

UNIVERSITE DE BATNA 2
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

COURS BUREAU DE METHODE

Master LMD 2^{ème} année
Construction Mécanique

Dr. BOUTEGHMES Djamel



Année universitaire
2020-2021

MODULE : BUREAU DE METHODE

Introduction

Nous abordons dans ce premier chapitre la présentation du **bureau de méthodes (BM)**, de ses fonctions principales, et celle des divers documents qui sont utilisés et réalisés par ce service.

La bonne connaissance de ces documents ainsi que celle de l'organigramme de réalisation d'un produit est impérative pour pouvoir concevoir et améliorer une documentation technique de fabrication précise et rigoureuse grâce à laquelle le programme de fabrication a été élaboré en intégrant les meilleurs moyens et compétences techniques disponibles au sein de l'entreprise.

I. Les fonctions techniques de l'entreprise

Dans la construction mécanique les différents éléments faisant partie des divers systèmes mécaniques, eux-mêmes composants des équipements et des biens de consommation, sont obtenus par une suite d'opérations dont les principales sont :

- l'élaboration du matériau
- la mise en forme (transformation), permettant d'obtenir des pièces brutes
- l'usinage par enlèvement de matière (pour obtenir des pièces finies).

Les principales fonctions mises en jeu pour la réalisation effective d'une pièce sont respectivement :

1. la conception-construction,
2. l'étude et la préparation de la fabrication,
3. la fabrication.

Le temps et les moyens consacrés pour réaliser chaque fonction dépendent du type de produit fabriqué, du nombre d'exemplaires produits (fabrication en petite, moyenne et grande série) et de leur complexité. Les principaux services participant aux fonctions précédemment énoncées sont :

- **le bureau d'études (BE)**
- **le bureau de méthodes (BM)**
- **les ateliers de fabrication**

I.1. Le rôle du service méthodes d'usinage

Le bureau des méthodes (BM) est une composante de l'entreprise qui travaille sur l'étude et la préparation de la fabrication.

Ceci consiste à **la gestion, prévoir, préparer, lancer puis superviser le processus d'usinage** permettant de réaliser des pièces conformes au cahier de charges

exprimé par le dessin de définition, en respectant un programme de production donné, dans un contexte technique, humain et financier déterminé.

L'objectif principal de ce service est de mettre en place les divers moyens de conception et de fabrication disponibles, afin d'optimiser la totalité du processus d'obtention d'une pièce mécanique et de permettre ainsi la réalisation de celle-ci à un **coût de revient global minimum**, tout en respectant les spécifications de fonctionnalité prévues lors de la phase de conception de celle-ci.

Pour réaliser ces objectifs, le BM peut employer deux manières différentes :

- l'étude de l'usinage de pièces définies par des dessins (production unitaire ou petites séries)
- participation à l'élaboration du dessin de définition (en relation avec le BE) suivie de l'étude d'usinage (grandes séries)

I.2. Les principaux facteurs qui interviennent dans l'étude de fabrication sont :

1. la qualité,
2. l'importance de la série de pièces,
3. le délai,
4. le prix.

Après avoir défini la pièce à réaliser, le concepteur va mener une démarche d'optimisation de la gamme de fabrication, problème parfois extrêmement difficile, dont la solution se situe souvent à long (voir très long) terme, après avoir fait toute une série des modifications de celle-ci.

II. Les documents exploités au bureau des méthodes (BM)

Les documents exploités au bureau des méthodes sont :

1. Le dessin de définition du produit.

Ce document est rédigé en collaboration avec le bureau d'études (**BE**), ce service ayant le rôle de fixer les spécifications fonctionnelles de la pièce étudiée.

Le **BM** étudie ensuite la fabrication au coût minimal, compatible avec les spécifications fonctionnelles. Ce sont les documents rédigés par le BM qui serviront de référence lors du contrôle final de qualité de la pièce.

2. Le répertoire des moyens disponibles, qui renseigne sur :
 - la nature du parc des machines (disponibilité, précision,...)
 - les équipements standards ou spéciaux nécessaires
 - le type de main d'œuvre disponible (nombre de personnes, leur qualification, ...).

II.1. Les documents créés par le bureau des méthodes

Les documents créés par le bureau des méthodes sont :

1. L'avant projet d'étude de fabrication (APEF). C'est un document dans lequel on précise l'ordre chronologique des phases de fabrication, en respectant les spécifications du dessin de définition imposées pour chaque phase ainsi que les choix des surfaces de mise en position.
2. Le dessin de la pièce brute. Celle-ci doit être considérée comme une ébauche, l'usinage ultérieur consiste à semi-finir et finir les surfaces à géométrie précise.
3. La feuille d'étude de phase (contrat de phase). Ce type de document se rédige séparément pour chaque phase et fournit tous les renseignements nécessaires aux réglages de la machine, au lancement de la fabrication, aux temps alloués, etc.

III. Analyse du dessin de définition

L'analyse doit se faire avec une très grande attention et de recenser toutes les indications portées sur le dessin de définition et de les analyser (étudier)

1) Désignation du produit

Ce renseignement peut donner des informations sur le rôle de la pièce

2) Matière première

Cette indication est très importante, elle est liée à un très grand nombre de problèmes tel que :

- a) Mode d'obtention du produit
- b) Usinabilité
- c) Traitement thermique
- d) Déformation après traitement thermique
- e) Mise en place et serrage de la pièce lors de l'usinage

3) Etats de surface

Elle conditionne :

- a) Nombre de passe d'usinage
- b) Choix de la machine outil
- c) Choix de ou des outils à utilisés
- d) Condition de coupe tel que : vitesse de coupe V_c , avance f profondeurs de passe a_p , lubrification

4) Indication de forme et de position

Cette indication présente un intérêt pour :

- a) Choix de la mise en position de la pièce

- b) Choix des moyens de réalisation
- c) Choix des machines outils a utilisées
- d) Suite logique d'usinage ou ordre chronologique d'usinage

5) Forme générale de la pièce

Cela permet d'apprécier les points suivants

- a) Risque de déformabilité (négligeable ou non)
- b) Endroit présentant une fragilité particulière
- c) Accessibilité de ou des outils
- d) Difficultés de prise de pièce
- e) Difficultés géométrique d'usinage
- f) Grande dimension de la pièce

6) Masse de la pièce

Ce renseignement sera très intéressant pour l'étude :

- a) Montage d'usinage de la pièce
- b) Moyens de manutention (déplacement des pièces)
- c) Choix de la machine outil

IV. Etats de surface.

IV.1. Rugosité :

C'est l'ensemble des irrégularités d'une surface à caractère micrographique et macrographique symbole $\sqrt{\quad}$ de mesure en micron (1micron = 1/1000 mm).

Les surfaces usinées ne sont pas parfaites, elles présentent des irrégularités dues aux procédés d'obtentions, aux outils, propriétés de la matière, aux vibrations outil /pièce en cours d'usinage etc.

Le rôle fonctionnel d'une surface dépend d'un certain nombre de facteurs, notamment de l'état de surface (étanchéité, glissement, résistance a la corrosion etc.).

Plus l'indice de rugosité est faible, plus il est difficile à obtenir, ce qui augmente nécessairement le coût de fabrication.


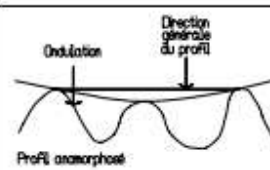
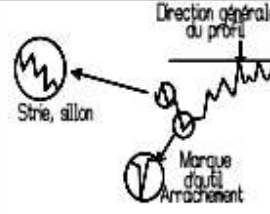

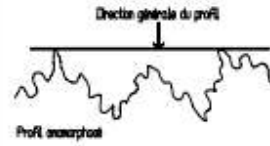
IV.2. Appareils de mesure de la rugosité.

Il y a plusieurs méthodes pour évaluer un état de surface :

- par comparaison (échantillons visio-tactile);
- par mesure (appareils électroniques à capteurs ou appareils optiques) :
- Rugosimètre

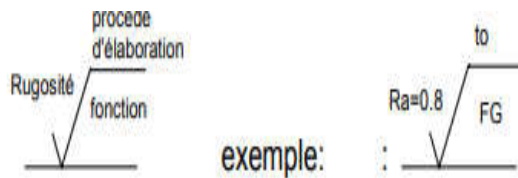
IV.2. Défauts de surfaces

1 .Décomposition en 4 ordres

ORDRE	DESIGNATION	ILLUSTRATION	SURFACE SPECIFIEE		
			Dessin d'exécution	Signification par rapport à la fonction	
1	ECART DE FORME Exemple : Ecart de - rectitude - circularité - etc . . .		PRESCRIPTION GEOMETRIQUE (voir NFE 04-552)	1er et 2ème ordre <ul style="list-style-type: none"> influent sur : <ul style="list-style-type: none"> - roulement.. - étanchéité dynamique et statique. - etc . . . 	
2	ONDULATION		SYMBOLISATION DES ECARTS GEOMETRIQUES Du 2ème au 4ème ordre	<ul style="list-style-type: none"> - usure - grippage • diminuent: <ul style="list-style-type: none"> - durée de vie des organes - etc . . . 	
3	R U G O S I	STRIE, SILLON (périodique ou pseudopériodique)		(voir NF 05-016)	3ème et 4ème ordre influent sur : <ul style="list-style-type: none"> - écoulement des fluides - étanchéité dynamique et statique - revêtement
4	T E	Arrachement Marque d'outil (apériodique)			<ul style="list-style-type: none"> - dépôt électrolytique - résistance aux efforts alternés . . .
Somme des écarts du 1er au 4ème ordre	PROFIL TOTAL		Ensemble des défauts de surface dont l'analyse permet de déterminer leur influence spécifique sur une fonction donnée	Il ne sert à rien d'affiner la rugosité si l'écart de forme et l'ondulation ne sont pas réduits au niveau admissible pour une fonction donnée.	

IV.3. Spécification et choix des états de surface au BE.

Sur un dessin on fait apparaître l'état de surface sous la forme du signe suivant:



Fraisage			Rectification			Forgeage							Moulage					
Alésage	Brochage	En bout	En roulant	Plane	Cylindrique	Rodage	Tournage	Polissage	Super finition	Estampage	Etirage	Filetage	Forgeage	A froid	A chaud	Sable	Coquille	Matriçage
al	br	trb	frr	rcp	rcc	rd	to	po	sf	es	et	fi	fo	laf	lac	mos	moc	ma

V. Les spécifications géométriques

Définition:

La **spécification géométrique** des produits consiste à définir, sur le dessin de définition, la forme, les dimensions et les caractéristiques de surface d'une pièce qui lui assurent un fonctionnement optimal, ainsi que la dispersion autour de cet optimal pour laquelle la fonction est toujours satisfaite

Les spécifications sont les différentes indications contenues sur le dessin de définition du produit. Elles permettent de traduire le besoin initial en termes utilisables par les techniciens.

