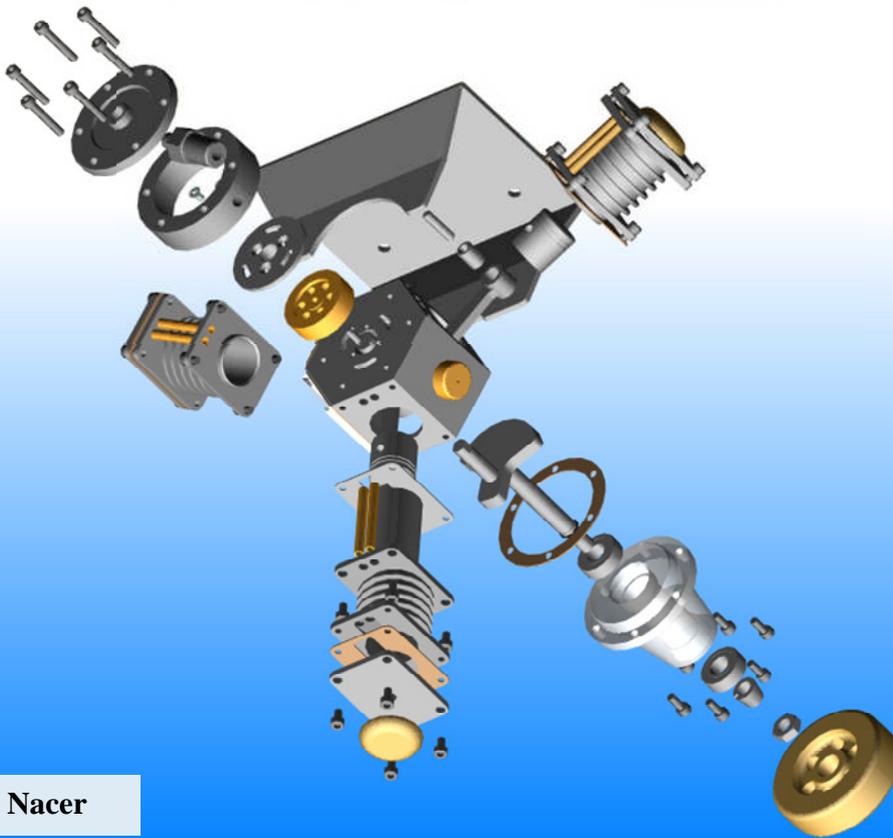
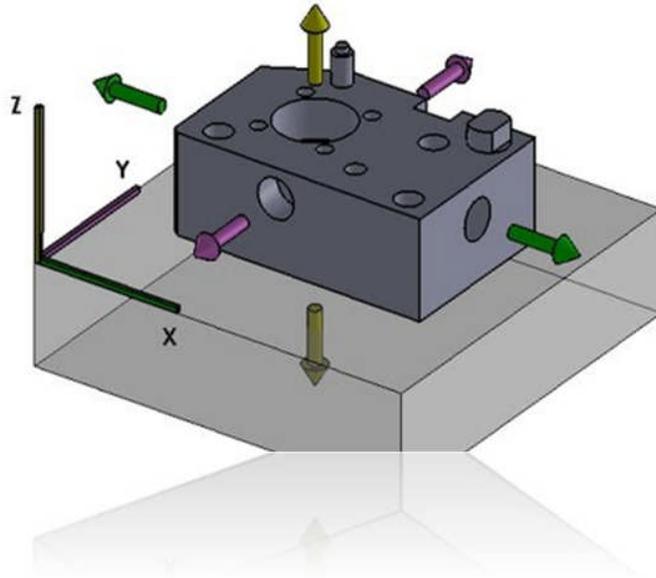


Technique de Fabrication Mécanique



Dr. Mokas Nacer

Techniques de Fabrication Mécanique

A L'USAGE :

- ✓ *Des étudiants de 3^e année science technique LMD,*
- ✓ *Des instituts universitaires de technologie,*
- ✓ *Des écoles d'ingénieurs,*
- ✓ *Des auditeurs de formation continue,*
- ✓ *Des dessinateurs et préparateurs,*
- ✓ *Des techniciens en activité dans des entreprises.*
- ✓ *Des élèves de l'enseignement technique industriel,*
- ✓ *Des lycées d'enseignement professionnel.*

Dr. MOKAS Nacer

Laboratoire de Recherche des Technologies Avancées en Production Mécanique (LRTAPM)

Département de Génie Mécanique, Faculté des Sciences de l'Ingéniorat,

Université Badji Mokhtar, BP 12, Annaba 23000, Algérie.

Préface

Ce cours vise l'acquisition des notions de base permettant la réalisation de documents relatifs à la construction mécanique, par voie classique (dessin sur papier) et informatique (logiciel DAO). Les notions acquises permettront d'effectuer une mise en plans en respectant les normes.

Compétences requises

1. Dessin industriel : représentation, cotation, tolérancement ISO, états de surface...
2. CAO : apprentissage d'un logiciel professionnel
3. Procédés et méthode de fabrication de base : fraisage, tournage,...
4. Utilisation des instruments de mesure et control.

SOMMAIRE

1. Préparation d'une production	03
1.1 Organisation d'une entreprise.....	03
1.2 Rôle du bureau d'étude (BE)	03
1.3 Services de préparation.....	04
1.4 Bureau des méthodes (BM)	04
1.5 Bureau d'étude outillages.....	04
2. Dessin technique notions fondamentales	06
2.1 Généralités.....	06
2.2 Techniques de dessins.....	06
2.3 Dessin de définition.....	07
2.4 Technique de cotation.....	07
2.4.1 principaux symboles utilisés.....	09
2.4.2 Vocabulaire technique.....	09
3. Isostatisme	12
3.1 Définition.....	12
3.2 But.....	12
3.3 Mouvements possibles.....	12
3.4 Symbolisation.....	12
3.5 Règles d'isostatisme.....	13
3.6 Mise en position par une référence.....	13
3.6.1 Exemples de mise en position statique.....	15
4. Cotes de fabrication	18
4.1 Généralités.....	18
4.2 Définition.....	18
4.2.1 Côtes machine	19
4.2.2 Côtes outil.....	21
4.2.3 Côtes appareillage.....	24
5. Dispersions dimensionnelles	28

5.1 Généralité.....	28
5.2 Objectives.....	28
5.3 Définition.....	28
5.4 Origines des dispersions.....	29
5.4.1 Dispersions systématiques (Ds)	29
5.4.2 Dispersions aléatoires (Da)	31
5.4.3 Dispersions géométrique (Dg)	31
5.4.4 Dispersions thermique (Dt)	32
5.5 Valeurs courante des dispersions.....	33
6. Transfert de côtes et simulation d'usinage.....	35
6.1 Définition.....	35
6.2 Les côtes intervenant dans un transfert	35
6.3 Le transfert de côtes.....	36
6.4 Méthodes de calcul d'un transfert de côte.....	37
7. tolérances et ajustements.....	39
7.1 généralités.....	39
7.2 Principe de l'interchangeabilité	39
7.3 Inscription normalisées.....	41
7.3.1 Définitions normalisées ISO.....	41
7.3.2 Cotation tolérancée au maximum de matière	42
7.4 Ajustements normalisés ISO/AFNOR.....	42
7.4.1 Système de l'alésage normal H.....	43
7.4.2 Système de l'arbre normal h	44
7.4.3 Correspondance entre les deux systèmes H et h	44
8. Tolérances géométriques.....	46
8.1 Généralités.....	46
8.2 Définition.....	46
8.3 Concept de spécification géométrique des produits (GPS)	46
8.4 Principe du tolérancement géométrique (exemple)	47
8.5 Eléments tolérancés et définitions des zones de tolérance.....	48
8.5.1 Tolérances de forme.....	49
8.5.2 Tolérances d'orientation.....	50

8.5.3 Tolérances de position.....	51
8.5.4 Tolérances de battement.....	52
9. Etat de surface et rugosité	54
9.1 Généralités.....	54
9.2 Définition.....	54
9.3 Principaux défauts des surfaces.....	54
9.3.1 Défauts macro-géométriques	55
9.3.2 Défauts micro-géométriques (Zoom -A)	55
9.4 Définitions et terminologie de la topographie des surfaces.....	56
9.5 Critères retenus pour mesurer la rugosité.....	57
9.6 Inscription normalisée d'un état de surface sur un dessin.....	58
9.7 Normalisation.....	58
9.8 Instrument et méthode de mesure de la rugosité.....	59
9.8.1 Instrument de mesure de la rugosité.....	59
9.8.2 Instrument de mesure de la rugosité.....	60

Chapitre 1. PREPARATION D'UNE PRODUCTION

1.1. Organisation d'une entreprise

La structure d'une entreprise peut être définie comme l'ensemble des dispositifs par lesquels une entreprise répartit, organise, coordonne et contrôle ses activités. L'ensemble de la structure d'une entreprise est représenté par un organigramme qui montre la répartition des domaines d'activité et de supervision/dépendance des différents agents, la direction générale figurant au sommet (Fig.1). L'organisation d'une entreprise dépend essentiellement de son importance et des types de produit fabriqués. L'organigramme représenté par la figure 1 fait apparaître les différents stades de l'évolution d'un produit dans le cadre des fonctions commerciales et économiques d'une entreprise de fabrication.

Ces fonctions peuvent être réparties dans des services indépendants pour les grandes entreprises, regroupées en quelque service pour les entreprises moyennes, ou bien centralisées en un même service pour les petites entreprises.

1.2. Rôle du bureau d'étude (BE)

Le bureau d'études a pour tâche d'élaborer un dossier de construction ou de conception de produits industriels. À partir d'un cahier des charges (plans d'ensemble, notes de calculs, notices techniques...), il analyse les projets, propose des solutions et réalise par le biais d'un ensemble de dessins tels que :

- Croquis, généralement à main levée
- Esquisse ou ébauche
- Epure : géométrie descriptive
- Schéma : principe de fonctionnement ou de procédé
- Schéma cinématique
- Schéma de construction
- Schéma de procédé et d'instrumentation PID (Process and Instrumentation Diagram)
- Schéma de procédé des flux PFD (Process Flow Diagram)

Un dessin technique détaillé qui comprend :

- Dessin d'ensemble
- Dessin de définition

Tout en respectant les normes en vigueur, et selon la structure et le secteur industriel où il exerce, le bureau d'études peut aussi être amené à numériser des ensembles ou des pièces à partir d'une

étude, mettre aux normes ISO, ou bien concevoir des pièces selon une technologie particulière (moulage, mécano-soudure, déformation...), ou un sous-ensemble réunissant des éléments divers (métalliques et plastiques). En collaboration avec le bureau des méthodes ou de la qualité, le BE peut être sollicité pour participer à des tests de fonctionnement.

1.3. Services de préparation

Les services de préparation assurent les liaisons nécessaires entre les services de conception et les services de fabrication. Ils ont pour rôle essentiel d'établir un processus de fabrication en utilisant aux mieux les moyens de l'entreprise.

Le processus de fabrication doit respecter notamment :

- La qualité prescrite pour les produits
- Le prix de revient minimal
- Le délai demandé
- Les conditions de travail aussi bonnes que possible.

Les services de réparation comprennent :

- Le bureau des méthodes
- Le bureau d'étude d'outillage
- L'atelier d'outillage
- Le bureau d'approvisionnement
- Le bureau de lancement des travaux

1.4. Bureau des méthodes (BM)

Compte tenu du dessin de définitions, du programme de production et des moyens disponibles, le bureau des méthodes établit principalement :

- Les gammes de fabrication
- Les simulations d'usinage
- Les dessins des pièces brutes
- Les études de phases
- Les temps d'exécution

1.5. Bureau d'étude outillages

A partir de la gamme de fabrication et l'étude de phase, le bureau d'étude d'outillage étudie :

- Les montages d'usinage
- Les montages de contrôle
- Les outils spéciaux

- Les adaptations éventuelles des machines
- Les outillages de presse
- L'outillage de matriçage et d'estampage
- Les moules métalliques

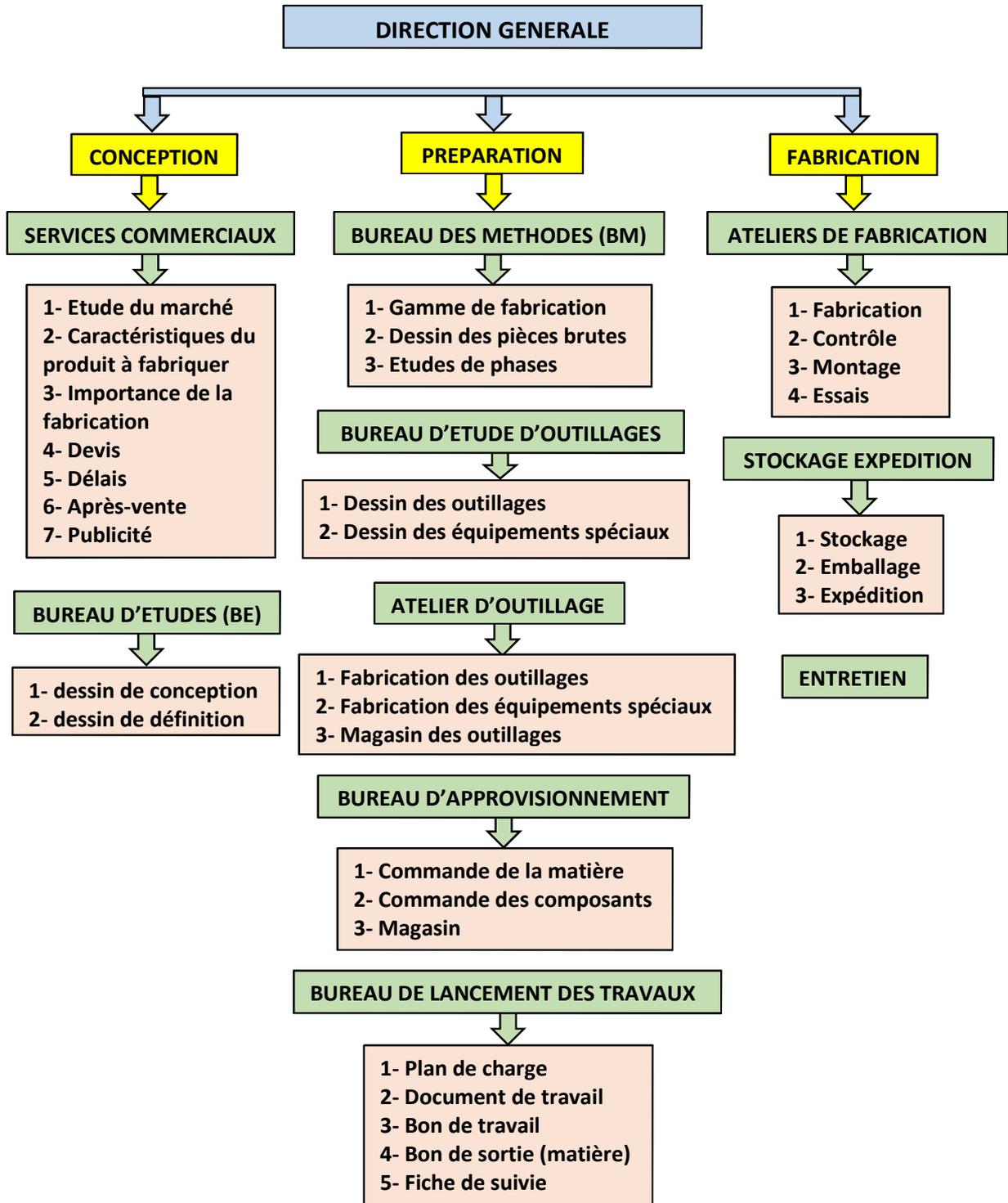


Figure.1 : Organisation d'une entreprise

Chapitre 2 : DESSIN TECHNIQUE NOTIONS FONDAMENTALES

2.1 Généralités

Le dessin technique, ou dessin industriel, est un langage figuratif pour la représentation, la communication technique, la conception et de l'analyse systématique. Il est utilisé principalement en génie mécanique (bureau d'études, bureau des méthodes), en génie civil (architecture) ainsi qu'en électronique pour la représentation des différentes composantes et de leur structure.

Il s'agit d'un ensemble de conventions pour représenter des objets ; ces conventions assurent que l'objet produit est tel qu'il est imaginé par le dessin par son concepteur.

Le dessin technique répond à deux besoins essentiels du processus de conception technique : formaliser les idées pour valider des concepts, et communiquer. La représentation par le dessin ne doit donc pas se limiter à une simple description de formes ; Il doit respecter plusieurs règles strictes telles que le respect d'une échelle, la correspondance des vues, l'utilisation de trait continu ou en pointillé, etc.

Le dessin technique doit être compris par tous. Pour cela il doit il y avoir quelques règles de présentation conventionnelles qui font l'objet de normes officielles, en France par l'AFNOR, au Canada par l'ACNOR et en Suisse les normes VSM (éditées par le bureau des normes suisse des constructeurs de machines).

2.2. Techniques de dessins

Le dessin technique se pratique sur des tables munies d'un pantographe : ce dispositif maintient deux règles (disposées à angle droit) dans une direction constante, ce qui aide à la construction des parallèles (correspondance des vues). Sur certaines tables, on peut modifier l'orientation de cette équerre, pour l'exécution des hachures par exemple.



Figure.2 : équipement d'une table de dessin standard

Il existe de nombreux logiciels de dessin assisté par ordinateur (DAO) orientés construction mécanique, métallique ou architecture, comme par exemple Allplan, ArchiCAD ou AutoCAD, Cadkey, Tell, etc..., et Catia développé par Dassault Systèmes, pour construire des avions militaires. Outre l'aide à la gestion informatique (archivage), ils proposent un ensemble d'outils graphiques et des bibliothèques de composants normalisés (vis, roulements...) ou de constructeurs spécifiques (vérins, organes de construction...) permettant un réel gain de temps. L'utilisation de ces logiciels nécessite cependant la connaissance des règles du dessin technique puisqu'ici la souris remplace simplement le crayon, un trait restant un trait.

Les logiciels de conception assistée par ordinateur (CAO) ont ouvert une porte vers la conception intégrée : Catia, SolidWorks, Autodesk Inventor, Solidedge, Pro-Engineer, TopSolid etc. Aussi orientés « métier », ils permettent la création d'objets par assemblage virtuel de 'fonctions' volumiques élémentaires (cylindre, parallélépipède...) ou technologiques (perçages, nervures, plis de tôle...). Ils sont souvent associés à des logiciels annexes permettant la simulation de fonctionnement (TellWATCH étant la référence horlogère), les calculs par éléments finis (qui permettent de déterminer les endroits de « fatigue » des différentes pièces), les calculs de vérification de comportement ou l'édition d'une image de synthèse sont devenu réaliste. L'édition du plan est alors automatique, et les dernières versions permettent déjà, pour des pièces parfois complexes, un plan ne nécessitant aucune retouche.

2.3. Dessin de définition

C'est à partir de ce dessin que l'on pourra fabriquer réellement notre objet. Il y a autant de dessins de définition que de pièces à fabriquer.

Sur le dessin de définition, l'objet est représenté en deux dimensions afin de pouvoir le représenter en vraie grandeur. Les différentes faces de l'objet sont représentées séparément sous forme de projection qu'on appelle les vues.

Un dessin de définition représente d'une manière complète, détaillée et précise une pièce de d'un produit. Comme son nom l'indique, il définit toutes les formes, les dimensions, les spécifications et toutes les informations nécessaires à la fabrication de la pièce qu'on appelle la cotation.

2.4. Technique de cotation

La plupart des dimensions (longueurs, largeurs, hauteurs, angles, etc.) sont indiquées sous forme de côtes. Une cote se compose des quatre éléments principaux suivants :

- une ligne de cote, en trait fin

- deux lignes de rappel, d'attache ou d'extension, en trait continu fin. Un trait d'axe, ou mixte fin, peut aussi être utilisé
- deux flèches ou extrémités précisant les limites de la ligne de cote

La valeur de la cote (dimension chiffrée de la cote plus tolérance éventuelle plus...) au milieu et au-dessus de la ligne de cote pour les cotes horizontales. Au milieu, sur le côté gauche et de bas en haut pour les cotes verticales. (**Fig.3a**). Si on manque de place, la ligne de cote peut être prolongée, les flèches inversées et le texte écrit en dehors des lignes de rappel. (**Fig.3b**). En cas de difficultés, les lignes de rappel peuvent être tracées obliques, tout en restant parallèles entre elles. (**Fig.3c**). La cotation circulaire se fait selon la représentation suivante toute en évitant les zones indiquées. (**Fig.3d**).

