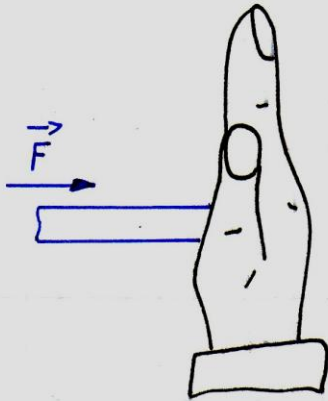


Efforts résultant de la Coupe

1- Actions mutuelles de contact

- 10) Appuyons l'extrémité d'un crayon sur la paume de la main.

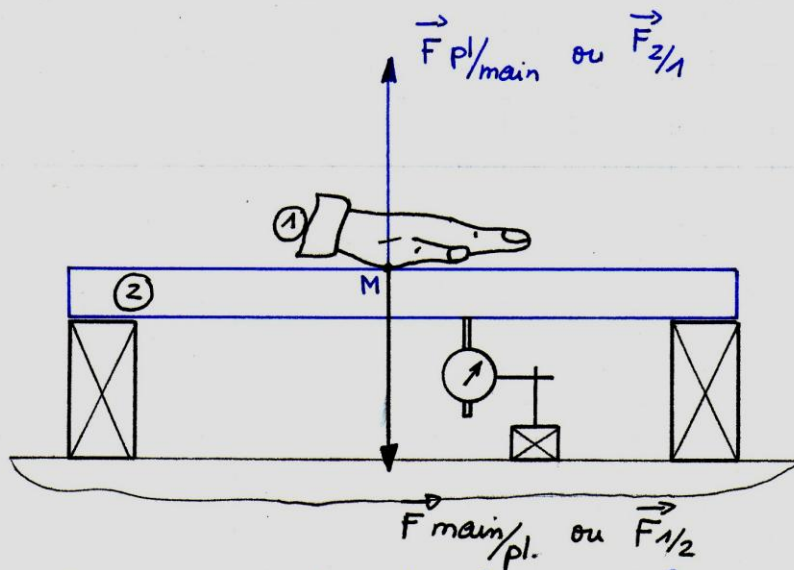


Le crayon exerce une force $\vec{F}$ sur la main

La paume se creuse. Elle se déforme

⇒ Chaque fois que la paume de la main s'aplatit au contact d'un corps, ce dernier exerce une action sur elle.

- 20) Exerçons avec la main une action verticale sur une planche supportée par deux tasseaux.



* La main exerce sur la planche une force verticale modélisée par un vecteur $\vec{F}_{1/2}$, dirigé vers le bas.

* Sous l'action de la main, la planche se déforme (mis en évidence par le comparateur).

En se référant au 10), la main s'aplatit: on en déduit que la planche exerce sur la main une force verticale modélisée par un vecteur $\vec{F}_{2/1}$, dirigé vers le haut.

* Les forces $\vec{F}_{1/2}$ et $\vec{F}_{2/1}$ constituent les actions mutuelles de contact.

Elles sont égales et directement opposées

$$\vec{F}_{1/2} + \vec{F}_{2/1} = \vec{0} \quad \|\vec{F}_{1/2}\| = \|\vec{F}_{2/1}\|$$

(Principe de NEWTON)

* A noter que s'il n'en était pas ainsi :

- soit il y aurait mouvement de la planche, dont les tasseaux s'enfonceraient dans le sol.
- soit la main se souleverait.

⇒ On retiendra :

10) Quand deux corps sont en contact, il existe deux actions mutuelles de contact qui sont égales et directement opposées

20) Quand un corps est soumis à l'action d'un autre corps, il y a déformation de l'un et de l'autre.

2 - Actions sur l'outil de coupe

* Coupe du métal $\Rightarrow$ c'est $\Rightarrow$:

- une pénétration outil/pièce
- des Mouvements relatifs outil/pièce
(M_a, M_p, M_c)

$\Rightarrow$ Des actions de contact prennent naissance sur la face de coupe "A γ " de l'outil.

$\Rightarrow$ Les diverses études expérimentales mettent en évidence l'existence de 3 efforts élémentaires :

" $\vec{F}_v$ " " $\vec{F}_f$ " " $\vec{F}_p$ "

On appellera " $\vec{F}_c$ ", l'effort de coupe résultant ;

$$\vec{F}_c = \vec{F}_v + \vec{F}_f + \vec{F}_p \quad (\text{pièce/outil})$$

2-1 : Définition des efforts élémentaires

* Effort tangentiel de coupe $\boxed{F_v}$

appliqué en M de l'arête tranchante

porté par la droite support du vecteur de coupe
supposé " $\vec{V}$ ".

intersection des plans "P $_{fe}$ " et "P $_{se}$ ".

* Effort d'avance $\boxed{F_f}$

appliqué en M.

