

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR - ANNABA
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté des Sciences de L'ingénierat
Département de Génie Mécanique
Domaine : Science et technique
Filière : Génie mécanique
Spécialité : Fabrication mécanique et Productique

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème :

Dispersion dimensionnelle et suivi de l'usinage d'un appui de ressort d'un essieu ferroviaire

Présenté par : *TOUATI Linda*

Encadrant : *Dr. MOKAS Nacer*

Grade

Université Badji Mokhtar ANNABA

Jury de Soutenance :

AMIRAT Abdélaziz	Professeur	Université Badji Mokhtar Annaba	Président
MOKAS Nacer	MCA	Université Badji Mokhtar Annaba	Encadrant
ZGHIB Nsser	Professeur	Université Badji Mokhtar Annaba	Examineur

Année Universitaire : 2019/2020

Remerciements

Au terme des deux années d'études en Master, au sein de la faculté de Technologie, achevées par la soutenance de ce mémoire. Je tiens tout d'abord à remercier **Dieu** pour m'avoir donné la possibilité de mener de front ces travaux de recherche et de m'avoir donné la volonté et l'obstination pour terminer ce travail.

Je remercie vivement mon encadreur Mr **N.Mokas** d'avoir accepté de diriger ce travail, et ses précieux conseils durant toute la période de l'élaboration de ce mémoire.

Un remerciement spécial à Mr **Khalef Toufik** chef département de B3 de l'entreprise Ferroviaire qui m'a orienté, encouragé et supervisé mon travail, et qui m'a aidé beaucoup au niveau de l'atelier, ainsi que pour son entière disponibilité.

J'adresse mes profonds remerciements à :

Aux membres du jury d'avoir accepté de juger mon travail

Je tiens à remercier tous les enseignants qui nous ont accompagnés depuis le début de ce parcours, nous leur reconnaissons les efforts qu'ils ont fournis.

Que toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail trouve ici ma gratitude.

Enfin je ne peux qu'être reconnaissant envers ma famille pour m'avoir laissé consacrer du temps et de longues soirées à la rédaction de ce mémoire.

Touati Lynda

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à qui sont les plus chers, ma
mère et mon père.*

A mon beau jeune-frère Chouaib qui m'a aidé beaucoup.

A mes très chères sœurs, Feriel, Sara et Manel.

A mon cher Ami Maiza Walid.

*A mes Amis Tobba Rabab, Amara Imene et Amel Kermiche. Et toute la
promo M2.*

*A vous tous je dédie ce modeste travail accompagné de mon amour, ma
fidélité et surtout de ma gratitude.*

Lynda Septembre 2020

Résumé

Ce travail de mémoire de master II en fabrication mécanique traite un sujet très important pour le bon de roulement des programmes de fabrication : le tolérancement dimensionnel, essentiel pour la géométrie d'une pièce mécanique assurant sa meilleure fonctionnalité dans un assemblage avec une précision optimale.

En effet la conception des éléments mécaniques a des exigences liées à leur fonctionnement réel. L'impossibilité de fabriquer des pièces de géométrie parfaite est due essentiellement à l'imprécision inévitable des procédés de fabrication. Cet état de fait contraint à la mise en place d'une méthodologie de dimensionnement et de tolérancement qui permet de tolérer les constituants du produit en laissant une grande marge de manœuvre aux fonctions liées à la détermination des intervalles de tolérance issus d'un bureau d'études et les moyens de production. Actuellement, ce compromis est arbitré par le tolérancement.

- ✓ Dans le premier chapitre **recherche et analyse bibliographique** : nous avons pu prendre connaissance des mécanismes mis en œuvre et des méthodes utilisées par les bureaux d'étude pour coter un produit ensuite nous avons pris connaissance des causes direct et indirecte perturbant la réalisation parfaite d'une pièce mécanique.
- ✓ Le deuxième chapitre **préparation et réalisation des expériences** : a été consacré à la mise en pratique des connaissances acquises par l'état d'art et exciter des travaux pratique pour mieux comprendre le phénomène de dispersion dimensionnelle en construction mécaniques. Nous avons pris le cas de la fabrication d'appui de ressort comme exemple.
- ✓ Le troisième chapitre **traitement et analyse des résultats** : traite les calculs statistiques qui vont nous permettre de valider les résultats trouvés suite au plan de travail adopté.

Mots clés : tolérance dimensionnel, processus de fabrication, cotation fonctionnel, isostatisme.

Sommaire

Remerciement

Dédicace

Résumé

Chapitre I :

Etude et analyse bibliographique

I.1 Introduction générale	12
I.2 Les tolérances	13
I.2.1 Introduction	13
I.2.2 Définition	14
I.2.3 Les type de tolérances	14
✓ Tolérances dimensionnelles	14
✓ Tolérances géométrique	15
✓ Tolérances statistique	18
I.3Tolérances et état de surfaces	21
I.3.1 Etat de surfaces	21
I.3.2 Tolérances et ajustement	23
I.4 Les différentes approches préconisées pour l’analyse des tolérances	24
I.5 Les problèmes de tolérancement de la conception à la fabrication	25
I.6 Chaines des cotes	27
I.7 Classification de chaines des cotes	28
I.7.1 Généralité	28
I.6.2 Définition de côtes de fabrication	28
✓ Les cotes machine U_m	28
✓ Les cotes d’appareillage U_a	29
✓ Les cotes d’outil U_o	29
	30
	30
	31

I.8 Transfert des cotes dimensionnelles	
I.8.1 Principe de transfert des cotes dimensionnelles.....	
I.9 Défaut de mise en place d'une pièce	
I.10 Erreur de positionnement	
I.11 Simulation de l'usinage	
I.12 Le rôle de la cotation de fabrication et la simulation de l'usinage	
I.13 Les dispersion dimensionnelle.....	
I.13.1 Introduction	
I.13 Iso statisme	
I.13.1 Définition	
I.13.2 Le bute	
I.13.3 Mouvement possible	
I.14 Le dispersion dimensionnelle	
I.14.1 Introduction	
I.15 Dispersion de fabrication	
I.15.1 Les causes de dispersions.....	
I.16 Dispersion aléatoire.....	
I.16.1 Dispersion aléatoire de la surface usinée	
I.17 Défaut géométrique de la machine (Dg).....	
I.17.1 Dispersion du défaut de forme (Df).....	
I.18 Dispersion aléatoire de la mise en position	
I.19 Dispersion cinématique	41
I.20 Dispersion systématique	41
I.21 Dispersion thermique	41

I.22	Dispersion liées aux ajustement entre les surfaces
I.23	La métrologie
I.32.1	Introduction
I.23.2	Les instrument de mesure mécanique
	Conclusion

Chapitre II

Préparation de l'étude et contrôle

II.1	introduction
II.2	Structure mécanique des trains
II.2.1	La locomotive (ou caisse).....
II.2.2	Le bogie
	✓ Type de bogie
	✓ Elément de bogie
II.3	La gamme d'usinage de l'appui de ressort de la boîte d'essieu.....
II.4	Mesure et contrôle
II.4.1	Les instruments de mesures et contrôle utilisée pour l'appui de ressort
	✓ Le trusquin
	✓ Le tampon lisse double
	✓ Jauge plate double
II.5	Les résultat de contrôle
	Conclusion.....

Chapitre III

Traitement et analyse des résultats

III.1 Introduction	72
III.2 Définition	72
III.3 Quantitatif	72
III.4 Séries statistiques à une variable	73
III.4.1 Terminologie	73
III .4.2 Diagramme	74
III.5 Caractéristiques numériques d'une série quantitative	75
III.5.1 Caractéristique de position	75
III.6 Caractéristique de dispersion	77
III.7 Vérification que la condition de fabrication des pièces non rebutés est satisfaite	78
III.8 rocomondation et	78
III.8.1 Usure d'outil de coupe.....	79
✓ Usure réelle	79
✓ Forme d'usure d'outil de coupe et leurs solutions qui j'ai proposé	80
III.8.2 Les charges de coupe.....	80
III.8.3 La vibration.....	82
✓ La solution de vibration qui j'ai proposé	82
Conclusion	83
Conclusion général.....	84

Liste de figure

Figure 1 : Le cycle se shewhart relait les trois étapes du processus de contrôle de la qualité...	20
	21
	22
	26

Figure 2 : Illustration de l'approche PCI.....	49
Figure3 : Illustration de l'approche DFZ.....	50
Figure 4 : Pièce construite en 2D et graphe associé.....	51
Figure 5 : Les problèmes de tolérancement en conception et fabrication.....	51
Figure 6 : La cote machine	52
Figure 7 : La cote appareillage	53
Figure 8 : La cote outil.....	63
Figure 9 : Simulation de l'usinage.....	63
Figure 10 : Iso Statisme	63
Figure 11 : Symbolisation d'iso statisme	64
Figure 12 : Représentation d'un exemple de dispersion dimensionnelle	65
Figure 13 : Principe des zones de dispersion	65
Figure 14 : Dispersion aléatoire de prise	66
Figure 15 : Illustration d'un exemple de dispersion géométrique	66
Figure 16 : Dispersion aléatoire de mise en position	67
Figure 17 : Exemple de dispersion cinématique	80
Figure 18 : Tracé point de stabilisation	80
Figure 19 : Point de stabilisation	83
Figure 20 : Les degrés de liberté des différents joints	
Figure 21 : Les class d'instrument de mesure	15
Figure 22 : Description schématique d'une locomotive	16
Figure 23 : Description schématique d'un bogie	67
Figure 24 : Description schématique d'un bogie moteur	74
Figure 25 : Description schématique d'un bogie porteur	79

Figure 26 : La traverse .....	.....
Figure 27 : Description schématique d'un châssis .....	.....
Figure 28 : Le pivot centrale .....	.....
Figure 29 : La boîte d'essieu.....	.....
Figure 30 : Instrument de mesure et contrôle des appuis de ressort .....	.....
Figure 31 : Le trusquin .....	.....
Figure 32 : Tampon double lisse .....	.....
Figure 33 : Le principe de fonctionnement de tampon double lise .....	.....
Figure 34 : Exemple de contrôle de trou avec le tampon .....	.....
Figure 35 : La jauge Platte double .....	.....
Figure 36 : Exemple de contrôle avec la jauge Platte double.....	.....
Figure 37 : Exemple de contrôle de la distance des nœuds .....	.....
Figure 38 : Evolution de l'usure dans le temps.....	.....
Figure 39 : Usure de l'outil de coupe utilisé pour la fabrication de l'appui de ressort .....	.....
Figure 40 : L'fluence de vibration .....	.....
Figure 41 : Les éléments de contrôle de vibration .....	.....

Liste des tableaux

Tableau 1 : Les tolérances dimensionnelle.....	.....
Tableau 2 : Les différentes tolérances géométrique.....	.....
Tableau 3 : Les résultat de contrôle .....	.....
Tableau 4 : Forme d'une série statistique à caractère discret.....	.....
Tableau 5 : Les résultats de calcul .....	.....

Liste d'abréviations

- ❖ Cp : le rapport entre l'intervalle de tolérance et la dispersion globale

- ❖ T_s : limite de spécification supérieure.
- ❖ T_i : limite de spécification inférieure.
- ❖ σ : l'écart type à partir de la moyenne des étendues d'échantillons.
- ❖ C_{pk} : la valeur minimale obtenue de l'écart respectif entre la moyenne du procédé et chacune des limites T_i et T_s des spécifications, cet écart étant divisé par 3σ
- ❖ C_c : le rapport entre la moyenne et la limite supérieure
- ❖ T_s : limite supérieure de spécification
- ❖ T_i : limite inférieure de spécification
- ❖ μ : la moyenne de la population
- ❖ σ : la variance de la population
- ❖ R_a : La rugosité moyenne arithmétique
- ❖ U_p : Cote machine
- ❖ U_a : Cote appareillage
- ❖ U_o : Cote outil



Chapitre I

Etude et recherche bibliographique

I.1 Introduction générale

Ce projet s'intègre dans un ensemble de projets qui ont été menés conjointement par plusieurs étudiants de la maîtrise et des chercheurs de l'université du Badji Mokhtar Annaba. Le tolérancement est un sujet de première importance pour les entreprises manufacturières. Un tolérancement optimum de pièces et d'assemblages peut contribuer à une réduction des coûts et une amélioration de la qualité. Il permet d'optimiser les assemblages mécaniques complexes tout en prenant en compte les stratégies de fabrication dès la phase de conception du produit. Toute conception mécanique nécessite des cotes fonctionnelles dans le but d'en assurer la réalisation mais plus encore, assurer le bon fonctionnement des composantes lors de l'étape de l'assemblage. Il s'agit des spécifications de parallélisme, de concentricité, de tangence, de jeu, etc., qui traduisent les fonctions technologiques du mécanisme : fonction de guidage, fonction de transmission d'efforts, fonction d'étanchéité, etc.

La principale spécification concerne l'existence d'un jeu positif ou nul entre deux surfaces réelles et destinées à caractériser fonctionnellement l'assemblabilité du mécanisme.

Le problème du tolérancement provient du fait que la zone de tolérance d'une même surface sur une série de pièces donnée est complètement différente (en taille et en position) en fonction du système de référence qu'on utilise pour l'observer.

Dans les systèmes mécaniques complexes, ces constats prennent une grande importance à cause du nombre de cotes fonctionnelles.

Simulation de l'impact des dispersions d'éléments fonctionnels sur une condition fonctionnelle d'un assemblage mécanique. Ces cotes fonctionnelles sont affectées par trois classes de dispersions qui sont liées aux tolérances géométriques, dimensionnelles et aux petits ajustements entre les surfaces en contact. Une bonne maîtrise des cotes fonctionnelles passe nécessairement par la maîtrise de ces trois types de dispersions.

Spécifions la différence entre les types de dispersions. Nous faisons allusion à des tolérances par le terme dispersion.

I.2 Les tolérances

I.2.1 Introduction

Théoriquement l'obtention d'une géométrie parfaite est possible, mais dans la réalité elle est impossible à cause de l'inexactitude des outils de fabrication. La prise en compte de la géométrie des pièces se fait en limitant les variations géométriques.

Le tolérancement est actuellement le moyen mis à la disposition des concepteurs pour exprimer les limites aux variations de la géométrie réelle.

Ce sont les différentes techniques manuelles ou assistées par ordinateur qui permettent de calculer les jeux connaissant les zones de tolérances ou, inversement, connaissant les conditions fonctionnelles d'un mécanisme, de déduire les valeurs optimales pour les tolérances.

Une enquête menée par le LURP A (Laboratoire Universitaire de Recherche en Production Automatisée) montre que parmi les spécifications correctement écrites sur les dessins de définition, 25% d'entre elles étaient géométriquement mal définies et sans interprétation possible par les services de métrologie [1]

Pour éviter les erreurs d'interprétation, ce langage a été normalisé. Les normes de tolérancement constituent un langage de spécifications des états limites des pièces mécaniques réelles. Comme tout langage, il est composé d'une partie syntaxique (les symboles et leurs règles d'écriture associées), et d'une partie sémantique (les procédures de vérification enclenchées par chaque expression syntaxique bien formée). Ce langage permet essentiellement de :

- ✓ Désigner les éléments tolérancés
- ✓ Définir les zones de tolérances.
- ✓ Définir la position de ces zones de tolérances sur la pièce réelle.

Il existe principalement trois types de tolérancement :

- ✓ Dimensionnel.
- ✓ géométrique.
- ✓ Statistique.

I.2.2 définition

Le tolérancement est un langage normalisé. Comme tout langage, il représente un moyen de communication entre les différents métiers participant aux phases d'élaboration d'un produit : conception, fabrication et contrôle. Les pièces qui constituent les systèmes mécaniques sont fabriquées et ne sont donc pas de géométrie parfaite. Le but du tolérancement est de fixer les limites des défauts sur ces pièces de façon univoque et compréhensible pour chacun des acteurs intervenant dans le cycle d'élaboration du produit [2]

I.2.3 Les type de tolérances

➤ **Les tolérances dimensionnelles.**

Il existe trois types de tolérances dimensionnelles :

✓ linéaire

Une tolérance linéaire limite uniquement des dimensions locales. En conséquence les tolérances dimensionnelles linéaires ne seront portées que sur des surfaces ou entre des surfaces possédant des dimensions locales, principalement sur les cylindres et les plans parallèles ayant suffisamment de matière en vis-à-vis

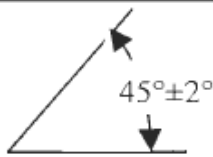
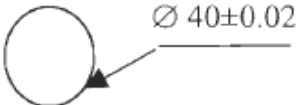
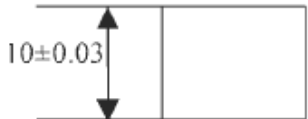
✓ angulaire

Une tolérance angulaire spécifiée en unité de mesure angulaire, limite uniquement l'orientation générale de deux lignes.

✓ Radiale

Une tolérance radiale, comme son nom l'indique spécifie le rayon général ou contrôlé

Tableau.1 : Les tolérances dimensionnelles

Tolérance angulaire	Tolérance radiale	Tolérance linéaire
		

➤ **Tolérances géométriques**
















Une tolérance géométrique désigne et définit d'une manière générale :

- ✓ Des éléments géométriques réels : les éléments tolérancés et les éléments de références.
- ✓ Une référence : simple, commune ou un système de référence. Ce sont des modèles géométriques parfaits construits à partir d'éléments de référence.
- ✓ Une zone de tolérance dont la géométrie parfaite peut être située à l'aide de paramètres géométriques (d'orientation et de position) par rapport à une référence ou un système de référence. La valeur intrinsèque de la zone de tolérance est l'écart tolérancé.

Ces tolérances sont de natures diverses. On trouve des tolérances géométriques de forme, orientation, position et les tolérances de battement.

Le tableau I.3 donne les différentes tolérances géométriques [2]

Tableau.2 : Les différentes tolérances géométriques

Tolérances	Cas général		Cas particulier		Remarques
Forme	Forme d'une ligne quelconque		Rectitude		Cotation de forme intrinsèque : pas de référence associée Cotation absolue
			Circularité		
	Forme d'une surface quelconque		Planéité		
			Cylindricité		
Orientation	Inclinaison		Parallélisme		Cotation de d'orientation, de position ou de battement : cotation extrinsèque, rattachée à une référence ou un système de référence
			Perpendicularité		
Position	Localisation		Concentricité		Cotation relative
			Coaxialité		
			Symétrie		
Battement			Battement simple		
			Battement double		

❖ **Tolérances de forme**

Rectitude d'une ligne ou d'un axe

L'erreur de rectitude est définie par l'écart minimal de deux parallèles encadrant la ligne considérée, la direction des parallèles pouvant varier.