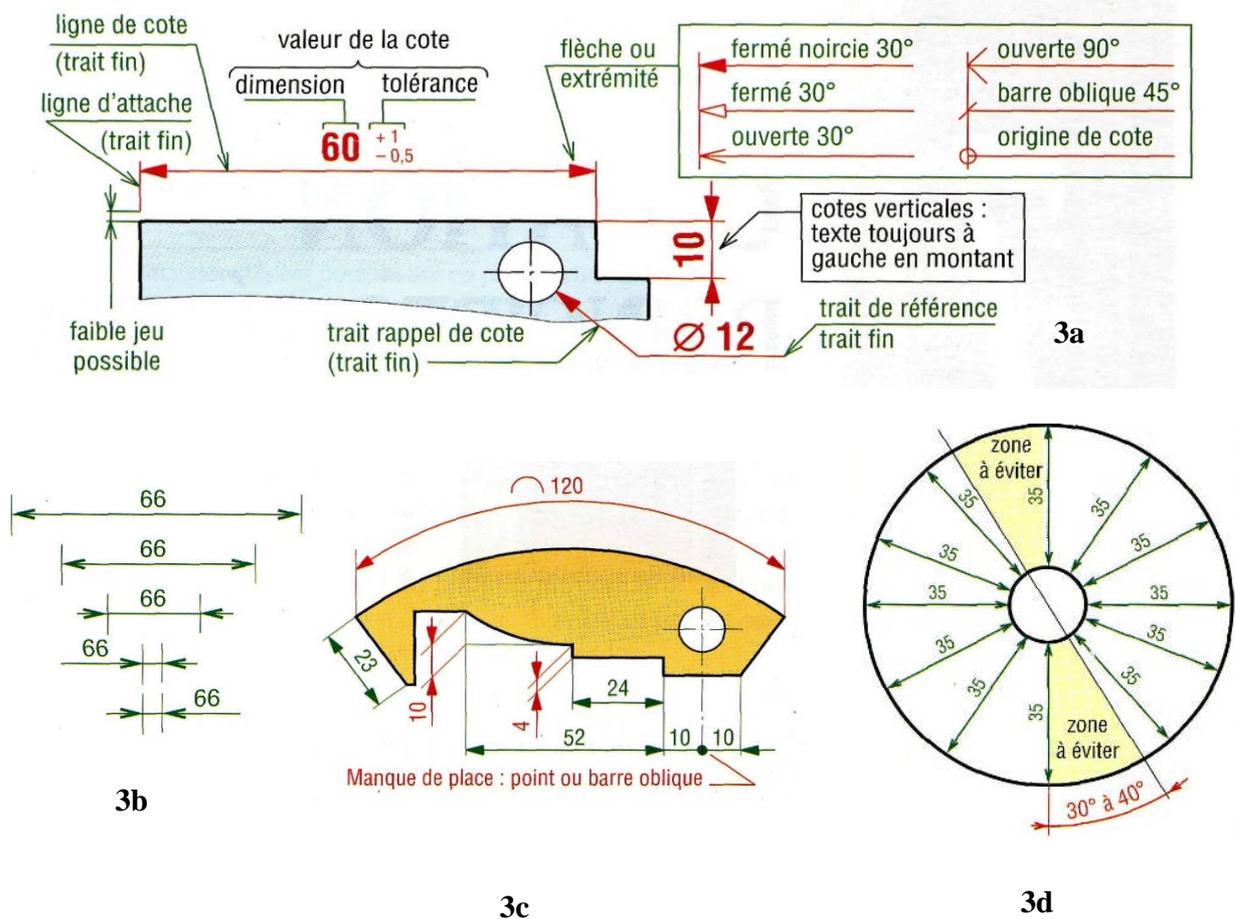


Figure.3 : Représentation normalisé de la cotation

2.4.1. principaux symboles utilisés

Pour améliorer l'interprétation d'un dessin, il est d'usage d'indiquer par des symboles particuliers des formes et des relations surface d'un dessin.

Tableau.1 : Symboles de formes en dessin technique

Désignation	Symbole	Désignation	Symbole
diamètre	\varnothing	Section ronde	
rayon	R	Section carré	
Sphère de diamètre	S \varnothing	Section rectangulaire	
Sphère de rayon	S \varnothing	Section hexagonale	
Carré		Section en I	
Arc		Section en T	
Corde	165	Section en Z	
Angle	30°	Section en Ω	
Section en U	U	Cornière en L	

2.4.2. Vocabulaire technique

Alésage : désigne, d'une manière générale, un contenant cylindrique ou conique précis.

Arbre : désigne, d'une manière générale, un contenu cylindrique ou conique précis.

Arrondi : surface à section circulaire partielle et destinée à supprimer une arête vive.

Bossage : saillie prévue à dessin sur une pièce afin de limiter la surface usinée.

Chambrage : évidement réalisé à l'intérieur d'un alésage afin d'en réduire la portée.

Chanfrein : petite surface obtenue par suppression d'une arête sur une pièce.

Collet : couronne en saillie sur une pièce cylindrique.

Collerette : couronne à l'extrémité d'un tube.

Congé : surface à section circulaire partielle destinée à raccorder deux surfaces formant un angle rentrant.

Décrochement : surface en retrait d'une autre surface et parallèle à celle-ci.

Dégagement : évidement généralement destiné à éviter le contact de deux pièces.

Embase : élément d'une pièce destiné à servir de base à une autre pièce.

Embrèvement : forme emboutie dans une tôle et destinée à servir de logement pour une pièce ne devant pas être en saillie.

Encoche : petite entaille.

Entaille : enlèvement d'une partie d'une pièce par usinage.

Épaulement : changement brusque de la section d'une pièce afin d'obtenir une surface d'appui.

Ergot : petit élément de pièce en saillie, généralement destiné à assurer un arrêt en rotation.

Evidement : vide prévu dans une pièce pour en diminuer le poids ou pour réduire une surface d'appui.

Fente : petite rainure.

Fraisure : évasement conique fait avec une fraise à l'orifice d'un trou.

Gorge : dégagement étroit généralement arrondi à sa partie inférieure.

Lamage : logement cylindrique généralement destiné à obtenir une surface d'appui, à « noyer » un élément de pièce.

Langnette : tenon de grande longueur destiné à rentrer dans une grande rainure et assurant en général une liaison en translation

Locating : mot anglais utilisé pour nommer une pièce positionnant une autre pièce

Lumière : nom de divers petits orifices

Macaron : cylindre de diamètre relativement grand par rapport à sa hauteur, assurant en général un centrage

Méplat : surface plane sur une pièce à section cylindrique

Nervure : partie saillante d'une pièce destinée à en augmenter la résistance ou la rigidité.

Profile : métal laminé suivant une section constante

Queue d'aronde : tenon en forme de trapèze pénétrant dans une rainure de même forme et assurant une liaison en translation

Rainure : entaille longue pratiquée dans une pièce pour recevoir une languette ou un tenon

Saignée : entaille profonde et de faible largeur.

Semelle : surface d'une pièce, généralement plane et servant d'appui.

Tenon : partie d'une pièce faisant saillie et se logeant dans une rainure ou une mortaise.

Téton : petite saillie de forme cylindrique.

Trou oblong ou **boutonnière** : trou plus long que large terminé par deux demis cylindres.

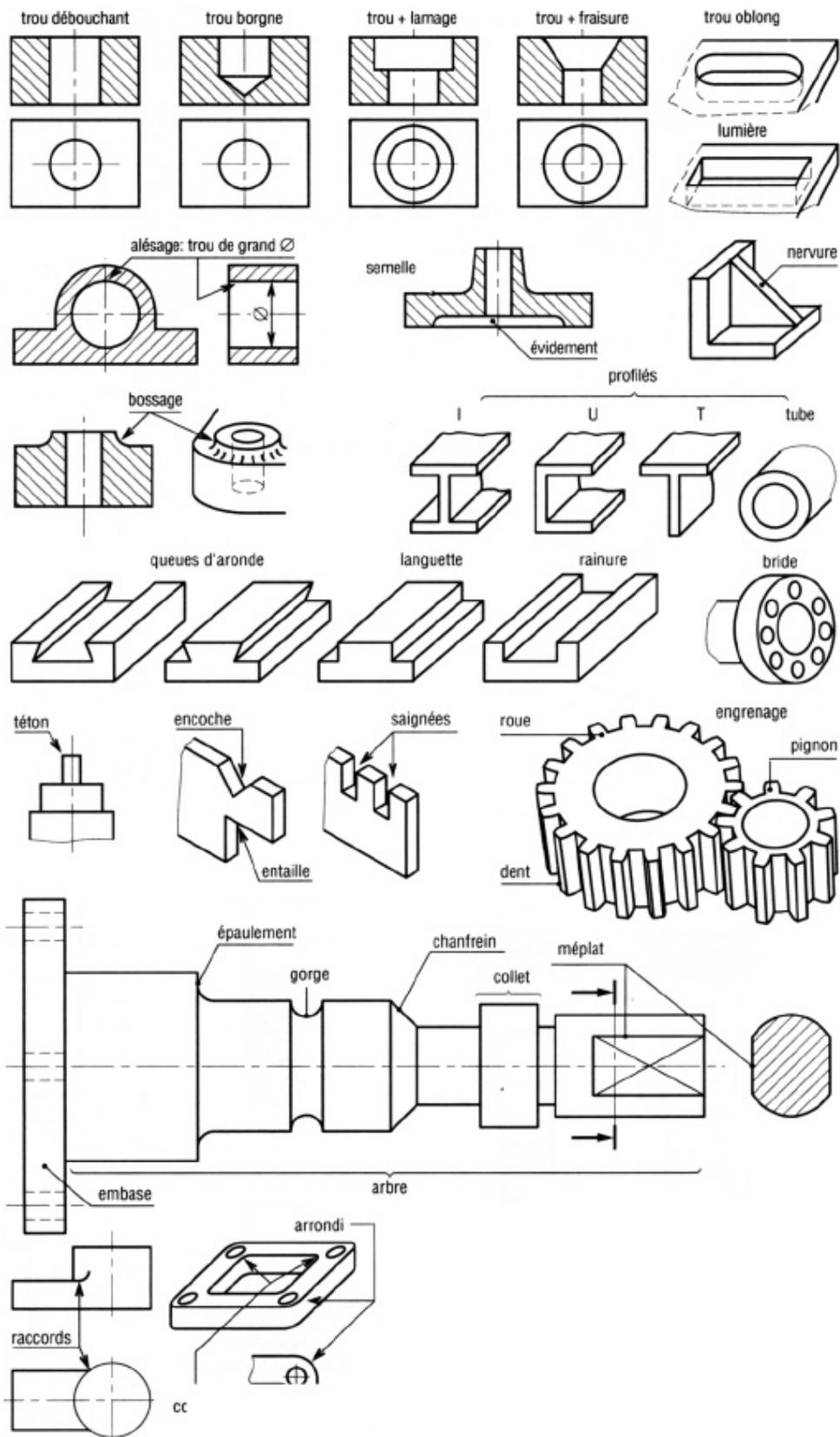


Figure.4 : Différent modèles et représentations en mécanique.

3. ISOSTATISME

3.1. Définition

Principe du système spatial où un objet reprend toujours la même position par rapport à un même référentiel.

Pour respecter les spécifications dimensionnelles et géométriques des plans de définition en usinage en série, il faut positionner de manière identique et précise les pièces sur les machines. Lors de l'usinage, chaque pièce est montée, démontée de nombreuses fois. Il faut être en mesure de la repositionner avec précision à chaque fois.

3.2. Domaine d'utilisation de l'isostatisme

- Conception des montages d'usinage (gabarit ...)
- Réalisation des gammes d'usinage et contrat de phase

3.3. Mouvements possibles

Il y a 6 degrés de liberté pour un objet libre dans l'espace : 3 translations et 3 rotations. Réaliser une liaison mécanique entre deux pièces c'est supprimer un ou plusieurs degrés de liberté. Chaque fois qu'on supprime un degré de liberté on dit qu'on établit un degré de liaison.

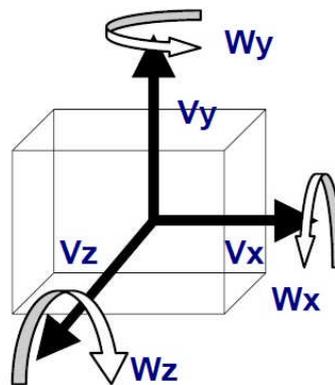


Figure.5 : Représentations des six degrés de liberté

3.4. Symbolisation

Elle concerne les symboles de base utilisés dans la définition d'une mise en position géométrique d'une pièce. Elle ne permet pas de connaître les technologies utilisées pour la mise en position.

Un degré de liaison est assuré par un contact ponctuel matérialisé géométriquement par une flèche (figure.6). En pratique, une telle liaison est assurée par un ensemble de dispositif.



Figure.6 : Représentation schématique de contact.

3.5. Règle d'isostatisme

Pour rendre une pièce prismatique complètement solidaire du dispositif (référentiel) on doit éliminer 6 degrés de liberté répartis comme suit : (figure.7)

- Appui plan (1, 2, 3),
- Appui linéique (4, 5)
- Appui ponctuel (6).

La pièce ne peut plus bouger sans quitter le contact avec un point d'appui. La répétabilité de la mise en position est alors obtenue. Il ne restera plus qu'à maintenir la pièce en appui sur sa mise en position. On dit qu'elle est liée iso statiquement au référentiel.

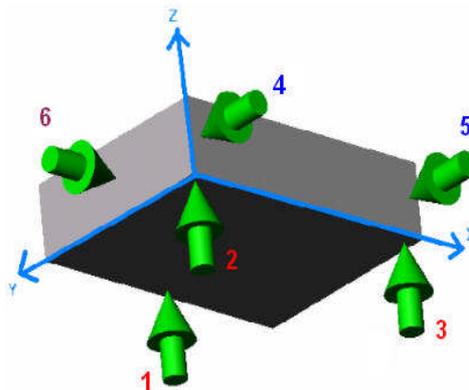


Figure.7 : Elimination des 6 degrés de liberté d'une pièce prismatique

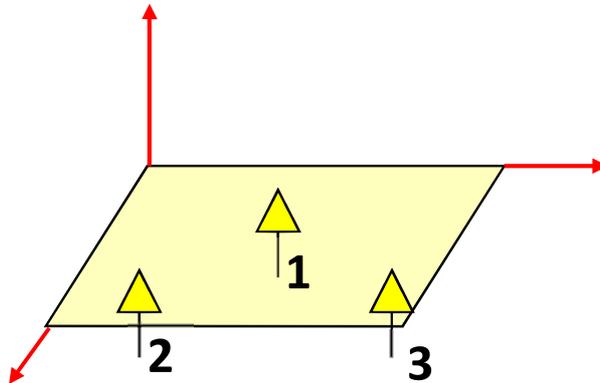
3.6. Mise en position par une référence

Si une mise en position est assurée par une seule surface de référence, le nombre des normales à cette référence ne peut pas être supérieur aux degrés de liberté que la surface peut éliminer.

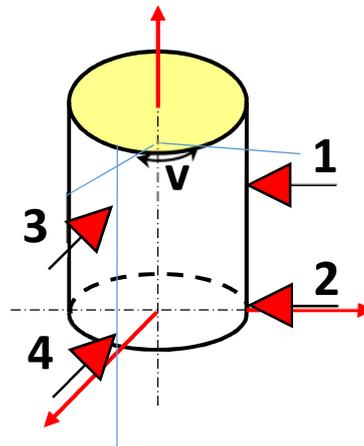
Tableau.2 : Nombre maximale de degrés de liberté éliminé par type de corps

Nombre maximale de degrés de liberté éliminés					
Plan	Cylindre		Cône		Sphère
	long	court	long	court	
3	4	2	5	3	3

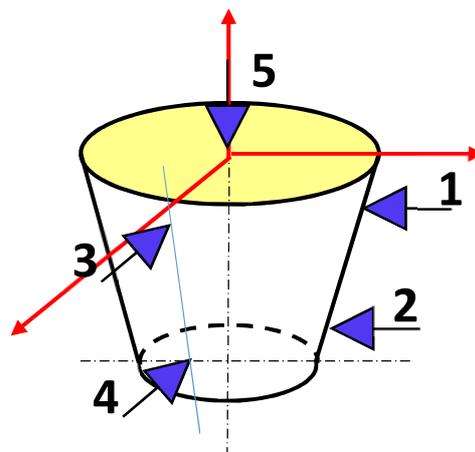
- a- Plan :



- b- Cylindre :



- c- Cône :



- d- Sphère :

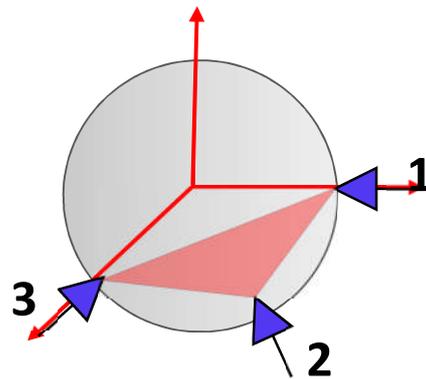
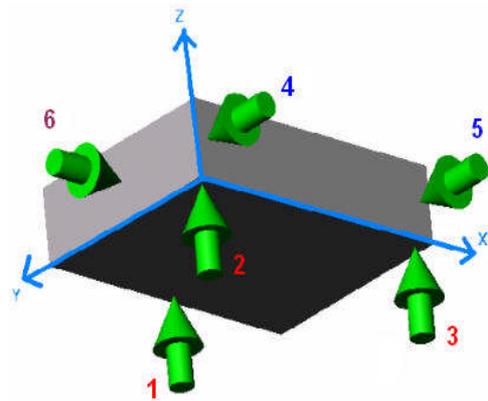
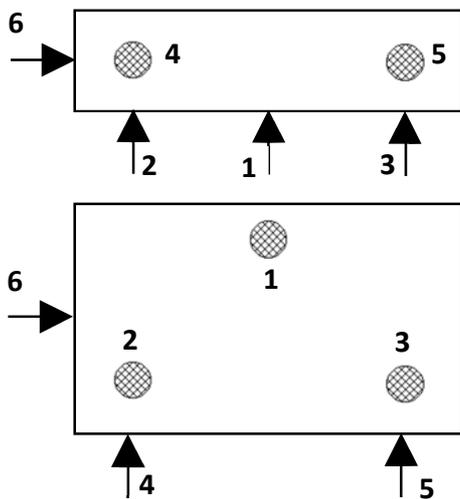


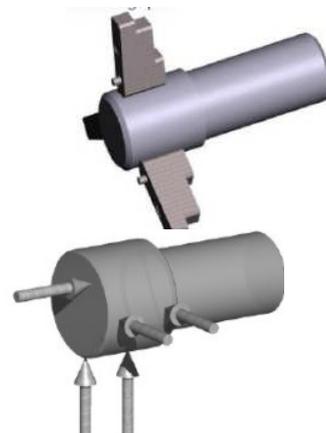
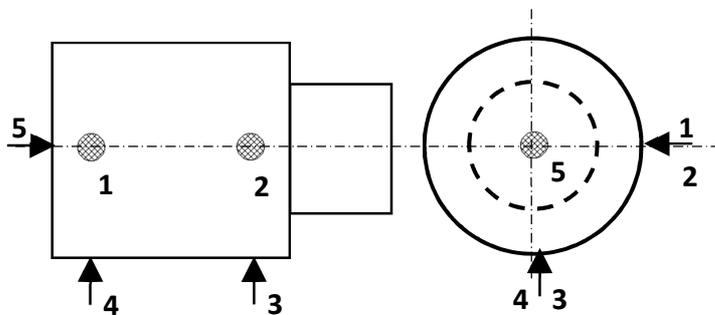
Figure .8 : Mise en position des principaux corps usuel.

3.6.1. Exemples de mise en position isostatique

- Pièce prismatique

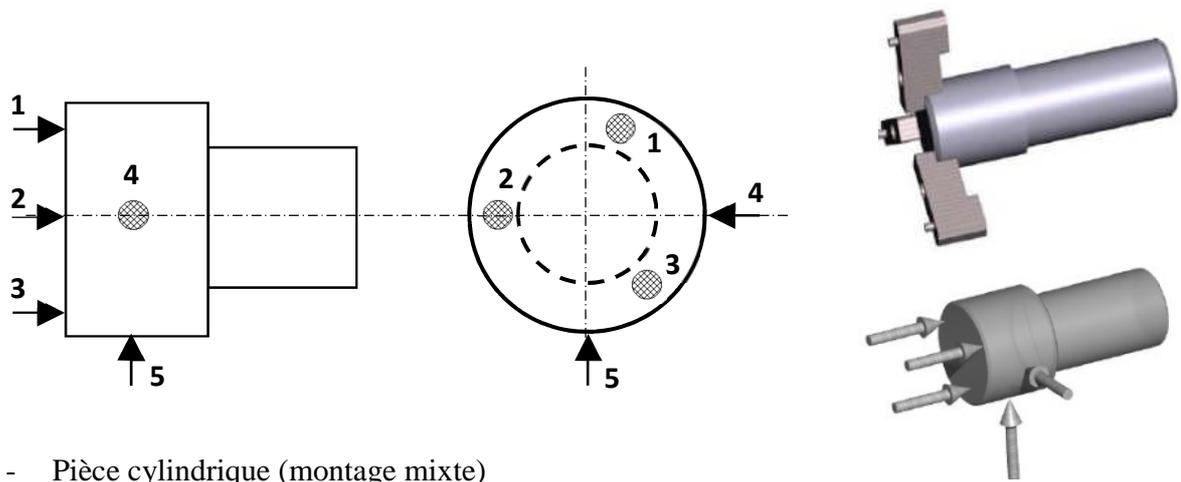


- Pièce cylindrique montage en l'air (centrage long)



- Pièce cylindrique en l'air (centrage court)

On considère que la mise en position se fait sur un cylindre court si $L < D$



- Pièce cylindrique (montage mixte)

On considère qu'un montage est dit mixte si la pièce est prise entre les mords du tour et une pointe.

