

Cycle 3: Etude et conception des systèmes mécaniques

Produits - Matériaux - Procédés-

Chapitre 4 – Procédés d'obtention des pièces par enlèvement de matière



Tour à bois



Fraises de dentiste



Polissage d'un moule



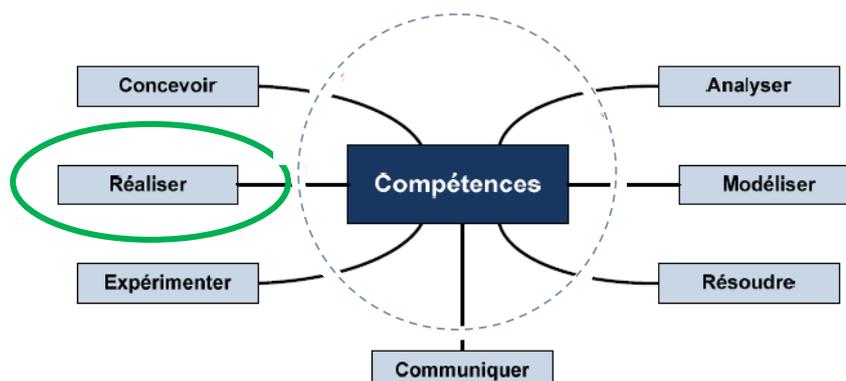
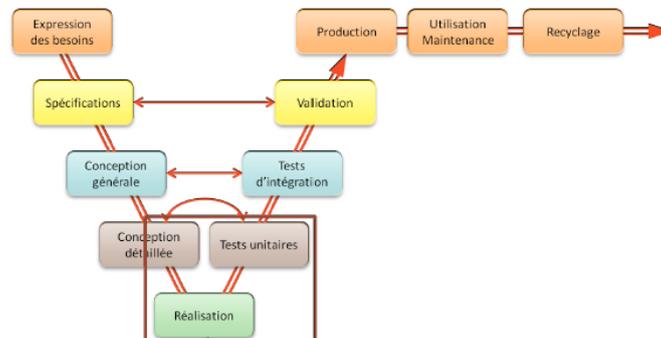
Taille d'un engrenage à la fraise mère

Problématique

- Quels sont les opérations à réaliser sur un produit pour atteindre sa géométrie finale ? Quelle est l'influence du procédé sur la géométrie du produit ?

Compétences :

- Réaliser :
 - Réa-C1.2 : Procédés d'obtention des surfaces par enlèvement de matière
 - Réa C2 : Mise en place d'un processus de fabrication



Sommaire

1. <u>Introduction - usinage</u>	3
2. <u>Tournage-Fraisage, les surfaces générées</u>	3
3. <u>Le Tournage</u>	4
3.1. Définition	4
3.2. Cellule élémentaire d'usinage	4
3.3. Axes machines	4
3.4. Comparaison entre les machines conventionnelles et à commande numérique	5
3.5. Les portes outils	7
3.6. Les outils	7
3.7. Les opérations de tournage	8
3.8. Les portes pièces	9
3.9. Montage isostatique des pièces	10
3.10. Le contrat de phase	11
3.11. Ordonnancement des phases	12
3.12. Conditions de coupe	13
4. <u>Le fraisage</u>	15
4.1. Définition	15
4.2. Axes machines	15
4.3. Les portes outils	17
4.4. Les outils	17
4.5. Les opérations	18
4.6. Portes pièces	19
4.7. Mise en position isostatique des pièces	20
4.8. Conditions de coupe	21
5. <u>Taillage des engrenages</u>	23
6. <u>La rectification</u>	23



PMP : Procédés d'obtention des pièces par enlèvement de matière

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

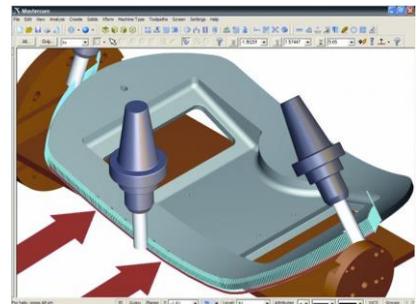
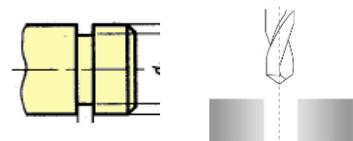
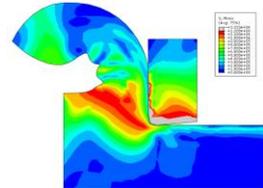
Consiste à obtenir la forme finale par **arrachements de petits morceaux de matière** (copeaux). De manière générale on appelle **usinage** ces procédés.

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**.

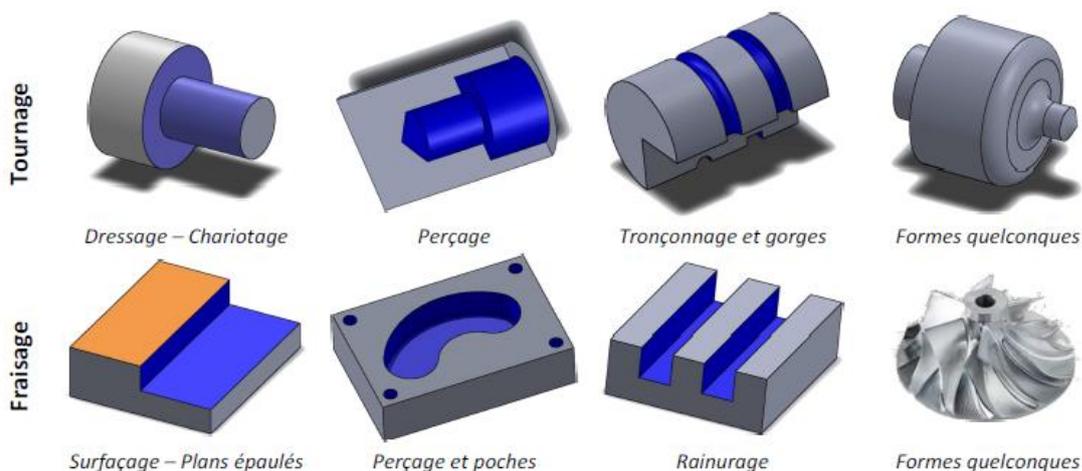
Il existe **deux manières de générer la surface** recherchée : par **travail de forme** ou par **travail d'enveloppe**.

Travail de forme = forme de l'arête tranchante de l'outil qui conditionne la surface obtenue (perçage d'un trou, réalisation d'une gorge...)

