REMERCIEMENTS

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — ~~الكتاب~~
Ecole Nationale Polytechnique

Vous monsieur Belhadef, recevoir de moi mes
sincères remerciements pour l'aide précieuse
et les conseils que vous m'aviez prodigués
tout au long de ce modeste travail

Mes remerciements vont aussi à l'ensemble
des officiers de l'ENITA, en particulier à
l'aspirant Djebali .

Vous aussi, enseignants(es), je tiens à vous
remercier pour avoir contribué à ma formation de
prés ou de loin .

7.1.1-	Le compresseur	17
7.1.2-	Le micromesureur	17
7.1.3-	Les dynamometres	20
7.1.4-	Le porte-outil dynamometrique	21
7.2 -	Montage et réglage de l'appareil de mesure	22
7.2.1-	Montage	22
7.2.1-	Reglage	22
8-	ESSAIS ET RESULTATS	
8.1 -	But des essais	24
8.2 -	Aciers et outils utilisés	24
8.3 -	Resultats	24
8.3.1-	Variation de la vitesse de rotation	24
8.3.2-	Variation de la vitesse d'avance	25
8.3.3-	Variation de l'angle de coupe	25
9-	INTERPRETATION DES RESULTATS	
9.1 -	Variation de l'effort de coupe	29
9.1.1-	En fonction de la vitesse de coupe	29
9.1.2-	En fonction de l'avance	29
9.1.3-	En fonction de l'angle de coupe	30
9.2 -	Variation de l'effort d'avance,	30
9.2.1-	En fonction de la vitesse de coupe	30
9.2.2-	En fonction de l'avance	30
9.2.3-	En fonction de l'angle de coupe	31
9.3 -	Conclusion et remarques	31
10-	PROPOSITION D'UN TRAVAIL PRATIQUE	
10.1 -	But et principe de la manipulation	37
10.2 -	L'appareil de mesure	37
10.2.1-	Presentation	37
10.2.2-	Montage et réglage	37

IO.3 - Aciers et outils	الدراسة الوطنية المتعمقة التقنيات	37
IO.4 - Manipulation	BIBLIOTHEQUE — المكتبة	38
IO.5 - Resultats	Ecole Nationale Polytechnique	39
CONCLUSION		41
BIBLIOGRAPHIE		42

الدراسة الوطنية المتعمقة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

TABLE DES TABLEAUX

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
 المكتبة — BIBLIOTHEQUE
 École Nationale Polytechnique

	Pages
- Tableau 5.1 - Efforts de pénétration et d'avance	14
- Tableau 8.1 - Valeurs de l'effort de coupe et celui de l'avance en fonction de la vitesse de coupe	26
- Tableau 8.2 - Valeurs des efforts d'avance et de coupe en fonction de l'avance	27
- Tableau 8.3 - Valeurs de l'effort de coupe et celui de l'avance en fonction de l'angle de coupe	28

TABLE DES FIGURES

	Pages
Fig 3.1 - Outil de coupe	6
Fig 3.2 - Représentation des mouvements sur un copeau	7
Fig 3.3 - Plans remarquables d'un outil	8
Fig 3.4 - Angle de direction de l'arête	8
Fig 3.5 - Angle d'inclinaison d'arête	9
Fig 3.6 - Angle caractérisant les surfaces déterminant l'arête ..	10
Fig 4.1 - Diagramme des forces de H. ERNEST et E. MERCHANT	12
Fig 5.1 - Les efforts de coupe	13
Fig 6.1 - Différents types de dynamomètres	16
Fig 7.1 - Schéma de fonctionnement du micromesureur	18
Fig 7.2 - Le micromesureur	19
Fig 7.3 - Le dynamometre	20
Fig 7.4 - Schéma du porte-outil dynamométrique	21
Fig 7.5 - Schéma de montage de l'ensemble	23
Fig 9.1 - Variation de l'effort de coupe avec la vitesse de coupe	32
Fig 9.2 - Variation de l'effort d'avance avec la vitesse de coupe	33
Fig 9.3 - Variation de l'effort de coupe avec l'avance de l'outil	34
Fig 9.4 - Variation de l'effort d'avance avec l'avance de l'outil	35
Fig 9.5 - Variation de l'effort de coupe avec l'angle de coupe de l'outil	36
Fig 9.6 - Variation de l'effort d'avance avec l'angle de coupe de l'outil	36

LEGENDE DES SYMBOLES



- a : Profondeur de passe
f : Avance de l'outil
Vf: Vitesse d'avance
Vc: Vitesse de coupe
Fc: Effort de coupe suivant le mouvement de coupe
Ff: Effort d'avance suivant le mouvement d'avance
Fp: Effort de pénétration suivant le mouvement de profondeur
de passe
MC: Mouvement de coupe
MA: Mouvement d'avance
MP: Mouvement de pénétration ou de profondeur de passe
Pf: Plan de travail conventionnel
Pr: Plan de référence
Ps: Plan d'arête
k : Pression spécifique de coupe
K : Angle de direction d'arête
 ψ : Angle de direction complémentaire
 λ : Angle d'inclinaison d'arête
 α : Angle de dépouille
 β : Angle de taillant
 γ : Angle de coupe
D : Diamètre de la pièce

I. I-INTRODUCTION:

Les travaux d'usinage, qui ont été toujours à la base des fabrications mécaniques, occupent une place importante dans le monde industriel. Il est donc important que les techniques de productions mécaniques soient rentables et capables de mettre en forme des pièces industrielles de qualité acceptable.

La coupe du métal suppose la pénétration de l'outil dans la pièce et le mouvement relatif de la pièce par rapport à l'outil. Au contact de la pièce et de l'outil, des actions de contact prennent naissance sur la face d'attaque.

Comme dans tout problème d'optimisation, il faut choisir un critère d'optimalité, préciser les relations qui lient les différentes variables et définir les limitations et les contraintes qui s'appliquent aux variables ou qui proviennent des données techniques, l'une des plus importantes de ces données est la connaissance des efforts de coupe, qui est à la base de la puissance nécessaire à la coupe.

Quand on veut connaître le rendement mécanique d'une machine-outil, il est nécessaire de savoir qu'elle est la puissance prise à l'outil et donc d'avoir des renseignements sur les efforts de coupe.

La valeur des efforts sert aussi à dimensionner les organes de machines et à prévoir les déformations des pièces; elle intervient aussi dans la précision d'usinage influencée par l'usure de l'outil et la température de coupe, dans les conditions d'apparition des vibrations autoéxcitées et indirectement dans la formation de l'état de surface dont dépend étroitement la tenue des pièces en service et

il est certain qu'une pièce vaut ce que vaut sa surface .

Enfin, les efforts de coupe, étant en relation avec les propriétés mécaniques du métal dans le processus de formation du copeau, sont susceptibles de fournir des renseignements sur l'usinabilité du matériau usiné .

Les efforts de coupe en tournage varient essentiellement avec les paramètres de coupe, les propriétés mécaniques de la matière, la géométrie de l'outil et l'environnement dans la zone de coupe .

Les contraintes résultantes de la coupe amèneront donc l'ingénieur de production d'acquérir une profonde connaissance dans le domaine de l'usinage afin de lier la technologie avec le contexte économique .

I.2- But de l'étude :

La connaissance des efforts de coupe est essentielle à l'étude de tout phénomène lié à l'usinage, de nombreuses recherches et études ont été faites dans ce domaine, un domaine dont les chercheurs et les constructeurs se basent surtout sur l'expérimentation .

Pour ce but précis plusieurs appareils ont été fabriqués suivant différents principes à partir desquels on mesure l'effort .

Le but de notre travail n'est pas la conception d'un de ces appareils ni l'étude des efforts de coupe, mais se limite à la mise en marche et l'utilisation d'un de ces appareils existant au niveau du département, cette étude se termine par des essais à partir desquels on remarquera l'influence de certains paramètres sur l'évolution de l'effort de coupe et enfin proposition d'un TP .

2. GENERALITES ET DEFINITIONS

2.1. USINAGE:

Usinage est toute opération d'enlèvement de matière se traduisant par la formation de copeaux en coupe ou par la formation de microcopeaux telqu'en réctification ou encore par fusion ou évaporation comme en électroérosion.

Dans toute opération d'usinage on retrouve des grandeurs géométriques et cinématiques, par exemple lors d'une opération simple de chariotage longitudinal en tournage, les deux mouvements fondamentaux qui contribuent à l'enlèvement de matière pour former le copeau sont le mouvement de coupe et le mouvement d'avance, le premier est donné par la rotation de la pièce autour de son axe, le second est obtenu lors du déplacement de l'outil parallèlement à l'axe de la pièce, mais pour qu'il y ait enlèvement de matière, il faut ajouter aux deux précédents mouvements un troisième de mise en position qui consiste à faire entrer l'outil à chaque passe d'une certaine profondeur dans la pièce appelée profondeur de passe.

Les grandeurs géométriques et cinématiques utilisées, pour caractériser ces mouvements, sont:

-Profondeur de passe, désignée par (a) , unité (mm): C'est l'épaisseur de la couche enlevée sur la pièce.

-Avance par tour, désignée par (f) , unité (mm/rev): C'est le déplacement de l'outil pour un tour de la pièce dans le mouvement d'avance.

-Vitesse de coupe, désignée par (V_c) , unité utilisée (mm/min): C'est la vitesse de l'outil dans le mouvement de coupe.

Ces différents mouvements sont obtenus de différentes manières dépendantes du type d'usinage et de la machine utilisée.

2.2- PUISSANCE DES MACHINES-OUTILS:

Pour le calcul de la puissance des machines-outils on se limitera au cas du tournage, plusieurs hypothèses ont été émises, pour ce calcul, on ne citera que quelques unes qui sont les suivantes:

$$-P_u = F_c \cdot V_c \quad \text{avec } F_c = K \cdot a \cdot f, \quad \begin{array}{l} \bullet F_c: \text{ Effort de coupe.} \\ \bullet V_c: \text{ Vitesse de coupe.} \\ \bullet s = a \cdot f (\text{mm}^2): \text{ Section du copeau.} \end{array}$$

$$-P_u = \frac{F_c \cdot V_c}{60 \cdot 75} \text{ (ch)} = \frac{F_c \cdot V_c}{60 \cdot 75 \cdot 1,36} \text{ (Kw)}.$$

En tenant compte du rendement de la machine-outil, on calcul la puissance totale devant être fournie à cette machine.

$$P_t = \frac{P_u}{\eta_m} = \frac{F_c \cdot V_c}{60 \cdot 102 \cdot \eta_m} \text{ (Kw)}. \quad \text{avec } \eta_m: \text{ Rendement de la machine-outil.}$$

A partir de ces formules nous remarquons que la puissance d'une machine-outil dépend de l'effort de coupe et surtout de la composante principale F_c due à la rotation de la pièce.

