



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE



MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID-TLEMEN-  
FACULTE DE TECHNOLOGIE  
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

Projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master  
En  
Génie Mécanique

**Option**

**Ingénierie des systèmes mécaniques productives**

**Présenté par**

**Benramdane Mohammed**

**THÈME**

**Elaboration d'un outil d'aide pour la vérification des  
spécifications géométriques de forme.**

**Soutenu en octobre 2013**

**Devant le jury :**

Président	Mr.CHEIKH Abdelmadjid	Professeur	UABB Tlemcen
Encadreur	Mr.Mangouchi Ahmed	Maitre assistant « A »	UABB Tlemcen
Examineur	Mr.Sebaa Fethi	Maitre de conférences	UABB Tlemcen
Examineur	Mme.CHEIKH Nassima	Maitre assistant « A »	UABB Tlemcen

Année universitaire 2012-2013

## *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail à :*

*A mon très cher père qui m'a toujours aidé et soutenue*

*A ma très chère mère qui a été toujours là pour moi*

*A mon frère RAFIK et mes sœurs Fatna , Nabiha, Salima ,  
Samia, Fatima pour leurs soutiens moraux*

*A mes nièces Sarah, Dalel et kawther*

*A mon neveu Belhadj*

*A mes cousins Zouheir, Achour, Yousef, Imad, Fouad et  
abd allatif.*

*A tout les groupes ISM et MI.*

*A toute la famille BENRAMDANE et MEDJAHED*

*A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.*

*Mohamed*

## **Remerciements**

*Tout d'abord, je remercie le Dieu de m'avoir donné le courage et la volonté de terminer ce modeste travail.*

*Je tiens à adresser mes remerciements à mon encadreur monsieur MANGOUCI Ahmed maitre de conférences professeur au département de génie mécanique (faculté de technologie- université Abou Bekr BELKAID- Tlemcen) d'avoir accepté de diriger ce travail ainsi que pour son entière disponibilité et ses précieux conseils durant toute la période de l'élaboration de ce travail.*

*Je remercie également monsieur CHEIKH Abdelmadjid professeur au département de génie mécanique au département de génie mécanique (faculté de technologie - université Abou Bekr BELKAID- Tlemcen), monsieur RAHOU Mohamed maitre de conférences au département de génie mécanique (Ecole préparatoire des sciences et technologie- université Abou Bekr BELKAID- Tlemcen)et madame CHEIKH Nassima maitre assistant au département de génie mécanique (faculté de technologie - université Abou Bekr BELKAID- Tlemcen) pour avoir accepté d'examiner le contenu scientifique de ce mémoire.*

*Mes remerciements vont aussi à tous mes amis de master.*

*Enfin, mes remerciements s'adresser à tous les professeurs de notre cursus universitaire. Comme je remercie sans toutefois les citer, tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet.*

*Benramdane Mohamed*

# Sommaire

<b>Remerciements</b>	
<b>Dédicaces</b>	
<b>Liste des figures</b>	
<b>Liste des tableaux</b>	
<b>Liste des abréviations</b>	
<b>Liste des symboles</b>	
<b>Résumé</b>	
<b>Introduction</b> .....	1

## CHAPITRE 1

### Généralités sur la métrologie en fabrication mécanique

<b>1.1. Introduction</b> .....	4
<b>1.2. Démarche métrologique</b> .....	6
<b>1.3. Dessin de technique</b> .....	8
1.3.1. Pourquoi le dessin technique? .....	8
1.3.2. Les différents types de dessin industriel .....	8
1.3.2.1. Le dessin d'ensemble .....	8
1.3.2.2. Le dessin de définition d'une pièce.....	9
<b>1.4. Spécifications dimensionnelles</b> .....	9
<b>1.5. Tolérances dimensionnelles</b> .....	9
1. 5.1. Tolérances, écarts, jeux .....	9
1. 5.2. Ajustements .....	10
1.5.3. Position et qualité .....	10
<b>1.6. Spécifications de forme</b> .....	12
1.6.1. Définition de La rectitude.....	12
1.6.2. Définition de la Planéité .....	13
1.6.3. Définition de La circularité .....	14
1.6.4. Définition de La cylindricité.....	15
1.6.5. Définition de Profil des surfaces.....	16
<b>1.7. Comparateur à cadran</b> .....	18

1.7.1. Principe .....	19
1.7.2. Comment utiliser le comparateur ?.....	20
1.7.3. Comment lire le comparateur ?.....	20
<b>1.8. Vé.....</b>	<b>21</b>
<b>1.9. Métrologie au marbre.....</b>	<b>22</b>
<b>1.10. Conclusion.....</b>	<b>23</b>

