



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID  
TLEMCEM FACULTE DE TECHNOLOGIE DEPARTEMENT DE  
GENIE MECANIQUE



Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de MASTER

Option : MAINTENANCE INDUSTRIELLE

Thème

**Etude et analyse des défauts d'usure**

Présenté par

**BENBRAHIM Aboubakr**

Soutenu le :07/06/2017

Jury:

M.BENACHOUR M	Président	PR	UABB Tlemcen
M. RAHOU Mohamed	Encadreur	MCA	ESSA Tlemcen
M. SEBAA Fethi	CO Encadreur	MCA	UABB Tlemcen
M.HADJOUI Fethi	Examineur	MCB	UABB Tlemcen
M.MANGOUCI A	Examineur	MAA	UABB Tlemcen

Année universitaire 2016-2017

## Dédicace

---

Je dédicace ce travail à tous ceux qui ont fait de moi ce que je suis aujourd'hui, en témoignage de l'effort qu'ils ont déployé pour m'aider et qui a été toujours près de moi à me renforcer et me donner de l'espoir. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude et affection.

à toute ma famille et à tous mes amis.

## Remerciements

---

Je remercie « Allah » de m'avoir aidé à terminer ce modeste travail.

Au terme de cinq années d'étude au sein du département de génie mécanique, achevées par la rédaction et la soutenance de ce mémoire de master en Génie Mécanique option « MI », nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué à son bon déroulement.

J'ai tant de reconnaissance à exprimer à l'égard de Monsieur Fethi SEBAA qui m'a proposé ce sujet et a suivi son élaboration avec grand soin. Grâce à ses larges connaissances, ses précieux conseils et ses encouragements, ce travail a été mené à terme. Ce fut en honneur que de travailler avec lui.

3Encadreur RAHOU Mohamed qui me aussi bien soutenu que monsieur SEBAA, ses conseils ont été des plus bénéfiques pour mener à bien ce travail, je lui exprime mon profond respect.

Je remercie aussi, M.HADJOUI Fethi et M.MANGOUCI A pour l'examen minutieux qu'ils auront porté à l'égard de ce travail. Mr. BENACHOUR Mustapha qui a bien voulu présider le jury.

Mon remerciement s'adresse aussi au personnel de l'école préparatoire qui n'ont pas hésité à m'accueillir pour utiliser le laboratoire de CFAO pour préparer mon travail.

Enfin, mes remerciements iront à l'agence de Contrôle-SUR et tout l'équipe de contrôle technique de préparer ce travail dans de bonnes conditions.

Comme je remercie sans toutefois les citer, tous ce qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet.

Notre profonde reconnaissance s'adresse à l'ensemble des enseignants de notre département.

## Résumé

---

Au cours de la réalisation d'une pièce, il est nécessaire de mettre en œuvre plusieurs procédés et processus de fabrication. Les dispersions de fabrication sont dues à la fois au procédé et au processus de fabrication ; c'est-à-dire au choix du type d'usinage, de la machine, des outils et des portes pièces ainsi la mise en position qui vont permettre de réaliser la pièce. D'autre part, la qualification des opérateurs est certainement à prendre en compte.

L'objectif de notre travail s'articule sur une étude et une analyse des défauts d'usinage. Afin d'atteindre notre but, deux parties ont été développées.

La première a été consacrée au tolérancement en général ainsi que la présentation des différentes dispersions et plus particulièrement les dispersions aléatoires.

Quant à la troisième partie, une étude a été réalisée sur l'analyse de défauts de fabrication portant sur la mise en position, la trajectoire de l'outil de coupe et l'usure de l'outil de coupe

**Mots clés : Défauts, mise en position , usure , outil de coupe , trajectoire .**

## Abstract

---

During the production of a part, it is necessary to use several manufacturing processes and processes.

The manufacturing dispersions are due to both the process and the manufacturing process; That is to say with the choice of the type of machining, the machine, the tools and the parts parts, and thus the positioning which will make it possible to produce the workpiece. On the other hand, the qualification of the operators is certainly to be taken into account.

The aim of our work is to study and analyze machining defects. In order to achieve our goal, two parts have been developed.

The first was devoted to tolerancing in general as well as the presentation of the different dispersions and more particularly the random dispersions.

As for the third part, a study was carried out on the analysis of manufacturing defects concerning the positioning, the path of the cutting tool and the wear of the cutting tool

## ملخص

---

خلال مرحلة تحصيل قطعة, فمن الضروري تنفيذ عدة طرق و عمليات التصنيع, عيوب التصنيع تكون بسبب كل من طرق و عمليات التصنيع, يعني عند اختيار نوع التصنيع, نوع الآلة, الادوات و الادوات اللتي تمسك القطع المصنوعة و تكييف التموضع التي ستمكن من تحقيق القطعة. من ناحية أخرى, تأهيل مشغلي يأخذ بعين الاعتبار بشكل مؤكد.

الهدف من عملنا هو دراسة و تحليل أخطاء التصنيع, و لتحقيق هذا الهدف يجب تطوير قسمين

الاول خصص للتسامح بشكل عام و عرض مختلف انواع الاخطاء و خصوصا الاخطاء العشوائية

و القسم الثالث يتمثل في دراسة مبنية على تحليل أخطاء التصنيع التي نجدها في التموضع و مسار أداة القطع و تآكل أدوات قطع

# SOMMAIRE

---

<b>Dédicace</b> .....	02
<b>Remerciements</b> .....	03
<b>Résumé</b> .....	04
<b>Introduction générale</b> .....	11

## CHAPITRE 1

### Etat de l'art sur le tolérancement

<b>1.Introduction</b> .....	<b>12</b>
<b>2. Présentation des normes de tolérancement</b> .....	<b>12</b>
2.1. Concept GPS (Geometrical Product Spécification).....	13
2.2. Principe de tolérancement de base : l'indépendance.....	17
2.3. Tolérancement par zones de tolérance .....	19
2.3.1. Tolérancement des dimensions (cotes et tolérances) .....	19
2.3.1.1. Cote linéaire et sa tolérance.....	19
2.3.1.2. Cote angulaire et sa tolérance.....	20
2.3.1.3. Ajustements.....	21
2.3.2. Tolérancement des aspects forme, orientation et position.....	22
2.3.2.1. Référence et système de référence NF E 04-554 1988.....	24
2.3.2.2. Tolérances géométriques.....	26
2.4. Etat de surface NF EN ISO 1302 AVRIL 2002 (E05-016).....	30
<b>3. Tolérancement de fabrication</b> .....	<b>31</b>
<b>4. Conclusion</b> .....	<b>34</b>

## CHAPITRE 2

### Dispersion d'usinage

<b>1. Introduction .....</b>	<b>35</b>
1.1. Théorie sur la précision d'usinage.....	35
1.2. Classification des erreurs .....	35
<b>2. Dispersions de fabrication.....</b>	<b>36</b>
2.1. Définition .....	36
2.2. Etude des différentes dispersions.....	37
2.3. Dispersion aléatoire ( $\Delta a$ ).....	40
2.4. Comparaison entre la dispersion de fabrication et l'intervalle de tolérance.....	42
2.5. Dispersion thermique.....	44
2.6. Dispersion systématique ( $\Delta s$ ).....	45
2.6.1. Définition.....	45
2.6.2. L'usure de l'outil de coupe en fonction de la longueur.....	46
2-7. Dispersion géométrique.....	47
2-8. Dispersion totale.....	48
<b>3. Les effets des dispersions sur les cotes de réglage.....</b>	<b>49</b>
3.1. Effet de la dispersion aléatoire .....	49
3.2. Effet de la dispersion systématique .....	50
3.3. Effet cumule .....	50
<b>4. Les dispersions axiales en tournage.....</b>	<b>51</b>
4.1. Produit fini et séquence de travail.....	51
4.2. Origines des dispersions.....	52
4.3. Dispersion de mise en position du brut en repère machine.....	54
4.4. Dispersion de mise en position de l'outil en repère machine.....	55

4.5. Usure de l'outil.....	55
4.6. Dispersion de réglage.....	56
<b>5. Conclusion .....</b>	<b>57</b>

### CHAPITRE 3

#### Etude et analyse des dispersions d'usinage

1. Introduction.....	59
2. Défaut de l'usure de l'outil de coupe.....	59
3. Défauts de la trajectoire de l'outil de coupe.....	60
3.1. Premier Essai « déplacement de 20mm ».....	61
3.2. Deuxième Essai « déplacement de 100 mm ».....	62
4. Défauts de la mise en position.....	63
5. Étude Comparative .....	68
5.1. Etude comparative entre le défaut de l'usure et la trajectoire de l'outil.....	68
5.2 Étude comparative entre les trois défauts.....	69
.6. Conclusion.....	71
<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>72</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE.....</b>	<b>73</b>
<b>WEBOGRAPHIE.....</b>	<b>73</b>



# Liste des figures

---

## Chapitre 1

Fig.1-1. Principe de l'indépendance.....	17
Fig.1-2. Dimension locale simulée.....	19
Fig.1-3. Quelques cas de tolérancement.....	20
Fig.1-4. Tolérance angulaire.....	20
Fig.1-5. Représentation des dimensions, écarts et tolérances.....	21
Fig.1-6. Position de la zone de tolérance par rapport à la dimension Nominale.....	22
Fig.1-7. Position de la zone de tolérance.....	23
Fig.1-8. Constitution du cadre de tolérancement géométrique.....	24
Fig. 1-9. Les éléments constitutifs du tolérancement géométrique.....	29
Fig. 1-10. Position du tolérancement dans le processus .....	32
Fig.1-11. Cote machine.....	33
Fig.1-12. Cote outil.....	33
Fig.1-13. Cote appareil.....	34

## Chapitre 2

Fig.2-1. Influence des erreurs sur la précision .....	36
Fig. 2-2. Exemple sur les dispersions.....	37
Fig.2-3. Dispersion provoquée par la butée.....	38
Fig. 2-4. Déformation de l'organe porte pièce .....	39

Fig.2-5. Dispersion géométrique de la machine.....	39
Fig.2-6. Capacité d'un procédé d'usinage.....	41
Fig.2-7. Cas $6\sigma < IT$ .....	42
Fig.2-8. Cas $6\sigma = IT$ .....	43
Fig.2-9. Cas $6\sigma > IT$ .....	43
Fig.2-10. Evolution thermique d'une broche de tour .....	44
Fig.2-11. L'usure de l'outil après $K^{eme}$ pièce.....	45
Fig.2-12. L'usure de l'outil de coupe en fonction de la longueur.....	46
Fig. 2-13. Dispersion géométrique.....	47
Fig. 2-14. Dispersion totale.....	48
Fig.2-15. Effet de la dispersion aléatoire.....	49
Fig.2-16. Effet de la dispersion systématique.....	50
Fig. 2-17. Croquis du brut .....	51
Fig.2-18. Croquis de la pièce finie.....	51
Fig.2-19. Contrat des phases.....	52
Fig.2-20. Approche de l'outil en repère pièce.....	53
Fig.2-21. Positionnement du brut.....	54
Fig.2-22. Répétition de trajectoire.....	55
Fig.2-23. Recul de la face d'attaque de l'outil.....	56
Fig.2-24. Réglage et dimension affichée.....	57

### Chapitre 3

Fig 3-1 : Dispersion systématiques en fonction des pièces usinées.....	60
Fig 3-2 : trajectoire de l'outil de coupe.....	61

Fig 3.3. Défauts de la trajectoire de l'outil de coupe « premier essai ».....	62
Figure 3.4. Défauts de la trajectoire de l'outil de coupe « deuxième essai ».....	63
Fig 3-5 : Représentation statistique par secteur De la mise en position.....	68
Fig3.6 : Représentation par secteur entre le défaut de l'usure et le défaut de la trajectoire.....	69
Fig 3.7 : Représentation statistique par secteur entre les trois dispersions.....	70
Fig 3.8 : représentation graphique de l'intervalle de tolérance.....	70

# Liste des tableaux

---

## Chapitre 1

Tableau 1-1. Ensemble du schéma directeur GPS .....	14
Tableau 1-3. Exigences reliant les différents types de tolérances.....	18
Tableau 1-4. Tolérances d'orientation.....	26
Tableau 1-5. Représentation des tolérances de position.....	27
Tableau 1-6. Tolérances de forme.....	28
Tableau 1-7. Tolérances de battement.....	29

## Chapitre 3

Tableau 3.1 : dispersion systématique. ....	59
Tableau 3.2 : Défauts de la trajectoire de l'outil de coupe « premier essai ».....	61
Tableau 3.3 : Défauts de la trajectoire de l'outil de coupe « deuxième essai ».....	62
Tableau 3.6 : dispersion systématique et de trajectoire d'outil.....	63
Tableau 3.5 défauts de la mise en position .....	67
Tableau 3.4 : Résultats statistiques.....	68

# Introduction générale

---

Vers les années 70, la concurrence était connue et limitée. La durée de vie des produits industrialisés était grande, les délais étaient fixés par l'entreprise, ceci permettait une phase d'industrialisation sans contraintes. Le client n'avait guère le choix ; de ce fait, la qualité n'était pas un critère de production.

Actuellement, la réduction des commandes, la diminution de la durée de vie des produits, la concurrence et le besoin de qualité, ont imposé une transformation de l'outil industriel. Elle s'est opérée par l'amélioration des procédés (machines à commande numérique, machines à mesurer tridimensionnelle, automatisation, systèmes CFAO,...) qui ont permis un accroissement de la productivité. L'optimisation des performances a été réalisée par une approche verticale sans interconnexion entre les fonctions.

Le tolérancement des systèmes mécaniques est une des étapes clés de la création d'un produit. Les effets induits par le tolérancement ont une influence sur la qualité et le coût du produit fini. La maîtrise des défauts dimensionnels et géométriques au cours de la fabrication des pièces mécaniques permet de garantir la qualité finale du produit. Le but n'est pas d'éviter à tout prix les défauts dimensionnels et géométriques mais seulement de les prévoir, les prendre en compte et vérifier que leurs effets permettront au produit de respecter les besoins fonctionnels avec un coût optimal.

Notre travail a pour objectif d'analyser les défauts d'usinage. Pour atteindre ce but, trois chapitres ont été élaborés.

Le premier chapitre présente un état de l'art sur le tolérancement.

Dans le deuxième chapitre, nous avons présenté les différents types des dispersions d'usinage telles que les dispersions de mise en position, dispersion thermique, dispersion systématique, dispersion géométrique et leur influence sur les côtes de réglage (aléatoire).

Dans le troisième chapitre, nous avons présenté une analyse de défauts de fabrication.

## 1. Introduction

Le tolérancement des systèmes mécaniques est une des étapes clés de la création d'un produit. Les effets induits par le tolérancement ont une influence sur la qualité et le coût du produit fini. La maîtrise des défauts dimensionnels et géométriques au cours de la fabrication des pièces mécaniques permet de garantir la qualité finale du produit. Le but n'est pas d'éviter à tout prix les défauts dimensionnels et géométriques mais seulement de les prévoir, les prendre en compte et vérifier que leurs effets permettront au produit de respecter les besoins fonctionnels avec un coût optimal. La phase de la conception est essentielle pour la création d'un produit. Cette phase représente l'importance de la maîtrise de la phase de conception dans laquelle doivent pouvoir s'intégrer tous les acteurs de la réalisation d'un produit de l'élaboration du brut jusqu'à la commercialisation.

L'imprécision inévitable des procédés d'élaboration fait qu'une pièce ne peut pas être réalisée de façon rigoureusement conforme à un modèle géométrique parfait. Il a fallu donc définir les limites acceptables des écarts géométriques des pièces. A cette fin, il faut pouvoir exprimer des spécifications et avoir un modèle de spécification dans lequel le tolérancement sera parfaitement défini et univoque.

Aux prémices du tolérancement, on utilisait simplement les valeurs extrêmes des dimensions (pire des cas ou *worst-case*). En 1950, deux nouvelles écoles de tolérancement émergent : le tolérancement géométrique au pire des cas, développé par les agences militaires, et le tolérancement statistique développé par plusieurs entreprises. Aujourd'hui, le tolérancement géométrique est couvert par des normes internationales et constitue le domaine de recherche de nombreux chercheurs. Le tolérancement statistique se généralise progressivement.

## 2. Présentation des normes de tolérancement[8]

La normalisation dans les domaines techniques est prise en charge par des organismes privés reconnus qui ont une structure internationale. En ce qui concerne la spécification géométrique des produits, la normalisation provient de l'ISO : l'ISO est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation. L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO... Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont

soumis aux comités membres pour vote. Leur publication comme Normes internationales requiert l'approbation de 75% au moins des membres votants.

Quelques sigles :

ISO : norme internationale de l'ISO

ISO/DIS : avant-projet de norme ISO soumis à enquête probatoire.

ISO/TS : spécification technique ISO, représente un accord entre les membres d'un comité technique et est acceptée pour publication si elle est approuvée par plus de 2/3 des membres votants du comité.

ISO/PAS : spécification publiquement disponible ISO, représente un accord entre les experts dans un groupe de travail ISO et est acceptée pour publication si elle est approuvée par plus de 50% des membres votants du comité.

Les ISO/PAS et ISO/TS font l'objet d'un nouvel examen tous les trois ans afin de décider éventuellement de leur transformation en Normes internationales.

EN : norme européenne du CEN, l'adoption d'une norme par le CEN implique que les organismes nationaux annulent les normes nationales en contradiction.

PR : avant-projet de norme européenne soumis à enquête probatoire auprès de destinataires choisis. Diffusé pour examen et observation, il est susceptible de modification sans préavis et ne doit pas être cité comme norme.

NF : norme française de l'AFNOR

XP : norme expérimentale AFNOR

Quelque soit son statut, une norme constitue un document écrit qui peut servir de référence, il suffit de le faire apparaître sur le document où les notions décrites par la norme sont utilisées. De plus, il faut prendre soin d'indiquer la date de la norme. En effet, le numéro d'une norme se rapporte à un sujet, non à un contenu.

### **2.1. Concept GPS (Geometrical Product Spécification) [8]**

Depuis le début des années 1990, les normes évoluent plus vite, 30% des normes ont été revus entre le recueil des normes sur le dessin technique de 1992 et celui de 1994. Ceci justifie d'autant plus la nécessité de préciser sur les documents (dans le cartouche, ou dans son voisinage) le numéro et aussi la date de parution de la norme de référence.

L'objectif général du concept GPS est donné dans l'introduction du rapport ISO/TR 14638. La spécification géométrique des produits, symbolisée GPS, consiste à définir,

au travers d'un dessin de définition, la forme (géométrie), les dimensions et les caractéristiques de surface d'une pièce qui en assurent un fonctionnement optimal, ainsi que la dispersion autour de cet optimal pour laquelle la fonction est toujours satisfaite [Schneider-05]. Pour atteindre cet objectif, le GPS prend en compte les trois aspects de la pièce correspondant aux trois principaux points de vue des intervenants :

- La pièce imaginée et représentée par le concepteur (de produit)
- La pièce fabriquée (concepteur de process)
- La connaissance de la pièce obtenue par mesurage de la pièce effective (concepteur de contrôle)

La norme ISO/TR 14638 de 1995 [Schneider-05] représente certainement l'apport essentiel à l'évolution actuelle des normes du tolérancement graphique concernant la spécification géométrique des produits (GPS : Geometrical product specification).