Le technicien en fabrication mécanique doit être capable de décoder les spécifications pour définir le processus d'élaboration du produit.

Conformément aux normes ISO de cotation il faut faire distinction entre les notions de tolérance et écart : la tolérance représente la largeur de la zone de tolérance admise selon la cotation, tandis que l'écart caractérise le défaut d'une pièce. La définition de l'écart dépend du type de spécification :

- **écart de forme** : caractérise la largeur de la zone dans laquelle peut être incluse la surface réelle d'une pièce réelle,
- **écart d'orientation** : caractérise la largeur de la zone parallèle à la référence dans laquelle peut être incluse la surface réelle d'une pièce réelle,
- **écart de position** : caractérise la plus grande distance entre l'élément tolérancé et la surface nominale

Tolérances	Cas Généraux	Cas Particuliers	
Forme	Forme d'une ligne quelconque	Rectitude	—
		Circularité	○
	Forme d'une surface quelconque	Planéité	▭
		Cylindricité	⊘
Orientation	Inclinaison	Parallélisme	//
		Perpendicularité	⊥
Position	Localisation	Concentricité	⊙
		Coaxialité	⊙
		Symétrie	≡

V.1. Les spécifications dimensionnelles

Définition:

Une **dimension** est la valeur de la mesure effectuée dans une direction donnée, entre deux points appartenant à la même pièce.

Les spécifications dimensionnelles portées sur un dessin de définition de produit sont appelées **cotes**.

- C_{mini} Dimension minimale de l'ensemble cot
- C_{max} Dimension maximale de l'ensemble cote
- C Dimension nominale choisi
- IT Intervalle de tolérance
- e_s Ecart supérieur ($e_s = C_{\text{max}} - C$)
- e_i Ecart inférieure ($e_i = C_{\text{mini}} - C$)
- C_{moy} Dimension moyenne

VI. Etude de l'isostatisme

Le montage d'usinage doit remplir plusieurs rôles :

- Positionner toutes les pièces d'une série de la même façon,
- Maintenir la pièce pendant l'usinage (l'empêcher de se déplacer, de fléchir ou de vibrer).

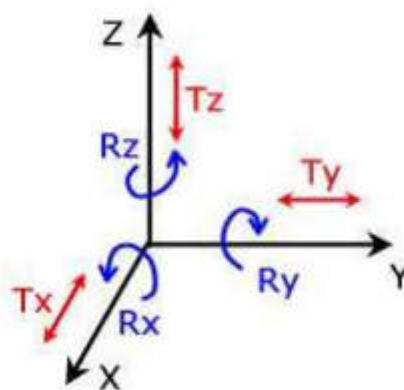
VI.1. Mise en position de la pièce

Un solide dans l'espace peut se déplacer suivant 6 directions. L'objectif du montage est donc de bloquer (positionner) ces 6 mouvements : 3 rotations et 3 translations. Représentation avec des normales de repérage (correspondant à des liaisons ponctuelles).

Le mouvement d'un solide dans l'espace peut se décrire suivant la combinaison de trois 03 translations et de trois 03 rotation par rapport a une base orthogonale. Ces six 06 mouvements représentent les six 06 degrés de libertés du solide. Pour immobiliser un solide dans l'espace, il suffit de supprimer ces six 06 degrés de libertés de la suppression.

En fabrication l'isostatime, c'est l'étude de la suppression des degrés de libertés d'un solide. Il est en effet préférable que la pièce soit bien mis en place pendant les opérations d'usinage.

Il ne faut pas confondre la mise en position (qui correspond à l'isostatime) et le maintien de la pièce par un serrage.



✓ **Mouvements possibles**

- Il y a 6 degrés de liberté pour un objet libre dans l'espace
- **3 translations**
 - ✓ Selon axe x
 - ✓ Selon axe y
 - ✓ Selon axe z
- **3 rotations**
 - ✓ Selon axe x
 - ✓ Selon axe y
 - ✓ Selon axe z

VI.2.Liaison utilisable



On va associer plusieurs liaisons simples pour supprimer les six degrés de libertés

Liaison	Rotation supprimée	Translation supprimée
Ponctuelle	0	1
Linéaire rectiligne	1	1
Appui plan	2	1
Linéaire annulaire	0	2
Pivot glissant	2	2

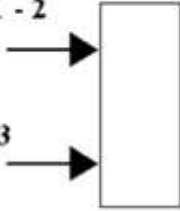
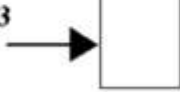
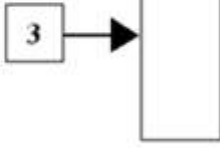
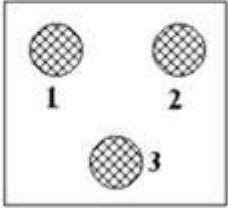
VI.3. Règles d'isostatisme :

1. Les symboles sont toujours placés du côté libre de la matière, normalement à la surface.
2. Chaque symbole précise la suppression d'un degré de liberté
3. Chaque pièce possède 6 degrés de liberté. L'immobilisation en position d'une pièce nécessitera au maximum 6 symboles de base.
4. Chaque surface concernée par la MIP doit être à l'origine d'une cote de fabrication

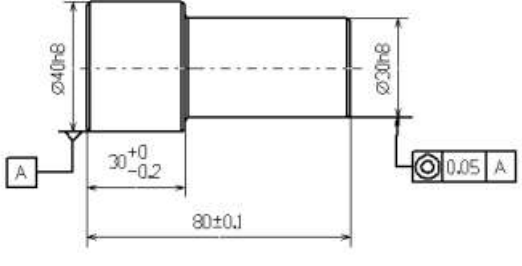
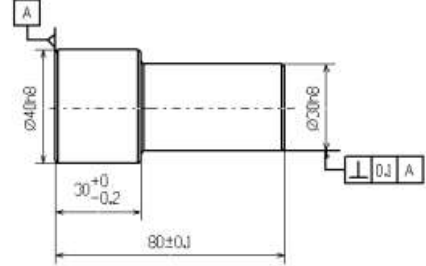
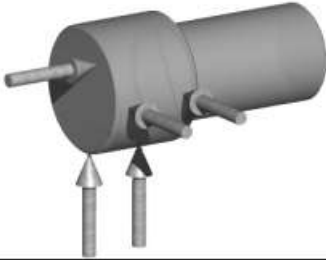
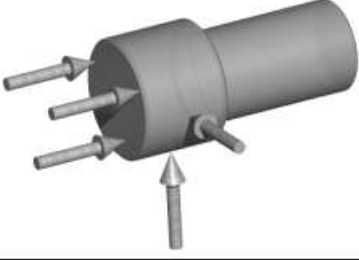
VI.3.1. Symboles de base :

Symboles de base	
	

Exemple :

Exemples équivalents		
Symbolisations frontales équivalentes		Symbolisation projetée
Représentation normale	Représentation simplifiée	
<p>1 - 2</p>  <p>3</p> 		

Exemple de choix de prise de pièce en fonction de la cotation géométrique

CENTRAGE LONG	CENTRAGE COURT
	
<p>Il faut réaliser une cocentricité entre les deux cylindres, on prend donc la pièce en mors doux : centrage long</p>	<p>Il faut réaliser une perpendicularité entre la face et le cylindre usiné, on choisira donc un appui plan sur la face et un centrage court.</p>
	
<p>La référence principale est donnée par le cylindre « A » qui définit l'axe de révolution.</p>	<p>La référence principale est donnée par le plan « A » qui définit la normale au plan.</p>

VI.4. Les conditions d'isostaticité :

VI.4.1. liaison de mise en position

En usinage, tout solide doit être assujéti à rester en contact avec un solide voisin (liaison). On caractérise la liaison entre le solide (pièce) **S** et le solide voisin **S'** (support de pièce) par la normale au contact \vec{n} . Un solide parfait est repéré dans l'espace par six normales en six points distincts.

Pour assurer un repérage isostatique :

- six normales sont nécessaires et suffisantes,
- on pourra, au plus, trouver trois normales parallèles,
- on pourra, au plus, trouver trois normales coplanaires.

En conséquence :

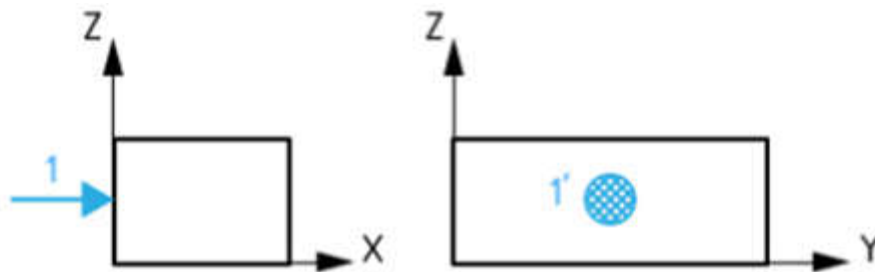
- les six normales seront relatives à trois plans au maximum,
- on pourra, au plus, trouver trois normales parallèles,
- on pourra, au plus, trouver trois normales coplanaires.

Conclusion : pour supprimer 6 degrés de liberté, il faut établir 6 degrés de liaison.

VI. 4.2. Les liaisons isostatiques élémentaires

✓ La mise en position par liaison ponctuelle (LP)

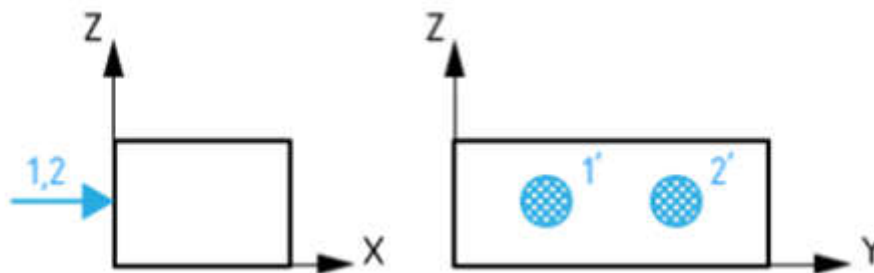
La liaison ponctuelle est une liaison permettant d'enlever à un solide un degré de liberté (1 translation).