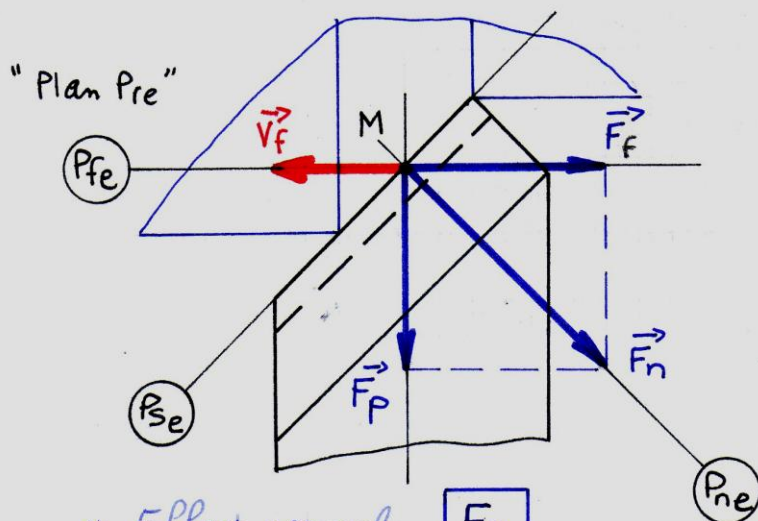
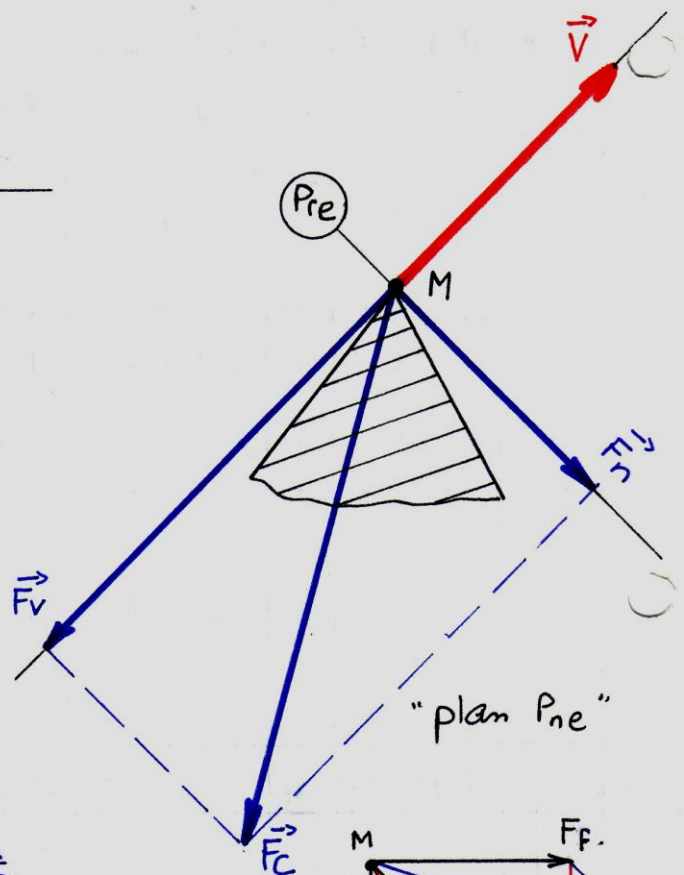
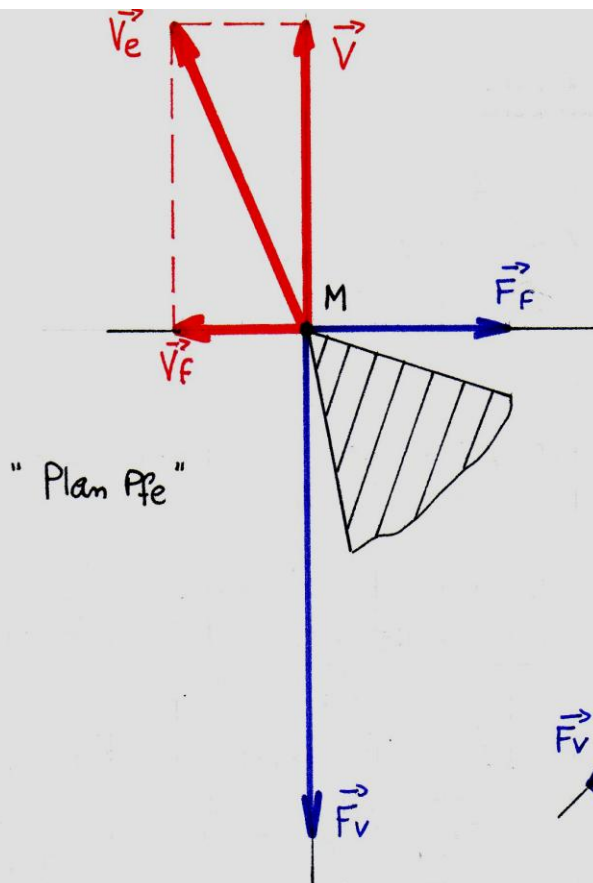
porté par la droite support du vecteur d'avance
supposé " $\vec{V}_f$ ".

Plan "P $_{fe}$ ".

* Effort de répulsion $\boxed{F_p}$

appliqué en M

dû à la pénétration de l'outil dans la pièce
plan "P $_{pe}$ ".