2.3- INTERET DE LA MESURE DE L'EFFORT DE COUPE:

Lors du tournage longitudinal on a un effort de coupe dont la décomposition dans trois directions privilégiées peut servir de base à la définition des efforts de coupe pour toutes les opérations d'usinage, la résultante de coupe F , peu utilisée en pratique, est la somme de trois composantes:

- F_c : Composante dans le sens de la vitesse de coupe, appelée effort tangentiel ou effort principal de coupe, est la composante ayant la plus grande valeur absolue.

- F_f : Composante dans le sens de l'avance, appelée effort d'avance ou effort axial, en tournage, joue un rôle fondamental dans le processus de coupe.
- F_p : Composante dans le sens perpendiculaire aux deux autres, appelée effort de refoulement ou effort radial, n'a qu'une importance secondaire et disparaît dans le cas d'une coupe orthogonale pure.

La composante F_c donne lieu à la partie principale de l'énergie de coupe E nécessaire à l'enlèvement du copeau pendant l'unité de temps

$$E = F_c \cdot V_c \cdot t .$$

L'énergie due à la composante F_f est très faible à côté de E car la vitesse d'avance est de l'ordre du centième de la vitesse de coupe dans le cas général, toutefois en fraisage, il faut en tenir compte.

La connaissance des efforts de coupe est à la base de l'évolution de la puissance nécessaire à la coupe, quand on veut connaître le rendement mécanique d'une machine-outil, on a besoin de savoir quelle est la puissance prise à l'outil et d'avoir des renseignements sur les efforts de coupe, la valeur de ces efforts sert aussi à dimensionner les organes des machines et à prévoir les déformations des pièces ainsi qu'elle intervient dans la précision d'usinage, dans les conditions d'apparition des vibrations auto-excitées en broutage et indirectement dans la formation de l'état de surface.

3- CARACTERISTIQUES DES OUTILS DE COUPE

3.1- INTRODUCTION:

L'outil de coupe est constitué de deux parties:

a) - Corps de l'outil: C'est la partie qui se monte serrée sur la tour-
rèlle.

b) - Partie active de l'outil: C'est la partie avec laquelle l'outil
travaille. Elle est caractérisée par deux surfaces:
- Surface de coupe sur laquelle glisse le copeau.
- Surface de dépouille qui est face à la face
usinée.

L'intersection de ces deux surfaces nous donne
l'arête tranchante.

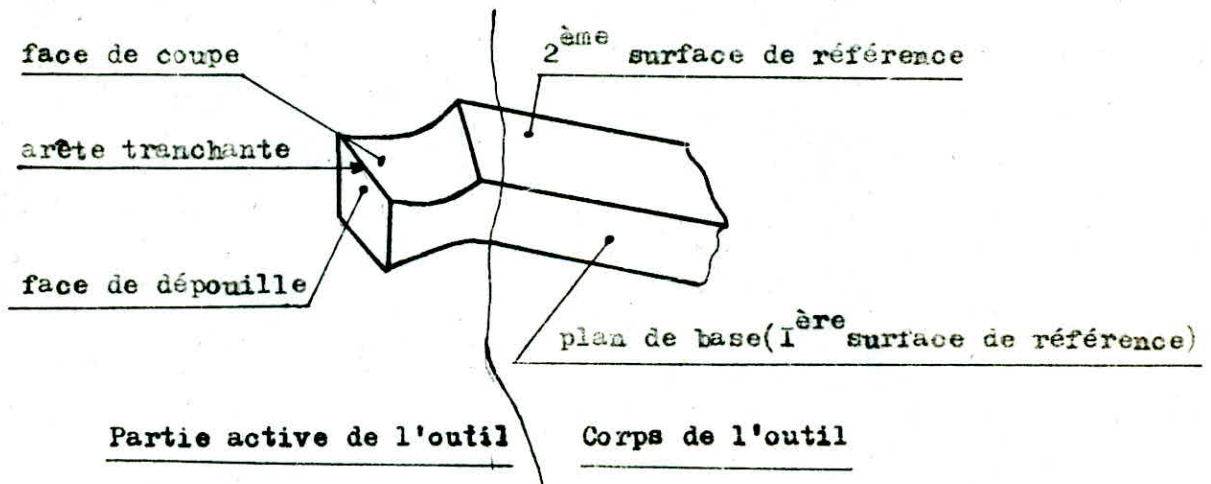


fig 3.1: Outil de coupe

3.2- PLANS REMARQUABLES D'UN OUTIL:

Pour qu'il y ait coupe de métal, il faut qu'il y ait production de copeaux qui est donnée par trois mouvements:

- Mouvement de coupe MC: Suivant la direction de la vitesse de coupe \vec{V}_c .
- Mouvement d'avance MA: Suivant la direction de la vitesse d'avance \vec{V}_f .
- Mouvement de profondeur de passe MP: Est un mouvement de pénétration dans la pièce, c'est un mouvement discontinu.

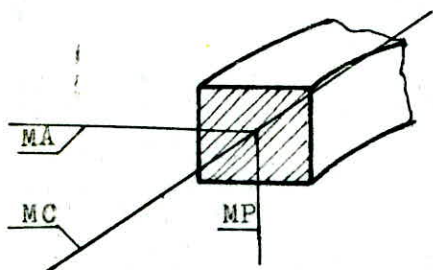


fig 3.2: Représentation des mouvements sur un copeau

Les plans remarquables sont orientés par rapport à \vec{V}_c et \vec{V}_f en un point de l'arête tranchante et sont :

- Plan de référence Pr : Ce plan passe par un point A de l'arête et est perpendiculaire au vecteur vitesse de coupe en ce point (\vec{V}_c^A).
- Plan de travail conventionnel Pf : Il contient le vecteur vitesse d'avance au point A (\vec{V}_f^A) et est perpendiculaire au plan de référence Pr donc contient le vecteur vitesse de coupe au point A.
- Plan d'arête Ps : Ce plan contient l'arête de coupe si elle est rectiligne ou le point A et la tangente à l'arête si elle est curviligne et aussi perpendiculaire au plan de référence Pr.

Donc en conclusion le vecteur vitesse de coupe au point A appartient

à l'intersection du plan de travail conventionnel et du plan d'arête.

Le vecteur vitesse d'avance au point A appartient à l'intersection du plan de travail conventionnel et du plan de référence.

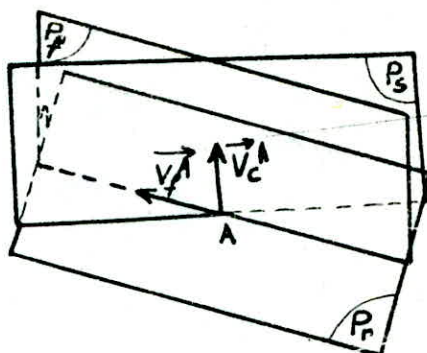


fig 3.3: Plans remarquables d'un outil

3.3-ANGLES CARACTERISANT LA PARTIE ACTIVE DE L'OUTIL :

Ces angles sont partagés en deux groupes, le groupe d'angles caractérisant la position de l'arête et le groupe d'angles caractérisant les surfaces déterminant l'arête .

3.3.1-Angles caractérisant la position de l'arête :

Dans ce groupe nous retrouvons deux angles:

-L'angle de direction d'arête K : Est un angle aigu défini du dièdre P_f et P_s , d'une autre manière c'est l'angle que forment les deux plans P_f et P_s lors de leur intersection.

$$K \in (0^\circ, 90^\circ)$$

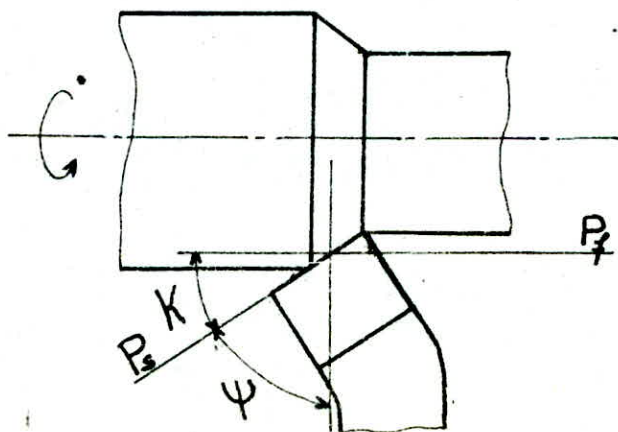


fig 3.4: Angle de direction de l'arête

On remarque de la figure 3.4 l'angle Ψ , tel que $K + \Psi = 90^\circ$, qui est le complémentaire de K et est appelé angle de direction complémentaire ou angle d'orientation de l'arête.

-Angle d'inclinaison d'arête λ : C'est l'angle que forme l'arête avec sa projection sur Pr .

$$\lambda \in (-15, -10, +10, +15)$$

On remarque que λ prend deux signes, les valeurs négatives sont pour les travaux d'ébauches avec choc (bec robuste), les valeurs positives sont pour la finition (bec fragile).

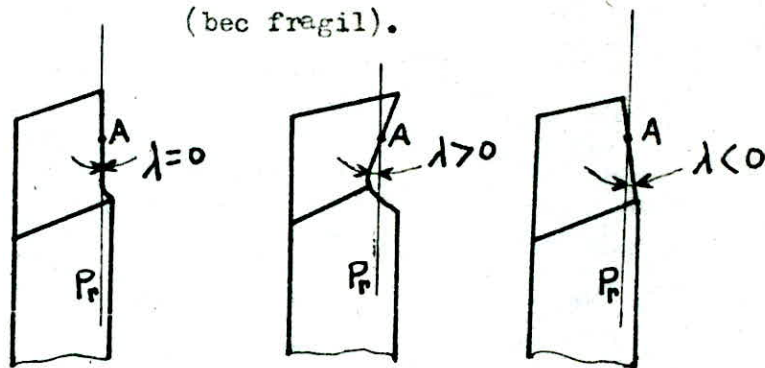


fig 3.5: Angle d'inclinaison d'arête

3.3.2 - Angles caractérisant les surfaces déterminant l'arête:

Trois angles caractérisent ces surfaces :

-Angle de dépouille α : Il est formé par la face de dépouille de la partie active avec la perpendiculaire au plan de référence Pr .

-Angle de taillant β : Angle formé par la face de dépouille avec la face de coupe.

-Angle de coupe γ : Angle formé par la surface de coupe et le plan de référence Pr .

Avec ces angles on a deux types de coupes:

- Coupe positive, voir figure 3.6(a), on a $\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$.
- Coupe positive, voir figure 3.6(b), on a $\alpha + \beta - \gamma = 90^\circ$.

