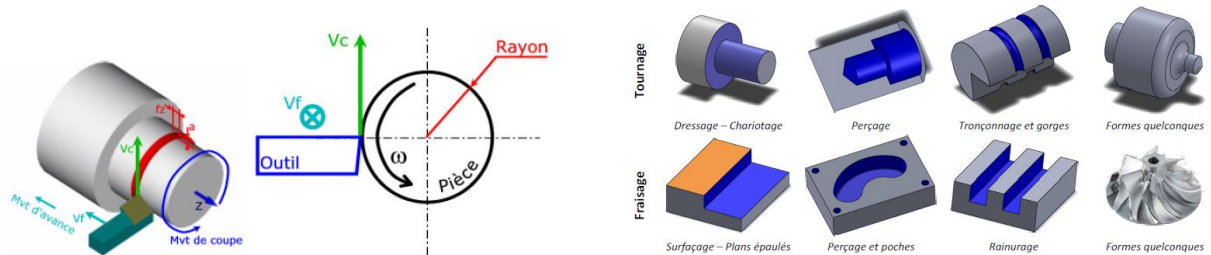


Cycle 7: Analyser et mettre en place un processus de fabrication par une approche PMP

Chapitre 1 : Procédés d'obtention des pièces finies par enlèvement de matière



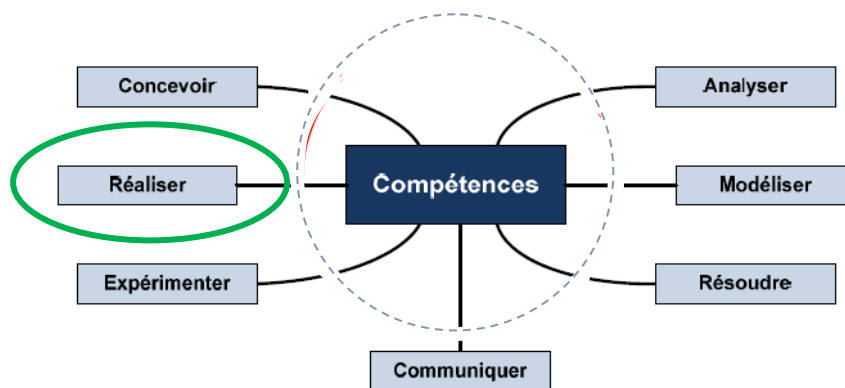
Problématique

Quelles sont les principales opérations d'usinage ? Quels sont les paramètres de coupe en tournage et fraiseage ? Comment calculer une puissance de coupe ? Quelles sont les différentes typologies de MOCN (axes, origines...) ?

Savoir

A. Analyser:

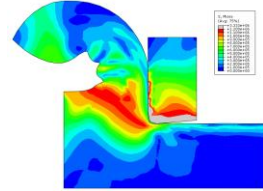
- Identifier les différentes opérations en tournage et fraiseage
- Déterminer les conditions de coupe
- Calculer une puissance de coupe
- Définir et différencier les typologies de MOCN



1. Introduction - Les procédés par enlèvement de matière : USINAGE

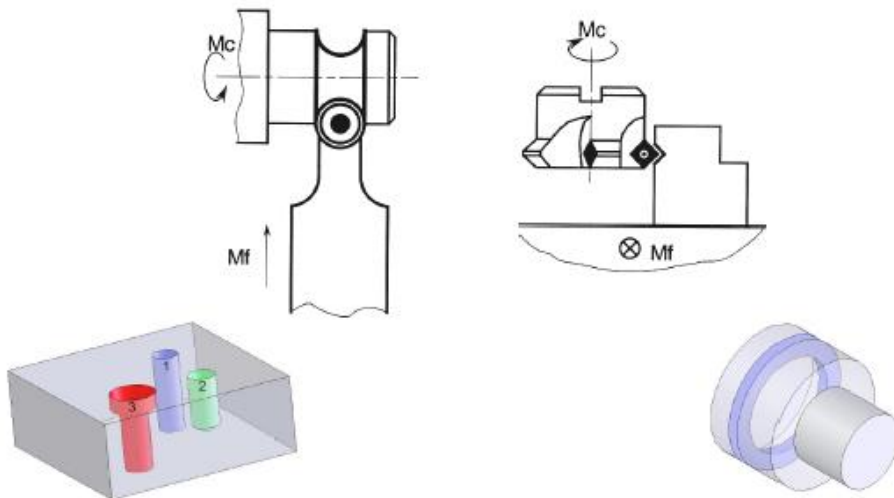
Consiste à obtenir la forme finale par **arrachements de petits morceaux de matière** (copeaux). De manière générale on appelle **usinage** ces procédés.