Un degré de liberté éliminé : T_x

✓ La mise en position par liaison linéaire rectiligne (LR)

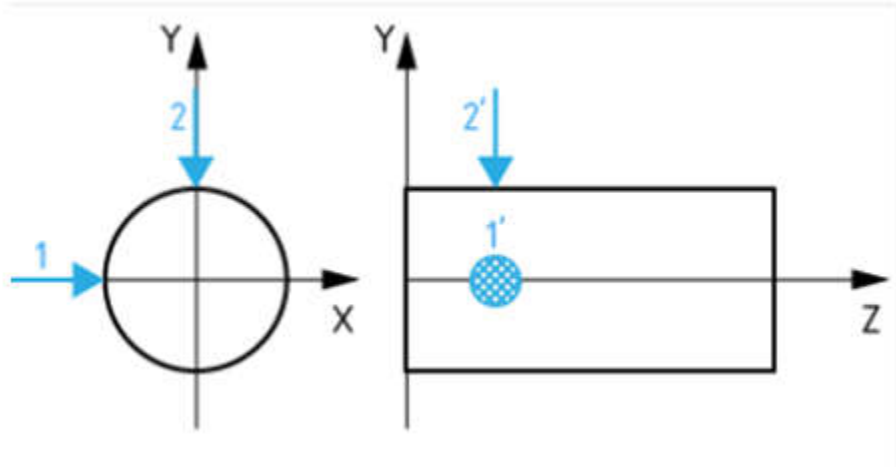
Ce type de liaison permet de supprimer à un solide deux degrés de liberté : une translation et une rotation



Deux degrés de libertés éliminés : T_x et R_z .

✓ La mise en position par liaison linéaire annulaire (LA) : gouttière, anneau, ...

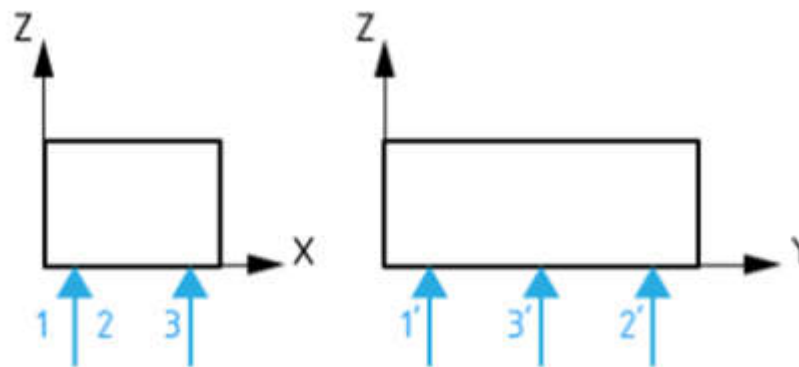
La liaison linéaire annulaire est une liaison utilisée pour bloquer sur un solide 2 degrés de liberté de type translation



Deux degrés de libertés éliminés : T_x et T_y .

✓ **La mise en position par liaison appui plan (AP)**

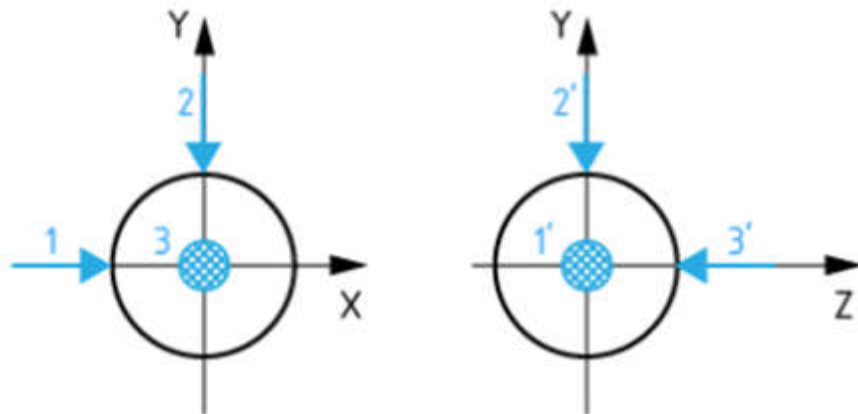
La liaison appui plan permet de supprimer sur une surface une translation et deux rotations



Trois degrés de libertés éliminés : T_z , R_x et R_y

✓ **La mise en position par liaison rotule**

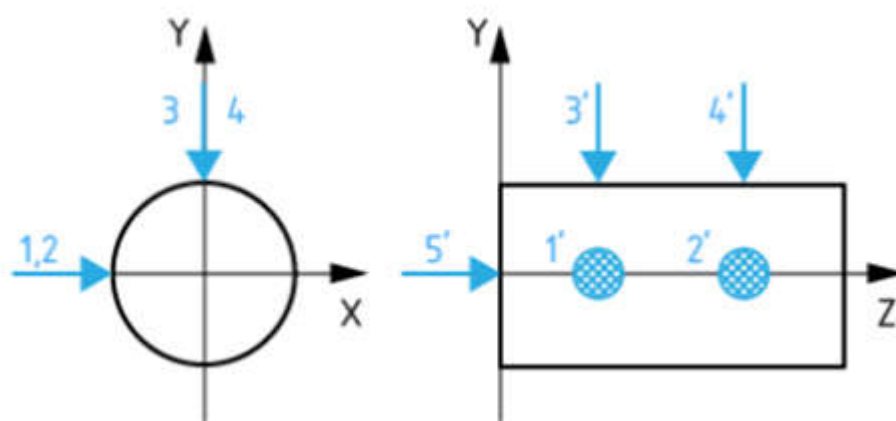
La liaison rotule est utilisée pour bloquer sur une sphère 3 translations.



Trois degrés de libertés éliminés : T_x , T_y et T_z

✓ **La mise en position par liaison pivot glissant (verrou)**

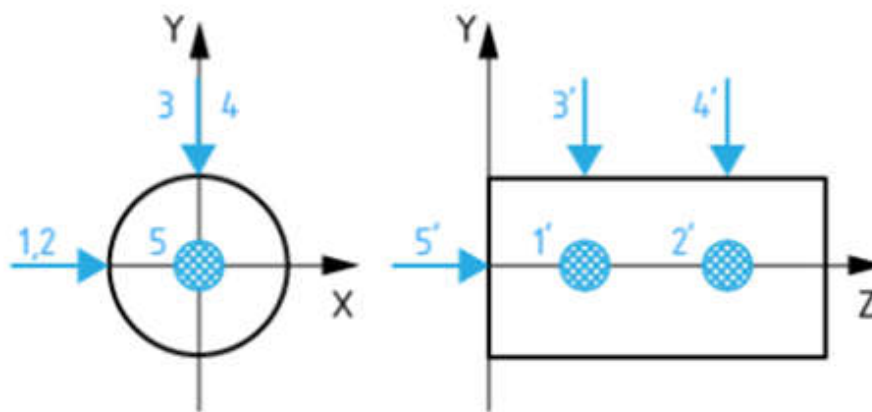
Le pivot glissant est une liaison constituée de 2 liaisons linéaires annulaires ou de 2 liaisons linéaires rectilignes. Leur utilisation simultanée permet de supprimer 2 translations et 2 rotations.



Quatre degrés de libertés éliminés : T_x , T_y , T_z et R_y

✓ **La mise en position par liaison pivot (rotoïde)**

Cette liaison est composée d'une liaison pivot glissant et d'une liaison ponctuelle. Elle permet de bloquer 5 degrés de liberté sur une pièce : 3 translations et 2 rotations.



Cinq degrés de libertés éliminés : T_x , T_y , T_z , R_x et R_y

VI.5. Maintien en position de la pièce

Pour empêcher la pièce de bouger lors de l'usinage, il faut la maintenir en contact avec les zones de mise en position. Quelques règles à respecter pour les mettre en place.

- S'opposer aux forces de coupe.
- Ne pas déformer la pièce lors du serrage.
- Adapter le système en fonction de la série (utilisation de bridages polyvalents ou automatisés).

VI.5.1. Les technologies de maintien en position

VI.5.1.1. Règles pour choisir la mise en position

La mise en position doit faciliter la réalisation des cotes du dessin de définition. Elle doit donc

- S'appuyer au maximum sur des surfaces usinées.
- Faire coïncider la mise en position de la pièce avec la cotation du dessin de définition : cela évite les transferts de cote.
- Choisir des surfaces suffisamment grandes pour pouvoir positionner correctement la pièce
- Limiter les déformations et vibrations de la pièce : être proche de la zone usinée

VI.5.1.2. Le principe fondamental

Une mise en position est **isostatique** si :

- le nombre des degrés de liaisons (normales) est égal au nombre de degrés de libertés supprimés,
- chacune des normales contribue à éliminer un seul degré de liberté.

✓ Les règles de choix

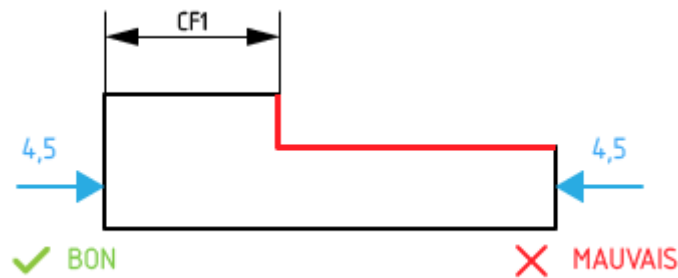
Cette problématique sera traitée principalement en fonction de la cotation.

Règle n° 1

La surface choisie doit être suffisamment importante pour recevoir le nombre de normales choisi.

Règle n° 2

Une cote relie la surface usinée à la surface de mise en position



La cote fabriquée Cf1 relie la surface usinée et celle de mise en position

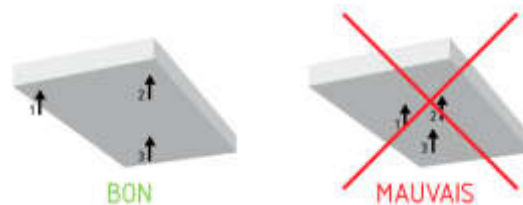
Règle n° 3

Le nombre de normales sur chaque surface est fonction de la précision de la cote. Plus la cote est précise, plus le nombre de normales est important.

