

III. ANALYSE DE FABRICATION

III.1. AVANT-PROJET D'ÉTUDE DE FABRICATION (APEF)

III.1.a. Phases & opérations

Phase : ensemble d'opérations d'usinage réalisées sur une même machine et à l'aide d'un même référentiel (montage).

Exemples : phase de fraisage sur fraiseuse verticale – phase de tournage sur tour CN

Opération : activité élémentaire d'usinage réalisée avec les mêmes moyens de fabrication (outils - réglages -) .

Exemples : opération de surfaçage de la surface B – opération de chariotage des surface C et D

III.1.b. Contenu de l'APEF

L'**APEF** est un document tabulaire, appelé aussi **avant-projet de gamme d'usinage**, présente de façon claire et succincte les **principales phases** de fabrication d'une pièce donnée. Il présente de façon textuelle et/ou graphique les informations suivantes :

- ✓ l'ordre chronologique des phases d'usinage,
- ✓ le repérage des surfaces à usiner pour chaque phase,
- ✓ le repérage isostatique de la pièce à usiner pour chaque phase,
- ✓ l'ordre des opérations d'usinage pour chaque phase,
- ✓ les outils utilisés en position de travail pour chaque opération de chaque phase,
- ✓ Les cotes de fabrication pour chaque phase,
- ✓ les machines utilisées.
- ✓ les moyens de contrôle

Exemple 2

PHASE N° 20		AVANT-PROJET D'ÉTUDE DE FABRICATION	
Ensemble : _____	Programme de fabrication	Matière : A-U5GT	
Élément : _____		Brut : Y 34**	
Machine-outil : Fraiseuse verticale	Désignation : Fraisage		
Désignation des opérations	Outils	Vérificateurs	
Dresser F1 et F2 Cf1 = _____ Cf2 = _____	Fraise cylindrique 2 tailles \varnothing 100	Calibre min-max Calibre min-max	

Exemple 1

Ensemble : _____		AVANT-PROJET D'ÉTUDE DE FABRICATION	Date : _____	
Pièce : support			Dessiné : _____	
Matière : 2017				
Brut : corroyé				
Nombre : 25 S.R.				
N°	DÉSIGNATION	CROQUIS		
10	CONTRÔLE DU BRUT \varnothing : 40 mm Longueur : 87 mm			
20	TOURNAGE SUR C.N. (1)* Une pièce en 3 mors durs. Mise en position : - Centrage long sur brut. - Butée escamotable sur brut. Serrages opposés aux appuis. a) Exécuter le profil ① ② ③ ④ ⑤			
30	TOURNAGE SUR C.N. (2)* Une pièce de 3 mors doux. Mise en position : - Centrage long sur ③ - Appui ponctuel sur ④ Serrages opposés aux appuis. a) Exécuter le profil ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ b) Tronçonner ⑪ c) Dresser ⑫ d) Exécuter le profil ⑬ ⑭			
40	CONTRÔLE FINAL a) cotes b) spécifications c) rugosités			

III.1.c. Élaboration de l'APEF

L'élaboration de l'APEF nécessite plusieurs tâches. Certaines ont déjà été présentées (choix des machines et des outils de coupe). D'autre seraient élaborées dans le reste de ce chapitre (l'étude des contraintes d'antériorité, le repérage isostatique, l'installation des cotes de fabrications et leurs calculs et finalement, le choix des moyens de contrôle)

III.2. CONTRAINTES D'ANTERIORITE EN TOURNAGE

III.2.a. Types de contraintes

Certaines contraintes imposent une chronologie bien déterminée des différentes opérations d'usinage. On cite principalement les contraintes géométriques, les contraintes dimensionnelles, les contraintes technologiques ainsi que les contraintes économiques :

Contraintes géométriques	Elles sont le résultat de la nécessité de respecter les formes et les tolérances géométriques prescrites dans le dessin de définition.
Contraintes dimensionnelles	Elles sont le résultat de la nécessité de respecter les cotes prescrites dans le dessin de définition.
Contraintes technologiques	Elles sont imposées par les limites des moyens de fabrication
Contraintes économiques	Leur respect est essentiel pour l'obtention d'un coût de fabrication acceptable.

Des illustrations de quelques-unes de ces contraintes sont données à titre d'exemple dans ce qui suit

CONTRAINTES GÉOMÉTRIQUES		
Contrainte	Ordre des opérations	Dessin de définition
<p>Coaxialité Les centres des circonférences A et B matérialisent l'axe de référence.</p>	<p>Les surfaces A et B étant une même référence doivent être usinées sans démontage de la pièce. Il en résulte un montage entre pointes de la pièce, d'où :</p> <p>1° Centrage. 2° Usiner les surfaces A et B.</p>	
<p>Perpendicularité La surface tolérancée doit être comprise entre deux plans parallèles distants de 0,05 et perpendiculaires à la surface de référence A.</p>	<p>Afin de laisser à la fabrication une tolérance de perpendicularité aussi grande que possible, on effectue :</p> <p>1° L'usinage de la surface A. 2° L'usinage de la surface verticale.</p>	

CONTRAINTES DIMENSIONNELLES		
Contrainte	Ordre des opérations	Dessin de définition
<p>Liaison entre surface brute et surface usinée</p>	<p>(B) → (F)</p>	
<p>Liaison entre deux surfaces usinées</p>	<p>(B) → (1) (1) → (2)</p>	

CONTRAINTES TECHNOLOGIQUES		
Contraintes	Ordre des opérations	Dessin de définition
Affaiblissement dû à l'usinage	Afin d'éviter un affaiblissement prématuré de la pièce, on termine l'extrémité 1 avant de commencer l'usinage de la gorge 2.	
Flexibilité par usinage La pièce assure le maintien d'un arbre par pincement.	La fente de largeur 2 rend la pièce particulièrement flexible; l'usinage de cette fente est effectué à la dernière opération.	
Déviaton du foret	Afin d'éviter une déviation du foret lors de l'attaque du perçage inférieur, on termine le perçage avant d'effectuer le rainurage, ou on utilise un montage spécial guidant le foret lors du perçage inférieur.	 Matière : 2017 (A - U4G)
Détérioration des surfaces fragiles	Lors des manipulations successives, la partie filetée peut recevoir des chocs. Il est conseillé de terminer par l'opération de filetage. En cas d'impossibilité, protéger la partie filetée par une bague en matière plastique par exemple.	 Bague de protection
Utilisation d'un type d'outillage	On prévoit d'utiliser une fraise à lamer avec pilote. Dans ce cas, il est nécessaire : — de percer avant de lamer, — de lamer avant de tarauder pour ne pas détériorer la partie filetée.	
Protection des surfaces	Les traitements de protection des surfaces sont généralement effectués après la finition complète des usinages.	
Supprimer les bavures dues au moletage	Effectuer les chanfreins après le moletage.	
Pas de bavure dans l'alésage de diamètre D	Afin de supprimer la bavure due au fraisurage, on procède de la manière suivante : 1° Ebauche et demi-finition éventuelle de l'alésage. 2° Fraisurage. 3° Finition de l'alésage.	