## CHAPITRE 2

### Applications du contrôle des spécifications géométriques de forme

<b>2.1. Problématique.....</b>	<b>25</b>
<b>2.2. Application du contrôle de la rectitude.....</b>	<b>25</b>
2.2.1. Contrôle sur marbre à l'aide du comparateur de la première pièce cale de fraiseuse...25	
2.2.1.1. Calcul des défauts de forme nominaux.....	27
2.2.1.2. Calcul des moyennes arithmétiques des écarts de mesure de la rectitude.....	28
<b>2.3. Application du contrôle de la planéité.....</b>	<b>29</b>
2.3.1. Contrôle sur marbre à l'aide du comparateur de la pièce "Disque de frein".....	29
2.3.1.1. Calcul des défauts de forme nominaux.....	32
2.3.1.2. Calcul des moyennes arithmétiques des écarts de mesure de la planéité.....	33
<b>2.4. Application du contrôle de la circularité.....</b>	<b>34</b>
2.4.1 Contrôle sur marbre à l'aide du comparateur de la pièce "roulement".....	34
2.4.1.1. Calcul des défauts de forme de la circularité.....	35
2.4.1.2. Calcul des moyennes arithmétiques des écarts de mesure de la circularité....	35
<b>2.5. Application du contrôle de la cylindricité.....</b>	<b>36</b>
2.5.1 Contrôle sur marbre à l'aide du comparateur de la pièce "pignon de delco ".....	36
2.5.1.1. Calcul des défauts de forme de la cylindricité.....	37
2.5.1.2. Calcul des moyennes arithmétiques des écarts de mesure de la cylindricité...38	
<b>2.6. Tableau récapitulatif des résultats.....</b>	<b>39</b>
<b>2.7. Conclusion.....</b>	<b>40</b>

## CHAPITRE 3

### Modèle mathématique du critère d'association de surfaces

<b>3.1. Introduction</b> .....	42
<b>3.2. Calcul des paramètres</b> .....	42
<b>3.3. Rectitude</b> .....	43
3.3.1. Régression en Y par rapport à X.....	43
3.3.2. Régression en X par rapport à Y.....	43
<b>3.4. Planéité</b> .....	46
<b>3.5. Circularité</b> .....	74
<b>3.6. Cylindricité</b> .....	48
<b>3.7. Conclusion</b> .....	50

## CHAPITRE 4

### Conception d'un outil d'aide à la vérification

<b>4.1. Introduction</b> .....	54
<b>4.2. Description de langage Java</b> .....	54
4.2.1. Résumé des avantages de Java.....	55
<b>4.3. Organigramme général</b> .....	55
<b>4.4. Conception du programme pour vérification des spécifications</b> .....	57
4.4.1. Fonctionnalités des différents boutons.....	58
4.4.1.1. Rectitude.....	58
4.4.1.2. Planéité.....	58
4.4.1.3. Circularité.....	58
4.4.1.4. Cylindricité.....	58
4.4.1.5. Quitter.....	58
4.4.2. Interface du programme.....	59
<b>4.5. Exemples de vérification de la rectitude par le programme</b> .....	60
5.5.1. Vérification de la rectitude de la pièce « cale de fraiseuse».....	60
4.5.1.1. Pièce acceptée avec IT = 0.05 mm.....	61
4.5.1.2. Pièce rejetée avec IT = 0.02 mm.....	61
<b>4.6. Exemple de vérification de la planéité par le programme</b> .....	62
4.6.1. Vérification de la planéité de la pièce « disque de frein ».....	62
4.6.1.1. Pièce rejetée avec IT = 0.02 mm.....	63
4.6.1.2. Pièce acceptée avec IT = 0.05 mm.....	63

<b>4.7. Conclusion</b> .....	64
Conclusion générale et perspective.....	65
Références bibliographiques.....	66
Annexe A : Tolérances de forme.....	67
Annexe B : Structure des programmes.....	68

## **Introduction générale :**

L'industrie de la mécanique s'est développée d'une manière extraordinaire si on regarde les premiers travaux qui ont débuté par la fabrication des moteurs à vapeur, puis le passage au moteur diesel, et maintenant des moteurs très performants tels que les turboréacteurs d'aviation. Actuellement, la fabrication mécanique constitue un domaine de recherche, plutôt qu'une simple production, car elle se voit de plus en plus précise et se transforme de la macro au micro.

La qualité est un enjeu pour l'entreprise d'aujourd'hui. Elle ne se contrôle pas, elle se fabrique. Pour cela il faut donner aux ingénieurs les moyens (matériel et logiciel) pour effectuer les mesures indispensables à la qualification du produit.

En effet, une bonne connaissance des surfaces et des lignes réelles impose qu'elles soient palpés par un nombre de points supérieur au nombre de points minimal, nécessaire et suffisant à la définition mathématique de l'élément géométrique idéal correspondant qui est la géométrie nominale.

Ce travail a pour but l'étude des résultats obtenus du contrôle des spécifications géométriques de forme par la méthode conventionnelle et la conception d'un outil didactique d'aide à la programmation de l'association des éléments géométriques pour la vérification de ce contrôle dans les ateliers de mécanique.

Ce mémoire est organisé de la manière suivante :

Le premier chapitre est consacré à la métrologie en fabrication mécanique et aux spécifications géométriques de forme. Les instruments de mesure tel que le comparateur à cadran, le marbre et les instruments associée comme le vé.

Le deuxième chapitre traite les applications de contrôle d'une pièce sur la rectitude, une pièce sur la planéité, une pièce sur la circularité et une autre sur la cylindricité par la méthode conventionnelle (comparateur à cadran et marbre).