L'**usinage** est une famille de techniques de fabrication de pièces mécaniques. Le principe de l'usinage est d'enlever de la matière de manière à donner à la pièce brute la forme voulue, à l'aide d'une **machine outil**. Par cette technique, on obtient des pièces d'une **grande précision**.

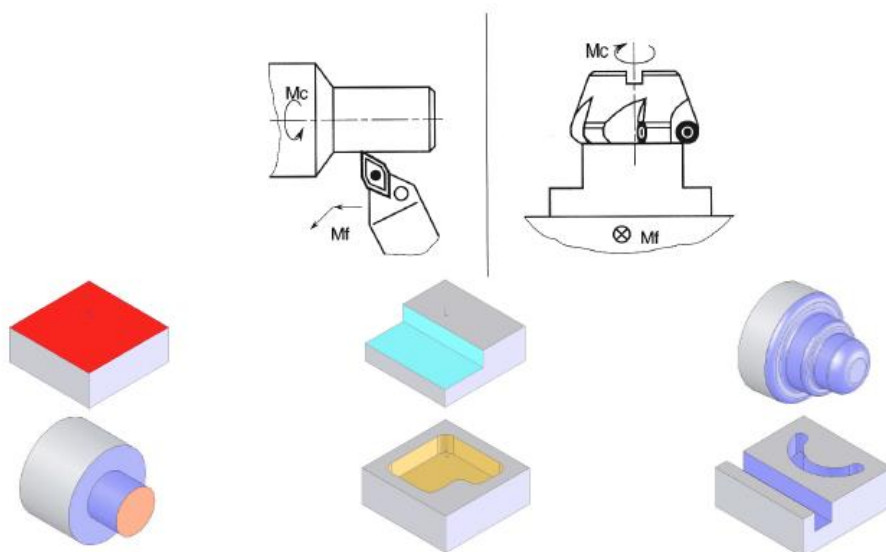


Il existe **deux manières de générer** la **surface** recherchée :

- par **travail de forme** : le profil de la surface est donné par le tracé de l'arête tranchante



- par **travail d'enveloppe** : le profil de la surface est donné par l'enveloppe des positions successives de l'outil



2. Le FRAISAGE

2.1. Définition

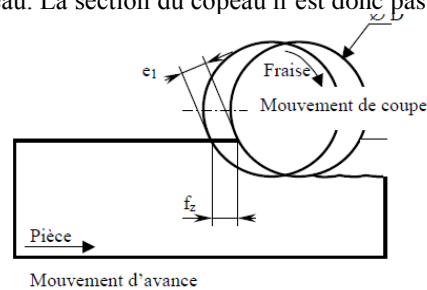
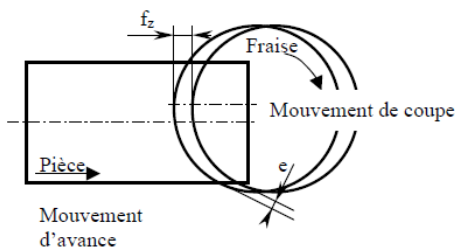
Définition

Fraisage

Le fraisage est une opération d'usinage qui permet de réaliser tout type de surface. Le **mouvement de coupe** est assuré par une rotation de l'outil. Le **mouvement d'avance** est assuré par des translations. Suivant la structure de la machine, les translations peuvent être réalisées par la pièce ou par l'outil.

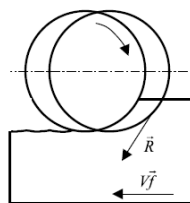
2.2. Forme du copeau

La **section du copeau** est égale au produit $a \times f$ où « a » représente la profondeur de passe et f l'avance. Or, dans le cas du fraisage, la valeur de l'avance varie le long du copeau. La section du copeau n'est donc pas constante.