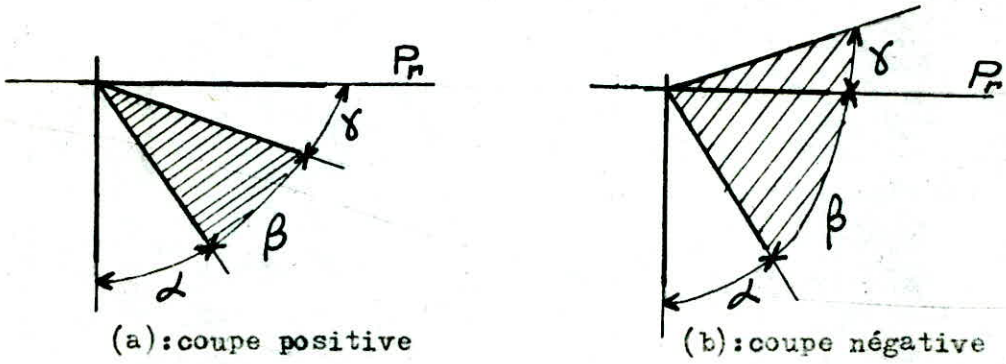


fig 3.6: Angles caractérisant les surfaces
déterminant l'arête

4- PRINCIPE DE LA COUPE DES METAUX

4.1-FORMATION DU COPEAU:

Pour qu'il y ait coupe du métal, il doit y avoir formation de copeaux, la coupe suit trois étapes avant qu'il y ait enlèvement de matière, en premier on a déformation élastique du métal à usiner, puis on a déformation plastique de ce métal et en dernier on a rupture de celui-ci, cette rupture se fait suivant les surfaces de contrainte de cisaillement maximum, cette direction est caractérisée par l'angle β_s appelé angle de cisaillement.

Pour la détermination de cette angle, plusieurs hypothèses ont été émises, l'étude qui paraît la plus complète est celle d'ERNEST et MERCHANT.

4.2-THEORIE D'ERNEST ET MERCHANT :

L'étude qui paraît la plus complète est celle d'ERNEST et MERCHANT, elle comporte quelques hypothèses simplificatrices, ils ont considéré une coupe orthogonale, c'est à dire obliquité de l'outil égale à 90° , l'étude est limitée à ce qui se passe dans un plan (par exemple les déformations latérales sont négligées).

La figure 4.1, nous montre les efforts existants, lors de la formation du copeau, au contact outil-pièce et ces forces expliquent cette formation, les forces représentées sur le diagramme sont les suivantes:

$-\vec{F}_c$: Effort de coupe (selon MC) .

$-\vec{F}_f$: Effort d'avance (selon MA) .

$-\vec{F}_i$: Effort de cisaillement .

$-\vec{R}_o/p$: Action de l'outil sur la pièce .

$-\vec{F}_{sc}$: Effort suivant la surface de coupe .

$-\vec{F}_{scn}$: Effort selon la surface normale à la surface de coupe .

De la figure 4.I, on a :

$$\left. \begin{array}{l} \text{du triangle AHB : } AB = \frac{AH}{\cos(\beta_1 - \gamma)} = \frac{e}{\cos(\beta_1 - \gamma)} \\ \text{Le triangle ABK : } AB = \frac{AK}{\sin \beta_1} = \frac{b}{\sin \beta_1} \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{e}{\cos(\beta_1 - \gamma)} = \frac{b}{\sin \beta_1}$$

$$\Rightarrow b \cos(\beta_1 - \gamma) = e \sin \beta_1$$

$$b (\cos \beta_1 \cos \gamma + \sin \beta_1 \sin \gamma) = e \sin \beta_1$$

$$b \left(\frac{\cos \gamma}{\operatorname{tg} \beta_1} + \sin \gamma \right) = e \Rightarrow \operatorname{tg} \beta_1 = \frac{b \cos \gamma}{e - b \sin \gamma} \quad (I)$$

Donc l'angle de cisaillement est donné par la formule (I) .

De la figure 4.I, on remarque l'apparition de l'angle de frottement copeau-outil θ et à partir de là on tire le coefficient copeau-outil μ de frottement .

$$F_{sc} = F_c \cos(\pi/2 - \gamma) + F_f \cos \gamma = F_c \sin \gamma + F_f \cos \gamma$$

$$F_{scn} = F_c \cos \gamma - F_f \sin \gamma$$

$$\mu = \operatorname{tg} \theta = \frac{F_{sc}}{F_{scn}} = \frac{F_c \sin \gamma + F_f \cos \gamma}{F_c \cos \gamma - F_f \sin \gamma} = \frac{F_c \operatorname{tg} \gamma + F_f}{F_c - F_f \operatorname{tg} \gamma}$$

$$\mu = \operatorname{tg} \theta = \frac{F_c \operatorname{tg} \gamma + F_f}{F_c - F_f \operatorname{tg} \gamma} \quad (2)$$

$$\text{Effort de cisaillement } F_i: F_i = F_c \cos \beta_1 - F_f \sin \beta_1 \quad (3)$$

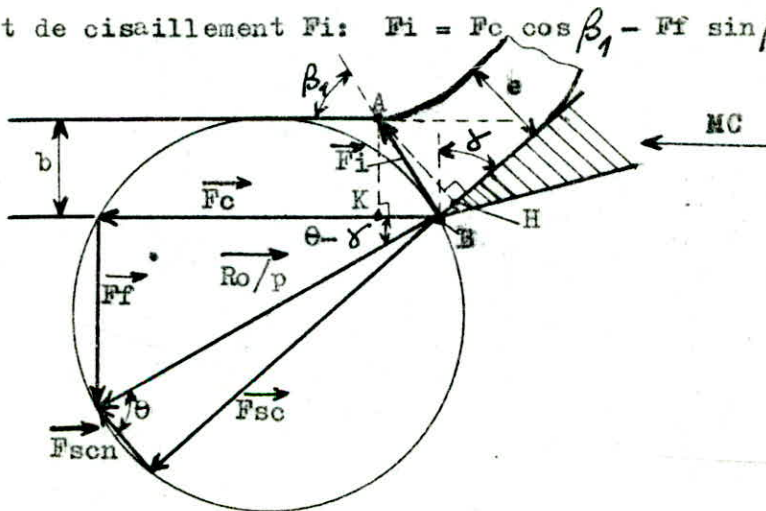


fig 4.I : Diagramme des forces de H. ERNEST et E. MERCHANT .

5.1-INTRODUCTION:

La coupe du metal suppose la pénétration de l'outil dans la pièce et le mouvement relatif de la pièce par rapport à l'outil.

Au contact de la pièce et de l'outil, des actions de contact prennent naissance sur la face d'attaque.

Pour définir ces actions, des mesures expérimentales ont montré l'existence de leurs composantes suivant trois directions perpendiculaires:

- La première est parallèle au vecteur vitesse de coupe \vec{V}_c , appelée effort de coupe \vec{F}_c .
- La seconde est parallèle au vecteur vitesse d'avance \vec{V}_f qui, sur les machines-outils, est perpendiculaire au vecteur vitesse de coupe, appelée effort d'avance \vec{F}_f .
- La troisième est normale à la surface usinée, donc parallèle au vecteur vitesse de mouvement de pénétration, dans le cas du travail à l'outil de forme, appelée effort de pénétration \vec{F}_p .

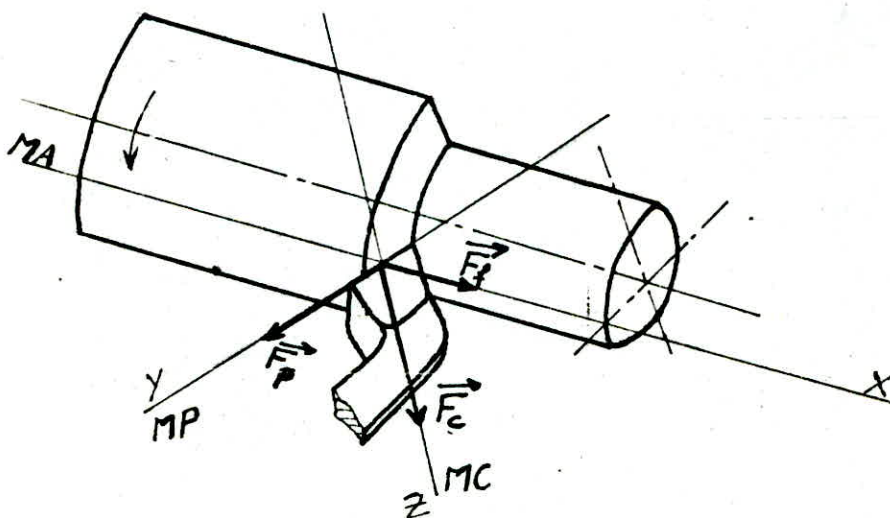


fig 5.1 : Les efforts de coupe

5.2-Effort de coupe :

L'effort de coupe peut être évalué par des formules empiriques, par exemple, on utilise : $F_c = a.f.k$, avec a la profondeur de passe, f l'avance et k la pression spécifique de coupe .

Une autre formule, plus complexe, nous donne : $F_c = k(L-k'f)\phi^m.a^n$ où k , k' , m , n , sont des coefficients dépendant de la matière usinée, des conditions de coupe, f , ϕ , a , respectivement l'avance, l'angle d'affutage et la profondeur de passe .

Certains ateliers établissent leurs propres formules et d'autres agissent d'après leur propre expérience, ce qui laisse encore une large marge d'étude aux chercheurs dans ce domaine .

L'expérience a montré que l'effort de coupe est plus important que F_f et F_p .

5.3-Effort de pénétration F_p et effort d'avance F_f :

Ces efforts sont moins importants que l'effort de coupe F_c , néanmoins chacun d'eux a son importance dans la coupe du métal.

Les essais ont montré que ces efforts sont eux aussi, proportionnels à la section du copeau et à la résistance spécifique de coupe . Par suite F_f et F_p sont proportionnels à l'effort de coupe F_c . Les valeurs de ces efforts dépendent aussi de l'angle de direction de l'outil (tableau 5.I).

Type d'outil	Métal travaillé	F_f	F_p
Outil à charioter angle de direction $K=45^\circ$	Fonte	$1/3 F_c$	$1/3 F_c$
	Acier	$2/5 F_c$	$2/5 F_c$
Outil à charioter angle de direction $K=30^\circ$	Fonte	$1/4 F_c$	$1/3 F_c$
	Acier	$1/3 F_c$	$1/2 F_c$
Outil couteau	Fonte	$2/3 F_c$	prèsque nul
	Acier		
Outil pelle	Fonte	prèsque nul	$2/3 F_c$
	Acier		

Tableau 5.I : Efforts de pénétration et d'avance

6-METHODES DE MESURE DES EFFORTS DE COUPE.

6.1-INTRODUCTION:

Depuis les débuts de la coupe des métaux, les chercheurs ont été attiré par le phénomène de coupe et ses principes, ce qui les a emmenés à conclure sur la nécessité de connaître les efforts de coupe pour le dimensionnement des organes de la machine, pour connaître le type d'outil à utiliser et le type d'usinage qu'il faut.