VI.6. Les règles de disposition des normales

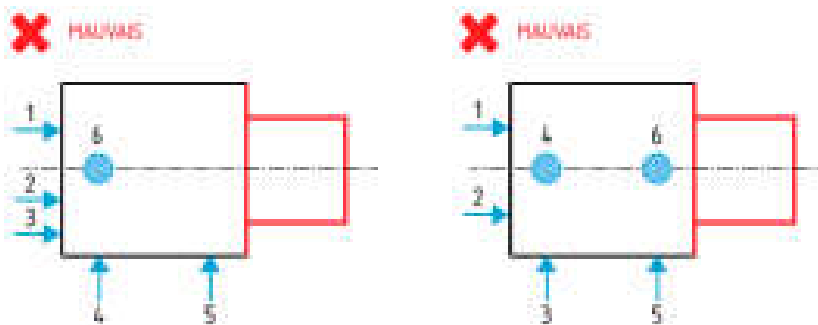
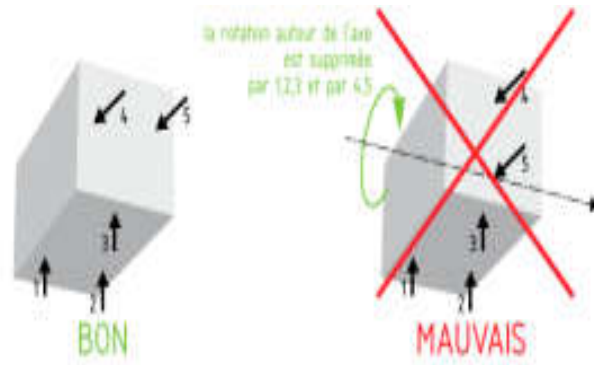
Les normales de repérages doivent être les plus espacées possibles afin d'assurer une meilleure stabilité de la pièce durant l'usinage.

Exemple : la mise en position **MEP** doit assurer une bonne stabilité à la pièce



L'emplacement d'une normale de repérage est déterminé afin que le degré de liberté qu'elle supprime ne soit pas déjà interdit par une autre normale.

Exemple : Supprimer une seule fois le même degré de liberté

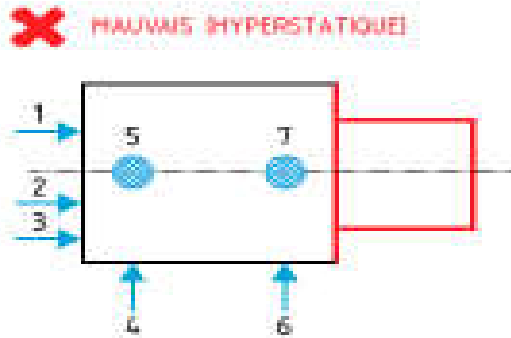


Ne jamais placer plus de trois normales parallèles ; dans ce cas, les points de contact ne doivent pas être en ligne droite.

Exemple : Vérifier l'emplacement des 3 normales dans le même plan.



Ne jamais placer plus de six normales pour obtenir une mise en position isostatique.

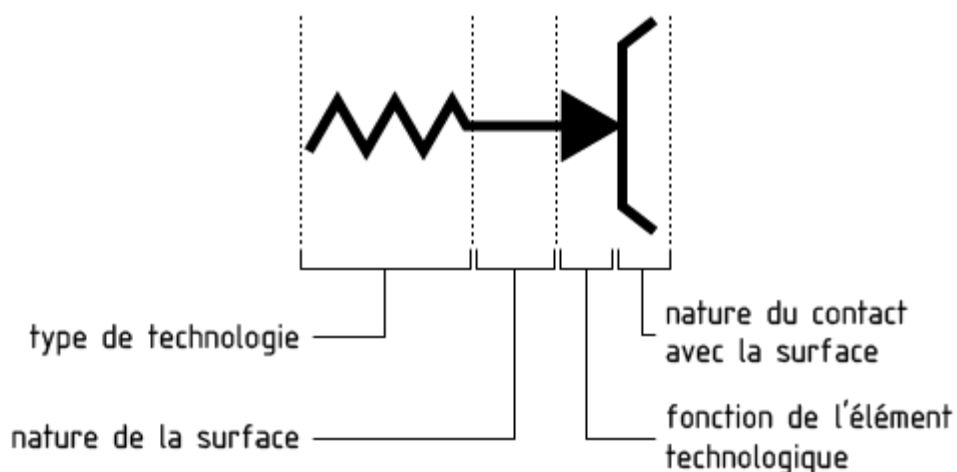


Seule exception autorisée : l'hypostatisme, pour l'usinage des pièces cylindriques montées en l'air.

VII. Mise en position technologique des pièces

La deuxième partie de la norme NFE 04-013 définit les symboles représentant sur la partie graphique des contrats de phases, les éléments d'appui et de maintien des pièces pendant les opérations d'usinage, de contrôle ou de manutention. Chaque symbole (voir figure suivante) est construit à l'aide d'un certain nombre d'éléments additifs dont le rôle est de préciser :

- la fonction de l'élément technologique ;
- la nature du contact avec la surface ;
- la nature de la surface de la pièce ;
- le type de technologie de l'élément.



Le détail de ces symboles élémentaires est donné dans les tableaux ci-après.

Fonction	Symbole	Représentation projetée
Mise en position rigoureuse		<p>APPUI</p> <p>ou toute autre forme</p>
Départ de cotation		<p>CENTREURS</p>
Définition d'un axe		

Symboles représentant les fonctions des éléments technologiques

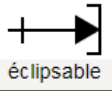

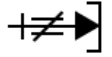

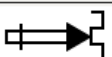



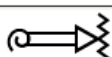
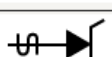
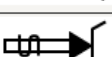


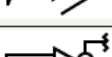
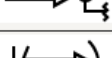
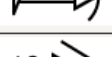

Nature de la surface d'appui	Symbole d'immobilisation
Surface usinée	
Surface brute	

Symboles représentant la nature de la surface de contact

Nature du contact	Symbole	Nature du contact	Symbole	Nature du contact	Symbole
Touche plate		Touche fixe		Touche dégagée	
Touche striée		Touche tournante		Cuvette	
Touche bombée		Palonnier		Vé	

Symboles représentant la nature du contact avec la surface

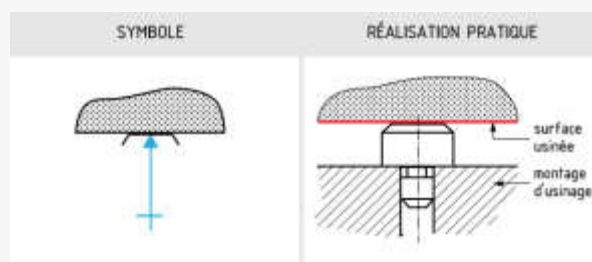
Symbole	Type technologique		
	Type de technologie	Mise en position de surface	Immobilisation ou prélocalisation
Appui fixe			
Centrage fixe			 précentrage
Système à serrage			
Système à serrage concentrique			 flottant
Système de soutien irréversible			
Système de soutien réversible			

Symbole	Signification	Nb de degrés éliminés
 éclipsable	Touche plate éclipsable de départ d'usinage en appui sur une surface usinée.	1
	Touche plate fixe de départ d'usinage en appui sur une surface usinée.	1
	Touche plate translaturée de départ d'usinage en appui sur une surface usinée (réglée par une série de pièces).	1
	Touche bombée fixe de départ d'usinage sur une surface brute.	1
	Touche dégagée fixe de départ d'usinage sur une surface brute.	1
	Vé axile servant de point de départ d'usinage sur une surface calmée	1
	Vé axile translaturé à ressort à contacts courts de départ d'usinage sur une surface usinée.	1
	Vé axile translaturé utilisé comme point de départ d'usinage sur une surface brute.	1
	Mors striés à serrage concentrique flottant utilisés comme entraîneurs sur une surface brute.	2
	Cuvette axile utilisée comme point de départ d'usinage sur une surface usinée.	2
	Cuvette axile utilisée comme point de départ d'usinage sur une surface brute.	2
	Pointe fixe axile utilisée comme point de départ d'usinage sur une surface brute.	3
	Pointe tournante axile de poupée mobile utilisée comme point de départ d'usinage sur une surface usinée.	3
	Palonnier de bridage possédant des mors striés sur une surface brute.	1
	Touche bombée de soutien irréversible sur surface brute.	0
	Pointe tournante axile de poupée mobile utilisée comme centrage court et immobilisation.	2
	Centrage fixe complet ou dégagé dans un trou.	2-1

Symboles des types de technologie des éléments

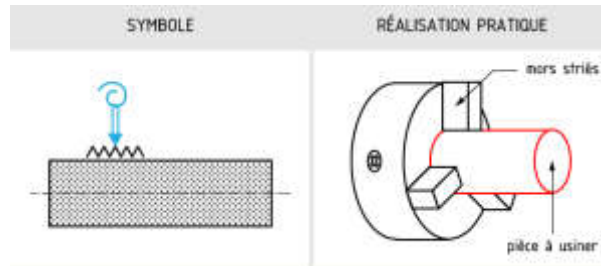
✓ Désignation :

Touche plate fixe, de départ d'usinage en appui sur une surface usinée.

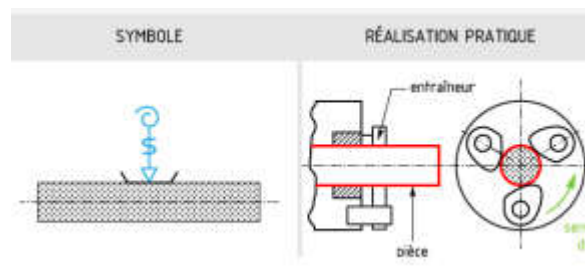


✓ **Désignation :**

Mors striés à serrage concentrique qui assurent le centrage et le serrage simultanément.



Mors à serrage concentrique flottant utilisés comme entraîneurs sur surface usinée



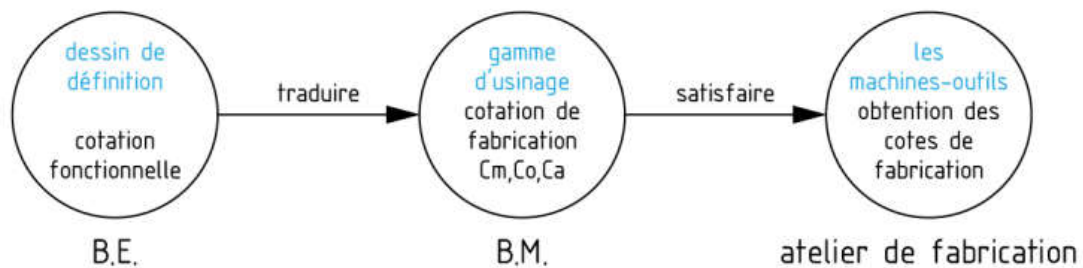
VIII. Cotation de fabrication.