✓ Planéité d'une surface

L'erreur de planéité d'une surface est la plus petite valeur de l'écart de deux plans parallèles encadrant la surface, quand on fait varier l'orientation commune de leur normale.

✓ Circularité

L'erreur de circularité est la valeur minimale de la différence entre les rayons de deux cercles concentriques encadrant la courbe donnée, lorsque l'on fait varier le centre commun des deux cercles.

✓ Cylindricité

L'erreur de cylindricité d'une surface donnée est le minimum de la différence entre les rayons de deux cylindres coaxiaux encadrant la surface donnée, lorsque l'on fait varier la position de l'axe commun des deux cylindres.

❖ **Tolérances d'orientation**

Il s'agit toujours d'orientation par rapport à une référence sur la pièce. Celle-ci est marquée par un drapeau portant une inscription, avec hampe centrale et support triangulaire.

✓ Parallélisme

La tolérance de surface est comprise dans une zone de tolérance définie par deux droites parallèles distants de la valeur de la tolérance et parallèles au plan de référence. La zone de tolérance est contrainte en orientation seulement.

✓ Perpendicularité

La surface doit être comprise entre deux plans Q perpendiculaires au plan de référence et distants de la valeur de la tolérance.

✓ Inclinaison

Le cas général de l'inclinaison :

La tolérance de surface est comprise dans une zone de tolérance définie par deux plans parallèles distants de la valeur de la tolérance. La zone de tolérance est contrainte en orientation seulement.

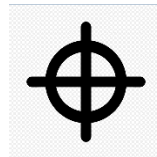
❖ **Tolérances de position**

Tolérances de position proprement dites :

La surface tolérancée doit être comprise entre les deux surfaces qui enveloppent l'ensemble des sphères de (Exemple: $\varnothing 0,04$) centrées sur une surface ayant la forme géométrique théorique exacte (Surface nominale)

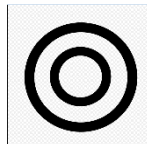
✓ **Tolérances de coaxialité**

Le cas général de la localisation : l'axe du trou doit être situé dans une zone cylindrique axée perpendiculairement à A et positionné par les cotes théoriques encadrées.



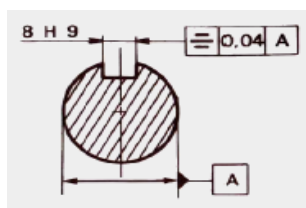
Le cas particulier de la coaxialité/concentricité :

L'axe du cylindre dont la cote est reliée au cadre de tolérance doit être compris dans une zone cylindrique de diamètre égale à l'IT coaxiale de l'axe de référence. [5]



✓ **Tolérances de symétrie**

Le plan médian de la rainure doit être compris entre 2 plans parallèles distants de 0.04 mm et disposés symétriquement par rapport au plan médian.



❖ Tolérances de battement

Le cas général du battement simple



✓ Battement simple axial

La zone de tolérance est limitée, pour chaque position radiale, par deux circonférences distantes de t situées sur le cylindre de mesurage dont l'axe coïncide avec l'axe de référence.

✓ Battement simple radial

La zone de tolérance est limitée dans chaque plan de mesurage perpendiculaire à l'axe par deux cercles concentriques distants de t dont le centre coïncide avec l'axe de référence.

✓ Battement simple oblique

La zone de tolérance est limitée sur chaque cône de mesurage par deux circonférences distantes de t . Chaque cône de mesurage a ses génératrices dans la direction spécifiée et son axe coïncide avec l'axe de référence.

✓ Battement total

Le battement total radial ne doit pas dépasser xx en chaque point de la surface spécifiée durant plusieurs révolutions autour de l'axe de référence [4]

➤ **Les tolérances statistiques (ST)**

L'un des pionniers de l'utilisation des méthodes statistiques dans l'industrie fut A. Shewhart en 1930. Il décrit trois étapes dans le processus de contrôle de la qualité qui sont définies comme suit :

- ✓ La spécification désirée.
- ✓ La production des articles qui doivent respecter les spécifications.
- ✓ L'inspection pour déterminer les articles qui ne respecteront pas les spécifications.

A. Shewhart précise que ces trois étapes sont indépendantes et forment un cycle représenté à la figure 1.

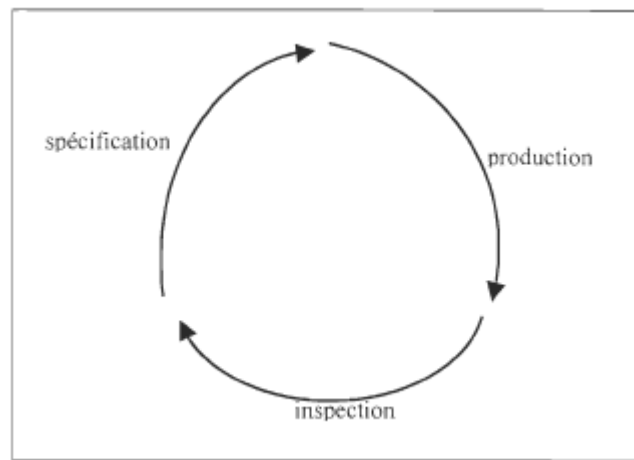


Figure 1 : Le cycle de Shewhart reliant les trois étapes du processus de contrôle de la qualité

Le tolérancement statistique spécifie la population des pièces acceptables et celle des pièces qui ne le sont pas. Dans le tolérancement statistique, nous avons besoin d'une population de pièces pour décider si la population entière est acceptable ou pas. C'est un fait subtil mais important à considérer si on utilise le tolérancement statistique.

Trois principales raisons poussent les industries à utiliser le tolérancement statistique :

- ✓ La première est reliée aux coûts. Le tolérancement statistique se base principalement sur les données statistiques pour prévoir les nombres de rejets tout en minimisant les coûts de production et en acceptant une légère détérioration dans la qualité des pièces.
- ✓ La deuxième est plutôt reliée aux choix des différentes entreprises d'adopter le tolérancement statistique ou non. Mais certaines industries n'ont pas le choix que d'adopter le tolérancement statistique. Tel est en effet le cas dans l'industrie électronique, où la cadence de la miniaturisation dépasse de loin la cadence de l'amélioration des capacités de processus de fabrication.
- ✓ La troisième raison est reliée au succès des méthodes statistiques dans la production et l'inspection.

Le symbole du tolérancement statistique est : < ST >

Dans le système ISO deux approches sont utilisées pour spécifier le tolérancement statistique sur les pièces :

➤ Le premier est PCI (Process Capability Indices) comme son nom l'indique, elle est basée sur les indices de capacités. Ces indices sont :

• Cp: le rapport entre l' intervalle de tolérance et la dispersion globale

➤ $C_p = \frac{T_s - T_i}{6\sigma}$ (1)

• Cpk : la valeur minimale obtenue de l'écart respectif entre la moyenne du procédé et chacune des limites Ti et Ts des spécifications, cet écart étant divisé par 3σ

➤ $C_{pk} = \min \left[\frac{T_s - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - T_i}{3\sigma} \right] = \frac{T_s - T_i - |T_s + T_i - \mu|}{3\sigma}$ (2)

Ces indices permettent de déterminer la population des pièces conformes.

Prenons un exemple de tolérancement statistique en utilisant l'approche PCI dans la figure 2.

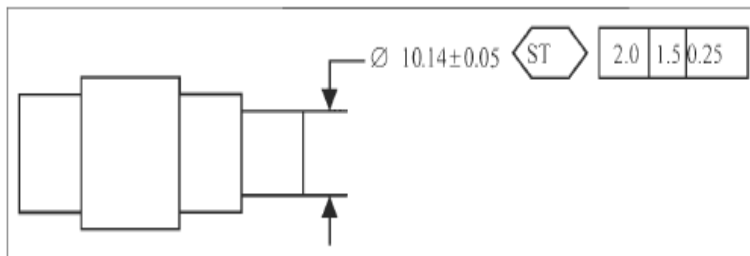


Figure 2 : Illustration de l'approche PCI

Les populations des diamètres acceptables devront avoir $C_p \geq 2.0$, $C_{pk} \geq 1.5$ et $C_c \leq 0.25$ avec $T_s = 10.19$ et $T_j = 10.09$.

➤ Le deuxième est l'approche DFZ (Distribution Function Zones) est basée sur les fonctions de distribution des zones.

Prenons encore l'exemple de la figure I.3 pour illustrer cette approche

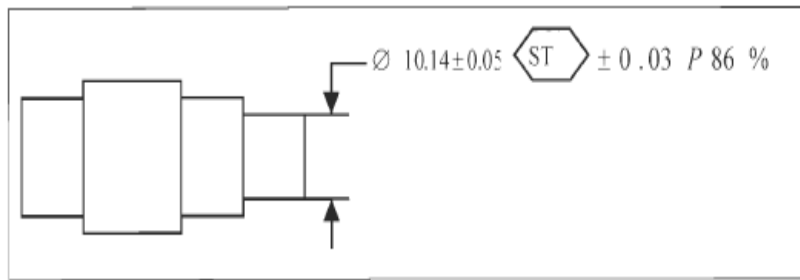


Figure 3 : Illustration de l'approche DFZ

La sémantique spécifie que dans une population de pièces acceptables, on retrouve moins de 86% des diamètres à moins de 10.14 ± 0.03 tout au plus 7% seront à moins de $10.14 - 0.03$ et en plus 7% seront à moins de $10.14 + 0.05$ [1]

I.3 Tolérances et états de surface

I.3.1 États de surface

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.

Fonctions de surface

En Spécification Géométrique des Produits (GPS), on distingue seize fonctions principales que peut remplir la surface d'une pièce mécanique :

Surface de contact avec une autre pièce :

- ✓ frottement de glissement lubrifié (FG).
- ✓ frottement à sec (FS).
- ✓ frottement de roulement (FR).
- ✓ frottement fluide (FF).
- ✓ résistance au matage (RM).
- ✓ étanchéité dynamique avec ou sans joint (ED).
- ✓ étanchéité statique avec ou sans joint (ES).

- ✓ ajustement fixe avec contrainte (AC).
- ✓ adhérence, collage (AD).

Composantes de l'état de surface

- ✓ Micro-rugosité

Il s'agit des composantes de longueurs d'onde les plus courtes provoquées le plus souvent par le bruit électronique de l'appareil de mesure. Mais la micro-rugosité peut être également présente sur la pièce et elle est dans ce cas la signature de l'aspect d'une pièce plus ou moins lisse. Dans la majorité des applications, la micro-rugosité est éliminée par filtrage.

- ✓ Rugosité

On la mesure avec un rugosimètre ou un profilomètre. La rugosité concerne les défauts micro géométriques de la surface. Ils sont évalués après filtrage de la surface réelle à l'aide d'un filtre passe-haut ne retenant que les longueurs d'onde latérales les plus courtes. Les paramètres de rugosité en profilométrie commencent par la lettre majuscule R suivie d'une ou plusieurs lettres déterminant le type de paramètre. Par exemple, le paramètre 'Ra' est la rugosité moyenne arithmétique du profil. 'Rz' est la rugosité maximale du profil. La rugosité d'une pièce usinée est une signature du type d'usinage (tournage, polissage, pierrage, etc.) La cotation des états de surface en mécanique 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

Note :

- Pour de surfaces réalisées à l'outil coupant, $R_t \approx 4R_a$.
- Pour des surfaces réalisées par copeau gratté (rectification), $R_t \approx 9R_a$.

D'autre part, il faut bien se rendre compte que la rugosité constitue une erreur systématique sur la cote : la cote réglée à l'outil est celle de sa pointe, soit à fond de rugosité, tandis que la cote mesurée est la cote aux sommets des rugosités.

Entre les deux, il y a une différence égale à R_t pour chaque surface palpée, ce qui fait par exemple $2R_t$ sur le diamètre d'un arbre. Une tolérance serrée nécessite donc toujours une rugosité faible.

✓ Ondulation

Complémentaire à la rugosité, l'ondulation regroupe les composantes de l'état de surface à plus grande longueur d'onde. L'ondulation est obtenue par filtrage passe-bas et est parfois appelée ligne moyenne du profil. Les paramètres d'ondulation commencent par la lettre W. L'ondulation sur une pièce usinée est transférée par un défaut de la machine-outil (vibration, décentrage, etc.). Elle nuit en général aux fonctions de contact sec, de frottement ou d'étanchéité.

✓ Écarts de forme

Les écarts de forme sont les résidus à grande longueur d'onde obtenus après suppression de la forme nominale de la pièce (par exemple un cylindre). Ils correspondent par exemple au défaut de planéité ou de rectitude, au défaut de circularité, etc. En spécification géométrique, on élimine en général ces écarts de forme par filtrage [5]

I.3.2 Tolérances et ajustements

Rappels

Sans nous étendre sur cette question qui relève du cours de conception mécanique, nous ferons ici quelques rappels et remarques.

Dans le domaine des tolérances, on distingue deux types de côtes, les cotes de type arbre et les cotes de type alésage. Les premières ont un intervalle de tolérance noté par une lettre minuscule, par exemple $k5$, tandis que les secondes, on utilise une lettre majuscule, par exemple $H8$. En dehors des cas évidents où il s'agit à proprement parler d'un arbre ou d'un alésage, il arrive que l'on se demande dans quelle catégorie une cote donnée doit être classée. La règle est la suivante :

Définition 1

- ✓ Une cote de type arbre est une cote dont l'augmentation correspond à un supplément de matière. Une cote de type alésage est une cote dont l'augmentation correspond à une diminution de la quantité de matière.

Une autre manière de présenter les choses, tout-à-fait équivalente, est la suivante

Définition 2

- ✓ Une cote de type arbre est une cote qui diminue lors de son usinage. Une cote de type alésage est une cote qui augmente lors de son usinage. Ainsi, la largeur d'une rainure de clavette est une cote de type alésage, tandis que la largeur de la clavette est une cote de type arbre. La profondeur de la rainure est une cote de type alésage.

La zone de tolérance est donnée par l'écart inférieur e_i ou EI et l'écart supérieur e_s ou ES. La différence $ES - EI$ ou $e_s - e_i$ est l'intervalle de tolérance IT ou it. La grandeur de cet intervalle dépend du degré de tolérance, anciennement appelé qualité, noté par un nombre (1; 2; :::; 14), les plus petits degrés de tolérance donnant les intervalles les plus serrés. La position de l'intervalle de tolérance définit le type (a; :::z ou A; :::Z).

La croissance de la lettre définissant le type correspond à un accroissement de la quantité de matière. Un alésage normal est caractérisé par $EI = 0$. C'est le type H. Un arbre normal est tel que $e_s = 0$. C'est le type h. Dans les deux cas, le maximum de matière correspond à la cote nominale. Par rapport à un alésage normal, les arbres de type a à h sont glissants, tandis que les arbres de type k à z sont serrés. A l'inverse, par rapport à un arbre normal, les alésages de type A à H sont glissants et les alésages de type K à Z sont serrés. L'arbre js donne avec un alésage normal un ajustement incertain, et il en est de même du couple formé d'un arbre normal et d'un alésage JS.

I.4 Les différentes approches préconisées pour l'analyse des tolérances

➤ **La géométrie variationnelle**

La géométrie variationnelle est définie comme une méthode de conception qui utilise la théorie des graphes et des techniques numériques de résolution. On décompose le réseau de contraintes en un ensemble d'équations.

Dans cette approche la pièce finale est décomposée en articles. Chaque article est à son tour décomposé en éléments géométriques de base (point, segment, cercle ...)

Les contraintes et les articles de base sont représentés dans un graphe dans lequel les nœuds sont des articles, et les arcs sont des contraintes entre ceux-ci. Une contrainte entre les articles est une propriété (parallélisme, perpendicularité tangence . . .) commune à ces derniers.

La figure montre un exemple de Jung [19] qui représente le graphe d'un assemblage en 2D.

Un cercle C1 de centre P1 et de rayon R1 est tangent à un autre cercle C2 de centre P2 de rayon R2 avec $R2=f(R1)$.

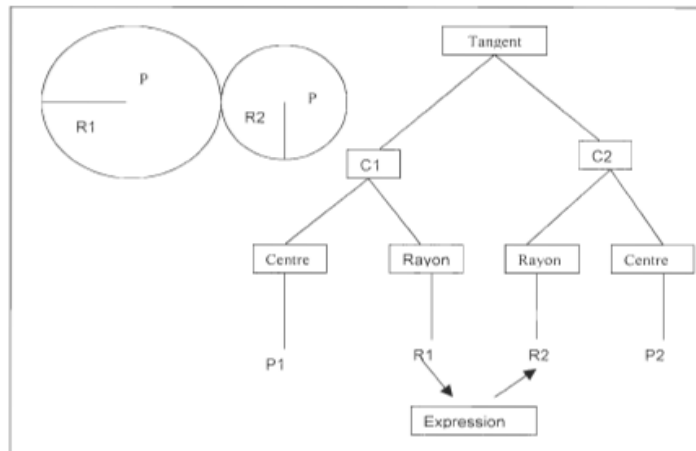


Figure 4 : Pièce construite en 2D et graphe associé

I.5 Les problèmes de tolérancement de la conception à la fabrication

La qualité d'un produit se traduit d'abord par une bonne capacité d'assurer les fonctions établies par le cahier des charges. Dans le département de conception, les concepteurs produit doivent exprimer leur besoin fonctionnel par un dimensionnement et un tolérancement définissant la frontière exacte de l'acceptable. Le département de fabrication propose la meilleure gamme de fabrication et d'assemblage basée sur les données géométriques et technologiques compte tenu de certaines ressources manufacturières. À ce stade, les contraintes géométriques et technologiques (comme finition ou traitements thermo-chimiques de surface) sont considérées, afin d'élaborer une gamme de fabrication adéquate minimisant le temps et le coût. On prend aussi en compte les dispersions de fabrication dans une analyse de tolérances destinée à valider la gamme.

À un autre niveau, le département d'inspection pourrait intervenir à tout moment, mais notamment à certaines étapes critiques, pour vérifier la conformité du produit et le respect des contraintes imposées par le département de conception.

Bénéat [Bénéat 2001] a synthétisé les principaux éléments mettant en évidence une symbiose permanente entre conception et fabrication (Figure I.5). La branche de gauche présente le problème de tolérancement en conception. Une analyse des tolérances à partir des dimensions et des tolérances prévues est réalisée par les concepteurs et consignées dans les dessins de

définition du produit ou par le modèle virtuel CAO. Les équations des jeux ou des serrages fonctionnels critiques sont construites et servent à valider les chaînes de tolérances.