Ce rapport technique de l'ISO présente une vue d'ensemble de la normalisation internationale dans le domaine du GPS [Schneider-05]. Il explique le concept GPS et fournit un schéma directeur sur les normes existantes, à modifier et à établir dans le domaine comme illustre le tableau 1-1.

Le schéma directeur a été bâti pour mettre en place le concept GPS (spécification géométrique du produit). L'apport essentiel du concept GPS est de centrer le classement des normes et l'élaboration des nouvelles normes sur le produit.

**Tableau 1-1. Ensemble du schéma directeur GPS [8]**

Normes GPS de base	Normes GPS globales
	Chaînes de normes GPS générales
	Chaînes de normes GPS complémentaires

Celui-ci s'appuie sur une matrice GPS, qu'on pourrait qualifier 'de base', constituée de 4 groupes principaux de normes.

Deux groupes sont structurés en chaîne de normes. Une chaîne de normes est l'ensemble des normes relatives à une même caractéristique géométrique.



· Normes GPS de base :

On y retrouve le principe de tolérance de base (NF E 04-561, ISO 8015). Ces normes ne sont pas encore toutes écrites, elles décriront à terme, ce qu'est le tolérancement.

· Normes globales :

Ce sont les normes qui influencent tout ou partie des chaînes de normes générales ou complémentaires, (normes sur les mesures d'angles, conversion d'inches en millimètres, cotation des pièces non rigides NF ISO 10579 1994, règles de décision pour prouver la conformité ou non à la spécification NF EN ISO 14253-1, vocabulaire des termes fondamentaux et généraux de métrologie NF X 07-001, modèle pour la spécification et la vérification géométriques des produits ISO/TR 17450-1.

· Chaînes de normes générales ou matrice GPS générale :

C'est le noyau des normes, il établit les règles pour l'indication sur les dessins, les définitions et les principes de vérification, applicables à différents types de caractéristiques géométriques. On y retrouve par exemple l'ISO 8015 pour la définition des caractéristiques d'éléments extraits.

· Chaînes de normes complémentaires ou normes GPS complémentaires :

Elles apportent des règles complémentaires qui dépendent du procédé de fabrication ou du type de produit lui-même. Deux types de normes :

- Normes de tolérances en fonction du procédé (usinage, fonderie ...).

- Normes définissant la géométrie de produits particuliers (filetages, engrenages, cannelures ...).

Le concept GPS n'est pas plus défini par le rapport. On remarque que le concept GPS ne change rien aux normes existantes, il ne résout pas le problème de l'écriture des tolérancements et d'ailleurs ne l'évoque pas. Il est en fait un moteur pour l'évolution et la révision des normes. Il deviendra de plus en plus probant au fur et à mesure de leur écriture et réécriture.

Pour unifier les normes actuelles et futures et garantir la cohérence du système en cours de construction, la norme ISO propose une démarche de classification des normes selon deux axes :

Les caractéristique géométriques d'un élément géométrique, permettant de la caractériser en taille, forme, orientation, position, etc.

Les étapes de la cotation géométrique et dimensionnelle d'un produit, permettant de caractériser des éléments géométriques, d'évaluer les écarts dimensionnels, de définir et contrôler les instruments de mesure.

Le tout s'inscrit dans un tableau entrée, dit « matrice GPS » qui permet de dresser un bilan des normes actuelles, de repérer les redondances et les manques et de programmer le développement des normes à venir.

La matrice GPS générale fait apparaître des chaînes pour dix-huit caractéristiques géométriques de l'élément considéré. Les caractéristiques recouvrent les notions de taille, distance, rayon, angle, forme, orientation, position, battement, profils, défauts de surface et arêtes. Les chaînes sont constituées de six maillons. Les deux derniers maillons concernent des normes du domaine de la métrologie.

Il faut de plus en plus prendre en compte tous les maillons pour comprendre pleinement une caractéristique d'un élément.

Les six maillons permettent de passer progressivement de l'aspect symbolique d'une tolérance aux exigences d'étalonnage de l'instrument de mesure.

Dans le tableau 1-2, on a les symboles suivants :

**(R)** : indique les normes en cours de révision

**?** : indique l'absence de norme pour ce maillon

Les six maillons sont respectivement :

**Maillon 1** : Identification dans la documentation - Codification

Façon d'indiquer sur le dessin la caractéristique de la pièce. Définition des symboles et de la façon de les utiliser (calligraphie, syntaxe et grammaire).

**Maillon 2** : Définition des tolérances - Définition théorique et valeurs

Définition des valeurs numériques associées aux symboles, d'un point de vue textuel et d'un point de vue mathématique par rapport à l'élément nominal.

**Maillon 3** : Définitions des caractéristiques ou paramètres de l'élément extrait

Définition de l'élément extrait concerné par le symbole, d'un point de vue textuel et d'un point de vue mathématique.

Maillon 4 : Évaluation des écarts de la pièce - Comparaison avec les limites de la tolérance

Définition des exigences détaillées nécessaires à l'évaluation des écarts de la pièce par rapport à l'indication du dessin.

Maillon 5 : Exigences pour l'équipement de mesure

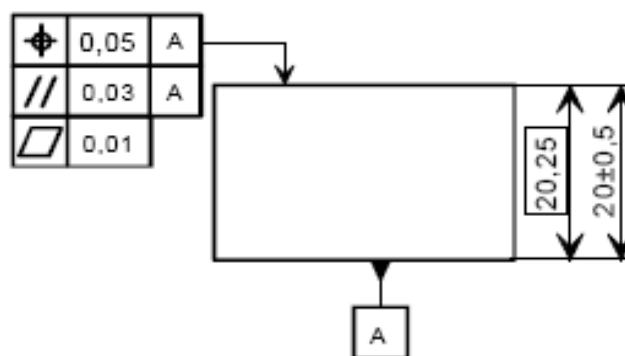
Prise en compte de la notion d'erreur.

Maillon 6 : Exigences d'étalonnage - Étalons d'étalonnage

La matrice GPS concerne essentiellement le normalisateur. En passant l'ensemble des normes du domaine par le filtre de la matrice GPS, il obtient directement les points sur lesquels il doit porter son attention.

## 2.2. Principe de tolérancement de base : l'indépendance

Le Principe de base est décrit dans la norme de base NF E 04-561 1991, ISO 8015 1985 [Chevalier ]. Chaque exigence dimensionnelle ou géométrique spécifiée sur un dessin doit être respectée en elle-même (indépendamment), sauf si une relation particulière est spécifiée.



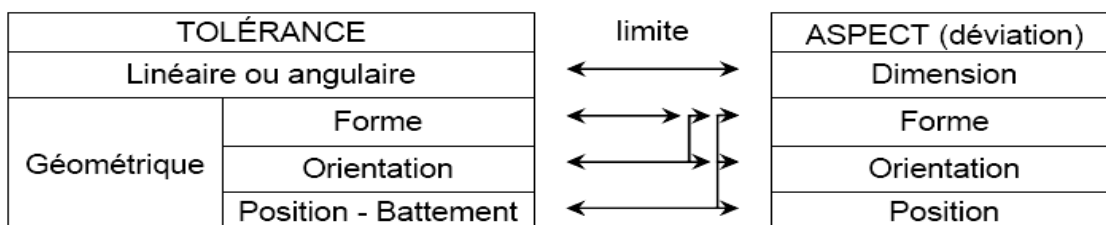
**Fig.1-1. Principe de l'indépendance.**

Sur la figure 1-1, les deux aspects, orientation et forme de l'élément plan supérieur ainsi que l'aspect dimension de l'élément couple de plan sont spécifiés. Les valeurs des différentes tolérances sont compatibles et cohérents, mais cela n'est pas du au principe de l'indépendance.

Selon le principe, chaque spécification s'applique indépendamment des autres. Que ce soit entre une tolérance dimensionnelle et une tolérance géométrique ou entre deux tolérances géométriques. C'est ce principe qui permet de lire chaque spécification sans prendre en compte les autres.

Habituellement, l'indépendance est montrée non pas entre tolérances mais entre les aspects, notamment entre l'aspect dimension et les autres aspects (forme, orientation et position). Ainsi l'aspect dimension du couple de plans est contraint par une tolérance linéaire indépendamment des autres aspects. La tolérance linéaire limite uniquement les dimensions locales réelles de l'élément mais pas ses écarts de forme, orientation ou position. La même notation s'applique à la spécification de la taille d'un cylindre.

Cependant cette explication n'est pas applicable à l'indépendance entre les trois autres aspects (forme, orientation et position) car les tolérances géométriques de même nom ne les contraignent pas de façon exclusive. Les tolérances géométriques d'orientation contraignent les déviations des aspects orientation et forme, les tolérances géométriques de position contraignent les aspects position, orientation et forme.



Il n'est pas possible avec les normes NF ou ISO de spécifier uniquement l'aspect position ou l'aspect orientation (la norme américaine ANSI prévoit une exigence sur la surface tangente T). Pour lier les différents types de tolérances, on utilise des modificateurs appelés exigences.

**Tableau 1-3. Exigences reliant les différents types de tolérances**

Aspects concernés et reliés	Exigences (Modificateurs)
dimension ↔ forme (géométrie)	Ⓔ Enveloppe
orientation ou position ↔ forme	toutes les tolérances géométriques
dimension ↔ forme ↔ orientation et/ou position	Ⓜ Ⓛ Maximum et minimum de matière

### 2.3. Tolérancement par zones de tolérance

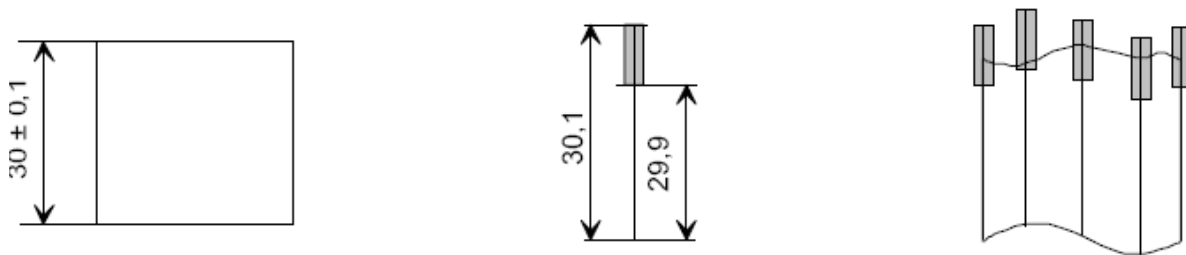
### 2.3.1. Tolérancement des dimensions (cotes et tolérances)

#### 2.3.1.1. Cote linéaire et sa tolérance

Une tolérance linéaire limite uniquement les dimensions linéaires locales :

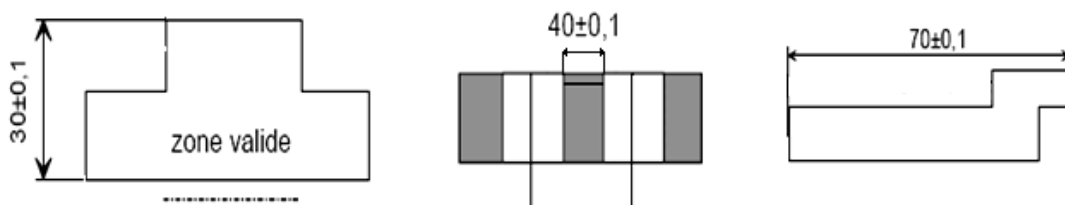
- Dimensions extérieures.
- Dimensions intérieures.
- Dimensions de décrochements.
- Diamètres.
- Rayons.
- Longueurs et chanfreins.

Une dimension linéaire locale, suivant la direction donnée par une ligne de cote est la longueur d'un segment de droite (distance entre les deux points externes) [Chevalier-99]. [1]



**Fig.1-2. Dimension locale simulée.**

Chaque bipoint (taille) voit sa dimension limitée par la valeur 30,1 mm en maximum et la valeur 29,9 mm en minimum. Le défaut de forme de l'élément, ici deux plans, n'est pas limité. Il est possible de limiter une dimension uniquement en valeur minimale ou uniquement en valeur maximale.



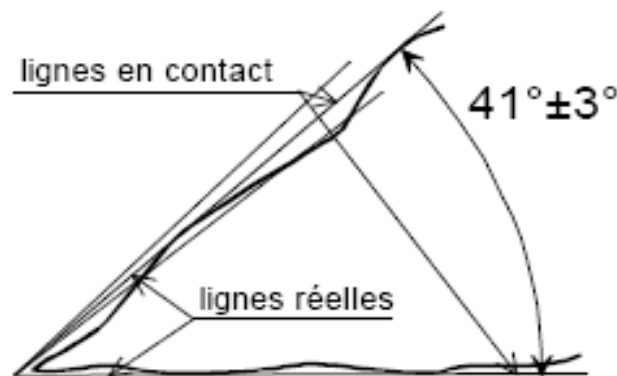
**Fig.1-3. Quelques cas de tolérancement.**

Une conséquence directe de la signification d'une cote tolérancée est qu'une cote linéaire n'a d'existence que si le bipoint existe physiquement.

Ainsi les cas de tolérancement de la figure 1-3, n'ont pas de signification certaine ou utile. La cote de 30 n'existe que dans la zone valide. Les points appartenant à des axes n'ont pas d'existence réelle, aussi il n'y a pas de signification à un bipoint entre deux axes. Les bipoints n'existent pas pour les cotes de 70 et 50.

### 2.3.1.2. Cote angulaire et sa tolérance[1]

Une tolérance angulaire, ..., limite uniquement l'orientation générale des lignes ou des éléments linéaires de surfaces mais pas leurs écarts de forme.



**Fig.1-4. Tolérance angulaire**

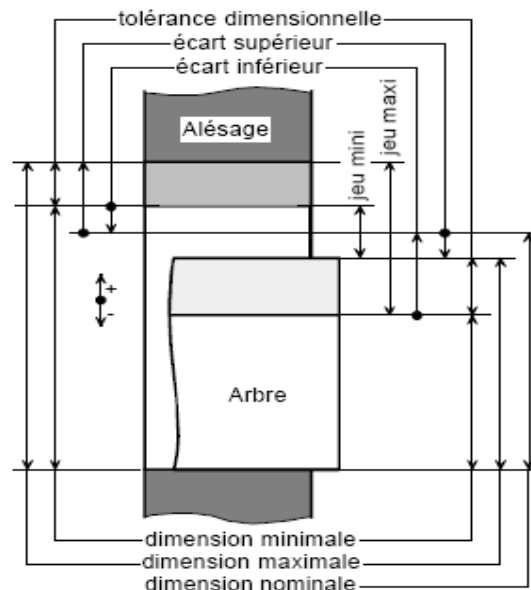
La ligne dérivée de la surface réelle est la ligne de forme géométrique idéale en contact avec la ligne réelle et dont la distance maximale entre les deux lignes soit la plus faible possible. La tolérance angulaire s'applique à la dimension angulaire entre deux lignes dérivées. Le plan dans lequel sont définies cote et tolérance peut être implicite ou explicite.

### 2.3.1.3. Ajustements

La norme NF EN 20286-1 – 2 déc. 1993 ISO 286-1 1988, s'applique essentiellement aux assemblages entre arbres et alésage et peut être étendue aux ajustements entre éléments simples de type couple de plans. Les pièces sont considérées comme étant lisses.

Un ajustement est un jeu ou serrage entre deux pièces devant s'assembler. La tolérance est la variation dimensionnelle admissible pour l'une des pièces (voir figure 1-5).

L'écart est constitué de la marge en plus ou en moins, par rapport à la dimension nominale des pièces à assembler, pour obtenir le jeu ou le serrage.



**Fig.1-5. Représentation des dimensions, écarts et tolérances[1]**

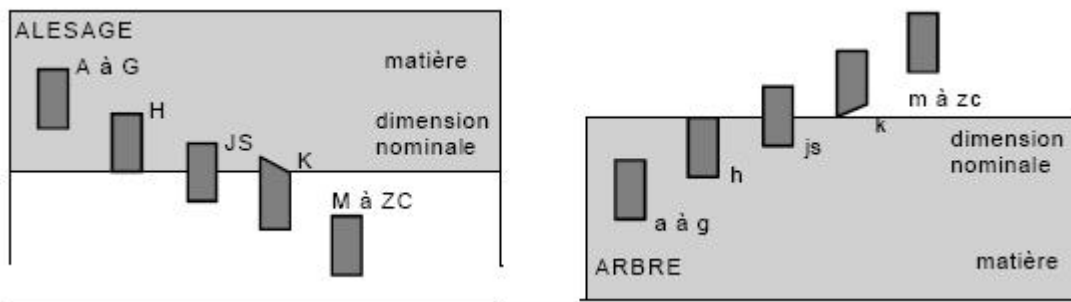
**Remarque :** la dimension est appelée cote lorsqu'elle est inscrite sur un dessin.

L'ajustement est désigné par un ensemble de caractères (52H7/g6) définissant

- La dimension nominale : 52
- Le symbole de classe de tolérance de l'alésage : H7
- Le symbole de classe de tolérance de l'arbre : g6

Le nombre s'appelle le degré de tolérance normalisé. C'est l'ensemble des tolérances considérées comme correspondant à un même degré de précision pour toutes les dimensions nominales : le nombre va de 1 (précis) à 18 (large), plus deux cas spéciaux 01 et 0. La lettre décrit la position de la zone de tolérance par rapport à la dimension nominale (voir figure 1-6). La lettre est majuscule pour les alésages, minuscule pour

les arbres. Elle va de A à ZC, soit 28 positions car les lettres i, l, o, q, w ne sont pas utilisées et des couples de lettres sont ajoutés : cd, fg, js.



**Fig.1-6. Position de la zone de tolérance par rapport à la dimension nominale[1]**

«a» ou «A» : position la plus loin de la dimension nominale du côté minimum de matière

«zc» ou «ZC» : position la plus loin de la dimension nominale du côté maximum de matière

«h» ou «H» : position en contact avec la dimension nominale du côté maximum de matière

«js» ou «JS» : position centrée sur la dimension nominale

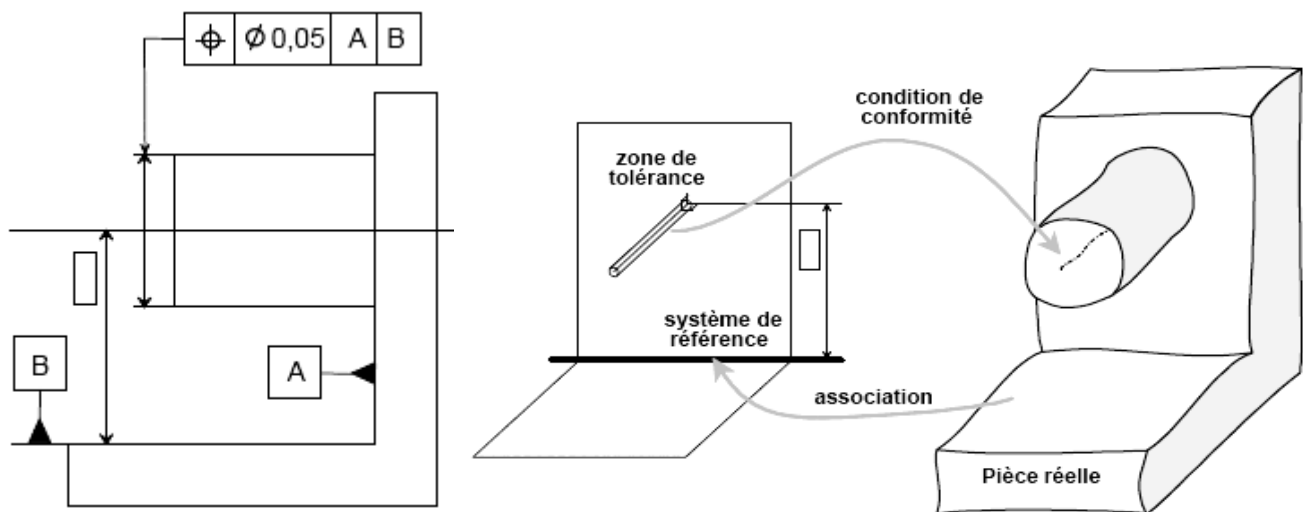
### **2.3.2. Tolérancement des aspects forme, orientation et position (tolérances géométriques)**

Tous les aspects d'un élément (forme, position, orientation) qui ne sont pas strictement dimensionnelles sont à tolérer à l'aide de tolérances géométriques.