6.2-LES DYNAMOMETRES:

De nombreux dynamomètres ont été construits, sur la base de principes divers. L'un des plus anciens modèle est du type mécanique.

Il fut utiliser par BOSTON & GILBERT, il est indiqué schématiquement par la figure 6.1(a). L'outil est fixé sur un porte-outil possédant une libre rotation par rapport à un point suivant la verticale. Quand un effort tangentiel s'applique sur l'outil, le levier A se déplace en pressant le ressort R, l'effort est ainsi déterminé à partir des coordonnées de la courbe tracée par un marqueur S attaché au levier B, sur un papier qui se déplace.

BOSTON & GILBERT, ont conçu un dynamomètre de type hydraulique, il est représenté par la figure 6.1(b). Le levier A attaché au porte outil E, libre en rotation, agit contre une plaque qui est en contact avec un diagramme en caoutchouc, placé dans un réservoir T. Lors de l'application d'un effort, le fluide à l'intérieur du réservoir est déplacé et ce déplacement est indiqué par un manomètre à mercure M.

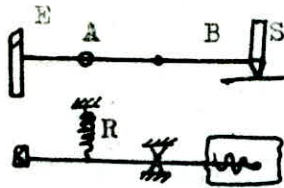
GALLOWAY, utilisa un dynamomètre de type capacité, il est représenté par la figure 6.1(c). Dans ce cas, le levier A lié au porte-outil E

libre en rotation, presse contre une plaque de la capacité, qui s'écarte ou se ferme selon le sens de l'effort.

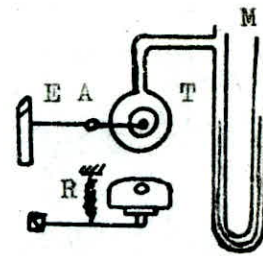
Ainsi, plusieurs appareils, suivant différents principes, ont été conçus.

Dans ces appareils, on cherche systématiquement à augmenter au maximum la sensibilité de mesure, tout en limitant le plus possible la flexibilité qui perturbe les conditions de coupe et peut être une cause de vibrations qui faussent donc les résultats de mesure.

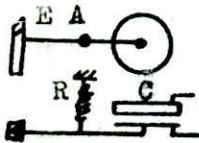
Pour nous, on utilise un dynamomètre de type pneumatique, existant au niveau de notre département.



(a) type mécanique



(b) type hydraulique



(c) type capacité

fig 6. I: différents types de dynamomètres

7-PRESENTATION, MONTAGE ET REGLAGE DE L'ENSEMBLE DYNAMOMETRIQUE

7.1-PRESENTATION DE L'ENSEMBLE DYNAMOMETRIQUE:

Au niveau du département, on a trouvé un appareil pour la mesure des efforts de coupe pour le tournage, l'appareil se compose d'un ensemble d'éléments qui sont:

- Un compresseur.
- Un appareil de lecture à deux colonnes, appelé micromesureur.
- Deux dynamomètres étalonnés.
- Un porte outil dynamométrique.

7.1.1-Le compresseur:

L'ensemble de mesure est délivré avec un petit compresseur délivrant de l'air à une faible pression, malheureusement il n'a pas été utilisé à cause de son mauvais état, nous avons utilisé le grand compresseur, existant au niveau de l'atelier du département, réglé pour délivrer de l'air à 8 bars.

Ce compresseur, est utilisé avec un filtre et un mano-détendeur placés sur le circuit d'air comprimé provenant du compresseur.

Le rôle du filtre est de débarrasser l'air de ces impuretés solides et liquides. Le mano-détendeur sert à régler l'air à la pression voulue. Tout cet ensemble permet d'alimenter dans de bonnes conditions techniques et économiques, l'appareil de mesure, avec une pression égale à 1 bar.

7.1.2-Le micromesureur:

Toute installation SOLEX comprend un micromesureur, sur lequel est effectuée la lecture des mesures.

a)-Description:

Un micromesureur comprend, à l'arrière, un corps cylindrique contenant le régulateur de pression. A l'avant, en façade, deux éléments de lecture juxtaposés et assemblés par raccords, mais de fonctionnement rigou-

reusement indépendant. Chaque élément comprend une chambre de pression avec un gicleur de tête, située à la partie supérieure, et un tube manométrique avec une règle graduée en fonction du gicleur utilisé.

b) - Fonctionnement:

L'appareil est représenté schématiquement en figure 7.I, l'air, sous la pression de I bar, entre dans le micromesureur y est régularisé à une pression H constante, alimente la chambre de pression h par le gicleur de tête G et en sort par l'orifice s solidaire de l'appareil de mesure. Le débit de G est fixe, celui de s varie avec la grandeur mesurée, ce qui entraîne des variations de la pression h enregistrée par le manomètre à eau en forme de U, l'une des branches de celui-ci est le réservoir R , l'autre branche est le tube M dont la graduation correspond à la valeur de la pression h , établissant la hauteur h entre le niveau d'eau du réservoir R et celui du tube M .

Le régulateur de pression est constitué par le tube T qui plonge à une profondeur H dans l'eau du réservoir R ouvert à l'air libre.

La pression P , devant être toujours supérieure à H , l'excès d'air s'échappe à travers l'eau du réservoir et l'air contenu dans le tube T est maintenu à une pression H constante, égale à la hauteur H .

La variation de pression P se traduit seulement par la variation de la quantité d'air qui s'échappe en bulle à travers l'eau du réservoir

R .

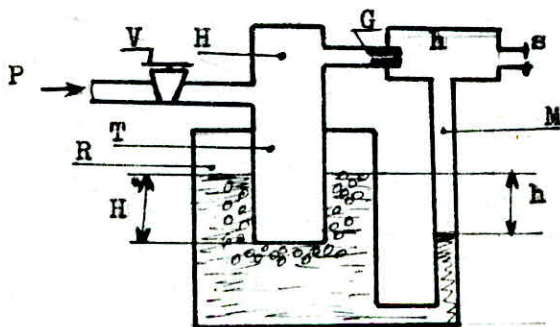


fig 7.I: schéma de fonctionnement
du micromesureur

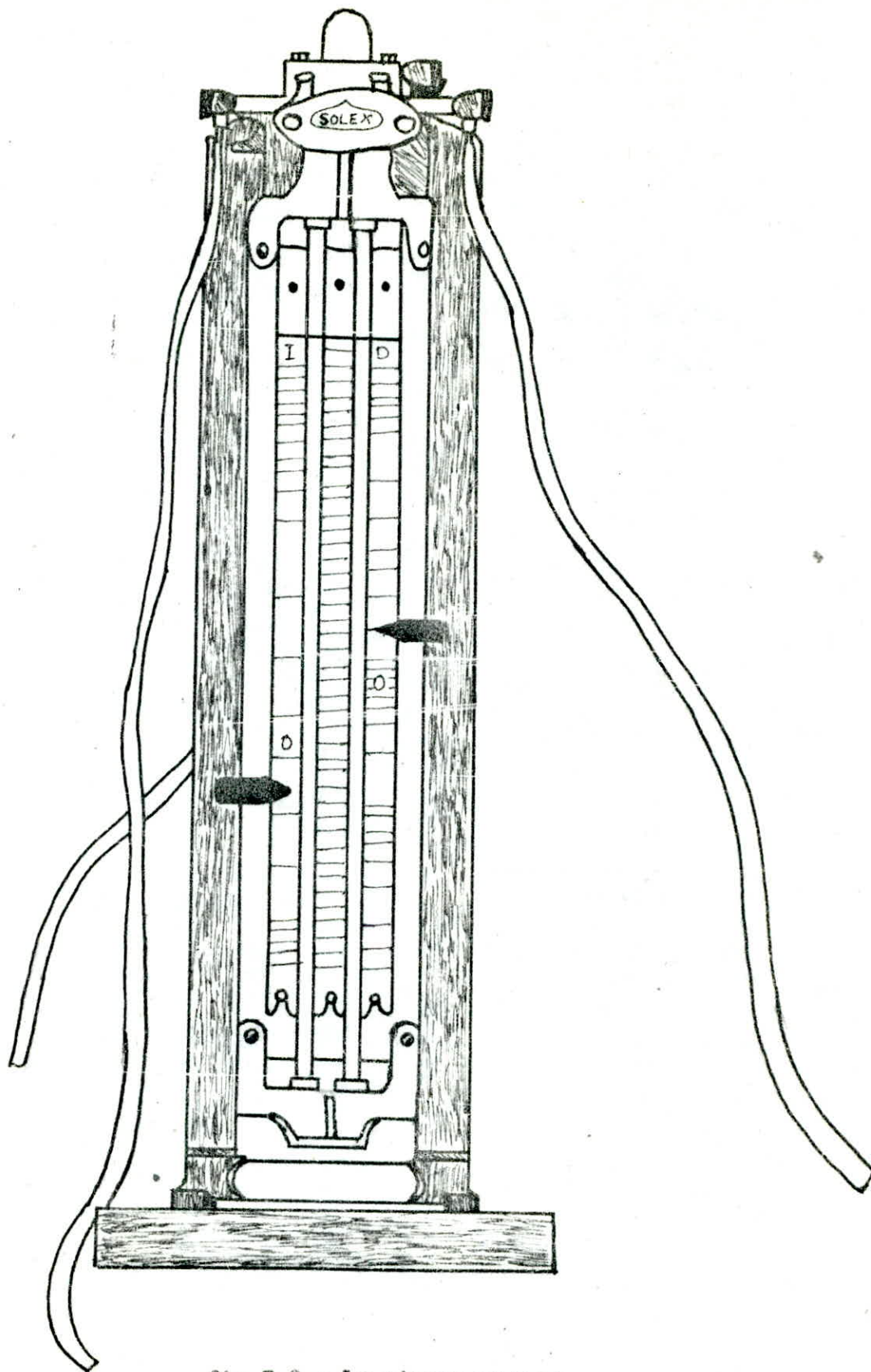


fig 7.2 : Le micromesureur

7.1.3-Les dynamomètres:

Le dynamomètre est la partie essentielle de l'ensemble, c'est lui qui subit l'effort et le transmet au dispositif de lecture afin de relever la valeur de l'effort.

a)-Présentation:

Le dynamomètre, représenté sur la figure 7.3, se compose d'un anneau fendu en acier et d'un amplificateur SOLEX 7.

b)-Fonctionnement:

Lorsque un effort est exercé, il est transmis au deux billes I de la figure 7.3 et occasionne des déformations dans l'anneau qui sont mesurées par l'amplificateur SOLEX 7, suivant son axe. Cette mesure s'effectue de la façon suivante:

Lors de la déformation de l'anneau, le palpeur 3 est déplacé de sa position, se qui entraîne une ouverture permettant l'échappement de l'air vers l'extérieur.