On peut naturellement se demander pour quoi doit on fixer une cotation de fabrication, puisque le bureau d'études a déjà établi une cotation fonctionnelle permettant d'assurer le bon fonctionnement de la pièce dans le cadre du système technique dont elle fait partie.

Or, le dessin de définition ne comporte que les cotes de la pièce finie et de plus le contrôle tout au long du processus de fabrication impose la connaissance de plusieurs autres cotes concernant :

- la pièce brute
- les cotes intermédiaires (d'ébauche et de demi-finition)
- certaines cotes fabriquées issues d'un transfert de cote imposé par la limitation des possibilités des machines et des outillages ou par une diminution du coût des outillages.

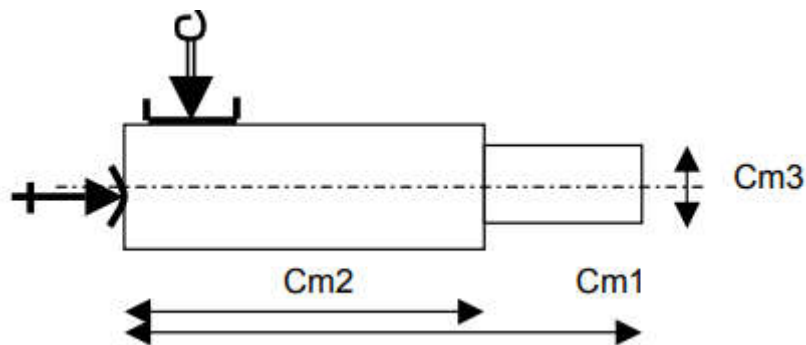
L'objet de la cotation de fabrication est la recherche et le calcul des cotes et spécifications fabriquées qui sont les éléments à contrôler après chaque séquence de fabrication. On doit tenir compte du processus de fabrication envisagé et le calcul des cotes est fait à partir des cotes fonctionnelles portées sur le dessin de définition et des cotes conditions imposées par le préparateur.



VIII.1. Les différentes cotes de fabrication.

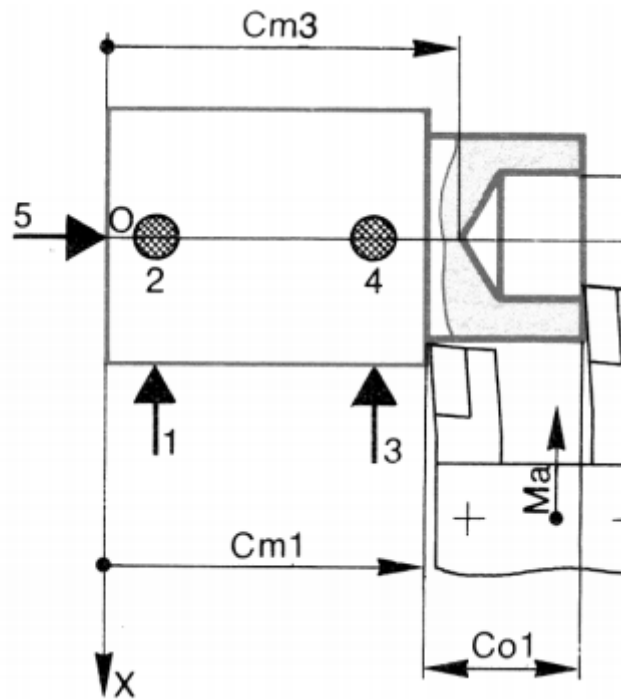
VIII.1.1. Cote machine Cm.

Ce sont des cotes séparant une surface de mise en position (ou l'axe de la pièce en tournage) et la surface usinée. La cote machine est obtenue par réglage de l'outil par rapport au référentiel de mise en position de la pièce. Exemple : les cotes Cm1, Cm2 et Cm3 sont des cotes obtenues par réglage de l'outil. Ce sont des cotes machines.



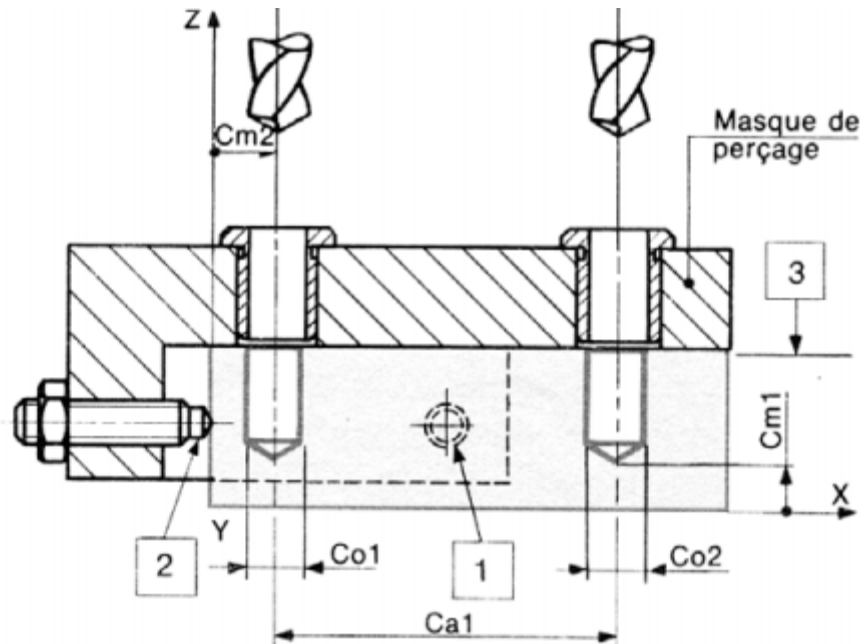
VIII.1.2. Cote outil : Co

La forme de la surface usinée est définie par la forme de l'outil. Exemple 1 : Diamètre obtenu par perçage et par un outillage comprenant deux outils liés ensemble



VIII.1.3. Cote appareil : Ca

Les cotes sont définies directement par le montage d'usinage. Exemple : les canons de perçage pour guider des forets.



IX. Le transfert des cotes

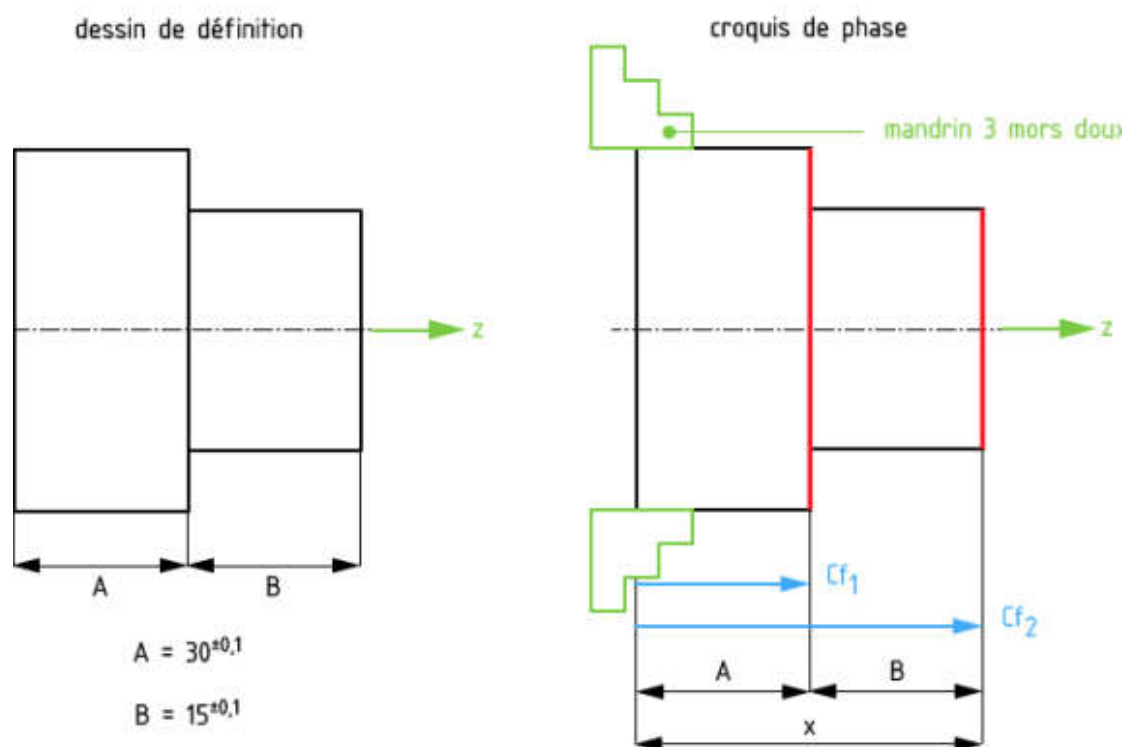
Le bureau de methode BM etablit l'avant projet d'étude de fabrication, sa verification et le calcul des cotes fabriquees a partir des specifications (cotes fonctionnelles, tolerances geometriques, etats de surface) du dessin de definition realise au bureau d'étude BE. les moyens de fabrication prevus dans l'avant projet d'étude de fabrication permettent parfois de realise directement certaines cotes fonctionnelles (cotes directes). Les autres cotes realisees indirectement necessitent un calcul appele **Transfert de cote**.

IX.1. Definition

Le transfert de cote est un moyen de calcul permettant la determination des cotes utiles a la fabrication.

Exemple

Considerant le dessin de definition d'une piece et le croquis de phase relatif au procede d'usinage d'axe epaulé.