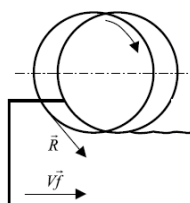


On distingue deux modes de travail :

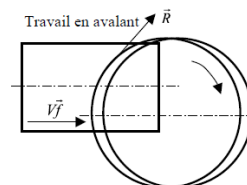
- Le travail en **avalant** (en concordance)
- Le travail en **opposition**



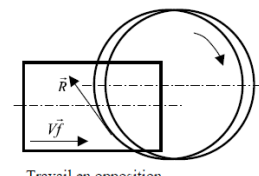
Travail en avalant



Travail en opposition



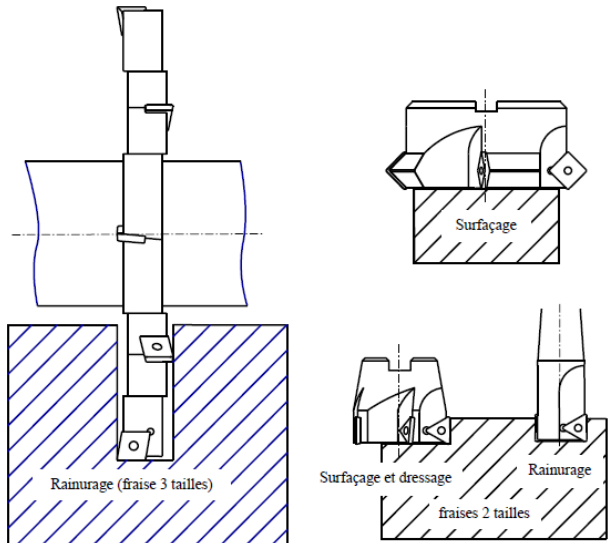
Travail en avalant



Travail en opposition

Procédés d'obtention des pièces par enlèvement de matière

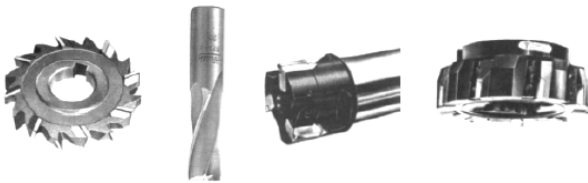
2.3. Les opérations, outils et conditions de coupe



$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D}$$

N : fréquence de rotation en tours/min
 Vc : vitesse de coupe en m/min
 D : diamètre de la fraise en mm

Vc : dépend du couple matériaux pièce/outil

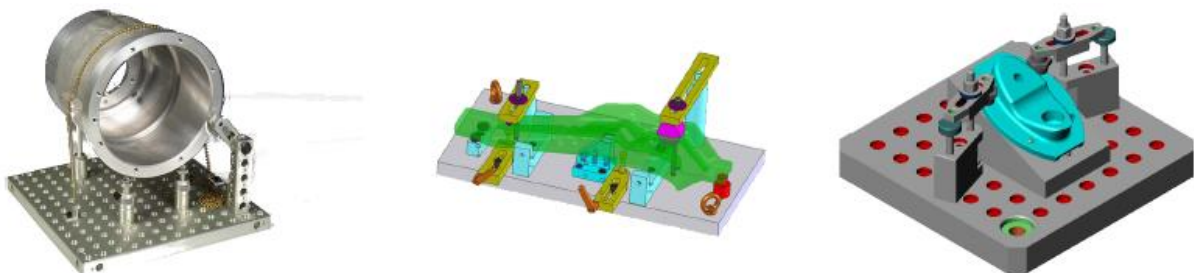


2.4. Les portes pièces

Les portes pièces désignent les **étaux** ou encore les plateaux magnétiques. Ils sont utilisés lors de la fabrication de pièces unitaires. Leur coût est relativement faible.