Finalement, il faudra vérifier que la zone de tolérance calculée associée à la surface ou l'entité cible soit incluse dans la zone de tolérance imposée.

La branche de droite correspond au problème de tolérancement en fabrication. Une validation de la gamme est ciblée tenant compte d'un modèle de fabrication aussi réel que possible. Elle a pour but d'évaluer la conformité des pièces dont l'usinage est simulé.

Il utilise une gamme de fabrication définie, des machines-outils dont la cinématique et les erreurs associées sont connues, ainsi que des erreurs de positionnement pièce / gabarit / machine-outil. En même temps, des hypothèses simplificatrices intégrées au modèle permettront d'obtenir des équations définissant l'écart des surfaces réelles simulées par rapport aux surfaces nominales. Finalement, il faudra vérifier que les dispersions de fabrication résultantes s'insèrent dans les spécifications de tolérances imposées pour la spécification cible.

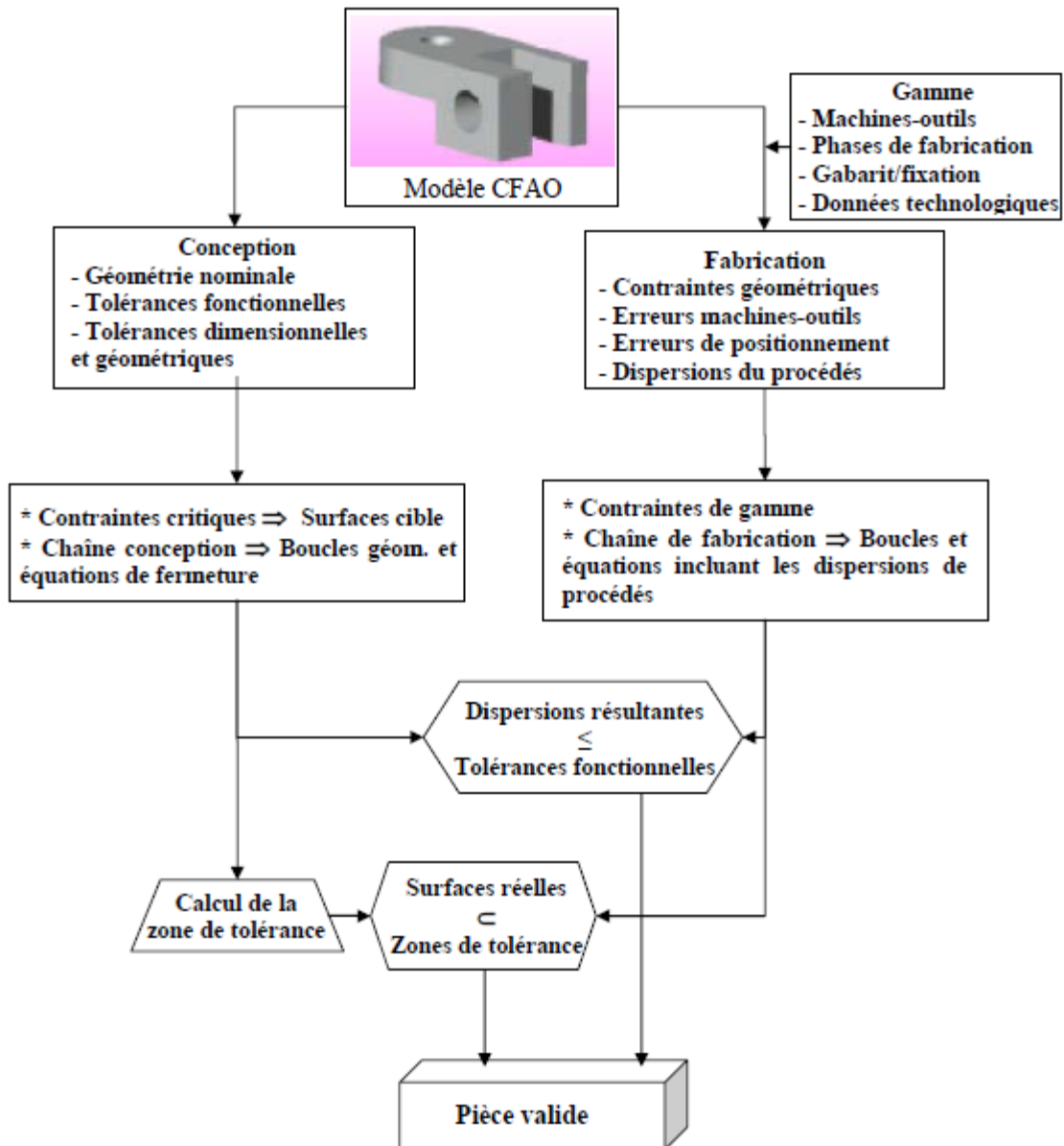


Figure 5 : Les problèmes de tolérancement en conception et fabrication [2]

I.6 Chaînes de cotes

Les chaînes de côtes constituent un outil pratique et efficace pour déterminer diverses conditions de maximum et de minimum [7, 14, 1, 2]. Pour illustrer leur application. Il faut choisir la longueur de la tige et sa longueur filetée f de manière à satisfaire aux conditions suivantes :

- ✓ La longueur sortie y de la tige doit avoir une valeur comprise entre un minimum y_m garantissant que la tige sort bien de l'écrou, de manière à garantir une prise de la vis sur toute l'épaisseur de l'écrou. On spécifiera par exemple $y_m = p$, p étant le pas de la vis.

- ✓ Cette même longueur sortie ne doit pas être excessive, notamment pour des raisons de sécurité. On imposera donc un maximum y_M .
- ✓ Il doit exister une réserve de serrage $x \geq x_m$ de manière à garantir que les pièces seront serrées avant que l'écrou ne soit engagé à refus dans le filet de la vis. Ici encore, une valeur raisonnable est le $x_m = p$ si les pièces assemblées sont suffisamment rigides.

Il va de soi que ces conditions doivent être vérifiées quelles que soient les valeurs réelles de a , b , l et l_f dans leur intervalle respectif de tolérance. C'est précisément ces intervalles qu'il faut déterminer.

Pour résoudre ce problème, on utilise un diagramme vectoriel où l'on commence par dessiner la cote-condition comme un vecteur double, puis on cherche.

I.7 Classification des cotes de fabrication

I.7.1 Généralités

L'établissement d'un processus d'usinage impose la détermination de toutes les cotes effectivement réalisées sur la pièce, même s'il ne s'agit que d'étapes provisoires. C'est ce que l'on appelle les cotes de fabrication. Elles sont toujours tolérancées.

Pour une prise de pièce donnée, il y a toujours au moins une cote de fabrication qui a pour origine la surface d'appui de la pièce sur la machine. Cette remarque est importante, car l'examen des sources d'incertitudes montre que la dispersion aléatoire $_a$ est souvent grande.

Nous noterons dans la suite U les cotes de fabrication.

I.7.2 Les cote de machine ou cotes primaires U_p

Ce sont les cotes pour lesquelles l'outil est réglé par rapport aux éléments de mise en position de la pièce fig I.6 Interviennent ici les dispersions et incertitudes.

détermination des cotes machines

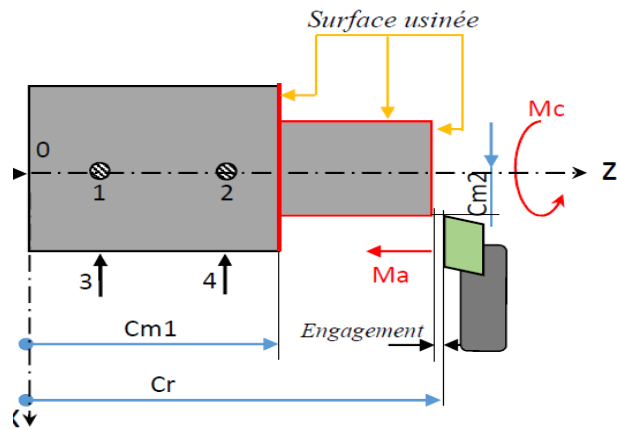


Figure 6 : La cote machine

I.7.3 Les cote d'appareillage U_a

Ce sont toujours des cotes relatives entre surfaces, définies par l'appareillage ou la commande de la machine, indépendamment de la mise en position de la pièce. Ainsi, sur fig I.7, la cote U_{a1} ne représente qu'un déplacement de l'outil par rapport à la cote U_{p2} réalisée au préalable. Pour ces cotes, n'interviendront plus que $_r$, $_g$ et $_s$.

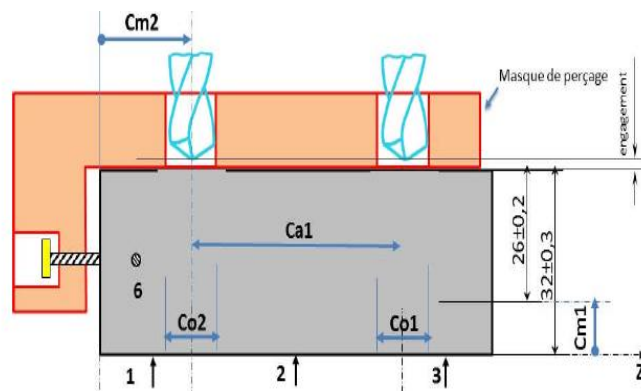


Figure 7 : La cote appareillage

I.7.4 Les cote d'outil U_o

Pour ces cotes, seul $_s$ existe encore. Il s'agit de cotes réalisées à l'aide de deux outils réglés entre eux fig I.8 ou encore de cotes réalisées par la distance des arêtes d'un seul outil, comme dans le cas du creusement d'une rainure de clavette à l'aide d'une fraise à trois tailles, où la

largeur de la rainure ne dépend que de la largeur de la fraise et n'évolue qu'en fonction de l'usure de celle-ci.

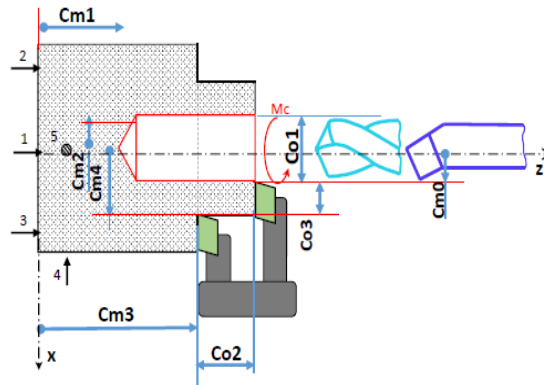


Figure 8 : La cote outil

I.8 Transfert des cotes dimensionnelles

La cotation de fabrication doit traduire la cotation fonctionnelle affichée par le dessin. En fonction des éléments d'appuis et le de mesures, deux cas sont possibles

a) les cotes de fabrication traduisent directement les cotes fonctionnelles .Il y a identité entre elle.

b) les cotes de fabrication ne traduisent pas directement les cotes fonctionnelles .On doit calculer la cote de fabrication qui garantit indirectement l'obtention de la cote fonctionnelle.

En d'autres termes, une cote de fabrication ne correspond pas directement à une cote du dessin de définition .On doit la transférer pour la calculer. Le moyen de calcul s'appelle le transfert de côtes.

C'est un moyen de calcul permettant la détermination des cotes utiles à la fabrication. [8]

I.8.1 Principe de transfert de cote

Généralement, pour qu'un transfert de cote soit possible, on doit respecter les contraintes suivantes :

- ✓ La tolérance de la cote condition est égale à la somme des tolérances des cotes composant.
- ✓ La tolérance des cotes composantes doit être compatible avec le procédé d'usinage envisagé.

- ✓ Il faut que l'intervalle de tolérance soit réalisable pour toute la série avec le procédé choisi, sinon, on change de référentiel ou les intervalles de tolérances des cotes non fonctionnelles. (Sai, 2002).

I.9 Défaut de mise en place d'une pièce

Lorsque la pièce est mise en position, elle ne doit pas pouvoir se déplacer ni sous les actions de contact, ni sous les effets dynamiques ; dans le cas contraire on risque des accidents.


Le non-respect des spécifications de BE.

D'où la nécessité d'assurer le maintien en position, c'est-à-dire son « ablocage ».

L'ablocage consiste à fixer la pièce dans sa position définie par les surfaces de référence d'appui et réaliser la rigidité du calage nécessaire pour assurer l'usage.

Le défaut de mise en place (ϵ_m) apparaît lors de la phase exécutée ; par suite de défaut la surface à usiner occupe différentes positions sur la M_o il en résulte que l'instabilité de mise en face altère la précision. C'est pourquoi elle doit être compensée par une surépaisseur intermédiaire. (H.Hamadache, 1991).

Le défaut de mise en place lors de l'usinage est défini par :



$$\epsilon_m = \epsilon_p + \epsilon_s + \epsilon_a \dots\dots\dots (3)$$

I.10 Erreur de positionnement

Parmi les causes des défauts d'usinage et des écarts de position des éléments géométriques d'une ébauche, signalant celle d'une mise en place (ablocage) défectueuse. C'est pour quoi l'étude des défauts de mise en place s'impose, ainsi que celle de leurs actions sur la précision d'usinages et les principes qu'il faut observer lors de l'ablocage d'une pièce sur une machine. Lors de la mise en place d'une pièce sur une machine il convient de distinguer :

- ✓ les surfaces à usinées soumises à l'action des outils.
- ✓ les surfaces qui permettent d'orienter l'ébauche par rapport à l'outil mise à la cote dans le cas des procédés d'obtention unitaire des côtes.
- ✓ les surfaces soumises à l'action des dispositifs de serrage.
- ✓ les surfaces de référence pour les mesures des cotes à respecter.

I.11 Simulation de l'usinage

Un avant projet d'usinage (gamme d'usinage, iso statisme par sous phase) étant défini, pour établir le dessin de définition de la pièce brute et les contrats de phase, il faut prévoir le comportement de chaque pièce sur chaque machine.

Cela s'appelle une simulation de l'usinage. C'est l'étude de l'effet des dispersions aléatoires et systématique sur la pièce finie.

Les valeurs des dispersions calculées permettant de savoir si la gamme d'usinage est réalisable et d'orienter le choix de la machine en fonction de la précision demandée.

La mise en position de la pièce est obtenue par mise en contact de la surface 1 figure 1.5 sur la butée de broche. La surface 2 est obtenue par arrêt du trainard sur une butée avant dressage.

Sur la série, les surfaces 1,2 et 3 ne prennent jamais la même position par rapport au bâti les écarts sont dus à la dispersion des butées, l'usure des outils et à la différence

De réglage des outils. Les surfaces vont se situer dans une plage de largeur Δl figure.

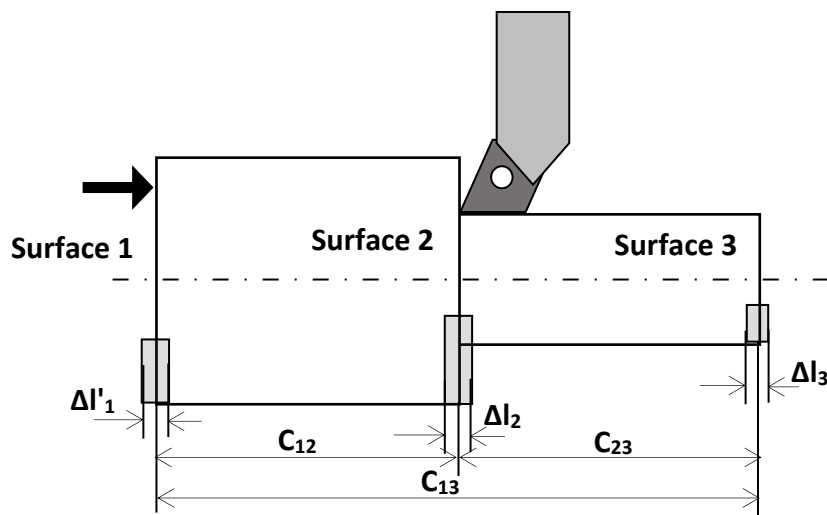


Figure 9 : Simulation de l'usinage.

Dans la suite on notera par Δl_i la dispersion d'usinage d'une surface i et Δl_i a dispersion de prise sur la surface i dans la sous phase j (les sous phases seront repérés par des numéros).

Pour l'exemple de figure 1.5, si les surfaces 2 et 3 sont usinées en utilisation le même référentiel de mise en position (même sous phase).

- $It(C_{12}) = \Delta l'_1 + \Delta l_2$

- $It(C_{13}) = \Delta l_1^1 + \Delta l_3$
- $It(C_{23}) = \Delta l_2 + \Delta l_3$

Dans ce cas, la cote C_{23} est dite fabriquée.

Par définition, une cote fabrication est définie entre deux surfaces liées une même sous phase ou l'une est usinée en changeant le référentiel de mise en position (sous phase 1 et sous phase 2) :

- $It(C_{12}) = \Delta l_1^1 + \Delta l_2$
- $It(C_{13}) = \Delta l_1^2 + \Delta l_3$
- $It(C_{23}) = \Delta l_1^1 + \Delta l_2 + \Delta l_1^2 + \Delta l_3$

Dans ce cas, la cote C_{23} n'est pas fabriquée.

Ces dernières égalités sont des favorables. Sinon, l'intervalle de tolérance de la cote doit être inférieur à la somme des dispersions.

I.12 Le rôle de la cotation de fabrication et de la simulation d'usinage

Le respect des tolérances dans les travaux sur la génération automatique des gammes d'usinage est souvent une action postérieure au choix et à l'ordonnancement des phases de fabrication. La simulation géométrique d'usinage permet de prendre en compte le cumul des défauts géométriques de fabrication, cette démarche n'est pas encore intégrée dans les systèmes de génération de gamme. Les raisons de cette absence résident sur les difficultés de représenter, formaliser, combiner et quantifier les défauts géométriques de fabrication. La cotation de fabrication détermine les spécifications dimensionnelles et géométriques de la pièce dans tous ses états intermédiaires de telle sorte que soit respecté l'ensemble des exigences fonctionnelles du produit, des exigences manufacturières du processus et des exigences économiques de production. [6]

I.13 Iso statisme

I.13.1 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.

I.13.2 Le But

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

I.13.3 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.