Ces tolérances définissent toujours une zone de tolérance ce qui permet dans ce cas de parler de tolérancement par zone de tolérance. Une zone de tolérance définit une portion de l'espace d'une pièce réelle délimitant le lieu de validité d'un élément réel, la zone de tolérance peut être totalement libre en position par rapport à la pièce réelle, dans ce cas l'élément auquel s'adresse la tolérance est contraint uniquement sur ses caractéristiques propres (intrinsèques).

La zone de tolérance peut être positionnée par rapport à des éléments réels de la pièce, dans ce cas la notion de référence intervient (voir figure 1-7) . L'élément auquel s'adresse la tolérance est contraint sur ses caractéristiques propres et sur ses caractéristiques d'orientation et (ou) position par rapport à la référence.





**Fig.1-7. Position de la zone de tolérance [3]**

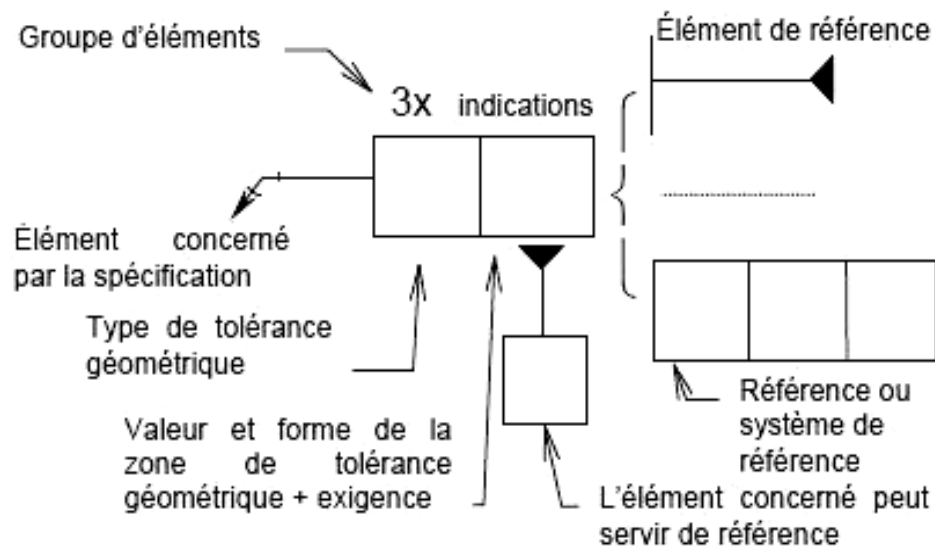
Il faudra donc accorder une attention toute particulière au rattachement des éléments géométriques constituant la zone de tolérance aux éléments de la pièce réelle.

Pour décrire les tolérances géométriques, la norme définit d'une part une zone de tolérance et d'autre part que « la surface tolérancée doit appartenir à la zone de tolérance » (fonction de conformité).

Les tolérances géométriques ne sont que des mots normalisés permettant de décrire géométriquement une zone de tolérance. Le cadre de tolérance constitue une phrase symbolique (encapsulée) décrivant les caractéristiques géométriques de la zone de tolérance (forme, étendue, position, libertés) dont il convient de maîtriser la structure pour construire sans erreur la zone de tolérance.

Le cadre de tolérance est composé au minimum de deux parties (voir figure 1-10) . Une case indiquant le type de tolérance géométrique, et une case indiquant la valeur de la tolérance.

Une troisième partie, à droite, est présente lorsque la zone de tolérance se construit par rapport à une référence ou un système de références.



**Fig.1-8. Constitution du cadre de tolérancement géométrique[1]**


Le cadre de tolérance est relié à l'élément tolérancé par une ligne de repère terminée par une flèche, selon les cas, la direction de la largeur de la zone de tolérance est dans la direction de la flèche et normale à la géométrie désignée. Une direction en clair (3x) précise le nombre d'élément concerné simultanément par la tolérance géométrique. Les éléments constituent alors un groupe d'éléments.

### 2.3.2.1. Référence et système de référence NF E 04-554 1988

Une référence est un élément géométrique réel ou fictif. Il peut être un point, une droite, un plan, une surface ou une combinaison de plusieurs références auxquels se rapporte un élément tolérancé géométriquement. Elle permet donc de positionner l'élément tolérancé par rapport à un autre élément.

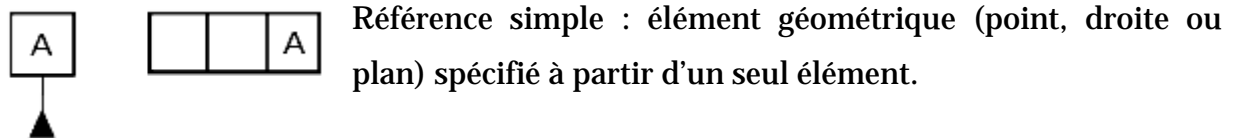
Par exemple, dans le cas d'une référence « A » attachée à un cylindre, on appelle « A » le cylindre réel alors que « A » en tant que référence est l'axe (dérivé) d'un cylindre minimale circonscrit associé au cylindre réel.

✓ **Ecritures des références**

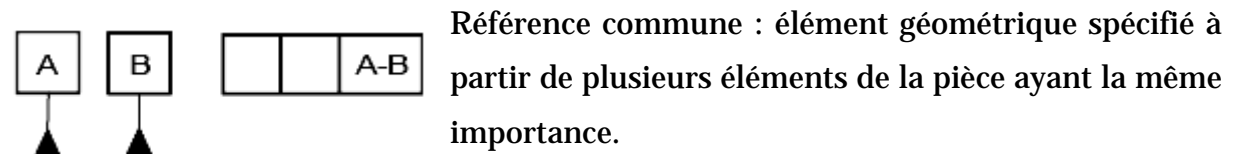
La référence est toujours désignée par une lettre majuscule dans un cadre  et ancrée sur l'élément géométrique ou sa représentation (trait de cote).

Selon la norme, il existe quatre types d'écritures de références [Schneider-05].

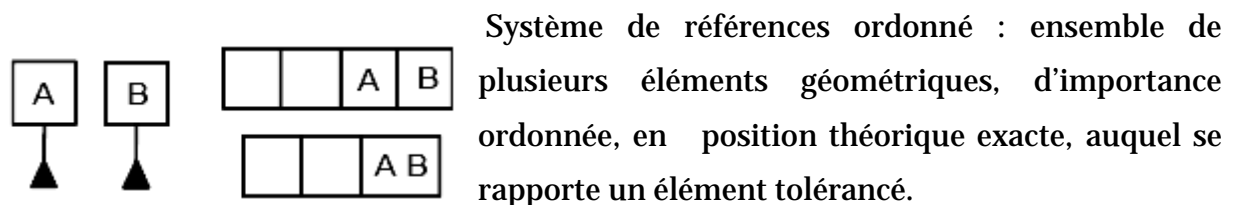
(a) *Référence simple*



(b) *Référence commune*



(c) *Système de références*



Système de références non ordonné, il n'y a pas de tiret entre A et B, ce n'est donc pas une référence commune. Le système de références non ordonné correspond à toutes les combinaisons de systèmes de références ordonnés que l'on puisse bâtir à partir des références spécifiées :



Le système de références ordonné est un système construit progressivement à partir des références réelles spécifiées indiquées dans les cases du cadre de tolérance.

L'ordre de construction est donné de la gauche vers la droite. Ainsi la référence la plus à gauche est la référence primaire, la suivante la référence secondaire, tertiaire.

### 2.3.2.2. Tolérances géométriques[1]

#### ✓ Classification des tolérances géométrique

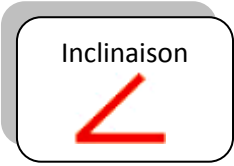
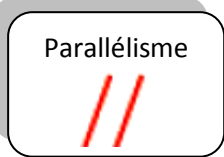
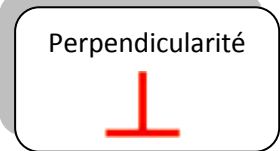
Les tolérances géométriques sont de natures diverses. On trouve des tolérances géométriques de forme, orientation, position et les tolérances de battement.

Les tolérances géométriques définissent toutes un même type de tolérance par zone, l'utilisation de symboles différents permet d'être plus ou moins concis. La tolérance de battement est cependant de nature légèrement différente des tolérances de forme, position et orientation, car elle relie de façon particulière les aspects forme, orientation et position.

#### ✓ Les tolérances d'orientation

Il existe 3 types de tolérances d'orientation indiquée dans le tableau 1-4. On remarquera que le parallélisme et la perpendicularité sont des cas particuliers de l'inclinaison. Plus proches des géométries conventionnelles rencontrées en mécanique, ce sont elles qu'on rencontrera le plus souvent [Benoit-06].


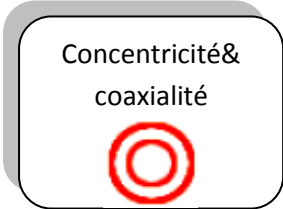
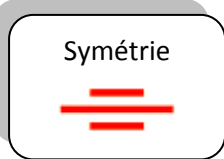
**Tableau 1-4. Tolérances d'orientation**

Cas général		Cas particuliers	
Inclinaison		Parallélisme	
		Perpendicularité	
<b>Toujours associée à une ou plusieurs références</b>			

✓ *Les tolérances de position*

Le tableau 1-5 représente les tolérances de position. La localisation théorique de l'élément est définie par rapport au système de référence, au moyen de cotes encadrées. La zone de tolérance est répartie également de part et d'autre de cette position théorique exacte.


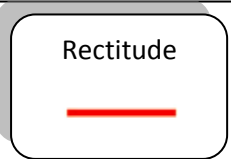
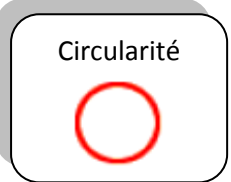

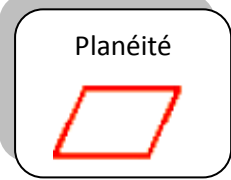
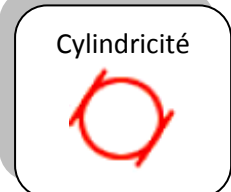
**Tableau 1-5. Représentation des tolérances de position[2]**

Cas général		Cas particuliers	
Localisation		Concentricité	
		Coaxialité	
		Symétrie	
<b><i>Souvent associée à une ou plusieurs références</i></b>		<b><i>Toujours associée à une ou plusieurs références</i></b>	

✓ *Tolérances de forme*

Le tableau 1-6 représente les différentes tolérances de forme telles que : cylindricité, circularité, planéité et rectitude.

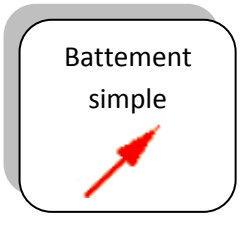
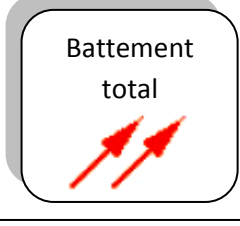
Tableau 1-6. Tolérances de forme[2]

Cas général		Cas particuliers	
Forme d'une ligne quelconque		Rectitude	
		Circularité	
Forme d'une surface quelconque		Planéité	
		Cylindricité	
<b><i>Jamais associée à une référence sauf cas particulier</i></b>		<b><i>Jamais associée à une référence</i></b>	

✓ *Les tolérances de battement*

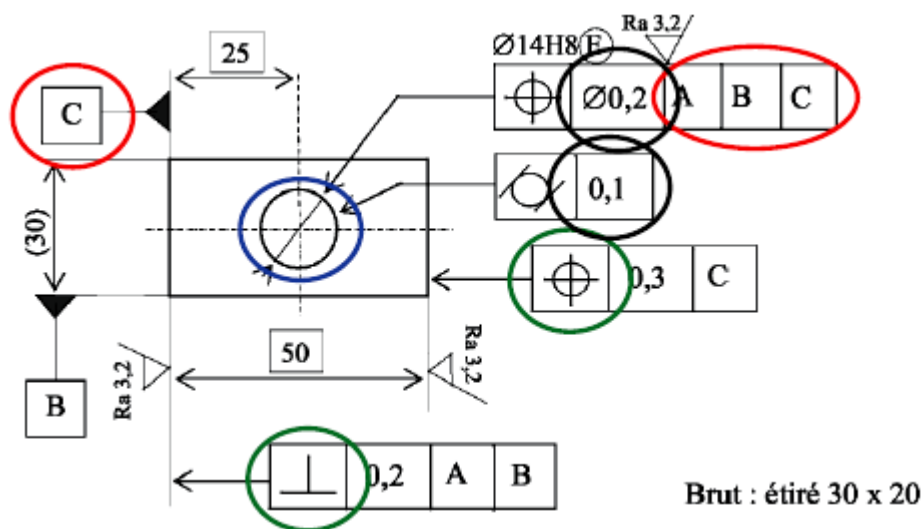
Le tableau 1-7 indique Les tolérances de battement qui s'appliquent aux surfaces de révolution. Elles permettent d'exprimer directement les exigences fonctionnelles de surfaces telles que : flasques d'embrayage, roues de friction, galets de roulement, jantes de roue, meules, sorties d'arbres de moteurs électriques.

**Tableau 1-7. Tolérances de battement[2]**

Battement simple	
Battement total	
<b><i>Toujours associée à une ou plusieurs références</i></b>	

✓ *Éléments constitutifs du tolérancement*

Dans la figure 1-9, on trouve quelques exemples de l'ensemble des éléments constitutifs du tolérancement géométrique d'un dessin de définition [Benoit-06].



**Fig. 1-9. Les éléments constitutifs du tolérancement géométrique[2]**

En synthèse, le tolérancement géométrique touche aux éléments suivants :


- En rouge: références
- En bleu: élément tolérancé
- En vert: typologie de la tolérance

– En noir: valeur de la tolérance


La connaissance approfondie de chacun de ces éléments permettra à l'étudiant de comprendre exactement les limites de conformité géométrique du composant défini par le plan. Par ailleurs, elle permettra également au concepteur d'imposer au travers d'un dessin normatif, l'expression de son besoin fonctionnel issu de ses études, calculs et simulation préalables.

#### **2.4. Etat de surface NF EN ISO 1302 AVRIL 2002 (E05-016)**


Les normes d'états de surface ont été révisées pour la plupart dans le cadre de l'application du concept GPS. La norme ISO 1302 concerne uniquement le maillon 1 (codification) des chaînes de normes. Elle n'est pas en totale correspondance avec la version précédente, il donc essentiel d'indiquer la date de parution lors de l'utilisation. Les états de surface sont décrits à partir de paramètres particuliers dérivés de la surface réelle de la pièce par une opération, ce qui correspond tout à fait à la notion de caractéristiques géométriques. Ainsi le tolérancement des états de surface relève de la spécification des caractéristiques géométriques plutôt que de la spécification par zone de tolérance.

Le symbole de base signifie  surface prise en considération [2]

Des graphismes particuliers donnent des informations complémentaires :

 : surface à usiner

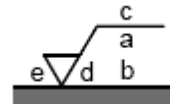
 : enlèvement de matière interdit

 : indication de spécifications complémentaires

 : indication valable pour toutes les surfaces du contour de la pièce



L'ajout d'indication s'effectue tout autour du symbole :



a : valeur maximale de rugosité en  $\mu\text{m}$  précédée de son paramètre,  $R_a$  ou autre. Si deux valeurs encadrantes sont nécessaires, la plus grande de situe au dessus de la plus petite.

b : procédé de fabrication en toutes lettres, traitement, revêtement ou autres exigences de fabrication.

c : hauteur d'ondulation en  $\mu\text{m}$  précédée de son paramètre ou /et longueur de base si elle n'est pas normalisée.

d : code de la direction des irrégularités de surface : = : parallèles au plan de projection de la vue, perpendiculaires, X : croisées, M : multidirectionnelles, C : circulaires par rapport au centre de la surface, R : radiales, P : particulières, non directionnelles ou protubérantes.

e : surépaisseur d'usinage.

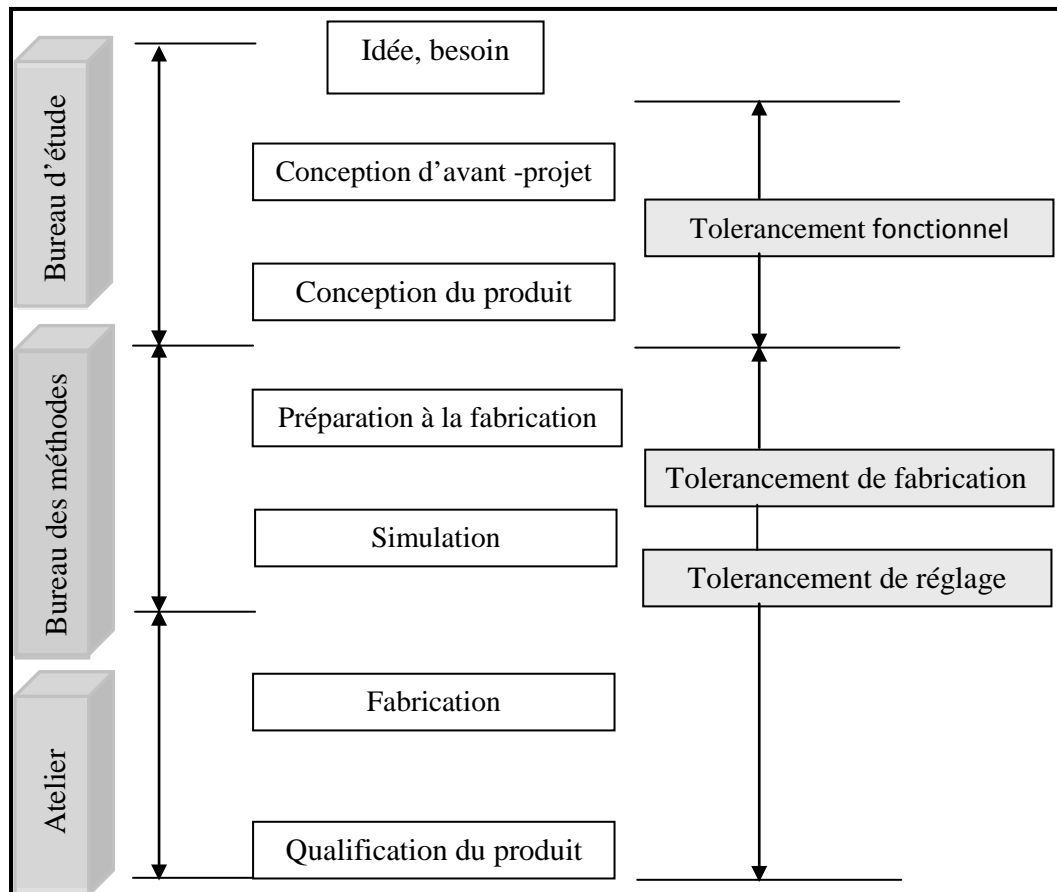
f : valeur de rugosité autre que  $R_a$  en  $\mu\text{m}$  précédée de son paramètre. Cette indication devrait disparaître au profit de l'emplacement a.

il est possible d'attacher le symbole d'état de surface à une ligne de repère terminée par une lèche pointant sur la surface.