* Effort normal

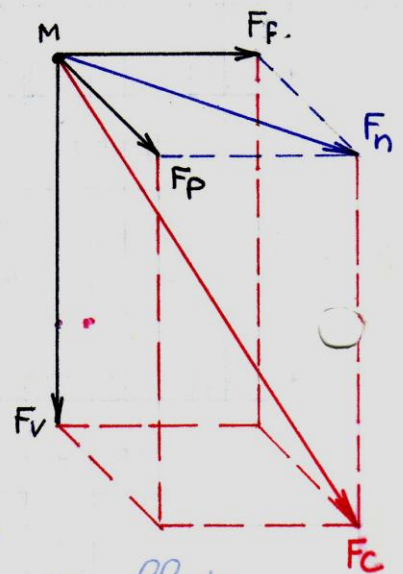
F_n

appliqué en M. - Normal au plan "P_{se}"
 contenu dans le plan "P_{re}". - Résultante des efforts
 F_f et F_p $\vec{F}_n = \vec{F}_f + \vec{F}_p$

* Effort de coupe résultant

F_c

appliqué en M - contenu dans le plan normal "P_{ne}"
 résultante de F_n et F_v. $\vec{F}_c = \vec{F}_n + \vec{F}_v$



2-2 : Mesure expérimentale des composantes

* Leur valeur peut être déterminée à l'aide de nombreux dispositifs permettant de mesurer simultanément les trois composantes de coupe.

* Quelques principes utilisés :

10) Résistance électrique de 3 jauges de contraintes à fil résistant fixées sur l'outil dans les directions des M_a , M_p et M_c

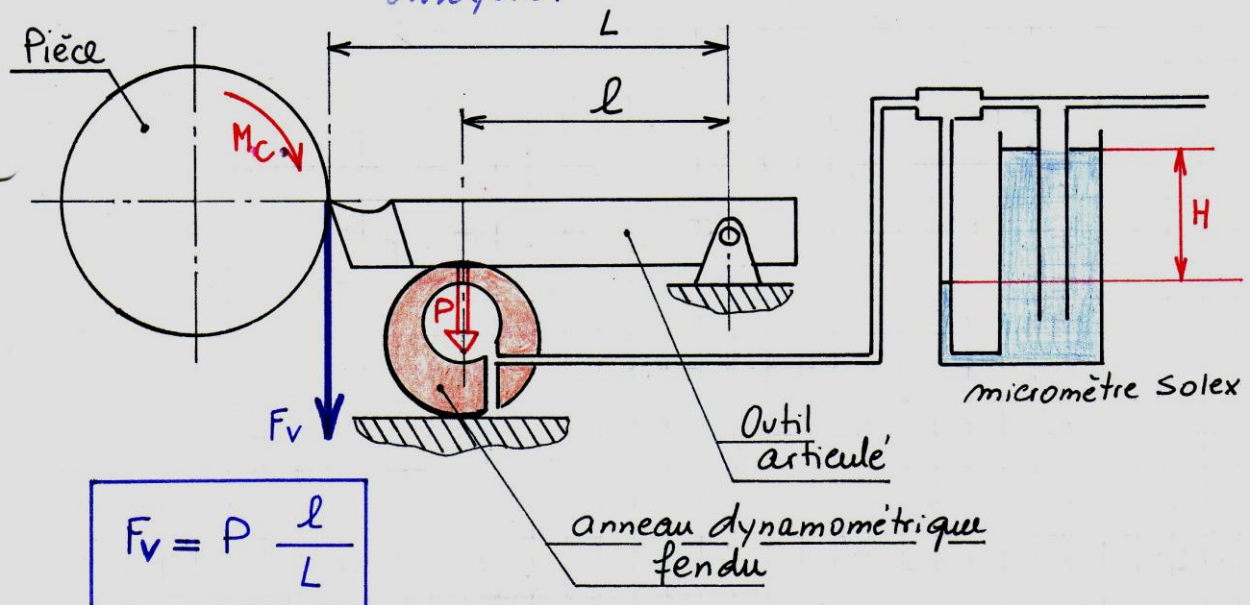
⇒ Cette technique renseigne sur les efforts et leur amplitude.

Elle permet de mesurer des efforts moyens, instantanés et leur fréquence.

20) Déformation de 3 anneaux dynamométriques d'acier, avec fente à guide pneumatique et lecture sur trois amplificateurs Solex.