Le troisième chapitre consiste à l'étude du modèle mathématique des équations des quatre éléments : droite, plan, cercle et cylindre dont on recherche leurs éléments géométriques idéaux associés par la méthode des moindres carrés.

Le quatrième chapitre est consacré à la conception d'un outil d'aide à la programmation pour la vérification des spécifications de forme. Il permet la déclaration de l'acceptation ou le rejet de la pièce. Le chargement des coordonnées des points palpés par le comparateur se fait manuellement.

Enfin, en annexes, les tolérances géométriques et les structures des programmes.

# ***CHAPITRE 01 :***

## ***Généralités sur la métrologie en fabrication mécanique.***

## 1.1. Introduction :

La métrologie au sens étymologique du terme se traduit par la science de la mesure.

La métrologie est la branche des sciences qui traite des mesures à ce titre, c'est une science pure. Dans son aspect industriel, c'est une science appliquée. Point n'est besoin d'être un théoricien pour l'utiliser avec un maximum d'efficacité.

La métrologie est l'ensemble des moyens techniques utilisés pour le contrôle de pièces mécaniques.

La métrologie est l'art de la qualification elle est partout présente particulièrement dans l'industrie ou l'on a sans cesse à :

- Quantifier (attribué une quantité, une grandeur physique) ;
- Comparer, vérifier;

La métrologie industrielle, c'est celle qui nous intéresse ici, elle est essentiellement utilitaire. Ses caractéristiques principales sont l'efficacité et la réponse à un besoin :

Citons-en les points forts :

Utilité : l'industriel a pour mission de faire travailler un matériel afin de produire. Il faut pour cela suivre, contrôler ou influencer divers paramètres ou grandeurs.

Efficacité et Exploitation : elles sont définies par un certain nombre de contrainte qu'il faut respecter.

Multiplicité : la plupart des mesures industrielles sont répétitives soit :

- ❖ Mesure d'un même paramètre fréquemment et pendant longtemps ;
- ❖ Mesure de nombreuses pièces ou échantillons.
- ❖ Un autre aspect de la multiplicité est celui des différentes entités qu'il peut y avoir à saisir (grandeur, états ou quantités).

Entretien et maintenance : l'instrumentiste ou la métrologie industrielle est à la tête d'un parc de matériel. Il faut veiller à :

En éviter la trop grande diversification ;

En éviter le vieillissement et la péremption ;

- Le conserver en état de fiabilité (fiabilité de fonctionnement ou plutôt fiabilité de la mesure).

En mécanique générale, la métrologie des fabrications s'intéresse :

- au contrôle des pièces exécutées ou en cours d'usinage
- au contrôle, sur machine de la position de la pièce par rapport à l'outil
- à la vérification géométrique des machines-outils
- au contrôle statistique des performances possibles sur chaque machine-outil.

En mécanique automobile, la métrologie s'intéresse :

- au contrôle des organes mécaniques pouvant subir une usure ou une déformation due au fonctionnement (ex: frottement cylindre/piston)[1].

## 1.2. Démarche métrologique :

Ci-dessous, on présente le schéma de la démarche métrologie [2].