Travail d'enveloppe = conjonction des mouvements de coupe et d'avance qui définit la surface finale



2. Tournage – fraisage et surfaces générées



3. Le TOURNAGE

3.1. Définition

Définition

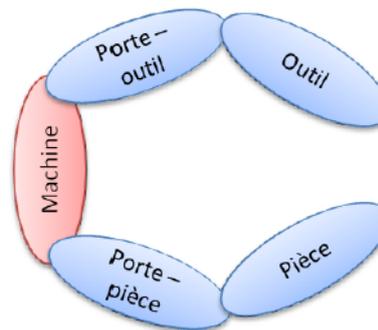
Tournage

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.

3.2. Cellule élémentaire d'usinage

Les systèmes de production sont constitués des éléments suivants :

- la machine : dans notre cas la machine est un tour. Il est dit conventionnel quand les déplacements des axes sont directement générés par un opérateur. Il est dit à commande numérique lorsque les déplacements des axes et la gestion de la machine se fait par une commande numérique, autrement dit, un ordinateur;
- le porte-outil permet de faire l'interface entre la tourelle de la machine et l'outil;
- l'outil coupant permet de réaliser des opérations de tournage sur une pièce;
- le porte pièce permet de faire l'interface entre la machine et la pièce;
- la pièce est le produit à usiner.



3.3. Axes machines

Sur les centres d'usinage, le choix des axes de déplacement est normalisé. Cela est notamment nécessaire dans le cas de la programmation des commandes numériques afin qu'un programme soit plus facilement transmissible d'une machine à une autre.

Le nombre d'axes est donné par les mouvements d'avance. Le plus communément les tours sont des machines à 2 axes.

D'après la norme :

- l'axe \vec{Z}_m est parallèle à l'axe de rotation de la broche. Le sens positif est donné par l'éloignement de l'outil par rapport à la pièce;
- l'axe \vec{X}_m est perpendiculaire à l'axe \vec{Z}_m . Il a la direction du plus grand déplacement. Le sens positif est donné par l'éloignement de l'outil par rapport à la pièce;
- l'axe \vec{Y}_m est tel que le trièdre $(\vec{X}_m, \vec{Y}_m, \vec{Z}_m)$ soit orthonormé direct.



Axes normalisés sur un tour conventionnel

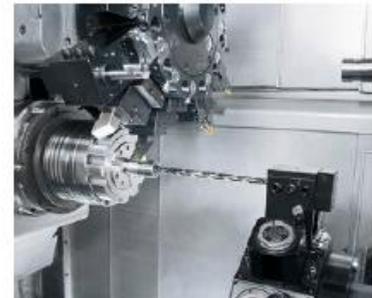
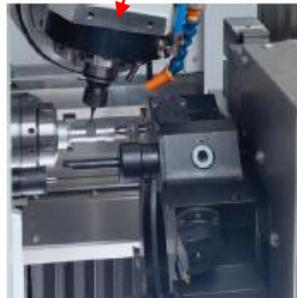
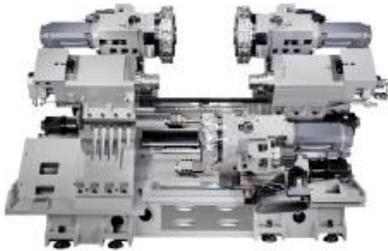


Axes normalisés sur un tour à commandes numériques

PMP : Procédés d'obtention des pièces par enlèvement de matière

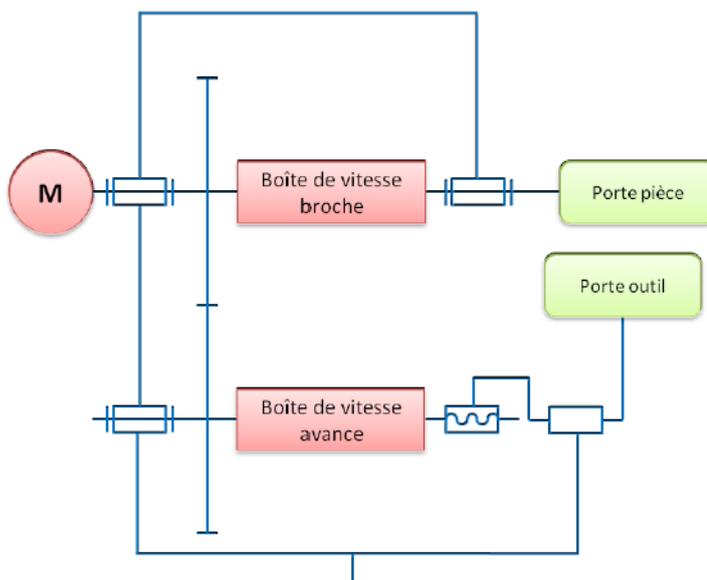
Les tours:

- **Tour classique 2 axes (X, Z) :** 2 chariots + 1 mandrin axe Z
- **Tour 3 axes :** tour classique + porte outil motorisé (fraise)
- **Tour 4 et 5 axes :** idem 3 axes mais avec plusieurs tourelles



3.4. Comparaison entre les machines conventionnelles et à commande numérique

Sur les machines conventionnelles, une fois la vitesse d'avance fixée, les distances de déplacement sont directement gérées par l'opérateur. Les mouvements des machines conventionnelles sont assurés par un **moteur asynchrone**. Elles sont équipées de **deux boîtes de vitesses** mécaniques. La première permet de fixer la **vitesse d'avance** de l'outil. La seconde permet de choisir la **fréquence de rotation** de la broche.