(Appareil Mécalix)

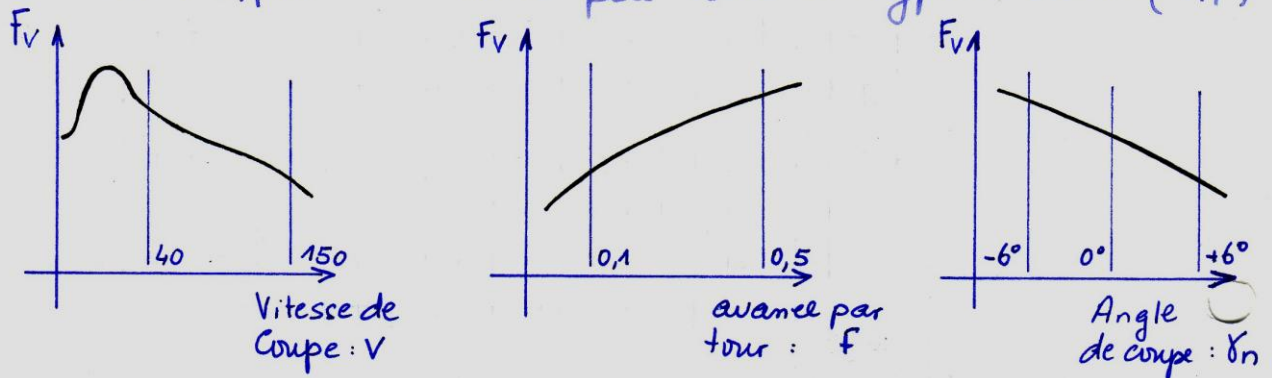
⇒ Cette technique ne mesure que des efforts moyens.



3 - L'effort tangentiel de Coupe "Fv"

3-1 : facteurs influant sur Fv

- * les divers essais expérimentaux montrent que l'effort le plus important que subit l'outil est celui appliqué suivant le H^+ de Coupe : $M_c \rightarrow \vec{V}$
 $\Rightarrow$ l'effort "F" varie peu avec le type d'outil : ($\cancel{Fr}$)



- * Cette représentation est valable pour les outils en AHS et les Carbures métalliques.

3-2 : Valeurs de Fv

- * la valeur trouvée pour F_v est proportionnelle à la section du copeau : $S = f \cdot p$ (mm^2)
- * les mesures expérimentales permettent d'exprimer l'effort tangentiel de coupe par la formule:

$$F_v = K \cdot f^\alpha \cdot p^\beta$$

où α et β sont des exposants
et K un coefficient

$\Rightarrow$ les divers essais donnent : $\alpha = 0,70$ $\beta = 0,994$
et $K = 1577$

$\Rightarrow$ la formule pratique de calcul que nous retiendrons est:

$$F_v = k_s \cdot f \cdot p$$

$\downarrow$ $\downarrow$ $\downarrow$ $\downarrow$
N N/mm^2 mm mm

où " k_s " est un coefficient fonction de K , α et β .

k_s $\Rightarrow$ Effort spécifique de coupe (N/mm^2)

* C'est l'effort nécessaire pour détacher un copeau d' $1mm^2$ de section dans des conditions dynamiques

* On peut admettre en première approximation que " k_s " est proportionnel à la résistance à la rupture par extension du matériau coupé (R_m : résistance maximale)

ACIERS	$k_s = 3 \text{ à } 4 R_m$
FONTES	$k_s = 4 \text{ à } 5 R_m$

NB: En fonction des différentes nuances de matériau, les valeurs conventionnelles de " k_s " sont données dans des tableaux.

* " k_s " varie $\left\{ \begin{array}{l} - \text{Nature du métal (R ou HB)} \\ - \text{avance (f)} \\ - \text{Qualité de l'affûtage} \\ - \text{Conditions de lubrification} \end{array} \right.$

* On retiendra :

k_s	$\nearrow$	quand épaisseur du copeau faible (h)
k_s	$\nearrow$	quand la vitesse diminue exagérément
k_s	$\searrow$	quand l'angle de coupe " γ_n " augmente.

Remarque : R_m : Résistance maximale

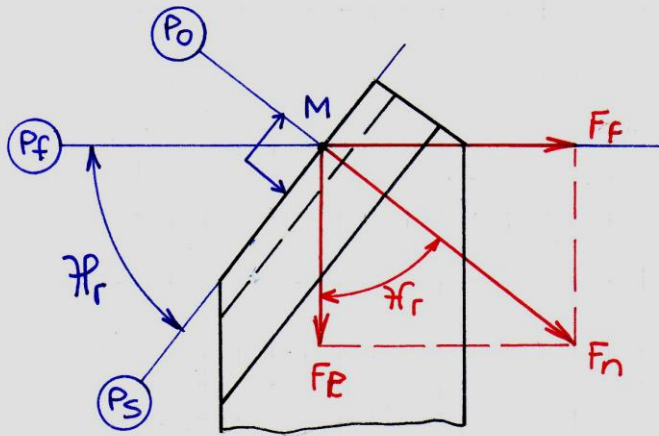
R_p : Résistance pratique $R_p = \frac{R_m}{C_s}$

C_s : coefficient de sécurité.

3-3 : Valeurs de " F_f " et " F_p "

* Dans les relations suivantes on prendra comme hypothèse simplificatrice : $\lambda_s = 0$ $P_{gr} = 0$

$\Rightarrow$ plans (P_n) et (P_s) confondus.



$$F_f = F_n \sin \alpha_r$$

$$F_p = F_n \cos \alpha_r$$

* les essais montrent que F_a et F_p sont également proportionnels à la section du copeau et à k_s .