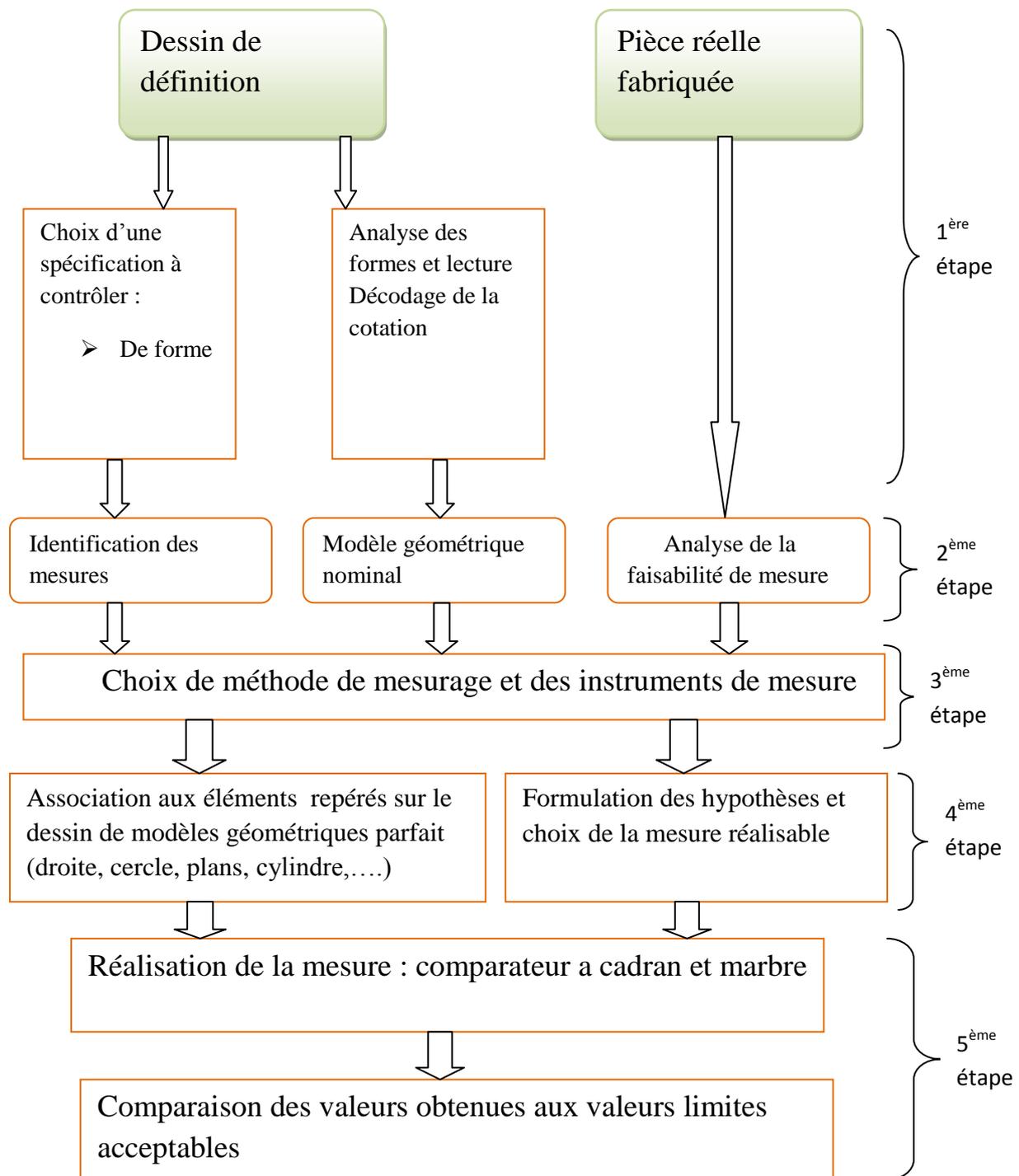


Fig.1.1 : organigramme de la démarche métrologique.

La démarche de métrologie, peut être définie comme étant l'étude comparative entre la pièce réelle fabriquée et le dessin de définition fourni par le bureau des études.

Ce paragraphe reflète d'une manière explicite le schéma de la démarche métrologique.

En premier, on doit analyser les formes et décoder les cotations après la lecture du dessin de définition, et choisir pour contrôle l'une des spécifications pour le contrôle (spécification, de forme,).

La seconde étape regroupe trois actions :

1. On doit identifier les mesures qu'on effectue
2. Elaboration d'un modèle géométrique nominal
3. Faire une analyse primaire sur la faisabilité des mesures

La troisième étape on doit choisir la méthode de mesurage et des instruments de mesure associés.

La quatrième étape nécessite que :

1. On doit associer aux éléments repérés sur le dessin, des modèles géométriques parfaits (droite, cercle, plan, cylindre)
2. On doit formuler les hypothèses et choisir les mesures réalisables.

La cinquième étape passe à la phase de mesure pour obtenir un nuage de points.

Finalement on compare la valeur obtenue aux valeurs limites acceptables.

### **1.3. Dessin technique:**

Le dessin technique est le moyen d'expression indispensable et universelle de tous les techniciens. C'est lui qui permet de transmettre, à tous les services de production, la pensée technique et les impératifs de fabrication qui lui sont liés [2].

A partir du projet, on établit pour chaque pièce un dessin de définition de produit fini. C'est le dessin qui détermine toute pièce telle qu'elle doit se présenter dans son état final. Il est destiné à faire foi pour la réception d'une pièce. Une pièce ne doit donc être contrôlée que d'après son dessin de définition.

C'est pour quoi ce langage conventionnel est soumis à des règles ne permettant aucune erreur d'interprétation et définie par normalisation, telles que les spécifications géométriques, dimensionnelles et d'état de surfaces.

#### **1.3.1. Pourquoi le dessin technique ?**

Une pièce réelle a une existence matérielle. Elle occupe un espace à 3 dimensions. Lorsqu'on veut évoquer son existence, le plus simple est d'avoir la pièce réelle en main, mais cela n'est pas toujours possible. En effet, la pièce évoquée peut n'être qu'un projet, ou bien encore ses dimensions ne permettent pas sa manipulation (maison, avion, machine outil...). De plus, les moyens habituels de communication sont sur plans et ne comportent que 2 dimensions (dessin, photo, plan, écran...).

Une photo permet une vision réaliste d'une partie de l'objet, mais elle ne renseigne pas sur sa taille, et des parties ne sont pas montrées. Un dessin ne permet pas forcément à l'ouvrier de réaliser la pièce.

Afin de faciliter la communication entre les différents secteurs concernés (conception, fabrication, maintenance...), on utilise une représentation normalisée basée sur les projections orthogonales de la pièce [3].

#### **1.3.2. Les différents types de dessin industriel.**

Dans un premier temps nous distinguerons deux grandes catégories de dessins :

##### **1.3.2.1. Le dessin d'ensemble :**

Il représente le système technique dans son ensemble. Toutes les solutions constructives, retenues pour réaliser les fonctions techniques qui seront détaillées. Celui-ci permet de comprendre le fonctionnement du mécanisme à partir de la description des formes, des dimensions et de l'organisation des pièces qui le constituent.