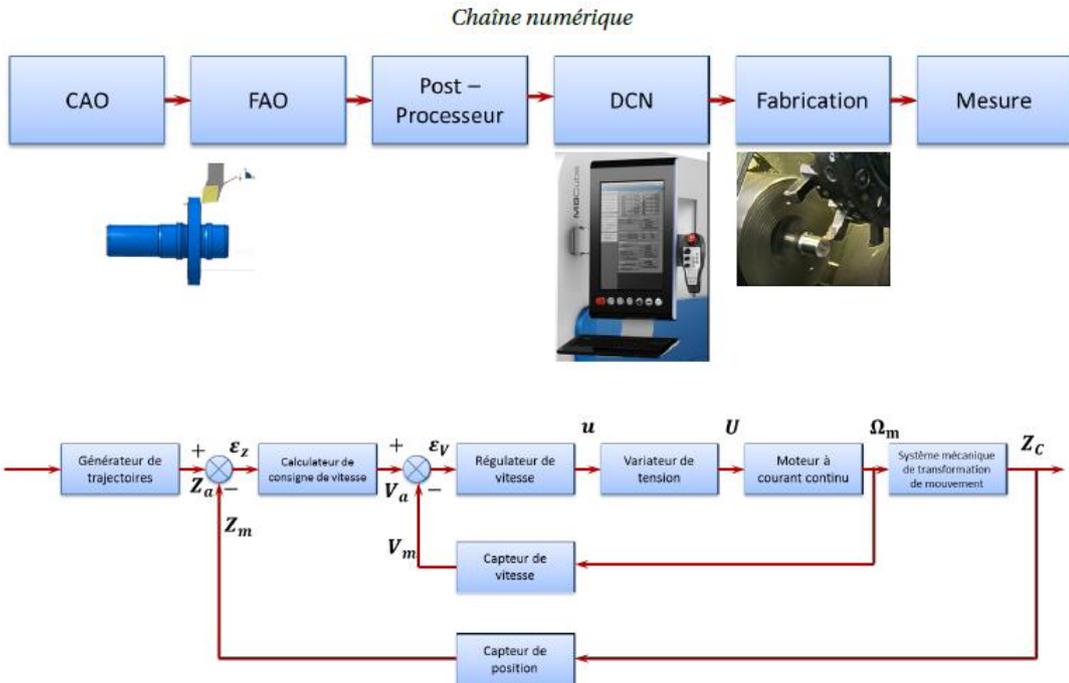


Les machines à commandes numériques sont équipées d'un **moteur asynchrone pour la broche** ainsi que d'un **variateur de vitesse** permettant un choix de vitesse plus précis qu'avec une boîte de vitesse. **Deux autres moteurs à courants continus** permettent de déplacer l'outil généralement sur deux axes (X_m et Z_m).

Par le fait, les mouvements des différents axes sont gérés par une commande numérique (ordinateur industriel).

PMP : Procédés d'obtention des pièces par enlèvement de matière

Ces mouvements sont générés grâce à des **logiciels de fabrication assistée par ordinateur (FAO)**. Un post-processeur permet de convertir les programmes du langage FAO vers le langage CN.



3.5. Les portes outils

Sur un tour conventionnel ou numérique, la liaison entre le porte-outil et la machine s'appelle la tourelle. En usinage conventionnel, la tourelle ne peut contenir qu'un seul outil. La tourelle est orientable. En usinage à commande numérique, la tourelle peut porter plusieurs outils.



Tourelle de tour conventionnel



Tourelle de tour à commande numérique

PMP : Procédés d'obtention des pièces par enlèvement de matière

En usinage conventionnel, les outils à charioter-dresser sont maintenus en position par des vis sur le porte-outil. Le porte-outil est souvent mis en position grâce à un assemblage par queue d'aronde. Pour les outils à percer, on utilise un mandrin mis en position par adhérence (avec un cône morse) dans la contre pointe du tour.



Porte-outil carrés



Mandrins avec cône morse

En usinage à commande numérique, le système d'attachement VDI est très utilisé. Pour les forets à centrer, à percer ou à aléser, on utilise en supplément des pinces qui permettent de serrer des outils ayant une base cylindrique.



Porte-outil pour outils à charioter et dresser



Porte-outil pour outils à percer et aléser



Pinces pour outils à percer et aléser

3.6. Les outils

En tournage, on utilise des outils monoblocs et des outils à plaquettes rapportées. Les outils monoblocs pour les opérations de type chariotage ou dressage, sont taillés spécifiquement en fonction des opérations à réaliser. Ils sont directement montés sur le porte outils carrés.

Les outils permettant de réaliser les opérations de perçage possèdent une partie cylindrique qui leur permet de se monter dans des mandrins.

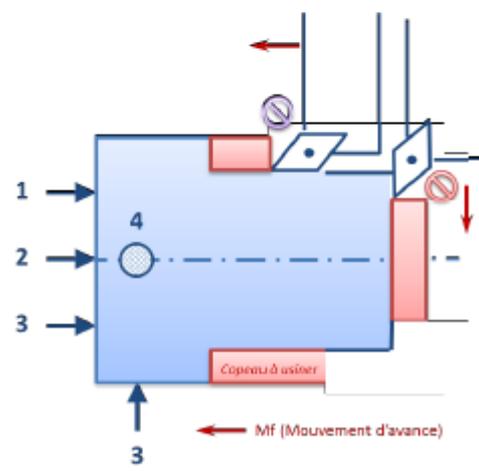
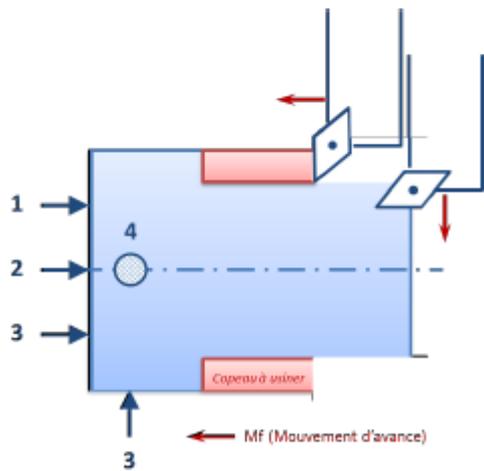


PMP : Procédés d'obtention des pièces par enlèvement de matière

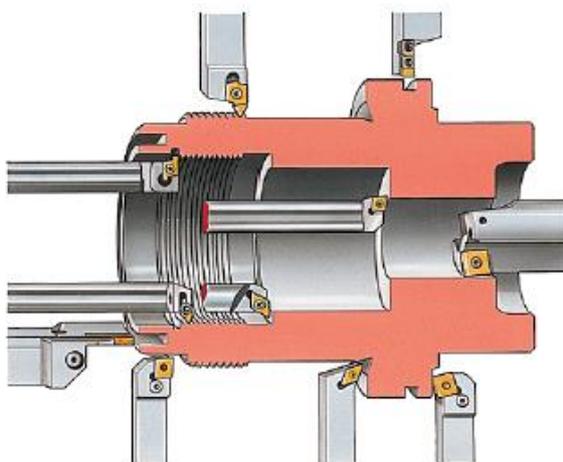
Pour les opérations de chariotage-dressage, lors de l'usinage en série, on utilise de préférence des plaquettes. Ces plaquettes peuvent être de formes variées : rondes, rhombiques, carrées ... avec des angles variés. Afin de faire la liaison avec les attachements on utilise des portes plaquettes. Pour une opération d'usinage, il faudra choisir une combinaison plaquette - porte plaquette dédiée.