Extrait de
A. CHEVALIER
J. BOHAN

CONTRAINTES ECONOMIQUES		
Contraintes	Ordre des opérations	Dessin de définition
Réduire la durée de l'usinage a) Organiser les passes d'usinage.	La solution B présente un temps d'usinage plus faible que la solution A.	
	L'association de deux outils, outre le respect en « cote directe » de la cote du dessin de définition, permet de gagner un temps appréciable par rapport à l'utilisation d'un seul outil.	
Réduire l'usure des outils Extrait de A. CHEVALIER J. BOHAY	L'outil de finition attaque sur une surface brute. pour le protéger, on peut : - soit dresser l'extrémité de la pièce, - soit effectuer un chanfrein. REMARQUE : Même s'il ne s'agit pas d'une finition, l'attaque sur une surface brute et calaminée réduit la durée de vie d'un outil. Il est conseillé d'effectuer au préalable un grenailage.	

III.2.b. Quelques autres règles

– **Détermination du nombre de passes**

- Le nombre de passes d'usinage pour une opération donnée dépend essentiellement de et de
- Ainsi une passe de est toujours à prévoir en fin d'usinage.
- Une ou plusieurs passes d' sont à prévoir si la demandée est ou si la demandée est
- Une passe de est également à prévoir si la demandée est ou si la demandée est
- Le nombre de passes d'ébauche est finalement donc obtenu par la division de la surépaisseur restante par la

– **Cas des pièces de révolution**

- L'élaboration de pièce de révolution (comme des arbres étagés) consiste généralement en une série d'opérations de et de La question qui se pose est : comment ordonner ces opérations dans un APEF.
- Sachant que les diamètres sont de qualité très souvent supérieures aux longueurs des différentes sections, il serait de commencer par la série de pour ensuite passer à la série de
- En conclusion et en absence de spécifications dictées par des contraintes géométriques, dimensionnelles ou autres, les opérations à réaliser sont dans l'ordre chronologique
 -
 - (si applicable).
 -

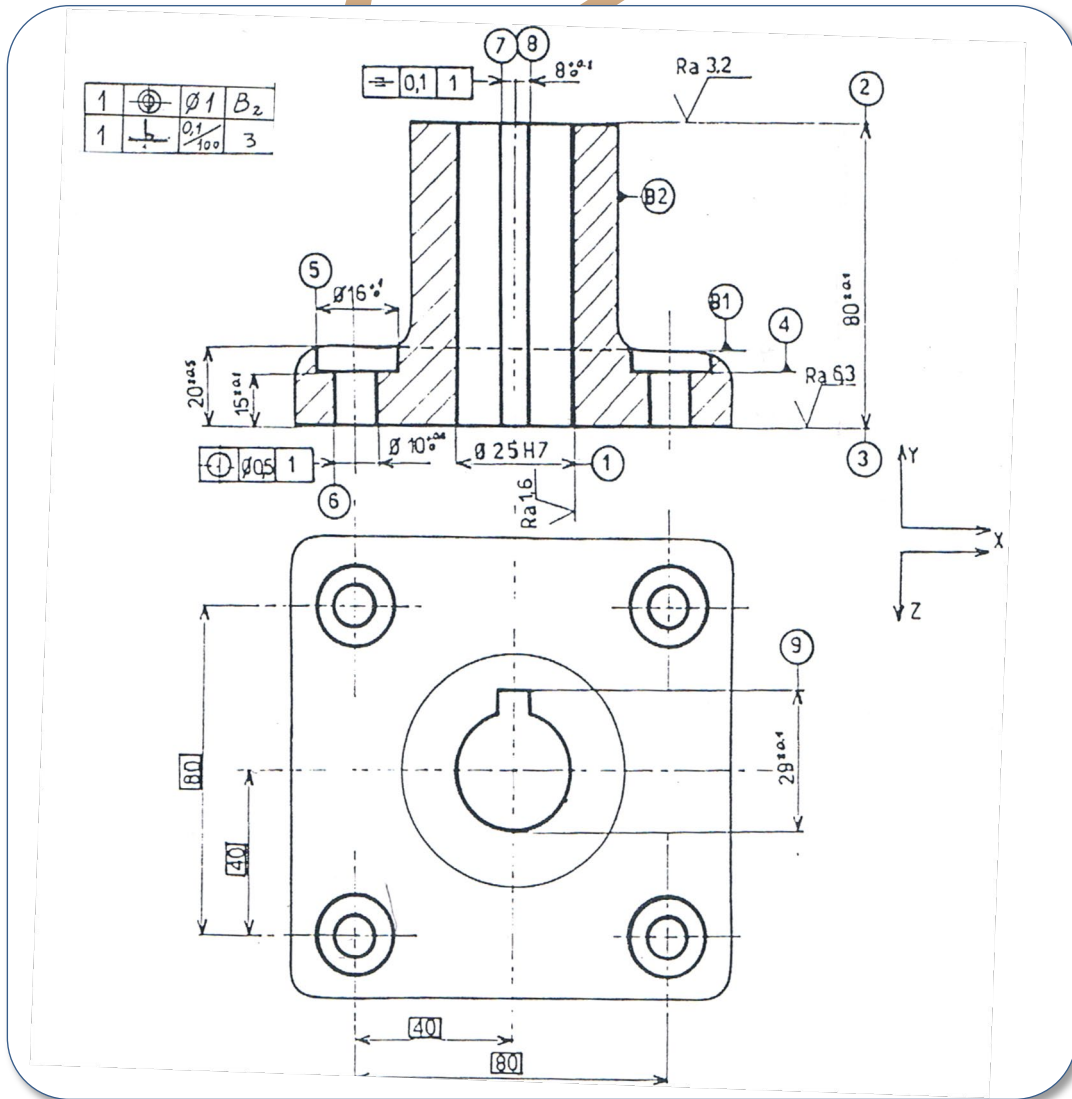
– **Respect de conditions géométriques**

Quand une condition géométrique (coaxialité, perpendicularité, ...) d'une surface A par rapport à une surface B est imposée, il faudrait :

- **Si possible**, exécuter les deux surfaces dans la même (d'où l'intérêt de la prise de pièces).
- **sinon**, exécuter en utilisant comme

III.2.c. Ordonnancement des opérations d'usinage

Cette section présente les différentes étapes d'ordonnancement des opérations d'usinage et ce, à travers l'exemple de la pièce montrée à la figure ci-dessous.



– Inventaire des surfaces brutes et à usiner

Tout d'abord, une liste complète des surfaces à usiner doit être dressée. Chacune est identifiée par un repère (nombre). Les surfaces brutes sont quant à elles repérées par des lettres (B₁, B₂,)

Surfaces à usiner :

Surfaces brutes :

– Associations évidentes des surfaces à usiner

Certaines surfaces, comme les trois surfaces d'une rainure, sont obtenues simultanément. Ainsi elles sont naturellement associées et désignées par un nouveau repère numérique ou alphanumérique. C'est ce repère qui sera utilisé par la suite

Surfaces à associer	Nouveau repère

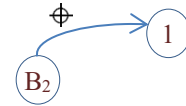
– Inventaires des contraintes

Une inspection rigoureuse du dessin de définition doit faire ressortir toutes les contraintes d'antériorité des différents types. Chacune des contraintes est transcrite sur le graphe de précedence.