### 1.3.2.2. Le dessin de définition d'une pièce :

Il représente de manière complète et détaillée une pièce. Y figurent les formes, les dimensions et les spécifications, c'est-à-dire toutes les informations nécessaires à sa fabrication.

Pour un dessin d'ensemble, il y aura un dessin de définition pour chaque pièce à fabriquer.

Le dessin technique se réalise sur papier ou calque, ses règles d'exécution sont normalisées [3].

## 1.4. Spécifications dimensionnelles

L'imprécision inévitable des procédés d'usinage fait qu'une pièce ne peut pas être réalisée de façon rigoureusement conforme aux dimensions fixées. Il a donc fallu tolérer que la dimension effectivement réalisée soit comprise entre deux dimensions limites, compatibles avec un fonctionnement correct de la pièce. La différence entre deux pièces constitue la tolérance [2].

On affecte à une pièce une dimension nominale choisie autant que possible dans les dimensions linéaires nominales, et l'on définit chacune des deux dimensions limites par son écart par rapport à cette dimension nominale. Cet écart s'obtient en valeur absolue et en signe en retranchant la dimension nominal de la dimension limite considéré.

## 1.5. Tolérances dimensionnelles

### 1.5.1 Tolérances, écarts, jeux:

Les valeurs des dimensions limites de la pièce réelle sont fixées par les écarts extrêmes que la dimension réelle peut présenter par rapport à la cote nominale, ces écarts pouvant être positifs, nuls ou négatifs représente par la figure 1.2

La tolérance dimensionnelle  $t$  est la spécification qui définit la variation admissible de dimension d'un élément. Elle est égale à la différence entre la dimension maximale  $DM$  et la dimension minimale  $Dm$  de cet élément (arbre ou alésage). La zone de tolérance est la portion d'espace à l'intérieur de laquelle doit se situer l'élément considéré.

Le jeu maximal  $JM$  est égal à la différence entre la dimension maximale  $DM$  de l'alésage et la dimension minimale  $Dm$  de l'arbre, tandis que le jeu minimal  $Jm$  est égal à la dimension minimale  $Dm$  de l'alésage moins la dimension maximale  $DM$  de l'arbre [4] :

$$JM = DM (\text{alésage}) - Dm (\text{arbre}) \quad (1)$$

$$Jm = Dm (\text{alésage}) - DM (\text{arbre}) \quad (2)$$

**1.5.2. Ajustements :**

Dans le cas de deux pièces ajustées, les écarts et les tolérances sur chacune d'elles doivent être déterminés pour donner dans les cas extrêmes un jeu techniquement admissible.

Suivant la position respective des zones de tolérance de l'alésage et de l'arbre, l'ajustement peut être avec jeu, incertain ou avec serrage comme l'indique la figure.1.2. [4].

**1.5.3. Position et qualité :**

Pour pouvoir satisfaire à tous les besoins courants, il est prévu pour chaque dimension nominale, d'une part, une gamme d'écarts et, d'autre part, une gamme de tolérances.

Les écarts définissant la position de la tolérance par rapport à la ligne d'écart nul, dite ligne zéro, fonction de la dimension nominale sont symbolisés par une lettre (ou parfois par deux lettres) majuscule pour les alésages et minuscule pour les arbres.

La tolérance, dont la valeur est fonction de la dimension nominale, est symbolisée par un numéro dit qualité. La dimension tolérance est ainsi définie par sa valeur nominale suivie d'un symbole comprenant une – ou deux – lettres et un numéro.

L'unité courante des dimensions linéaires des dessins de construction mécanique, électrique et électronique est le millimètre.

La température normale de référence des mesures dimensionnelles est fixée à 20°C [4].

**❖ Exemple :**

45 g 7 (arbre) ou 45 G 7 (alésage)

Avec 45 mm cote nominale,

g ou G position,

7 qualités.

❖ Exemple :