* Conclusions expérimentales

$$F_n \approx \frac{F_v}{3}$$

$\Rightarrow$ On peut en déduire facilement :

$$F_c \approx F_v$$

$$F_c = [F_v^2 + F_n^2]^{1/2}$$

$$\text{ou } F_c = \sqrt{F_v^2 + F_n^2} \quad \text{or } F_n \approx \frac{F_v}{3}$$

$$F_c = \sqrt{F_v^2 + \frac{F_v^2}{9}} = \sqrt{\frac{10 F_v^2}{9}}$$

$$F_c = F_v \frac{\sqrt{10}}{3} = 1,05 F_v$$

4 - Puissance nécessaire à la coupe

- * La puissance absorbée par la coupe est le produit de l'Effort de Coupe par la vitesse moyenne.

$$P_a = F_v \cdot V$$

$\downarrow$ $\downarrow$ $\downarrow$
W N m/s

⇒ la formule pratique de calcul à retenir:

$$P_a = \frac{F_v \cdot V_r}{60}$$

$\rightarrow$ m/mn

⇒ Cette formule est applicable dans le cas d'une coupe en Translation
Ex: Rabotage, brochage

- * Dans le cas d'une coupe en rotation
Ex: Tournage, perçage, fraisage
on peut utiliser la formule suivante

$$P_a = C_m \cdot \omega$$

$\downarrow$ $\downarrow$ $\downarrow$
W m.N rad/s

avec :

$$V = \pi D N$$

$\downarrow$ $\downarrow$ $\downarrow$
m/mn m tr/mn

et

$$\omega = \frac{\pi N}{30}$$

$\downarrow$ $\rightarrow$ tr/mn.
rad/s

* Etant donné que les résistances passives (frottements) des organes de transmission (courroies - engrenages ...) sont à vaincre en plus de l'effort de coupe:

⇒ la puissance motrice P_m doit être supérieure à la puissance absorbée P_a

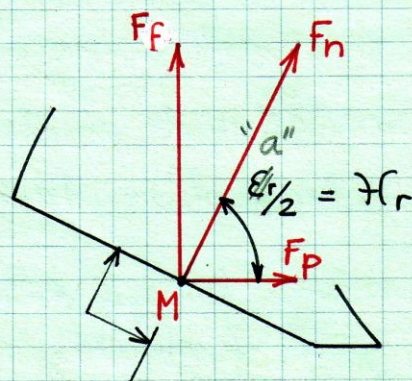
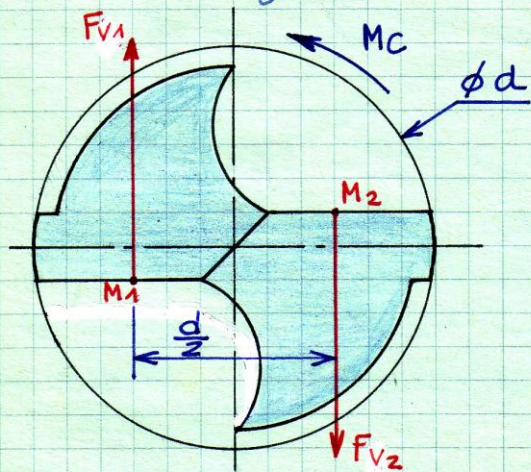
En admettant que le rendement global d'une M.O soit " η " (êta):

$$\eta = \frac{P_a}{P_m}$$

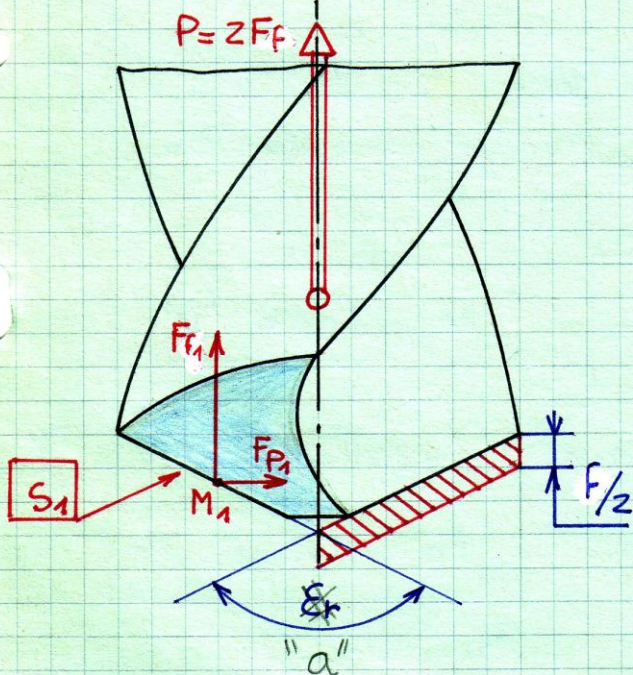
généralement : $0,7 < \eta < 0,8$

5 - Efforts de Coupe dans les travaux de PERCAGE

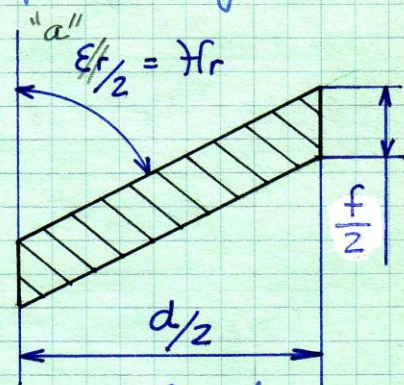
- * le foret possède 2 arêtes coupantes S_1 et S_2 , qui se comportent comme des outils de Tour en rotation.
- * A chaque arête s'applique, en son milieu, un effort tangentiel de coupe " F_v ".