Contraintes Géométriques		Contraintes dimensionnelles		Contraintes technologiques		Contraintes économiques	
Surf.	Avant Surf.	Surf.	Avant Surf.	Surf.	Avant Surf.	Surf.	Avant Surf.

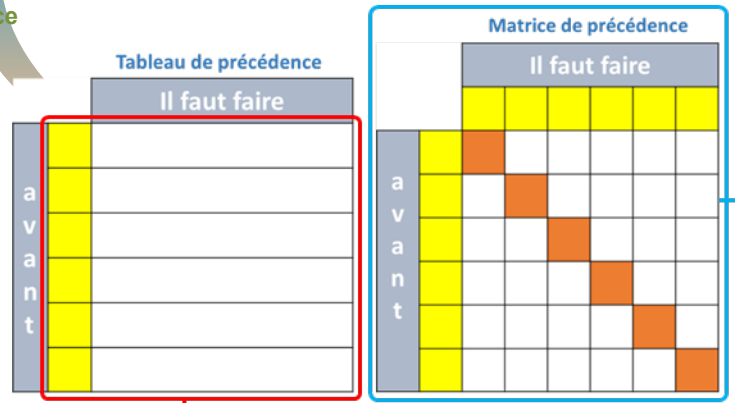
Construction du graphe de précedence

Chacune des contraintes du tableau ci-dessus est transcrite sur le graphe de précedence. Cette étape est importante pour vérifier l'absence d'une situation impossible de type « précedence réciproque » indiquée par un graphe fermé !!



Construction du tableau ou de la matrice de précedence

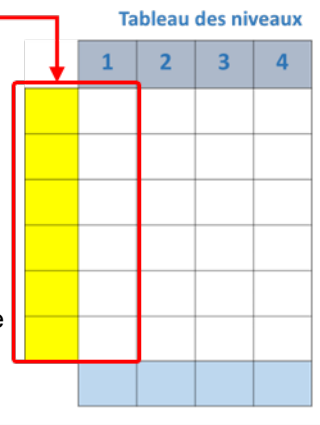
Toutes les contraintes répertoriées plus haut sont maintenant transcrites dans un tableau ou une matrice de précedence tel que montré ci-contre. Pour le tableau, il y a autant de lignes que de surfaces usinées. Pour chacune des surfaces usinées, une liste des surfaces antérieures est dressée dans la deuxième colonne (incluant les surfaces brutes). Les mêmes informations peuvent être transcrites dans la matrice de précedence ayant autant de lignes et de colonnes que de surfaces usinées et ce en mettant des croix. La matrice n'inclut pas les surfaces brutes.



Construction du tableau des niveaux (2 méthodes)

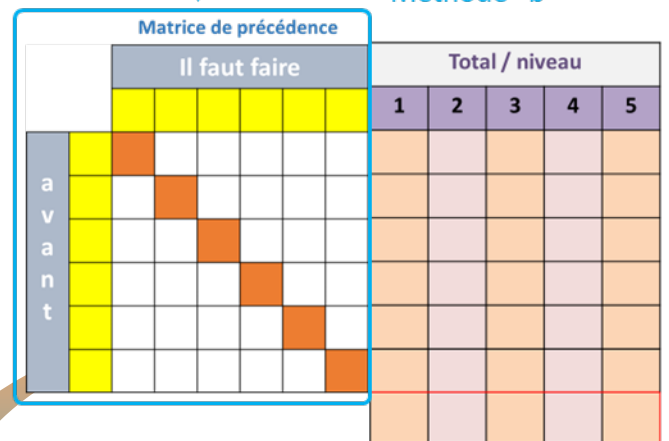
a- En utilisant le tableau de précedence

- Les 2 premières colonnes du tableau des niveaux sont obtenues à partir du tableau de précedence. La première étape consiste à rayer les surfaces brutes.
- Ensuite, une inspection de cette colonne permet de déterminer la (ou les) surface(s) n'ayant plus aucune précedence requise. Cette (ces) surface(s) sont inscrites en bas comme surface(s) du premier niveau.
- Par la suite, le contenu de la première colonne est retranscrit en deuxième colonne en prenant le soin de barrer la(les) surfaces venant d'être sélectionnées.
- Une nouvelle inspection permet de déterminer la (ou les) surface(s) n'ayant plus aucune précedence requise
- L'opération continue ainsi jusqu'à ce que toutes les surfaces soient attribuées aux différents niveaux de précedence.



b- En utilisant la matrice de précedence

- Faire le total pour chacune des lignes de la matrice et l'inscrire à la col. 1
- Inscire les surfaces avec un total nul dans la dernière ligne (cadre rouge)
- Il s'agit des surfaces du niveau 1
- Récrire les totaux à la col. suivante (2) mais en soustrayant 1 au total de chaque activité ayant un précedesseur déjà affecté au niveau 1 ...
- etc



Répartition des opérations en phases

Finalement, en respectant les niveaux de précedence du tableau obtenu, les surfaces pouvant être usinées sur la même machine et avec le même montage sont groupées (graphiquement sur le tableau) dans la même phase. *Un niveau n'est pas nécessairement une phase.* Les surfaces pouvant être usinées lors d'une seule et même phase et par le biais d'un même outil constituent une même opération.

Constitution des phases

Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4	Niveau 5

Applications :

1- Compléter les graphes de liaisons (de précedence) pour chacune des pièces ci-dessous

2- Appliquer les différentes étapes d'ordonnancement des opérations d'usinage pour la pièce montrée ci-dessous (Rq: les surfaces A, R1, R2, R3, D1, D2, T, T' et L sont à usiner)

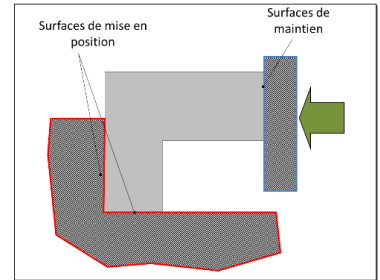
III.3. ISOSTATISME ET CHOIX DES SURFACES DE REFERENCE

III.3.a. Contexte

- Afin de pouvoir l'usiner, une pièce devrait être solidement fixée à une partie de la machine-outil, sans toutefois être déformée. Ses ... degrés de liberté (ddl) devraient ainsi être préalablement éliminés.
- Cependant, l'immobilisation de la pièce devrait être précédée par un approprié sur la machine-outil. Ceci a une grande influence sur la forme et les dimensions obtenues.
- Ainsi, pour qu'une série de pièces soient interchangeable, donc, il faudrait qu'elles soient positionnées sur la machine
- L'isostatisme (ou le repérage isostatique) en usinage concerne donc le positionnement des pièces à usiner sur les machines-outils de façon bien déterminée et

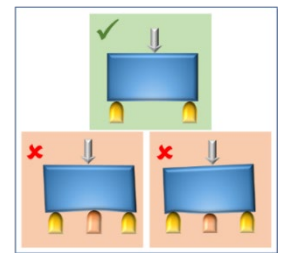
III.3.b. Mise en position et maintien en position