- la cote fabriquée Cf_1 , correspondant à la cote **A** du dessin de définition, est obtenue directement en cote machine. C'est une cote directe.
- La cote Cf_2 (ou **X**) est la cote-machine nécessaire au réglage de l'outil; il faut la calculer, car elle ne figure pas sur le dessin de définition.
- **A** et **B** sont les cotes fonctionnelles. Elles sont concernées par le transfert pour l'obtention de la cote fabriquée :

$$X = A + B$$

- **B** est à considérer spécialement, car elle touche la surface usinée et va donc être supprimée pour cette phase, étant remplacée par **X**. B est la cote condition, elle devient la **résultante** des autres cotes **A** et **X**, ce qui permet d'écrire la relation fondamentale :

$$ITB = ITX + ITA$$

où IT signifie intervalle de tolérance. On considère généralement que l'IT de la CC doit être supérieur ou égal à la somme des IT des Cf

En généralisant :

$$IT \text{ cote condition} = \sum \text{ cotes intervenant dans le transfert (y compris la cote à calculer)}$$

Il en résulte que :

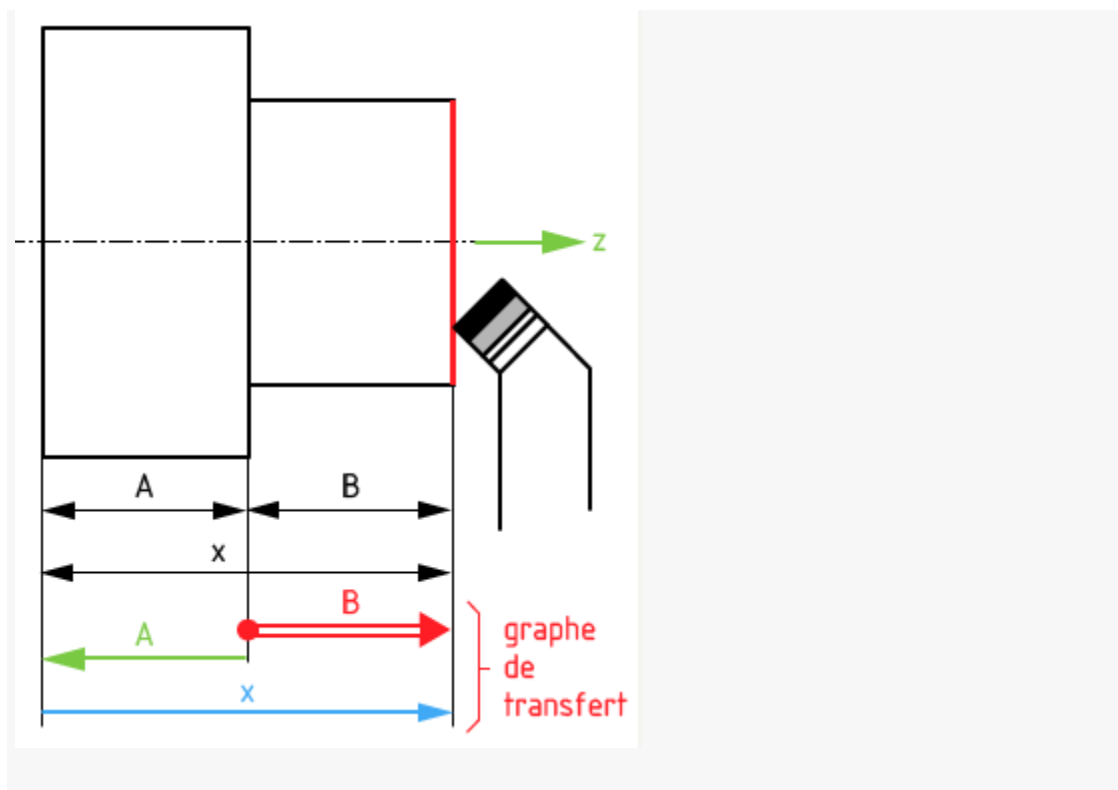
$$IT \text{ cote à calculer} = IT \text{ cote condition} - \sum IT \text{ autres cotes intervenant dans le transfert}$$

Ces relations fondamentales permettent le calcul de l'IT de la nouvelle cote.

Remarque:

L'IT de la nouvelle cote est obligatoirement plus faible que celui de la cote supprimée, devenue cote condition.

Pour éviter les erreurs, il est souhaitable de tracer la chaîne de cotes (appelé chaîne de transfert). La représentation graphique de la chaîne de transfert est appelé **graphe de transfert**



IX.2. Conventions adoptées pour tracer le graphe de transfert :

1. La cote condition (à transférer) est la cote qui ne peut être réalisée directement.
2. Le vecteur cote condition est tracé en double trait. Le sens positif habituellement utilisé est de la gauche vers la droite ou de bas en haut.
3. Les lignes d'attache de cotes sont numérotées de 1 à n.
4. Il ne peut pas avoir plus d'une cote fabriquée Cf par chaîne de cotes.
5. La chaîne de cotes doit être la plus courte possible.
6. L'IT de la cote condition doit être supérieur ou égal à la somme des IT des cotes composantes.

$$\text{IT cote condition} \geq \sum \text{IT des cotes composantes}$$

7. Les cotes de même sens que le vecteur cote condition sont maxi ou mini en même temps.
8. Les vecteurs des composantes sont tracés de manière à fermer la chaîne, leur sens étant choisi afin que la somme algébrique de ces composantes soit égale au vecteur cote condition. Pratiquement on peut prendre l'habitude de toujours partir de l'origine du vecteur cote-condition qui est en même temps l'origine d'une des composantes.

La lecture du graphe permet de trouver l'équation logique de la cote condition. Ainsi, B cote condition, et X, étant de même sens, alors que A est de sens contraire, on peut écrire :

$$\mathbf{B = X - A}$$

A partir de l'équation de la cote résultante $\mathbf{B = X - A}$ (ou encore $R = Cf_2 - Cf_1$), les conditions suivantes sont à respecter :

$$\mathbf{B_{maxi} = X_{maxi} - A_{mini}}$$

$$\mathbf{B_{mini} = X_{mini} - A_{maxi}}$$

IX.3. Les méthodes de calcul d'un transfert de cote

Avant de calculer en détail un transfert, il est préférable de vérifier d'abord que la nouvelle cote sera acceptable, c'est à dire que son IT sera non seulement positif, mais suffisant pour être réalisable en fabrication. A l'aide de la relation fondamentale :

$$\mathbf{IT\ cote\ à\ calculer = IT\ cote\ condition - \sum IT\ autres\ cotes\ intervenant\ dans\ le\ transfert}$$

il en résulte, pour le transfert de cotes traité dans le cas précédent :

$$\mathbf{ITX = ITB - ITA}$$

$$ITX = 0,3 - 0,2$$

$$ITX = 0,1$$

Si le IT est jugé acceptable, on peut entreprendre les calculs, soit à l'aide de la méthode de cotes-limites soit en appliquant la méthode des cotes-moyennes.

IX.3.1. La méthode des cotes limites

Ayant défini les cotes fonctionnelles **A** et **B**, on se propose de calculer la cote machine **X**. La cote **B**, qui touche la surface usinée, doit être supprimée et remplacée par **X**. Cette cote est donc la cote condition et la résultante de **A** et **X**. La méthode des cotes limites nécessite d'abord de tracer le graphe de transfert (figure); ensuite, l'équation de la cote condition $B = X - A$ est développée en interprétant les sens des vecteurs lus sur le graphe.

$$B_{\max} = X_{\max} - A_{\min}$$

$$B_{\min} = X_{\min} - A_{\max}$$

$$X_{\max} - 29,9 = 15$$

$$X_{\min} - 30,1 = 14,7$$

$$X_{\max} = 15 + 29,9 = 44,9$$

$$X_{\min} = 14,7 + 30,1 = 44,8$$

Simplification : Exploitation d'un tableau (placé en regard de la chaîne) qui permet de regrouper les calculs sous un faible volume, en réduisant les risques d'erreurs.

Conventions adoptées :

7. Si la cote condition est minimale, les composantes de même sens qu'elle sont minimales et les cotes composantes de sens opposé sont maximales.
8. La valeur de la cote condition minimale doit être inscrite dans la même colonne que les cotes composantes maximales.
9. La somme des cotes inscrites dans la colonne des cotes minimales est égale à la somme des cotes inscrites dans la colonne des cotes maximales (cote condition minimale incluse).

IX.3.2. La méthode des cotes moyennes

Reprenons l'exercice précédent. La démarche de calcul des cotes-moyennes comporte les étapes suivantes :

a) on exprime toutes les cotes connues en cote moyenne, soit :

$$A = 30^{\pm 0,1}$$

$$B = 15^{0/-0,3} = 14,85^{\pm 0,15} \quad (\text{Cote condition})$$

b) on calcule la valeur nominale de X : $X = A + B$ (ceci est lu sur le croquis)

$$\Rightarrow X = 30 + 14,85 = 44,85$$

c) on calcule l'IT de X en appliquant la relation fondamentale (6) soit :

$$IT \text{ cote condition (cote B)} = IT X + IT A$$

$$(\pm 0, 15) = IT X + (\pm 0, 1) \text{ donc :}$$

$$IT X = (\pm 0, 15) - (\pm 0, 1) = (\pm 0, 05)$$

Finalement, $X = 44,85^{\pm 0,05}$ valeur identique à celle trouvée par la méthode des cotes limites.

IX.4. Le calcul du transfert total

Les transferts établis précédemment sont souvent appelés « transferts partiels » lorsque l'IT de la cote nouvelle est acceptable sans qu'il ait été nécessaire de modifier les cotes d'origine. Dans certains cas, le calcul de la nouvelle cote est inacceptable :

- quand l'IT obtenu est négatif
- lorsque l'IT obtenu est positif mais de valeur trop faible pour pouvoir être respectée en fabrication.

On peut alors envisager un **transfert total**. Le calcul lui-même est identique à celui d'un transfert partiel mais il faut modifier les IT d'une ou plusieurs cotes d'origine, afin d'obtenir pour la nouvelle cote un IT acceptable.

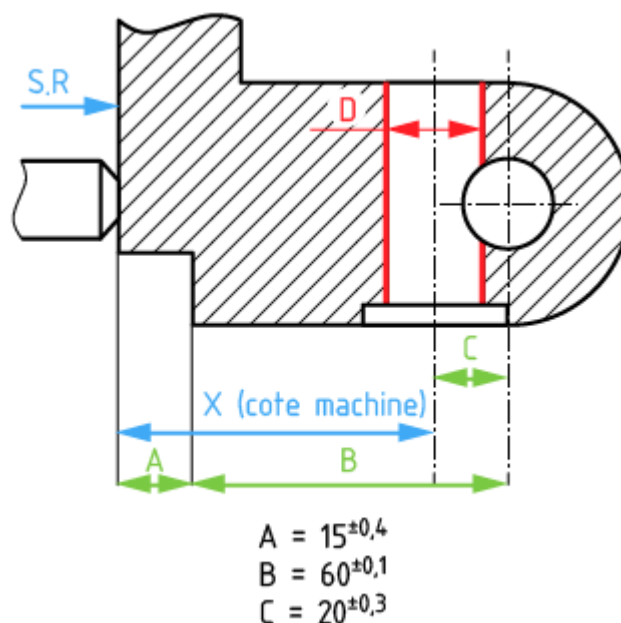
Fondamental:

Le préparateur n'a pas le droit d'augmenter le valeur de l'IT d'une cote fonctionnelle, mais il peut le réduire.