Pour ne pas répéter un même symbole sur toutes surfaces, on peut indiquer ce symbole une fois sur le dessin suivi du symbole de base entre parenthèses. (✓)

### 3. Tolérancement de fabrication

Dans le processus d'industrialisation, il se compose du tolérancement fonctionnel en amont et du tolérancement de fabrication et de réglage en aval comme c'est montré dans la figure 1-11. Le tolérancement et le dimensionnement constituent la cotation.



**Fig. 1-10. Position du tolérancement dans le processus [HAMOU-04]**

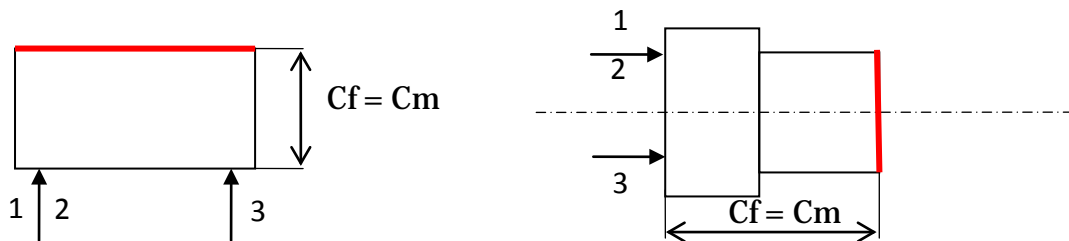
Une cote fabriquée appartient à une pièce fabriquée et intervient aux différents stades de fabrication, directement cote direct ou indirectement cote transférée dans le but d'obtenir une cote condition du bureau d'études ou de bureau des méthodes.

La cotation de fabrication permet de calculer les cotes de réglage. Elles participent à l'obtention de pièces conformes vis-à-vis de la cotation fonctionnelle. Le choix cotation de fabrication et du procédé qui lui est associé est en fonction de critères économiques et techniques. La littérature distingue trois types de cotes de fabrication

- Cote machine
- Cote outil
- Cote appareil

- Cote machine (**Cm**)

On appelle cote machine une cote de fabrication qui situe une surface usinée dans la phase considérée par rapport au référentiel machine de mise en position des pièces comme le montre la figure 1-11 .

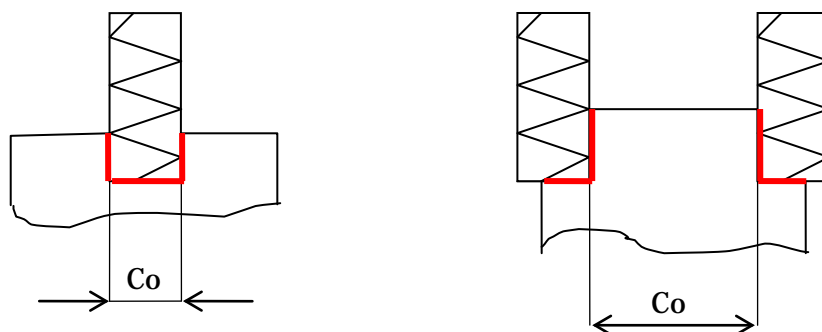


**Fig.1-11. Cote machine[2]**

- Cote outil (**Co**)

La cote outil est une cote de fabrication obtenue soit par :

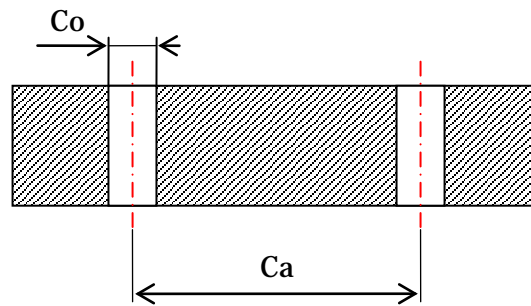
- La forme de l'outil montrée par la figure 1-14a.
- Deux outils solidaires d'un même porte outil illustré par la figure 1-12.



**Fig.1-12. Cote outil[2]**

- Cote appareil (**Ca**)

La cote appareil est une cote de fabrication obtenue sur la pièce grâce à un appareillage, par exemple; un montage de perçage montré par la figure 1-13 ou un gabarit de copiage.



**Fig.1-13. Cote appareil[2]**

#### 4. Conclusion

Le défaut totale  $\Delta l_i$  représente la distance entre deux plans parallèles enveloppant toutes les positions que pourrait prendre chacune des surfaces (surface usinée et surface référence).

Chaque intervalle de tolérance englobe l'ensemble des dispersions, tout en respectant la condition  $\sum \Delta l \leq IT_{BE}$ . Il ya aussi une possibilité d'optimisation de ces tolérances en se referant des dispersions et intervalle de tolérance de la cote BE concernée.

## **1. Introduction**

Dans la fabrication des pièces il y a toujours des erreurs qui provoquent les dispersions, notamment les erreurs de positionnement et de serrage de la pièce, les erreurs engendrées par les différents organes de la machine, ainsi que les erreurs dues à l'usure de l'outil. Dans ce qui suit nous donnons un aperçu sur les différentes dispersions d'usinage.

### **1.1. Théorie sur la précision d'usinage**

Pour la préparation de la gamme, le gammiste doit connaître :

- Les valeurs des déformations de l'ensemble machine-outil et la précision possible ;
- Pour chacune des opérations à réaliser, l'opérateur doit choisir parmi des machines de la classe correspondante pour atteindre la précision imposée ;

La recherche de la précision a pour objet d'assurer :

- La mise à la cote et la réalisation d'un état macro géométrique satisfaisant ;
- Approche de l'état micro géométrique idéal ;

Les deux derniers sont difficiles à réaliser s'il y a :

- Flexion de la pièce, de l'outil ou de leurs supports ;
- Usure de l'outil en cours d'usinage ;
- Les imperfections dans le guidage des chariots et des broches de machine ;

### **1.2. Classification des erreurs**

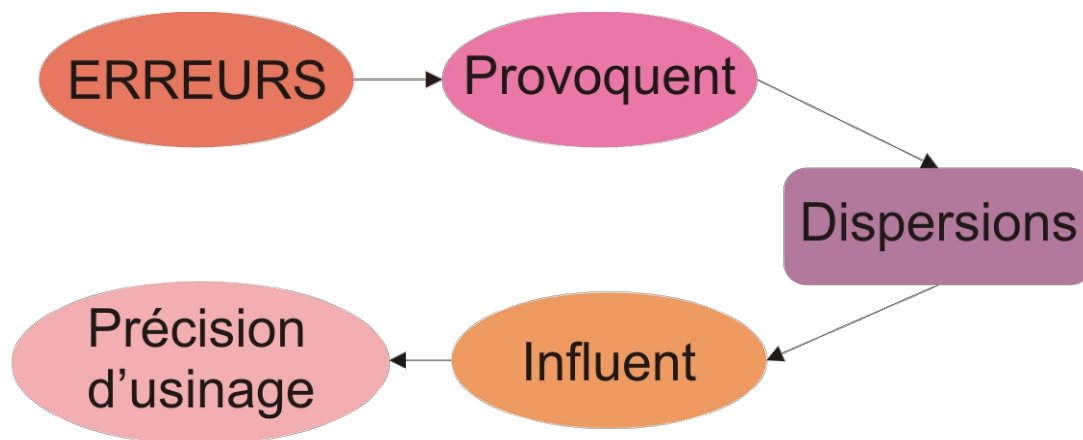
Les erreurs de fabrication sont classées en fonction de leurs sources :

- Erreur d'usinage (DU) ;
- Erreur de positionnement (DP) ;
- Erreur de serrage (DS) ;

Pour assurer la précision d'une pièce, il faut que la somme de ces erreurs ne dépasse pas l'intervalle de tolérance.

$$DU + DP + DS \leq IT \quad (2-1)$$

Ces erreurs sont la source principale des différentes dispersions. Celles-ci influent considérablement sur la précision d'usinage (voir la figure 2-1).



**Fig.2-1. Influence des erreurs sur la précision [06].**

## 2. Dispersions de fabrication

### 2.1. Définition

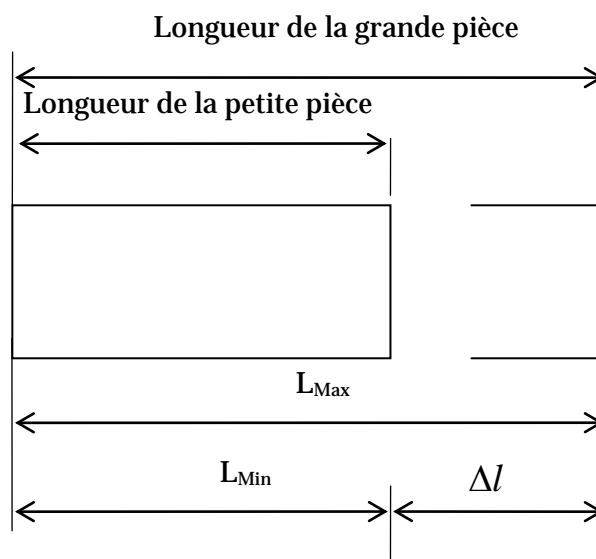
Dans un travail en série, lorsqu'on usine une longueur (L) d'une série de pièces dans les mêmes conditions (fabrication stabilisée), pour un réglage donné et une même durée de vie d'un outil, on constate que les dimensions obtenues sur les pièces varient. Elles sont égales à :

$$L + \varepsilon \quad (2.2)$$

Avec :

$$\underline{(\varepsilon \in R) \text{ et } (L \in R^+)}$$

Cette variation de longueur est appelée dispersion ; c'est la différence entre la plus grande et la plus petite dimension relevée sur une série de pièces réalisées à partir d'un même réglage d'outil [Gelin-Vincent-95]. Cette dispersion, illustrée par la figure 2-2, est appelée dispersion globale ou totale notée par  $(\Delta l)$ .



**Fig. 2-2. Exemple sur les dispersions**

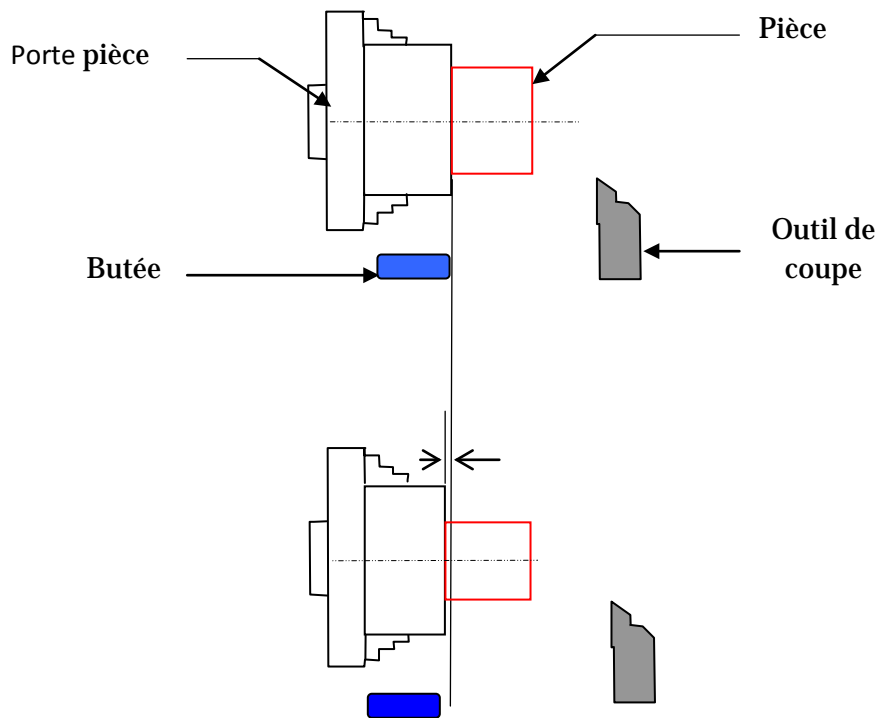
## 2.2. Etude des différentes dispersions[5]

Les différentes dispersions d'usinage sont :

- Dispersion dues à l'usure de l'outil ;
- Dispersion dues aux butées de fin de courses (voir la figure 2-3) ;
- Dispersion dues aux portes pièces et de maintien (voir la figure 2-4) ;
- Dispersion dues aux défauts géométriques des machines (voir la figure 2-5) ;
- Dispersion thermique ;

- Dispersions dues aux prises de pièces (défauts de forme de la surface liée à la référence) ;
- Dispersion de repérage de la pièce [ $\Delta R_p$ /machine] MOCN ;
- Dispersion de la remise en position de l'outil [ $\Delta P_o$ /machine] MOCN ;
- Dispersions dues aux défauts de formes de la surface usinée ;
- Dispersion géométrique ;
- Dispersions dues aux vibrations (machine, outil, pièce)

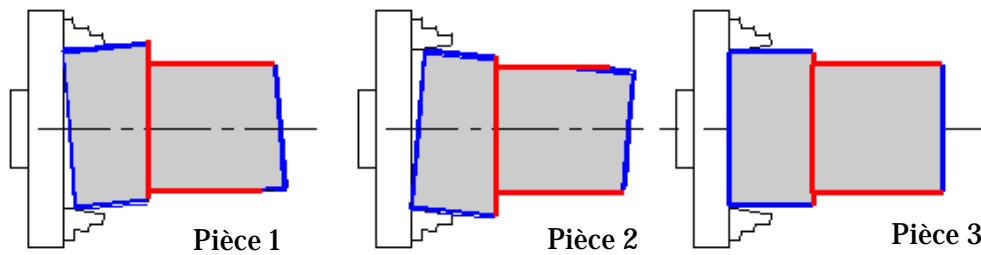
La figure 2-3 représente la dispersion provoquée par la butée de fin de course.



**Fig.2-3. Dispersion provoquée par la butée**

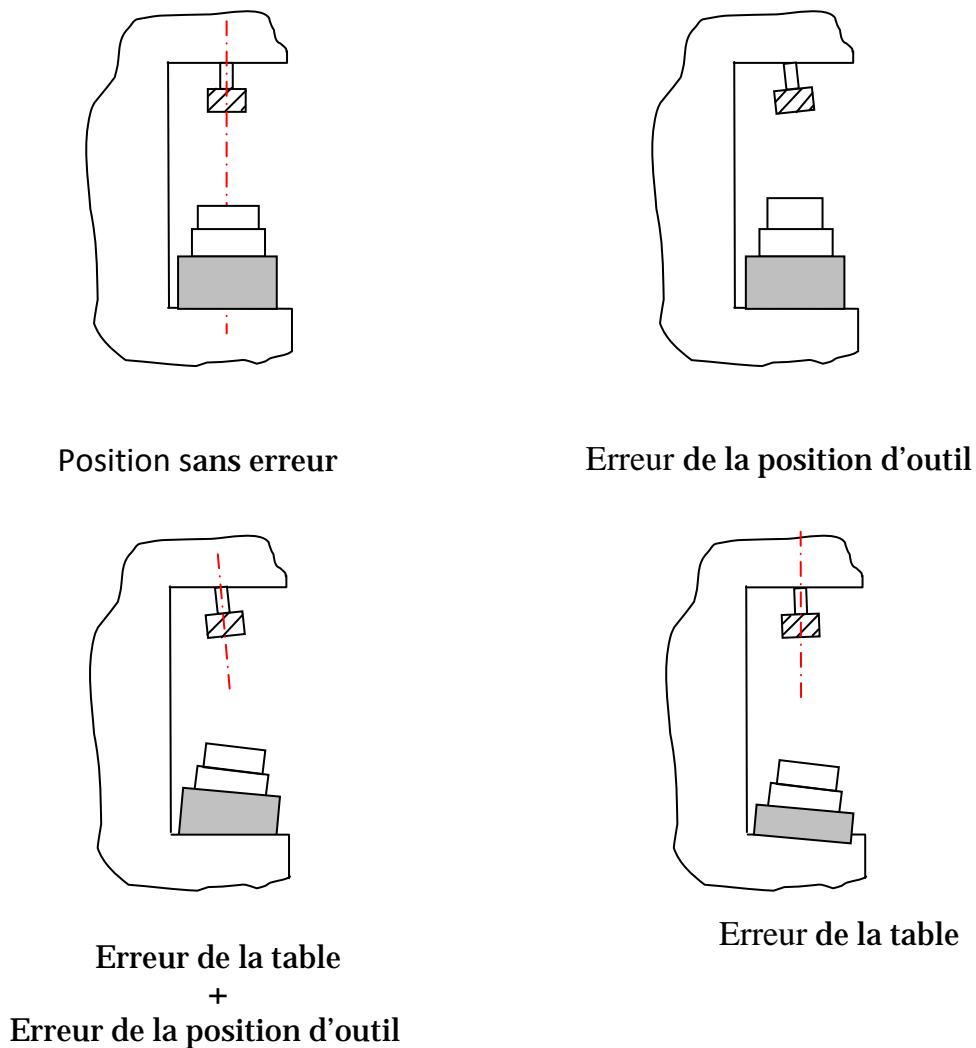


La figure 2-4 montre la déformation de l'organe porte pièce.



**Fig. 2-4. Déformation de l'organe porte pièce [Rahou-06].**

La figure ci-dessous illustre la dispersion géométrique de la machine.