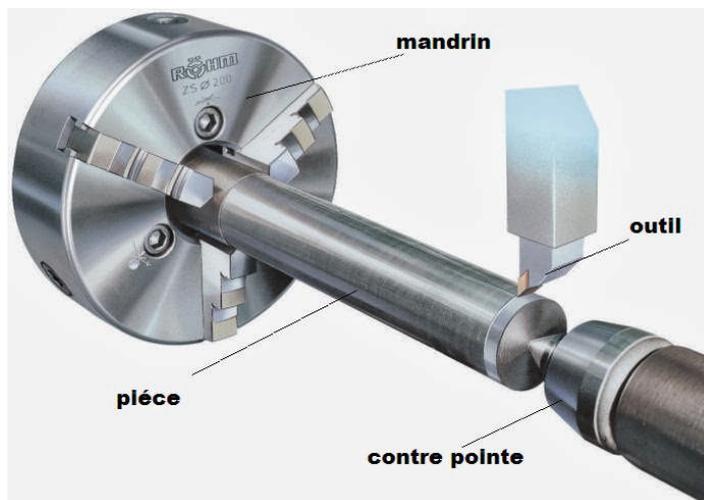
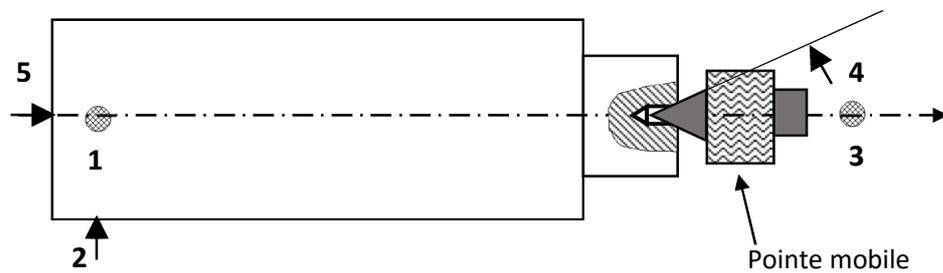


Figure.8 : Mise en position d'un cylindre long en montage mixte sur un tour.

- Pièce cylindrique (montage entre pointe)

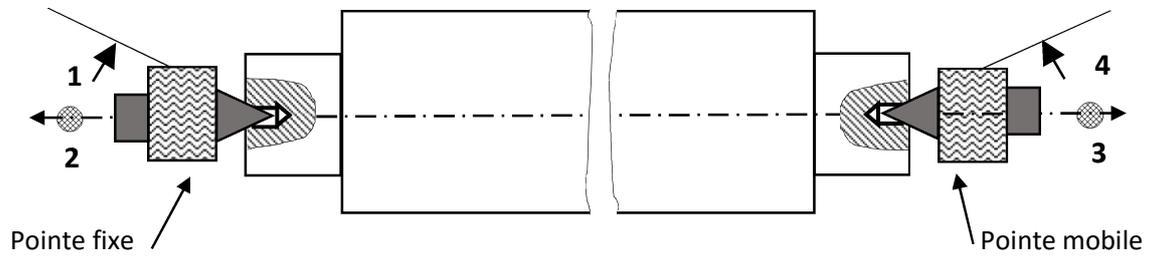


Figure.9 : Mise en position d'un cylindre long en montage entre pointe sur un tour et utilisation du doigt pousse toc.

Chapitre.4: COTATION DE FABRICATION

4.1 Généralités

L'établissement d'un processus d'usinage impose la détermination de toutes les côtes effectivement réalisées sur les pièces, même s'il ne s'agit que d'étape provisoire. C'est que l'on appelle *cote de fabrication*. Elles sont toujours tolérancées. Pour une prise de pièce donnée il y a toujours au moins une côte de fabrication qui a pour origine la surface d'appui de la pièce sur la machine. Cette dispersion aléatoire Δa est souvent grande. La figure suivante représente la mise en place d'une pièce dans un centre d'usinage sur un gabarit.

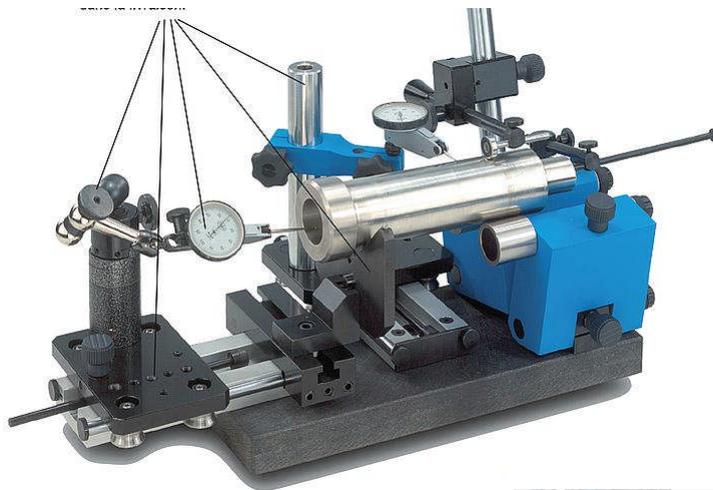


Figure.10 : Positionnement d'une pièce cylindrique sur un gabarit

Les points de contacts de la pièce sur le gabarit font l'objet de plan, d'une ligne ou de point de référence pour n'importe quelle opération d'usinage et sur lesquelles le bureau des méthodes va se baser pour modifier la cotation donnée par le dessin de définition en cotation de fabrication. Cependant à partir du dessin de définition élaboré au bureau d'étude, le bureau des méthodes établit :

- La gamme d'usinage,
- La simulation d'usinage,
- L'étude des phases,
- Le contrat de phases.

La gamme et la simulation d'usinage permettent d'établir et de calculer les *côtes de fabrication* qui serviront pour réaliser la pièce à l'atelier et valider le projet de fabrication.

4.2 Définition

Les cotes de fabrications résultent des procédés d'usinage, dispositifs de prise de pièce, des outillages mis en œuvre et des réglages.

On distingue notamment :

- Les cotes –machine (**Cm**),
- Les cotes –outil (**Co**),
- Les cotes- appareillage (**Ca**).

4.2.1. Côtes machine

La cote machine (C_m) est la distance séparant la surface de la pièce liée au référentiel de mise en position et la surface usinée, ou l'axe de la surface usinée dans le cas d'une surface de révolution extérieur ou intérieur. Elle est obtenue par un réglage de la position de l'outil sur la machine.

a. Cas du tournage :

Tous les diamètres réalisés sur un tour à l'aide d'un outil de tour définissant la distance entre l'axe de la machine et le bec de l'outil, sont considérés comme cotes ayant relation direct avec la machine (C_M), ainsi que toutes cotes prise entre les arêtes tranchante de l'outil et les organes de la machine tel que mandrin, déplacements gradué des chariots... tel que d_1 , d_2 et L_1 , L_2 . (Figure 11)

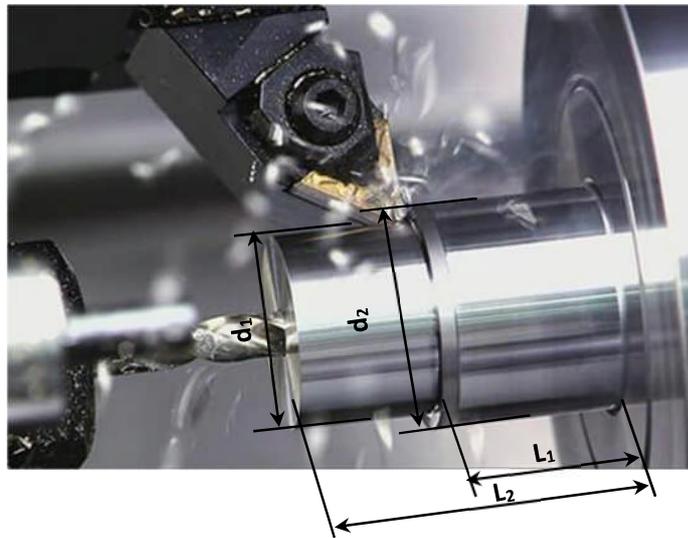


Figure.11: Illustration de cotes machine (C_M) sur un tour

Exemple de représentation sur un dessin technique à partir d'un dessin de définition vers la mise en position et la détermination des cotes de fabrication. (Figure 12)

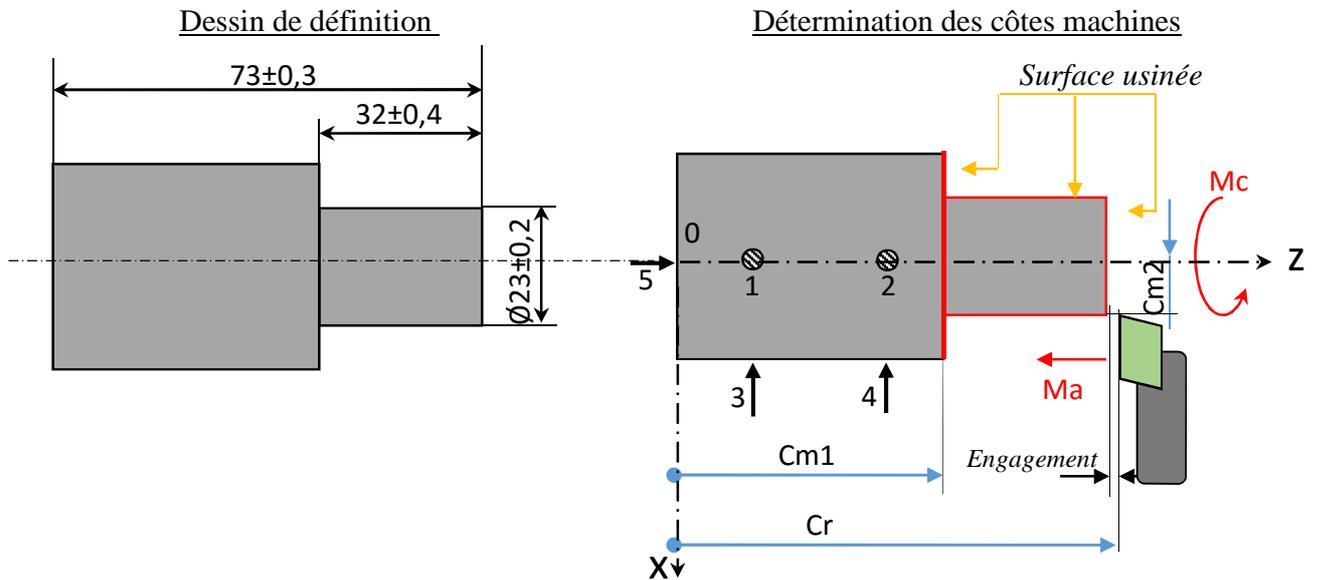


Figure 12: Mise en position à partir du dessin de définition

Cm : côte machine calculée par le transfert de côte réelle du dessin de définition.

Cr : Côte de réglage, permet de préparer les piges de réglage (gabarie) = Côte min + IT/3

$$Cm_1 = 73 - 32 = ?...$$

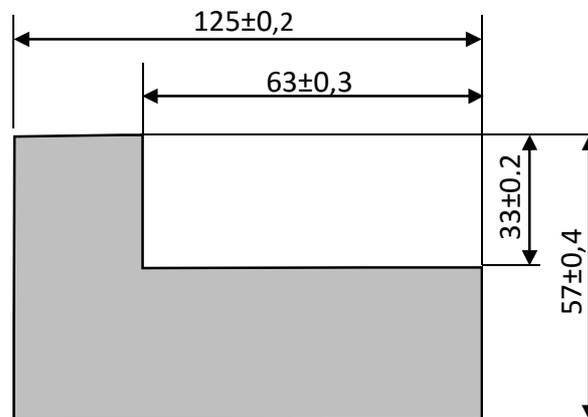
On doit chercher $Cm_1 \text{ min} = ?$ et $Cm_1 \text{ max} = ?$ et si D = côte de dessin on à:

- $Cm_1 \text{ min} = D_1 \text{ min} - D_2 \text{ max} = (73-0,3) - (32+0,4) = 40,3$
- $Cm_1 \text{ max} = D_1 \text{ max} + D_2 \text{ min} = (73+0,3) + (32-0,4) = 40,7$
- $Cm = 40 \pm {}^{0,7}_{0,3}$
- $Cr = (73 - 0,3) + 0,6/3 = 72,9$

Cm_2 est la distance entre le bec de l'outil et l'axe de la machine on l'obtient par le déplacement du chariot transversal de cette dernière en utilisant la précision sur les graduations indiquées sur le tamb

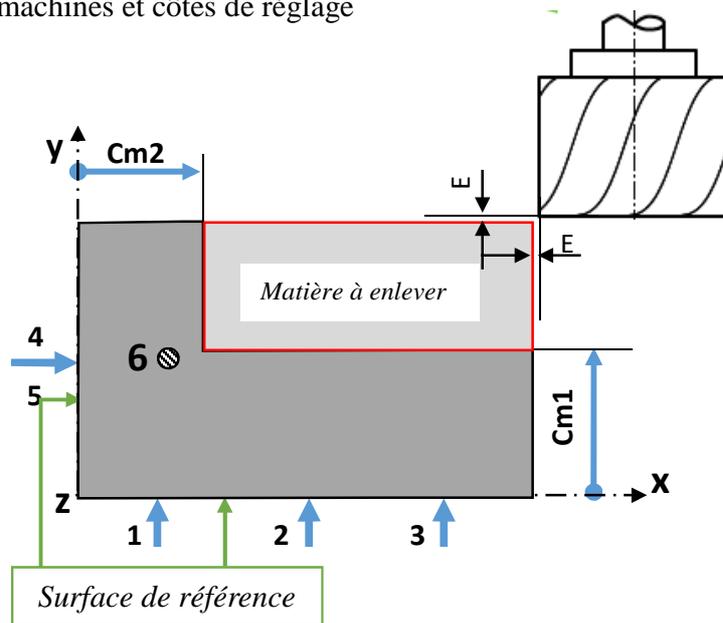
b- Cas du fraisage :

Dessin de définition



Détermination des côtes machines et côtes de réglage

E : engagement de l'outil
 C_m : cote machine



- $C_{m1} \text{ min} = (57-0,4) - (33+0,2) = 23,4$
- $C_{m1} \text{ max} = (57+0,4)-(33-0,2) = 24,6$
- $C_{m1} = 24 \pm 0,6$
- $C_{m2} \text{ min} = (125-0,1) - (63+0,3) = 61,6$
- $C_{m2} \text{ max} = (125+0,1)-(63-0,3) = 62,4$
- $C_{m2} = 62 \pm 0,4$

$Cr1 = C_{m1} \text{ min} + IT/3 = 23,4 + (0,8+0,6)/3 = 23,8$

$Cr2 = C_{m2} \text{ min} + IT/3 = 61,6 + (0,4+0,4)/3 = 61,9$

4.2.2. Côtes outil

Ce sont $Cr=23,8$ définissant la forme, la dimension, la précision $Cr=61,9$ des faces usinées données, par l'outil (foret, alésoir, fraise 3 tailles) ou par l'association de plusieurs outils travaillant simultanément (train de fraises) et réglées par des cotes machines ou cotes appareillages.

Les surfaces définissant la cote de fabrication sont réalisées par des outils réglés entre eux. On distingue deux situations :

- les outils sont différents et sont réglés entre eux par l'intermédiaire d'un élément support (outils sur porte-outils, plaquettes amovibles sur support),
- les différentes arêtes de coupe appartiennent à un outil monobloc et sont réglées entre elles par construction puis affûtage (outils de forme de tournage, forets, fraises à rainurer).

La cote outil correspond à la distance entre deux surfaces générées par les arêtes tranchantes d'un outil ou de deux outils et plus associés.

- C'est une côte non réglable sans le démontage de l'outil et son remplacement pour changer la valeur de la côte.
- Les cotes outils ne dépendent pas de la position de l'outil par rapport au référentiel.

a. Cas du tournage :

Dessin de définition

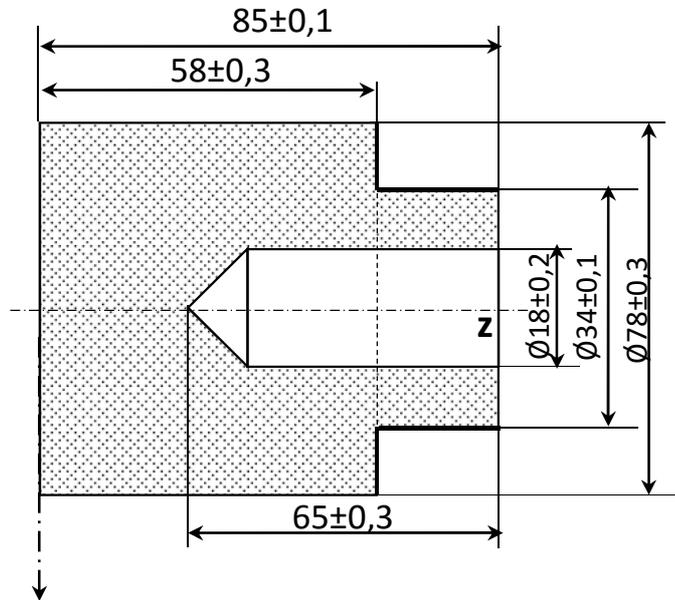


Figure. 12 : Dessin de définition d'une pièce mécanique destinée au tournage.

Détermination des côtes de fabrication

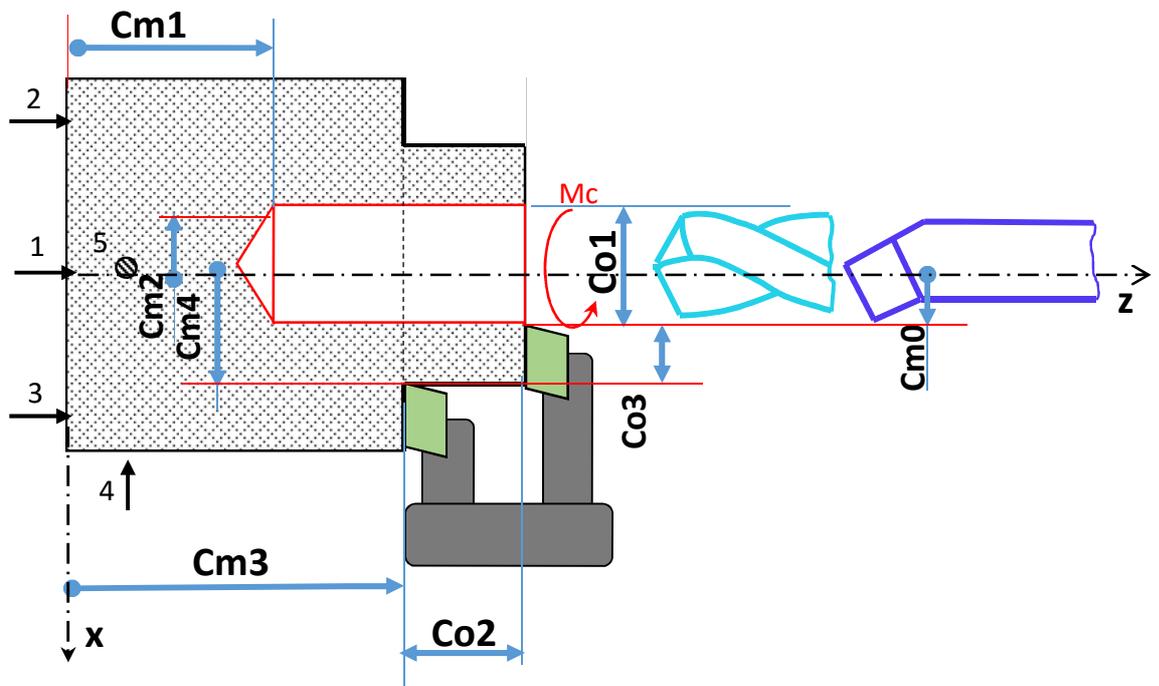


Figure. 13 : Mise en position isostatique de la pièce représentée par la figure 12.

- La cote outil **Co1** suivant l'axe **OX** est obtenu à l'aide d'un foret hélicoïdal monté dans la contre pointe ou un outil à aléser. La mise en position est assurée à l'aide de la cote machine **Cm1** et **Cm2**.
- La cote outil **Co2** suivant l'axe **OZ** est obtenue à l'aide de deux outils à dresser montés sur la tourelle avant. La mise en position de l'ensemble est assurée grâce à la cote machine **Cm3** suivant l'axe **OZ** et à l'aide de la cote machine **Cm4** suivant l'axe **OX**.
- La cote outil **Co3** suivant l'axe **OX** est obtenue à l'aide de deux outils à dresser montés sur la tourelle avant. La mise en position de l'ensemble est assurée grâce à la cote machine **Cm4** suivant l'axe **OX**.