- La prise de pièce nécessite deux fonctions: la mise en position de la pièce (.....) et son maintien en position (.....). Chaque fonction est assurée par des surfaces de montage dédiées.
- Le dispositif de maintien doit assurer le contact permanent de la pièce avec les surfaces de mise en position et ce, malgré les efforts dus à la coupe. Les forces de maintien (serrage) doivent être d'intensité aussi faible que possible (minimisation des) et appliquées le plus proche possible de la surface à usiner (minimisation des



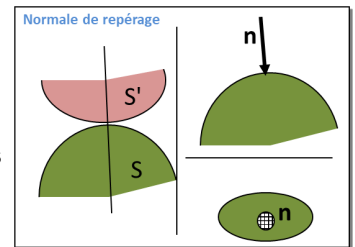
Uniquement la mise en position est traitée dans ce cours

- Une mise en position **isostatique** réussit à éliminer tous les ddl avec un nombre **minimum** de contacts réalisés avec les surfaces de Le cas échéant, elle est dite
- En fait, forcer la pièce à un nombre de contacts de repérage dépassant le nombre suffisant à éliminer tous les ddl, entraîne plusieurs possibilités de positionnement en plus de la de la pièce.



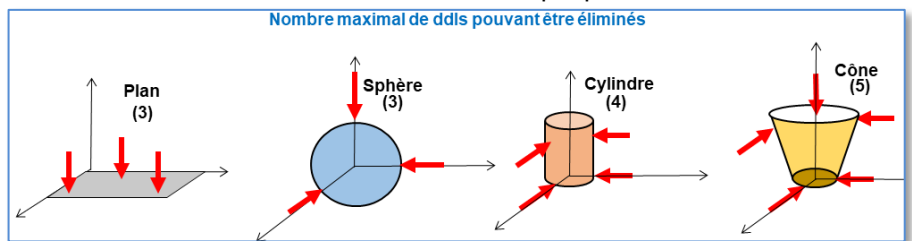
III.3.c. Symbolisation géométrique

- La liaison mécanique, de type contact ponctuel, entre le solide S et son voisin S', servant à le localiser, doit contribuer à éliminer un ddl.
- Une telle liaison est caractérisée par la normale au contact **n** représenté par un vecteur normal à la surface de contact, appelé normale de repérage.
- Elle est représentée par une flèche noirie ou un cercle avec hachures quadrillées dans le cas d'une projection. Selon la norme, cette flèche est placée à l'extérieur de la matière. Pour éviter l'encombrement du dessin il est permis de la placer sur une ligne d'attache.



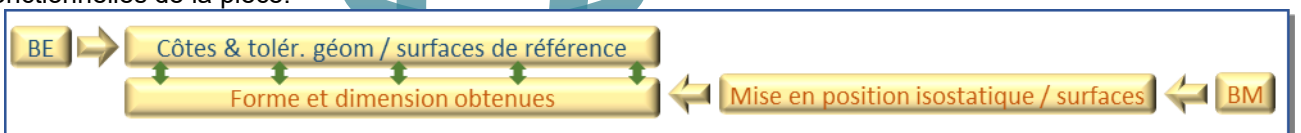
III.3.d. Nombre de normales de repérage

- Théoriquement, un solide est entièrement repéré par six normales de repérage. Cependant, pour des formes ce nombre est réduit à En effet, le ddl ne sera éliminé que par
- À chaque surface de contact (non ponctuel), on affecte autant de normales de repérage qu'elle éliminer de ddl.
- Ce nombre est au nombre de ddl pouvant être éliminé par la surface en question.
- En fait, le nombre maximal par surface n'est pas systématiquement utilisé car il ne faut jamais prévoir de normales de repérage pour des ddl Une telle pratique entraînerait le non-respect de l'isostatisme et le dépassement du nombre maximal "six".



III.3.e. Choix des surfaces de mise en position isostatique

- La question fondamentale est donc : **Sur quelles surfaces doit-on mettre les normales de repérage ? et combien ?**
- Pour cela il faudrait comprendre que la mise en position isostatique devrait contribuer à respecter les exigences fonctionnelles de la pièce.

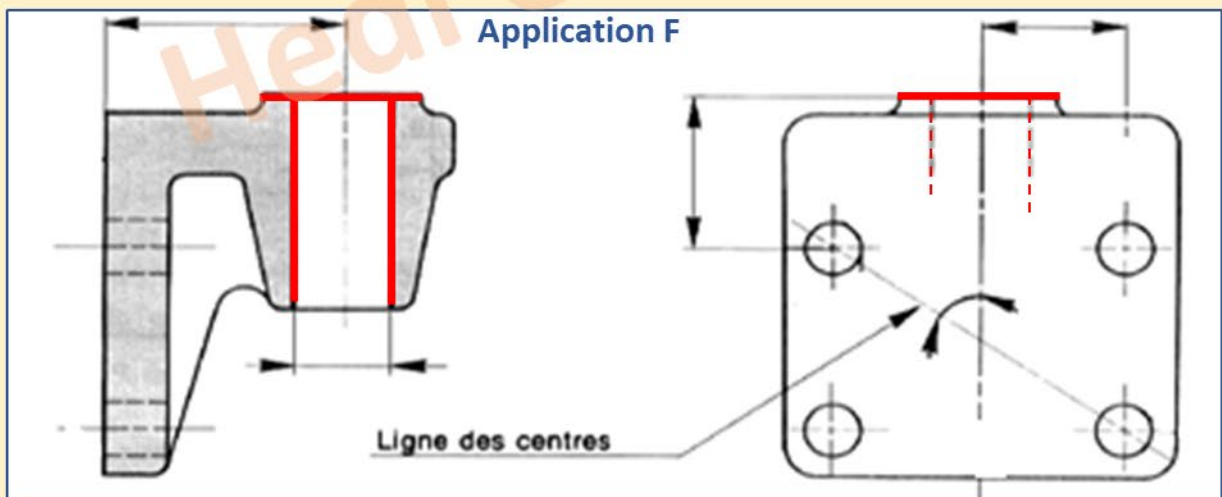
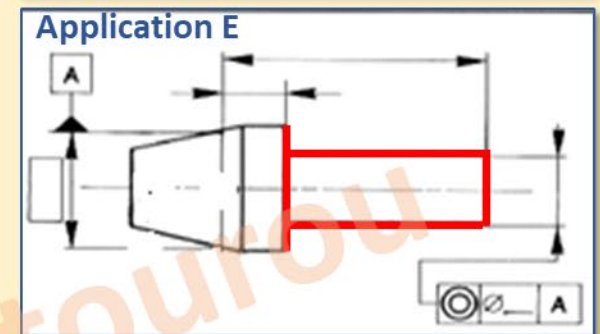
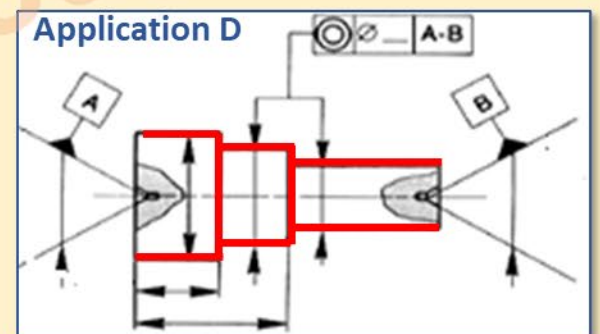
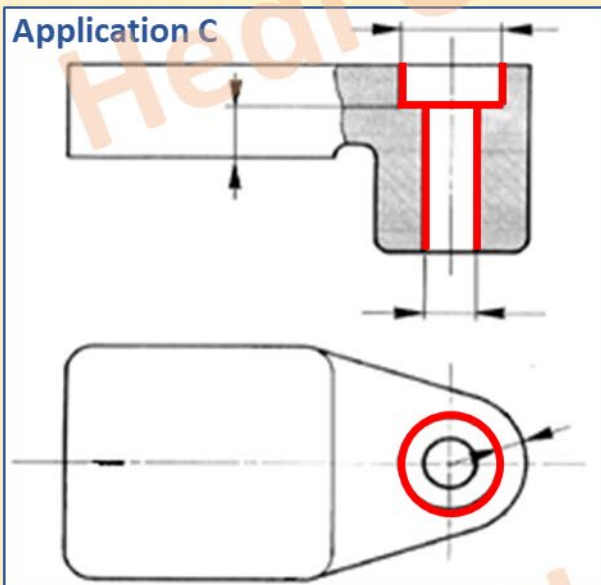
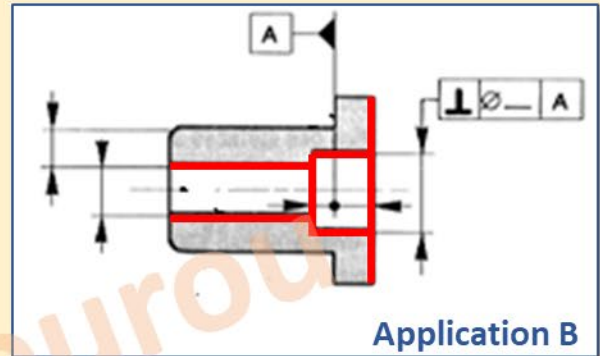
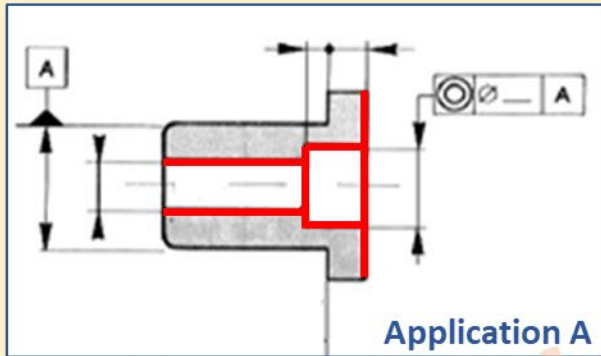