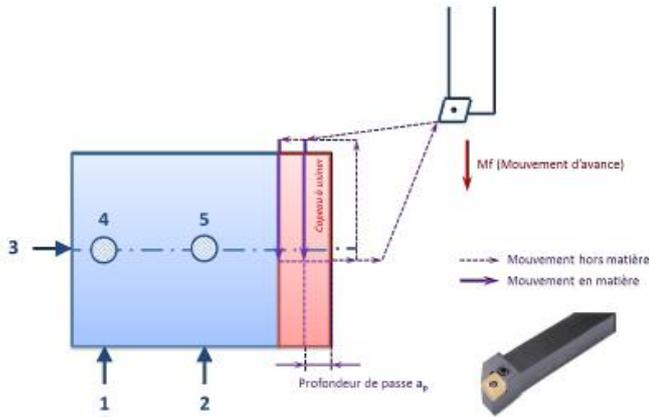
Pour une même plaquette, la géométrie du porte-plaquette peut permettre des usinages différents. Cependant, un mauvais choix de porte-plaquette peut provoquer des collisions entre la pièce et l'outil.



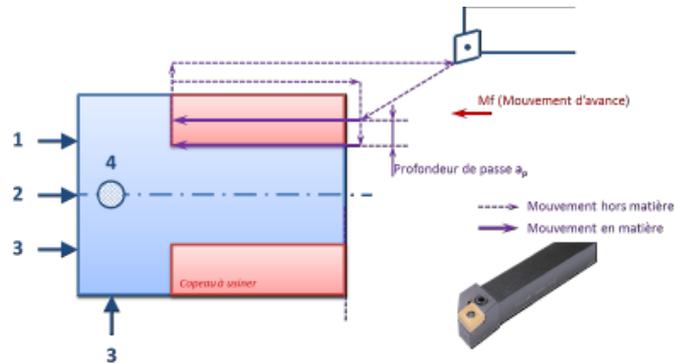
3.7. Les opérations de tournage



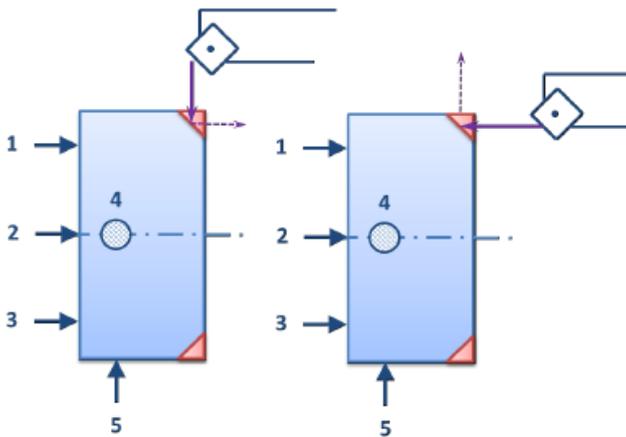
3.7.1. Le dressage



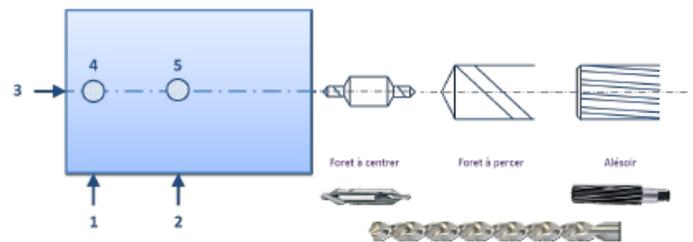
3.7.2. Le chariotage



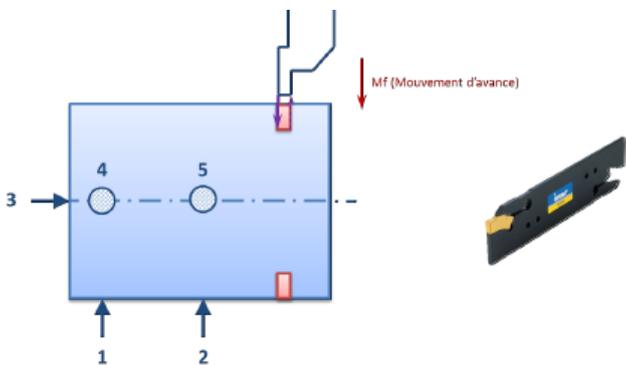
3.7.3. Le chanfreinage



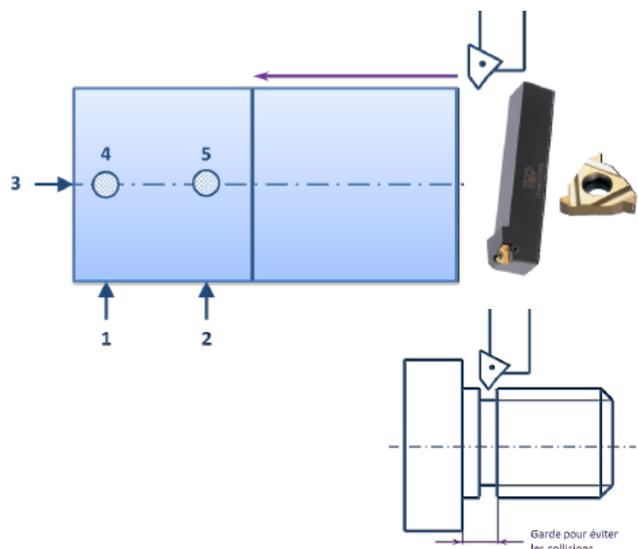
3.7.4. Le perçage



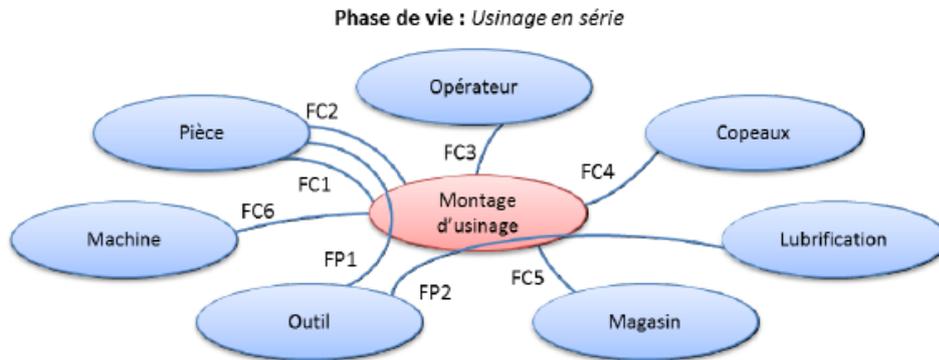
3.7.5. Le tronçonnage et gorge



3.7.2. Le filetage



3.8. Les portes pièces



Fct°	Intitulé	Critère	Niveau	Limite
FP1	Permettre à l'outil d'usiner la pièce			
FP2	Permettre la lubrification de la coupe			
FC1	Mettre la pièce en position			
FC2	Maintenir la pièce en position			
FC3	Etre aisément manipulable			
FC4	Permettre l'évacuation des copeaux			
FC6	Mettre en position et maintenir en position le montage dans la machine			



Mandrins et mors de serrages



Mandrin expansible

3.9. Montage isostatique des pièces

Sur un contrat de phase (voir partie suivante), il est nécessaire d'indiquer comment sera positionnée la pièce dans la machine. Cette mise en position est indépendante du porte-pièce. Il ne s'agit que d'une représentation symbolique.