**Fig.2-5. Dispersion géométrique de la machine**

En général, la littérature technique classe ces dispersions en trois catégories [5]:

- Dispersion aléatoire ( $\Delta a$ )
- Dispersion systématique ( $\Delta s$ )
- Dispersion géométrique ( $\Delta g$ )

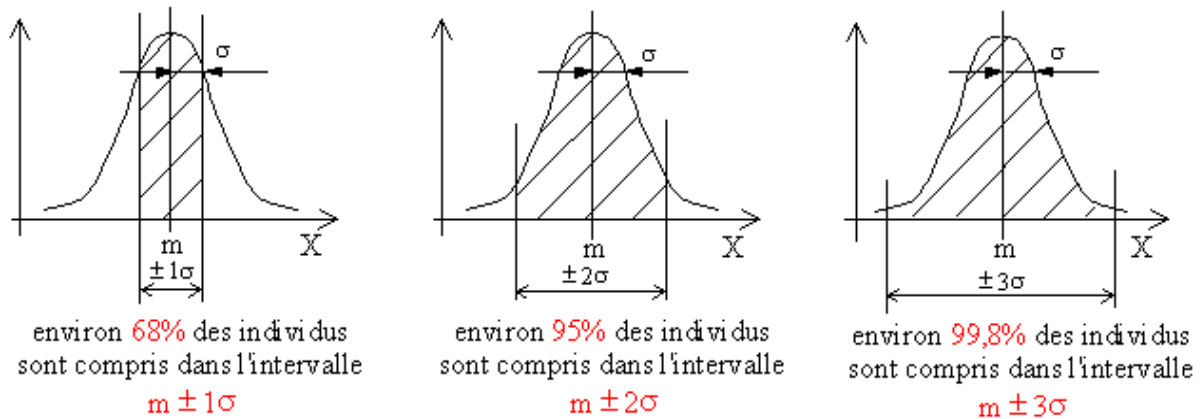
### 2.3. Dispersion aléatoire ( $\Delta a$ ) [5]

Lors de la réalisation de chaque pièce, certains paramètres d'usinage subissent des variations aléatoires plus ou moins importantes dues à la :

- machine
  - La butée d'usinage glisse pendant la série ;
  - La machine s'arrête à mi-série ;
  - La machine n'est pas en ordre de marche ;
- outil
  - Un changement d'outil pendant l'usinage de la série ;
- Pièce
  - Démontage de la pièce;
  - Mise en position hyperstatique dans le repère machine ;

Plusieurs expériences montrent que la distribution de la dispersion aléatoire suit une loi normale (la loi de Gauss) [Cabl-Glisson-81] comme illustre dans la figure 2-6, son expression est la suivante :

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2-3)$$



**Fig.2-6. Capacité d'un procédé d'usinage**

Cette loi est caractérisée par sa moyenne  $\bar{x}$  et son écart-type  $\sigma$  (ou sa variance  $v(x)$ ).

**- Étendue**

L'étendue est la différence entre la valeur maximale et la valeur minimale du caractère statistique.

$$\text{Etendue} = X_{\text{Max}} - X_{\text{Min}} \tag{2-}$$

4)

**- La moyenne qui est**

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N n_i x_i \tag{2-5}$$

**- Variance et l'écart type**

La variance  $v(x)$  permet d'obtenir la caractéristique fondamentale de la dispersion, à partir de laquelle, on peut obtenir l'écart type ( $\sigma$ ):

$$v(x) = \sum_{i=1}^N \frac{n_i}{N} (x_i - \bar{x})^2 \tag{2.6}$$

$$\sigma = \sqrt{v(x)} \quad (2-7)$$

Avec :

$x_i$  : grandeur de l'élément  $n_i$

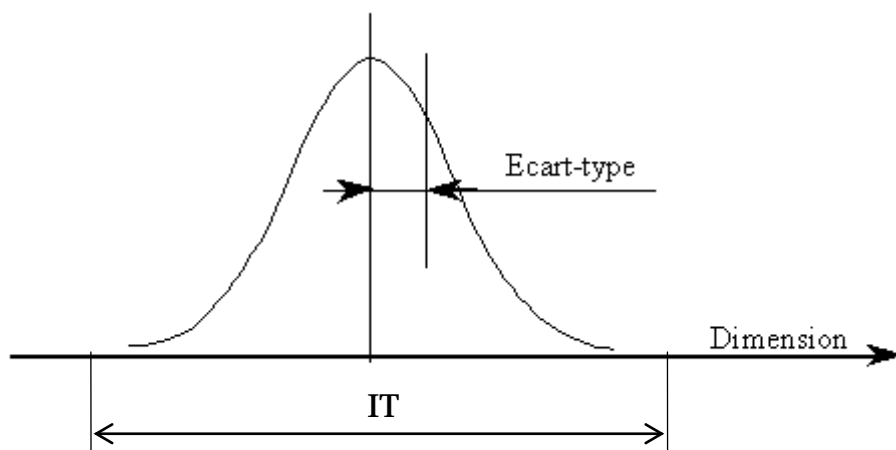
$N$  : taille de la population.

#### 2.4. Comparaison entre la dispersion de fabrication et l'intervalle de tolérance

Soit  $IT$  un intervalle de tolérance de fabrication de dimension mise sous contrôle et  $6\sigma$  la dispersion du moyen de fabrication. La comparaison entre  $IT$  et  $6\sigma$  est présentée par trois cas [Butin, Pinot-86] :

1<sup>er</sup> Cas  $6\sigma < IT$  :

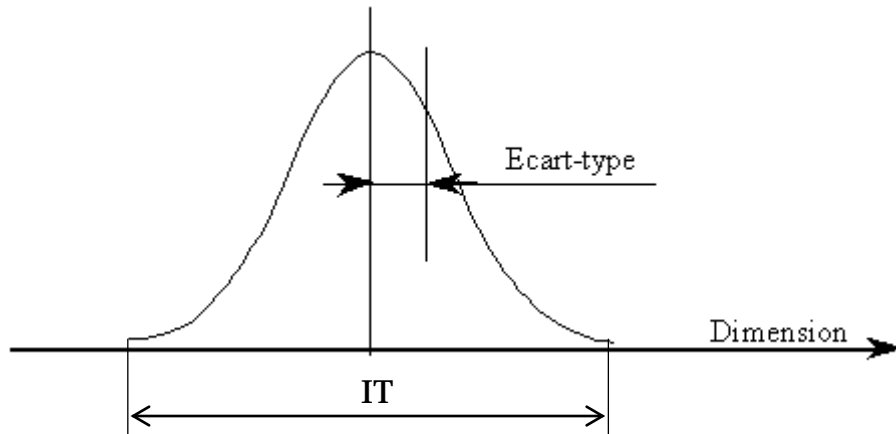
Comme illustre la figure 2-7, le processus garantit la réalisation de la spécification ; il n'y pas de rebut de pièces. On dispose d'une latitude de réglage de la position de la moyenne en début de série.



**Fig.2-7. Cas  $6\sigma < IT$**

2<sup>em</sup> Cas  $6\sigma = IT$  : ce cas est illustré par la figure 2-8.

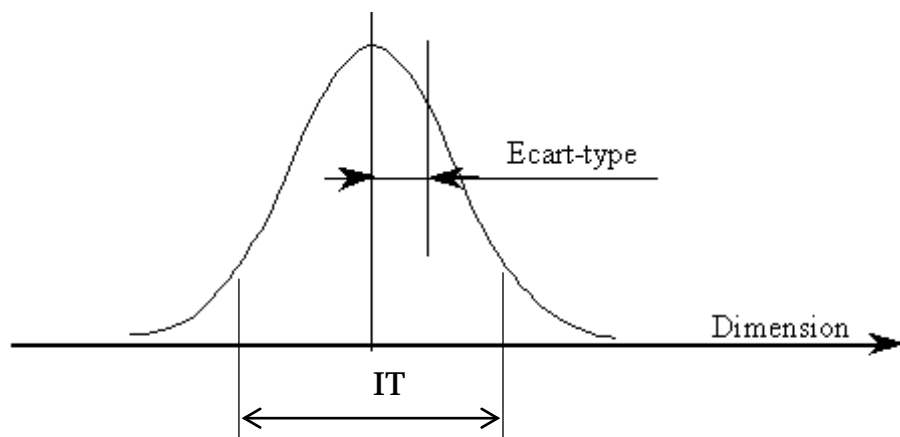
Le taux de pièces bonnes prévues au départ est respecté. On ne dispose d'aucune latitude de réglage. Tout déplacement de la moyenne engendre du rebut.



**Fig.2-8. Cas  $6\sigma = IT$**

3<sup>em</sup> Cas  $6\sigma > IT$  : ce cas est représenté par la figure 2-9

Le processus ne convient pas, il n'est pas conforme. On produit du rebut. Dans ce cas, Il faut trier les pièces bonnes des mauvaises ou changer les moyens de production.

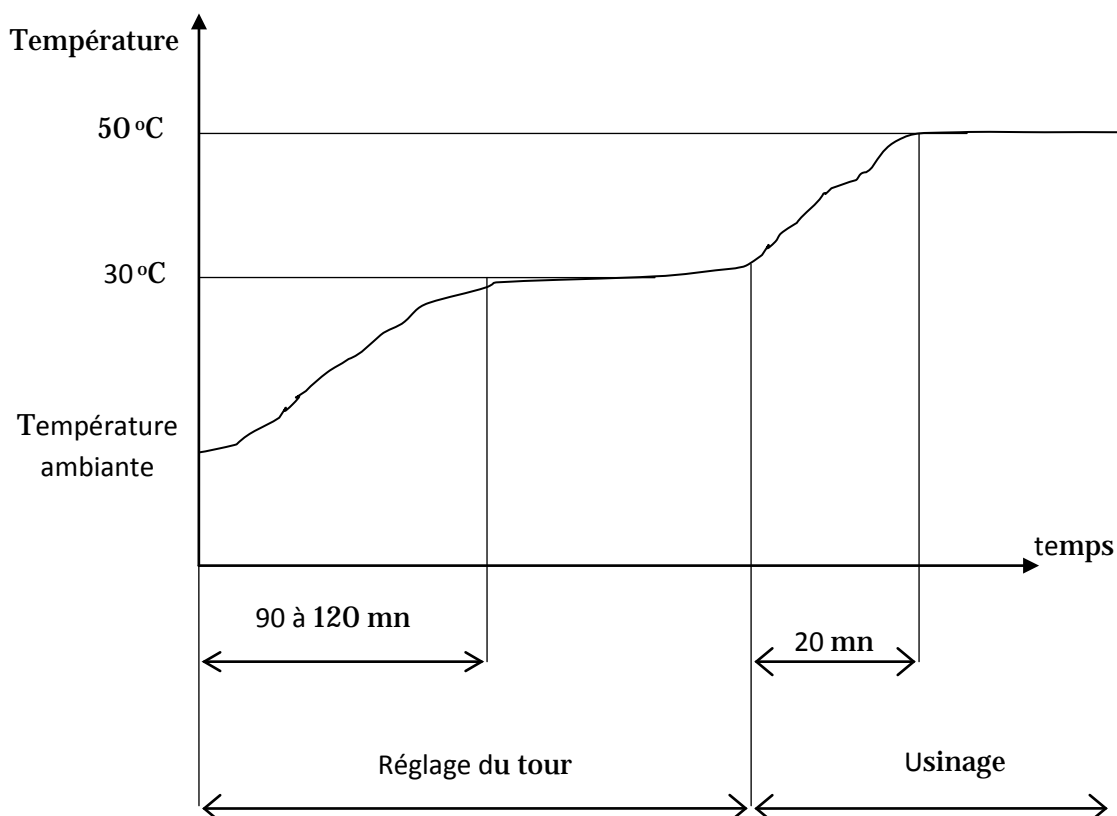


**Fig.2-9. Cas  $6\sigma > IT$**

## 2.5. Dispersion thermique

Lors d'un lancement de production, sur un tour HES 400 (à broche non réfrigérée) arrêté et à température ambiante, on remarque que le spectre de la température présent deux paliers comme le montre la figure 2-10. Au bout d'environ une heure (ce temps est fonction de la température ambiante si le local est non climatisé), la mise en route de l'hydraulique fait monter la broche à une température de 30°C, cela sans aucune action d'usinage. Des que les usinages commencent, la broche se stabilise, en environ 20mn, à sa température de fonctionnement qui est de 50°C.

Sur les tours de précision, la broche est réfrigérée. De même, l'armoire électrique et électronique est climatisée pour éviter les dérives des caractéristiques des composants. Dans les ateliers non climatisés, il est courant de trouver des programmes de commande numérique adaptée à la température de l'atelier.



**Fig.2-10. Evolution thermique d'une broche de tour [06]**

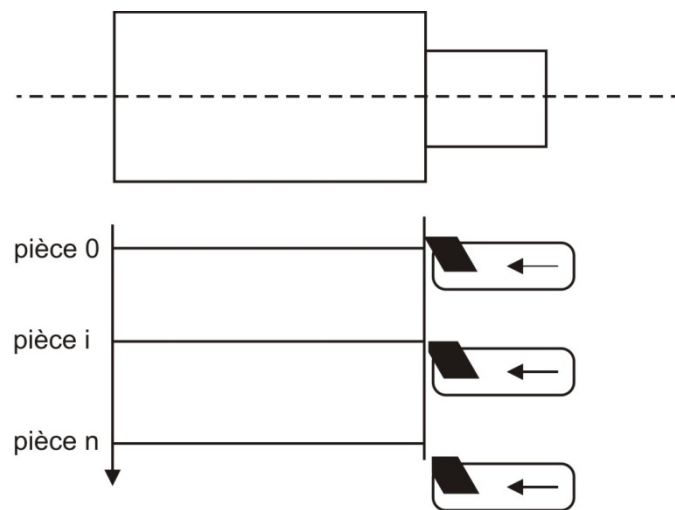
Il est parfois difficile de faire stabiliser le processus sans réaliser des usinages, c'est le cas par exemple de la stabilisation des montages de perçage sur machine verticale. Les copeaux se stockent durant l'usinage sur la face supérieure du porte pièce, ils sont une source de chaleur qui dilate le montage. Dans ce cas, il faudra mathématiquement appliquer une correction après réalisation des essais.

On générale la dispersion thermique est immergée dans la dispersion aléatoire.

## 2.6. Dispersion systématique ( $\Delta s$ )

### 2.6.1. Définition

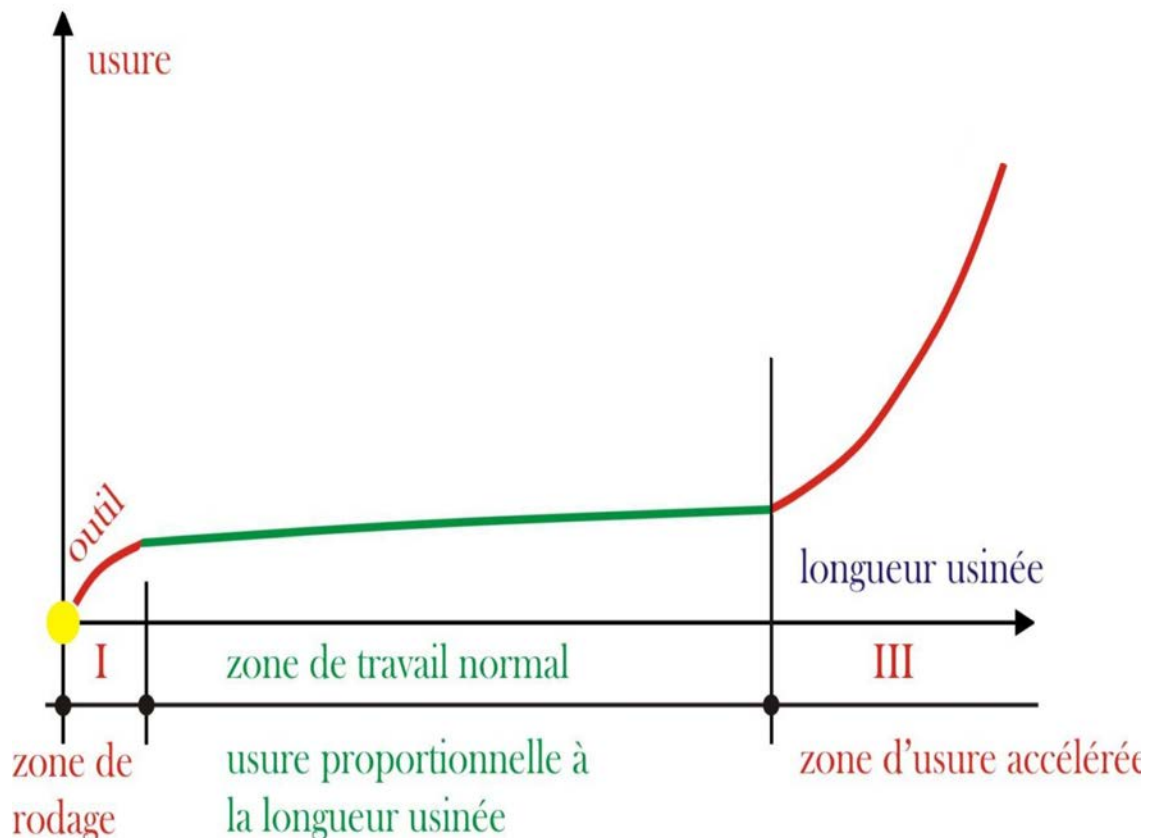
Cette dispersion due essentiellement à l'usure de l'outil de coupe entre la réalisation de la première pièce et la dernière pièce d'une série donnée comme montre la figure 2-11. Autrement dit, après un réglage les premières pièces auront une dimension  $d$  qui progressivement augmente pour arriver au fur et à mesure que l'outil s'use à une dimension  $d + \Delta s$ .



**Fig.2-11. L'usure de l'outil après  $K^{\text{eme}}$  pièce. [4]**

### 2.6.2. L'usure de l'outil de coupe en fonction de la longueur

Une étude expérimentale montre que l'usure de l'outil suit une loi très caractéristique dont la représentation graphique, en coordonnées rectangulaires donne l'allure générale comme illustre la figure 2-12.



**Fig.2-12. L'usure de l'outil de coupe en fonction de la longueur [06]**

A partir du graphe représenté ci-dessus, on distingue trois zones :

- zone de rodage I : c'est la période d'adaptation à la coupe de l'arrête tranchante ; cette période peut être réduite par un rodage artificiel de l'arrête, il y a lieu d'éviter cette zone pour procéder à un réglage de machine outil.

- zone d'usure linéaire II : l'usure de l'outil suit une loi pratiquement linéaire proportionnellement à la longueur de coupe.



$$U = K \cdot L \quad (2-8)$$

Avec :

U : la valeur de l'usure constatée.

K : constante dépendant de la matière et la géométrie de l'outil ainsi que la matière du matériau usiné.

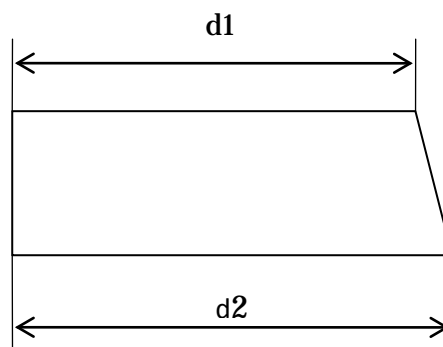
L : la longueur de coupe effectuée par l'outil.

- zone d'usure accélérée : lorsque l'usure de l'arrête tranchante atteint une certaine valeur, sa détérioration s'accélère rapidement et peut aller jusqu'à la rupture de l'outil, la puissance nécessaire à l'usinage augmente très rapidement.