- ❖ Ainsi, les **surfaces de mise en position** sont généralement **les mêmes que** les surfaces du système de référence utilisé pour la localisation des surfaces à usiner sur la pièce référence
- Lors de l'attribution des normales de repérage aux différentes surfaces de mise en position, la priorité est donnée aux contraintes géométriques ensuite aux contraintes dimensionnelles (cotes)

III.3.f. Qualité de la mise en position

- Elle est améliorée par l'augmentation, dans les limites du possible, des distances entre les normales.
- Elle est également améliorée par la disposition des normales de sorte qu'elles soient directement dans la direction des ddl qu'elles éliminent (ou tangents s'il s'agit de ddl de rotation)

Applications Mettre les normales de repérage au bon nombre et aux bons endroits ... sachant que les surfaces usinées sont représentées en rouge

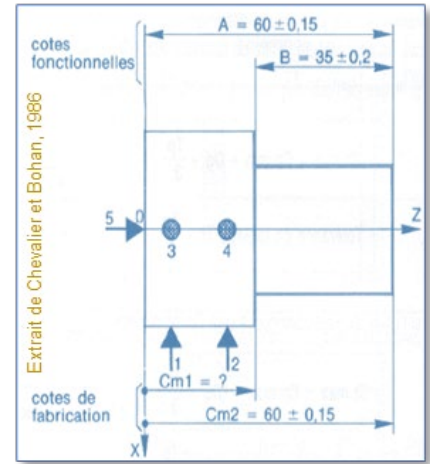


Extrait de Chevalier et Bohan 1986

III.4. INSTALLATION DES COTES DE FABRICATIONS ET LEURS CALCULS

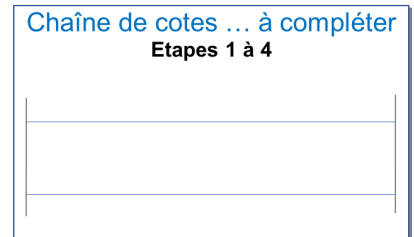
III.4.a. Contexte et définitions

- Le dessin de définition réalisé par le bureau d'études renferme toutes les cotes fonctionnelles, tolérances géométriques, état de surface, et autres informations caractérisant la pièce à usiner.
- L'usinage d'une pièce se fait à l'aide des cotes et non des cotes
- Une cote de fabrication appartient généralement à l'une des catégories :
 - Cotes
 - Cotes
- Toutes les cotes de fabrications sont désignées par les lettres CF suivies par un indice i (CF_i). L'ancienne désignation (C_o, C_m et C_a) qui apparaît dans les figures n'est plus utilisée.
- Certaines cotes sont obtenues par un transfert direct des cotes fonctionnelles en cotes de fabrication. Elles sont dites cotes D'autres autres sont obtenues par une opération de transfert indirect de certaines autres cotes fonctionnelles. Ce transfert peut être partiel ou total (expliqué à la section suivante).
- Bien que nécessaire pour l'obtention des cotes de fabrication manquante, la procédure de transfert indirect est à éviter le plus possible car elle entraîne et donc une



III.4.b. Méthodologie de transfert indirect partiel

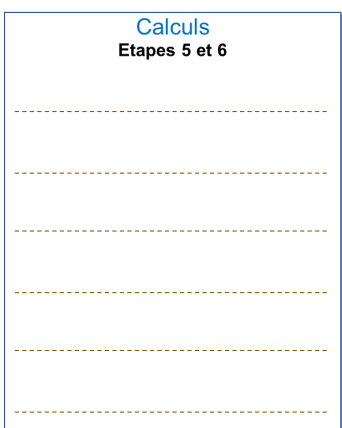
- Étape 1 : Établir la chaîne de cotes qui renferme la cote inconnue à déterminer
 - Une seule inconnue par chaîne
 - A cette étape du travail, la chaîne n'est pas encore orientée.
 - Il est conseillé de former la chaîne avec le moins de cotes possible.
- Étape 2 : choisir la cote condition (CC)
 - Une seule CC par chaîne.
 - La CC est nécessairement une cote fonctionnelle. C'est la cote qui sera « la condition à respecter » en fabricant la cote recherchée
 - Une cote ayant servie comme CC dans une chaîne précédente
 - Ainsi, toutes les cotes directes sont à lors du choix de la CC.
 - Pour que le transfert soit possible, la CC doit avoir parmi toutes les cotes de la chaîne.
 - En fait une des règles principales du transfert de cotes est que
 - Représenter la CC choisie par un double trait (pas encore orienté)