Exemple:

Soit D le cylindre à usiner

- X est la cote machine à calculer
- les cotes fonctionnelles du contrat sont $A=15^{\pm 0,4}$; $B=60^{\pm 0,1}$ et $C=20^{\pm 0,3}$
- C est la cote condition (elle sera supprimée et remplacée par X pour remplacer D).



Vérifier d'abord si le transfert est acceptable :

$$IT X = IT C - IT A - IT B$$

$$IT X = 0,6 - 0,8 - 0,2 = - 0,4$$

Conclusion : ITX étant négatif, le transfert n'est pas acceptable.

Au regard des équations ci-dessus et compte tenu du fait qu'on ne peut pas augmenter l'IT de la cote condition C, il résulte qu'on doit réduire ITA ou ITB, ou à la fois ITA et ITB, afin d'obtenir un ITX acceptable. Comme $ITA > ITB$ on va essayer d'abord de réduire ITA à une valeur encore réalisable normalement en fabrication, soit 0,2 par exemple. L'équation ci-dessus devient :

$$IT X = 0,6 - 0,2 - 0,2 = 0,2$$

Si cette valeur est également jugée réalisable en fabrication, ces nouvelles cotes tolérancées peuvent être retenues. Sinon, on peut tenter d'autres modifications, par exemple réduire aussi ITB (l'essentiel étant que tous les IT soit réalisables).

Il est recommandé de répartir l'IT de la cote condition entre les différentes composantes (dont la nouvelle cote) de manière judicieuse, en accordant des IT plus importants aux cotes jugées les plus difficiles à réaliser par l'usinage.

Remarque:

Lorsqu'on réduit l'IT d'une cote, le nouvel IT devient définitif du point de vue usinage, c'est-à-dire qu'au moment où cette cote sera réalisée il faudra respecter l'IT réduit, soit 0,2 pour la cote **A** dans l'exemple précédent. Par contre, le contrôle de la pièce doit vérifier la cote fonctionnelle avec son IT d'origine (le contrôle de fabrication est fait pour juger et garantir l'aptitude à l'emploi du produit).

Lorsqu'on réduit les IT de certaines cotes il est conseillé de ne pas changer leur cote moyenne, afin de ne pas risquer de perturber le fonctionnement de la pièce dans son ensemble. Un autre raisonnement peut conduire à vouloir réduire le jeu fonctionnel maximal par rapport à la pièce voisine : il est souhaitable, dans cette situation, de recueillir l'avis du dessinateur. Le calcul du transfert total peut se faire ensuite en suivant le même raisonnement utilisé pour le calcul d'un transfert partiel.

Risques d'erreurs dans les calculs des transferts :

- un mauvais choix de la cote condition,
- un mauvais tracé du graphe de transfert,
- équation mal posée : on commence toujours par l'équation de la cote condition.

Remarque:

La méthode des cotes moyennes évite les deux derniers types d'erreurs ; elle est plus rapide lorsque la totalité ou la majorité des cotes sont déjà exprimées en cote moyenne. Parfois, la méthode des cotes limites est la seule utilisable (lorsqu'il s'agit de calculer le mini ou le maxi d'une nouvelle cote).

X.5. Les inconvénients et les avantages des transferts de cotes✓ **Les transferts réduisent toujours les tolérances.**

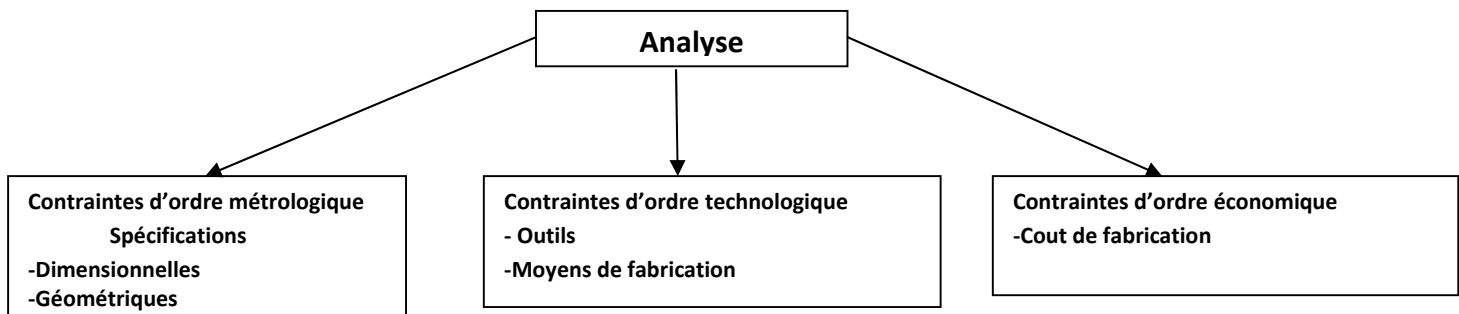
Ceci est évident puisque l'IT de la nouvelle cote est une fraction de l'IT de la cote supprimée, devenue cote condition. Cette réduction de la tolérance d'usinage peut nécessiter une machine plus précise ou une main d'œuvre plus qualifiée, ce qui augmente le prix de revient de la pièce.

✓ **Les transferts autorisent des simplifications.**

D'une part les transferts de cotes permettent de conserver un système de surfaces de référence déjà employé pour une phase précédente, on utilise donc le même montage d'usinage plutôt que de créer un nouveau. Il en résulte d'ici une réduction des frais d'outillages spéciaux. D'autre part, le transfert permet de regrouper l'usinage de plusieurs surfaces dans la même phase, au moyen d'outils combinés par exemple (en cotes-outils),

X. Analyse des problèmes de fabrication

Cette analyse comporte trois parties fondamentales

**X.1 CONTRAINTES D'USINAGE**

L'ordre des opérations d'usinage doit répondre à des impératifs que l'on désigne sous le nom de contraintes et qui sont d'ordre :

- Technologique ;
- Géométrique et dimensionnel ;
- Economique

X.1.1 CONTRAINTES TECHNOLOGIQUES :

Elles sont imposées par les moyens de fabrication.

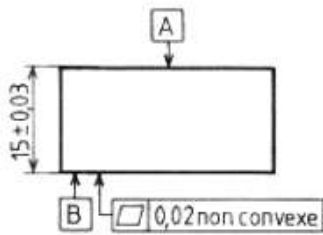
Croquis**Explications****Ordre d'opérations**

	<p>Un filetage ne peut être entrepris qu'après finition du diamètre enveloppe correspondant et des gorges de tombée d'outil surtout s'il s'agit d'un filetage intérieur non débouchant.</p>	<p>Perçage 2 Gorge 1 Filetage 2</p>
<p>Gorge de dégagement</p>		<p>Perçage 2 Lamage 1 Filetage 2</p>
	<p>Pour éviter les chocs nuisibles au bec de l'outil, la rainure sera obligatoirement réalisée après la finition du diamètre.</p>	<p>Finition du $\varnothing 1$ Rainure 2</p>
<p>Rainure de clavetage</p>		<p>Perçage 2 Pente 1</p>
<p>Perçage sur une face en pente</p>	<p>Pour éviter la déviation du foret, il est souhaitable de percer avant de faire la pente.</p>	

X.1.2. CONTRAINTES GEOMETRIQUES ET DIMENSIONNELLES :

Elles sont liées au respect des spécifications de formes et de positions notées sur le dessin de définition.

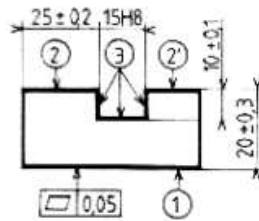
Croquis	Explications	Ordre des opérations
	<p>Afin de laisser à la fabrication une tolérance de perpendicularité la plus grande possible, on réalise la plus grande surface en priorité.</p>	<p>Usinage de B Usinage de A</p>
<p>Les tolérances de position imposent un ordre préférentiel.</p>		



La surface la plus précise servira pour assurer la liaison appui-plan pour la reprise de l'autre surface.

Usinage de A

Usinage de B



Modification des tensions internes

Après l'usinage de la rainure si la pièce est réalisée en laminé, elle a tendance à s'ouvrir, il faut donc prévoir :

- 1 une ébauche générale ;
- 2 une stabilisation ;
- 3 une finition des surfaces précises.

Ébauche de 1

Ébauche de 2- 2'

Ébauche de 3

Stabilisation

Finition de 1

Finition de 2 - 2'

Finition de 3

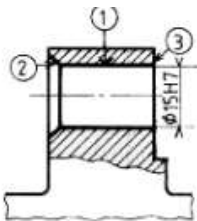
X.1.3 CONTRAINTES ECONOMIQUES :

Elles sont liées aux impératifs de réduction des coûts d'usinage.

Croquis

Explications

Ordre des opérations



Usinage précis, débouchant sur une surface brute.

Les impuretés superficielles des surfaces brutes (sable de fonderie) peuvent entraîner une détérioration rapide du bec de l'outil de finition.

En règle générale, l'outil de finition ne doit pas attaquer ni déboucher sur une surface brute.

Dressage 3

Perçage 1

Chanfrein 2

Alésage 1

Règle 1 : L'ordre des opérations d'usinage doit être défini en tenant compte simultanément de toutes les contraintes.

Règle 2 : Si pour une raison d'ordre technique, économique, dimensionnelle ou géométrique, une surface A doit être usinée avant une surface B, elle constitue pour cette dernière, une contrainte d'antériorité.

X.2.L'analyse d'usinage

X.2.1.Introduction

L'analyse d'usinage comporte trois aspects essentiels pour la préparation du travail :

- l'étude de fabrication
- l'élaboration des gammes
- l'analyse des phases

Dans la présente section on aborde les aspects précités en se fixant comme objectifs :

- de définir la suite logique des usinages pour une pièce à réaliser
- de choisir les machines et les outillages à employer pour réaliser des pièces bonnes, à un prix de revient minimal
- de rédiger les documents nécessaires au lancement et au suivi des travaux à l'atelier

On introduira dans cette optique les notions théoriques permettant de formuler des considérations technologiques relatives à la mise en position des pièces sur les machines - outils **(MO)**, à la cotation de fabrication, ou encore à l'établissement des gammes d'usinage. L'analyse détaillée des documents fournis par le bureau d'études **(BE)** précède toute décision, il faut évaluer et analyser avec attention les spécifications dimensionnelles et géométriques des pièces afin de constituer des dossiers de fabrication rigoureux et précis.