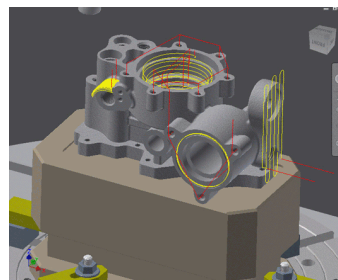
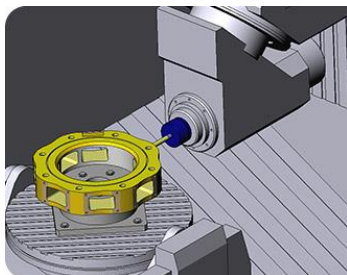
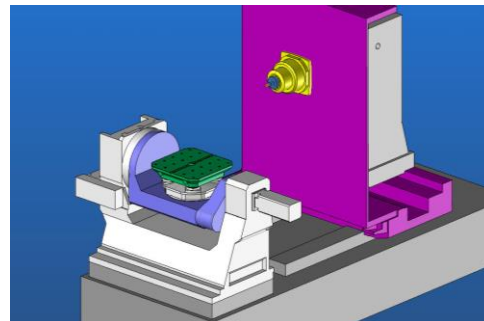
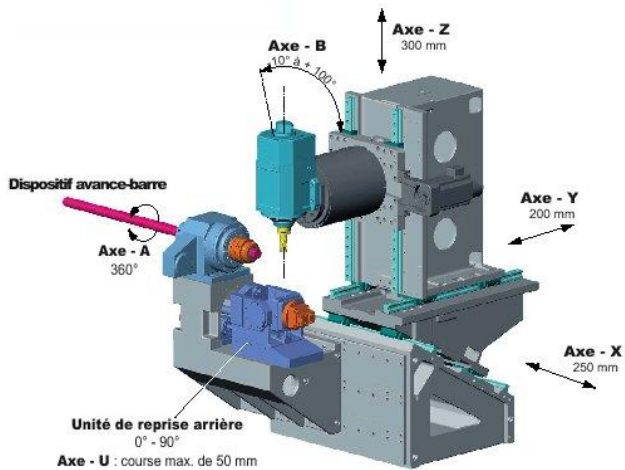
Les **portes pièces modulaires** sont utilisés pour la fabrication de pièces en moyenne série. Ils sont composés de modules standards qui permettent de mettre en position la pièce et de la maintenir en position. Ces portes pièces nécessitent un investissement dans l'achat des modules ainsi qu'un coût d'étude avant d'industrialiser la pièce.



Procédés d'obtention des pièces par enlèvement de matière

2.5. Les fraiseuses

- Fraiseuse classique 3 axes (X, Y, Z) : 3 chariots + 1 broche verticale Z ou horizontale Z
- Fraiseuse 4 axes : fraiseuse 3 axes à broche horizontale + plateau tournant B
- Fraiseuse 5 axes : fraiseuse 3 axes + 2 axes rotatifs parmi A, B, C (sur tête orientable ou sur table : plateau diviseur)



Magasin d'outil sur centre d'usinage

3. Le TOURNAGE

3.1. Définition

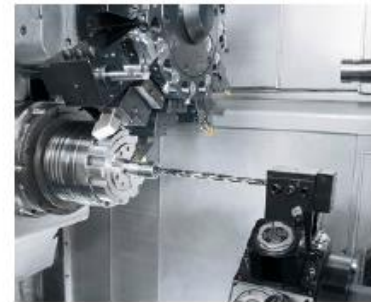
| | | |
|------------|--|--|
| Définition | <p>Tournage</p> <p>Le tournage est une opération d'usinage qui permet de réaliser des surfaces de révolution. Le mouvement de coupe est assuré par une rotation de la pièce autour de l'axe de révolution. Le mouvement d'avance est assuré par des translations de l'outil dans un plan contenant l'axe de révolution.</p> | |
|------------|--|--|



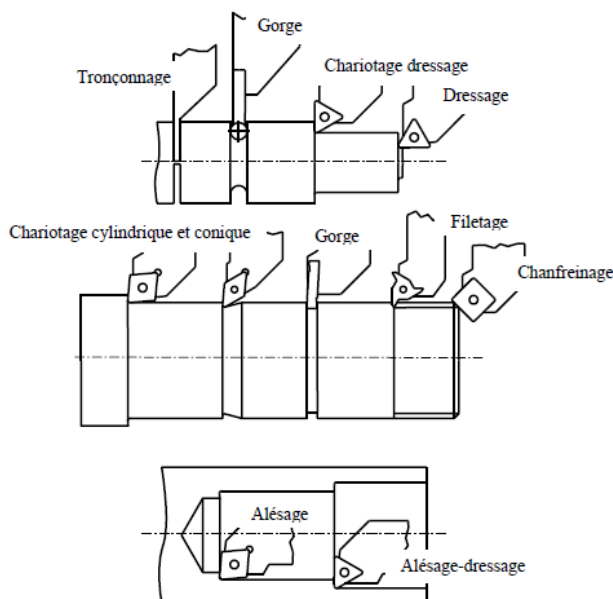
Procédés d'obtention des pièces par enlèvement de matière

3.2. Les tours

- **Tour classique 2 axes (X, Z) : 2 chariots + 1 mandrin axe Z**
- **Tour 3 axes : tour classique + mandrin asservi en position**
- **Tour 4 et 5 axes : idem 3 axes mais avec tourelles motorisées**