Note : Un transfert indirect partiel de cote peut s'avérer impossible est ce dans le cas où Dans ce cas les solutions qui se présentent sont ou bien :
 - le transfert indirect total: par ou par Ces deux solution requièrent l'approbation du
 - Le changement de pour obtenir de nouvelles cotes

- Étape 3 : orienter la CC (← : maximum ; ⇒ : minimum) tel qu'imposé ou au choix
- Étape 4 : orienter le restant de la chaîne ... en partant de l'origine de la CC et ce, en sens inverse
- Étape 5 : l'intervalle de tolérance (IT) de la cote recherchée ... est obtenu par la soustraction des ITs des autres cotes de celle de la CC [$IT_{CC} = \sum_{autres\ cotes} IT$]
- Étape 6 : déduire la valeur min ou max de la cote recherchée, selon le cas, en utilisant le principe suivant :

Si la CC est maxi $CC_{max} = \sum_{cotes\ de\ meme\ sens} (Max) - \sum_{cotes\ en\ sens\ inverse} (Min)$
 Si la CC est mini $CC_{min} = \sum_{cotes\ de\ meme\ sens} (Min) - \sum_{cotes\ en\ sens\ inverse} (Max)$



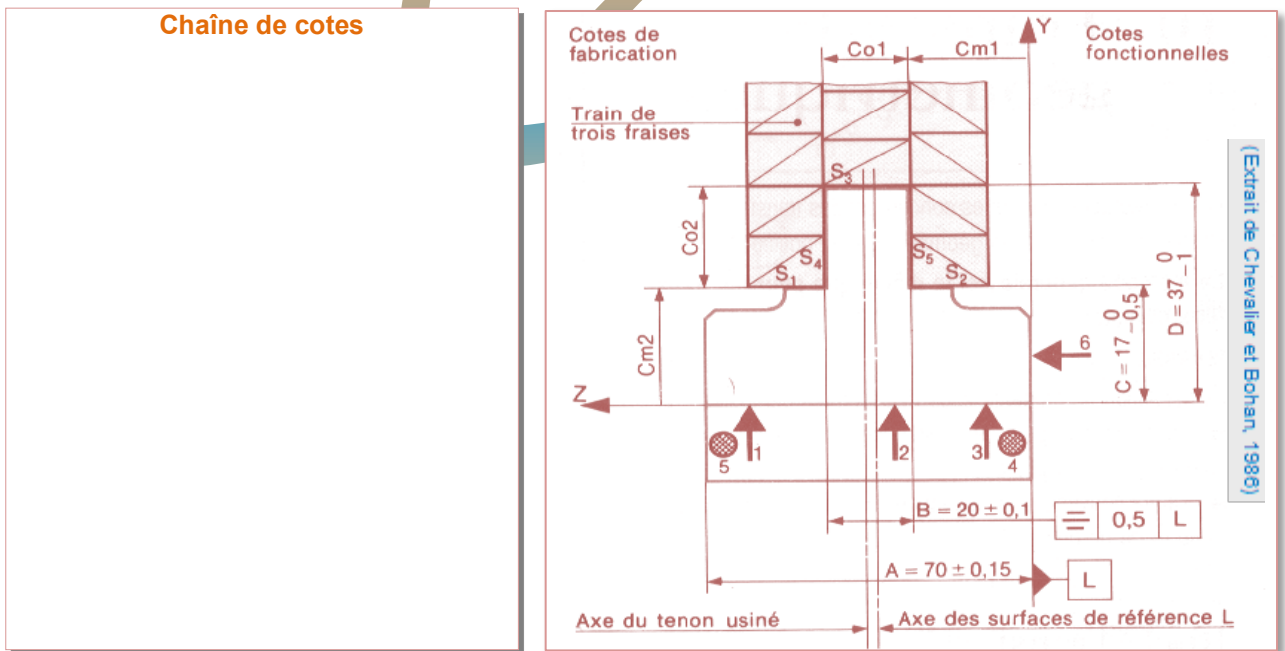
III.4.c. Calcul par la méthode du tableau

Quand plusieurs cotes de fabrication sont à déterminer par transfert, il peut s'avérer pratique d'utiliser un tableau de calcul. Les colonnes de ce dernier sont :

Cotes	CC←			Tol.	Observations
	min→	max←			

- Cotes** : où s'inscrit le nom de chacune des cotes de la chaîne
- min** : où s'inscrit uniquement les valeurs minimales des cotes orientées comme minimales dans la chaîne. **Si la CC est orientée maximale, sa valeur maxi y est également inscrite.**
- max** : où s'inscrit uniquement les valeurs maximales des cotes orientées comme maximales dans la chaîne. **Si la CC est orientée minimale, sa valeur mini y est également inscrite.**
- Tol** : où s'inscrit la valeur de l' IT de chaque cote de la chaîne
- Observations** : pour y inscrire les observations pertinentes s'il y a lieu

L' IT de la cote recherchée est déterminé comme précédemment par soustraction. Par ailleurs la valeur (maxi ou mini, selon le cas) de la cote recherchée est déterminée par le principe stipulant que **la somme des valeurs dans la colonne min est égale à la somme des valeurs dans la colonne max**
Exemple : Trouver la cote outil Co₂ par la méthode du tableau (utiliser le tableau donné ci-dessus)



III.4.d. APPLICATION (Isostatisme + transfert de cote)

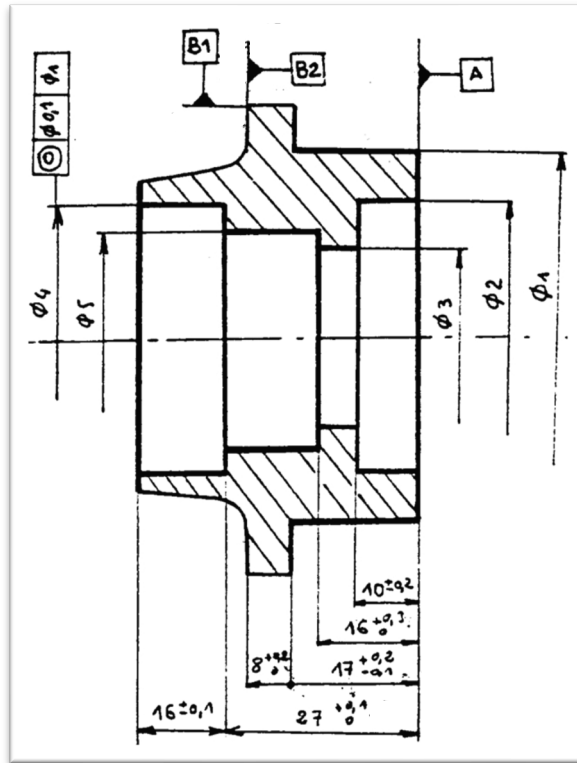
On donne la pièce représentée ci-dessus. Afin d'usiner cette pièce sur un tour parallèle, on propose la gamme suivante:

- phase 10 : la surface (B2) est une surface de référence
- phase 20 : la surface (A) est une surface de référence.