X.2.2.La méthodologie d'élaboration

Malgré l'importance des considérations relatives aux critères géométriques, donner plus d'importance aux critères technologiques est préférable car de ces critères dépendront la nature, le nombre et l'ordre de phases.

Classiquement la démarche suivante doit être suivie pour l'élaboration des APEF : Avant Projet d'Etude de Fabrication

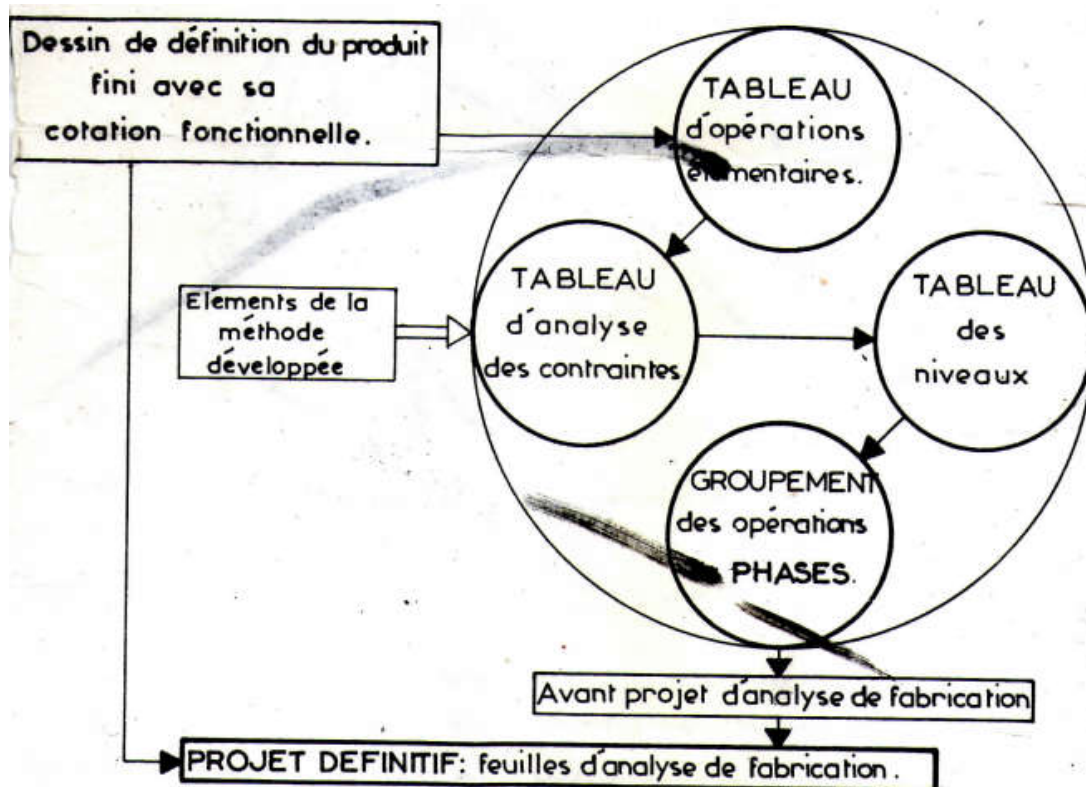
1. lecture attentive et analyse du programme de fabrication
2. lecture attentive, interprétation et analyse du dessin de définition du produit
3. recherche du nombre minimum d'opérations par surface, en fonction de la qualité demandée et du nombre minimum d'opérations par surface
4. inventaire du type de machines pouvant être utilisées pour la réalisation de chaque surface élémentaire, **application du critère de possibilité des machines.**
5. évaluation du nombre maximum et de la nature des appuis compatibles avec la forme et l'étendue de chaque surface élémentaire; **application du critère de reprise optimum.**
6. regroupement des surfaces par type de machines utilisables ; **application du critère d'association maximum.**

7. découpage de chaque groupe en phases compatibles avec les possibilités des machines, des outils et des outillages; **application du critère de possibilités des machines.**
8. choix de l'ordre chronologique des phases, en fonction respectivement :
 - des possibilités de reprise optimum de chaque groupement de surfaces
 - de la recherche d'une étude de fabrication à transferts économiques concernant principalement les cotes et les spécifications des positions relatives des différents groupements de surfaces.

X.3. Etude d'analyse de fabrication

L'analyse de fabrication par la méthode développée nécessite du bureau de méthode la recherche, étude et analyse très approfondie et détaillée du dessin de définition du produit fini.

X.3.1. Graphe logique de la méthode développée



X.3.2. Étude des documents émanant du bureau d'études.

a) A partir du dessin de définition coté de manière fonctionnelle, on effectue le repérage des surfaces usinées et brutes (chiffres, lettres, lettres avec indices, etc).

Prendre ensuite rapidement connaissance des caractéristiques principales :

- de la pièce : matière, dimensions et formes
- des surfaces brutes : nature, formes et dimensions de ces surfaces
- des surfaces usinées :
 - nature, formes, dimensions, précision, cotation relative à chaque surface,
 - liaisons au brut : cotes entre surfaces usinées et surfaces brutes

b) Établissement des liaisons d'ordre dimensionnel et/ou géométrique entre les surfaces brutes et usinées ou entre les surfaces usinées seulement. On mettra déjà à ce stade en évidence la concentration importante de contraintes sur certaines surfaces qui constitueront probablement des antériorités dans la réalisation des usinages pour la réalisation d'autres surfaces. On réalisera également à ce stade des transferts de cotes si certaines surfaces ne possèdent pas de cote de liaison.

Sur la base des considérations faites et des relations établies nous sommes capables à ce stade de compléter le document "**tableau des opérations élémentaires**". On réalise donc à ce stade l'inventaire de toutes données fournies par le bureau d'études.

Le nombre d'opérations minimum à envisager est fonction de l'état de surface imposé.

c) Remplir, sur la base du document précédemment réalisé, le tableau "groupement évident des opérations". Rechercher les groupements évidents de surfaces pouvant être réalisées par le même outil par exemple (ou par plusieurs outils associés) ou encore par le même type d'opération (les ébauches).

d) Remplir le document récapitulatif regroupant les **contraintes d'antériorités, dimensionnelles et géométriques**.

e) Procéder à l'établissement du "**tableau des niveaux**". Sur ce document nous pouvons faire apparaître les contraintes d'antériorité, il s'établit à partir de la feuille d'opérations élémentaires et du dessin de définition du produit. On reporte en "entrées et sorties" les opérations élémentaires, le tableau servira pour la détermination des niveaux d'usinage et le groupement d'opérations par phases.

Parfois deux opérations élémentaires sont en contraintes d'antériorité réciproque. Dans ce cas il est impossible de poursuivre l'étude, il faut alors faire un choix au niveau des contraintes et négliger celle qui a moins d'importance. Détermination des niveaux d'usinage. On va totaliser d'abord, dans la colonne prévue, l'ensemble des antériorités indiquées sur les lignes. Les surfaces (ou les opérations) ayant obtenu zéro (donc aucune contrainte d'antériorité) seront réalisées en premier lieu. La détermination des opérations de niveau 1 est faite en supprimant dans le tableau des niveaux les colonnes correspondant aux

surfaces ou aux opérations ayant obtenu zéro sur la ligne. On effectue une nouvelle sommation, des zéros apparaîtront maintenant au niveau 1.

On procédera ainsi, de la même manière, jusqu'à l'épuisement des antériorités, ce qui peut être vérifié facilement car à la fin de chaque ligne nous devons avoir la valeur zéro.

g) Groupement des phases. Après avoir placé verticalement les niveaux et sur chaque ligne de ceux-ci les opérations élémentaires on procède au groupement des opérations en prenant en compte les considérations d'antériorité type réalisation par le même outil ou groupement évident par type de surfaces, etc. Le regroupement se fera également sur la base des considérations économiques, des possibilités techniques, du parc machines disponible, etc.

h) Rédaction du document **Feuille d'Analyse d'Usinage** (gamme d'usinage) en s'appuyant sur les considérations concernant les choix des référentiels, le respect des spécifications dimensionnelles et géométriques, etc.....

X3. 3. Le programme de fabrication

Le programme de fabrication fournit et concerne :

- les informations relatives à la quantité et la cadence des pièces à produire,
- la nature et la qualification de la main d'œuvre,
- la nature du parc machines disponible, les fiches techniques de ces machines,
- le délai de fabrication,
- le coût horaire des postes de travail.

X3.1. Le dessin de définition du produit

Ce document, issu du **BE**, doit exprimer les seules conditions fonctionnelles destinées à être prises en compte pour le contrôle de réception. Il apporte des informations concernant la pièce en précisant notamment:

- le nom, la matière et des informations complémentaires telles que les tolérances, la dureté, les traitements thermiques à appliquer, etc.
- la morphologie générale de la pièce, à l'aide des vues principales, des vues et coupes partielles et éventuellement d'une représentation volumique 3D
- les fonctionnalités de la pièce grâce :
 - aux cotes nominales,
 - aux tolérances dimensionnelles,
 - aux spécifications géométriques,
 - aux états de surface.

L'étude du dessin de définition aura une incidence sur : le type et la capacité des machines choisies pour réaliser les usinages, les paramètres de coupe, la mise en position de la première phase de la gamme, et le repérage des surfaces à usiner.

X.3.2.Le dessin du brut capable

L'étude de la forme brute de la pièce donne des informations sur le matériau, les surépaisseurs d'usinage, les surfaces de départ de cotation, les traitements de stabilisation, le mesurage et le contrôle métallurgique éventuels.

X.3.3.L'avant projet d'étude de fabrication (APEF)

Avant Projet d'Etude de Fabrication **L'APEF** comporte une suite ordonnée possible des différentes phases intervenant dans le processus de réalisation d'une pièce. Il recensera les informations suivantes :

- l'ordre chronologique des phases d'usinage,
- la localisation géométrique pour chaque phase (mise en position géométrique des silhouettes),
- l'ordre des opérations pour chaque phase,
- le repérage des surfaces à réaliser,
- les outils utilisés et leur mode d'intervention (trajectoire et arrêt en position),
- les machines utilisées.