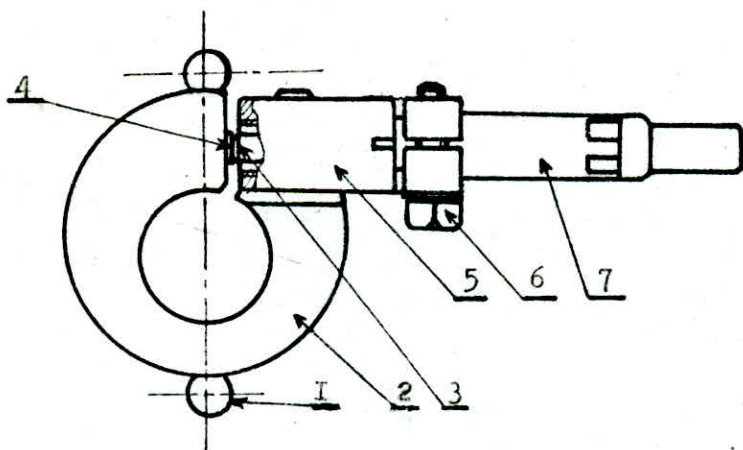


fig 7.3: le dynamomètre

7.1.4-Le porte-outil dynamométrique:

Le porte-outil dynamométrique, est un porte-outil spécial conçu pour être monté sur la plupart des tourelles de tour. Il comprend (figure 7.4) un support d'outil à deux degrés de liberté par rapport à son bâti, les dynamomètres placés entre celui-ci et le support mobile, permet de mesurer les efforts.

L'équerre 4, faisant corps avec le bâti 9, se fixe dans n'importe quelle tourelle de tour comme il serait fait d'un outil ordinaire. L'outil 7 est rendu solidaire au support 3 grâce aux trois vis 2, celui-ci peut tourner par rapport au bâti autour d'un axe fictif passant par le centre d'un roulement à rotule monté sur l'axe 1, la pointe de l'outil étant réglée à une distance fixe de l'axe du dynamomètre 8 et celui du dynamomètre 6, l'appareil de mesure peut être gradué directement en valeurs réelles de l'effort de coupe. La vis support de dynamomètre 10 permet de placer avec précision le bec de l'outil à la hauteur de l'axe de la pièce. La vis 5 permet de parfaire la mise au zéro de l'ensemble dynamométrique en appliquant au support 3 une précharge par l'intermédiaire d'un ressort.

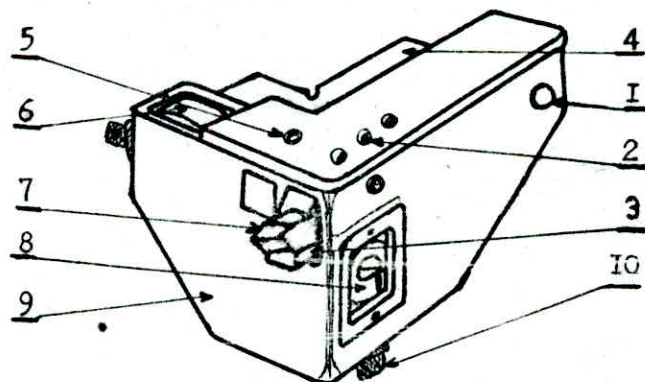


fig 7.4: schéma du porte-outil dynamométrique

7.2-Montage et réglage de l'appareil de mesure:

7.2.1-Montage:

On relie le compresseur au filtre et au mano-détendeur à l'aide d'une conduite en caoutchouc, à la sortie du mano-détendeur on place une autre conduite en caoutchouc dont l'autre bout est placé à l'entrée du micromesureur, duquel sort deux autres conduites reliées aux dynamomètres qui sont montés sur le porte-outil dynamométrique comme le montre la figure 7.4, entre deux billes, ce porte-outil est placé sur le tour comme on monte un outil normal.

7.2.2-Réglage:

Le réglage de l'ensemble de cet appareil se fait en deux parties.

Première partie:

Après avoir vérifié le niveau d'eau dans le micromesureur, qui doit être à la position où est marqué "niveau à l'arrêt", on met en marche le compresseur et on règle la pression à l'aide du mano-détendeur à 1 bar. On prend un dynamomètre dans la main, de telle façon à le libérer de toute précharge, on débloque alors la vis 6 (figure 7.3) du dynamomètre de façon à pouvoir tourner le corps de l'amplificateur SOLEX 7 et amener le niveau d'eau de la colonne du micromesureur à une position telle qu'après reblockage de la vis 6, il se trouve au dessous du niveau 0 de l'échelle sans être plus bas que l'un des deux traits rouges de cette échelle, puis on passe au réglage du second dynamomètre.

Deuxième partie:

Le réglage préliminaire ayant été effectué, on place les dynamomètres dans le porte-outil dynamométrique (figure 7.3), dans leurs logements entre les billes destinées à transmettre les efforts,

on règle le bras support d'outil en agissant sur la vis IO de façon à ce qu'il soit en légère pression et qu'il soit situé dans la position médiane de sa course utile, puis on règle le niveau zéro du micromesureur, de chaque colonne, en agissant sur les vis 5 et II .

On introduit alors un outil, on le met en longueur et on le bloque en position à l'aide des trois vis 2, dans cette explication on se réfère à la figure 7.4 .

On dispose alors le porte-outil dans la tourelle du tour, si la hauteur du bec de l'outil diffère de quelques millimètres de celle de l'axe de la pièce, on cale le porte-outil comme on ferait d'un outil ordinaire, puis on bloque énergiquement . La mise en hauteur peut alors être obtenue avec précision en agissant sur la vis IO .

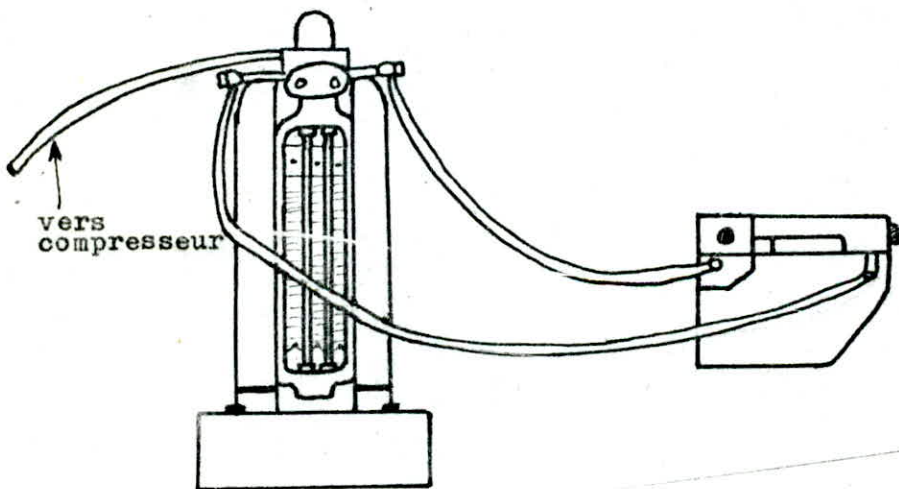


fig 7.5 : Schéma de montage de l'ensemble

8-ESSAIS ET RESULTATS.

8.1-But des essais :

Ces essais consistent à étudier la variation des efforts de coupe lors de la coupe longitudinale, nous nous proposons de voir cette variation en fonction de la vitesse de coupe, de l'avance et de l'angle de coupe γ .

8.2-Acier et outils utilisés :

Pour cette étude, nous avons utilisé des barres d'acier doux d'une longueur 200 mm et d'un diamètre de 40 mm, coupées du même barreau.

Les outils utilisés sont à charioter droit coudés en acier rapide, possédant la même inclinaison d'arête et le même angle de dépouille, mais chacun est caractérisé par son angle de coupe caractéristique.

Les essais ont été effectués sur le tour CAZNEUVE existant au niveau du département.

8.3-Résultats :

Après montage, réglage et mise en marche de l'appareil (chapitre 7), nous commençons les essais en faisant varier les différents paramètres.

8.3.1-Variation de la vitesse de rotation :

Nous avons utilisé les vitesses existantes sur le tour CAZNEUVE, ce qui fait que notre choix est limité, car on ne peut avoir des valeurs intermédiaires ni encore des valeurs plus petites que 25tr/min.

Nous avons fixé les valeurs des paramètres suivants :

- Angle de coupe: $\gamma = 21^\circ$
- Avance de l'outil: $f = 0,75 \text{ mm/tr}$
- Profondeur de passe: $a = 3 \text{ mm}$
- Diamètre de la pièce: $D = 40 \text{ mm}$
- Avec lubrification

Après plusieurs essais, on a adopté les résultats du tableau 8.1, dont les valeurs représentent la moyenne de plusieurs essais.

8.3.2-Variation de la vitesse d'avance :

Nous avons utilisé des avances prises sur le tableau d'avance du tour CAZNEUVE. Les valeurs des paramètres fixés sont:

- Angle de coupe $\gamma = 21^\circ$
- Profondeur de passe $a = 3 \text{ mm}$
- Vitesse de coupe $V_c = 25,13 \text{ m/min}$ ($n = 200 \text{ tr/min}$)
- Diamètre de la pièce $D = 40 \text{ mm}$
- Avec lubrification

Après plusieurs essais, on a adopté les résultats du tableau 8.2, dont les valeurs représentent la moyenne de plusieurs essais.

8.3.3-Variation de l'angle de coupe γ :

Pour tous les essais nous avons utilisé des outils à charioter coudés droit en acier rapide. Nous avons fixé les valeurs des paramètres suivants:

- Vitesse de coupe $V_c = 25,13 \text{ m/min}$ ($n = 200 \text{ tr/min}$)
- Valeur de l'avance $f = 0,75 \text{ mm/tr}$
- Profondeur de passe $a = 3 \text{ mm}$
- Diamètre de la pièce $D = 40 \text{ mm}$
- Avec lubrification

Après plusieurs essais, nous avons adopté les résultats du tableau 8.3, dont les valeurs représentent la moyenne.

n (tr/min)	Vc (m/min)	Fc (N)	Ff (N)
25	3,14	725	200
40	5,03	655	200
50	6,28	750	195
63	7,92	700	185
80	10,05	675	185
100	12,56	675	180
125	15,71	610	174
160	20,11	610	183
200	25,13	610	185
250	31,42	610	225
315	39,58	610	234
400	50,26	610	225
500	62,83	600	215
630	79,17	600	215
800	100,53	600	215
1000	125,66	600	215

tableau 8.1 : Valeurs de l'effort de coupe et celui de l'avance en fonction de la vitesse de coupe.