- * Si " f " est l'avance par tour, chaque arête taille un copeau d'épaisseur " $f/2$ ".



- * la section du copeau est un parallélogramme



$$S = \frac{f}{2} \cdot \frac{d}{2}$$

$$S = \frac{f \cdot d}{4}$$

5-1: Valeurs des composantes de coupe

Isolons l'arête de coupe S_1 du foret et effectuons le recensement des efforts auxquels elle est soumise au moment du perçage:

→ Effort d'avance : F_{f1}

→ Effort radial : F_{p1}

→ Effort tangentiel : F_{v1}

En raison de l'action symétrique du métal sur les arêtes de coupe.

⇒ Effort de pénétration : $P_f = F_{f1} + F_{f2}$

⇒ Deux efforts tangentiels : $F_{v1} = F_{v2}$

⇒ NB: Du fait de la symétrie des arêtes S_1 et S_2 (affûtage correct) les efforts radiaux s'annulent.

* Effort tangentiel

$$F_{v1} = F_{v2} = k_s S$$

→ pour les Travaux de Perçage on adoptera :

$$k_s = 4 \cdot R_m$$

$$F_{v1} = F_{v2} = \frac{k_s \cdot F \cdot d}{4}$$

$$\text{et } F_c \approx F_v$$

* Efforts " F_f " et " F_p " : avec l'hypothèse $F_v \approx \frac{F_v}{3}$

$$F_f = F_n \sin \alpha_r$$

$$F_p = F_n \cos \alpha_r$$

5-2 : Couple de Perçage

* les 2 efforts " F_v " appliqués à chaque arête, constituent un couple résistant que la machine doit vaincre

Ce couple a pour valeur :

$$C_m = F_v \times \frac{d}{2}$$

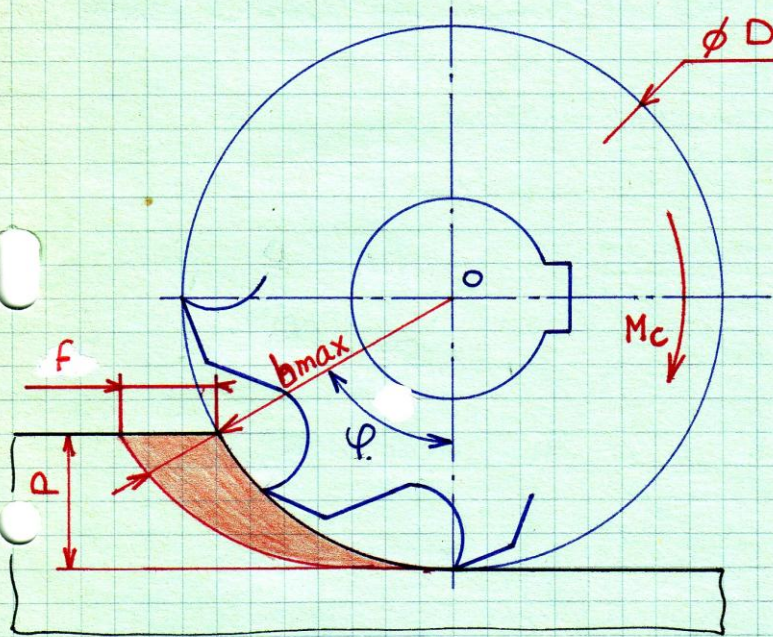
⇒

$$C_m = \frac{k_s \cdot F \cdot d^2}{8}$$

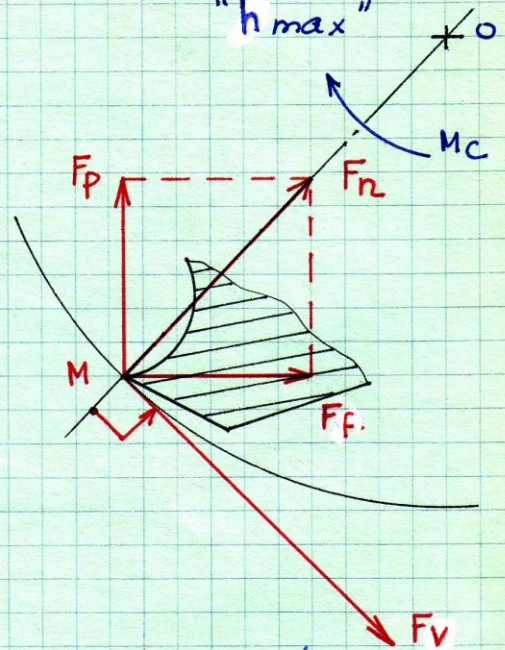
6 - Efforts de Coupe dans les travaux de FRAISAGE

6-1 Cas d'une fraise à denture droite. Fraisage de profil.