Calculez :

- La cote outil **Co2, Co3**.
- La cote machine **Cm1, Cm2, Cm3** et **Cm4**
- La cote de réglage **Cr**

b. Cas du fraisage :

Dessin de Définition :

Soit à effectuer le fraisage d'une rainure de clavette en forme et position selon les indications du dessin de définition

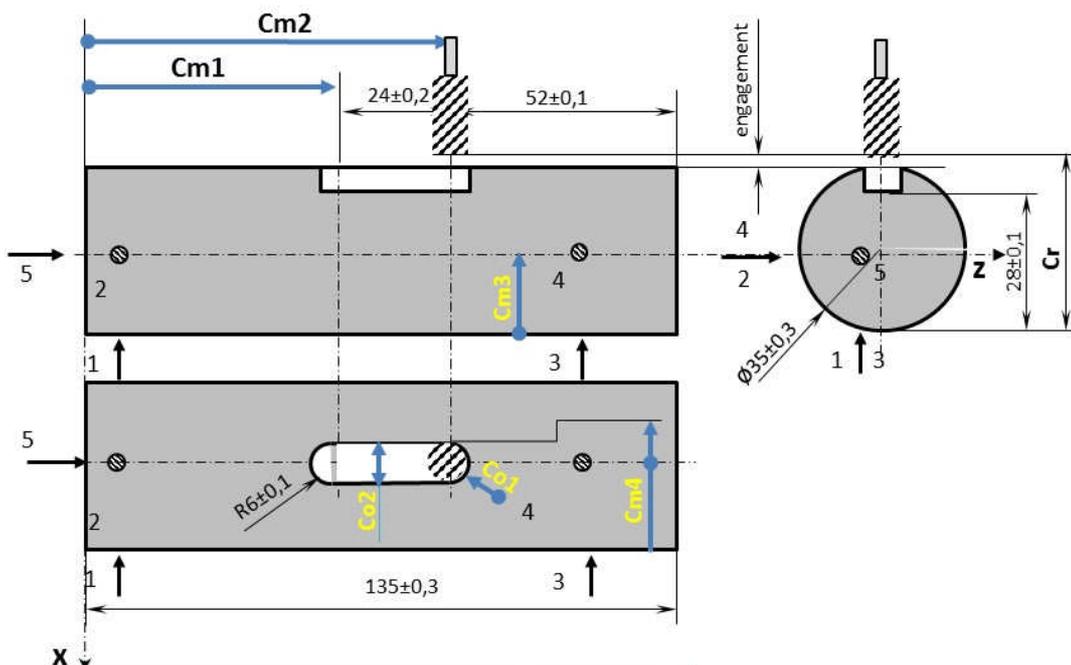
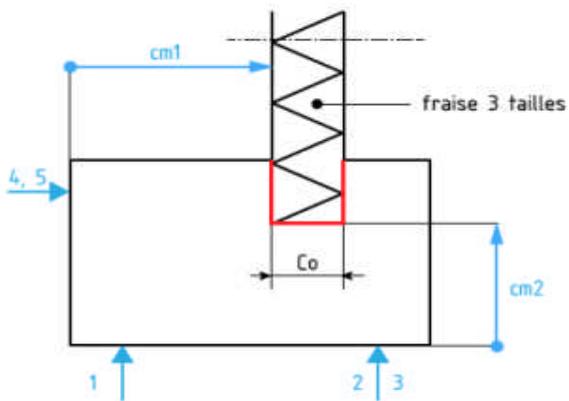


Figure. 14 : Mise en position isostatique d'une pièce destinée au fraisage.

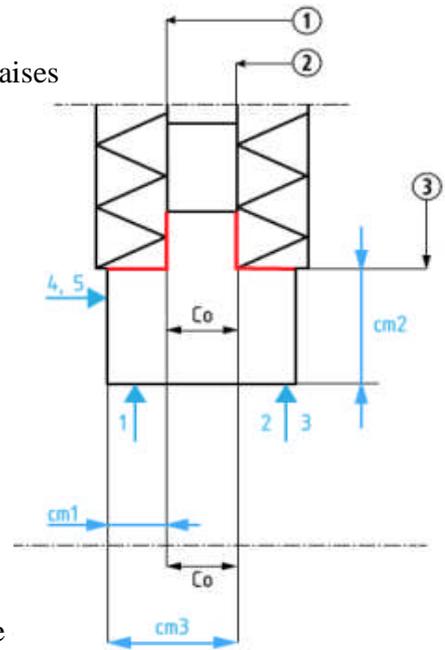
Les cotes outil **Co1** et **Co2** sont obtenues à l'aide d'une fraise deux tailles, comportant dents avec coupe au centre (fraise couteau). La mise en position est assurée à l'aide des cotes –machine **Cm1**, **Cm2**, **Cm3** et **Cm4**.

Exemples d'applications

Fraise 3 tailles



Train de fraises



Représentez la mise en position et déterminez de quel type

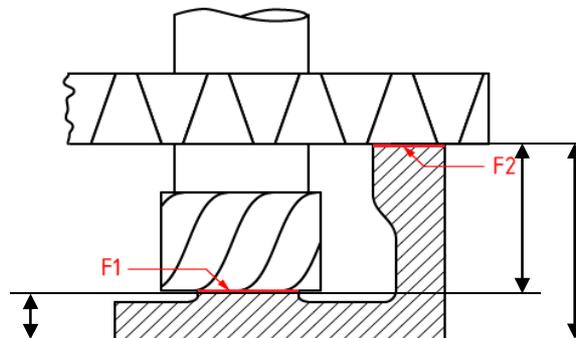


Figure. 15 : Mise en position isostatique d'une pièce destinée au fraisage.

4.2.3. Côtes appareillage

Ce sont les côtes de fabrication obtenues sur la pièce à partir d'un appareillage auxiliaire de la machine tel que règle avec butée, dispositif de copiage ou de guidage, montage d'usinage, gabarit de perçage...

Les trajectoires des outils réalisant les côtes de fabrication sont imposées par des appareillages dont les positions sont définies par rapport à des référentiels fixés. Les appareillages peuvent faire

partie de la machine comme les verniers, butées mécaniques, etc... soit des éléments indépendants de la machine comme plateaux diviseurs, dispositif de copiage, canons-guides des alésages, etc...

Exemple 1 : Soit à effectuer le perçage de quatre trous. Selon le dessin de définition suivant :

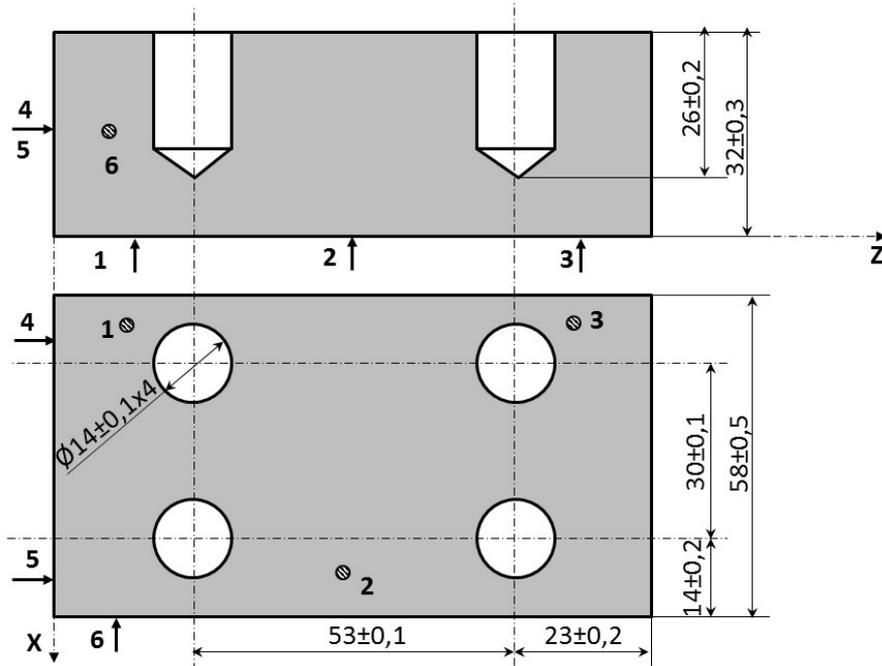


Figure. 16 : Mise en position isostatique d'une pièce destinée au perçage.

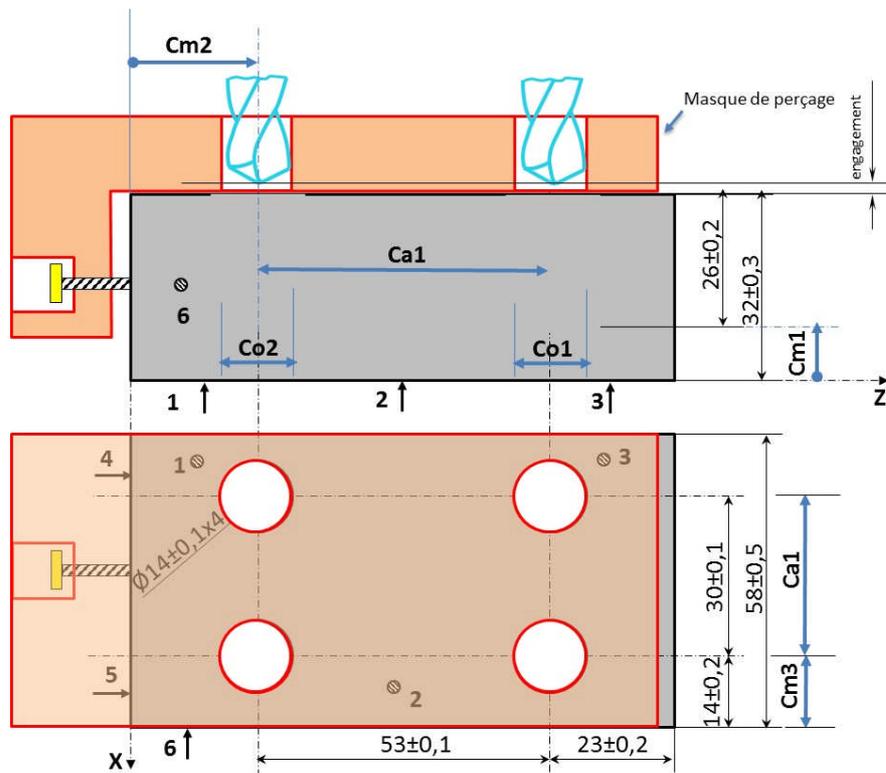


Figure. 17 : Mise en position à l'aide de gabarit pour perçage.

Exemple 2 : Soit à effectuer le tournage de surface associée sur un tour parallèle équipé d'un dispositif de copiage.

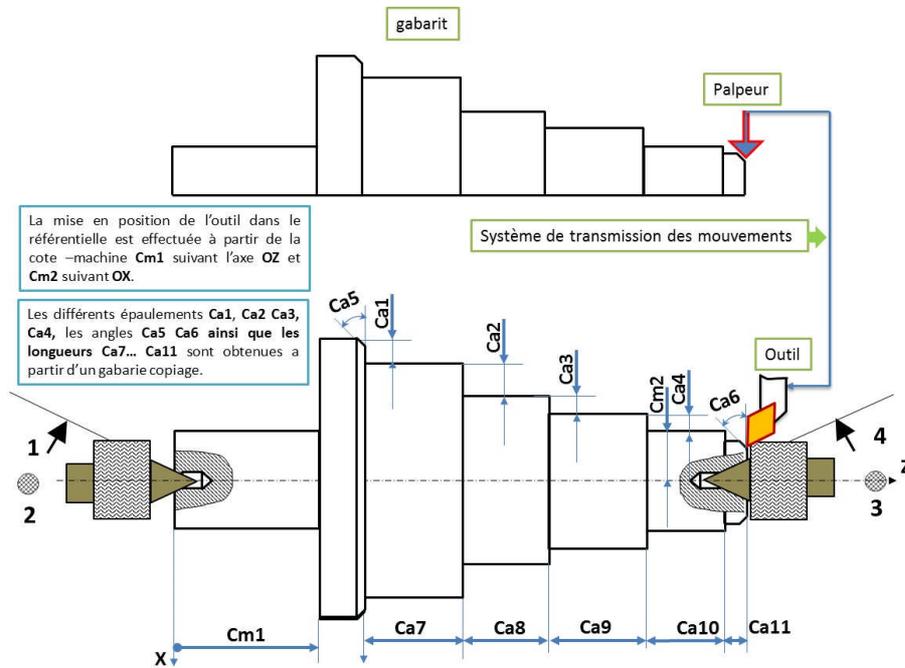
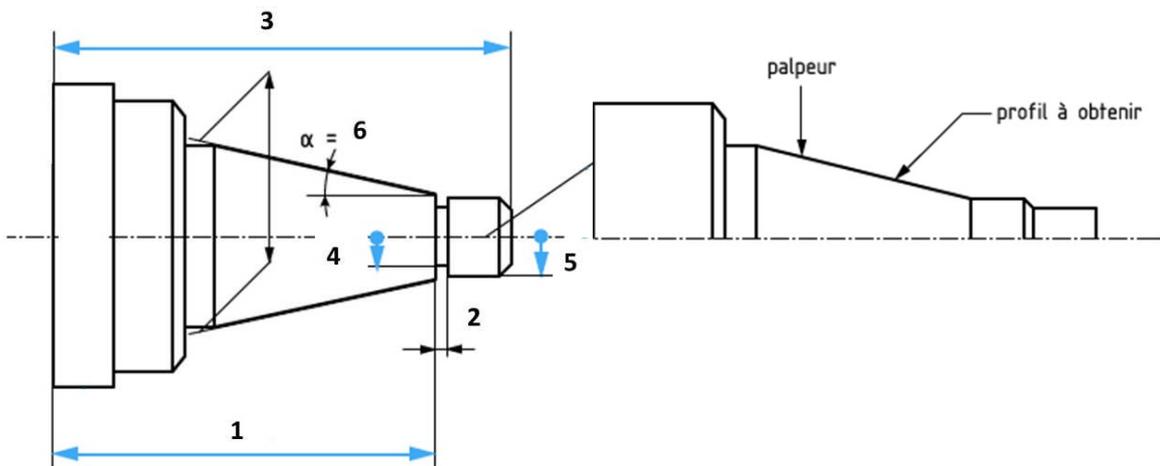


Figure. 18 : Mise en position à l'aide de gabarit pour tournage.

Application 1 :

Représentez la mise en position et déterminez de quel type de cote il s'agit.



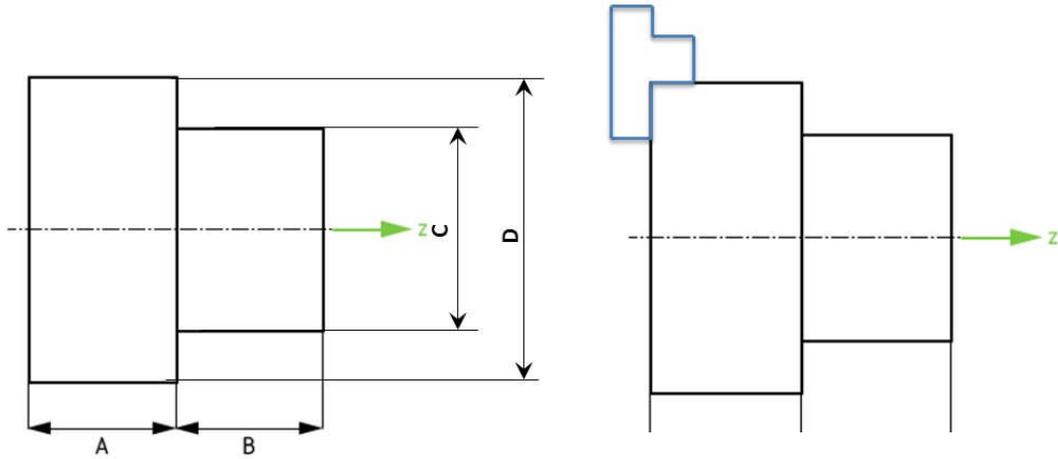
Application 2 :

Parmi les côtes de fabrication indiquez de quelle cote il s'agit (Cm, Co et Cm).

- Placez la pièce en position isostatique.
- Déterminer la côte de fabrication et calculez-les.
- Calculer la côte de réglage.

a- Dessin de définition

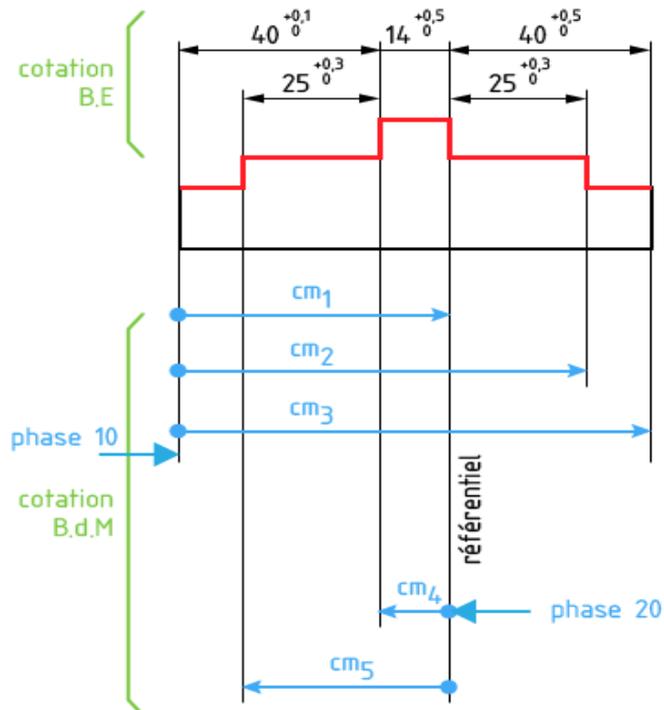
Positionnement sur un tour



$$A = 28 \pm 0,2 \quad C = 34 \pm 0,1$$

$$B = 30 \pm 0,1 \quad D = 54 \pm 0,2$$

b-



Chapitre 5: DISPERSIONS DIMENSIONNELLES

5.1. Généralité

On constate qu'une pièce réalisée sur une même machine, dans un même montage, avec le même outil, ne sont pas identique en dimensions, ce phénomène que nous allons étudier porte le nom de *dispersion*.

Pour maîtriser et optimiser le couple produit/processus, les entreprises manufacturières s'orientent de plus en plus vers la mise en place d'outils de simulation. Dans ce contexte, nous considérons la simulation d'usinage qui a pour objectif de simuler par anticipation des opérations et de prendre en compte les dispersions d'usinage afin de vérifier si les intervalles de tolérances fabriquées seront conformes aux spécifications du produit.

5.2. Objectives

- Comprendre l'origine des dispersions au cours d'une opération d'usinage.
- Décider en cas d'une usure excessive des outils de coupe, d'une dispersion d'un composant du montage d'usinage, sur le réglage nécessaire favorisant l'obtention de la contrainte dimensionnelle exigée dans le dessin de définition.

5.3. Definition

On appelle dispersion dimensionnelle, la différence entre la plus grande et la plus petite dimension relevée sur une série de pièces usinées dans les mêmes conditions de fabrication et le même réglage.

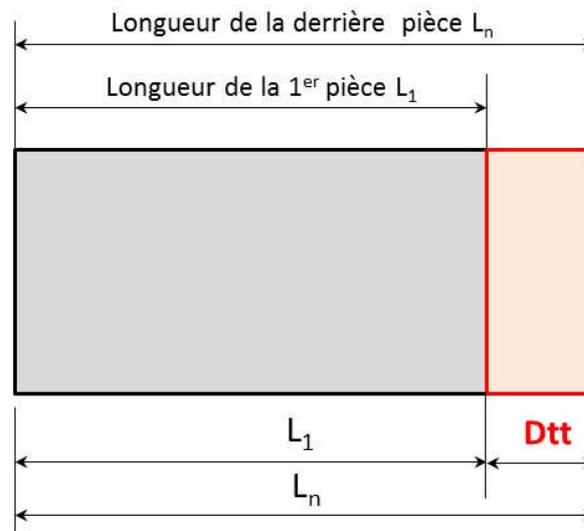


Figure.19 : Représentation schématique de la dispersion totale (Dtt)

$$D_{tt} = L_n - L_1$$

5.4. Origines des dispersions

Chacune des dispersions globales est en fait la somme de plusieurs types de dispersions caractéristiques du moyen de fabrication et de son utilisation particulière. Les dispersions les plus déterminantes et qui ont le plus d'impact sur la précision des cotes sont :

- Dispersion systématique (Ds),
- Dispersion aléatoire (Da),
- Dispersion géométrique (Dg),
- Dispersion thermique (Dt).

5.4.1. Dispersions systématiques (Ds)

Elle est due à l'usure de l'outil entre la première et la dernière pièce usinée.

La durée de vie d'un outil est caractérisée par l'usure de son arête tranchante principale. Elle dépend essentiellement des paramètres de coupe choisis en usinage et proportionnelle à la quantité de matière enlevée. Pour un réglage donné pendant l'usinage en série on constate une variation dimensionnelle des pièces successivement usinées.

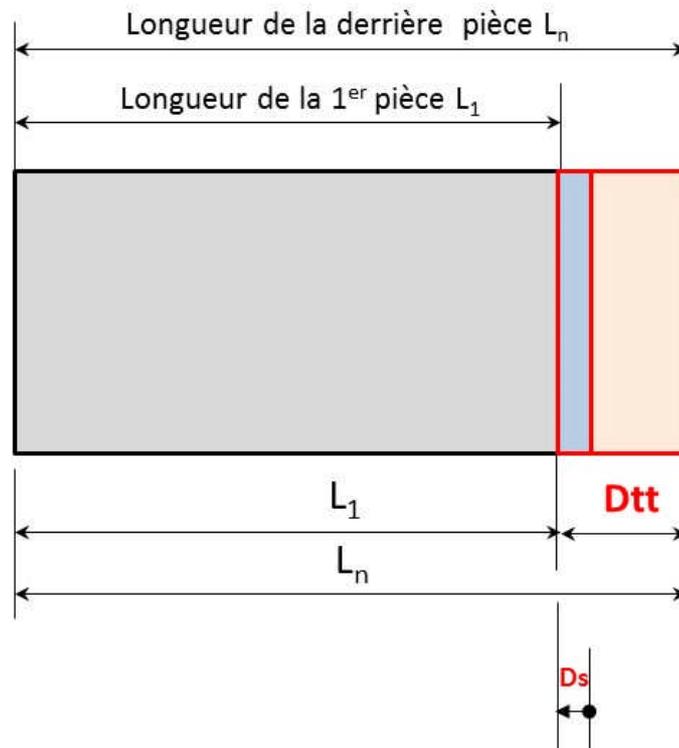


Figure. 19 : Représentation schématique de la dispersion systématique (D_s)

L'étude expérimentale démontre que l'usure suit une loi très caractéristique dont la représentation graphique en coordonnées rectangulaires donne l'allure générale.