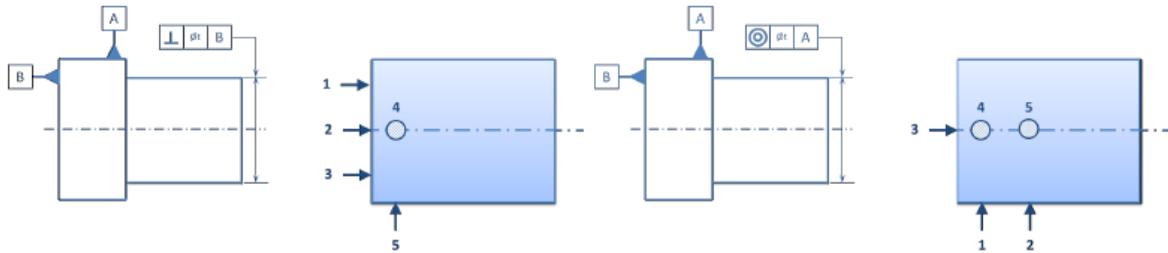
La mise en position de la pièce permet de mettre en évidence comment sera réalisée la liaison encastrement entre la pièce et le porte-pièce. Afin de réaliser une liaison encastrement, il faut bloquer 6 degrés de liberté qui seront représentés par des flèches numérotées.

Attention Lors de montage en mandrin, on ne cherchera à supprimer que 5 degrés de liberté. La rotation de la pièce autour de son axe sera bloquée par le serrage du mandrin.

Le choix de la mise en position dépend :

- de la cotation de la pièce ;
- de l'étendue des surfaces ;
- de l'accessibilité des surfaces.

En tournage, les mises en positions les plus courantes sont les suivantes :



MIP par appui plan et centrage court

MIP par cylindre prépondérant et appui ponctuel

Technologiquement, chacun des appuis est généralement réalisé par les mors. Dans certains cas la face du mandrin peut servir d'appui plan. Dans certains cas, une pige à l'intérieur du mandrin permet de réaliser un appui ponctuel.

Pour les pièces longues, il est possible de réaliser un montage entre pointes. Cela permet de diminuer le défaut de forme provoquer par la flexion de la pièces lors de l'usinage. On utilise alors la contre pointe située dans la poupée mobile.



Enfin, il existe des montages spécifiques en tournage qui sont spécialement conçus et fabriqués pour certains types de pièces.



PMP : Procédés d'obtention des pièces par enlèvement de matière

3.10. Le contrat de phase

Définition

Un contrat de phase est un document comportant toutes les opérations présentes dans une phase. Une phase correspond à un posage (une mise en position) unique de la pièce.

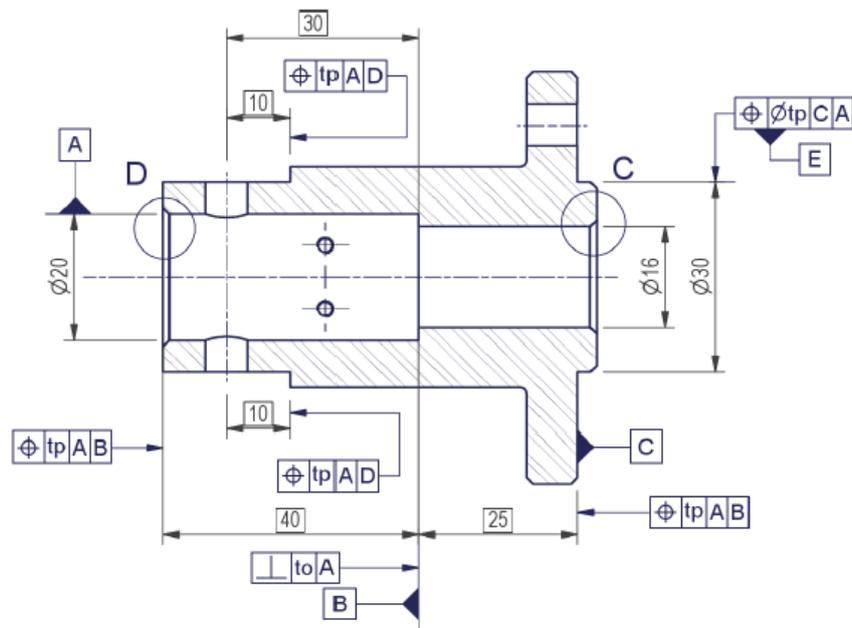
CONTRAT DE PHASE PHASE N° 10	Ensemble: TOURNEVIS A CLIQUET	Date: 28/12/96				
	Pièce: DOUILLE CRANTÉE	BUREAU DES METHODES				
	Matière: XC38					
NOM: M.H.	Programme: I200.RUB	L.T. DEODAT DE SEVERAC				
Désignation: TOURNAGE Machine-Outil: TOUR C.N.						
2CP10V1.PRO						
		cf.200= 21±0.2 cf.201= 2±0.2 cf.202= 46±0.2 cf.203= 2x45° cf.204= R4 cf.205= Ø12H8 cf.206= Ø22±0.2 cf.207= Ø30±0.2 cf.208= 45±0.2 cf.209= 50±0.5				
DESIGNATION DES OPERATIONS	OUTILS	V m/min	n tr/min	f/fz mm/rev	Vf mm/min	T. D
1) METTRE en BUTEE						T0,D0
2) CHARIOTER Ebauche contour exter.	PCLN	100		0.2		T1,D1
3) CENTRER	Foret à centrer Ø6		1000	0.1		T5,D5
4) PERCER Ø11,7	Foret Ø11.7		500	0.1		T3,D3
5) CHARIOTER Finition contour exter.	PCLN	100		0.1		T1,D1
6) ALESER Finition Ø12H8	Alésoir-machine Ø12H8		400	0.2		T4,D4
7) TRONCONNER	Outil à tronçonner		500	0.1		T7,D7



PMP : Procédés d'obtention des pièces par enlèvement de matière

3.1.1. Ordonnancement des phases

On désire réaliser la pièce suivante à partir d'un brut cylindrique :



Dessin de définition partie du moyeu Speed'O'Kart

Pour usiner la pièce, deux solutions semblent possibles initialement. Commencer par la partie "gauche" ou par la partie "droite".