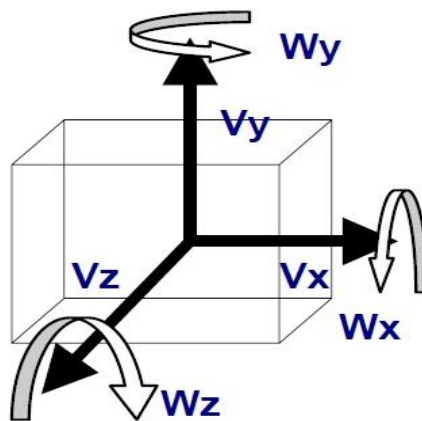


Figure 10 : les degrés de liberté

✓ 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. [4]



Figure 11 : Les symbolisations d'iso statistisme

I.14 Les dispersions dimensionnelles

I.14.1 Introduction

Les dimensions finales des pièces usinées sur machines-outils doivent répondre aux critères de conformité exigés par la conception. D'un côté l'évolution technologique de la conception

nécessite de plus en plus des tolérances assez sévères pour des raisons de montage et de rôle des pièces durant leurs cycles de vies. De l'autre côté, la modernisation des machines-outils, pour répondre aux exigences du produit fini, reste insuffisante. Pour ces raisons, de multiples recherches sont menées pour étudier les erreurs affectant la précision d'usinage ainsi que les méthodes d'élimination de leurs effets. La précision des pièces fabriquées sur machines-outils se trouve affectée par une variété d'erreurs que l'on peut classer grossièrement comme suit :

- ✓ dispersion géométriques : causées par les défauts de la structure et des composants de la machine-outil.
- ✓ dispersion cinématiques : causées par l'imprécision du mouvement relatif des composants de la machine.
- ✓ dispersion causée par la dilatation thermique des composants de la machine ;
- ✓ dispersion causée par l'effort de coupe.
- ✓ dispersion résultant de l'usure de l'outil de coupe.
- ❖ autres erreurs causées par :
 - ✓ la rotation de la broche et la variation de l'effort de coupe (dynamique).
 - ✓ la fixation de la pièce.
 - ✓ le fléchissement par force d'inertie des composants de la machine.
 - ✓ l'algorithme d'interpolation.
 - ✓ l'encodeur de position.

Les erreurs géométriques, cinématiques et thermiques constituent les erreurs quasi-statiques associées au comportement à basse vitesse et varient peu à court terme. D'autres erreurs affectant la qualité de la surface sont les erreurs dynamiques qui sont causées principalement par la variation avec le temps de l'effort de coupe et le comportement dynamique de la machine-outil. Ces erreurs se combinent pour constituer une erreur résultante affectant directement la précision dimensionnelle de la pièce. Impliquer toutes ces erreurs répertoriées dans un modèle pour améliorer la précision est une procédure complexe. Les principales erreurs étudiées dans la littérature sont : les erreurs géométrique, cinématique, thermique, et celles causées par l'effort de coupe.

Généralités

La méthode de dispersion dite « méthode de Δl » a été mise au point par le professeur P. Bourdet en 1973. Avant de détailler cette méthode, nous allons définir les dispersions de fabrication.

Les dispersions dites « dimensionnelles » sont les dispersions locales, qui se traduisent par la mesure de la distance réelle, soit entre deux points réels, soit par la mesure angulaire entre deux droites identifiées. (ISO 2692).

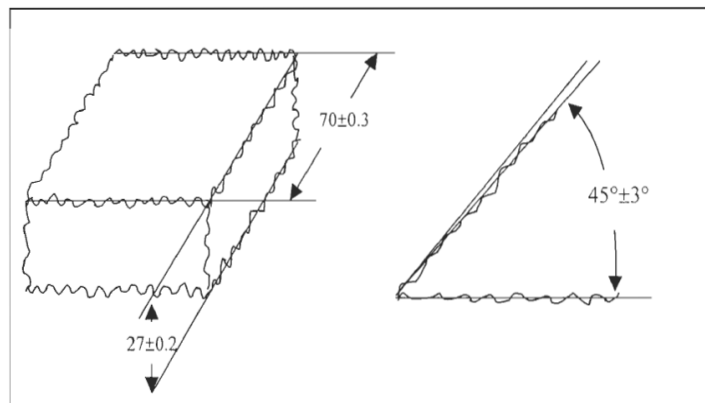


Figure 12 : Représentation d'un exemple de dispersion dimensionnelle

Dans les deux cas on limite les dispersions par l'indication d'une valeur limite maximum et minimum.

I.15 Dispersion de fabrication

En travail en série, lorsque l'on usine une longueur L dans mêmes conditions de fabrication (fabrication stabilisée) et pour un même réglage, on constate une variation dimensionnelle des pièces successivement usinées.

On appelle donc dispersion ; la différence entre la plus grande et la plus petite relevée sur une série de pièces réalisées dans les mêmes conditions de fabrication et le même réglage.

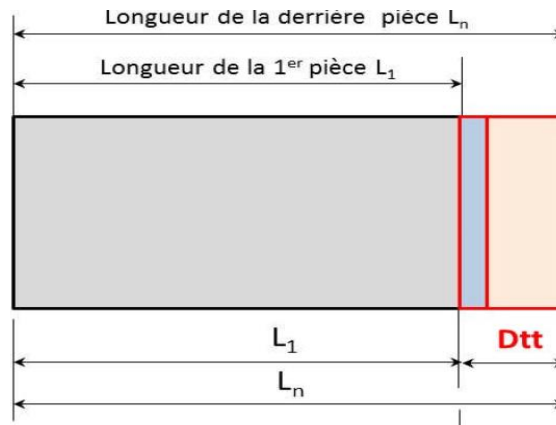


Figure 13 : Principe des zones de dispersion.

I.15.1 Les causes de dispersions

Les dispersions DI sont appelées dispersions totales ou dispersions globales. Elles intègrent les dispersions :

- ✓ Aléatoire.
- ✓ Systématique.
- ✓ Thermique.

I.16 Dispersion aléatoire

Lors de la réalisation de chaque pièce, certains paramètres de l'usinage subissent variations accidentelles plus ou moins importantes.

- **Machine :**

- ✓ rattrapage de jeux.
- ✓ manœuvre des organes (mise en butée).
- ✓ déformations sous l'action

I.16.1 Dispersion aléatoire de la surface usinée

Plusieurs paramètres interviennent dans les dispersions aléatoires de la surface usinée, ils ont été énoncés avant.

On peut représenter les dispersions comme suite :

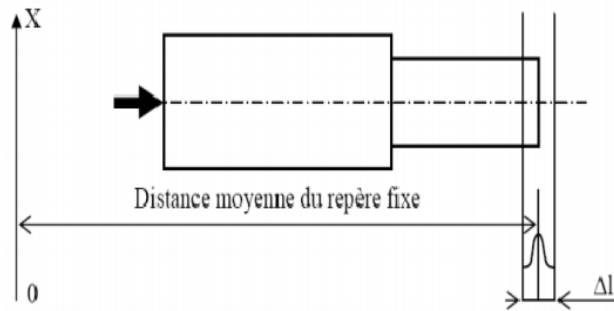


Figure 14 : Dispersion aléatoire de reprise.

I.17 Défaut géométrique de la machine (Dg ou Δg)

Les dispersions géométrique causes par :

- ✓ Les défauts de positionnement des machines.
- ✓ Les défauts de rectitude.
- ✓ D'orientation des déplacements.

Ce type de défaut réduit la tolérance de fabrication de la pièce.

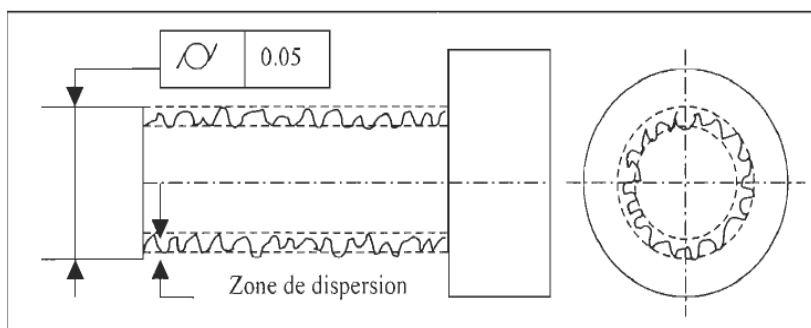


Figure 15 : Illustration d'un exemple de dispersion géométrique.

I.18 Dispersion du défaut de forme (Df ou Δf)

Elles sont dues au mode opératoire de l'obtention de la surface (brute ou usinée, travail de forme ou d'enveloppe).

- **l'outil**

- ✓ état de l'arrête tranchante.
- ✓ effort de coupe.

- **la pièce**

- ✓ conditions de passe.
- ✓ état superficiel du métal à couper.
- ✓ mise en place des surfaces d'appui.
- ✓ déformations de serrage de coupe.

Toutes ces causes de variations se superposent sur une même pièce usinée. Leur somme détermine la valeur particulière de la cote usinée sur la pièce considérée.

Chaque cause prise séparément constitue une variable aléatoire dont la loi de distribution est une loi normale (loi de Gauss). La vérification par l'expérimentation en est très simple.

Conclusion : La dispersion aléatoire est la somme des variables aléatoires dont la distribution suit une loi normale.

I.18 Dispersion aléatoire de mise en position

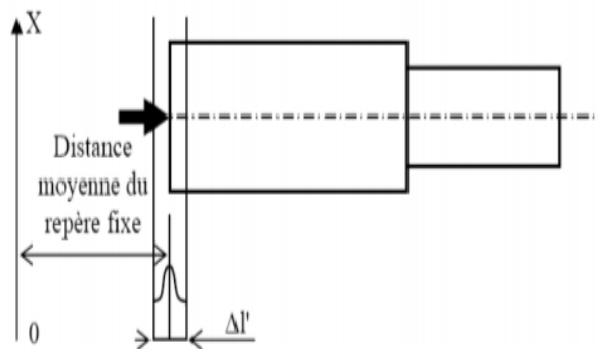


Figure 16 : Dispersion aléatoire de mise en position.

$\Delta l'$ est l'étendue des dispersions aléatoires introduites par la prise de pièce et la machine-outil.

La prise de pièce est dépendante de :

- ✓ Les variations de dimensions des pièces (défauts macro-géométrique).
- ✓ variations des déformations locales des surfaces de contact pièce/porte pièce.

I.19 Les dispersions cinématiques

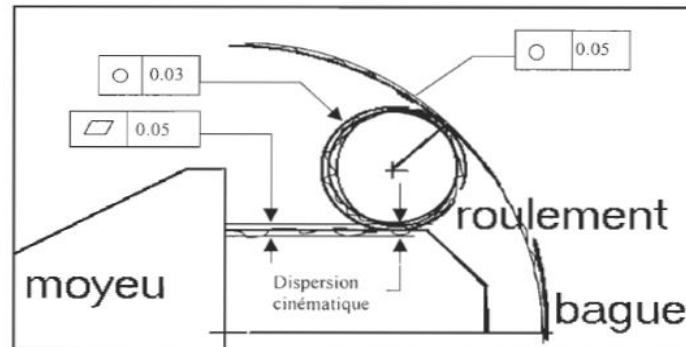


Figure 17 : Exemple de dispersion cinématique.

Sur cette figure nous pouvons constater que la planéité du moyeu, la circularité de la bague et circularité du roulement provoquent des dispersions cinématiques.

I.20 Dispersion systématique

Les dispersions systématiques (environ 10% en globale de dispersion) qui sont dues essentiellement à l'usure de l'outil de coupe (recul de la pointe de l'outil) entre la réalisation de la première pièce et la dernière pièce d'un outil série donnée. Cette dispersion correspond à une durée de vie pratique d'un outil. On estime qu'avant l'usinage, l'arrête de l'outil a subi un rodage et que l'on s'arrête avant une défaillance brutale de l'outil.

I.21 Dispersion thermique

Lorsqu'une machine-outil est utilisée après une période prolongée de repos, les différents organes doivent passer de la température ambiante à une température de stabilisation différente suivant leurs positions respectivement dans la machine

Cette température de stabilisation n'est jamais atteinte au 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.

Les barres nommées « élément de liaison » peuvent out à tour subir des variations de température suivant les transmissions thermiques propres à chaque machine. Suivant le type de construction de la machine, la variation de la cote usinée peut varier d'une valeur négligeable à une valeur de plusieurs dixièmes de millimètres Lorsque cette variation est trop

grande, il convient d'utiliser la machine en production de série qu'après avoir atteint le point de stabilisation « S », équilibre thermique.

Le temps nécessaire à obtenir l'équilibre thermique peut aussi varier dans de grandes proportions.

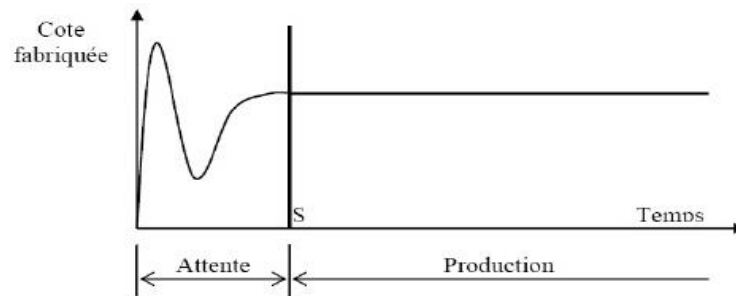


Figure 18 : Tracé point de stabilisation.

Sur certaines machines, le point de stabilisation n'est jamais atteint, les variations désordonnées persistent pendant toute la durée d'utilisation, les réglages de fabrication en série sont pratiquement impossibles à réaliser.



Figure 19 : Point de stabilisation.

Les variations de température des pièces usinées peut également avoir une incidence sur les dimensions des pièces réalisées. Ce phénomène est particulièrement sensible sur les tours automatiques travaillant en barre, où l'écart de température est très important entre le début et la fin de l'usinage de la barre.

I.22 Dispersion liées aux ajustements entre les surfaces

Il s'agit des variations (dispersions) liées aux joints cinématiques des surfaces en contact.

Les degrés de liberté des joints cinématiques les plus utilisés sont illustrés par la figure

20 Chaque caractéristique géométrique peut produire des variations (dispersions) aussi bien en translation qu'en rotation ou dans les deux cas sur les joints dans plusieurs directions.

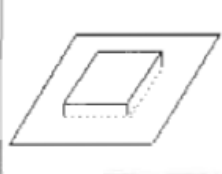
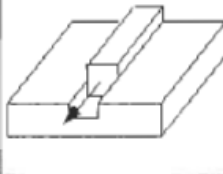
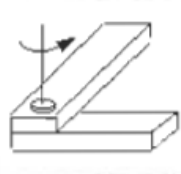



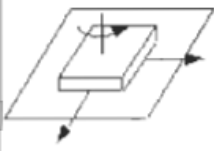
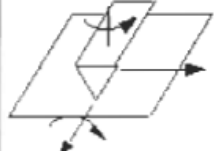
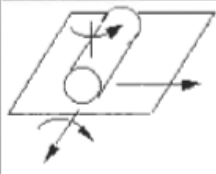

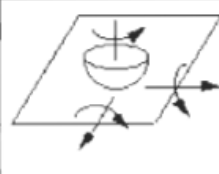
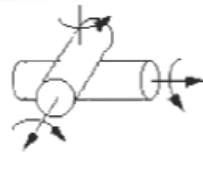
			
Rigide (pas mouvement)	prismatique	Revolute	Parallèle cylindrique
			
cylindrique	sphérique	planaire	Bord glisseur
			
Glisseur cylindrique	Point glisseur	Glisseur sphérique	Cylindre croisé

Figure 20 : Les degrés de liberté des différents joints

[1]

I.23 La métrologie

I.23.1 Introduction

La Métrologie au sens étymologique du terme se traduit par « science de la mesure ».

La métrologie s'intéresse traditionnellement à la détermination de caractéristiques (appelées grandeurs) qui peuvent être fondamentales comme par exemple une longueur, une masse, un temps, ou dérivées des grandeurs fondamentales comme par exemple une surface, une vitesse

Cependant, dans les domaines courants des essais, il existe de nombreuses caractéristiques n'ayant qu'une relation indirecte avec ces grandeurs. C'est le cas, par exemple, de la dureté, de

la viscosité, qui peut poser des problèmes dans l'interprétation. Mesurer une grandeur physique consiste à lui attribuer une valeur quantitative en prenant pour référence une grandeur de même nature appelée unité.

Dans le langage courant des «métrologues», on entend souvent dire mesurer c'est comparer.

Les résultats des mesures servent à prendre des décisions dans de nombreux domaines, tels que :

Acceptation d'un produit (mesure de caractéristiques, de performances, conformité à une exigence).

- ✓ Réglage d'un instrument de mesure, validation d'un procédé.
- ✓ Réglage d'un paramètre dans le cadre d'un contrôle d'un procédé de fabrication.
- ✓ Validation d'une hypothèse scientifique, protection de l'environnement.
- ✓ Définition des conditions de sécurité d'un produit ou d'un système.

L'ensemble de ces décisions concourt à la qualité des produits ou des services : on peut qualifier quantitativement la qualité d'un résultat de mesure grâce à son incertitude.

En effet sans incertitude les résultats de mesure ne peuvent plus être comparés :

- ✓ Soit entre eux (essais croisés) ;
- ✓ Soit par rapport à des valeurs de référence spécifiée dans une norme ou une spécification (conformité d'un produit).

I.23.2 Les Instruments de mesure Mécaniques

En mécanique, il est important de savoir prendre les mesures. La qualité de celles-ci dépend de la précision de l'instrument de mesure utilisé. Dans les cas de mesures exceptionnellement précises, il faut avoir tous les instruments nécessaires.

I.23.3 Classification de l'instrument de mesure

Les instruments de mesure se divisent en deux grandes classes :

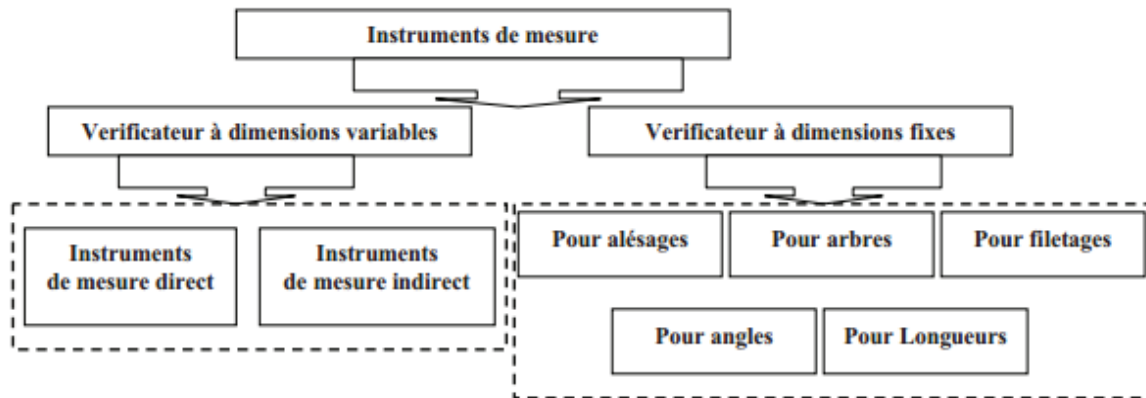


Figure 21 : Les classes d'instrument de mesure

Description du problème

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 bureau d'étude. 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.