3.3. Les opérations, outils et conditions de coupe



$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D}$$

N : fréquence de rotation en tours/min
 Vc : vitesse de coupe en m/min
 D : diamètre usiné en mm



Outils à plaquettes carbures



Procédés d'obtention des pièces par enlèvement de matière

4. Les origines en CN

Problématique :

Comme cela a déjà été évoqué plus haut, les consignes, notamment celles concernant les déplacements des éléments mobiles (tourelle porte-outils, broche de fraiseuse, tables, ...) sont élaborées par le directeur de commande à partir du programme (code ISO). Dans ce programme **les coordonnées des points à atteindre par l'outil sont données par rapport à une origine (origine programme OP)** définie par le programmeur en fonction d'impératifs technologiques ou fonctionnels. Cette origine programme est généralement liée à la pièce à usiner. Or, d'une part les **déplacements des éléments mobiles s'effectuent par rapport à une origine liée à la machine (origine mesure Om)**, d'autre part au cours d'une même phase sont utilisés des outils de tailles différentes. Il faut donc construire un système de repérage permettant de faire correspondre, au cours de l'usinage, la position de l'arête de l'outil connue par rapport à l'origine mesure (consigne élaborée par le directeur de commande) avec les coordonnées données par le programme.

Les différentes origines :

Origine machine OM : position physique d'un point de l'élément mobile, butée détectée par un contact électrique lors de l'initialisation ou Prise Origine Machine (POM).

Origine mesure Om : c'est la référence des déplacements de la machine pour le calculateur (correspond au zéro des règles). Il s'agit d'un point arbitraire, défini par le constructeur par rapport à un repère physique sur chaque élément mobile.

Origine programme OP : c'est l'origine d'un système d'axes associé à la pièce, proche de la cotation, qui sert à réaliser facilement la programmation. Cette origine est indépendante de l'origine mesure.

Origine porte-pièce Opp : face avant au centre du mandrin pour un tour, point de l'étau pour une fraiseuse

Origine porte-outil Opo : point fixation outil/porte outil (point piloté par la CN)

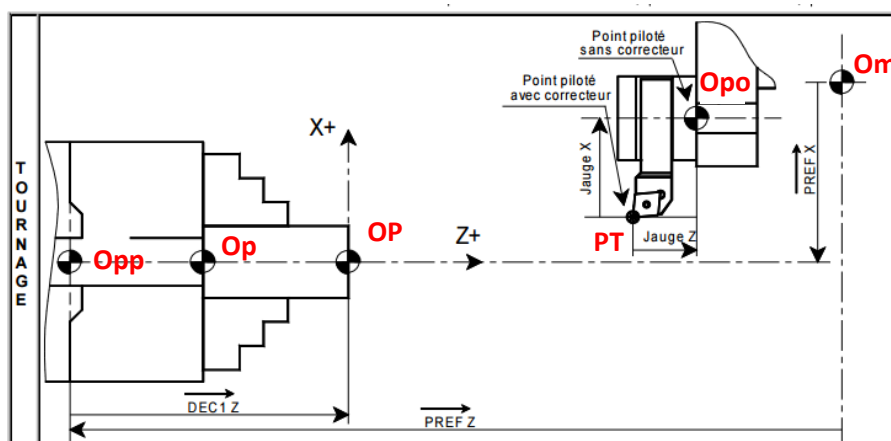
Origine pièce : indépendante du système de mesure l'origine pièce est définie par un point facilement accessible de la pièce sur lequel il est possible de se positionner pour prendre une référence .

Point générateur PT: c'est le point extrémité de l'outil

Prise de référence PREF : en référence au modèle donné précédemment, le paramètre PREF représente la distance entre un élément de référence de la machine et l'origine mesure sur chaque axe; Cet élément de référence pouvant être la face avant du mandrin, le plan d'appui du mandrin sur le nez de broche,..

Décalage DEC1: en référence au modèle donné, le paramètre DEC1 représente la distance entre l'élément de référence et l'origine programme.

Les jauges d'outil : elles représentent la distance qui sépare le point générateur de l'outil au point courant (PT COUR). Cette distance est généralement positive; elle est mesurée parallèlement aux axes de la machine.