Méthode

Pour choisir comment ordonnancer les phases, il est nécessaire de s'appuyer sur les spécifications. Dans la mesure du possible on commence par usiner **les surfaces de références** des spécifications.

Les surfaces de références devront alors être utilisées pour réaliser la **mise en position de la pièce** lors de l'usinage des surfaces spécifiées.

3.1.2. Conditions de coupe

Définition

Conditions de coupe

En tournage déterminer les conditions de coupe revient à déterminer :

- la vitesse de coupe ;
- la vitesse d'avance ;
- la profondeur de passe.



Définition

Vitesse de coupe

La vitesse de coupe correspond à la vitesse de l'arrête de coupe par rapport à la pièce.

Elle est donnée par le couple outil matière, c'est-à-dire par la combinaison du matériau de l'outil et de la pièce. On la note V_c et s'exprime en m/min . La vitesse de coupe permet de déterminer la vitesse de rotation de la broche. On la note N en tr/min .

On montre aisément que

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

Dans cette formule, N est exprimé en tr/min , V_c en m/min et D en mm .

Définition

Vitesse d'avance

La vitesse d'avance correspond à la vitesse d'avance de l'outil sur la trajectoire d'usinage. On note f la vitesse d'avance en mm/tr . Elle est choisie de manière à ce que le copeau fragmente correctement. En effet, un copeau court est préférable en tournage. Elle peut aussi être adaptée afin d'avoir l'état de surface souhaité en finition.

La vitesse d'avance V_f en mm/min est donnée par $V_f = N \cdot f$.

Définition

Profondeur de passe

Le choix de la profondeur de passe dépend de plusieurs paramètres. On la note a en mm . Généralement, elle ne dépasse pas le tiers de la longueur de l'outil. Un choix judicieux de la profondeur de passe peut permettre d'augmenter la productivité.

Cependant une grande profondeur de passe demande de plus grands efforts de coupe. Il faut alors que les efforts générés soient compatibles avec la puissance de la machine.

4. Le FRAISAGE

4.1. 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.

Définition

4.2. Axes machines

Sur les centres d'usinage, le choix des axes de déplacement est normalisé. Cela est notamment nécessaire dans le cas de la programmation des commandes numériques afin qu'un programme soit plus facilement transmissible d'une machine à une autre.

Le nombre d'axes est donné par les mouvements d'avance. Le plus communément les fraiseuses sont des machines à 3 axes.

D'après la norme :

- l'axe \vec{Z}_m est parallèle à l'axe de rotation de la broche. Le sens positif est donné par l'éloignement de l'outil par rapport à la pièce ;
- l'axe \vec{X}_m est perpendiculaire à l'axe \vec{Z}_m . Il a la direction du plus grand déplacement. Le sens positif est donné par l'éloignement de l'outil par rapport à la pièce ;
- l'axe \vec{Y}_m est tel que le trièdre $(\vec{X}_m, \vec{Y}_m, \vec{Z}_m)$ soit orthonormé direct.

On rencontre aussi couramment des centres d'usinage 4 et 5 axes. Dans ces cas, les quatrièmes et cinquièmes axes sont des axes de rotation. Si l'axe de rotation est parallèle à l'axe \vec{X}_m , il est noté A_m , l'axe de rotation parallèle à \vec{Y}_m est noté B_m , l'axe de rotation parallèle à \vec{Z}_m est noté C_m .



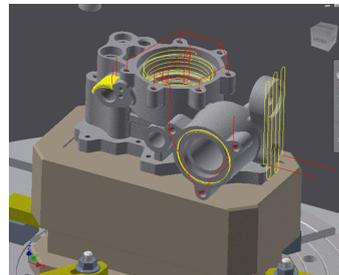
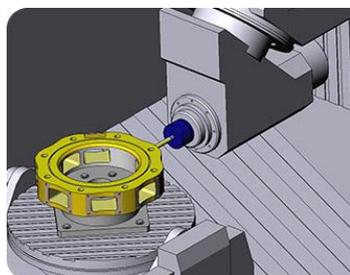
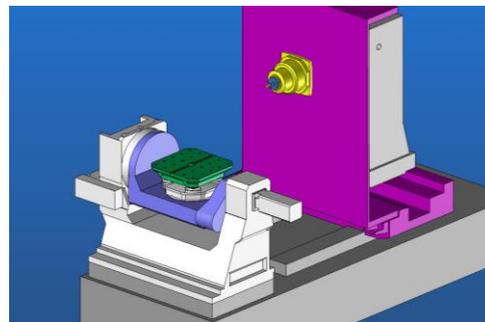
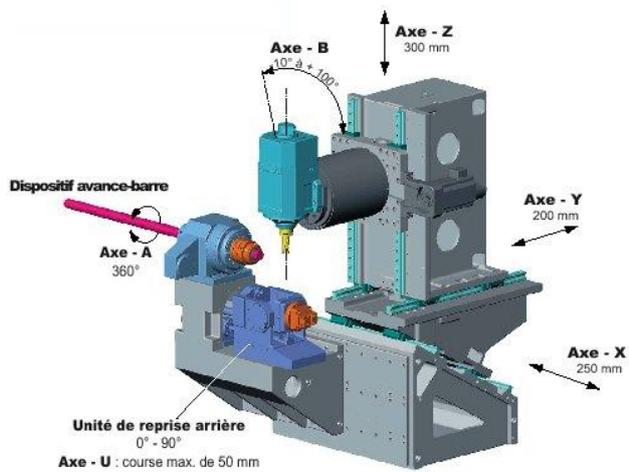
Axes normalisés sur un centre d'usinage 5 axes



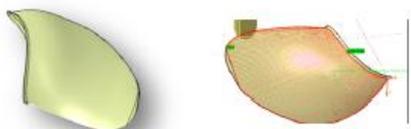
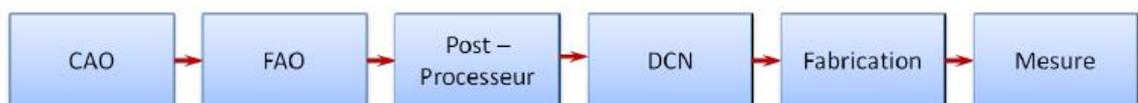
PMP : Procédés d'obtention des pièces par enlèvement de matière

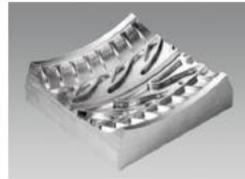
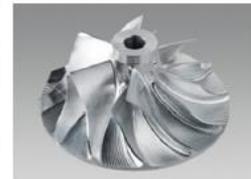
Les fraiseuses :

- **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)



Chaîne numérique



Exemple de pièces réalisables en usinage 5 axes continus*Matrice de balle de golf**Matrice de pneu**Prothèse de dents**Rotor de turbomachine***4.3. Les portes outils**

En fraissage à commande numérique, les machines possèdent généralement un magasin d'outil qui permet de les stocker.