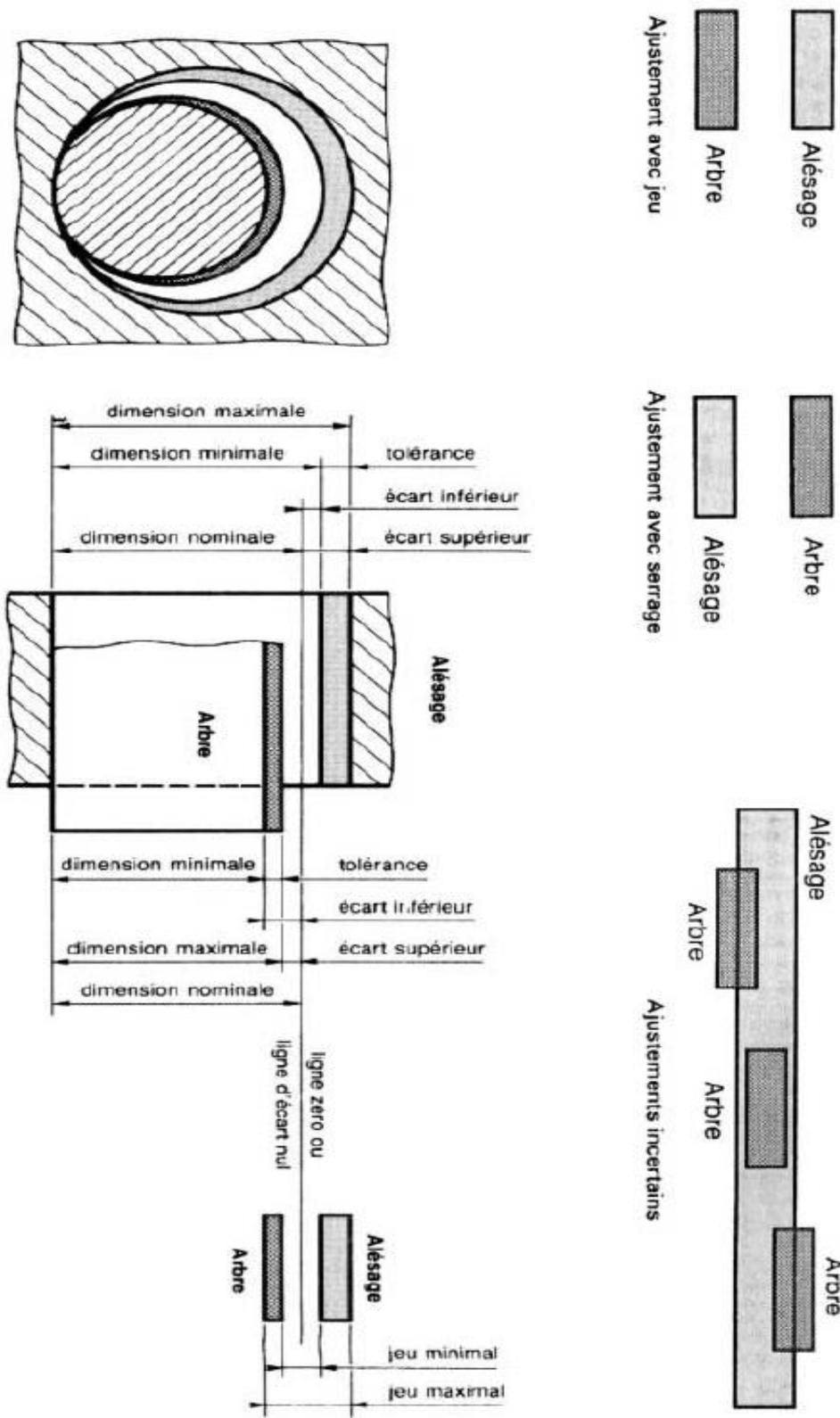


Figure.1.2 : dimension, écart, tolérance, jeux et ajustement [4].

## 1.6. Spécifications de forme :

La tolérance concernant la forme d'un élément se distingue des tolérances dimensionnelles par son mode d'inscription et par le fait qu'elle n'affecte pas directement une dimension linéaire ou angulaire [2].

### 1.6.1. Définition de La rectitude :

La rectitude est une condition où des éléments de surface, ou un axe, sont linéaires [5].

❖ Exemple :

➤ Symbole : —

➤ Indication

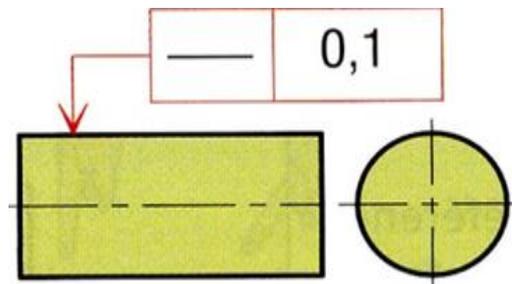


Fig.1.3.Indication de la rectitude (1) [6]

➤ Signification :

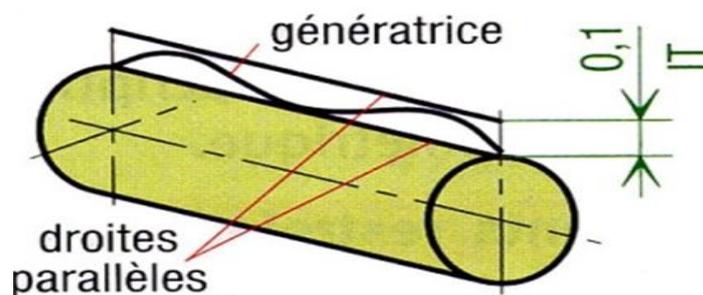
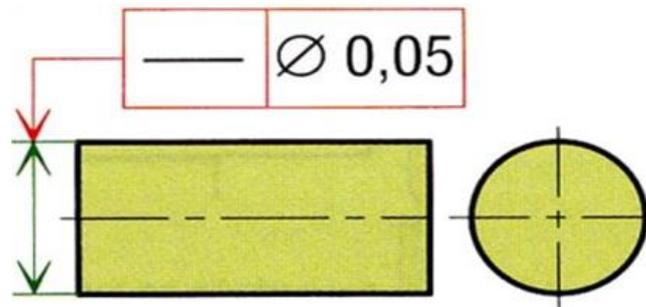