### 2-7. Dispersion géométrique

Cette dispersion  $\Delta g$ , mise en évidence par le fait que la distance entre deux surfaces d'une même pièce, dépend de la position des points de mesure. On peut intégrer cette dispersion en mesurant la pièce en plusieurs endroits et en faisant la moyenne des dimensions. C'est ce qui est utilisé pour le sciage et le tournage (voir la figure 2-13).

$$d2 - d1 = \Delta g \quad (2-9)$$

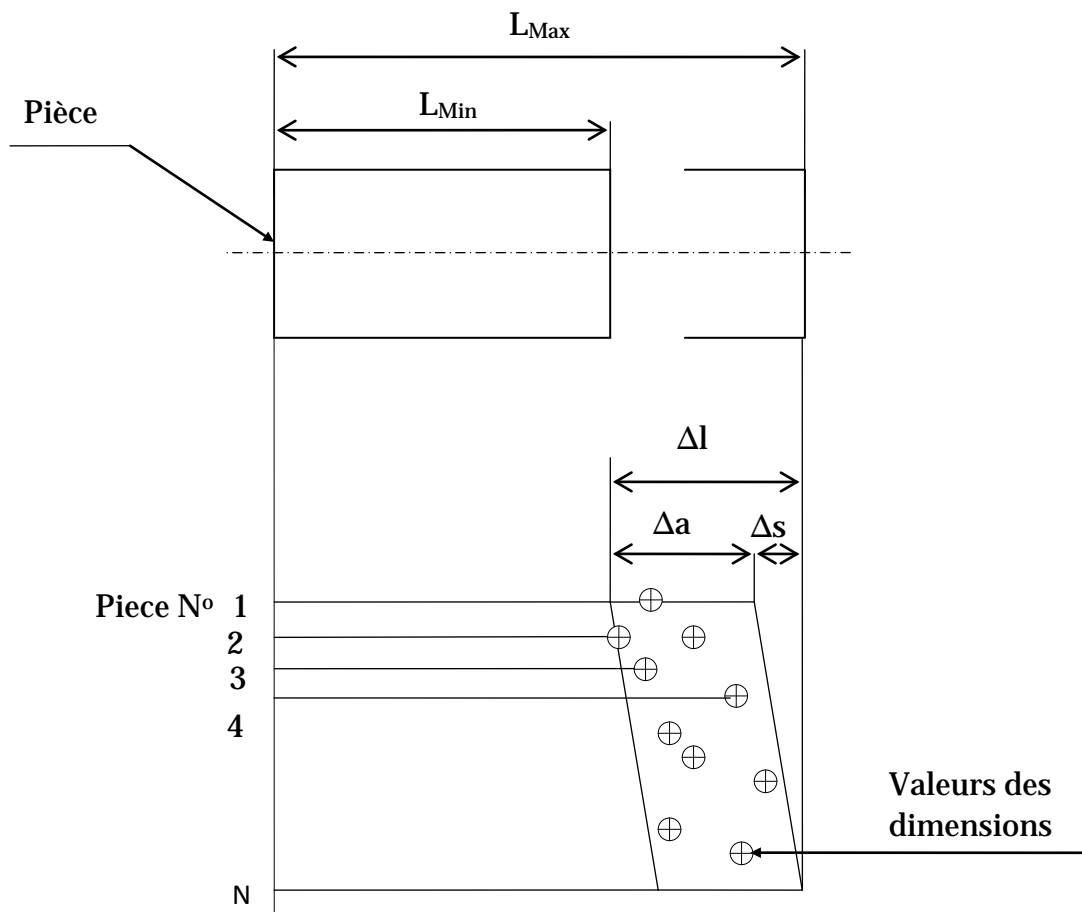


**Fig. 2-13. Dispersion géométrique. [4]**

**2-8. Dispersion totale**

La dispersion totale, illustrée par la figure 2-13, est la somme des dispersions. Elle est donnée par l'équation (2-10) :

$$\Delta l = \Delta a + \Delta s + \Delta g \tag{2-10}$$



**Fig. 2-14. Dispersion totale.**

### 3. Les effets des dispersions sur les cotes de réglage

Lors d'un travail sériel, la position d'un outil par rapport au porte pièce, est définie par une cote de réglage  $Cr$ . Cette dernière permet d'obtenir le plus grand nombre possible de pièces bonnes entre deux affûtages.

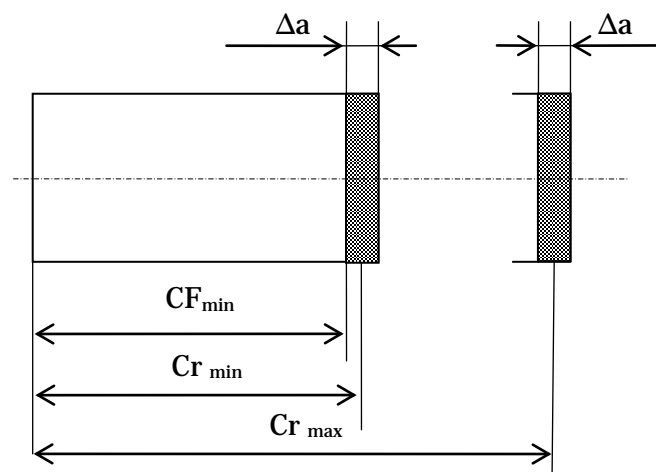
Pour calculer les cotes de réglages, il faut tenir compte des effets des dispersions.

#### 3.1. Effet de la dispersion aléatoire ( $\Delta s = 0$ )

Même si l'usure de l'outil est négligeable (cas d'une faible longueur de coupe), les dimensions obtenues sur les pièces varient dans un intervalle  $\Delta a$  centré par rapport à la cote théorique de réglage (voir la figure 2-15).

Il en résulte que la cote minimale de réglage, montrée par l'équation (2-11) doit être égale à la cote minimale de la cote de fabrication plus la moitié de la dispersion aléatoire.

$$Cr_{\min} = CF + \frac{\Delta a}{2} \quad (2-11)$$

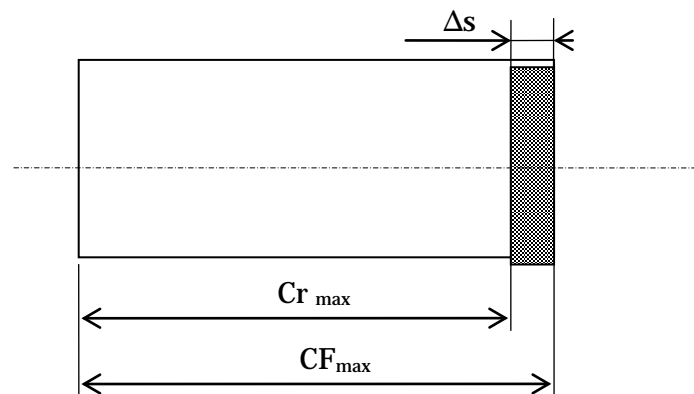


**Fig.2-15. Effet de la dispersion aléatoire. [1]**

### 3.2. Effet de la dispersion systématique ( $\Delta a=0$ )

L'usure d'outil augmente les cotes de fabrication d'une valeur maximale  $\Delta s$  comme le montre la figure 2-16. Il en résulte que la cote maximale de réglage doit être égale à la cote de fabrication maximale  $CF_{\max}$  moins la dispersion systématique.

$$Cr_{\max} = CF_{\max} - \Delta s \quad (2.12)$$



**Fig.2-16. Effet de la dispersion systématique[1]**

### 3.3. Effet cumule

Dans le cas où il y a les deux effets (systématique et aléatoire), on a les équations (2-13) et (2-14) :

$$Cr_{\min} = CF_{\min} + \frac{\Delta a}{2} \quad (2-13)$$

$$Cr_{\max} = CF_{\max} - \left( \Delta s + \frac{\Delta a}{2} \right) \quad (2-14)$$

Si l'usure de l'outil diminue les cotes de fabrication (cas de dressage), on a les équations (2-15) et (2-16) .

$$Cr_{\min} = CF_{\min} + \left( \Delta s + \frac{\Delta a}{2} \right) \tag{2-15}$$

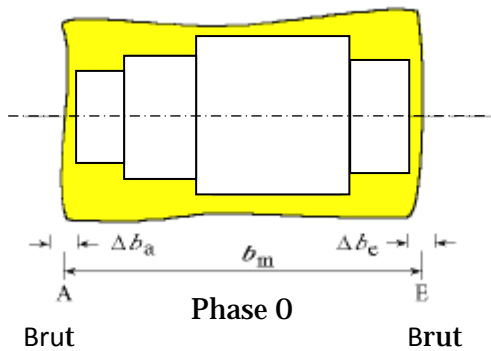
$$Cr_{\max} = CF_{\max} - \frac{\Delta a}{2} \tag{2-16}$$

**4. Les dispersions axiales en tournage**

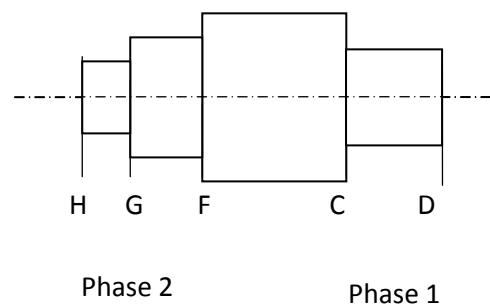
Un exemple d'usinage d'une pièce sur tour, a fait l'objet d'une étude pour détailler cette partie.

**4.1. Produit fini et séquence de travail**

Le sciage d'une barre engendre les surfaces A et E à la phase 0, production du brut de tournage, qui est montré par la figure 2-17. Le tournage engendrera les surfaces C et D à la première phase, et les surfaces F, G et H à la deuxième phase, qui sont illustrées par la figure 2-18 après retournement de la pièce dans les mors du mandrin. Le tronçonnage comporte une dispersion. Donc la surface A peut être sciée un peu à gauche ou un peu à droite de l'endroit prévu, dans le repère de la scie. Cette dispersion est notée  $\Delta b_a$  (variation de mise en position de la surface « A » du brut sur la scie). Il en va de même pour la surface E, avec une dispersion  $\Delta b_e$ . Admettons des dispersions réparties également de part et d'autre des positions nominales réglées des deux surfaces. C'est-à-dire que le tronçon peut être  $\frac{1}{2}\Delta b_a + \frac{1}{2}\Delta b_e$  plus long ou plus court. La valeur nominale est la longueur médiane  $b_m$ . Dès que le brut est démonté de la scie, les dispersions  $b_a$  et  $b_e$  perdent leur individualité.



**Fig. 2-17. Croquis du brut**

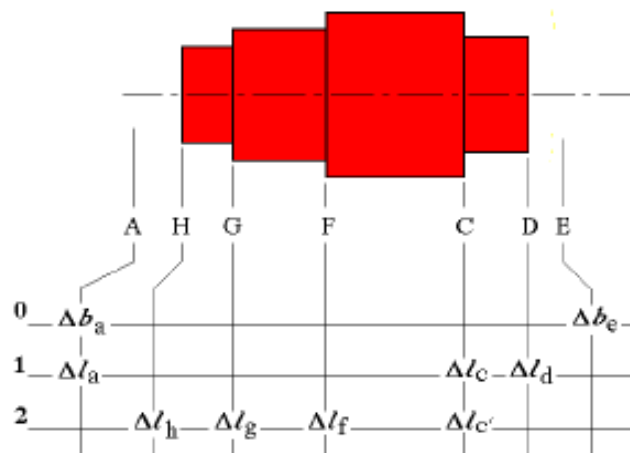


**Fig.2-18. Croquis de la pièce finie**

La figure 2-19 montre la séquence de travail ou contrat des phases :

- Phase 0 : engendrer le brut limité longitudinalement par les plans A et E ;
- Phase 1 : appui sur le plan A du sciage et dressage des plans C et D ;
- Phase 2 : appui sur le plan C dressé à la phase 1 et dressage des plans F, G et H ;

On écrit, un  $\Delta l_c$  pour le dressage de la face C dans la phase 1 et un  $\Delta l_{c'}$  pour l'appui sur le plan C dans la phase 2.



**Fig.2-19. Contrat des phases**

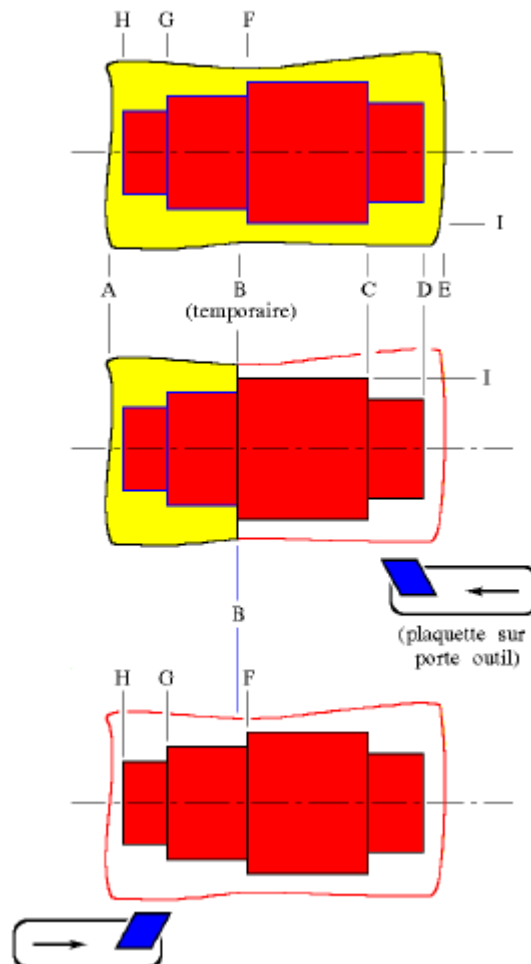
Dans cette séquence, s'insèrent les dispersions  $\Delta b$  ou  $\Delta l$  de chaque opération. Elles s'additionnent autant que la surface issue d'une opération sert de mise en référence dans une autre. La dispersion résultante entre les surfaces finies D et F dépend  $\Delta l_f$  et de  $\Delta l_d$ , mais aussi de  $\Delta l_c$  (dressage de C) et de  $\Delta l_{c'}$  (mise en butée sur C) qui établit C en tant que référence.

#### 4.2. Origines des dispersions

Les valeurs des dispersions  $\Delta b$  et  $\Delta l$  proviennent des aptitudes propres à la machine de sciage, à la machine de tournage, aux procédures utilisées pour effectuer réglages et mises en référence. À la scie, on obtiendra des différents  $\Delta b$  par exemple selon les moyennes de repérage. Sur le tour,  $\Delta l_a$  varie, selon les moyennes de chargement manuel ou robotisé mais aussi et surtout suivant le défaut de forme de la surface A

provenant des paramètres du sciage. Dans presque tous les cas, on peut identifier ces dispersions (structurer un système d'équation résoluble) grâce à des essais statistiques, et en ayant recours à des lissages mathématiques comme celui des moindres carrés. La figure 2.-20 montre le brut (de la phase 0), la pièce en cours (suite à la phase 1) et la pièce finie (après la 2 phase).

Afin de garantir l'uniformité de la surface cylindrique I, on la tourne entièrement pendant la phase 1. C'est-à-dire que l'on crée une surface temporaire B en deçà de la coordonnée pour laquelle on dressera le plan F à la phase 2 (voir la figure 2-20).



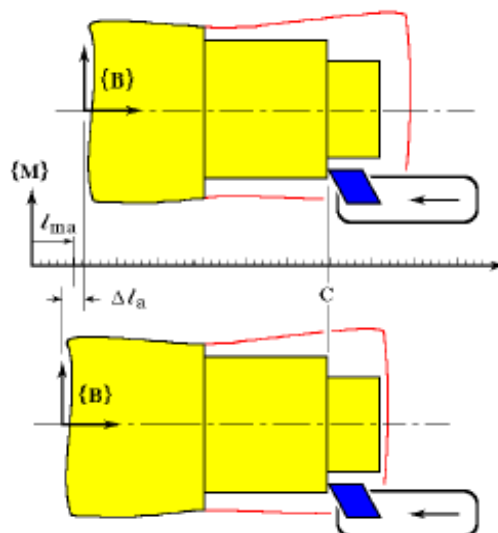
**Fig.2-20. Approche de l'outil en repère pièce.**

La phase 2 détruit la surface B. Pendant la première phase, l'outil approche la pièce de droite à gauche. On imagine le mandrin à la gauche du brut. Il y a retournement de la pièce entre les deux phases. Dans le repère machine  $\{M\}$ , l'outil se déplace dans le même sens dans les deux phases. Mais le retournement fait en sorte que dans le repère pièce, le sens de l'avance de l'outil paraît s'inverser d'une phase à l'autre.

Dans la dernière image de figure 2-20, il faut s'imaginer une pièce retenue par un mandrin à la droite du croquis.

### 4.3. Dispersion de mise en position du brut en repère machine

Soit deux bruts identiques tournés successivement (voir figure 2-21). Le repère machine  $\{M\}$  est invariant. La trajectoire de l'outil, dans  $\{M\}$  est la même (aucune erreur machine). La mise en position de la surface brute A sur la butée de broche (non illustrée) varie d'une pièce à l'autre. La machine n'a pas été modifiée, et la mise en référence médiane est  $l_{ma}$  pour les deux pièces. Cependant, l'une fût positionnée à une extrémité de la dispersion  $\Delta l_a$ , alors que l'autre événement s'est réalisé à l'extrémité opposée de la même fourchette. Par cette variation, la pièce n'est pas logée de la même façon dans les deux bruts. La distance  $d_{AC}$  entre les surfaces A et C varie d'une pièce à l'autre. Après retournement (phase 2), la mise en butée de la surface C a un effet analogue qui est noté  $\Delta l_c$ .



**Fig.2-21. Positionnement du brut.**



#### 4.4. Dispersion de mise en position de l'outil en repère machine

Soit deux bruts identiques et positionnés de la même façon dans le repère machine (comme le montre figure 2-22). La trajectoire programmée de l'outil est la même pour toutes les pièces. On observe maintenant l'effet d'une imprécision de la machine. Il y a une erreur de trajectoire d'outil de part et d'autre de l'objectif  $l_{mc}$  programmé.

Le dressage de la surface C se fera à l'intérieur d'une fourchette de dispersion  $\Delta l_c$ . Dispersion qui ne modifie pas la façon dont la pièce sera globalement logée dans le brut. Elle affecte plutôt les distances longitudinales  $d_{AC}$ ,  $d_{BC}$  et  $d_{CD}$  obtenues entre les plans A et C, B et C, ainsi que C et D.