*Magasin d'outil sur centre d'usinage*

En fraissage, le corps des outils est cylindriques. Deux solutions permettent de les maintenir en position dans le porte-outil. Un ajustement cylindre – cylindre permet de les mettre en position. Le maintien en position est alors assuré par une vis appuyant sur un méplat. Le maintien en position peut aussi être assuré par un montage en pince. Le serrage de la pince permet le serrage de l'outil.

La liaison entre la machine se fait par des attachements ISO qui ont une forme conique qui permet la mise en position du porte outil. L'entraînement est assuré par un lardon venant se loger dans une rainure. Enfin la mise en position de l'outil est assuré par une tirette positionnée en bout de porte-outil.

Dans le cas des machines tournant à grande vitesse, on utilise des attachements HSK. La mise en position est aussi assurée par un cône. Le maintien en position est assuré par un dispositif venant à l'intérieur de l'attachement. Lorsque l'outil tourne, le serrage est alors accru grâce aux efforts centrifuges.

*Attachement ISO**Attachement HSK*

4.4. Les outils

La géométrie des outils de fraisage dépend souvent de la géométrie de la forme à réaliser. Généralement, les outils de faible diamètre sont des outils monoblocs. Les outils de grands diamètres sont obtenus en utilisant un outil avec des plaquettes rapportées.

Lorsqu'on parle des outils de fraisage, il faut distinguer le nombre de dents, et le nombre de coupes. Une fraise 5 dents 2 tailles possède par exemple 5 plaquettes. Chaque plaquette peut usiner avec deux arrêtes.



Fraise 2 tailles – 8 dents



Fraise hémisphérique – 2 tailles – 8 dents



Fraise à surfacer

Fraises 3 tailles à rainurer

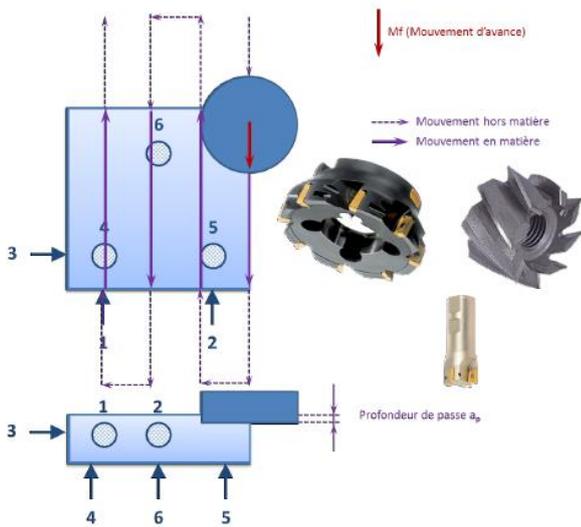


Fraises à chanfreiner

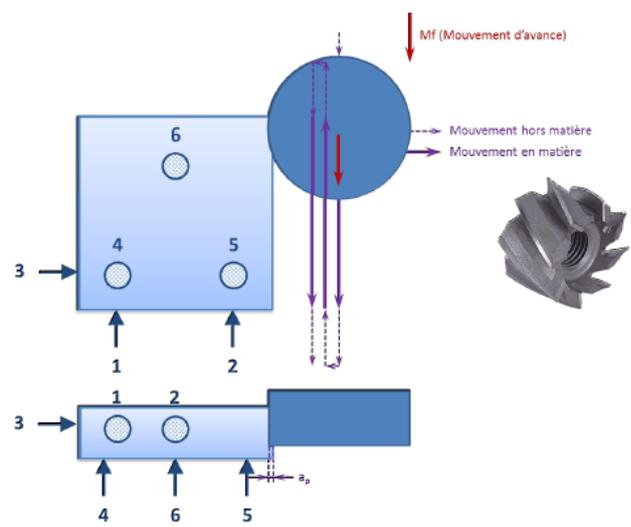


4.5. Les opérations

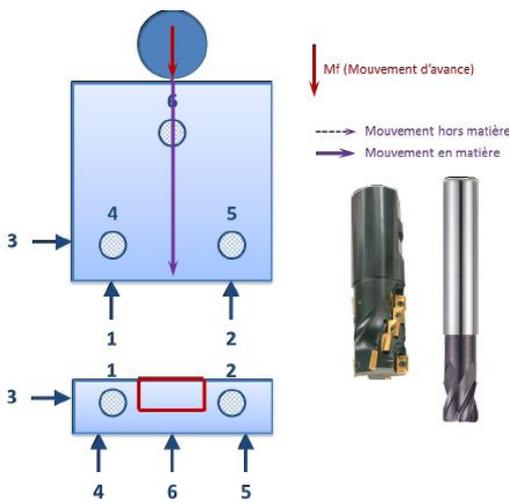
4.5.1. Le surfacage



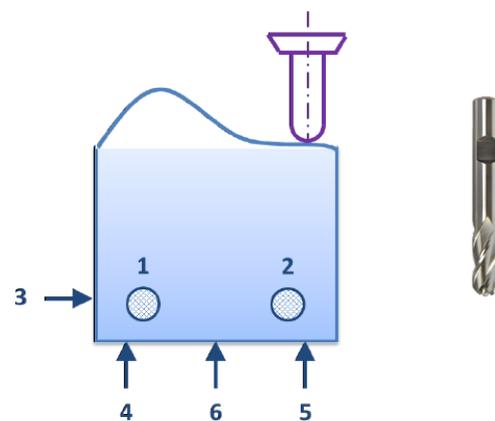
4.5.2. Usinage sur le flanc (contournage)



4.5.3. Le rainurage



4.5.2. Usinage d'enveloppe



4.6. 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.



Étau

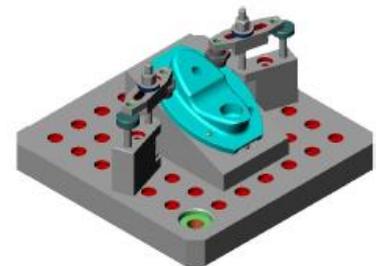
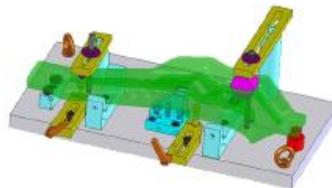


Table sinus



Table magnétique

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.