Fig.1.4.Signification de la rectitude(1) [6]

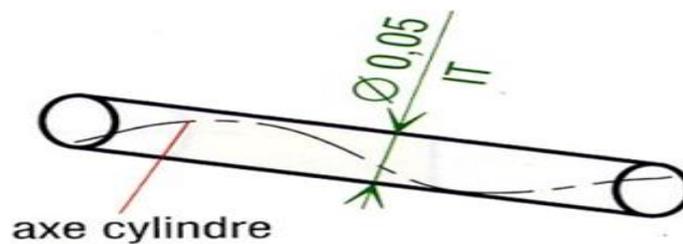
Chaque génératrice de cylindre doit être entre 2 droites parallèles distantes de 0.1 parallèle ou non à l'axe.

- ❖ Exemple 2 :
- Indication de la rectitude :



**Fig.1.5.Indication de la rectitude(2) [6]**

- Signification :



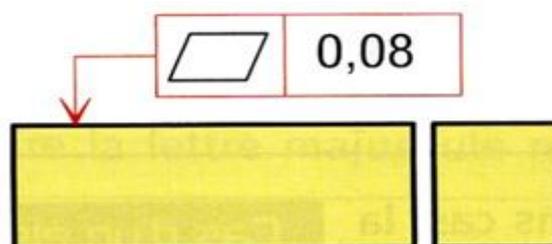
**Fig.1.6.Signification de la rectitude(2) [6]**

L'axe de cylindre doit être contenu dans une zone cylindrique de 0.05mm de diamètre.

### 1.6.2. Définition de la Planéité :

Est une condition où tous les éléments d'une surface sont dans un plan [5].

- ❖ Exemple :
- Symbole : 
- Indication de la rectitude :



**Fig.1.7.Indication de la planéité [6]**

- Signification :

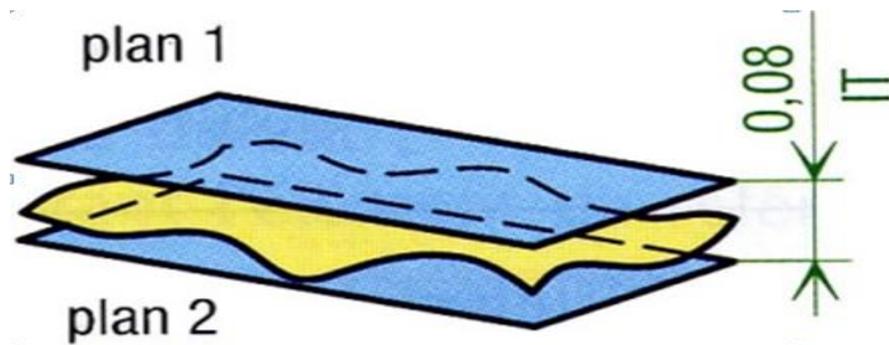


Fig.1.8. Signification de la planéité [6]

La surface repérée doit être comprise entre deux plans parallèles distance de 0.08mm.

### 1.6.3. Définition de La circularité

La circularité est une condition ou :

- Pour un élément autre qu'une sphère, tous les points interceptés par un plan qui coupe la surface perpendiculaire à son axe sont équidistants de cet axe.
- Pour une sphère, tous les points interceptés par un plan qui la coupe en son centre sont équidistants de ce centre [5].

❖ Exemple :

➤ Symbole : ○

➤ Indication de la circularité :

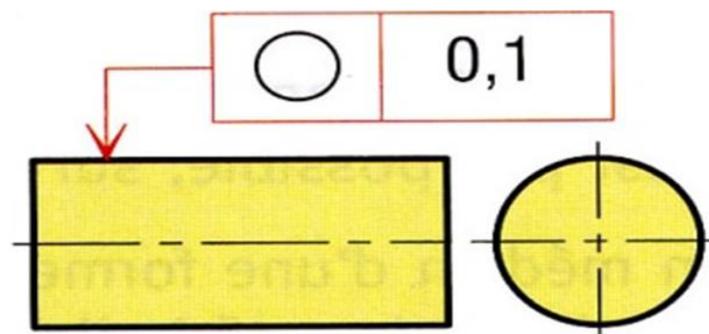
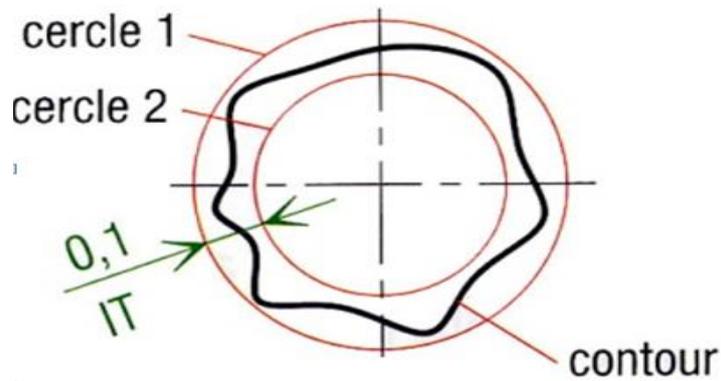


Fig.1.9. Indication de la circularité [6]

- Signification :



**Fig.1.10. Signification de la circularité [6]**

Le contour de chaque section perpendiculaire à l'axe doit rester entre deux cercles concentriques de 0.1mm centré ou non de l'axe de cylindre.