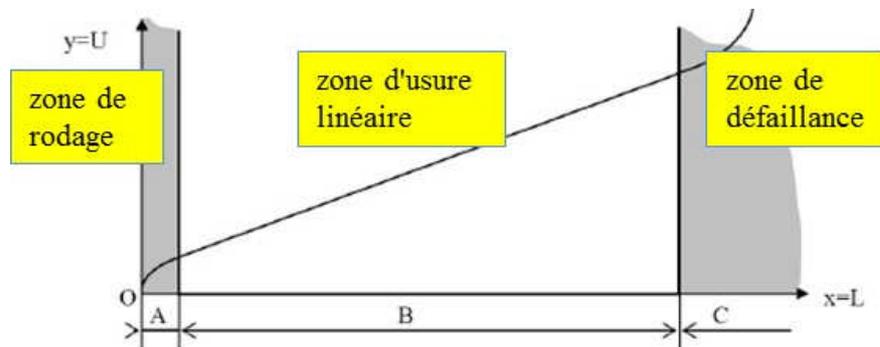


Figure.20 : Représentation graphique de l'usure de l'outil.

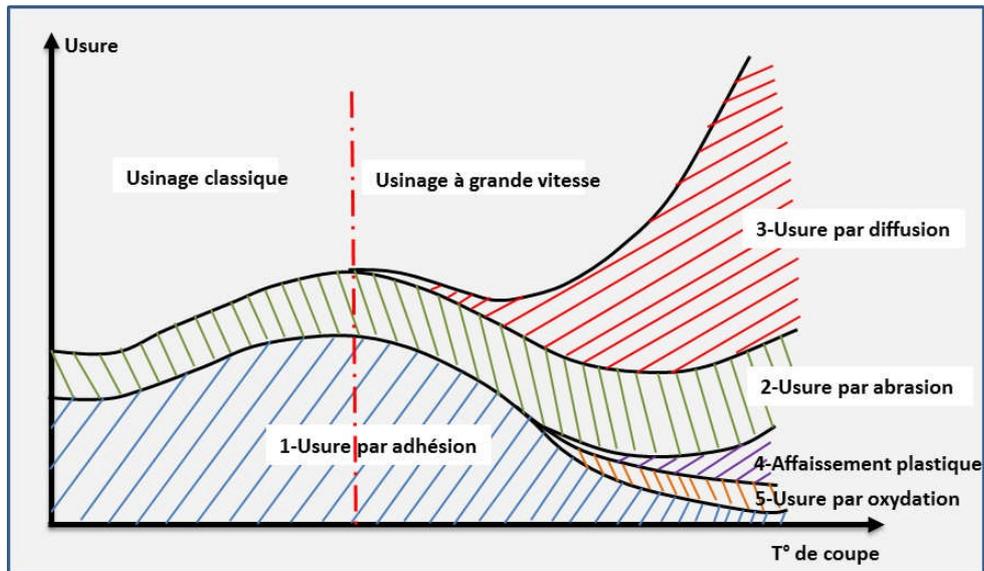


Figure.21 : Diagramme de combinaison des différents processus d'usure en fonction de la température.

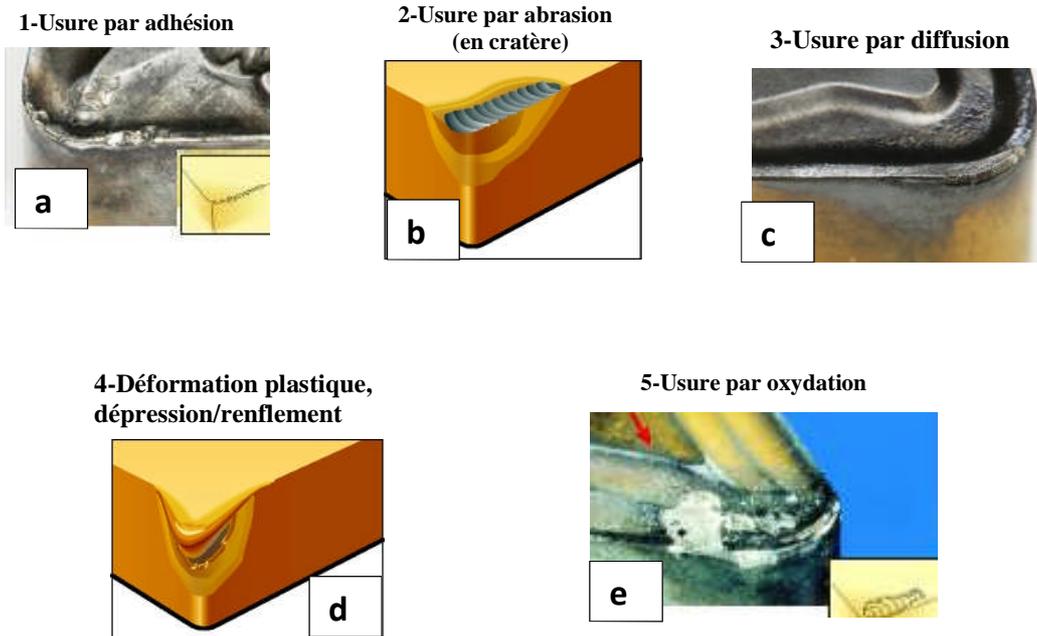


Figure.22 : Différent type d'usure de la partie active d'un outil de coupe.

5.4.2. Dispersions aléatoires (D_a)

Elle est due à la variation accidentelle des éléments du système machine-outil. Elle englobe des phénomènes relativement nombreux tel que :

- Écart de mis en position successive des pièces dans leur montage,



- Les déformations de la pièce dues au dispositif de maintien,
- Le manque de rigidité du montage,
- La fidélité de la butée fin de course,
- Les déformations de la pièce lors de son usinage en fonction de la variation des efforts de coupe...

5.4.3. Dispersion géométrique (Dg)

Elle est due aux défauts géométriques de la machine causés par le jeu de fonctionnement et à l'usure des organes. Ce type de défaut réduit la tolérance de fabrication de la pièce.

Lors d'une opération d'usinage, la trajectoire d'outil est calculée avec grande précision pour enlever la matière nécessaire afin de rendre la pièce aux dimensions nominales dictées par le dessin. Après usinage, la géométrie obtenue dévie par rapport à celle désirée. La pièce est rejetée (non conforme) si l'amplitude de la déviation dépasse celle tolérée.

Les forces générées par la coupe, l'imprécision cinématique et géométrique de la machine, les défauts de la géométrie et du montage de l'outil de coupe ainsi que d'autres sources d'erreurs affectent la précision du positionnement relatif de l'outil par rapport à la pièce, ce qui est à l'origine des défauts de fabrication.

L'inspection de la pièce, juste après l'opération d'usinage, par la machine elle-même est possible.

Avant la phase de finition, la pièce doit être inspectée pour évaluer les erreurs d'usinage.

En finition, la trajectoire initiale de l'outil doit être ajustée par une correction bien calculée en tenant compte des erreurs évaluées en semi-finitions pour anticiper les défauts de fabrication attendus sur la pièce finie.

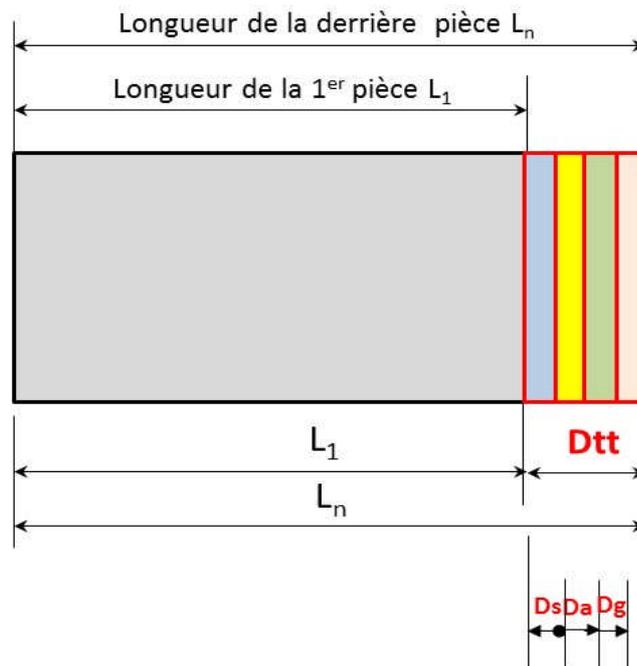


Figure.23 : Représentation graphique des dispersions aléatoire et géométrique (D_s , D_a et D_g)

5.4.4. Dispersion thermique (D_t)

Elle est due à la variation de température des organes de la machine lors du passage de la température ambiante à la température de stabilisation.

Lorsqu'une machine-outil est utilisée après une période de repos, les différents organes doivent passer de la température ambiante à une température de stabilisation différente suivant leurs positions respectives dans la machine [3]. Cette température de stabilisation n'est jamais atteinte en même instant par tous les organes. Il en résulte des déformations successives des éléments de liaison situés entre l'outil et la table porte pièce.

Lorsque cette variation est trop grande, il convient d'utiliser la machine en production de série qu'après avoir atteint le point de stabilisation, (*équilibre thermique*).

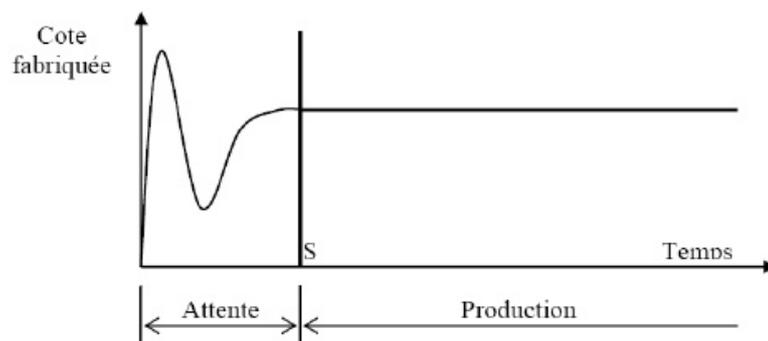


Figure.24 : Tracé du point de stabilisation dû à la température de la machine.

Dtt : représente la somme des dispersions systématiques (Ds), aléatoires (Da), géométrique (Dg) et thermique (Dt) .

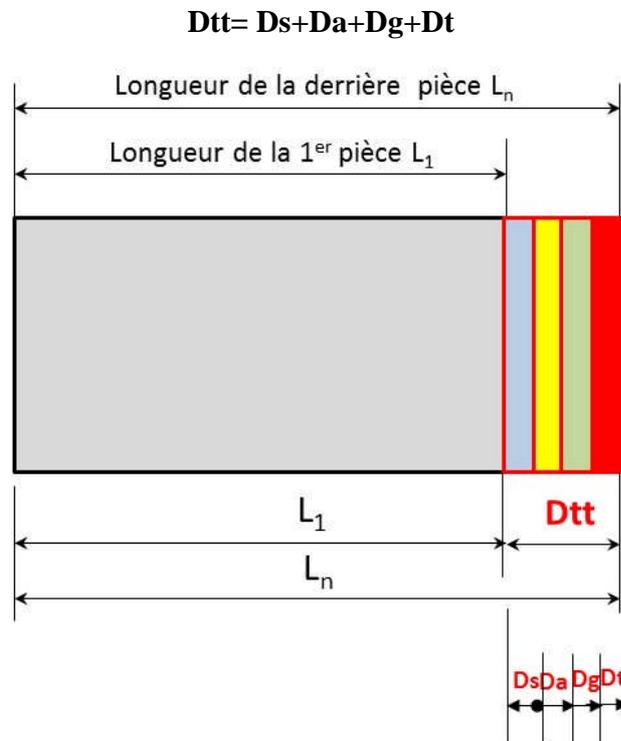


Figure.25 : Représentation schématique des dispersions (Ds, Da, Dg et Dt) .

5.5. Valeurs courante des dispersions

Ces valeurs sont données à titre de première estimation et sont classées dans le tableau suivant :

Tableau 3 : des valeurs estimatives de dispersions dû au diffèrent mécanismes intervenant.

DISPERSION DUES A L'USURE DE L'OUTIL			
Valeurs variables selon notamment la nature de l'outil, la matière de la pièce, les conditions de coupe, le temps de coupe			
DISPERSION DUES AUX PRISES DE PIÈCES			
Surface d'appui de la pièce	butée	Moulé en sable	0,4
		Moulé en coquille	0,2
		sciée	0,1 à 0,4
	usinée		0,02 à 0,1

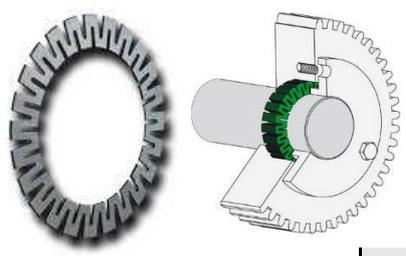
DISPERSION DUES AUX BUTÉES DE COURSES		
Type de butée	Ébauche	finition
Fixe	0,04 à 0,08	0,02 à 0,04
Débrayable mécanique	0,1 à 0,2	0,05 à 0,1
Débrayable électrique	0,05 à 0,1	0,03 à 0,05
DISPERSION DUES AUX PORTE-PIECES		
 <p>Rondelle ring Spann Figure.26 : Rondelle ringspann</p>	 <p>Figure.27 : Centreur</p>	Dispersion de Coaxialité
		Fonction du jeu
Mandrin expansible		0,02
		0,01 à 0,02



Figure.28 : Mandrin expansible

Chapitre 6 : TRANSFERT DE COTES ET SIMULATION D'USINAGE

Le bureau des méthodes établit la gamme et la simulation d'usinage à partir des spécifications (cotes fonctionnelles, tolérances de formes, de position, états de surfaces, etc.) du dessin de définition effectué au bureau d'études.

Les moyens de fabrication prévus dans la gamme permettent parfois de réaliser directement certaines cotes fonctionnelles. Ces cotes sont appelées : « *cotes directes* ». Les autres cotes réalisées indirectement nécessitent un calcul appelé : « *transfert de côtes* ».

6.1. Définition

Le transfert de côtes est un moyen de calcul permettant la détermination des côtes et des tolérances géométriques d'usinage pour l'obtention d'une pièce conforme au dessin de définition et facilite la recherche du moindre coût d'usinage.

6.2. Les côtes intervenant dans un transfert

a. Côte directe

Si une côte de fabrication s'établit entre les mêmes surfaces que celles indiquées par le dessin de définition, alors elle sera obtenue par une **cote directe**.

b. Côte transférée

Si la cote du dessin de définition n'est pas réalisée directement mais résulte de la combinaison de deux (plusieurs) cotes de fabrication Cf, elle devient indirecte sera transférée. La détermination des cotes de fabrication permettant d'obtenir **la cote transférée** nécessite toujours un calcul appelé **transfert de cote**.

c. Côtes -méthodes

Elles sont fixées par le BM et apparaissent selon trois formes différentes : copeau minimal, qui impose l'épaisseur de matière à enlever pour réaliser un usinage correct, réduction de l'IT d'une cote du dessin de définition (pour rendre un transfert possible par exemple) ou encore le respect de certaines cotes ne figurant pas sur le dessin de définition mais imposées par l'usinage.

d. Côtes -conditions CC

Les côtes du dessin de définition (directes ou obtenues par transfert) ainsi que les côtes méthodes sont toujours des conditions impératives à respecter lors de la détermination des côtes de fabrication. C'est pourquoi dans les graphes et calculs elles sont particularisées appelées **côtes -conditions CC**.

e. Tolérances économiques

Les côtes de fabrication sont assorties d'une tolérance. Pour chaque procédé, selon l'opération (ébauche, demi-finition, finition) il existe une tolérance économique permettant d'obtenir la côte dans un intervalle satisfaisant, compte tenu de la précision de la machine et du prix de revient.

6.3. Le transfert de côtes

Pour tout transfert de côtes il faut respecter la condition fondamentale suivante :

IT côte condition = \sum côte intervenant dans le transfert (y compris la côte à calculer)

Il en résulte que :

IT côte à calculer = IT côte condition - \sum IT autres côte intervenant dans le transfert

Pour éviter les erreurs, il est souhaitable de tracer la chaîne de cotes (**chaîne de transfert**). La représentation graphique de la chaîne de transfert est appelée **graphe de transfert**. (Figure. 29)

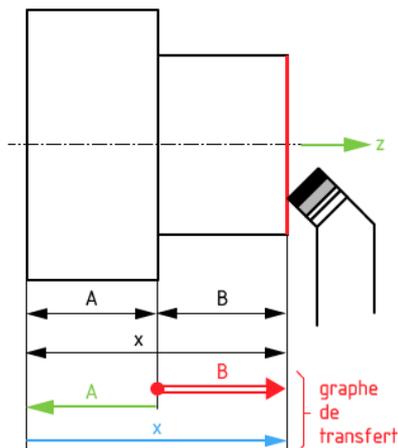


Figure. 29 : Chaîne et graphe de transfert

Conventions adoptées pour tracer le graphe de transfert

- La côte condition (à transférer) est la côte qui ne peut être réalisée directement.
- 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.
- Les lignes d'attache de côtes sont numérotées de 1 à n.
- Il ne peut pas avoir plus d'une côte fabriquée **Cf** par chaîne.
- La chaîne de côtes doit être la plus courte possible.
- L'**IT** de la côte condition doit être supérieur ou égal à la somme des **IT** des côtes composantes.

- Si la cote condition est minimale, les composantes de même sens qu'elles sont minimales et les cotes composantes de sens opposé sont maximales.
- La valeur de la cote condition minimale doit être inscrite dans la même colonne que les cotes composantes maximales.
- 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).
- La lecture du graphe permet de trouver l'équation logique de la cote condition.

6.4. 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. On fait cette vérification à l'aide de la relation fondamentale :

$$\mathbf{IT\ c\^ote\ \grave{a}\ calculer = IT\ c\^ote\ condition - \sum IT\ autres\ c\^otes\ intervenant\ dans\ le\ transfert}$$

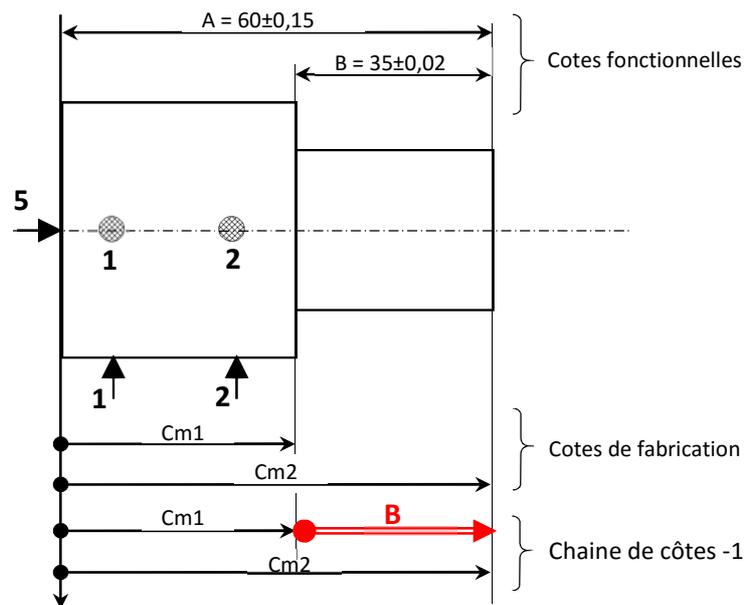


Figure.30 : Exemple schématique du transfert de cote

a. Calcul du transfert de cotes

- La cote à transfère est la cote $B = 35 \pm 0,2$.
- B est la cote condition.
- Cm1 et Cm2 sont les cotes composantes.
- On connaît $Cm2=A$ et l'on doit calculer Cm1.
- Les relations suivantes sont à respecter :

- D'après la chaîne de cote (figure 30) on constate :

$$\mathbf{B_{max} = A_{max} - C_{m1 \min}} \quad (1)$$

$$\mathbf{B_{min} = A_{min} - C_{m1 \max}} \quad (2)$$

$$\mathbf{Tolérance \ de \ la \ cote \ condition = somme \ des \ tolérances \ des \ cotes \ composantes} \quad (3)$$

- La condition B peut être prise indifféremment au maximum (application de la relation (1)) ou au minimum (application de la relation (2)).
- La tolérance de Cm1 est déterminée à l'aide de la relation(3).

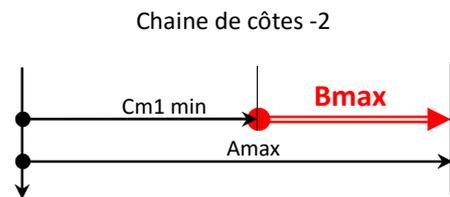
b. Calcul de Cm1 à l'aide des relations (1) et (3) :

Voir la chaîne de cote 2.

$$(1) \quad \begin{aligned} B_{max} &= A_{max} - C_{m1 \min} \\ 35,2 &= 60,15 - C_{m1 \min} \\ C_{m1 \min} &= 60,15 - 35,02 \\ C_{m1 \min} &= 24,95 \end{aligned}$$

$$(3) \quad \begin{aligned} \text{Tolérance } B &= \text{Tolérance } A + \text{Tolérance } C_{m1} \\ 0,4 &= 0,3 + \text{Tolérance } C_{m1} \\ \text{Tolérance } C_{m1} &= 0,1 \end{aligned}$$

$$\mathbf{C_{m1} = 25,13 \begin{matrix} +0,1 \\ -0 \end{matrix}}$$



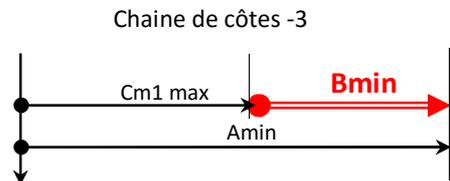
c. Calcul de Cm1 à l'aide des relations (2) et (3) :

Voir la chaîne de cote 3.

$$(2) \quad \begin{aligned} B_{min} &= A_{min} - C_{m1 \max} \\ 34,8 &= 59,85 - C_{m1 \max} \\ C_{m1 \max} &= 59,85 - 34,8 = 25,05 \end{aligned}$$

$$(3) \quad \text{Tolérance } C_{m1} = 0,1$$

$$\mathbf{C_{m1} = 25,05 \begin{matrix} +0 \\ -0,1 \end{matrix}}$$



Chapitre 7 : TOLERANCES ET AJUSTEMENTS

7.1. Généralités

Compte tenu du processus de fabrication choisi et des machines utilisées, une cote réelle mesurant l'une des dimensions d'un objet ne peut être exactement la même que celle (cote nominale) indiquée sur le dessin correspondant.