* les efforts qui s'appliquent successivement à chaque dent en prise avec la matière sont :



- avance par dent : " f "
- profondeur de passe : " p "
- épaisseur maxi du copeau : " h_{max} "



Diamètre de la fraise : ϕD .
Nombre de dents : Z .
largeur de coupe : l .

⇒ Résumé des efforts

- * Effort tangentiel " F_v " : normal au rayon qui aboutit à l'arête
- * Effort d'avance " F_f " : parallèle au " M_c " : porté par la droite support du vecteur opposé d'avance " $\vec{v}_f$ "
- * Effort de pénétration " F_p " : perpendiculaire à " F_f "

⇒ les efforts " F_f " et " F_p " admettent une résultante " F_n " : effort normal à l'axe, à tendance à faire fléchir l'arbre porte-fraise.

* Remarque : l'épaisseur du copeau varie de la valeur zéro jusqu'à un maximum " h_{max} " qui dépend de la profondeur de passe " p " et du rayon de la fraise

$\Rightarrow$ On peut dire que la section du copeau

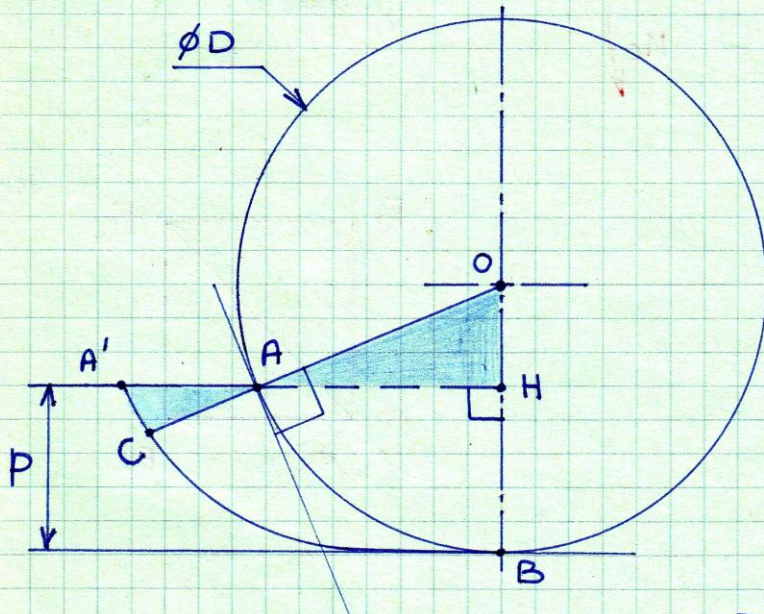
$S = h \times l$ est essentiellement variable.

$\Rightarrow$ la valeur de " F_v " est essentiellement variable

$\Rightarrow$ il en résulte des déformations pour l'arbre porte-fraie

$\Rightarrow$ des vibrations continues

* Calcul de l'épaisseur maximum :



* $OA = \frac{D}{2}$

* $OH = \frac{D}{2} - p$

* $AC = h_{max}$

* $AA' = f$

* Assimilons le triangle curviligne $A'CA$ à un triangle rectangle en C

$\Rightarrow \triangle AOH$ et $\triangle A'CA$ ont des triangles semblables

$\Rightarrow \frac{AC}{AA'} = \frac{AH}{AO}$

$AH = \sqrt{OA^2 - OH^2}$

$AH = \sqrt{p(D-p)}$

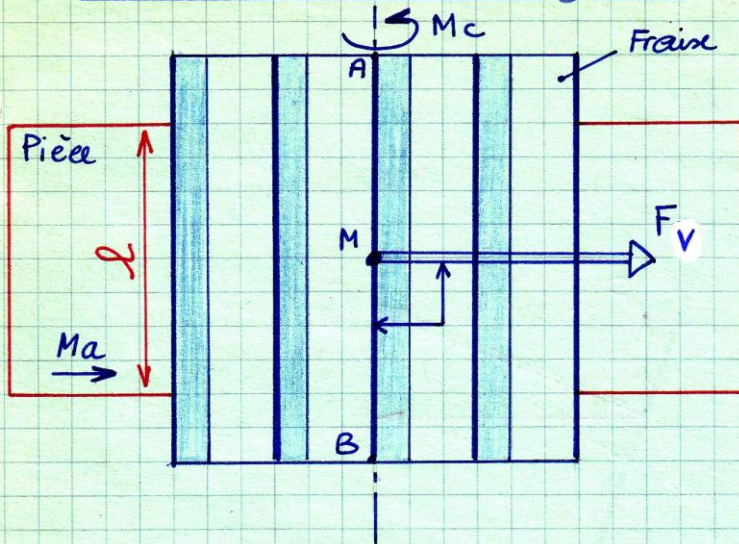
$\Rightarrow h_{max} = \frac{2f}{D} \sqrt{p(D-p)}$

Dans la majorité des cas : D est grand par rapport à p .

$\Rightarrow$ on peut assimiler $D-p \sim D$

$\Rightarrow e_{max} = \frac{2f}{D} \sqrt{pD}$

* Valeur de l'Effort tangentiel



* l'effort tangentiel " F_v " est perpendiculaire à l'arête tranchante AB.