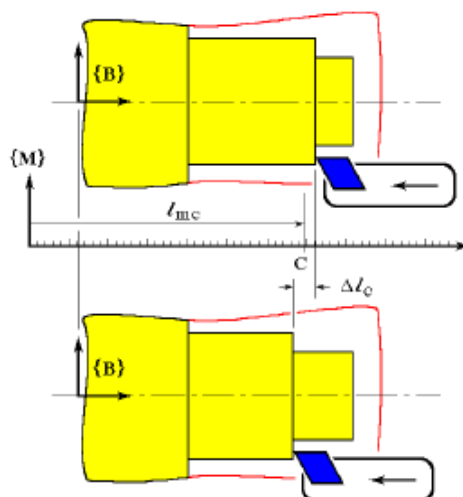
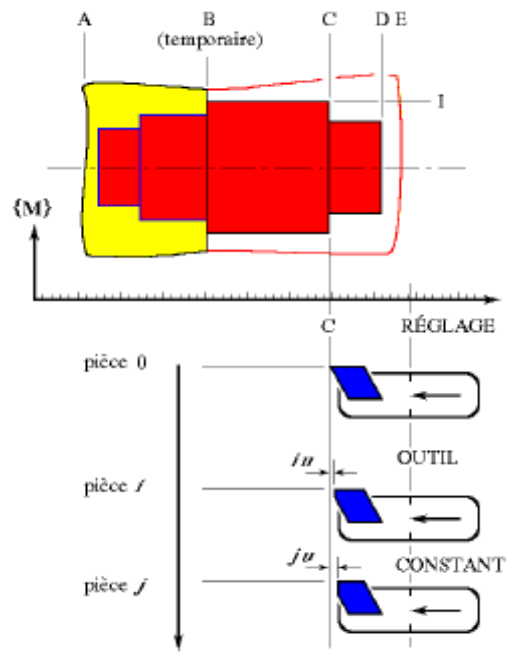


Fig.2-22. Répétition de trajectoire

#### 4.5. Usure de l'outil

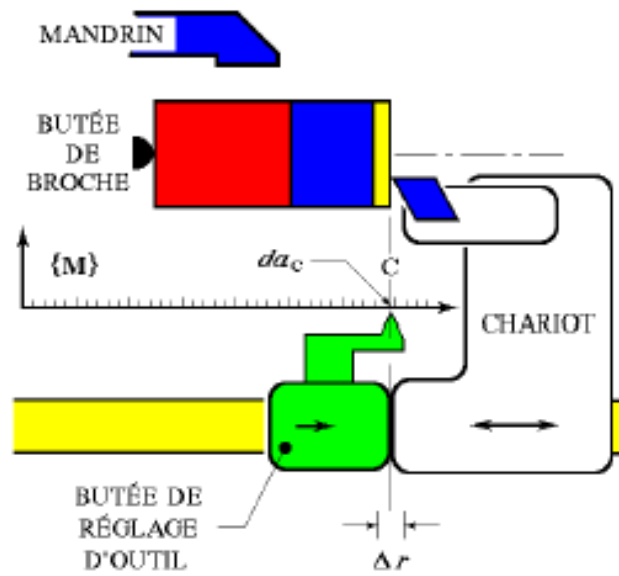
On constate que l'outil n'est pas usé, au début de la première pièce. Avec une plaquette neuve, le réglage outil est nécessaire. Il reste constant tout au long de la série de  $N$  pièces. À chaque pièce, la plaquette s'use, et sa face d'attaque recule si le réglage d'outil le même. Donc la dimension AC s'allonge d'une pièce à l'autre comme illustrée par la figure 2-23. L'allongement par pièce est de  $u$ , usure inter-pièce de la plaquette. Après  $i$  pièces, la longueur AC s'est allongée d'une valeur  $iu$  par rapport au réglage initial.



**Fig.2-23. Recul de la face d'attaque de l'outil**

#### 4.6. Dispersion de réglage

La figure 2-24 représente le réglage et dimension affichée.



**Fig.2-24. Réglage et dimension affichée**

La figure (2-24), montre le réglage est fait comme suit : en calculant la distance nominale désirée entre les plans A et C, on cale un étalon approprié sur la butée de broche. On approche l'ensemble chariot - porte outil - plaquette à utiliser pour l'usinage de la surface C sur la glissière du chariot.

Une fois établie le contact entre la plaquette et les cales, on approche la butée de réglage du chariot, et elle est fixée sur la glissière. Puis, le chariot est éloigné et les cales retirées.

La machine est réglée. Nominale, la face droite de la butée devrait se situer à la bonne place. Le curseur associé à la butée affiche une valeur sur la règle du repère machine. C'est la dimension affichée (da).

## **5. Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons présentés les dispersions d'usinage. Ces dispersions sont différentes d'un mécanisme à l'autre selon les moyens de montage ou équipements utilisés tels que le système de serrage dans une machine outil conventionnelle ou à commande numérique, les capteurs de position (les butées). Par contre les dispersions systématiques sont considérées les mêmes quelque soit la machine utilisée, avec des conditions de travail par exemple même outil de coupe et même matériau de la pièce usinée.

## 1.Introduction

En général les erreurs de fabrication sont classées en trois catégories. La première concerne les erreurs d'usinage telles que l'usure d'outil, dispersion thermique. La deuxième représente les erreurs de position tels que les défauts de serrage, défauts de la mise en position. Quant à la troisième, elle concerne les erreurs géométriques tels que les défauts géométriques de la machine, de la pièce,...

Ce chapitre est consacré à l'analyse de défauts de fabrication portant sur la mise en position, la trajectoire de l'outil de coupe et l'usure de l'outil de coupe.

## 2.Défaut de l'usure de l'outil de coupe

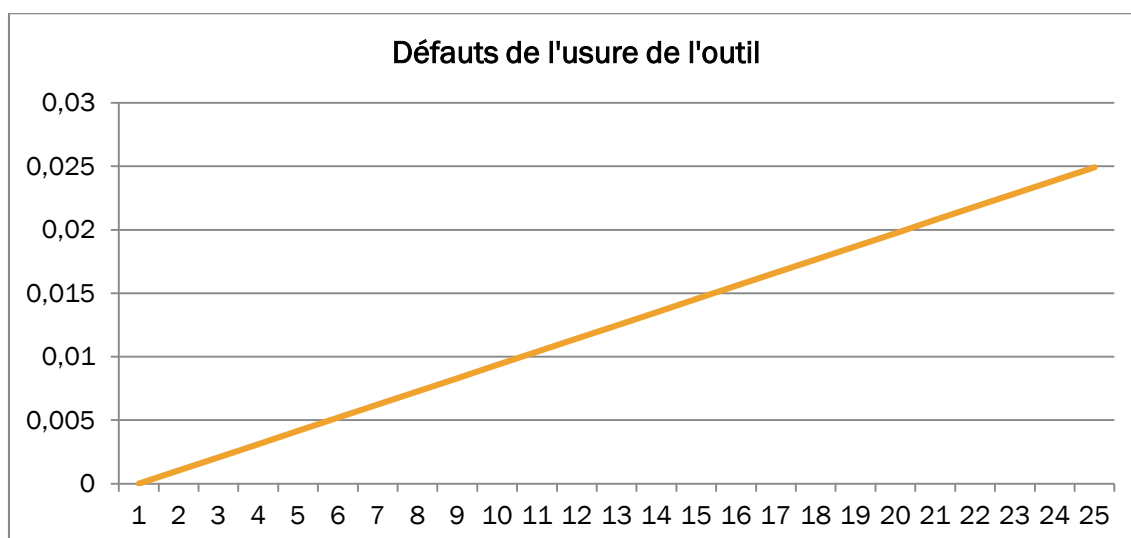
Le but de cette section est de quantifier les défauts dus à l'usure de l'outil de coupe. Pour atteindre cet objectif, on a utilisé les résultats de RAHOU portant sur l'influence de la dispersion systématique sur les tolérances de fabrication.

Nous avons utilisé la formule 3.1 pour calculer les valeurs de la dispersion systématique (l'usure de l'outil) ; ces résultats sont regroupés dans le tableau 3.1

Tbleau 3.1 : dispersion systématique[6]

<b>piece</b>	<b>DS</b>	<b>piece</b>	<b>DS</b>	<b>Piece</b>	<b>DS</b>
<b>1</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	0.00934803	<b>19</b>	0.01869606
<b>2</b>	0.00103867	<b>11</b>	0.0103867	<b>20</b>	0.01973473
<b>3</b>	0.00207734	<b>12</b>	0.01142537	<b>21</b>	0.0207734
<b>4</b>	0.00311601	<b>13</b>	0.01246404	<b>22</b>	0.02181207
<b>5</b>	0.00415468	<b>14</b>	0.01350271	<b>23</b>	0.02285074
<b>6</b>	0.00519335	<b>15</b>	0.01454138	<b>24</b>	0.02388941
<b>7</b>	0.00623202	<b>16</b>	0.01558005	<b>25</b>	0.02492808
<b>8</b>	0.00727069	<b>17</b>	0.01661872		
<b>9</b>	0.00830936	<b>18</b>	0.01765739		

### défauts dus à l'usure de l'outil de coupe



**Fig 3-1 : Dispersion systématique en fonction des pièces usinées**

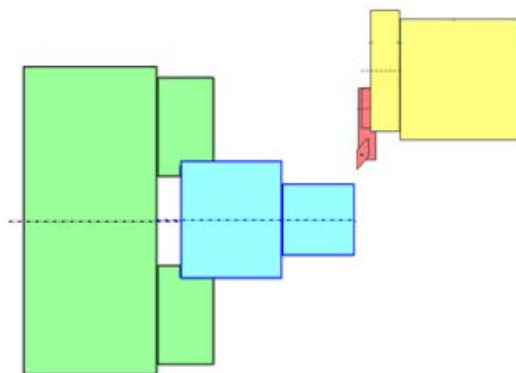
La figure 3-1 montre l'évolution de la dispersion systématique en fonction de la longueur usinée ou nombre de pièces. On remarque que cette évolution est une fonction linéaire croissante.

### 3. Défauts de la trajectoire de l'outil de coupe

Le but de cette partie est de quantifier les défauts dus à la trajectoire de l'outil de coupe. Afin d'atteindre cet objectif, une étude expérimentale axée sur deux essais a été réalisée.

Les conditions d'essais sont :

- Tour à commande numérique 4 axes (X, Z, U, W) ;
- Nombre d'essais : 25
- Déplacement à vide ;
- Appareil de mesure : calculateur du directeur de commande numérique ;
- Premier essai : déplacement sur une distance de 20 mm comme l'illustre la figure 3.2 ;
- Deuxième essai : déplacement sur une distance de 100 mm ;



**Fig 3-2 : trajectoire de l'outil de coupe**

### 3.1. Premier Essai « déplacement de 20mm »

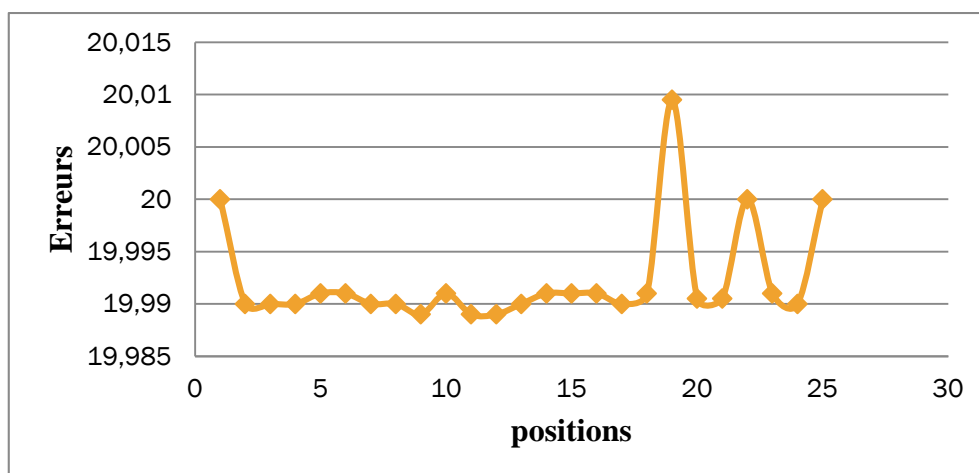
Le tableau 3.2 illustre les défauts dus à la trajectoire de l'outil de coupe pour un déplacement de 20 mm.

**Tableau 3.2 : Défauts de la trajectoire de l'outil de coupe « premier essai »**

[6]

<b>essais</b>	<b>Erreurs</b>	<b>essais</b>	<b>Erreurs</b>	<b>essais</b>	<b>Erreurs</b>
<b>1</b>	20	<b>10</b>	19.991	<b>19</b>	20.0095
<b>2</b>	19.99	<b>11</b>	19.989	<b>20</b>	19.9905
<b>3</b>	19.99	<b>12</b>	19.989	<b>21</b>	19.9905
<b>4</b>	19.99	<b>13</b>	19.99	<b>22</b>	20.0095
<b>5</b>	19.991	<b>14</b>	19.991	<b>23</b>	19.9905
<b>6</b>	19.991	<b>15</b>	19.991	<b>24</b>	19.9905
<b>7</b>	19.99	<b>16</b>	19.991	<b>25</b>	20.0095
<b>8</b>	19.99	<b>17</b>	19.99		
<b>9</b>	19.989	<b>18</b>	19.991		

La figure 3. 3 illustre l'évolution des défauts de la trajectoire de l'outil de coupe en fonction du numéro d'essais. On remarque que cette évolution est une fonction aléatoire.



**Fig 3.3. Défauts de la trajectoire de l'outil de coupe « premier essai »**

### 3.2. Deuxième Essai « déplacement de 100 mm »

Le tableau 3.3 illustre les défauts dus à la trajectoire de l'outil de coupe pour un déplacement de 100 mm.

**Tableau 3.3 : Défauts de la trajectoire de l'outil de coupe « deuxième essai » [6]**

<b>essais</b>	<b>Erreurs</b>	<b>essais</b>	<b>Erreurs</b>	<b>essais</b>	<b>Erreurs</b>
<b>1</b>	100	<b>10</b>	99.998	<b>19</b>	99.995
<b>2</b>	99.996	<b>11</b>	99.999	<b>20</b>	99.994
<b>3</b>	99.995	<b>12</b>	99.998	<b>21</b>	99.993
<b>4</b>	99.994	<b>13</b>	100.001	<b>22</b>	99.995
<b>5</b>	99.992	<b>14</b>	100	<b>23</b>	99.994
<b>6</b>	100	<b>15</b>	99.999	<b>24</b>	99.993
<b>7</b>	100	<b>16</b>	99.999	<b>25</b>	99.992
<b>8</b>	99.999	<b>17</b>	99.999		
<b>9</b>	99.999	<b>18</b>	99.998		

La figure 3.4 illustre l'évolution des défauts de la trajectoire de l'outil de coupe en fonction du numéro d'essais. On remarque que cette évolution est une fonction aléatoire.



**Figure 3.4. Défaits de la trajectoire de l'outil de coupe « deuxième essai »**

Le tableau 3.4 donne les Résultats statistiques pour les deux déplacements

**Tableau3.4 : Résultats statistiques**

<b>position</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Ecartype</b>	<b>6<math>\sigma</math></b>
30	19.99222	0.00486715	0.0292091
100	99.99688	0.00289137	0.0173482

D'après les deux essais, on remarque que les erreurs ou les défauts de la trajectoire de l'outil de coupe augmentent si on travail avec des petits déplacements.

#### **4. Défaits de la mise en position**

Le but de cette section est de quantifier les défauts dus à la mise en position. Pour atteindre cet objectif, on a utilisé les résultats de [6] portant sur l'influence de la dispersion aléatoire sur les tolérances de fabrication.

Le tableau 3.5 illustre les défauts de la mise en position



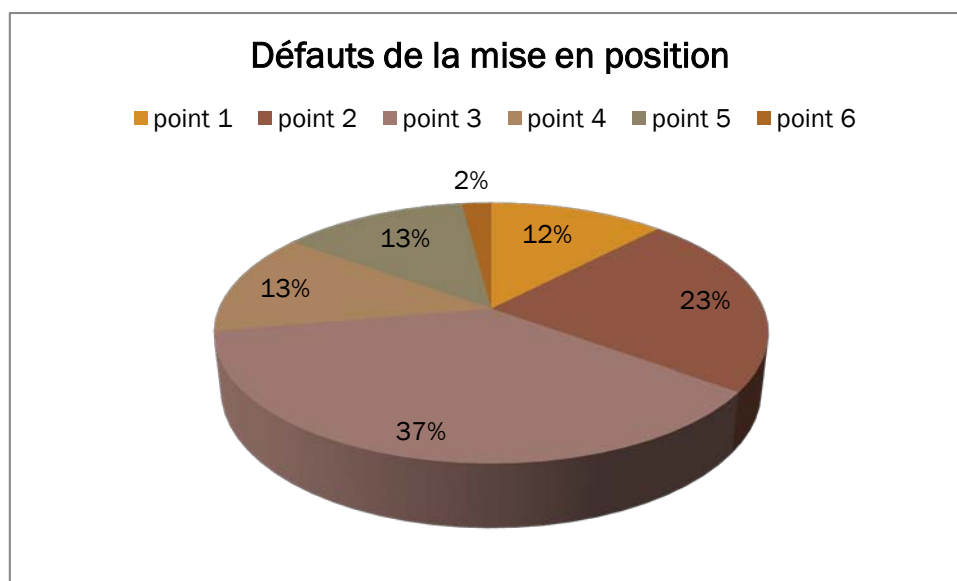
**Tableau 3.5 défauts de la mise en position[6]**

<b>Essais</b>	<b>normales de repérage</b>					
	<b>point N° 1</b>	<b>point N° 2</b>	<b>point N° 3</b>	<b>point N° 4</b>	<b>point N° 5</b>	<b>point N° 6</b>
<b>1</b>	0	0	0.02	0.005	0	0
<b>2</b>	0	0.01	0.02	0.01	0.005	0
<b>3</b>	0.01	0.005	0.03	0.005	0	0
<b>4</b>	0.02	0.01	0.04	0	0.005	0
<b>5</b>	0.02	0.015	0.035	0	0.01	0
<b>6</b>	0.01	0	0.02	0.005	0.005	0
<b>7</b>	0.01	0.05	0.03	0.005	0.01	0
<b>8</b>	0.01	0.05	0.035	0.01	0.01	0
<b>9</b>	0.015	0.05	0.04	0.01	0	0
<b>10</b>	0.01	0	0.03	0	0	0
<b>11</b>	0.01	0	0.03	0	0	0
<b>12</b>	0.01	0	0.04	0.005	0.005	0
<b>13</b>	0.02	0	0.03	0	0	0
<b>14</b>	0.01	0	0.03	0	0	0.005
<b>15</b>	0.01	0	0.035	0.005	0	0
<b>16</b>	0	0	0.03	0	0	0
<b>17</b>	0.01	0	0.025	0.005	0.005	0
<b>18</b>	0.005	0	0.03	0.01	0	0
<b>19</b>	0.005	0	0.02	0.01	0	0
<b>20</b>	0.01	0	0.02	0	0	0
<b>21</b>	0	0.005	0.03	0	0.01	0
<b>22</b>	0	0.005	0.025	0.005	0	0
<b>23</b>	0	0	0.02	0	0	0
<b>24</b>	0.005	0.005	0.03	0	0	0

<b>25</b>	0	0	0.025	0	0	0.005
<b>26</b>	0	0.005	0.03	0.015	0	0.005
<b>27</b>	0	0.01	0.02	0	0	0
<b>28</b>	0	0.005	0.02	0	0.005	0
<b>29</b>	0	0.005	0.02	0.01	0	0
<b>30</b>	0	0.01	0.02	0.01	0	0
<b>31</b>	0	0.01	0.02	0.015	0	0
<b>32</b>	0	0.005	0.02	0.01	0.01	0
<b>33</b>	0	0.01	0.02	0.01	0.005	0
<b>34</b>	0	0.01	0.02	0	0	0
<b>35</b>	0	0.01	0.02	0	0.005	0
<b>36</b>	0	0.01	0.02	0.015	0.01	0
<b>37</b>	0	0.01	0.02	0	0	0
<b>38</b>	0	0.01	0.015	0.01	0	0
<b>39</b>	0	0.01	0.01	0.005	0.015	0
<b>40</b>	0.01	0.015	0.01	0	0.01	0
<b>41</b>	0.01	0.01	0.015	0.005	0	0
<b>42</b>	0.01	0.015	0.02	0.015	0.01	0
<b>43</b>	0.005	0.01	0.01	0.01	0.01	0
<b>44</b>	0.01	0.02	0.01	0	0.005	0
<b>45</b>	0.01	0.02	0.015	0	0	0
<b>46</b>	0	0.01	0.01	0.005	0.005	0
<b>47</b>	0.01	0.015	0.02	0	0	0
<b>48</b>	0.01	0.015	0.01	0	0	0
<b>49</b>	0.01	0.015	0.01	0	0	0
<b>50</b>	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0
<b>51</b>	0	0.01	0.02	0	0	0
<b>52</b>	0.005	0.015	0.01	0.005	0.005	0