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.

À travers ce mémoire, notre objectif est de :

1. Comprendre et recenser l'origine des dispersions dimensionnelles au cours d'une opération d'usinage.

2. La vérification et la mise au pont d'un tour parallèle par la correction des défauts détectés sur ces différents équipements et accessoires.
3. Mise en œuvre du tour pré-réglé par usinage d'un nombre d'échantillons, relever les imprécisions et faire le calcul statistique nécessaire afin de vérifier si les conditions de fabrication des pièces non rebutées est satisfaisante.

Conclusion

Dans l'industrie manufacturière, nous cherchons toujours à minimiser le coût de production tout en assurant une meilleure qualité. Dans ce contexte le contenu de notre thèse présentée dans ce mémoire, traite un problème qui joue un rôle très important pour le succès des programmes de fabrication, le tolérancement dimensionnel, essentiel pour définir la géométrie d'une pièce mécanique assurant sa meilleure fonctionnalité dans un assemblage avec une précision optimale.

Nous avons mis en évidence le savoir que doit un bureau d'étude avoir afin d'établir un dessin de définition respectant toutes les normes adoptées par la communauté internationale afin de préparer un produit qui répond aux exigences géométriques et dimensionnelles voulues.



Chapitre II

Préparation et réalisation des expériences

II.1 Introduction

Le transport par rail a joué dès le début de première industrielle, un rôle central dans le développement économique des pays. Par ailleurs le transport ferroviaire constitue actuellement l'un des moyens les plus importants et les plus performants du transport terrestre de passagers et de marchandises. Son développement a atteint un niveau tel qu'il le place en sérieux concurrent au transport par avion. Cette évolution s'est produite sur plus d'un siècle, elle est traduite par une augmentation régulière des vitesses, des charges et du trafic que les voies de chemins de fer doivent supporter. Ces croissances continues, enregistrées dans les chemins de fer, sont accompagnées d'un progrès parallèle dans les technologies de conception et de fabrication intégrant les technologies du numérique et de l'information technique.

Le modeste travail proposé dans le cadre de ce mémoire de fin de cycle est contrôler la précision et la qualité de fabrication à l'entreprise FERROVIAL Annaba.

Donc on a choisi **l'appui de ressort d'un essieu ferroviaire** comme exemple pour meilleur comprit notre thèse et pour cela on va suivre les étapes de fabrication de l'appui de ressort et on va contrôler les cote de fabrication de cette pièce.

II.2 Structure mécanique des trains

II.2.1 La locomotive (ou caisse)

La locomotive est la structure principale qui supporte les forces de traction et les forces dynamiques et aérodynamiques que subit le train. Sur laquelle se trouvent également les unités principales dont les wagons, et la centrale électrique et diverses unités qui assurent la surveillance et la gestion globales du fonctionnement et du mouvement de la locomotive.

Il s'agit notamment des systèmes de :

- ✓ Contrôle de la transmission de traction.
- ✓ Contrôle de freinage
- ✓ Contrôle de refroidissement et de ventilation.
- ✓ Contrôle des équipements auxiliaires et des dispositifs de sécurité.

Il en résulte une division des espaces du corps et du soubassement en zones et compartiments nécessaires à la protection de l'équipement et de l'équipe de locomotive contre les effets de divers dangers.

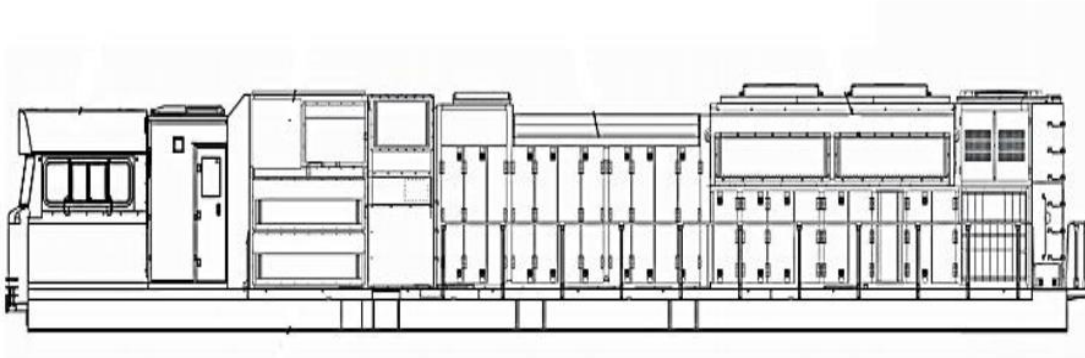


Figure22 : Description schématique d'une locomotive

II.2.2 Le bogie

Le bogie est un ensemble comprenant des essieux, des roulements, un châssis, une traverse ou un tableau arrière, une timonerie de freins, des ressorts et des éléments de liaison servant à soutenir la locomotive.

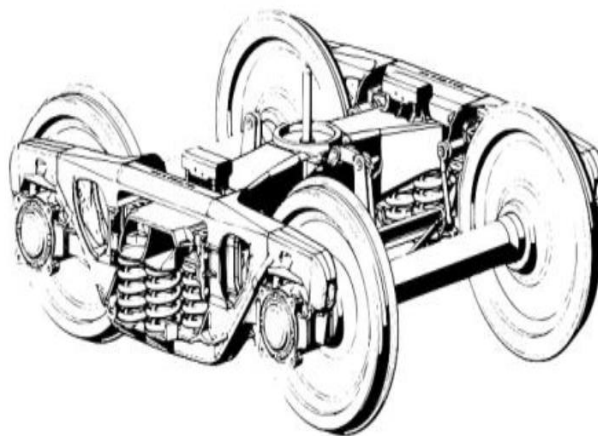


Figure 23 : Description schématique d'un bogie

Le bogie peut tourner dans le plan horizontal pour assurer le guidage sur la voie ferrée. Les bogies de locomotives modernes sont conçus pour améliorer les performances lors de trajectoire curviligne, grâce à la réduction de l'interaction dynamique entre le train de roulement et la voie. Les premières locomotives et les premiers wagons ont été conçus sans bogies, avec des essieux montés sur un châssis rigide ou directement fixés à la caisse du wagon.

Le développement de grands réseaux de transport ferroviaire, avec des volumes de fret massivement accrus, a obligé les constructeurs de véhicules ferroviaires à augmenter la capacité des centrales électriques des locomotives et à améliorer leurs performances de traction, entraînant inévitablement une augmentation du poids des locomotives. Par la suite, les locomotives ont atteint et dépassé la limite admissible de la charge verticale qui pouvait être supportée en toute sécurité sur la structure de la voie. Par conséquent, il a fallu augmenter le nombre d'essieux montés transportant des locomotives, ainsi que les dimensions des locomotives, ce qui a entraîné des problèmes de stabilité des locomotives lorsqu'elles traversaient des tronçons de voie très courbés et des problèmes d'interaction des forces entre Le bogie est l'un des éléments centraux de la dynamique ferroviaire. Cet élément relie de manière semi rigide deux essieux (**suspension primaire**) tout en supportant la caisse (**suspension secondaire**). Ce type de suspension à deux étages facilite la prise des trajectoires courbes en permettant aux essieux d'être mobiles par rapport à la caisse et aussi en améliorant le confort des passagers.

II.2.2.1 Types de bogies

✓ Bogie moteur

C'est l'élément le plus important dans la rame du train. En règle général, le système de transmission de train est fixé sur le bogie, ce qui suppose que celui-ci soit très rigide et donc lourd (poids du moteur, l'arbre de transmission, la boîte d'engrenage). La suspension primaire étant très rigide, les efforts dynamiques entre roue et rail sont très importants. Ces efforts augmentent avec la vitesse, il n'était pas possible de concevoir un véhicule ferroviaire ne dégradant pas l'infrastructure sans changer la conception des bogies moteurs.

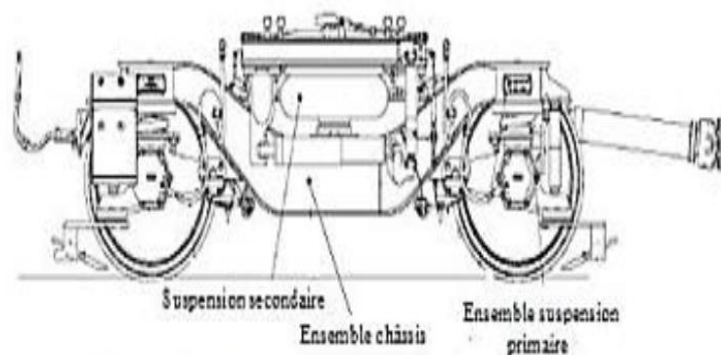


Figure 24 : Description schématique d'un Bogie moteur.

✓ Bogie porteur

Le bogie porteur est un peu différent du bogie moteur. Tous les bogies porteurs sont du type boites à bras (bielle d'asservissement).

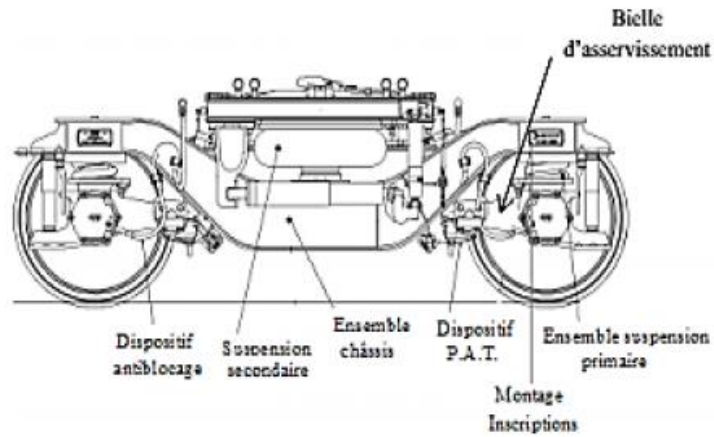


Figure 25 : Description schématique d'un Bogie porteur.

II.2.2.2 Eléments de bogie

✓ La traverse (Bolster)

Il s'agit d'une poutre ou d'un cadre servant à relier deux camions ou bogies afin qu'ils puissent s'articuler entre eux, elle est reliée à la locomotive en un seul point de montage pivotant.

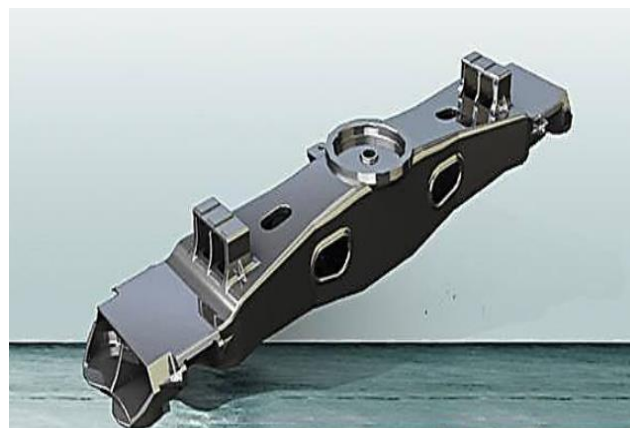


Figure 26 : La traverse.

✓ Le châssis

Le châssis est une pièce de support, le plus souvent de type mécano-soudé à roulements extérieurs qui sert à supporter les charges verticales, transversales, longitudinales et de torsions que subissent les bogies

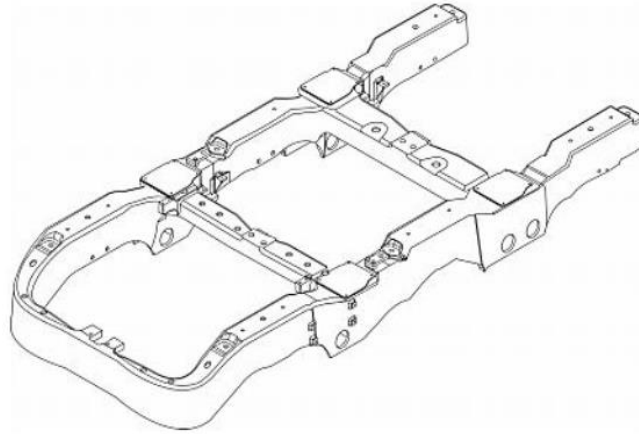


Figure 27 : Description schématique d'un châssis.

✓ Le pivot central

L'axe du pivot central est boulonné à la traverse fig33. L'axe de pivotement (tige) descend verticalement par le centre de la traverse du bogie. Ce pivot permet la rotation lors du déplacement sur les courbes.



Figure 28 : Le pivot central

✓ La boîte d'essieu

En inspirant des chariots à roulements à billes, les roulements d'essieu sont logés dans une boîte qui utilise des guenilles huilées pour réduire le frottement de l'essieu contre le châssis. [1]



Figure 29 : La boîte d'essieu

La suspension d'un véhicule a pour objet, d'une part, de répartir la charge statique du véhicule entre les différents points d'appui au sol et, d'autre part, d'amortir les efforts dynamiques produits notamment par les irrégularités de la surface d'appui.

La suspension d'un véhicule ferroviaire comprend, généralement, au moins une paire d'ensembles élastiques situés de part et d'autre d'une boîte d'essieu et qui à leur base sont chacun en appui sur une table d'appui dite généralement "palette" laquelle est solidaire de la boîte d'essieu et qui à leur extrémité supérieure sont associés au moins indirectement au longeron du wagon ou d'un bogie.

Classiquement, l'ensemble élastique est constitué de deux ressorts spiraux dont l'un dit ressort de tare à un diamètre interne supérieur au diamètre externe du second ressort dit ressort de charge, de sorte que le ressort de charge puisse être logé dans le ressort de tare.

Le ressort de tare reprend les efforts liés au poids à vide du wagon, tandis que le second devient actif au-delà d'une charge prédéterminée qui s'ajoute au poids à vide du wagon. De manière classique, la table d'appui présente un dispositif de maintien de la base de l'ensemble élastique.

Dans les solutions connues, le dispositif de maintien est fixé sur la face supérieure de la table d'appui et comprend des moyens de centrage des ressorts coaxiaux, la base de chacun de ces ressorts prenant appui sur un même plan.

Dans ces solutions connues, les moyens de centrage comprennent un tourillon sur lequel la paroi interne du petit ressort se centre et une chemise qui, montée coaxialement au tourillon, a sa face externe qui coopère avec la paroi interne du gros ressort.

Pour avoir une hauteur de chargement importante, la distance qui sépare la table d'appui de la structure d'appui de l'extrémité supérieure de l'ensemble élastique est limitée.

On sait que dans un ressort la variation de longueur est proportionnelle à la raideur du ressort et à la variation de la force exercée sur le ressort.

Dans le cas d'un ressort sollicité en compression, la variation de longueur admissible est liée à la distance séparant deux spires contigües et au nombre de spires.

De ce fait, pour une longueur donnée de ressort, si on souhaite augmenter la charge dynamique et si on souhaite contenir l'amplitude d'évolution de la longueur du ressort dans les limites disponibles, lors de la construction du ressort, il faut en augmenter la raideur, ce qui se traduit toutefois par une suspension plus dure qui devient alors plus agressive pour les rails.

Si on souhaite une suspension moins agressive et donc plus souple, il faut que la raideur du ressort soit plus faible ce qui entraîne une variation de longueur du ressort, pour une force donnée, plus importante, d'où un risque de contact des spires si le ressort n'est pas suffisamment aéré, c'est à dire si les spires sont trop proches.

Ceci impose donc de limiter le poids en charge des wagons ou leur vitesse de circulation pour éviter que les forces induites par les déformations de la voie de roulement soient trop importantes. [6]

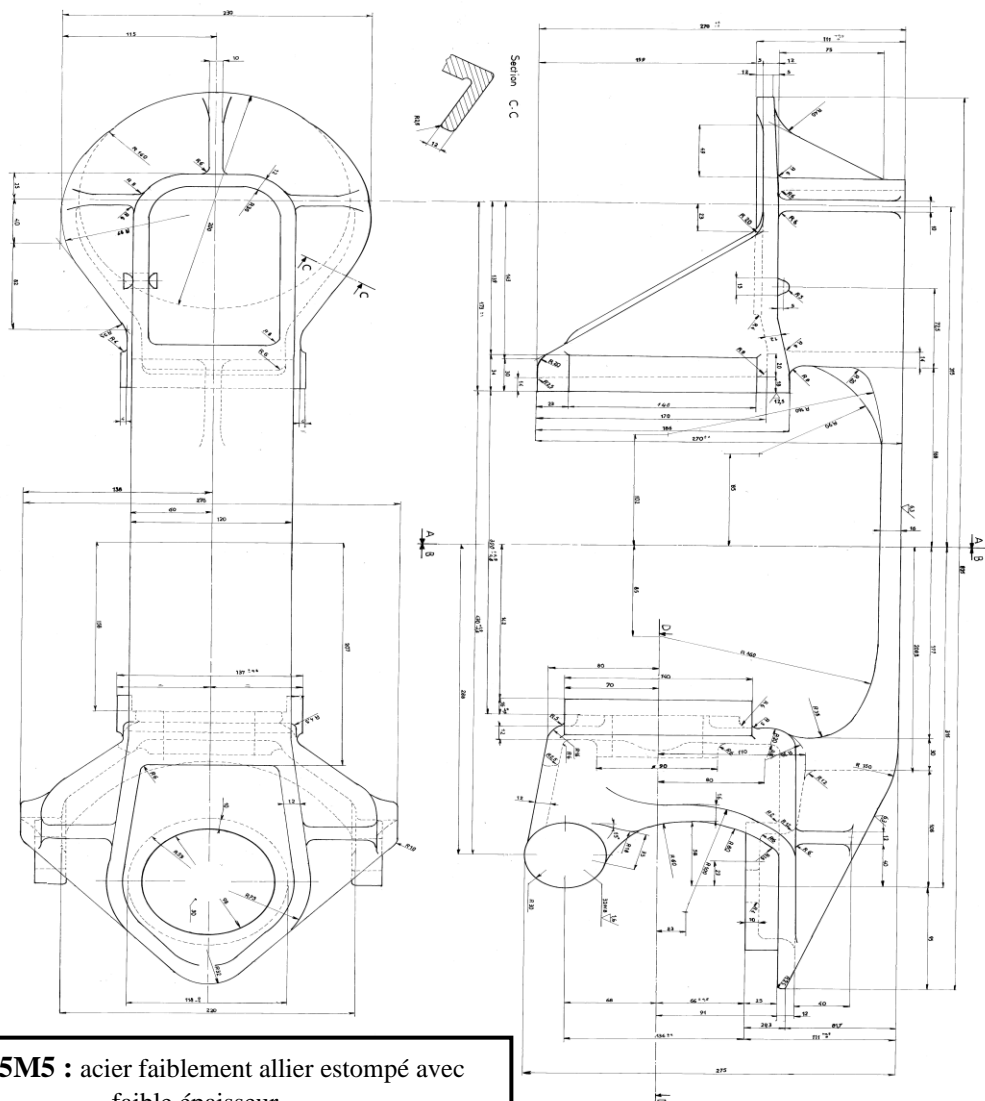
IL.3 La gamme d'usinage de l'appui de ressort de boîte d'essieux.