$f(\text{mm/tr})$	$F_c(\text{ N })$	$F_f(\text{ N })$
0,0937	100	70
0,25	200	75
0,4	200	75
0,5	300	105
0,75	325	110
1	600	180
1,5	700	190
2	1200	285
2,5	1250	270
3	1220	285
3,25	1220	285
3,5	1200	270
4	1925	265
4,5	1950	265
4,75	1900	275
5	1900	265
5,5	1850	255
6	1850	270
6,5	1850	260
7	1800	265

Tableau 8.2: Valeurs des efforts d'avance et de coupe en fonction de l'avance

γ (degrés)	F_c (N)	F_f (N)
-36°	625	275
-25°	575	250
0°	500	175
+ 5°	425	150
+13°	410	140
+18	405	120
+21	390	110

tableau 8.3 : Valeurs de l'effort de coupe et celui d'avance
en fonction de l'angle de coupe

9- INTERPRETATION DES RESULTATS

9.1-Variation de l'effort de coupe :

9.1.1-En fonction de la vitesse de coupe :

La figure 9.1, nous montre cette variation graphiquement, on remarque qu'aux basses vitesses nous avons diminution de l'effort avec la vitesse, due à une diminution du frottement copeau-outil. Puis l'apparition de l'arête rapportée provoque une augmentation de l'effort jusqu'à un maximum.

Ensuite, l'effort décroît à cause de la disparition progressive de cette arête et sa valeur tend vers une limite avec la vitesse. La décroissance aux grandes vitesses est due à la diminution du frottement copeau-outil, limitée par la stabilisation de la température aux grandes vitesses.

9.1.2-En fonction de l'avance :

De la figure 9.3, on a graphiquement l'évolution de l'effort de coupe en fonction de l'avance. Au début de la courbe on remarque que son allure est une droite inclinée de pente positive ce qui montre que l'effort de coupe est proportionnel à l'avance. Puis l'apparition de l'arête rapportée rend l'augmentation de l'effort plus rapide que celle de l'avance jusqu'à un optimum, ensuite l'effort décroît à cause de la disparition progressive de l'arête. Puis on a réapparition de l'arête ce qui fait que l'effort augmente de nouveau jusqu'à un maximum, ensuite l'effort décroît à cause de la disparition de l'arête rapportée progressivement et sa valeur tend vers une limite avec l'avance.

La décroissance de l'effort aux grandes avances est due à la décroissance des efforts parasites (frottement de l'outil en dépouille, arête rapportée, influence de l'arête de l'outil) dans la valeur totale de l'effort.

9.1.3-En fonction de l'angle de coupe :

La courbe 9.5, montre l'évolution de l'effort de coupe en fonction de l'angle de coupe. On remarque que l'effort diminue quand l'angle de coupe augmente et sa valeur tend vers une limite. Au début pour les valeurs négatives de l'angle l'effort a les plus grandes valeurs à cause de la pénétration difficile de l'outil dans la pièce et du frottement important du copeau-outil, avec la diminution de ces paramètres on a diminution de l'effort jusqu'à une limite aux très grandes valeurs de l'angle .

9.2-Variation de l'effort d'avance :

9.2.1-En fonction de la vitesse de coupe :

On remarque que la figure 9.2, a la même allure que celle de la figure 9.1 de la même façon on a au début diminution de l'effort d'avance due à une diminution du frottement copeau-outil . Puis l'apparition de l'arête rapportée provoque une augmentation de l'effort jusqu'à un maximum .

Ensuite, l'effort décroît à cause de la disparition progressive de l'arête rapportée et sa valeur tend vers une limite avec la vitesse.

Cette décroissance aux grandes vitesses est due à la diminution du frottement copeau-outil, limitée par la stabilité de la température aux grandes vitesses .

9.2.2-En fonction de l'avance :

On remarque aussi que la figure 9.4, a la même allure que celle de la figure 9.3, de la même façon aussi l'effort d'avance varie de la même manière que celle de l'effort de coupe , au début on a augmentation de l'effort avec l'avance, puis l'apparition de l'arête rapportée rend cette augmentation plus rapide que celle de l'avance jusqu'à un maximum.

Ensuite l'effort décroît à cause de la disparition progressive de cette arête et sa valeur tend vers une limite aux grandes avances .

9.2.3-En fonction de l'angle de coupe :

De la même manière que pour la variation de l'effort d'avance en fonction des autres paramètres, on remarque que la courbe de la figure 9.6, a la même allure que celle de la figure 9.5 donnant l'évolution de l'effort de coupe en fonction de l'angle de coupe. De la même façon la valeur de l'effort diminue avec l'augmentation de l'angle de coupe, c'est due à la diminution du frottement copeau-outil, à la diminution de la température et à l'influence de l'arête de l'outil.

9.3-Conclusion et remarques :

On remarque des courbes de l'effort de coupe et celles de l'effort d'avance, qu'elles ont les mêmes allures de là on déduit que les deux efforts sont dépendant et qu'il y a une proportionnalité entre eux .

On peut voir aussi que l'influence de l'arête rapportée sur l'effort de coupe et celui d'avance, n'apparaît pas aux mêmes conditions de coupe.

Donc, on conclue que malgré que les deux efforts agissent en même temps sur le phénomène de la coupe, l'influence de l'arête rapportée reste **différente** sur chaque effort .

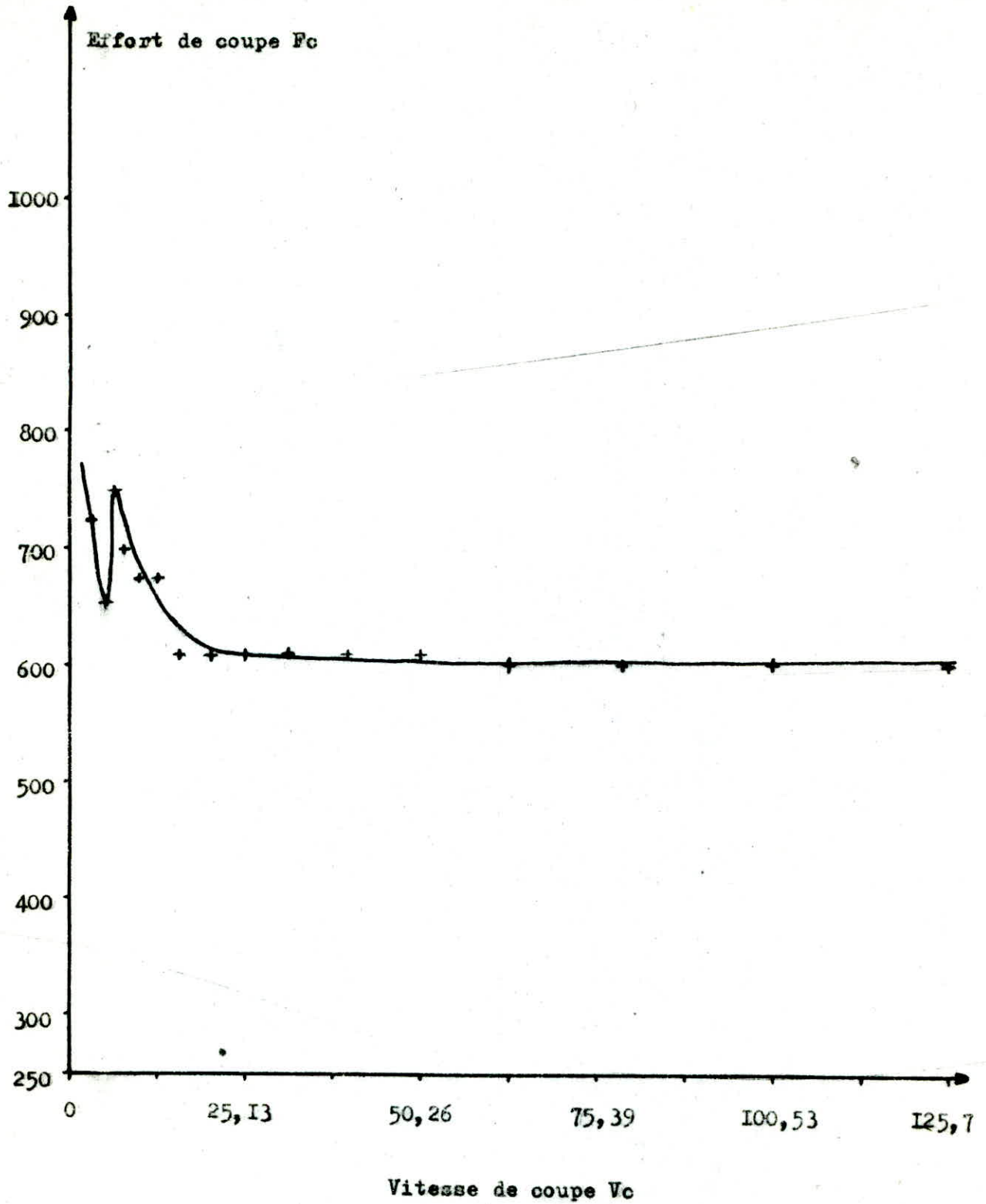


fig 9.1 : Variation de l'effort de coupe avec la vitesse de coupe .