a) pour chaque phase

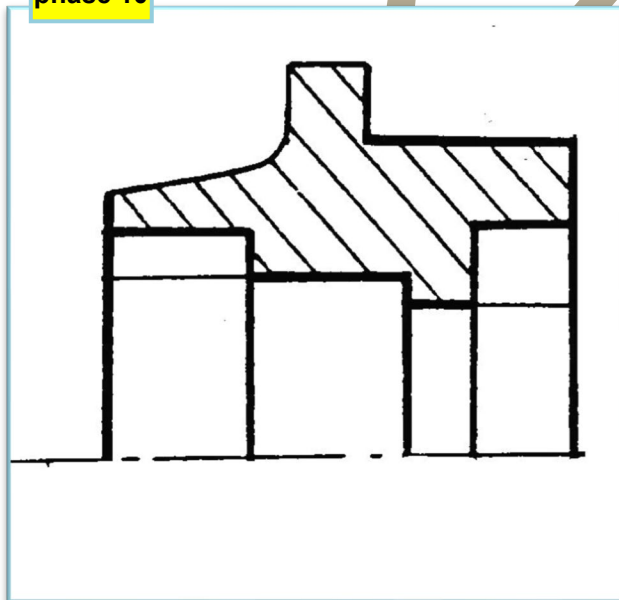
- faire la mise en position de la pièce (isostatisme)
- installer les cotes de fabrication,

b) sur le tableau joint, déterminer toutes les cotes de fabrication sur l'axe zz' (les surfaces à usiner sont représentées en traits forts)

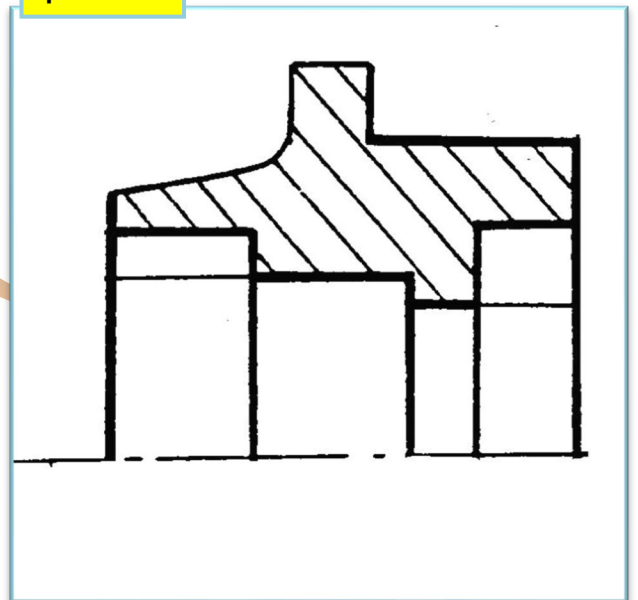


Question a

phase 10



phase 20



III.5. MOYENS DE CONTROLE

III.5.a. Quelques définitions

- **Mesurage** : C'est l'ensemble des opérations permettant d'attribuer une valeur à la grandeur mesurée.
 - *Méthode directe* : C'est le relevé d'une dimension à partir d'une référence. Exemples : pied à coulisse ; micromètre ; ...
 - *Méthode indirecte* : C'est le relevé, à l'aide d'un capteur, de l'écart entre une pièce à mesurer et un étalon (pièce de référence). Exemple : comparateur
- **Contrôle** : C'est l'ensemble des opérations permettant de déterminer si la valeur d'une grandeur se trouve bien entre les limites de tolérance qui lui sont imposées.
 - *Contrôle par attribut*: limité à une simple vérification de conformité (réponse par oui ou non, pas de mesurage). Exemples : calibres, jauges,
 - *Contrôle par mesurage*: consiste en plusieurs mesurages et ensuite en une comparaison des valeurs mesurées avec les spécifications demandées. Exemple : Contrôle géométrique (planéité coaxialité, ...)

III.5.b. Quelques Qualités des instruments de mesurage

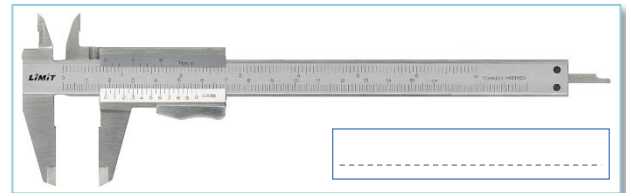
Étendue de mesurage	C'est l'étendue des valeurs de la grandeur à mesurer pour lesquelles les indications d'un instrument de mesurage ne doivent pas être entachées d'une erreur supérieure à l'erreur maximale tolérée
Sensibilité	La sensibilité d'un instrument de mesurage, pour une valeur donnée de la grandeur mesurée, s'exprime par le quotient de l'accroissement de la variable observée dI par l'accroissement correspondant de la grandeur mesurée dG
Fidélité	Qualité qui caractérise l'aptitude d'un instrument de mesurage à donner, pour une même valeur de la grandeur mesurée, des indications concordant entre elles, les erreurs systématiques des valeurs variables n'étant pas prises en considération
Justesse	Qualité qui caractérise l'aptitude d'un instrument de mesurage à donner des indications égales à la valeur vraie de la grandeur mesurée.
Précision	Qualité qui caractérise l'aptitude d'un instrument de mesurage à donner des indications proches de la valeur vraie de la grandeur mesurée. La précision est une qualité globale de l'instrument

III.5.c. Quelques instruments de mesurage

Le pied à coulisse

Un pied à coulisse est constitué d'une règle graduée en mm possédant un bec à une extrémité, d'un coulisseau portant une graduation de vernier et possédant aussi un bec. Il est caractérisé par :

- type de vernier (1/50, 1/20)
- capacité maximale
- types de becs : simple, à pointes, d'intérieur,



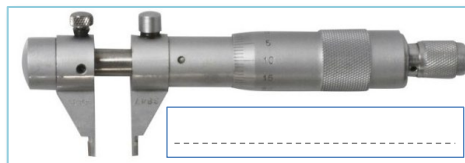
Le micromètre extérieur

Un micromètre extérieur est constitué d'un corps en U possédant une touche fixe et une touche mobile actionnée par un tambour. Le déplacement est assuré par vis micrométrique. Il est caractérisé par:

- étendue de l'échelle (par ex. 0,25 mm),
- le pas de la vis micrométrique (0,5 mm ou 1 mm).
- Les touches du micromètre



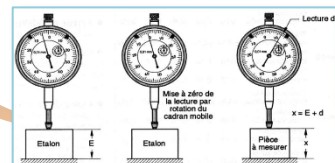
Autres types de micromètre



Comparateur à cadran (mesure indirecte)

Les déplacements d'un palpeur P sont transmis par un système pignon crémaillère à une aiguille se déplaçant devant un cadran circulaire gradué en divisions égales. Un dispositif permet de totaliser le nombre de tours de cadran de l'aiguille. Il est caractérisé par :

- Course: la course du palpeur est généralement assez faible: 3,5 ou 10 mm.
- Précision : la précision courante d'un comparateur est de 0,01 mm jusqu'à 0,001 mm.
- Palpeur: la touche du palpeur est facilement démontable pour en adopter la forme à l'utilisation



1 - Etalonnage du comparateur
2 - Mise à zéro du cadran
3 - Lecture de l'écart



III.5.d. **Mesure trigonométrique**

On utilise de petits cylindres d'un diamètre connu et de grande précision (appelés piges) ainsi que des cales étalons.