Contrat de phase Prévisionnelle Phase n° 100	Ensemble	Date	
	Pièce : appui de ressort	Bureau de méthode	
	Matière : E25-45M5		
	Programme :		

Désignation : contrôle de brute

Machine :



E25-45M5 : acier faiblement allié estampé avec faible épaisseur

E : Acier pour la construction mécanique

25 : résistance minimale à la flexibilité

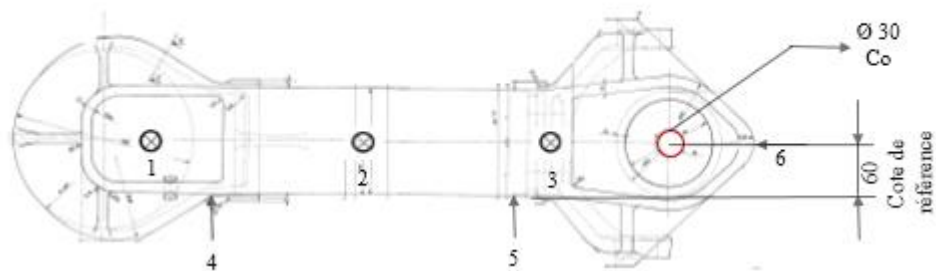
45 M 5 : alliage au manganèse trempé revenu 550°

Poids : 44 kg

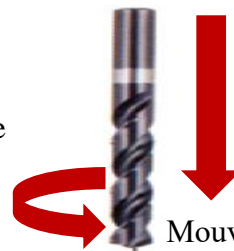
Contrat de phase Prévisionnelle Phase n° 200	Ensemble	Date	
	Pièce : appui de ressort	Bureau de méthode	
	Matière : E25-45M5		
	Programme :		

Désignation :

Machine : fraiseuse verticale unitaire



Mouvement de coupe



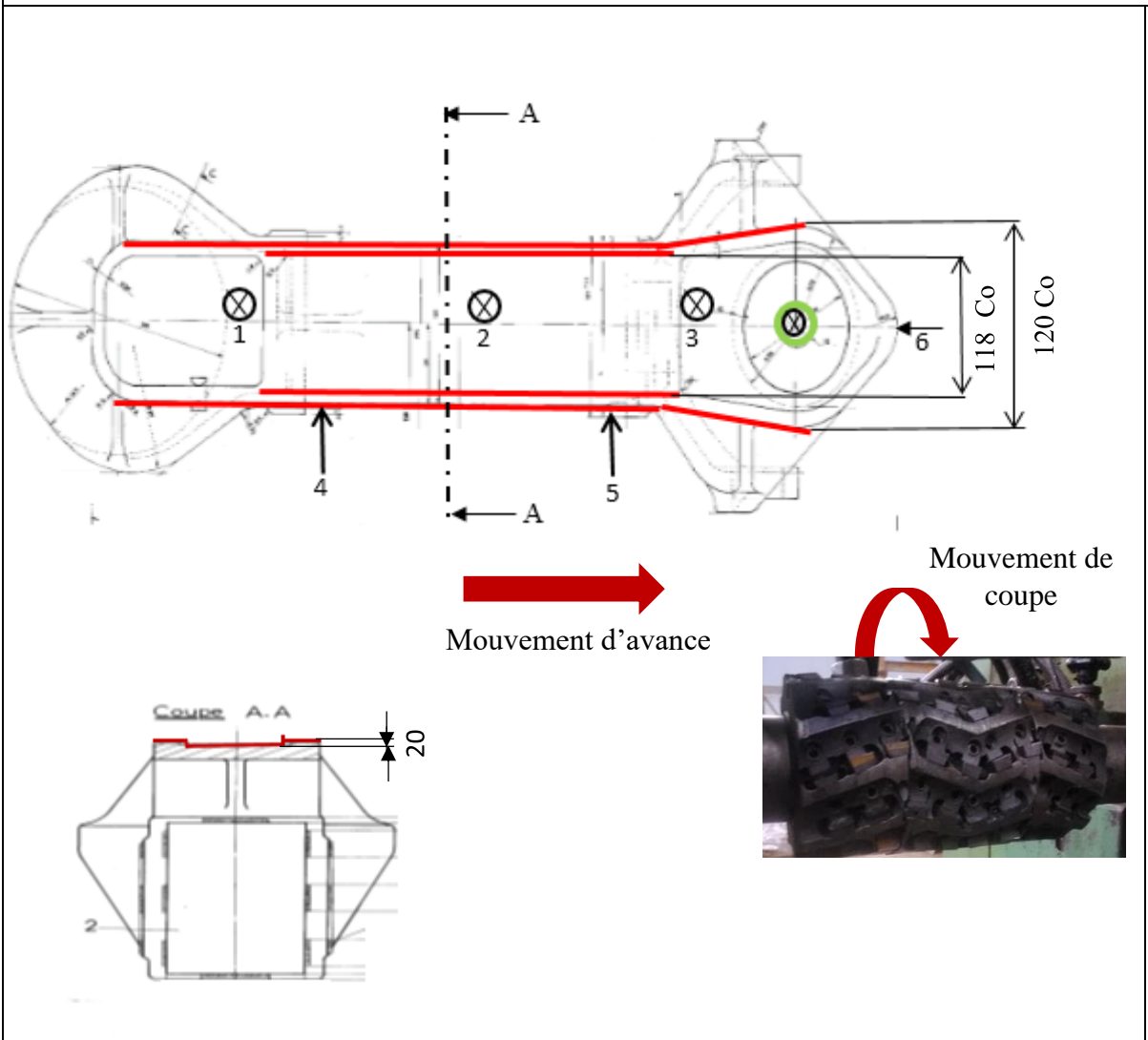
Mouvement d'avance

Les opérations	Les outils	v_c	D	N
Phase n°200 -Perçage	Forêt hélicoïdale	30 m/min	30 mm	500tr/m in

Contrat de phase Prévisionnelle Phase n° 300	Ensemble	Date	
	Pièce : appui de ressort	Bureau de méthode	
	Matière : E25-45M5		
	Programme :		

Désignation :

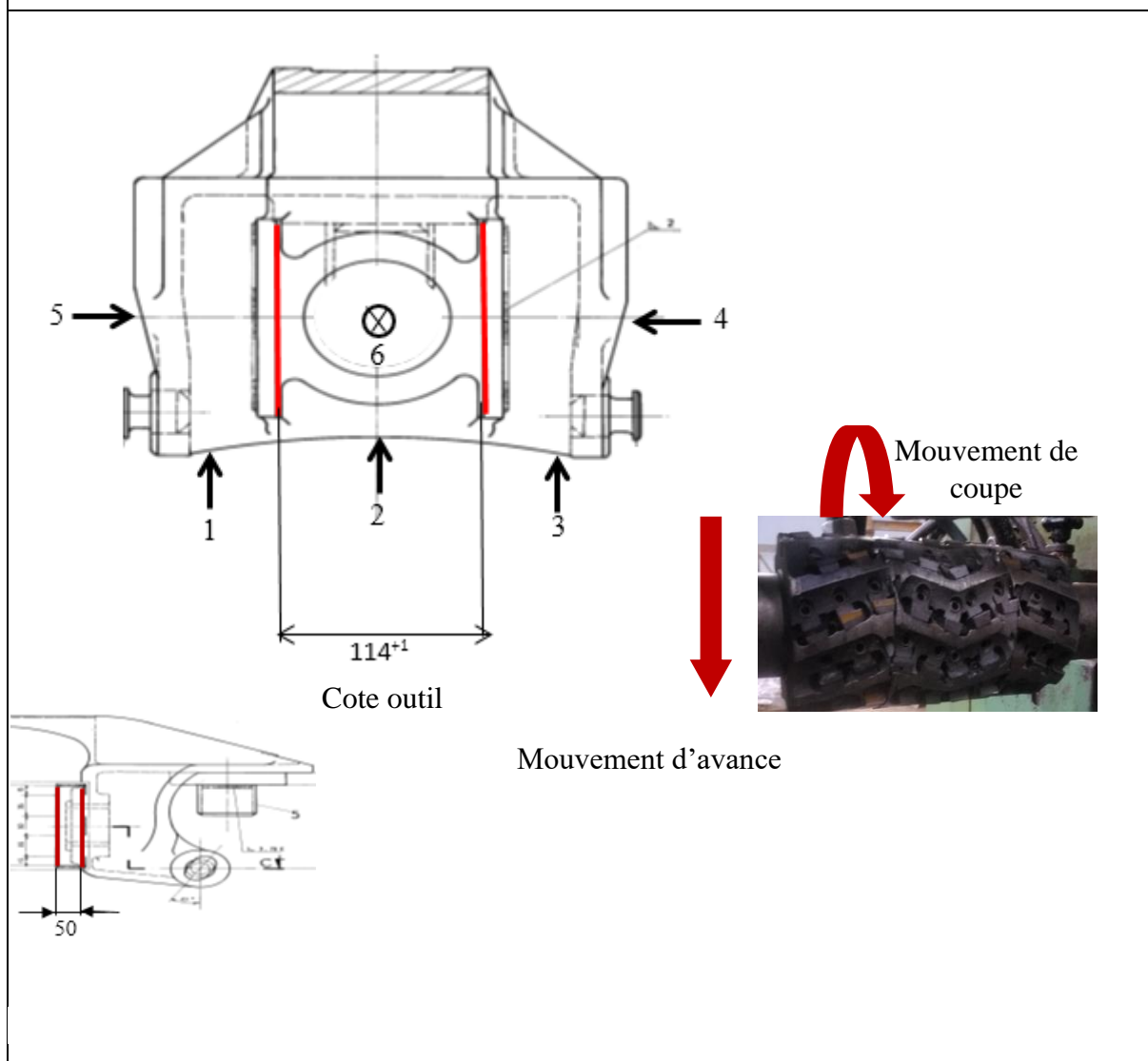
Machine : fraiseuse à copier unitaire



Les opérations	Les outils	v_c	N	f
Phase n° 300 - surfaçage + rainurage	Train de fraise à plaquette	à 30m/min	500tr/min	0.5 mm

Contrat de phase Prévisionnelle Phase n° 400	Ensemble	Date	
	Pièce : appui de ressort	Bureau de méthode	
	Matière : E25-45M5		
	Programme :		

Désignation : fraiseuse avec un plateau tournante

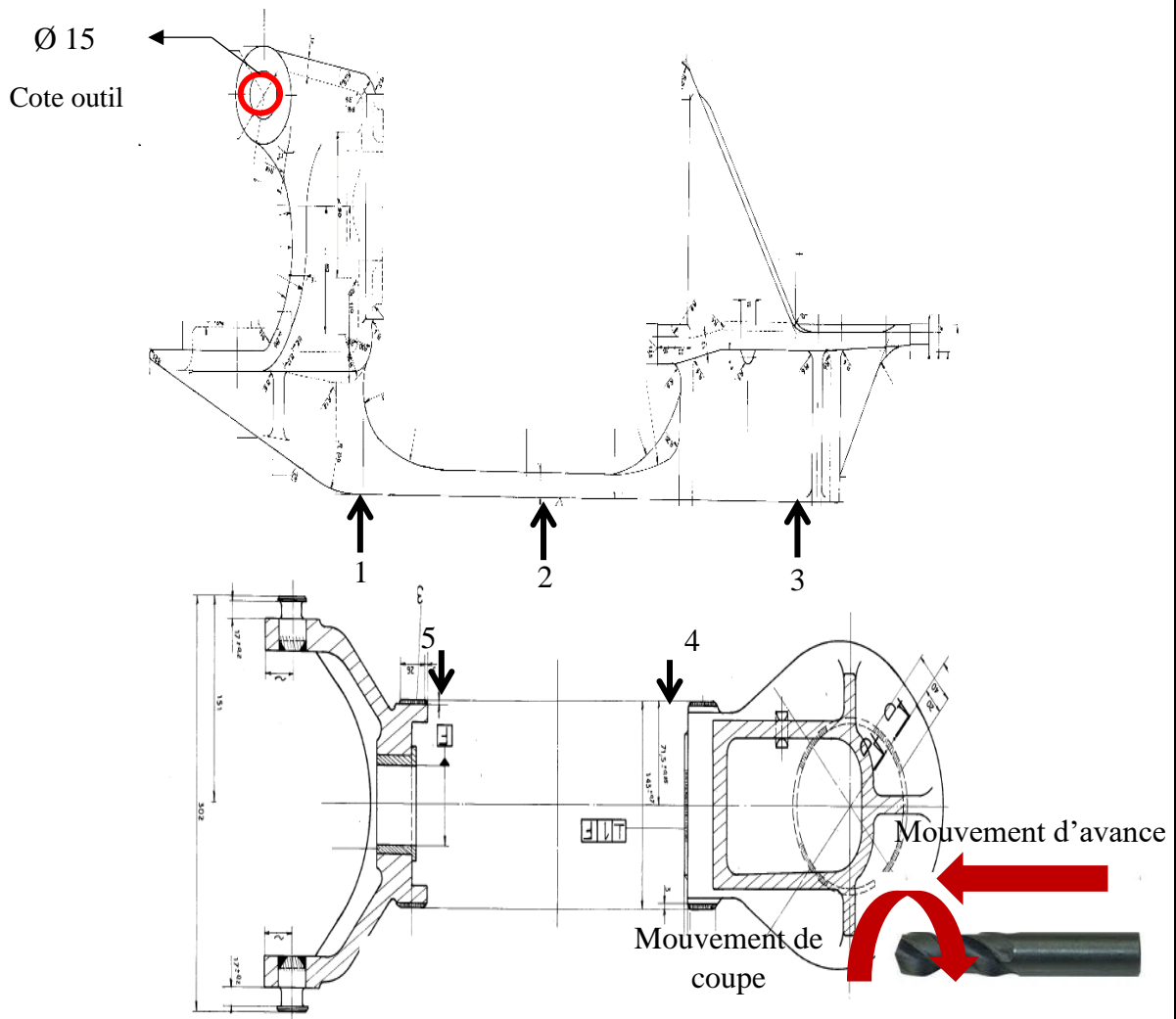


Les opérations	Les outils	v_c	N	f
Phase n° 400 - rainurage	Fraise 2 T à plaquette	30m/min	500tr/min	0.5mm

Contrat de phase Prévisionnelle Phase n° 400	Ensemble	Date	
	Pièce : appui de ressort	Bureau de méthode	
	Matière : E25-45M5		
Sous phase n° 410	Programme :		

Désignation :

Machine : fraiseuse avec plateau tournante

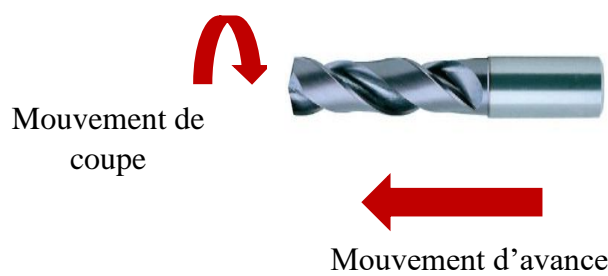
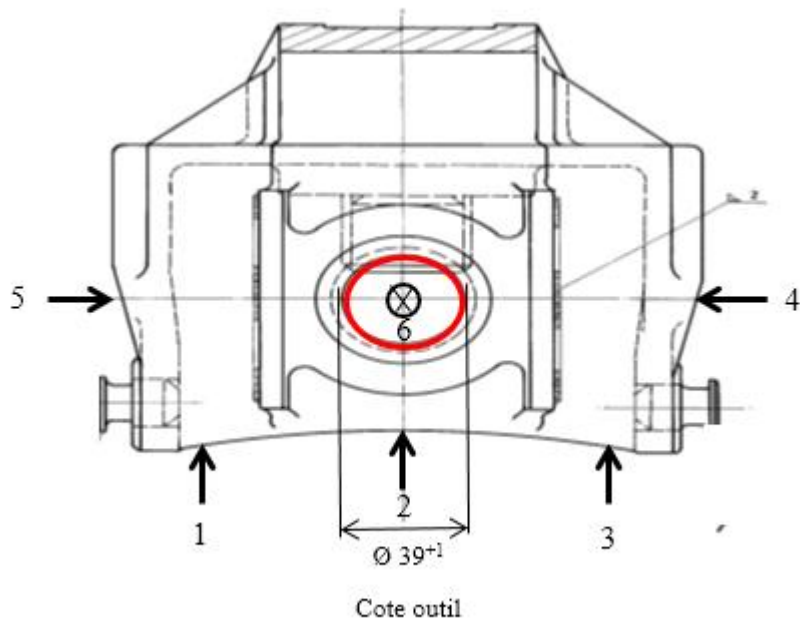


Les opérations	Les outils	v_c	D	N
Sous phase n° 410 -Perçage	Forêt	30m/min	15 mm	500tr/min

Contrat de phase Prévisionnelle Phase n° 400	Ensemble	Date	
	Pièce : appui de ressort	Bureau de méthode	
	Matière : E25-45M5		
Sous phase n° 420	Programme :		

Désignation :