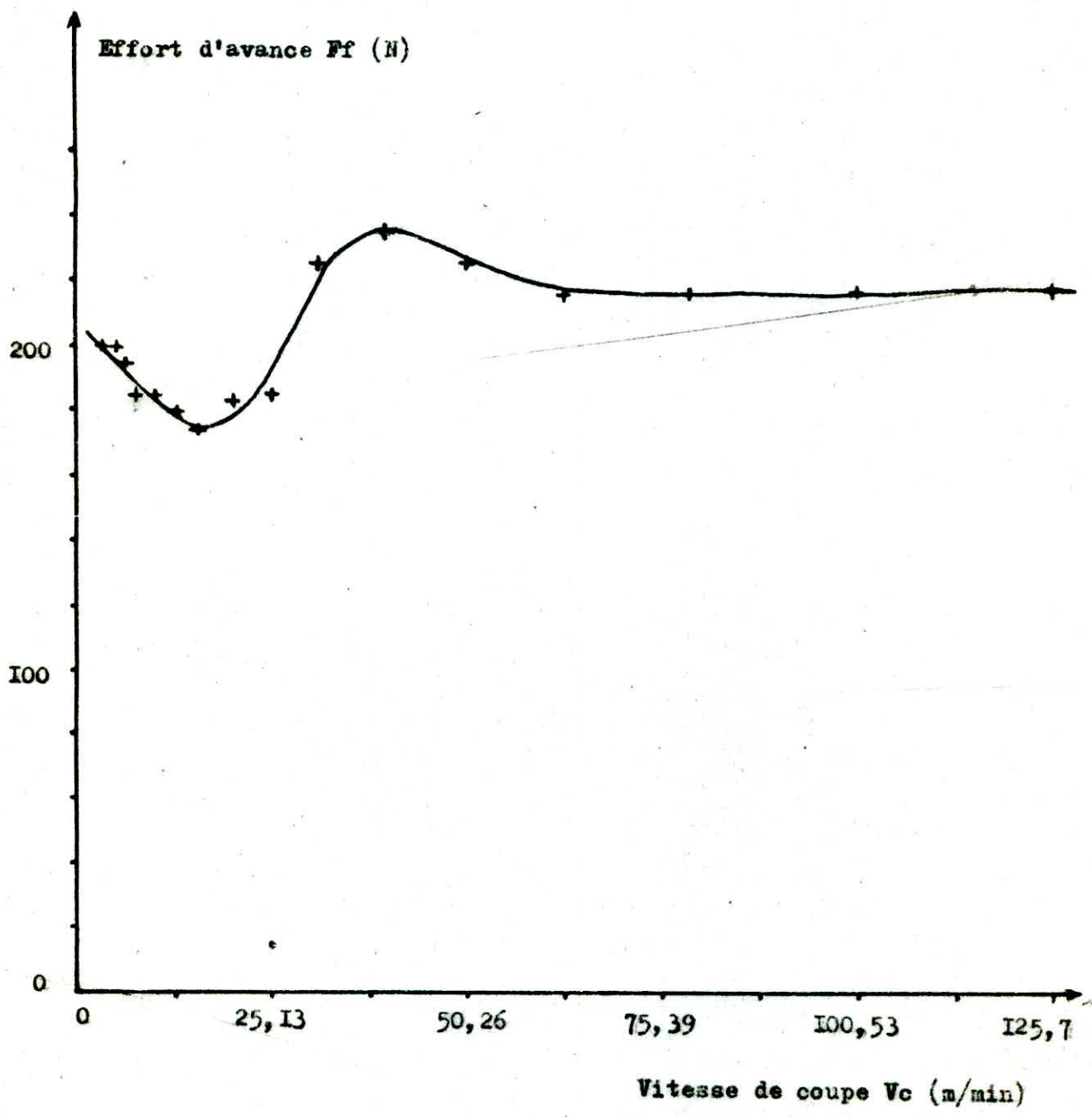


fig 9.2 : Variation de l'effort d'avance avec la vitesse de coupe .

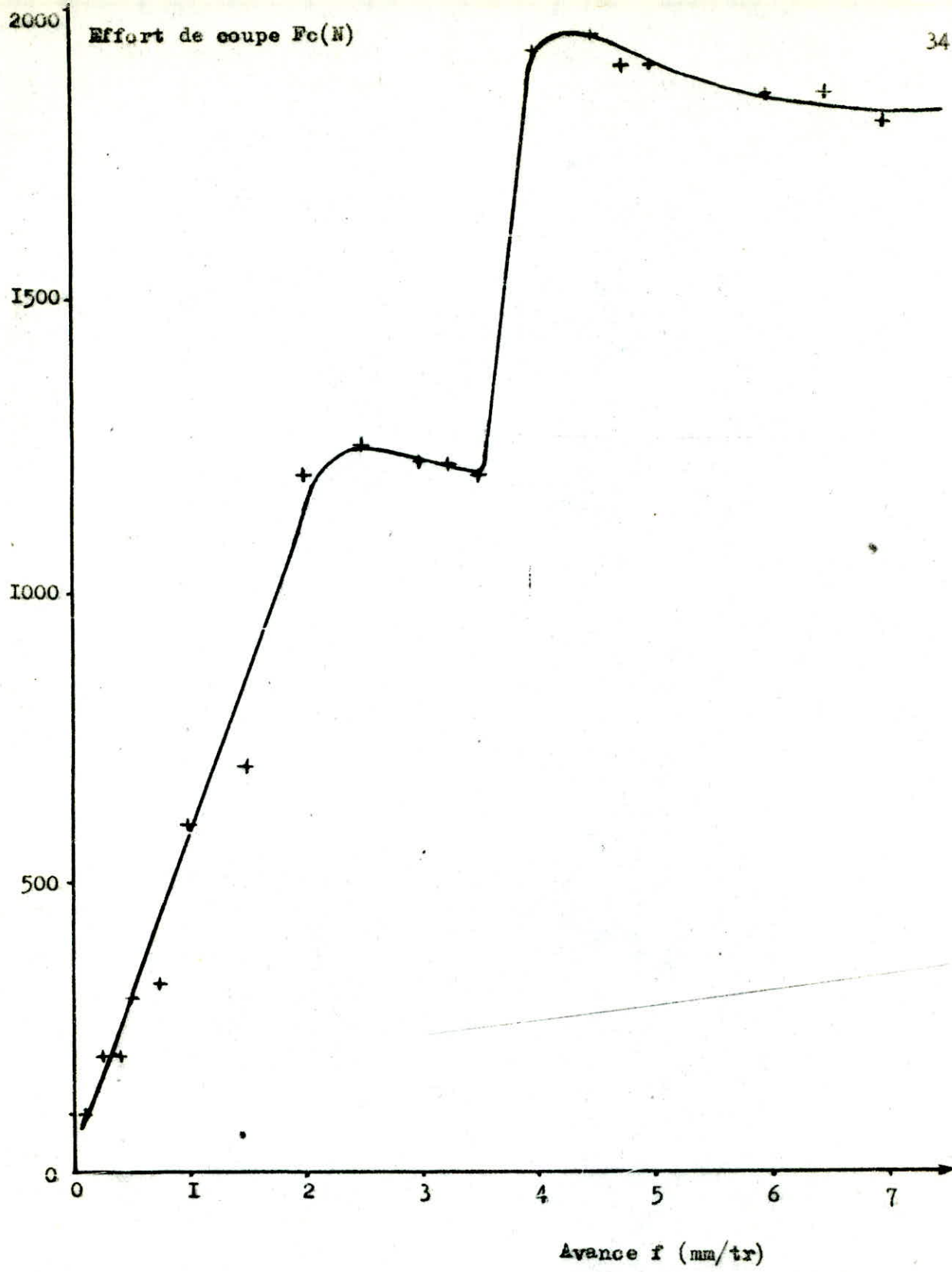


fig 9.3 : Variation de l'effort de coupe avec l'avance de l'outil .

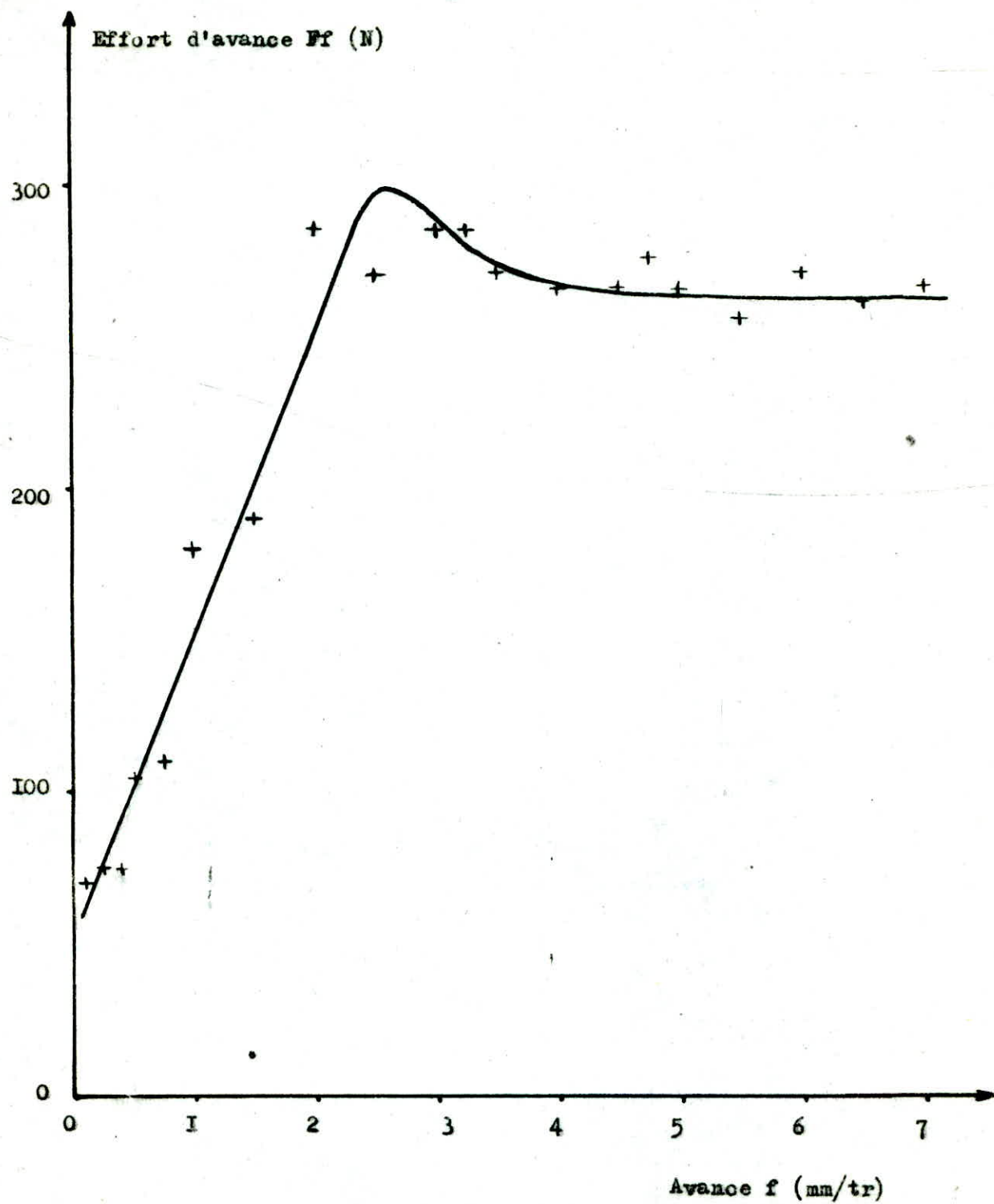


fig 9.4 : Variation de l'effort d'avance avec l'avance de l'outil .