Procédés d'obtention des pièces par enlèvement de matière

5. Efforts de coupe et puissance

L'étude et l'évaluation des efforts de coupe présente un intérêt en usinage principalement :

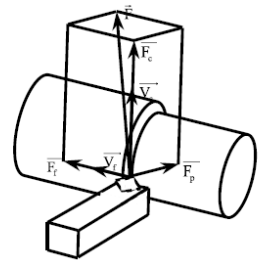
- Pour dimensionner les outils et les éléments de machine-outil ;
- Pour maîtriser l'apparition des vibrations (broutage) ;
- Pour évaluer la puissance

5.1. Les efforts de coupe

Nous ferons l'hypothèse que les actions mécaniques provoquées par l'outil sur la pièce peuvent être représentées par un glisseur qui passe par le milieu de l'arête utile de coupe. La fig. ci-dessous met en évidence ce glisseur, la vitesse de coupe et la vitesse d'avance de l'outil par rapport à la pièce au point O.

Lors de la coupe, on peut considérer que les actions mécaniques provoquées par l'outil sur la pièce représentées par le glisseur sont équivalentes à la somme vectorielle de trois forces représentées par les vecteurs F_c , F_f , F_p .

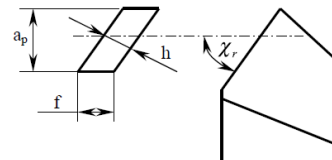
- ✓ \vec{F}_c force parallèle à la vitesse de coupe \vec{V}_c ;
- ✓ \vec{F}_f force parallèle à la vitesse d'avance \vec{V}_f ;
- ✓ \vec{F}_p force perpendiculaire au plan défini par \vec{V}_c et \vec{V}_f .



5.2. Pression spécifique de coupe Kc

La pression spécifique de coupe **Kc est exprimée en N/mm2**. Elle exprime l'effort nécessaire pour couper un copeau de 1 mm2 de section. La valeur de Kc est obtenue expérimentalement mais varie en fonction :

- ✓ du matériau usiné (résistance à la traction R_r pour les aciers, dureté brinell pour les fontes et les alliages)
- ✓ de l'épaisseur du copeau h
- ✓ de l'angle de coupe



Dans un sujet SiB ou SiC, la valeur de Kc sera à chercher dans un tableau comme suit :

| Matière | Résistance R_r ou dureté HB | Pression spécifique de coupe pour une épaisseur h de : | | | |
|-----------|-------------------------------|--|------|------|------|
| | | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 |
| C35 ; C40 | 500 à 600 MPa | 3700 | 2800 | 2050 | 1500 |
| FGL 200 | HB 200 à 250 | 290 | 2080 | 1500 | 1080 |

L'intensité de l'effort de coupe peut s'exprimer de la façon suivante :

$$F_c = K_c \times f \times a_p$$

- F_c : effort de coupe en N
- K_c : pression spécifique de coupe en N / mm2
- f : avance en mm / tour
- a_p : profondeur de passe en mm



Procédés d'obtention des pièces par enlèvement de matière

5.3. Puissance de coupe en tournage

L'estimation de la puissance nécessaire pour réaliser une opération d'usinage est indispensable. Elle permet de savoir si la **machine est suffisamment puissante pour réaliser l'opération** et elle permet d'adapter les paramètres de coupe. La puissance absorbée par la broche s'exprime par :

$$P_c = F_c \times V_c$$

$$P_c = \frac{K_c \times f \times a_p \times V_c}{60 \cdot 10^3}$$

P_c : puissance en W

K_c : pression spécifique de coupe en Mpa

f : avance en mm / tour

a_p : profondeur de passe en mm

V_c : vitesse de coupe en mm / mn

Nota : formule souvent donnée au concours

5.4. Puissance de coupe en fraisage

On utilise une expression globale pour le calcul de la puissance nécessaire :

$$P_c = K_c \times Q$$

P_c : puissance en W

K_c : pression spécifique de coupe en MPa

Q : débit de copeau réalisé par la fraise

Le débit est fonction de la section usinée et de la vitesse d'avance :

$$Q = a_p \times a_e \times V_f \quad \text{avec} \quad V_f = f_z \times Z \times N$$

a_p : profondeur de passe en mm

a_e : largeur de passe en mm

f_z : avance en mm/dent/tour

Z : nombre de dents de la fraise

N : fréquence de rotation de la broche en tr/min

$$P_c = \frac{K_c \times a_p \times a_e \times f_z \times Z \times N}{60 \times 10^3}$$