Machine : fraiseuse avec plateau tournante

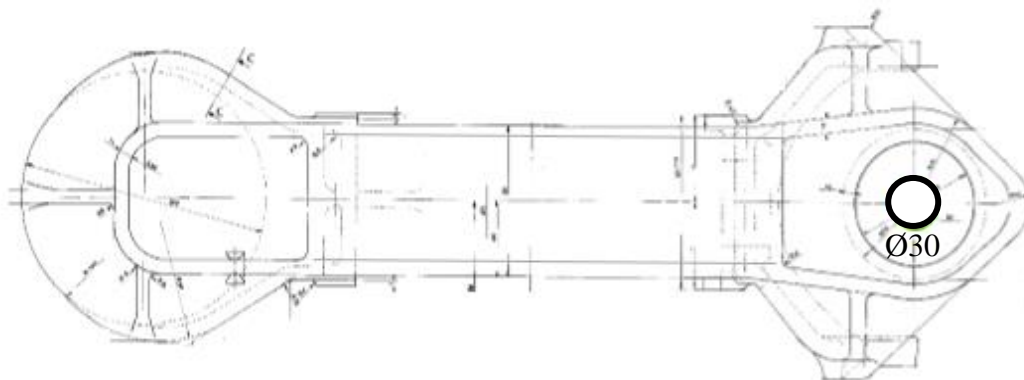
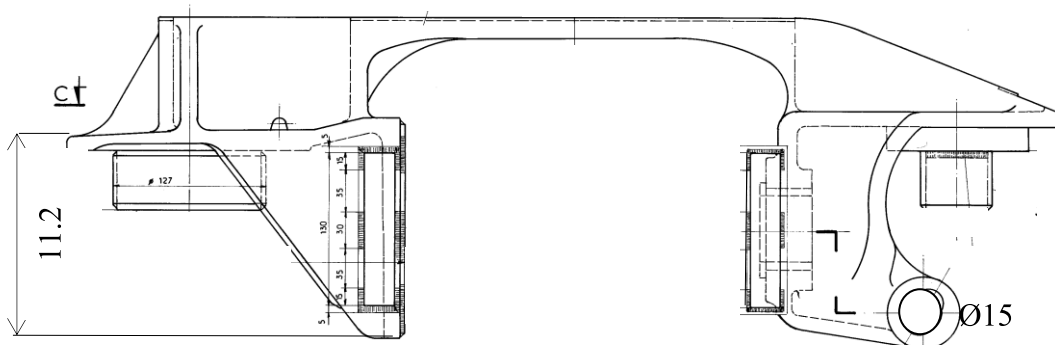


Les opérations	Outil	v_c	D	N
Sous phase n° 420 -Perçage	Forêt symétrique	30m/min	39	500tr/min

Contrat de phase Prévisionnelle Phase n° 500	Ensemble	Date	
	Pièce : appui de ressort	Bureau de méthode	
	Matière : E25-45M5		
	Programme :		

Désignation : contrôle finale

Machine :



Contrôle	Les instruments
Les trous La rainure Hauteur	Tampon double lisse La jauge plate double Le trusquin

II.4 Mesures et contrôles

Instituts de normalisation

AFNOR : Association française de normalisation

II.4.1 Les Instruments de mesure et de contrôle des appuis



Figure 30 : Instruments de mesure et de contrôle des appuis.

II.4.1.1 Le trusquin

On appelle trusquins les outils de traçage opérant par translation sur une surface d'appui de référence. Ils sont utilisés principalement en menuiserie, en ébénisterie et en fabrication mécanique. Il en existe de nombreuses formes, présentant des degrés de sophistication plus ou moins grands.



Figure 31 : Le trusquin.

II.4.1.2 Tampon lisse double

Les tampons lisses doubles sont plus faciles à employer que l'utilisation de deux tampons simples.

Ils sont d'utilisation large dans les industries, et sont employés pour vérifier la tolérance des alésages.



Figure 32 : Tampon double lisse.

✓ Vérificateurs à tolérances

Les vérificateurs à tolérance sont employés pour s'assurer que les cotes des pièces exécutées sont bien comprises entre les tolérances prévues sur le dessin de définition.

La vérification des tolérances dimensionnelles des pièces mécaniques est basée sur le principe

«La pièce "entre" ou "n'entre pas"».

✓ **Principe de fonctionnement :**

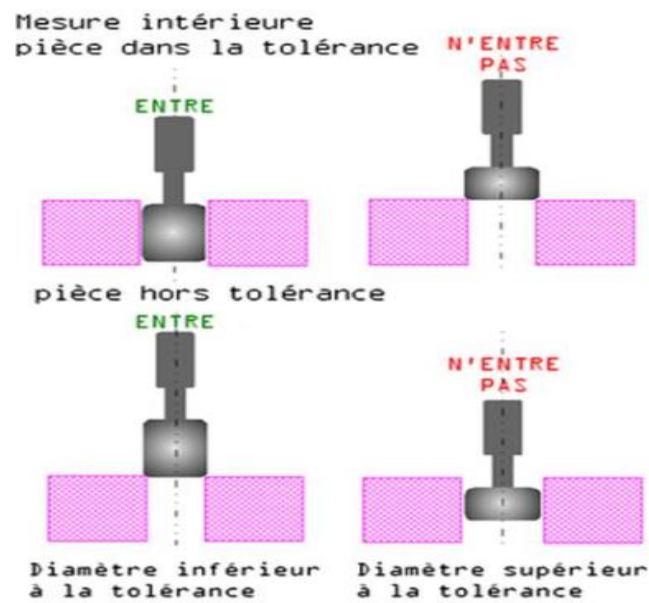


Figure 33 : Le principe de fonctionnement de tampon lisse double

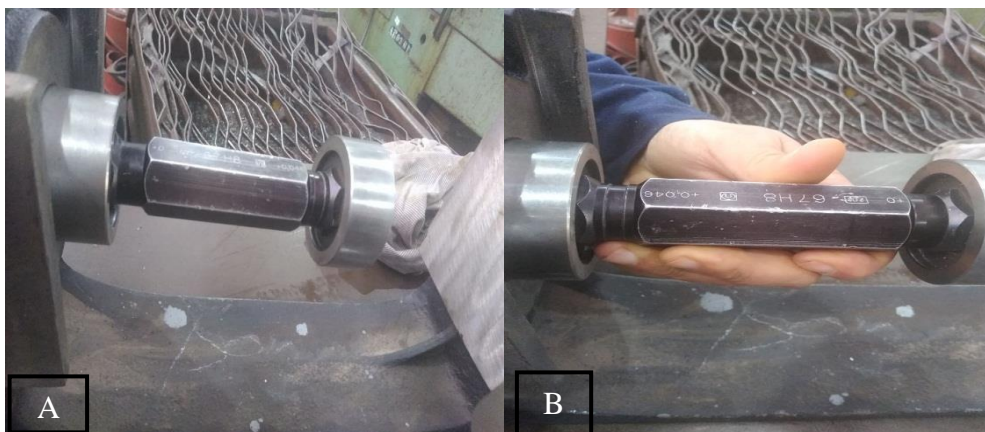


Figure 34 : Exemple de contrôle de trou

A : entre B : n'entre pas

II.4.1.3 Jauge plate double

Elle permet, comme le tampon lisse double, un contrôle des alésages, avec la possibilité supplémentaire du contrôle des entrées et des rainures.



Figure 35 : La jauge plate double

Exemple de contrôle avec la jauge plat double elle est le même principe de le tampon double lise.

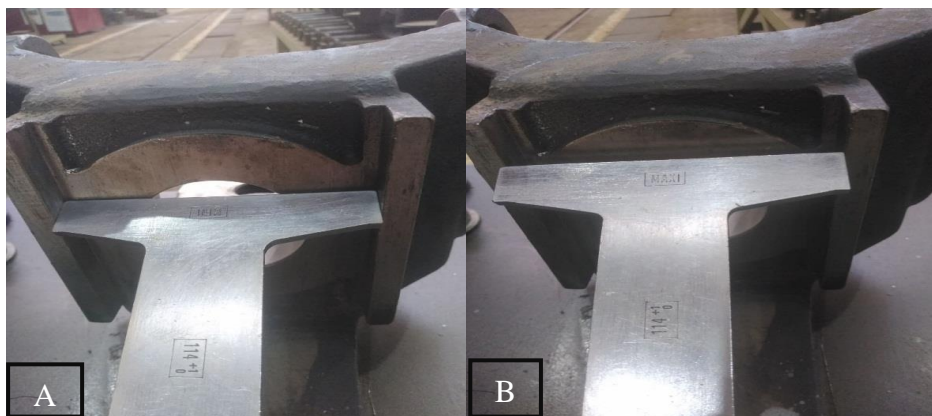


Figure 36 : Exemple de contrôle avec la jauge plat double contrôle de la rainure

A : entre B : n'entre pas



Figure 37 : Exemple de contrôle la distance des nœuds

A : entre B : n'entre pas

Conclusion :

Les travaux réalisés à l'atelier B3 à l'entreprise FERROVIAL, nous ont permis de mieux comprendre l'effet, l'importance et les causes de la dispersion dimensionnelle ainsi que son impact sur la réalisation d'un bon produit, par conséquent un produit rentable. Pour ce fait nous avons essayé de prendre connaissance des méthodes adoptées pour remédier à ces défauts et les éliminer le plus possible.

Donc la perte de tolérance obtenue (dispersion dimensionnelle obtenue), ce qui est le résultat des défauts de mise en position (gabarit de positionnement) rigidité de la machine qui s'avère être vétuste et présente beaucoup de défauts.



Chapitre III

Traitement et analyse des résultats

III.1 Introduction

Le but de la statistique est de dégager les significations de données, numériquement, ou obtenues au cours de l'étude d'un phénomène.

Il faut distinguer les données statistiques qui sont les résultats d'observations recueillies lors de l'étude d'un phénomène, et la méthode statistique qui a pour objet l'étude rationnelle des données.

La statistique est une méthode scientifique qui consiste à réunir des données chiffrées sur des ensembles nombreux, puis à analyser, à commenter et à critiquer ces données. Il ne faut pas confondre la statistique qui est la science qui vient d'être définie et une statistique qui est un ensemble de données chiffrées sur un sujet précis.

Les premières statistiques correctement élaborées ont été celles des recensements démographiques. Ainsi le vocabulaire statistique est essentiellement celui de la démographie. Les ensembles étudiés sont appelés population. Les éléments de la population sont appelés individus ou unités statistiques. La population est étudiée selon un ou plusieurs caractères.

III.2 Définitions

La statistique (ou les statistiques) est une branche des mathématiques basée sur les observations d'événements réels à partir desquelles on cherche à établir des hypothèses plausibles en vue de prévisions concernant des circonstances analogues. L'étude d'un problème statistique peut se décomposer en quatre étapes : recueil de données, classement et réduction de ces données (statistique descriptive), analyse de ces données visant à la déduction de prévisions (statistique différentielle) [6].

Une étude statistique descriptive s'effectue sur une population (des personnes, des villes, des voitures...) dont les éléments sont des individus et consiste à observer et étudier un même aspect sur chaque individu, nommé caractère (taille, nombre d'habitants, consommation...).

Il existe deux types de caractères :

III.3 Quantitatif

C'est un caractère auquel on peut associer un nombre c'est-à-dire, pour simplifier, que l'on peut "mesurer". On distingue alors deux types de caractère quantitatif :

- ✓ **Discret** : c'est un caractère quantitatif qui ne prend qu'un nombre fini de valeurs. Par exemple le nombre d'enfants d'un couple
- ✓ **Continu** : c'est un caractère quantitatif qui, théoriquement, peut prendre toutes les valeurs d'un intervalle de l'ensemble des nombres réels. Ses valeurs sont alors

regroupées en classes. Par exemple la taille d'un individu, le nombre d'heures passées devant la télévision

- ✓ **Qualitatif** : Comme la profession, la couleur des yeux, la nationalité.

En général une série statistique à caractère discret se présente sous la forme :

Tableau 4 : Forme d'une série statistique à caractère discret.

Valeur	X 1	X2	.....	Xp
Effectifs	N1	N2	.....	Np
Fréquences	F1	F2	.....	Fp

Plutôt que réécrire ce tableau on écrira souvent : la série (x_i, n_i) . (On n'indique pas le nombre de valeurs lorsqu'il n'y a pas d'ambiguïté). Souvent on notera N l'effectif total de cette série donc :

$$N = n_1 + n_2 + \dots + n_p \dots \dots \dots (4)$$

Lorsqu'une série comporte un grand nombre de valeurs, on cherche à la résumer, si possible, à l'aide de quelques nombres significatifs appelés paramètres. En seconde vous avez défini les notions de moyenne (à rapprocher de la notion de barycentre...), médiane, mode, qui est des paramètres de position et la notion d'étendue qui est un paramètre de dispersion. Le but de ce cours est de définir de nouveaux paramètres.

Dans la suite, tout caractère considéré est quantitatif.

III.4 Séries statistiques à une variable

III.4.1 Terminologie

- ✓ **Population** : Ensemble que l'on observe et qui sera soumis à une analyse statistique. Chaque élément de cet ensemble est un individu ou unité statistique.
- ✓ **Échantillon** : C'est un sous ensemble de la population considérée. Le nombre d'individus dans l'échantillon est la taille de l'échantillon.
- ✓ **Caractère** : C'est la propriété ou l'aspect singulier que l'on se propose d'observer dans la population ou l'échantillon. Un caractère qui fait le sujet d'une étude porte aussi le nom de « variable statistique ».
- ✓ **Organisation des données** : On regroupe toutes les données de la série statistique dans un tableau indiquant la répartition des individus selon le caractère étudié. Le regroupement s'effectue par classes :
 - Si le caractère est qualitatif ou discontinu, une classe contient tous les individus ayant la même modalité ou la même valeur du caractère.
 - Si le caractère est continu, une classe est un intervalle.

Pour construire ces intervalles, on respecte les règles suivantes :

- ✓ Le nombre de classes est compris entre 5 et 20 (de préférence entre 6 et 12)
- ✓ Chaque fois que cela est possible, les amplitudes des classes sont égales.
- ✓ Chaque classe (sauf la dernière) contient sa borne inférieure mais pas sa borne supérieure.
- ✓ Dans les calculs, une classe sera représentée par son centre, qui est le milieu de l'intervalle.
- ✓ Une fois la classe constituée, on considère les individus répartis uniformément entre les deux bornes (ce qui entraîne une perte d'informations par rapport aux données brutes).

Que faut-il indiquer pour chaque classe ?

- **L'effectif** : nombre d'individus de la classe : on le note ni (i est l'indice de la classe).
- **La fréquence** : proportion d'individus de la population ou de l'échantillon appartenant à la classe : on la note fi et ni sont liés par :

$$fi = \frac{ni}{n}$$

Où N est le nombre total d'individus dans la population.

- **L'effectif cumulé** (ou la fréquence cumulée) : effectif de la classe augmenté de ceux des classes précédentes (lorsque la variable statistique est quantitative). La fréquence cumulée est une fonction F de la borne supérieure de la classe (dans le cas d'une variable statistique continue).

III.4.2 Diagrammes

Ils servent à visualiser la répartition des individus.

- **Pour une variable statistique qualitative :**

On utilise des diagrammes à secteurs circulaires, des diagrammes en tuyaux d'orgue, des diagrammes en bandes. Le principe est de représenter des aires proportionnelles aux fréquences de la variable statistique.

- **Pour une variable statistique discrète :**

On utilise un diagramme différentiel en bâtons, complété du diagramme des fréquences cumulées appelé diagramme cumulatif. Le diagramme cumulatif est la représentation graphique d'une fonction F , appelée fonction de répartition de la variable statistique.

- **Pour une variable statistique continue :**

- ✓ Le diagramme représentant la série est un histogramme : ce sont des rectangles juxtaposés dont chacune des bases est égale à l'intervalle de chaque classe et dont la hauteur est telle que l'aire de chaque rectangle soit proportionnelle aux effectifs

(histogramme des effectifs) ou aux fréquences de la classe correspondante (histogramme des fréquences).

- ✓ On obtient le polygone des effectifs (ou des fréquences) en reliant les milieux des bases supérieures des rectangles.
- ✓ La courbe cumulative (ou polygone des fréquences cumulées) est obtenue en portant les points dont les abscisses représentent la borne supérieure de chaque classe et les ordonnées les fréquences cumulées correspondantes, puis en reliant ces points par des segments de droite. Son équivalent dans la théorie probabiliste est la fonction de répartition [6].

III.5 Caractéristiques numériques d'une série quantitative

III.5.1 Caractéristiques de position

✓ Mode

Le mode, désigné par **Mo** est la valeur de la variable statistique la plus fréquente.

Dans le cas d'une variable statistique continue, on parle plutôt de classe modale.

NB : Le mode ou la classe modale n'est pas obligatoirement unique.

✓ Médiane

La médiane, désignée par **Me**, est la valeur de la variable telle qu'il y ait autant d'observations, en dessous d'elle qu'au-dessus ou, ce qui revient au même, la valeur correspondant à 50% des observations.

Comment la déterminer ?

➤ Si la variable est discrète :

On désigne par n le nombre d'observations.

-Si n est impair : **Me** est la $[(n+1)/2]^{\text{ème}}$ observation.

-Si n est pair : ($n = 2k$. **Me**) est la moyenne arithmétique des deux observations centrales.

➤ Si la variable est continue :

Me vérifie $F(Me) = 0.5$, où **F** est la fonction de répartition de la variable. On détermine alors un intervalle médian (intervalle contenant la médiane), puis on procède à l'intérieur de cette classe à une interpolation linéaire.

✓ Moyenne

Lorsque x désigne la variable statistique, la valeur moyenne, ou moyenne de la série se note **m** ou. Elle est l'analogie d'un centre de gravité.

1er cas : si les observations ne sont pas groupées (la série est dite non classée).

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j$$

n : effectif total

x_j : jème valeur de la variable

2eme cas : si les observations sont groupées (la série est dite classée).

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k n_i x_i = \sum_{i=1}^k f_i x_i$$

n : effectif total

x_i : centre de la classe

n_i : effectif de la classe

f_i : fréquence de la classe

On effectue en fait ici une moyenne arithmétique pondérée.

NB : Dans le cas d'une variable continue, cette moyenne pondérée n'est qu'une valeur approchée de la vraie valeur moyenne de la série car on remplace chaque par le centre de la classe à laquelle il appartient.

Pourquoi utiliser la moyenne arithmétique ?