* largeur de coupe " l "

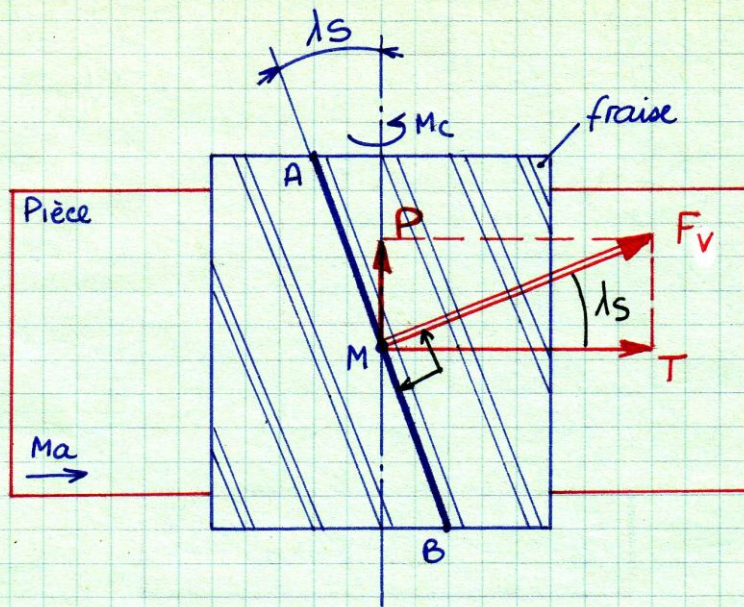
$$S = h_{max} \cdot l$$

$$F_v = k_s \cdot S$$

$$\Rightarrow F_v = k_s \cdot h_{max} \cdot l$$

NB: Pour les calculs de Puissance, dans le cas de la fraise à denture droite, nous supposons qu'il n'y a qu'une seule dent en prise, car lorsque cette dent coupe au max d'épaisseur, la suivante n'est que très peu engagée.

6-2 : Cas d'une fraise à denture hélicoïdale Fraisage de profil.



* Effort tangentiel "F_v" : tangentiel à la surface cylindrique décrite par la fraise et perpendiculaire à l'arête tranchante.

⇒ Il agit sur l'outil suivant deux composantes :

a) Composante normale "T" : perpendiculaire à l'axe de la fraise

b) Poussée axiale "P" : parallèle à l'axe de la fraise, équilibrée par la butée porte-fraise.

⇒ "λ_s" indiquant l'inclinaison de denture.

NB : P ↗ quand λ_s ↗

$$T = F_v \cos \lambda_s$$

$$P = F_v \sin \lambda_s$$

⇒ On remarquera que la composante normale "T" est égale à l'effort tangentiel "F_v" d'une fraise à denture droite ayant la même avance "F" et la même largeur de coupe "l".

$$T = k_s h_{\max} \cdot l$$

* Couple de Fraisage :

$$C_m = T \times \frac{D}{2}$$

6-3 : Cas du Fraisage en bont

Rappels : le fraisage en bont est assimilé à un travail d'enveloppe.

les dents de la fraise travaillent dans des conditions voisines de'un outil de tour à chariot ou à dresser.

⇒ Dans la pratique l'avance par tour " $f \cdot z$ " ne dépassant jamais le dixième du diamètre de la fraise, les trajectoires cycloïdales des dents peuvent être assimilées à des cercles.

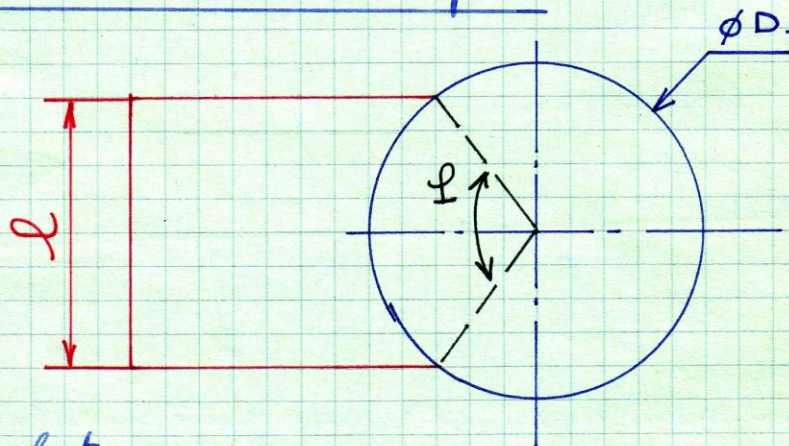
⇒ l'épaisseur du copeau peut donc être considérée constante.

⇒ On adoptera comme section de coupe " $S = p \times l$ "

p → profondeur de passe

l → largeur du surfacage.

⇒ Calcul du nombre de dents en prise



z_x : Nbre de dents en prise

z : Nbre de dents de la fraise

$$z_x = \frac{z \times l}{360^\circ}$$

$$\sin \frac{p}{2} = \frac{l}{D}$$