<b>53</b>	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0
<b>54</b>	0.01	0.01	0.01	0	0	0
<b>55</b>	0	0.02	0.01	0	0	0
<b>56</b>	0.01	0.015	0.01	0	0	0
<b>57</b>	0.005	0.015	0.01	0	0	0
<b>58</b>	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0
<b>59</b>	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0
<b>60</b>	0.01	0.02	0.01	0.01	0	0
<b>61</b>	0.01	0.02	0.015	0.015	0.01	0
<b>62</b>	0.005	0.02	0.01	0	0	0
<b>63</b>	0.01	0.02	0.015	0.005	0.005	0
<b>64</b>	0.01	0.02	0.01	0.005	0.005	0
<b>65</b>	0.01	0.02	0.01	0.005	0	0
<b>66</b>	0	0.01	0.01	0.015	0.01	0
<b>67</b>	0.01	0.02	0.01	0	0	0
<b>68</b>	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0
<b>69</b>	0	0.02	0.01	0	0	0
<b>70</b>	0.01	0.02	0.015	0	0	0
<b>71</b>	0.01	0.02	0.01	0.005	0.01	0
<b>72</b>	0.01	0.02	0.01	0.015	0.015	0
<b>73</b>	0.01	0.015	0.01	0.015	0.015	0
<b>74</b>	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0
<b>75</b>	0.01	0.02	0.01	0.005	0.01	0
<b>76</b>	0.01	0.015	0.01	0.01	0.015	0
<b>77</b>	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0
<b>78</b>	0.01	0.015	0.02	0.02	0.015	0
<b>79</b>	0.01	0.015	0.015	0.005	0.01	0
<b>80</b>	0.01	0.02	0.01	0.015	0.015	0

<b>81</b>	0.01	0.02	0.015	0	0.01	0
<b>82</b>	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0
<b>83</b>	0.01	0.015	0.01	0.01	0.015	0
<b>84</b>	0	0.01	0.02	0.01	0.01	0
<b>85</b>	0	0.015	0.01	0.005	0.01	0
<b>86</b>	0.01	0.02	0.01	0.005	0.015	0
<b>87</b>	0.01	0.015	0	0.01	0.01	0
<b>88</b>	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0
<b>89</b>	0.01	0.02	0.02	0	0.01	0
<b>90</b>	0.01	0.015	0.01	0.01	0.01	0
<b>91</b>	0.005	0.01	0.01	0.005	0.01	0
<b>92</b>	0.01	0.02	0.01	0	0.01	0
<b>93</b>	0.01	0.02	0.02	0.005	0.01	0
<b>94</b>	0.015	0.02	0.01	0.01	0.01	0
<b>95</b>	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0
<b>96</b>	0.01	0.02	0.02	0.015	0.015	0
<b>97</b>	0.01	0.02	0.015	0.01	0.015	0
<b>98</b>	0.01	0.02	0.015	0.005	0.01	0
<b>99</b>	0.01	0.015	0.01	0.015	0.01	0
<b>100</b>	0.01	0.02	0.02	0.01	0.015	0
<b>Moyenne</b>	0.0071	0.0137	0.019	0.006	0.0059	0.00015
<b>écart type</b>	0.00513	0.00958	0.01563	0.00537	0.00543	0.00086
<b>Variance</b>	2.64E-05	9.17E-05	0.00024	2.88E-05	2.95E-05	7.35E-07
<b>Min</b>	0	0	0	0	0	0
<b>Max</b>	0.02	0.05	0.04	0.02	0.015	0.005



**Fig 3-5 : Représentation statistique par secteur**

De la mise en position

La figure 3-5 montre les défauts de chaque appui. On remarque que l'erreur la plus importante se trouve au niveau de l'appui 3

## 5. Étude Comparative :

### 5.1. Etude comparative entre le défaut de l'usure et la trajectoire de l'outil

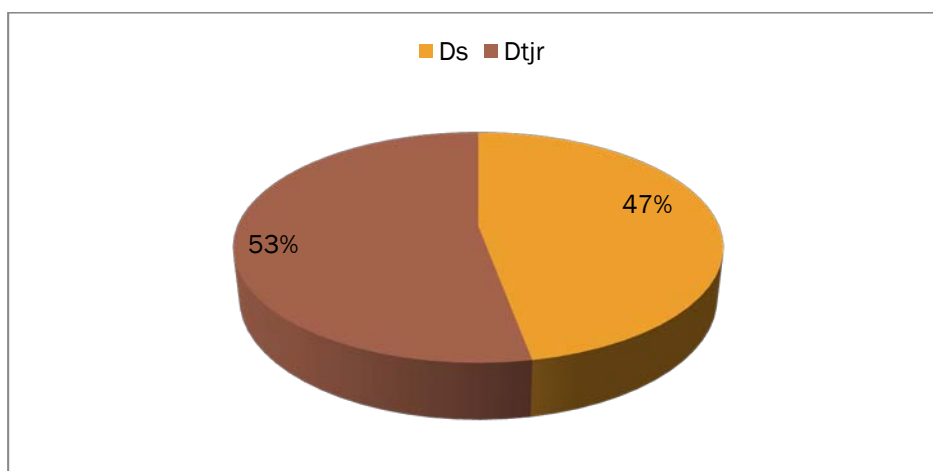
Le tableau présent les défauts dus a la dispersion systématique et les défauts dus à la trajectoire de l'outil de coupe pour un déplacement de 20 mm

Tableau.3.6. dispersion systématique et de trajectoire d'outil

<b>Pièce</b>	<b>Ds</b>	<b>DTj</b>	<b>Pièce</b>	<b>Ds</b>	<b>DTj</b>
<b>1</b>	0	0	<b>14</b>	0.01350271	-0.009
<b>2</b>	0.00103867	-0.01	<b>15</b>	0.01454138	-0.009
<b>3</b>	0.00207734	-0.01	<b>16</b>	0.01558005	-0.009
<b>4</b>	0.00311601	-0.01	<b>17</b>	0.01661872	-0.01
<b>5</b>	0.00415468	-0.009	<b>18</b>	0.01765739	-0.009
<b>6</b>	0.00519335	-0.009	<b>19</b>	0.01869606	0.0095
<b>7</b>	0.00623202	-0.01	<b>20</b>	0.01973473	-0.0095
<b>8</b>	0.00727069	-0.01	<b>21</b>	0.0207734	-0.0095
<b>9</b>	0.00830936	-0.011	<b>22</b>	0.02181207	0

<b>10</b>	0.00934803	-0.009	<b>23</b>	0.02285074	-0.009
<b>11</b>	0.0103867	-0.011	<b>24</b>	0.02388941	-0.01
<b>12</b>	0.01142537	-0.011	<b>25</b>	0.02492808	0
<b>13</b>	0.01246404	-0.01			

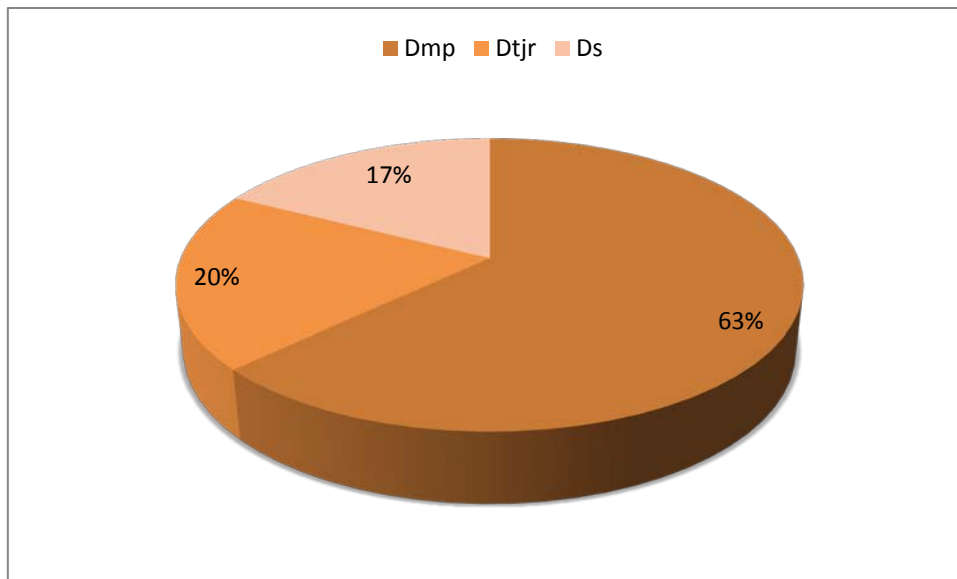
La figure 3.6 illustre le pourcentage entre les défauts dus à l'usure de l'outil et les défauts dus à la trajectoire de l'outil. On constate que les deux défauts sont presque les mêmes.



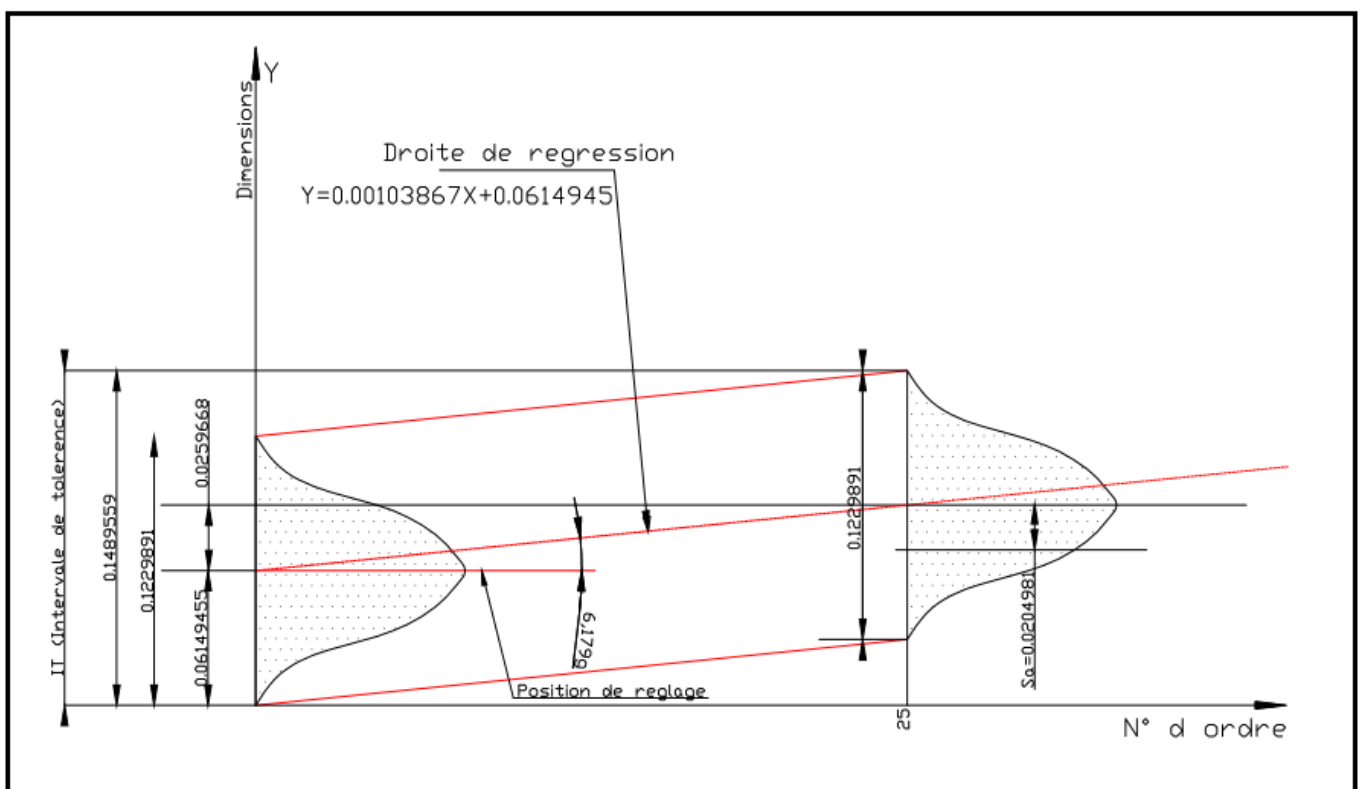
**Fig3.6** : Représentation par secteur entre le défaut de l'usure et le défaut de la trajectoire

## 5.2 Étude comparative entre les trois défauts

La figure 3.7 illustre le pourcentage de chaque défaut. On remarque que les défauts dus à la mise en position représente un pourcentage très important de l'ordre de 63% par rapport au défaut de la trajectoire et le défaut de l'usure.



**Fig 3.7 : Représentation statistique par secteur entre les trois dispersions**



**Fig 3.8 : représentation graphique de l'intervalle de tolérance[1]**

La figure 3.8 montre une représentation graphique de l'intervalle de tolérance de fabrication en intégrant la dispersion systématique, les défauts due à la mise en position et les défauts de la trajectoire de l'outil de coupe.

## **6. Conclusion**

Dans ce chapitre, une démarche axée sur trois étapes, a été présentée pour le calcul des dispersions systématiques, dispersions dues à la trajectoire de l'outil de coupe et les dispersions de la mise en position. Il en ressort que les dispersions systématiques représentent 17% et les défauts dus à la mise en position représente un pourcentage très important de l'ordre de 63% par rapport au défaut de la trajectoire et le défaut de l'usure.



## CONCLUSION

---

Dans l'industrialisation d'un produit, 75% de son coût final est fixé lors de la phase de conception. La cotation fonctionnelle est un des éléments importants de cette phase. Ce travail a été orienté dans le but d'analyser les défauts d'usinage. Deux parties ont été développées.

La première partie aborde l'étude des différents types de dispersions d'usinage et leurs influences sur les côtes de réglage, et par conséquent sur les tolérances de fabrication. Dans la majorité des cas, les dispersions aléatoires sont différentes d'un mécanisme à l'autre selon les moyens de montage ou équipements utilisés tels que le système de serrage de pièces sur machines-outils conventionnelles ou à commande numérique, butées. Par contre les dispersions systématiques, dues à l'usure de l'outil, reposent sur les mêmes conditions de travail quel que soit la machine utilisée.

Dans la deuxième partie, une étude axée sur trois essais, a été présentée pour le calcul des erreurs de fabrication ainsi que leur influence sur les intervalles de tolérances. L'évolution des défauts de l'usure de l'outil de coupe une fonction linéaire. les dispersions systématique augmente si on augmente la longueur à usiner, par contre pour le trajectoire c'est l'inverse. Il en ressort que les défauts dus à l'usure de l'outil de coupe représente 17% de la tolérance de fabrication, défauts dus à la trajectoire de l'outil de coupe représente 20% de la tolérance de fabrication et la dispersion due à la mise en position représente 63% de la tolérance de fabrication.

La valeur relative de 63 % a une influence très importante sur l'intervalle de tolérance. Une erreur de l'ordre du micron influe néfastement sur le coût global du produit fini et risque de ne pas garantir sa compétitivité sur le marché.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

---

- [1] A. Chevalier et J.Bohan, Guide du technique en productique,France edition 2002.
- [2] Chevalier, Guide du dessinateur industriel, guide de dessinateur industriel, France,Edition 2004
- [3] Bassam Kataya, Modélisation des tolérances géométriques des mécanismes pour leur intégration en conception assistée par ordinateur, mémoire fin d'étude Université de Savoie France, 2002 .
- [4] RACHID GUIASSA, METHODES DE COMPENSATION DES ERREURS D'USINAGE UTILISANT LA MESURE SUR MACHINES-OUTILS, THESE *PHD* MONTRÉAL CANADA ,DECEMBRE 2012
- [5] SEBAA Fethi, Contribution à la modélisation tridimensionnelle de l'optimisation des tolérances de fabrication, thèse doctorat université de tlemcen , 2011
- [6] RAHOU Mohammed, Influence de la dispersion systématique sur les tolérances de fabrications. Thèse doctorat université de Tlemcen 2010
- [7] HAMOU, HAMOU S, Automatisation de la simulation de la gamme d'usinage et de l'emploi de transfert de cotes dans le système FAO, thèse magister ENSET ORAN, 1998
- [8] GPS-99, Exploitation du Concept GPS et de la normalisation pour la spécification Géométrique des produits, Livret1, "Introduction au concept GPS",Jan 1999

## WEBOGRAPHIE

---

[www.langlet.fr/bdd/docs/4-tolerances-systeme-iso-tolerances-ajustements.pdf](http://www.langlet.fr/bdd/docs/4-tolerances-systeme-iso-tolerances-ajustements.pdf)

<http://elearning.univ-eloued.dz/courses/CEM/document/Construction%20mecanique/ChapitreIII.pdf?cidReq=CEM>

<https://unites.uqam.ca/enssc/projets/Techno/Boite/cotation.pdf>

<http://cefa-montelimar.org/IntraLV/fichiers/SCBH/DispM.pdf>

## Résumé

Au cours de la réalisation d'une pièce, il est nécessaire de mettre en œuvre plusieurs procédés et processus de fabrication. Les dispersions de fabrication sont dues à la fois au procédé et au processus de fabrication ; c'est-à-dire au choix du type d'usinage, de la machine, des outils et des portes pièces ainsi la mise en position qui vont permettre de réaliser la pièce. D'autre part, la qualification des opérateurs est certainement à prendre en compte.

L'objectif de notre travail s'articule sur une étude et une analyse des défauts d'usinage. Afin d'atteindre notre but, deux parties ont été développées.

La première a été consacrée au tolérancement en général ainsi que la présentation des différentes dispersions et plus particulièrement les dispersions aléatoires.

Quant à la troisième partie, une étude a été réalisée sur l'analyse de défauts de fabrication portant sur la mise en position, la trajectoire de l'outil de coupe et l'usure de l'outil de coupe

**Mots clés : Défauts, mise en position , usure , outil de coupe , trajectoire .**

## Abstract

During the production of a part, it is necessary to use several manufacturing processes and processes.

The manufacturing dispersions are due to both the process and the manufacturing process; That is to say with the choice of the type of machining, the machine, the tools and the parts parts, and thus the positioning which will make it possible to produce the workpiece. On the other hand, the qualification of the operators is certainly to be taken into account.

The aim of our work is to study and analyze machining defects. In order to achieve our goal, two parts have been developed.

The first was devoted to tolerancing in general as well as the presentation of the different dispersions and more particularly the random dispersions.

As for the third part, a study was carried out on the analysis of manufacturing defects concerning the positioning, the path of the cutting tool and the wear of the cutting tool

## ملخص

خلال مرحلة تحصيل قطعة، فمن الضروري تنفيذ عدة طرق و عمليات التصنيع، عيوب التصنيع تكون بسبب كل من طرق و عمليات التصنيع، يعني عند اختيار نوع التصنيع، نوع الآلة، الأدوات و الأدوات التي تمسك القطع المصنوعة و تكييف التوضع التي ستمكن من تحقيق القطعة، من ناحية أخرى، تأهيل مشغلي يأخذ بعين الاعتبار بشكل مؤكد.

الهدف من عملنا هو دراسة و تحليل أخطاء التصنيع، و لتحقيق هذا الهدف يجب تطوير قسمين .

الاول خصص للتسامح بشكل عام و عرض مختلف انواع الاخطاء و خصوصا الاخطاء العشوائية.

و القسم الثالث يتمثل في دراسة مبنية على تحليل أخطاء التصنيع التي نجدها في التوضع و مسار أداة القطع و تآكل أدوات قطع