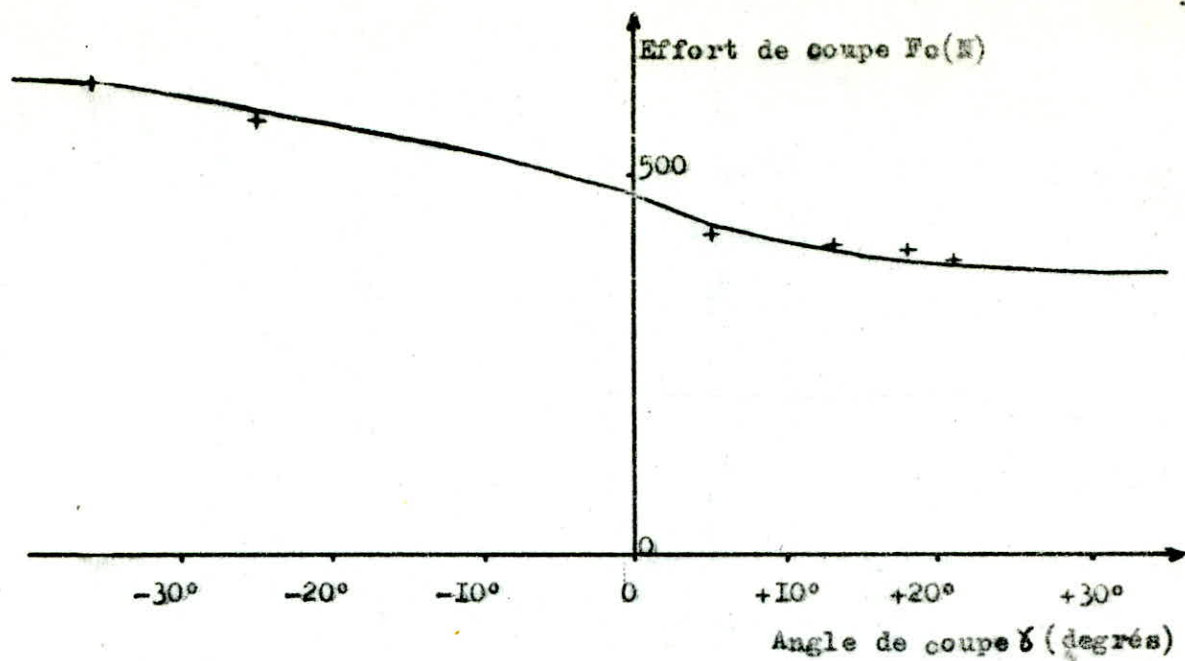


fig 9.5 : Variation de l'effort de coupe avec l'angle de coupe .

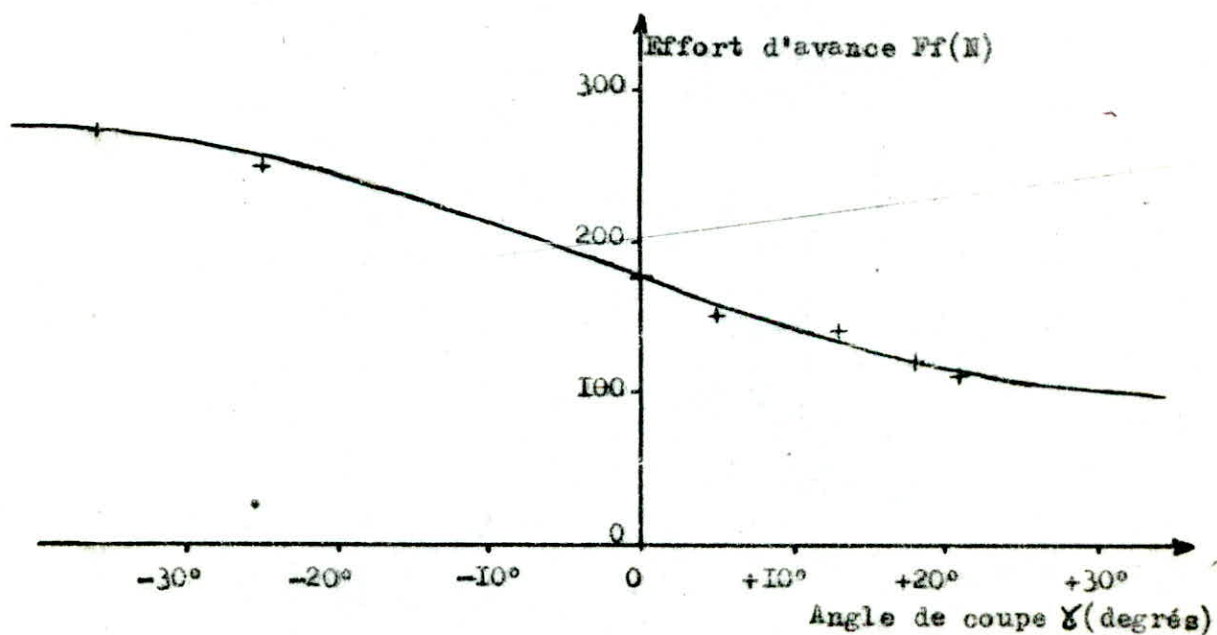


fig 9.6 : Variation de l'effort d'avance avec l'angle de coupe .

10- PROPOSITION D'UN TRAVAIL PRATIQUE

10.1- But et principe de la manipulation :

La manipulation consiste à usiner une pièce avec un outil lié à l'appareil de mesure d'effort de coupe en tournage. La coupe du métal se fait en trois étapes, au début on a une déformation élastique du métal à enlever puis une déformation plastique et en dernier on a la rupture de ce métal, cette rupture est due à la pénétration de l'outil dans la matière qui engendre des efforts appelés efforts de coupe.

Nous nous proposons de mesurer ces efforts et de tracer les courbes donnant leurs variations en fonction des différents paramètres de coupe tels que: L'avance, la vitesse de coupe, de l'angle de coupe γ , l'angle d'inclinaison ψ , le type d'acier à usiner ...etc

10.2-L'appareil de mesure :

10.2.1-Présentation:

L'appareil de mesure est composé d'un dispositif d'alimentation en air constitué d'un compresseur, d'un dispositif de lecture et d'un porte-outil dynamométrique, le tout relié par des conduites en caoutchouc.

10.2.2-Montage et réglage :

Monter l'outil dans le porte-outil ainsi que les dynamomètres, mettre en marche le compresseur et régler le à une pression de 1 bar, prendre le porte-outil dynamométrique et régler les niveaux des colonnes d'eau du micromesureur, monter le sur la tourèle du tour et régler la hauteur de pointe de l'outil avec des calles.

10.3-Aciers et outils :

Vous pouvez utiliser tous types d'outils en mesurant leurs angles caractéristiques. Il existe deux types d'outils au niveau du département, les outils en acier rapide et les outils au carbure.

Pour l'acier vous pouvez utiliser tous type d'acier .

10.4-Manipulation :

Première partie :Etude de la variation de l'effort de coupe en fonction de la vitesse de coupe.

Placer une pièce d'un diamètre constant dans la machine-outil .

Fixer la vitesse d'avance de l'outil.

Fixer la profondeur de passe, la valeur de l'angle de coupe de l'outil.

Faites varier la vitesse de rotation.

Relever les valeurs des efforts lues sur le micromesureur sur un tableau pour chaque valeur de la vitesse .

Deuxième partie :Etude de la variation de l'effort de coupe en fonction de l'avance de l'outil.

Fixer la vitesse de rotation.

Fixer la profondeur de passe.

Fixer la valeur de l'angle de coupe de l'outil en utilisant le même pour toutes les mesures.

Faites varier la vitesse d'avance de l'outil.

Relever les valeurs de l'effort lues sur le micromesureur, sur un tableau.

Troisième partie :Etude de la variation de l'effort de coupe en fonction de l'angle de coupe de l'outil.

Fixer la vitesse de rotation.

Fixer la vitesse d'avance.

Fixer la profondeur de passe.

Faites varier l'angle de coupe de l'outil en utilisant plusieurs outils, en faisant attention à avoir le même type d'outil, ce qui veut dire des outils du même matériau, les mêmes autres angles caractéristiques telsque l'inclinaison d'arête, l'angle de dépouille...

En changeant les outils, garder toujours la même longueur de sortie.

Relever pour chaque valeur de γ , la valeur de l'effort de coupe correspondante sur un tableau.

Faites ces essais avec et sans lubrification .

10.5-Résultats :

- 1)-Tracer les graphes donnant la variation de l'effort de coupe en fonction des différents paramètres.
- 2)-Discuter et interpréter l'allure des courbes obtenues.
- 3)-Comparer les résultats obtenus en utilisant la lubrification et ceux obtenus sans lubrification.
- 4)-Donner une conclusion générale.

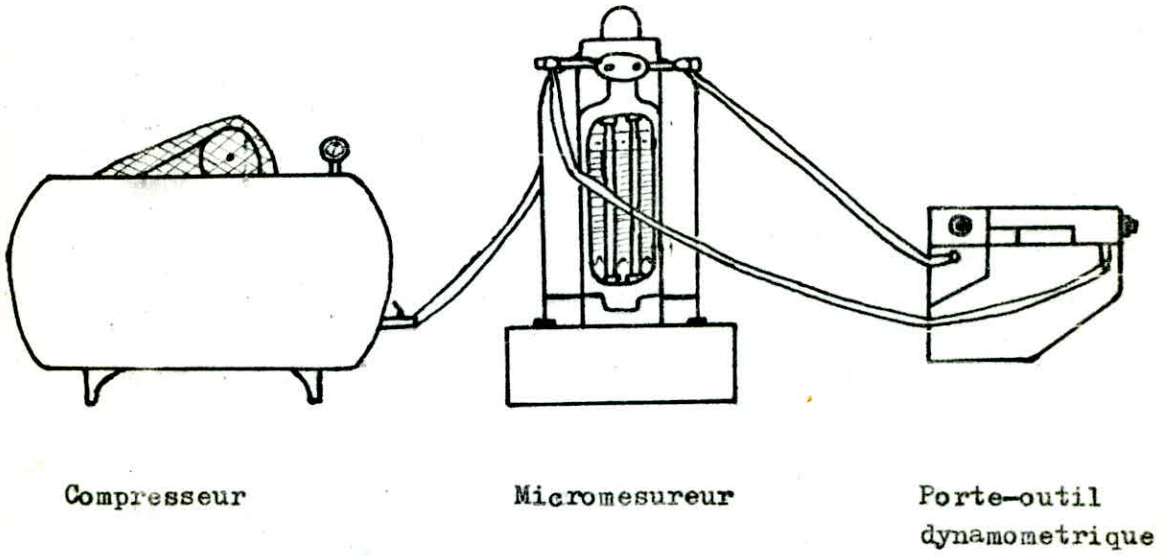


Schéma de l'ensemble de l'appareil de mesure

CONCLUSION

Le travail que nous avons effectué est purement descriptif, il nous a été très bénéfique dans la connaissance des efforts de coupe et leurs mesure, il nous a aussi permis de comprendre le phénomène de la coupe et son importance. Les résultats obtenus lors des essais nous ont permis de voir l'évolution des efforts de coupe en fonction de certains paramètres ainsi qu'ils nous ont renseignés sur l'efficacité de l'appareil utilisé. Pour terminer nous avons proposé un TP pour les étudiants, qu'on espère sera fait, ainsi ils auront l'occasion de compléter leurs connaissances en efforts de coupe.

Nous avons remarqué l'existence d'un appareil de mesure d'efforts de coupe pour le perçage qu'on espère sera l'objet d'une étude pour les promotions à venir. Je ne saurais terminer sans exprimer mon souhait de bien exploiter ces appareils et j'espère qu'il y aura une suite à ce projet.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 - Roland Weil : Technique d'usinage
DUNOD - PARIS 1971
- 2 - P. Baque et E. Felder : Mise en forme des métaux Tome I et 2
DUNOD - PARIS 1973
- 3 - J. Vergnas : Usinage "Technologie et pratique"
Bordas - PARIS 1982
- 4 - V. Kovan : Technologie de la construction mécanique
Editions Mir 1970