Elle a été choisie parmi d'autres types de moyenne (géométrique, harmonique...) car elle possède une propriété extrêmement intéressante :

Lorsqu'on se livre à des observations scientifiques, les mesures ne sont pas toujours exactement identiques d'une fois sur l'autre, même lorsque les conditions semblent être similaires. Il se produit ce que l'on appelle une erreur d'observation. On a la relation suivante :

Valeur observée = valeur exacte + erreur d'observation

Avec :

x_i : valeur observée

x_e : valeur exacte

$x_i - x_e$: erreur d'observation

On décide alors de prendre pour x_e la valeur qui minimise les erreurs d'observation, en fait la moyenne des carrés de ces erreurs (critère des moindres carrés). Le calcul prouve que la meilleure valeur estimant x_e suivant ce critère est \bar{x} .

Propriété : La moyenne des valeurs observées d'une grandeur x correspond à la meilleure estimation de x

Cela ne signifie pas que soit la valeur exacte x_e de la grandeur observée mais que c'est la meilleure évaluation possible que l'on puisse en faire selon le critère des moindres carrés.

III.6 Caractéristiques de dispersion

✓ **Etendue**

L'étendue, notée w , représente la différence entre les valeurs extrêmes de la distribution (la différence entre la valeur la plus grande et la valeur la plus faible) :

$$W = x_{max} - x_{min}$$

✓ **Intervalle interquartile**

L'intervalle interquartile, noté I , est la différence entre les deux quartiles et :

$$I = Q_3 - Q_1$$

Cet intervalle contient 50% de la population en éliminant 25% à chaque extrémité.

Cette caractéristique est nettement meilleure que l'étendue.

✓ **Variance**

La variance notée V , c'est la caractéristique de dispersion la plus utilisée avec l'écart quadratique moyen.

✓ **Ecart type**

Par définition, l'écart type d'une série statistique est la racine carrée de la variance.

On le note σ . A la différence de la variance qui correspond à un carré, l'écart type est homogène à la variable statistique et s'exprime dans les mêmes unités. Il permet de mesurer la dispersion de la distribution statistique autour de sa valeur moyenne. [2]

✓ **le nombre de classes (intervalles)**

Donné par la formule : $K = 1 + 3,3 \log(N)$

N étant le nombre de pièces dressées.

✓ **l'intervalle de classe**

L'intervalle de class ou (la longueur de l'intervalle) donné par l'expression :

$$\Delta L = W/K$$

✓ **le coefficient de précision**

Donné par la formule : $K_p = 6\sigma/IT$

IT : l'intervalle de tolérance

✓ **Le coefficient de réglage**

Le coefficient de réglage donné par la formule :

$$K_r = \frac{E_c}{IT}$$

$$E_c = \left| \frac{x_{max} - x_{min}}{2} - \bar{x} \right|$$

✓ **Le coefficient Kd :**

Le coefficient Kd donné par la formule

$$K_d = \frac{IT - 6\sigma}{2 IT}$$

II.5 Les résultat de contrôle

En peut résumer les résultats de mesurage dans ce tableau suivant :

Nbr : le nombre de la pièce

N : entre.

X : n'entre pas.

La colonne rouge : la faute.

Tableau 3 Les résultats de contrôle

Nbr	Hauteur	Trou		Noeud1		Noeud2		la rainure		La distance des nœuds		Commentaire
		max	min	max	Min	Max	Min	max	Min	Max	Min	
01	11.0	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
02	11.0	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
03	11.0	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
04	11.0	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
05	11.1	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté

06	11.2	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
07	11.2	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
08	11.0	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
09	11.2	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
10	11.2	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
11	11.2	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
12	11.0	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
13	11.2	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
14	11.0	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
15	11.2	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
16	11.2	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
17	11.3	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
18	11.0	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
19	11.0	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
20	11.2	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
21	11.2	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
22	11.3	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
23	11.3	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
24	11.0	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
25	11.0	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
26	11.0	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
27	11.2	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
28	11.2	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
29	11.4	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
30	11.3	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
31	11.3	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
32	11.2	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
33	11.2	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
34	11.3	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
35	11.3	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
36	11.4	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté

37	11.3	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
38	11.3	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
39	11.2	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
40	11.2	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
41	11.4	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
42	11.2	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
43	11.3	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
44	11.3	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
45	11.4	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
46	11.2	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
47	11.2	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
48	11.3	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
49	11.3	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
50	11.4	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
51	11.4	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
52	11.2	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
53	11.2	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
54	11.3	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
55	11.3	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
56	11.3	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
57	11.3	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
58	11.2	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
59	11.2	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
60	11.4	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
61	11.4	X	N	X	N	X	N	X	N	N	N	Refusé
62	11.5	X	N	X	N	X	N	N	N	X	N	Refusé
63	11.5	X	N	X	N	N	N	X	N	X	N	Refusé
64	11.3	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
65	11.3	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
66	11.3	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
67	11.4	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté

68	11.2	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
69	11.4	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
70	11.4	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
71	11.3	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
72	11.3	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
73	11.4	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
74	11.5	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
75	11.4	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
76	11.4	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
77	11.5	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
78	11.5	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
79	11.5	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
80	11.4	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
81	11.3	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
82	11.3	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
83	11.2	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
84	11.4	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
85	11.4	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
86	11.4	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
87	11.5	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
88	11.5	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	Accepté
89	11.2	N	N	X	N	X	N	X	N	N	N	Refusé
90	11.3	X	N	N	N	N	N	X	N	X	N	Refusé
91	11.3	X	N	N	N	N	N	X	N	N	N	Refusé
92	11.2	X	N	N	N	N	N	X	N	N	N	Refusé
93	11.7	N	N	X	N	X	N	N	N	N	N	Refusé
94	11.7	N	N	X	N	X	N	N	N	N	N	Refusé
95	11.8	N	N	X	N	X	N	N	N	X	N	Refusé
96	11.7	X	N	N	N	N	N	X	N	X	N	Refusé
97	11.8	X	N	N	N	N	N	X	N	X	N	Refusé
98	11.9	X	N	N	N	N	N	X	N	X	N	Refusé

99	11.9	X	N	N	N	N	N	X	N	X	N	Refusé
100	12.0	N	N	X	N	X	N	N	N	N	N	Refusé

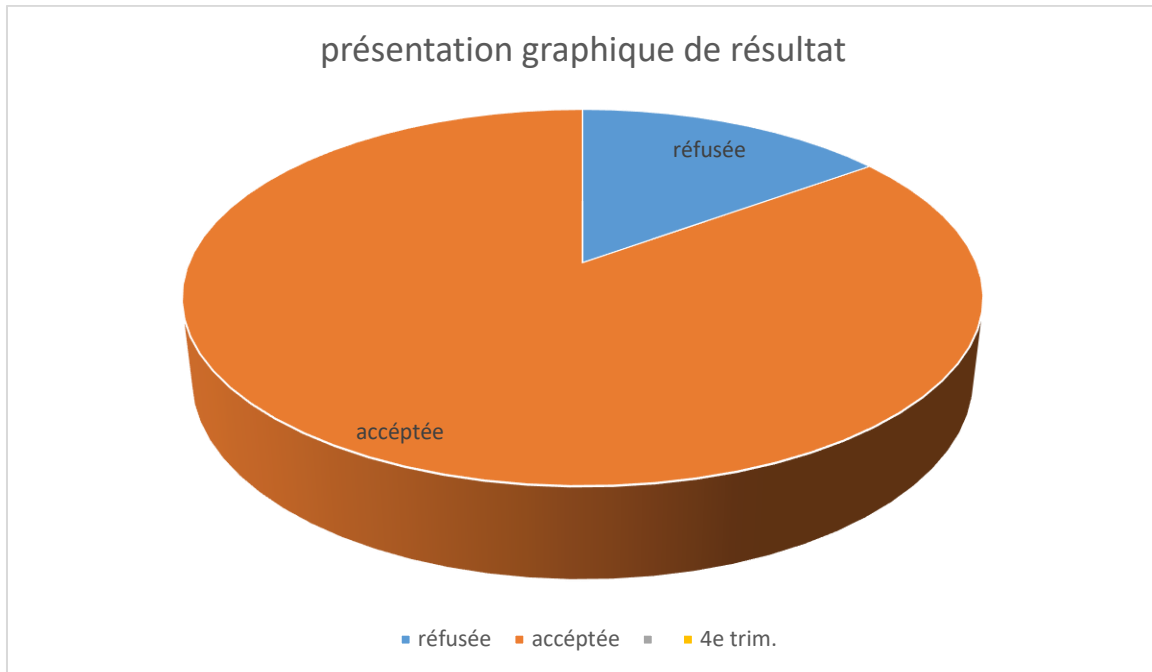


Figure 38 : Présentation graphique de résultats

Les résultats de calculs

Tableau 5 : Tableau de résultat calculé

Les caractéristiques numériques	N	X	Kp	IT	Kr	Ec	Kd	σ	W
Les résultats	100	10	97.7	0.6	16	9.5	-48.5	9.77	1

III.7 Vérification que la condition de fabrication des pièces non rebutées est satisfaite :

Pour être satisfaite il faut :

- $Kp < 1$
- Et
- $Kr < Kd$

Dans notre cas $Kp > 1$ et $Kr > Kd$

Donc la condition de fabrication des pièces non rebutées n'est pas satisfaite.

III.8 Proposition et Recommandation :

D'après les traitements et les l'analyse des résultats de contrôle et le suivi de l'opération d'usinage et après constatation de l'ensemble des défauts sur la qualité des produit on peut se prenanaté sur les causes et les qanséqances des défauts de dimensionnement

III.8.1 Usure de l'outil de coupe

L'usure frontale de l'outil entraîne une variation de dimension des pièces réalisées. L'étude expérimentale démontre que l'usure suit une loi très caractéristique dont la représentation graphique en coordonnées rectangulaires donne l'allure générale.

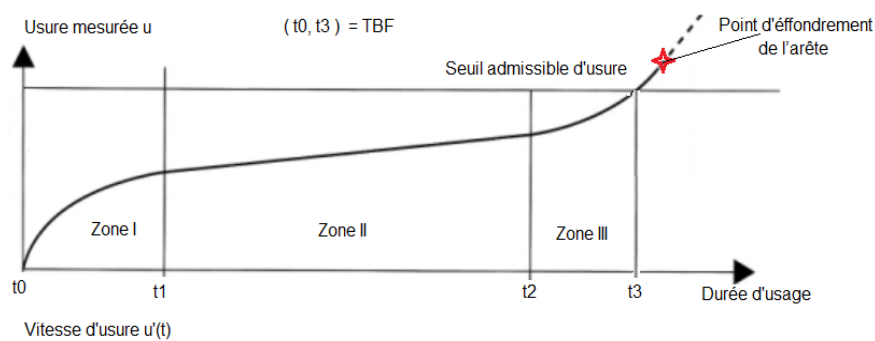


Figure 39 : Evolution de l'usure dans le temps

- ✓ **Zone I** : Phase d'adaptation et de rodage de l'arête au régime de coupe : *usure rapide*.
- ✓ **Zone II** : Phase d'usure quasi-stationnaire à évolution linéaire.
- ✓ **Zone III** : Phase de l'accroissement rapide de l'usure, l'effondrement de l'arête est à prédire.

La dispersion systématique est essentiellement due à l'usure de l'outil entre la première et la dernière pièce produite.

III.8.1.1 usure réelle de l'outil de coupe



Figure 40 : Usure de l’outil de coupe utilisé pour la fabrication de l’appui de ressort

III.8.2 Les charges de coupe

Les charges de coupe sont une source d’erreurs causant une déviation de l’outil par rapport à la pièce affectant la géométrie désirée de la surface usinée. Elles provoquent des déformations élastiques de la pièce, de l’outil et de la machine. La géométrie de l’outil et le processus de coupe (enlèvement de matière et vitesse de coupe) provoquent un comportement vibratoire par l’excitation périodique de la structure (machine-outil-pièce) [1].

Le processus de l’enlèvement de la matière par un outil de coupe, nécessite des efforts de coupe. Ce procédé provoque des déformations élastiques pour l’ensemble (outil, pièce et machine). La déviation résultante affecte la précision des surfaces usinées où la déviation de chaque élément dépend de sa rigidité. La prédiction avec précision du défaut d’usinage, résultant de ces déformations, est une opération compliquée, discrétisent l’outil de coupe en plusieurs outils élémentaires.

III.8.3 La vibration

Les vibrations auto régénérés en usinage est un phénomène qui affecte d’une manière négative l’état de surface des pièces usinées. Ce phénomène connu sous le nom de broutage ou chatter en Anglais, a été largement approché par ces diverses méthodes linéaires et non linéaires. Bien que la théorie de la régénération de surface et des modèles linéaires avec un temps de retard représente l’explication la plus répondu concernant l’origine de ces excitations sans tenir compte des effets non linaires.

Le comportement non linéaire de ce phénomène est caractérisé par des périodes cycliques où l’outil sort de la matière des pièces et d’autres périodes où l’outil s’enfonce dans la matière avec un léger retard de temps.

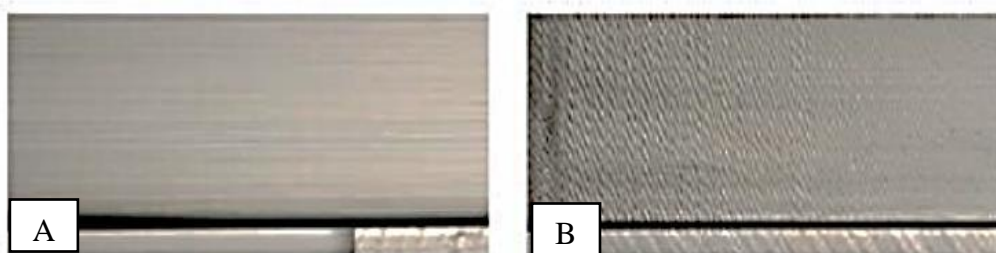


Figure 41 : L'fluence de vibration A : sans vibration B : avec vibration

III.8.3.1 La Solutions de vibration qui j'ai proposé :

Contrôler la vibration

Plusieurs types de grandeurs peuvent être mesurés en usinage. Nous présentons également les principaux capteurs associés.

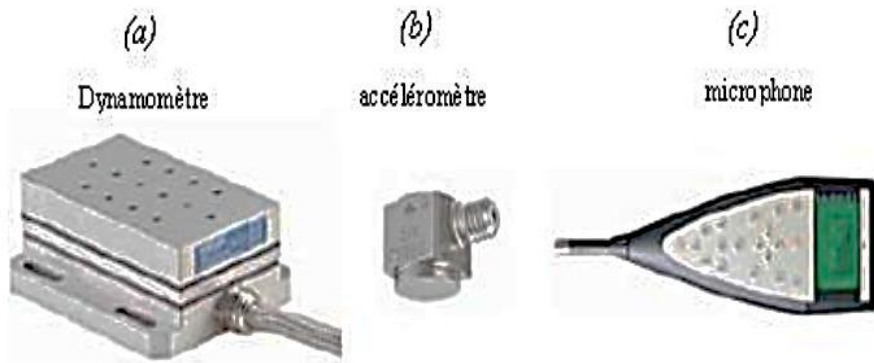


Figure 42 : Les éléments de contrôle de vibration Dynamomètre, accéléromètre et microphone

Les moyens de mesure sans contact sont beaucoup utilisés en usinage. Le son diffusé par les vibrations constitue une information riche permettant de connaître précisément les fréquences excitées. La mesure acoustique s'effectue à distance à l'aide d'un microphone

Bien que simple, ce moyen de mesure est souvent inutilisable en atelier de production, car le niveau sonore est beaucoup trop important pour séparer les contributions extérieures (bruit ambiant, ...etc.)

Les capteurs laser constituent une alternative efficace pour la mesure des vibrations dans un contexte de fabrication. Il est alors possible d'effectuer des mesures sans contact, mais en ciblant la zone à mesurer. Ces mesures sont tout de même compatibles avec une lubrification par micro pulvérisation. [7]

Conclusion

Ce chapitre a résumé les la partie mathématique des statistiques qui va être utilisée pour vérifier la condition de travail en sérié dans notre travail.

Conclusion générale

Les travaux présentés dans ce mémoire traitent un problème qui joue un rôle clef dans le succès des programmes d'ingénierie : le tolérancement, essentiel pour définir la géométrie d'une pièce mécanique assurant une bonne précision et sa fonctionnalité dans un assemblage. En effet il permet de valider une gamme de fabrication, d'identifier les paramètres dont l'influence est prépondérante pour une tolérance cible ou de calculer en design une zone de tolérance composée.

Par une recherche bibliographique nous avons essayé de mettre en exergue les différents types et causes de dispersion dimensionnelle en usinage par enlèvement de matière. Nous avons

étudié les méthodes de cotation en fabrication mécanique et les techniques de tolérancement pour enfin finir par étudier les defaults qui surviennent sur la précision des côtes et leurs causes et les identifier sur un prototype réel qui est un appui de ressort d'un essieu de locomotive.

Nous avons pu suivre toutes les étapes prévues par le routage d'usinage établi par l'entreprise Ferroviaire pour mettre en forme la pièce en question en suite nous avons pris connaissances des méthodes de mesure et équipement mis en œuvre.

Notre contribution a été de suivre et recenser pour un nombre d'échantillon déterminé les erreurs survenues sur la précision des cotes données par le bureau d'étude et leur conformité et déterminer les causes provocatrices pour enfin recommander les réglages et précautions à prendre pour remédier à ce genre de problèmes.

Enfin en dernier lieu nous avons traité des résultats des prélèvements sur les erreurs de cotation obtenues par des calculs statistiques de la moyenne et l'écart type.

Les résultats ont montré que les conditions de fabrication entreprises par la société Ferroviaire ne sont pas satisfaisantes car la condition de fabrication des pièces non rebutées n'est pas satisfaite.

Comme perspective, nous proposons des solutions des dispersions de chaque problème existe dans l'opération d'usinage, et ceci dans une éventuelle préparation d'un avant-projet d'étude de fabrication pour un travail de série.

Bibliographique

[1] Simulation de l'impact des dispersions d'éléments fonctionnels sur une condition fonctionnelle d'un assemblage mécanique KABORÉ TASSÉRE

[2] Evaluation pratique des dispersions dans une machine-outil 2012/2013 HAMEL Abdelhamid

[3] Optimisation du calcul des dispersions angulaires tridimensionnelles 2011 Aida Mezghani

[4] mémoire de licence thème de dispersion dimensionnelle L.Touati I.Amara A.Kermiche 2017/2018

[5] Compléments de fabrication mécanique et F.A.O (Imeca2453) 2013 J.F. Debongnie

[6] Etude de fabrication avancée du pivot de wagon 2018/2019 CHAHI SARRA

[7] Coupe des Métaux en Fabrication Mécanique et Productique 2018 Dr. BENNEGADI
Mohammed El Larbi