Une cote imposée sera plus facile à réaliser si elle peut varier entre deux valeurs limites : une cote maximale et une cote minimale. La différence entre les deux s'appelle la tolérance, ou intervalle de tolérance. Plus la précision exigée est grande, plus l'intervalle de tolérance doit être petit.

L'indication des tolérances est indispensable pour les dimensions ou cotes fonctionnelles, c'est-à-dire pour l'ensemble des dimensions définissant les formes nécessaires au fonctionnement ou à l'assemblage.

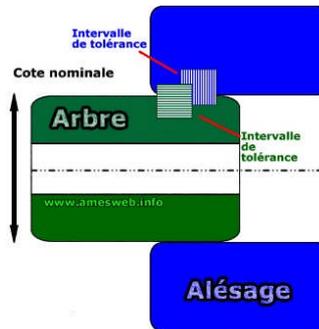


Figure. 31 : Représentations d'un assemblage de deux pièces cylindriques.

La norme ISO/AFNOR prévoit des catégories de dimensions tolérancées particulières pour les assemblages de deux pièces (cylindriques ou prismatiques). Ce sont les ajustements.

Principales normes GPS utilisées (caractéristiques taille et distance) : NF ISO 406 ; NF EN 20286-1 et 2 (ISO 286-1 et 2); ISO 2768-1.

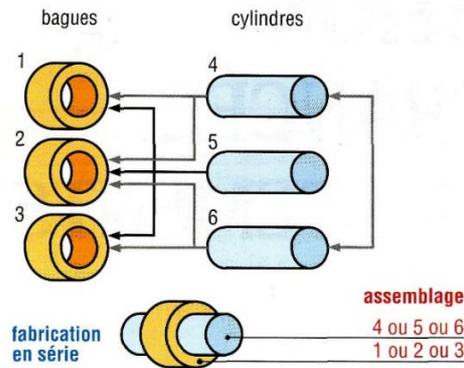
7.2. Principe de l'interchangeabilité

Lorsqu'il faut fabriquer une série de pièces identiques, il est impossible d'obtenir, d'une pièce à l'autre, exactement les mêmes dimensions. Il faut donc prévoir une variation possible de ces dimensions afin d'assurer l'interchangeabilité des pièces dans leurs ensembles respectifs. Les dimensions ou cotes sont alors comprises entre deux valeurs limites appelées cote minimale et cote maximale. L'écart arithmétique entre ces deux valeurs s'appelle tolérance ou intervalle de tolérance (IT). La cote théorique entière est-elle appelée cote nominale.

L'interchangeabilité des objets ou composants est à la base de tous les produits manufacturés construits en série. N'importe quel composant interchangeable d'une automobile peut être démonté

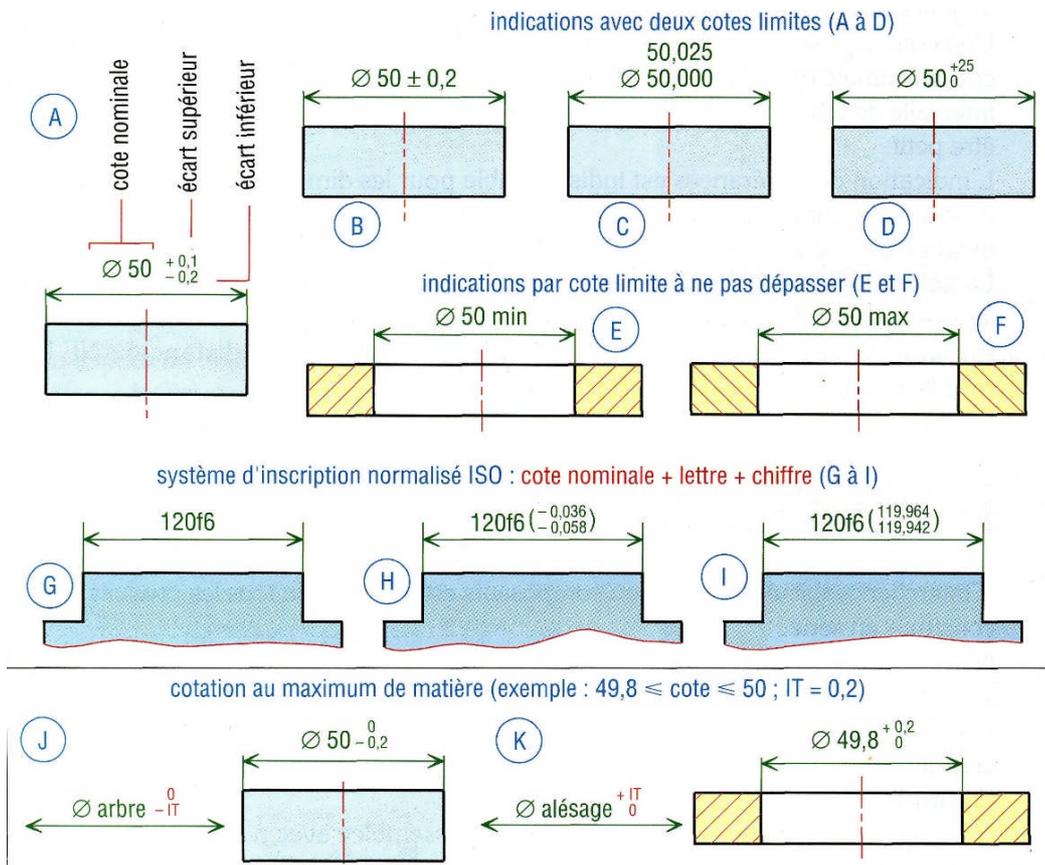
et remonté sur n'importe quelle autre automobile du même type et rendre le même service : une roue peut être montée à l'avant, à l'arrière, à gauche, à droite et cela sur n'importe quel modèle de la série.

Exemple 1 : Principe de l'interchangeabilité.



N'importe quelle bague (1, 2 ou 3) peut être assemblée avec n'importe quels cylindres (4, 5 ou 6), toutes les combinaisons sont possibles. La propriété d'interchangeabilité est obtenue grâce à une cotation tolérancée (ajustements...) des formes à assembler.

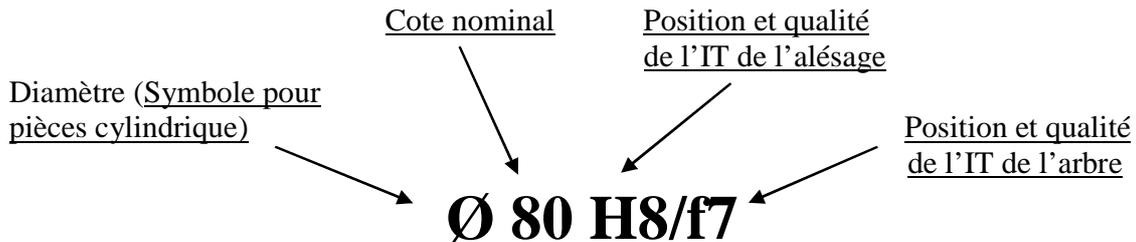
Exemple 2 : Principaux cas d'inscription des cotes tolérancées.



L'exemple 2 représente le Principaux cas d'inscription des cotes tolérancées et bien qu'il y ait ressemblance, A ne peut être assemblée qu'avec B et C qu'avec D.

7.3. Inscription normalisées (code ISO)

Un ajustement permet de spécifier à la fois la cote du contenant ou alésage, et celle du contenu ou arbre.



Une cote tolérancée peut être inscrite de plusieurs manières : à partir de deux côtes limites ; une cote limite à ne pas dépasser, ou avec le système d'inscription normalisé ISO (exemple 2).

Cas particulier : inscription au maximum de matière, voir exemple 2-J-K.

7.3.1. Définitions normalisées ISO

Alésage : terme utilisé conventionnellement pour désigner tout élément intérieur d'une pièce, même non cylindrique.

Arbre : terme utilisé conventionnellement pour désigner tout élément extérieur d'une pièce, même non cylindrique.

Cote nominale : c'est la dimension qui sert de référence pour définir les cotes limites (longueur ou angle) après application des écarts inférieur et supérieur.

Écart supérieur (alésage **ES** ; arbre **es**) : c'est la différence algébrique (> 0 ou < 0) entre la dimension maximale et la dimension ou cote nominale correspondante.

Écart inférieur (alésage **EI** ; arbres **ei**) : différence algébrique (> 0 ou < 0) entre la cote minimale et la dimension ou cote nominale correspondante.

Ligne zéro : ligne droite représentant graphiquement la dimension nominale à partir de laquelle sont représentés et positionnés les écarts.

Zone de tolérance : graphiquement, zone comprise entre les deux lignes représentant les dimensions ou cotes maximale et minimale.

Tolérance (IT) : différence entre la dimension maximale et la dimension minimale ou entre l'écart supérieur et l'écart inférieur (valeur absolue sans signe).

7.3.2. Cotation tolérancée au maximum de matière

Dans ce mode d'inscription (exemple 2), la cote nominale retenue, pour l'écriture, est celle qui laisse le maximum de matière aux pièces en supposant que l'usinage soit réalisé exactement à la valeur de la dimension nominale.

Exemple 3 : cotation tolérancée par la norme ISO (ISO286-2 ou NF 20286-2).

Tableau.4 : Illustration graphique des écarts.

cotation ISO des arbres		cotation ISO des alésages	
<p>écarts k à zc</p> <p>exemple : $50m6 = 50^{+25}_{+9}$</p> <p>$es \geq 0$ $ei \geq 0$</p> <p>IT 0,016</p> <p>zone de tolérance</p> <p>50,000 cote nominale</p> <p>ligne zéro</p>	<p>écarts A à H</p> <p>exemple : $70E9 = 70^{+134}_{+60}$</p> <p>$ES \geq 0$ $EI \geq 0$</p> <p>IT 0,074</p> <p>70,000 cote nominale</p>		
<p>écarts js et j</p> <p>exemple : $90j7 = 90^{+20}_{-15}$</p> <p>$es \geq 0$ $ei \leq 0$</p> <p>IT 0,035</p> <p>90,000 cote nominale</p>	<p>écarts JS, J et K</p> <p>exemple : $80J8 = 80^{+28}_{-18}$</p> <p>$ES \geq 0$ $EI \leq 0$</p> <p>IT 0,046</p> <p>80,000 cote nominale</p>		
<p>écarts a à h</p> <p>exemple : $60f8 = 60^{-30}_{-76}$</p> <p>$es \leq 0$ $ei \leq 0$</p> <p>IT 0,046</p> <p>60,000 cote nominale</p>	<p>écarts M à ZC</p> <p>exemple : $100P9 = 100^{-37}_{-124}$</p> <p>$ES \leq 0$ $EI \leq 0$</p> <p>IT 0,087</p> <p>100,000 cote nominale</p>		

7.4. Ajustements normalisés ISO/AFNOR

Les ajustements sont des catégories de dimensions tolérancées normalisées utilisées pour les assemblages de deux pièces contenu et contenant cylindriques ou prismatiques. On trouve :

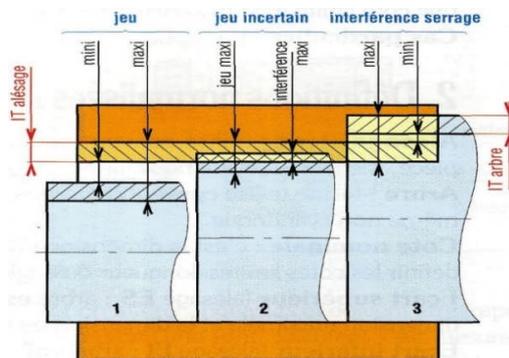


Figure.32 : Illustration des trois principaux types d'ajustement.

- Les ajustements avec jeu. Exemple : $\varnothing 50 H8/f7$
- Les ajustements avec jeu incertain (jeu ou serrage). Exemple : $\varnothing 65 H7/k6$
- Les ajustements avec serrage ou interférence. Exemple : $\varnothing 80 H7/p6$

Suivant la fonction désirée de l'assemblage, et la qualité requise, on choisit le type d'ajustement. Au vu des tableaux de position des IT, le nombre de possibilités est très important. Deux systèmes permettant d'harmoniser et de réduire la quantité d'outillage nécessaire à la fabrication des pièces ont été conçus :

- Système de l'alésage normal H
- Système d'arbre normal h

7.4.1. Système de l'alésage normal H

C'est le système le plus utilisé et le plus facile à mettre en œuvre (à choisir en priorité). Dans ce système l'alésage H « la lettre H » est toujours prise comme base. Seule la dimension de l'arbre (lettre + chiffre) est à choisir.

Propriétés : les ajustements avec lettres minuscules à partir de h et au-dessous (H/h, H/g, H/f...) présentent toujours un jeu croissant en allant de h à a. À partir de p et au-dessus (H/p, H/Y...) ils sont toujours serrés ; serrage croissant en allant de p à z. Ils sont incertains (jeu ou serrage) dans les autres cas (entre h et p).

Remarque : l'alésage H est caractérisé par un écart inférieur (EI) nul. Autrement dit :

EI = 0 : cote mini alésage = cote nominale

ES = IT : cote maxi alésage = cote nominale + IT

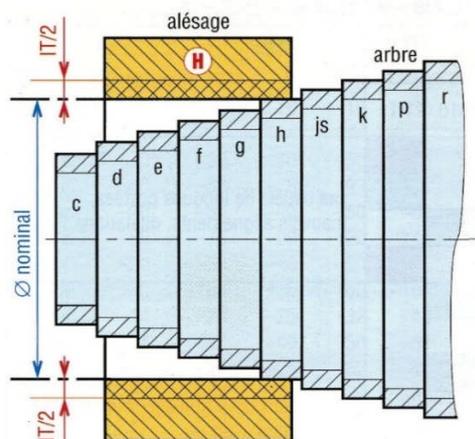


Figure.32 : illustration schématique d'un système d'alésage normal.

7.4.2. Système de l'arbre normal h

Dans ce système, l'arbre h (« lettre h ») est toujours pris comme base. Seule la dimension de l'alésage est à choisir. Les ajustements avec lettres majuscules à partir de H et au-dessous (H/h, G/h, F/h...) présentent toujours un jeu. À partir de P et au-dessus (P/h, R/h...) les ajustements sont toujours serrés. Ils sont incertains dans les autres cas.

Remarque : l'arbre h est caractérisé par un écart supérieur (es) nul.

Autrement dit :

$es = 0$: cote maxi arbre = cote nominale

$ei = IT$: cote mini arbre = cote nominale + IT

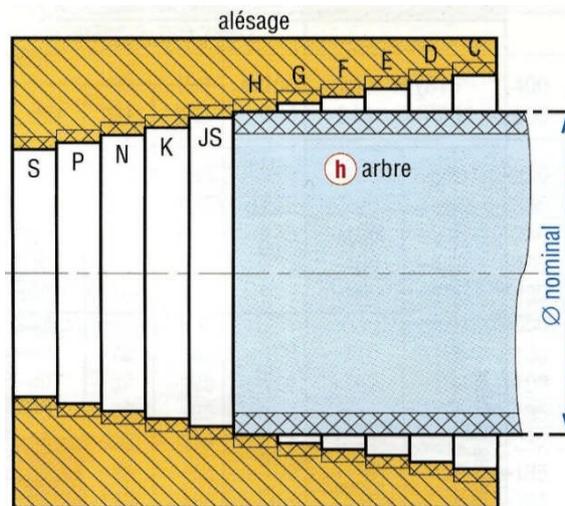


Figure.33 : Illustration schématique d'un système d'arbre normal.

7.4.3. Correspondance entre les deux systèmes H et h

Les ajustements homologues des deux systèmes précédents présentent les mêmes jeux ou serrages (interférences).

Exemples : l'ajustement H10/f10 a même jeu que l'ajustement F10/h10.

L'ajustement H7/r6 présente le même serrage que l'ajustement R7/h6...

Tableau. 5 : Illustration d'exemple d'ajustement typique.

Exemples d'assemblages typiques			
cas	système de l'alésage H	système de l'arbre h	observations
Ajustement avec jeu	H11/c11 H9/e9 H8/f7 H7/g6 H7/h6	C11/h11 E9/h9 F8/h7 G7/h6 H7/h6	jeu assez élevé (longues portées...) cas usuel de guidage tournant avec jeu (bon graissage assuré) guidage assez précis centrage, positionnement avec jeu
Ajustement avec jeu incertain	H7/k6 H7/n6	K7/h6 N7/h6	centrage avec jeu incertain
Ajustement avec serrage	H7/p6 H7/s6 H7/u6	P7/h6 S7/h6 U7/h6	serrage moyen (assemblage à la presse) serrage élevé fort serré

Chapitre 8 : TOLERANCES GEOMETRIQUES

8.1. Généralités

Les tolérances dimensionnelles usuelles (ajustements...) ne suffisent pas toujours pour définir rigoureusement la forme géométrique d'un objet. Malgré la cotation tolérancée des dimensions, des défauts géométriques nuisibles au fonctionnement et à l'assemblage sont toujours possibles. Les tolérances géométriques (normes internationales) permettent de corriger ces défauts et précisent les variations permises. Elles sont toujours restrictives par rapport aux tolérances dimensionnelles. Leur emploi ne doit pas être systématique. Un excès de spécifications amène un surcoût inutile. Les tolérances retenues doivent rester aussi larges que possible.

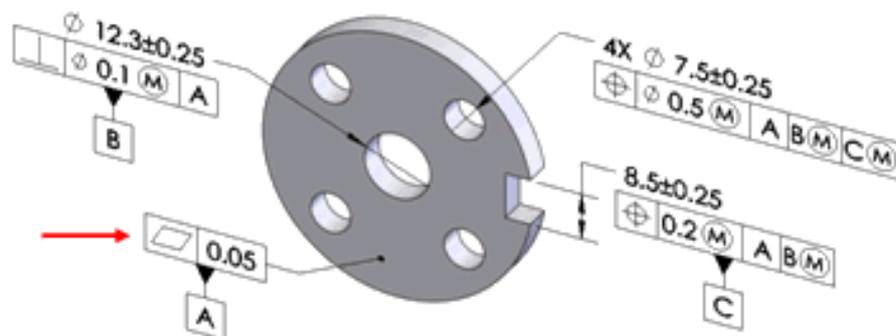


Figure.34 : Représentations schématic d'exemple de cotation de forme.

8.2. Définition

Les tolérances géométriques limitent l'écart de l'élément réel par rapport à :

- Sa forme,
- Son orientation,
- Sa position théorique exacte, sans tenir compte de la dimension de l'élément.

Les principales normes correspondantes sont :

- ISO 1011 : 2006
- ISO 5459 : 2006

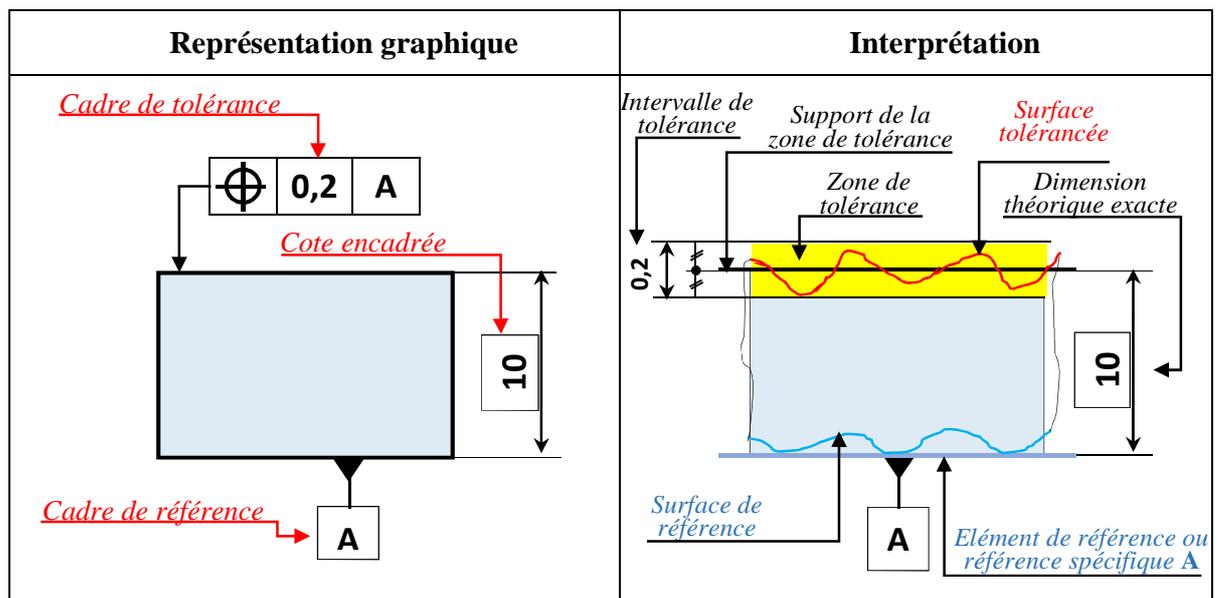
8.3. Concept de spécification géométrique des produits (GPS)

Le Concept de Spécification Géométrique des produits (**GPS** : Geometrical Product Specification) proposé par l'organisation internationale de normalisation (ISO) a pour but de fournir des normes cohérentes dans les domaines de la spécification et de la vérification de la géométrie des produits.