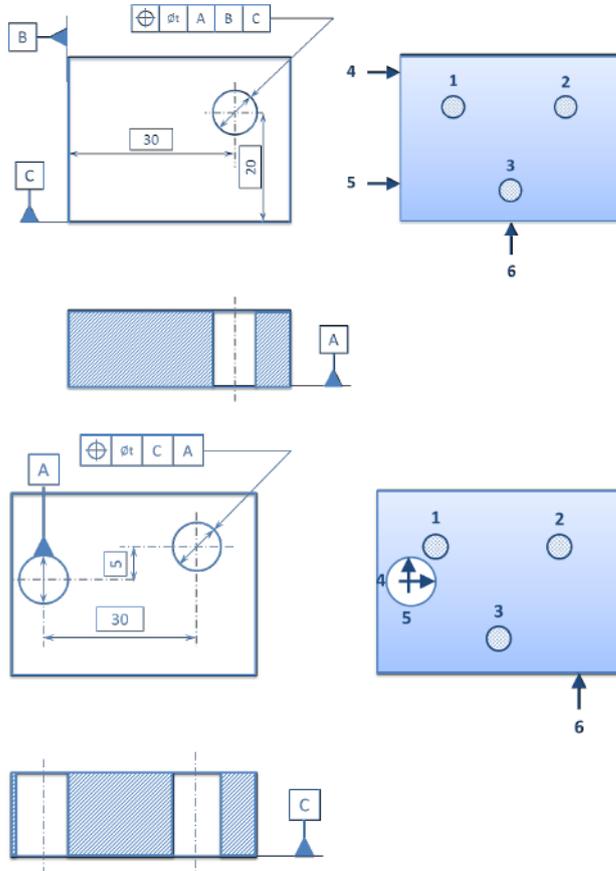
4.7. Mise en position isostatique des pièces

La mise en position de la pièce permet de mettre en évidence comment sera réalisée la liaison encastrement entre la pièce et le porte-pièce. Afin de réaliser une liaison encastrement, il faut bloquer 6 degrés de liberté qui seront représentés par des flèches numérotées.

Le choix de la mise en position dépend :

- de la cotation de la pièce
- de l'étendue des surfaces
- de l'accessibilité des surfaces

PMP : Procédés d'obtention des pièces par enlèvement de matière



4.8. Conditions de coupe

Conditions de coupe

Définition En fraisage, déterminer les conditions de coupe revient à déterminer :

- la vitesse de coupe ;
- la vitesse d'avance ;
- la profondeur de passe et l'engagement de la fraise.

Vitesse de coupe

La vitesse de coupe correspond à la vitesse de l'arrête de coupe par rapport à la pièce.

Elle est donnée par le couple outil matière, c'est-à-dire par la combinaison du matériau de l'outil et de la pièce. On la note V_c et s'exprime en m/min . La vitesse de coupe permet de déterminer la vitesse de rotation de la broche. On la note N en tr/min .

Définition On montre aisément que

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



PMP : Procédés d'obtention des pièces par enlèvement de matière

Définition

Dans cette formule, N est exprimé en tr/min , V_f en m/min et D en mm .

Vitesse d'avance

La vitesse d'avance correspond à la vitesse d'avance de l'outil sur la trajectoire d'usinage. On note V_f la vitesse d'avance en mm/min .

En fonction du matériau à usiner, le constructeur d'outil préconise une vitesse d'avance par tour et par dent. On la note f_z en $mm/tr/dent$

La vitesse d'avance V_f en mm/min est donnée par $V_f = N \cdot f_z \cdot Z$ avec Z le nombre de dents de la fraise.

Définition

Profondeur de passe et engagement

Le choix de la profondeur de passe dépend de plusieurs paramètres. On la note a en mm .

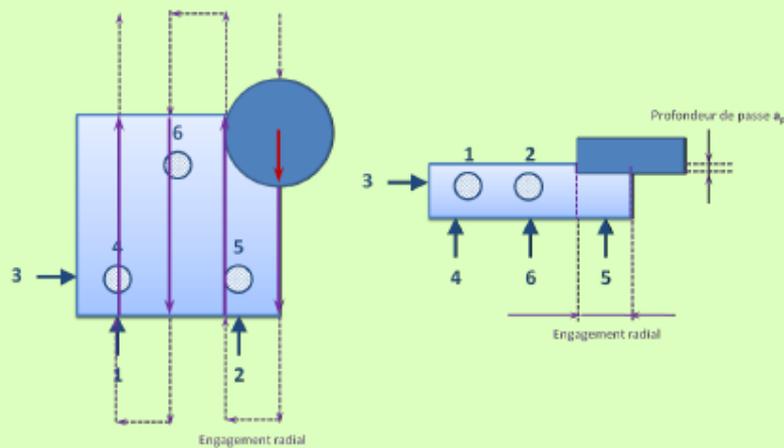
Un choix judicieux de la profondeur de passe peut permettre d'augmenter la productivité.

Cependant une grande profondeur de passe demande de plus grand efforts de coupe. Il faut alors que les efforts générés soient compatibles avec la puissance de la machine.

L'engagement correspond à la proportion de la fraise qui va être engagée lors de l'usinage.

Définition

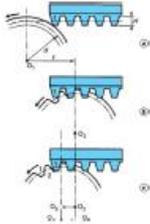
Exemple



5. Le TAILLAGE des engrenages

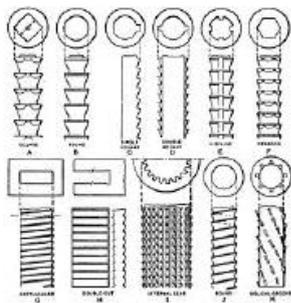
Il existe principalement deux modes de génération permettant de fabriquer des engrenages :

- La taille des pignons ou des crémaillères grâce à un outil pignon ou un outil crémaillère qui se déplace alternativement en translation.
- La taille à la fraise mère.



Taille à l'outil pignon ou crémaillère

Taille à la fraise mère



Exemples de brochage



Denture de finition



Denture de demi finition



Denture d'ébauche

6. La rectification

La rectification d'une pièce mécanique est une opération destinée à **améliorer son état de surface** (portée paliers lisses, joints...). La rectification plane consiste en un *meulage* horizontal de la pièce de façon à éliminer à plusieurs reprises des couches de matériau allant de 20 à 40 micromètres. La pièce effectue un mouvement de va et vient longitudinal (qui peut être combiné à un balayage transversal pour rectifier une largeur supérieure à la largeur de la meule).

Matériaux rectifiés : acier, céramiques, plastiques

Meules : meule frittée, nitrure de bore, diamant