– **Mesure d'angles ou d'inclinaisons**

On place une pige dans l'angle à mesurer et on fait la mesure entre une surface et une pige et on déduit par calcul trigonométrique les angles recherchés.

– **Mesure de cône**

Extérieur : en montant des piges sur différentes hauteurs de cales et en mesurant la cote sur piges.

Intérieur : la mesure se fait avec 2 billes calibrées. On mesure la différence de pénétration des billes

– **Mesure de filetage**

On mesure la cote sur piges (3 piges de même diamètre) et on calcule les différents diamètres en partant de l'angle 60° de filet.

– **Mesure par dégauchissement (barre sinus)**

Dans quelques cas on préfère contrôler une horizontalité ou un parallélisme et calculer ensuite les angles.

La barre-sinus est composée d'un corps qui permet de maintenir deux cylindres calibrés à une distance fixe et précise. Ainsi, comme dans l'exemple ci-contre, on mesure l'angle en calculant son sinus qui est le rapport de la hauteur de la pile de cales étalon h_1 par la longueur L de la règle de la barre sinus.

III.5.e. **Quelques notions de contrôle de tolérances dimensionnelles**

– **Étalons**

On utilise à l'atelier, au laboratoire des appareils de grande précision appelés étalons. Ce sont des appareils représentant le mètre étalon ou ses sous-multiples.

– **Cales étalons**

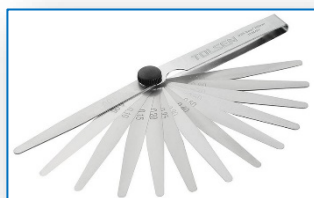
Les cales étalons sont des étalons de longueur en forme de parallélépipèdes rectangles dont deux faces opposées, dites «faces de mesures», ont une qualité de surface telle qu'elles ont la propriété d'adhérer à des faces de même qualité superficielle. On les utilise par empilage pour réaliser une hauteur témoin.

– **Équerres et angles étalons.**

Ces étalons permettent un contrôle rapide d'angle. Ces étalons ont des angles de 45° , 60° , 90° , 120° , 135° . Les blocs équerre (90°) sont les plus utilisés pour des contrôles de perpendicularité.

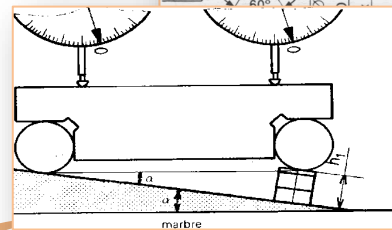
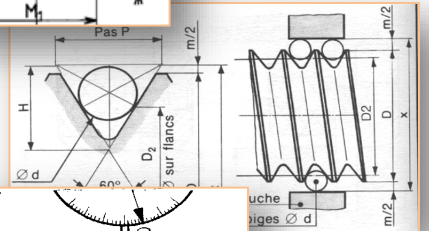
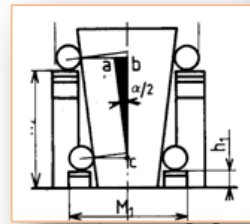
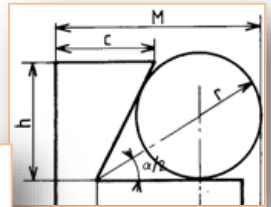
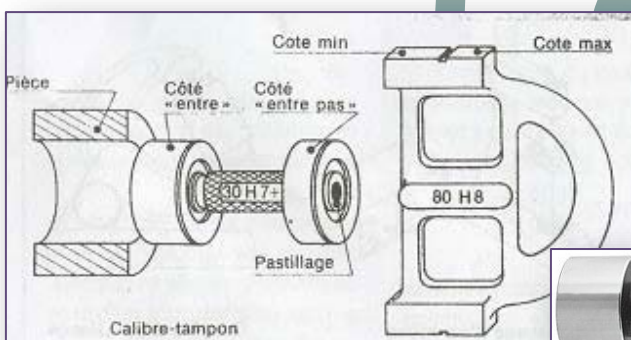
– **Jauges**

Les jauges sont des instruments d'atelier qui permettent un contrôle rapide, simple mais peu précis.



– **Calibres à limites**

Pour assurer l'interchangeabilité des pièces, on les cote souvent à l'aide d'ajustements fixant ainsi une cote mini et une cote maxi. Pour vérifier ces pièces en cours de fabrication ou à réception, on utilise souvent des calibres à limites qui contrôlent sans mesurer les cotes mini et maxi.



III.5.f. Quelques notions de contrôle de tolérances géométriques

Le tableau de la page suivante illustre quelques modes de contrôle pour certaines des principales tolérances géométriques ainsi que des instruments requis.

CYLINDRICITÉ		
Tolérance		
La surface doit être comprise entre deux cylindres coaxiaux dont les rayons diffèrent de t .		
Contrôle I		
Appareil de mesure de la variation d'un rayon autour d'un axe fixe. Écart maximal toléré : t .		<p>Contrôle I</p>

PERPENDICULARITÉ ET INCLINAISON		
Tolérance		
La surface tolérancée doit être comprise entre deux plans parallèles distant de t et perpendiculaires à la surface de référence A.		
Contrôle		
Déplacer le comparateur sur toute la surface. Écart maximal toléré : t .		

LOCALISATION		
Tolérance		
L'axe du trou doit être compris dans une zone cylindrique de $\varnothing t$ dont l'axe est dans la position théorique spécifiée.		
Contrôle		
L'appareil une fois réglé sur un étalon, faire effectuer une rotation complète au comparateur (on peut mesurer plusieurs sections). Écart maximal toléré : t .		<p>Tournant autour d'un axe de rotation fixe</p>

PLANÉITÉ		
Tolérance		
La surface doit être comprise entre deux plans distants de t .		
Contrôle		
Déplacer le comparateur sur toute la surface. Écart maximal toléré : t .		<p>2 appuis réglables</p> <p>Parallèle à SR</p>

RECTITUDE		
Tolérance		
Une génératrice doit rester comprise entre deux droites distantes de t .		
Contrôle		
Déplacer le comparateur le long de la génératrice. Écart maximal toléré : t . Répéter la mesure sur n génératrices (minimum 3).		<p>Parallèle à SR</p>

COAXIALITÉ		
Tolérance		
L'axe du cylindre de $\varnothing D_2$ doit être compris dans une zone cylindrique de $\varnothing t$ coaxiale à l'axe du cylindre de référence D_1 .		
Contrôle		
Le centre de la section mesurée doit être dans un cercle de $\varnothing t$ concentrique au $\varnothing D_1$. Répéter la mesure sur plusieurs sections. NOTA : Écart maximal de mesure : t . Le contrôle nécessite un relevé afin de déterminer le centre du cercle circonscrit à la section mesurée.		

Extrait de
A. CHEVALIER
J. BOHAY