La spécification de la géométrie des produits consiste à définir les caractéristiques géométriques fonctionnelles entre les pièces, les caractéristiques macros et micros géométriques des surfaces des pièces elles-mêmes à divers stades de leur transformation ainsi que les limites de leur variation qui assureront le fonctionnement attendu des produits.

La vérification de la géométrie des produits quant à elle, doit permettre de s'assurer par la mise en œuvre de moyens métrologiques que les pièces physiques réalisées sont bien conformes aux spécifications. Cette vérification est non seulement pratiquée sur les pièces dans leur état final mais également à divers stades de leur transformation. Elle procède très généralement par la quantification des caractéristiques spécifiées, suivie d'une évaluation des incertitudes de mesure. La spécification et la vérification de la géométrie des produits constituent deux activités importantes de la maîtrise de la qualité des produits. Elles concernent divers services d'une entreprise, les études, les méthodes, la production et le contrôle pour ne citer que les principaux. Les acteurs de ces services ont besoin de communiquer et pour cela, ils doivent disposer d'un langage commun.

8.4. Principe du tolérancement géométrique (exemple)



- La surface de référence : élément réel appartenant à la pièce et utilisé pour construire la référence spécifiée A.
- L'élément de référence : élément idéal (géométriquement parfait), de même nature que l'élément nominal, associé à une surface de référence réelle de façon unique. Dans ce cas il s'agit d'un plan tangent du côté libre de matière et, si nécessaire, occupant une position moyenne.

- La référence spécifiée : élément idéal identique à l'élément de référence ou dérivé de celui-ci. Ici la référence spécifiée et l'élément de référence sont identiques.
- Le support de la zone de tolérance : élément idéal de même nature que l'élément tolérancé idéal (plan), parallèle à la référence spécifiée et situé à une distance théorique de 10mm de celle-ci.
- La zone de tolérance : ici, espace limité par deux plans parallèles au support de la zone de tolérance, distants de 0,2mm et situés symétriquement par rapport à ce support.
- La surface tolérancée : élément réel de la pièce dont il faut limiter les défauts et qui doit donc être compris à l'intérieur de la zone de tolérance pour satisfaire la condition de conformité.
- La dimension théorique exacte : cote encadrée (sur le dessin de définition) qui définit la position théorique du support de la zone de tolérance par rapport à la référence spécifiée.

La Condition de conformité stipule que l'élément tolérance doit se situer tout entier dans la zone de tolérance.

8.5. Eléments tolérancés et définitions des zones de tolérance

Lors de la phase de conception d'un mécanisme, le technicien imagine une solution qui sera traduite mentalement et graphiquement par une image prévisionnelle de la réalité.

Cette représentation est sensée respecter des conditions de fonctionnement qui, dans un second temps, sont transformées en diverses spécifications (sur des surfaces ou entre des surfaces). Ces spécifications sont autant de limitations géométriques imposées aux surfaces fonctionnelles pour garantir le bon fonctionnement du système.

Ces conditions permettent de limiter les variations de **dimension**, de **forme**, d'**orientation**, de **position** et de **battement** entre des surfaces fonctionnelles.

Pour exprimer ces limitations, on définit des éléments géométriquement parfaits (plans, cylindres, etc.) liés aux surfaces imaginées susceptibles de représenter les limites de la matière.

La condition fonctionnelle sera respectée si la surface « spécifiée » se situe à l'intérieur de cette zone de tolérance.

Cette démarche permet de spécifier toutes les pièces composant le produit.

Si chaque pièce respecte ces spécifications, toutes les conditions de montage, de fonctionnement, de démontage seront respectées et le produit sera qualifié.

Tableau.6 : Illustration d'exemple de tolérances de forme

Symbole	Exemple	Interprétation	Observations
rectitude —			La ligne sommets doit rester entre deux droites parallèles (du dessin) distantes de 0,1, parallèles ou non aux autres parties de l'objet.
			Chaque génératrice du cylindre doit rester entre deux droites parallèles distantes de 0,05, parallèles ou non à l'axe.
			L'axe du cylindre doit être contenu dans une zone cylindrique de diamètre 0,2, coaxiale ou non à l'axe de la pièce
planéité 			La surface de la pièce doit rester entre deux plans parallèles distants de 0,2, parallèles ou non aux autres parties de l'objet.
circularité 			Le profil de chaque section perpendiculaire à l'axe doit rester entre deux cercles concentriques distants de 0,1, centrés ou non sur l'axe du cylindre.
cylindricité 			La périphérie du cylindre doit être contenue entre deux cylindres coaxiaux distants de 0,1 (englobe la rectitude et la circularité).
profil d'une ligne 			Le profil de chaque ligne doit rester entre deux lignes qui enveloppent des cercles de diamètre 0,2 centrés sur le profil théorique spécifié.
profil d'une surface 			La surface de l'objet doit rester entre deux surfaces qui enveloppent des sphères de diamètre 0,4 centrées sur la surface théorique spécifiée.

Tableau.7 : Illustration d'exemple de tolérances d'orientation

Symbole	Exemple	Interprétation	Observations
paral- lélisme //			<p>La surface supérieure doit rester entre deux plans distants de 0,1 et parallèles au plan de référence A. Remarque : peut s'appliquer à une ligne ou un axe.</p>
			<p>L'axe du trou supérieur doit être contenu dans un cylindre de diamètre 0,2 d'axe parallèle à l'axe de référence A.</p>
perpen- dicularité ⊥			<p>La surface latérale gauche doit rester entre deux plans parallèles distants de 0,15 et perpendiculaires au plan de référence A. Remarque : la référence peut être une droite ou un axe.</p>
			<p>L'axe du cylindre à gauche doit être contenu dans une zone cylindrique de diamètre 0,5 d'axe perpendiculaire à A.</p>
			<p>L'axe du cylindre doit être contenu dans une zone parallélépipédique (1 x 2) perpendiculaire au plan A (a x b).</p>

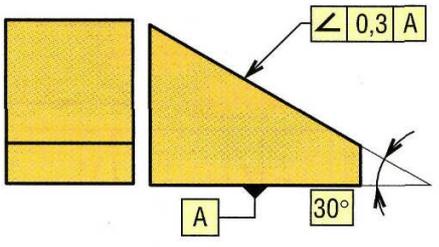
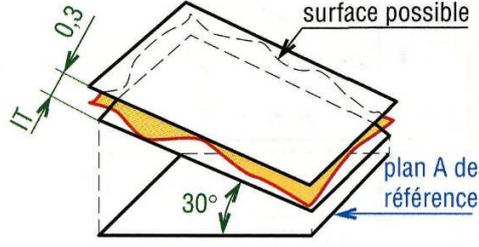
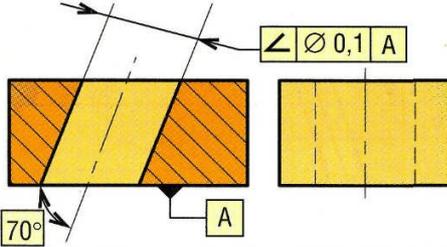
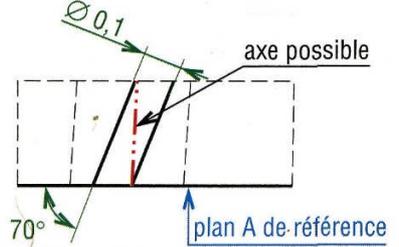
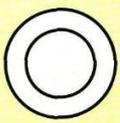
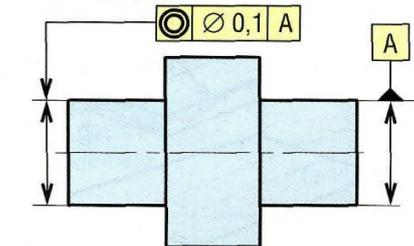
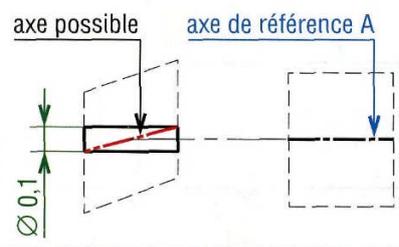
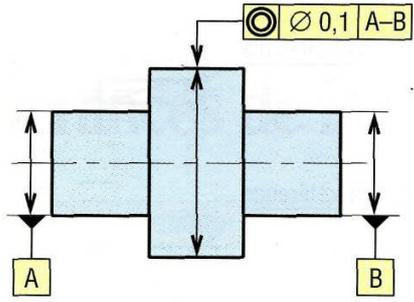
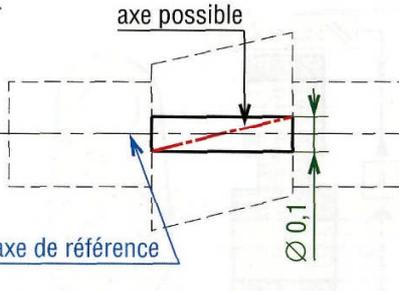
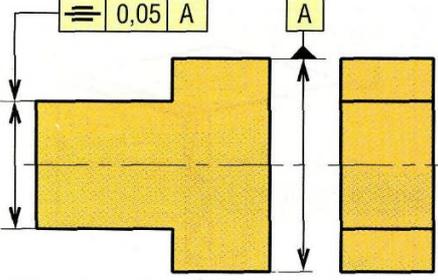
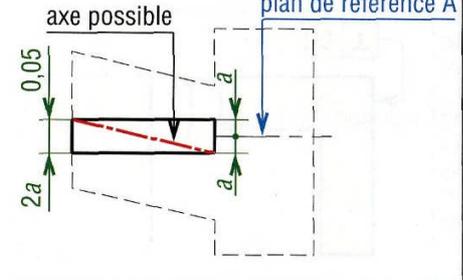
inclinaison 			La surface doit rester entre deux plans parallèles distants de 0,3 et inclinées de 30° par rapport au plan de référence A. Remarque : la référence peut être une droite ou un axe.
			L'axe du trou doit être contenu dans une zone cylindrique de diamètre 0,1 inclinée de 70° par rapport au plan A.

Tableau.8 : Illustration d'exemple de tolérances de position

Symbole	Exemple	Interprétation	Observations
concentricité et coaxialité 			L'axe du cylindre à gauche doit être contenu dans une zone cylindrique de diamètre 0,1 dont l'axe est celui du cylindre droit (A).
			L'axe du cylindre au milieu doit être contenu dans une zone cylindrique de diamètre 0,1 dont l'axe est celui des deux autres cylindres.
symétrie 			Le plan médian de la partie gauche doit rester entre deux plans parallèles distants de 0,05 et disposés symétriquement par rapport au plan A médian de la partie droite.

			<p>Le plan médian de la partie gauche doit rester entre deux plans parallèles distants de 0,05 et disposés symétriquement par rapport au plan A médian de la partie droite.</p>
<p>symétrie</p>			<p>L'axe du trou doit être contenu dans un parallélépipède $0,2 \times 0,1$ d'épaisseur b, d'axe l'intersection des plans médians (A-B) et (C).</p>
<p>localisation</p>			<p>Les axes des trous doivent être contenus dans des cylindres de diamètre 0,05 d'axes perpendiculaires à A et positionnés par les cotes encadrées.</p>
			<p>La surface doit rester entre deux plans parallèles distants de 0,1, inclinés de 110° par rapport à A symétriquement par rapport au plan théorique (à 65 de B).</p>

- **Battement circulaire** : Plusieurs mesures sont nécessaires pour contrôler toute la surface spécifiée et la tolérance doit être respectée pour chaque position de mesure. La variation est mesurée dans la direction indiquée par la flèche. Au cours du mesurage, pendant une rotation complète autour de l'axe de référence, il n'y a pas déplacement de l'instrument de mesure ni déplacement axial de la pièce. Une erreur de battement simple peut résulter par exemple de

défauts de circularité, planéité, cylindricité, perpendicularité (pris séparément ou en combinaison).

- **Battement total** : Au cours du mesurage, l'instrument de mesure se déplace le long d'une ligne fixe spécifiée pendant que la pièce effectue une série de rotations autour de l'axe de référence. Les erreurs de battement total résultent, séparément ou en combinaison, de tous les défauts géométriques précédents.

Tableau.9 : Illustration d'exemple de tolérances de battement

Symbole	Exemple	Interprétation	Observations
battement circulaire	<p>radial</p>		<p>Le battement radial pour chaque plan de mesure ne doit pas dépasser 0,05 pendant une rotation de la pièce autour de A ou ligne extraite entre 2 cercles coplanaires concentriques à A et distants de 0,05.</p>
	<p>axial</p>		<p>En tout point de la face, le battement axial (parallèle à A) ne doit pas dépasser 0,1 pendant une rotation complète autour de A ou ligne extraite entre 2 cercles identiques d'axe A distants de 0,1.</p>
	<p>oblique</p>		<p>Le battement oblique pour chaque cône de mesure ne doit pas dépasser 0,2 pendant une rotation complète de la pièce autour de A ou entre 2 cercles distants de 0,2 dans la section conique.</p>
battement total	<p>oblique</p>		<p>La surface mesurée doit rester entre deux cônes distants de 0,2 et d'angle 20 ° pendant une rotation complète de la pièce autour de A.</p>
	axial et radial	généralisation des cas précédents	

Chapitre 9 : DEFAUTS DE SURFACE ET RUGOSITE

9.1 Généralités

Les défauts de surface jouent un rôle important dans l'aptitude d'une pièce mécanique à remplir une fonction donnée. Ces défauts sont de nature géométrique ou physico-chimique. Une surface, quel que soit son procédé de fabrication, n'est pas une surface parfaitement lisse. Elle dépend non seulement de la méthode d'usinage et les outils utilisés, mais aussi selon le matériau à usiner.

En mécanique, l'**état de surface** est un élément de cotation d'une pièce indiquant la fonction, la rugosité, la géométrie et l'aspect des surfaces usinées. Elle présente de nombreuses irrégularités, micro-géométriques ou macro-géométriques. Ces irrégularités sont définies par comparaison avec une ligne "moyenne" et sont classées en deux catégories : des aspérités ou "pics", et des cavités ou "creux". L'ensemble de ces défauts de surface constitue la **rugosité**.

Les principes, les termes, les définitions, les paramètres, les symboles et les indications d'états de surface à inscrire sur les dessins font partie de la norme internationale **ISO**. Il en est de même du contrôle, des procédures, des équipements de mesure et de leur étalonnage.

9.2 Définition

La rugosité est une caractéristique de l'état de surface d'un matériau solide. C'est aussi un paramètre d'un écoulement se produisant sur ce matériau. Elle est susceptible de recevoir plusieurs acceptions techniques : En géomorphologie, En tribologie, En hydraulique.

La rugosité concerne les défauts micro-géométriques de la surface réelle. La cotation des états de surface fait essentiellement référence à l'usinage par enlèvement de matière. Les défauts sont des stries et des sillons creusés par les arêtes coupantes des outils (outils de tournage, fraises, meules, etc...). On distingue 2 niveaux de défauts d'état de surface :

- Niveau 1 : Stries périodiques.
- Niveau 2 : Défauts apériodiques : arrachement de matière.

9.3 Principaux défauts des surfaces

Nous ne nous intéresserons ici qu'aux défauts géométriques. Ils sont classés conventionnellement sous quatre numéros d'ordre qui se discriminent par leur période spatiale. Pour les deux premiers on parle de défauts macro-géométriques. Ils sont habituellement reliés au comportement cinématique de la machine-outil. Les deux suivants sont appelés défauts micro-géométriques. Ils sont habituellement reliés au phénomène de coupe lui-même.

9.3.1 Défauts macro-géométriques

Ils caractérisent l'écart maximal entre les cotes théoriques et les cotes réalisées, à l'intérieur de certaines tolérances : ils dépendent de la précision des machines et sa mesure relève de la métrologie dimensionnelle.

- **1^{er} ordre (écarts de forme)** : Ils correspondent aux défauts géométriques des surfaces : planéité, rectitude, circularité... (Voir chapitre précédent).
- **2^{ème} ordre (ondulations)** : Ils sont relatifs aux ondulations, sortes de collines et de vallées successives, inscrites dans le profil et engendrées par les vibrations, déformations des machines, broutements, traitements thermiques. La distance d'irrégularité entre deux sommets est comprise entre 0,5 et 2,5 mm environ.

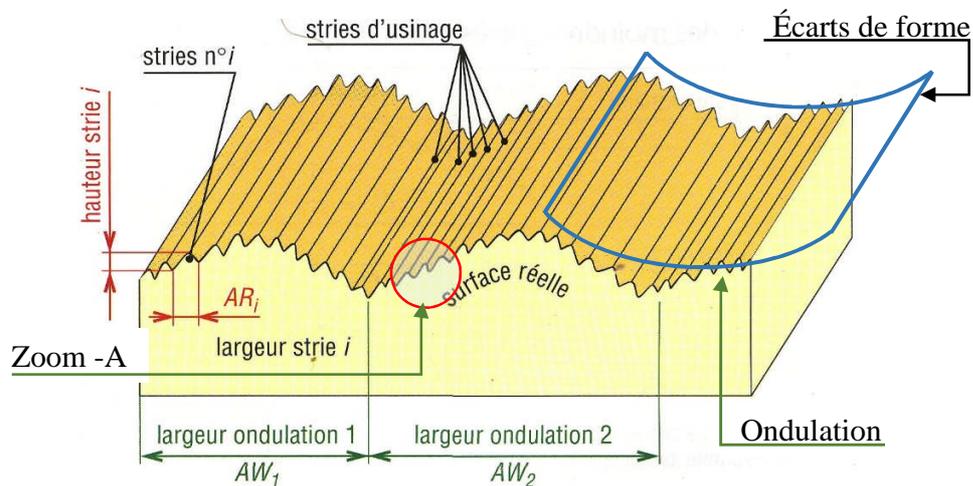


Figure.35: Défauts amplifiés des surfaces usinées (ordre 1 et 2)

9.3.2 Défauts micro-géométriques (Zoom -A)

Qui se définissent à partir de l'état d'une ou plusieurs portions de surface très limitées, indépendamment de la qualité macro-géométrique globale de la surface.

- **3^{ème} ordre (sillons)** : Ce sont les stries de rugosité, sortes de sillons tracés avec régularité dans le relief des ondulations par les outils de coupe. Ils caractérisent la rugosité de la surface usinée. La distance entre deux sillons est comprise entre 0,02 et 0,5 mm environ.
- **4^{ème} ordre (arrachements)** : Défauts aperiodiques, plus irréguliers, parfois accidentels, constitués par des arrachements, fentes,... La distance entre deux pics de ces irrégularités est inférieure ou égale à 20 μ .

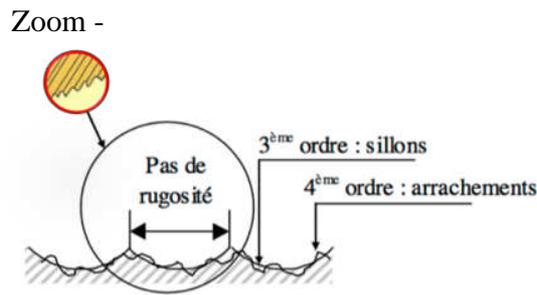


Figure.36 : Défauts amplifiés des surfaces usinées (ordre 3 et 4)

9.4. Définitions et terminologie de la topographie des surfaces

- a. **Surface réelle** : elle correspond à la surface obtenue après fabrication de l'objet.
- b. **Profil de surface** : il peut être considéré comme une tranche plane très mince judicieusement découpée dans la surface, suivant la direction de mesure. Il sert de base pour définir les autres profils. Le centre du palpeur donne un profil tracé numérisé en profil total.
- c. **Profil primaire** : issu du profil de surface après mesure et filtrage, il sert de base à l'évaluation des paramètres du profil primaire (symbole P).
Exemples : Pp, Pv, Pz, Pt, Pa, Pq, PSm, etc.
- d. **Profil de rugosité** : obtenu après filtrage du profil primaire, il sert de base à l'évaluation des paramètres de rugosité (symbole R).
Exemples : Rp, Rv, Rz, Rt, Ra, Rq, RSm, etc.
- e. **Profil d'ondulation** : obtenu après filtrage du profil primaire, il sert de base à l'évaluation des paramètres d'ondulation (symbole W).
Exemples : Wp, Wv, Wz, Wt, Wa, Wq, WSm, etc.
- f. **Longueur d'évaluation Ln** : c'est la longueur de l'échantillon de profil utilisé pour déterminer la rugosité et autres paramètres. Elle peut comprendre une ou plusieurs longueurs de base. Exemples : 0,4 - 1,25 - 4 - 12,5 - et 40 mm. Pour évaluer Ra, Rz, Rv, Rp, Rc et Rt.

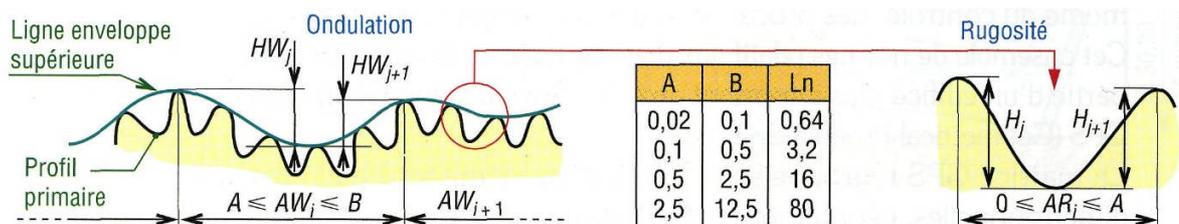


Figure.37 : Paramètres liés aux motifs (ondulation et rugosité).

A, B et L_n (longueur d'évaluation).

g. Longueur de base : la longueur d'évaluation L_n est divisée en tronçons successifs dont la longueur, appelée longueur de base, dépend des irrégularités du profil. La ligne moyenne de chaque tronçon doit rester droite. L_r : rugosité ; L_w : ondulation ; $L_p = L_n$: primaire. Exemples : pour R_a , R_z , R_v , R_p , R_c et R_t , $L_n = 5 L_r$.

h. Ligne moyenne ou des moindres carrés : pour le profil primaire, la ligne suit la direction du profil et est déterminée par calcul aux moindres carrés. Pour chaque longueur de base, la ligne est assimilée à une droite.

La somme des aires (entre profil et ligne) au-dessus de la ligne moyenne est égale à la somme des aires au-dessous (**fig. 4**). Plus précisément, la somme de tous les z^2 (z = distance entre profil et ligne moyenne) au-dessus de la ligne doit être égale à la somme des z au-dessous, d'où le nom des moindres carrés : (**voir fig. 4 et 5**)

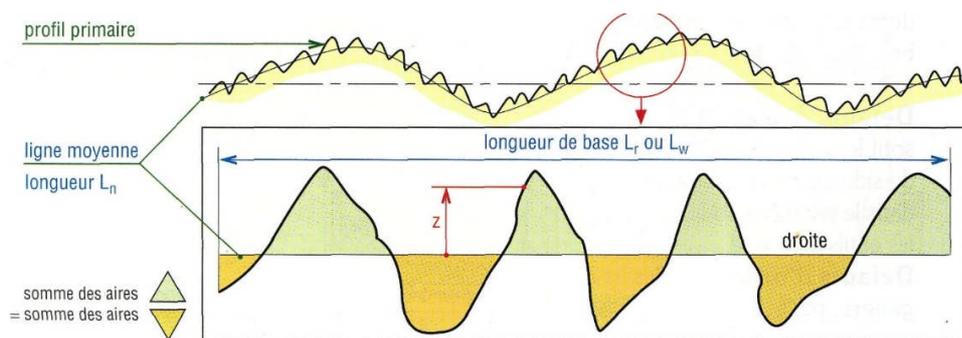


Figure. 38 : Définition de la ligne moyenne (ligne des moindres carrés).

9.5. Critères retenus pour mesurer la rugosité

Un grand nombre de critères sont définis dans la normalisation pour caractériser une rugosité. En pratique, dans un profil et sur une longueur considérée, seuls, trois d'entre eux sont retenus :

a- « R_a » : écart moyen. C'est la moyenne arithmétique des valeurs absolues des écarts, entre les pics et les creux. « R_a » mesure la distance entre cette moyenne et la **ligne centrale**. On admet couramment que cette notion synthétise approximativement les différents paramètres intéressés dans la rugosité.

b- « R_t » : écart total. C'est la dénivellation la plus importante entre le plus haut sommet d'un pic et le fond le plus bas d'un creux.

c- « R_z » : **régularité**. C'est la moyenne des écarts totaux de rugosité « R_t » observés sur 5 longueurs.

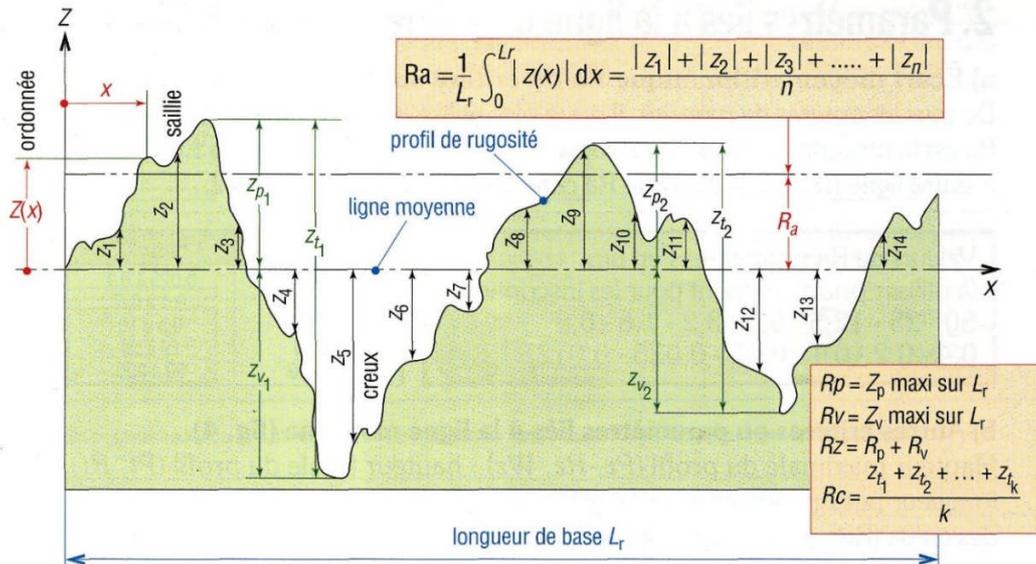


Figure. 39 : Paramètres liés à la ligne moyenne. Écart moyen arithmétique R_a .

L_x = longueur de base. Même démarche pour W_a .

9.6. Inscription normalisée d'un état de surface sur un dessin

La norme utilisée repose essentiellement sur la normalisation ISO et est commune, à quelques nuances près, à la plupart des pays industrialisés.

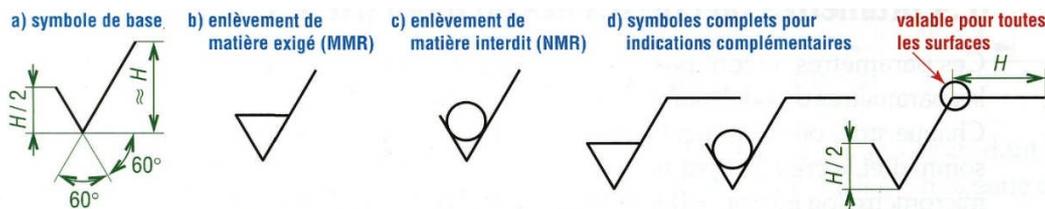


Figure.40 : Symboles de base normalisés (NF ISO 1302).

9.7. Normalisation

Le symbole de base, sorte de vé dissymétrique à 60° (**fig. 6**), est employé dans le cas général et ne préjuge d'aucun procédé de fabrication.

Si un enlèvement de matière est nécessaire (usinage, etc.), une barre est ajoutée au symbole de base. Si l'enlèvement de matière est proscrit la barre est remplacée par un cercle.

L'écart moyen arithmétique Ra, indiqué en haut à gauche du vé, est le critère de base généralement retenue pour la spécification des états de surface.

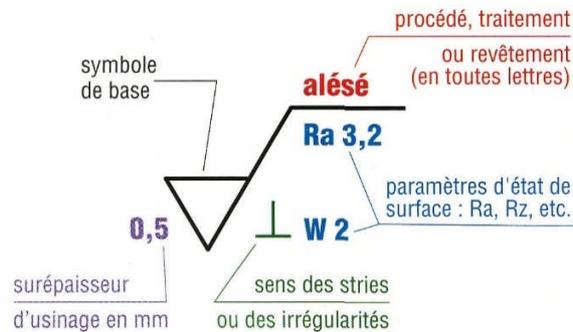


Figure.41 : Spécification de l'état de surface.

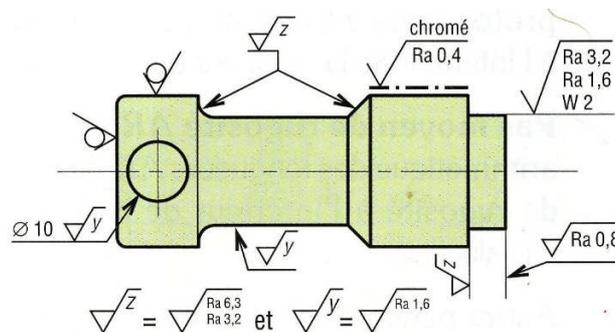


Figure.42 : Exemple de cotation, position des symboles.

9.8. Instrument et méthode de mesure de la rugosité

Une surface, quel que soit son procédé de fabrication, n'est pas une surface parfaitement lisse. Selon la méthode d'usinage et les outils utilisés, mais aussi selon le matériau, elle présente de nombreuses irrégularités, micro-géométriques ou macro-géométriques. Ces irrégularités sont définies par comparaison avec une ligne "moyenne" et sont classées en deux catégories : des aspérités ou "pics", et des cavités ou "creux". L'ensemble de ces défauts de surface constitue la rugosité.

La procédure de mesure de la rugosité de surface avec un instrument de type stylet est décrite ci-dessous (Basé sur la norme ISO 4288:1996.)

9.8.1. Instrument de mesure de la rugosité

Le cœur du rugosimètre TR-200 est constitué d'un transducteur à induction possédant une pointe en diamant. Les variations dans les tensions générées sont repérées par le capteur puis converties

en différents paramètres de rugosité par l'électronique de l'instrument. Il est ainsi possible d'obtenir rapidement un profil détaillé de la surface.



Figure.43 : Rugosimètre TR-200

Le testeur TR-200 est particulièrement recommandé pour des applications en ateliers ou en laboratoires - il permet de mesurer pratiquement tous les paramètres de rugosité existants. Le profil de la surface mesurée peut être affiché à l'écran avec les 13 différents paramètres disponibles. La sortie RS-232 permet de transférer l'ensemble des données à l'imprimante TA-220 ou de les sauvegarder sur PC grâce au logiciel Time-surf.

9.8.2. technique de mesure de la rugosité

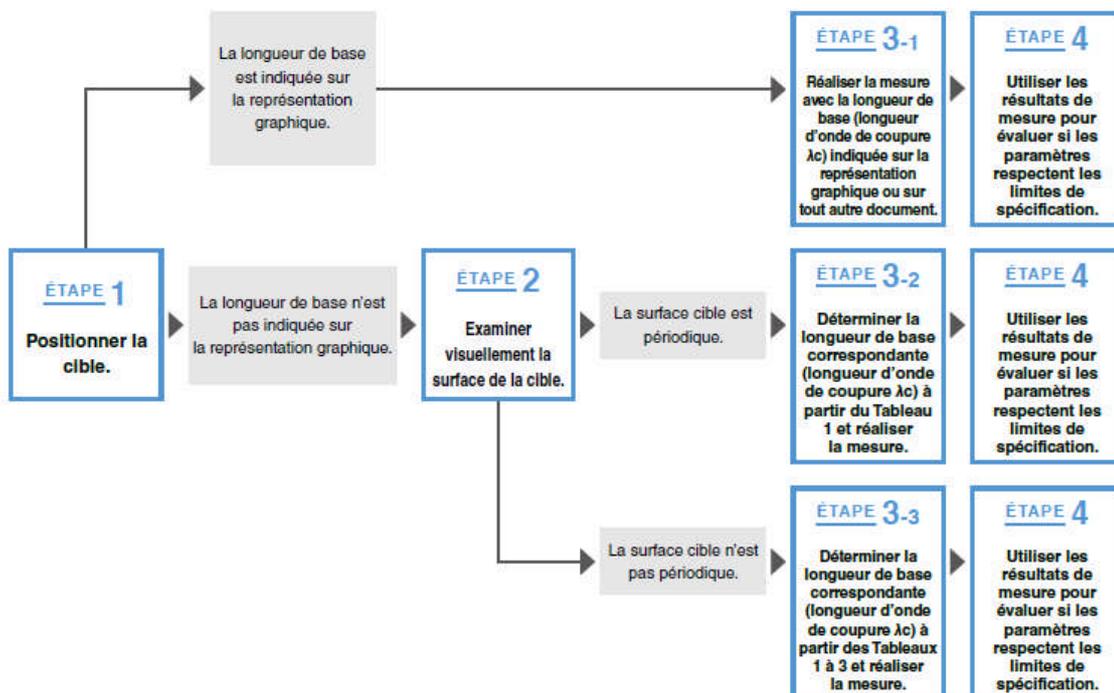


Figure.44 : Technique de mesure de la rugosité

a. Étape 1 : Positionner la cible de mesure

Retirer avec soin tout résidu d'huile ou particule de poussière de la surface de la cible. Si la direction de mesure n'est pas indiquée, positionner la cible de sorte à permettre la mesure du nombre maximal de valeurs de paramètres de hauteur (Ra, Rz).

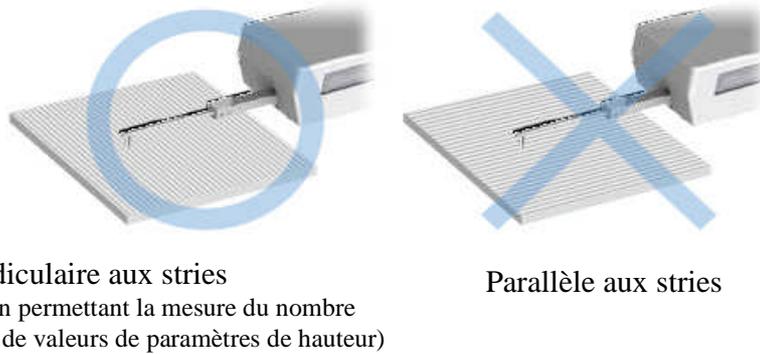


Figure.45 : Illustration du positionnement du palpeur.

b. ÉTAPE 2 : Examiner visuellement la surface de la cible

Évaluer si l'état de surface de la cible (stries, profil de rugosité) est périodique ou non périodique.

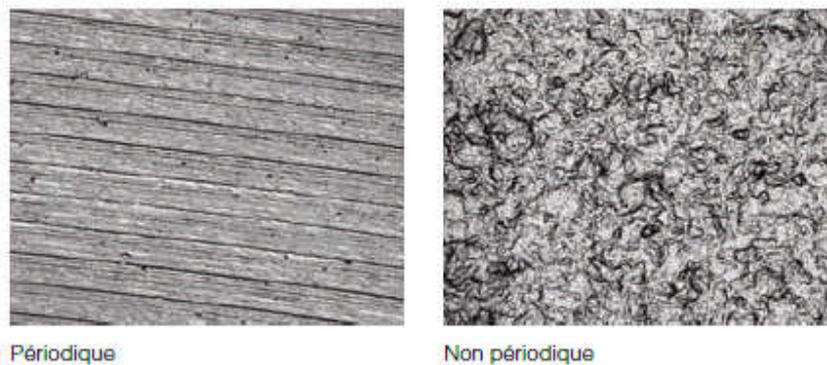


Figure.46 : Exemple de type de surface à mesurer.

c. ÉTAPE3-1 : Si la longueur de base est indiquée sur la représentation graphique

Si la longueur de base est indiquée sur la représentation graphique ou dans la notice technique du produit, définir la longueur de base indiquée en tant que longueur d'onde de coupure λ_c .

a- ÉTAPE3-2 : Si le profil de rugosité est périodique

- Pour les surfaces cibles présentant un profil de rugosité périodique, estimer le paramètre RSm à partir du profil primaire mesuré.
- Déterminer la longueur de base (longueur d'onde de coupure λ_c) correspondant au paramètre RSm estimé, à partir du **Tableau 1**.

Tableau 10 : Longueurs de base pour la mesure des paramètres de profils de rugosité périodiques et pour la mesure du paramètre Rsm de profils périodiques/non périodiques

RSm(mm)	Longueur de base du profil de rugosité (mm)	Longueur d'évaluation du profil de rugosité (mm)
0.013 < RSm ≤ 0.04	0.08	0.4
0.04 < RSm ≤ 0.13	0.25	1.25
0.13 < RSm ≤ 0.4	0.8	4
0.4 < RSm ≤ 1.3	2.5	12.5
1.3 < RSm ≤ 4	8	40

- Utiliser la longueur de base déterminée pour mesurer la valeur RSm.
- Utiliser la longueur d'onde de coupure déterminée si la valeur RSm mesurée se trouve dans la plage RSm estimée à partir du Tableau 1. Si le résultat de mesure se trouve hors de la plage Rsm estimée, définir en tant que longueur d'onde de coupure la longueur de base de la plage Rsm correspondante.
- Utiliser la longueur de base déterminée en suivant les étapes précédentes pour mesurer les paramètres requis.

b- ÉTAPE3-3 : Si le profil de rugosité n'est pas périodique

- Pour les surfaces cibles présentant un profil de rugosité non périodique, estimer le paramètre inconnu Ra, Rz ou RSm à partir du profil primaire mesuré.
- Déterminer la longueur de base (longueur d'onde de coupure λ_c) correspondant au paramètre inconnu Ra, Rz ou RSm estimé, à partir des **Tableaux 1 à 3**.

Tableau 11 : Longueurs de base pour les paramètres de rugosité Ra, Rq, Rsk, Rku et RΔq de profils non périodiques, courbe de charge BAC, fonction de densité d'amplitude ADF

Ra (μm)	Longueur de base du profil de rugosité (mm)	Longueur d'évaluation du profil de rugosité (mm)
$(0.006) < Ra \leq 0.02$	0.08	0.4
$0.02 < Ra \leq 0.1$	0.25	1.25
$0.1 < Ra \leq 2$	0.8	4
$2 < Ra \leq 10$	2.5	12.5
$10 < Ra \leq 80$	8	40

Tableau 12 : Longueurs de base pour les paramètres de rugosité Rz, Rv, Rc et Rt de profils non périodiques.

Rz (μm)	Longueur de base du profil de rugosité (mm)	Longueur d'évaluation du profil de rugosité (mm)
$(0.025) < Rz \leq 0.1$	0.08	0.4
$0.1 < Rz \leq 0.5$	0.25	1.25
$0.5 < Rz \leq 10$	0.8	4
$10 < Rz \leq 50$	2.5	12.5
$50 < Rz \leq 200$	8	40

- Utiliser la longueur de base déterminée pour mesurer les valeurs des paramètres de rugosité.
- Utiliser la longueur d'onde de coupe déterminée si le résultat de mesure se trouve dans la plage Ra ou Rz estimée à partir des Tableaux 1 à 3. Si le résultat de mesure se trouve hors de la plage Ra ou Rz estimée, définir en tant que longueur d'onde de coupe la longueur de base de la plage correspondant au résultat de mesure pour Ra ou Rz.
- Utiliser la longueur de base déterminée en suivant les étapes précédentes pour mesurer les paramètres requis.

c- ÉTAPE4 : Utiliser les résultats de mesure pour évaluer si les paramètres respectent les limites de spécification.

Réitérer l'examen visuel de l'étape 2 pour déterminer si l'état de surface de la cible est uniforme (périodique) ou irrégulier (non périodique).

- *Cas.1 l'état de surface de la cible est uniforme.*

Comparer les valeurs mesurées sur la totalité de la surface de la cible aux valeurs requises, indiquées sur la représentation graphique ou dans la notice technique du produit. Puis, évaluer si les paramètres se trouvent dans les plages admissibles en fonction de la règle des 16% ou de la règle de la valeur maximale.

- *Cas.2 l'état de surface de la cible est irrégulier.*

Comparer les valeurs mesurées en divers points de la surface de la cible aux valeurs requises, indiquées sur la représentation graphique ou dans la notice technique du produit. Puis, évaluer si les paramètres se trouvent dans les plages admissibles en fonction de la règle des 16% ou de la règle de la valeur maximale.

Règle des 16%

Si les valeurs requises sont spécifiées par la limite supérieure du paramètre : Mesurer l'emplacement offrant le nombre maximal de valeurs de paramètres de hauteur (R_a , R_z) d'après l'examen visuel.

La surface est considérée comme acceptable si au maximum 16% de toutes les valeurs mesurées, sur une longueur de base définie à partir du profil de rugosité total, dépassent les valeurs requises.

Si les valeurs requises sont spécifiées par la limite inférieure du paramètre : La surface est considérée comme acceptable si au maximum 16% de toutes les valeurs mesurées, sur une longueur de base définie à partir du profil de rugosité total, sont inférieures aux valeurs requises.

En détail :

- La première valeur mesurée ne dépasse pas 70% de la valeur requise (indiquée sur la représentation graphique).
- Les 3 premières valeurs mesurées ne dépassent pas la valeur requise (indiquée sur la représentation graphique).
- Parmi les 6 premières valeurs mesurées, une seule dépasse la valeur requise (indiquée sur la représentation graphique).

- Parmi les 12 premières valeurs mesurées, pas plus de 2 dépassent la valeur requise (indiquée sur la représentation graphique).

Règle de la valeur maximale

Si les valeurs requises indiquées sur la représentation graphique ou dans la notice technique du produit sont spécifiées par la valeur maximale du paramètre, la surface est considérée comme acceptable si toutes les valeurs mesurées sur l'ensemble de la surface de la cible sont inférieures ou égales aux valeurs requises.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] A. Chevalier, J. Bohan. *Guide du technicien en fabrications mécaniques*. Hachette 1979,79 F 75006 PARIS.
- [2] V. Bawin , C. Delforge. *Manuelle pratique d'atelier de la Construction mécaniques*. Editions George Thone S.A 1978.
- [3] J. Chaves-Jacob. *Développement d'une méthodologie de réduction des défauts géométriques*. Thèse de doctorat. N° 2009 ENAM0026
- [4] S. Tichadou. *Modélisation et quantification tridimensionnelle des écarts de fabrication*. Thèse de doctorat .Nantes 2007. N° ED 0367-184.
- [5] J. F. Debognie. *Complément de fabrication mécanique F.A.O*. Edition 2013 entièrement refondue. (LMECA 2456).
- [6] V. Wolff, A. Lefebvre. *Vers l'évaluation des dispersions d'usinage en tournage pour la caractérisation d'une MOCN*. Submitted Des 2008. <https://hal.archive-ouvertes.fr/hal-00344394>
- [7] F. Ennebelle. *Détermination des incertitudes de mesure sur machines à mesurer tridimensionnelle*. Thèse de doctorat. N°2007ENAM0035.
- [8] P. Bourdet. *Chaine de cotes unidirectionnelle (modèle et mode opératoire)*. École normale supérieur de Cachan. 94235.