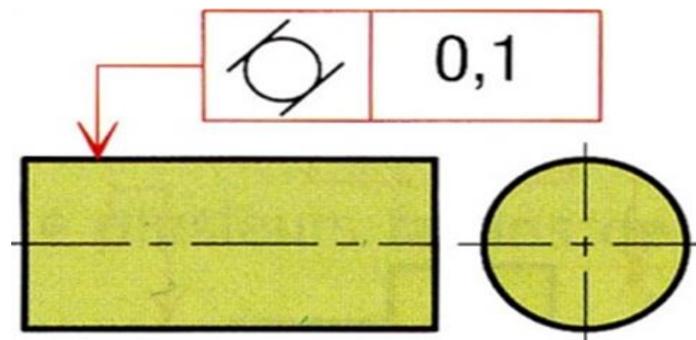
#### 1.6.4. Définition de La cylindricité

Est une condition où tous les points d'une surface de révolution sont équidistants à son axe [5].

- ❖ Exemple :

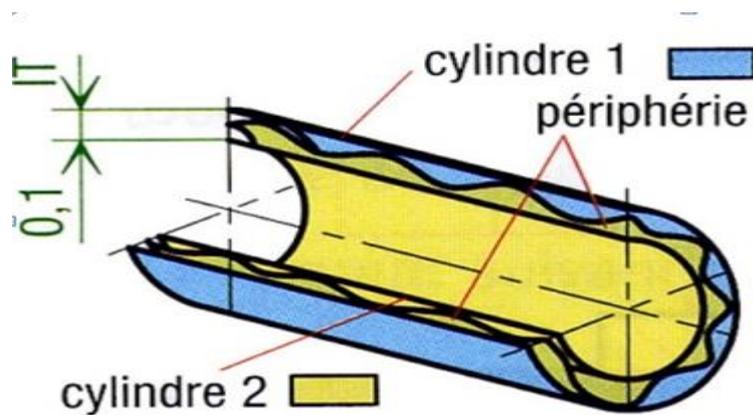
- Symbole :  $\text{H}$

- Indication de la circularité :



**Fig.1.11. Indication de la cylindricité [6]**

- Signification :



**Fig.1.12. Signification de la cylindricité [6]**

Le périphérique du cylindre doit être contenu entre deux cylindres coaxiaux de 0.1mm centrée sur la surface théorique prise comme une surface.

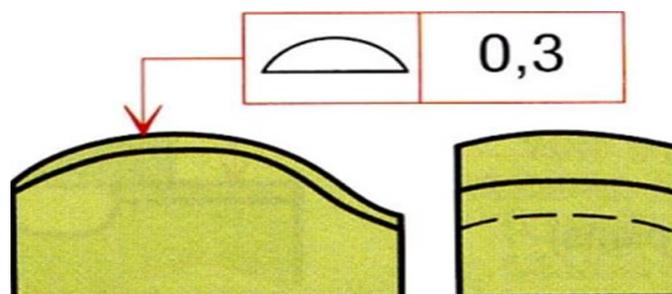
#### 1.6.5. Définition du profil des surfaces :

La tolérance des profils des surfaces définit une zone de tolérance uniforme autour d'une surface théorique, à l'intérieur de laquelle l'élément tolérancé doit se situer [5].

- ❖ Exemple :

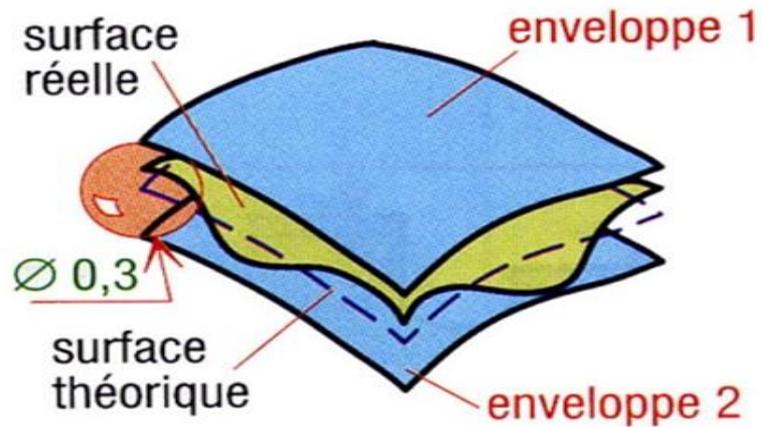
- Symbole :

- Indication de profil de la surface:



**Fig.1.13. Indication du profil de surface [6]**

➤ Signification :



**Fig.1.14. Signification du profil de surface [6]**

La surface réelle doit rester entre deux surfaces enveloppant des sphères de diamètre de 0.3mm centré sur la surface théorique prise comme référence.

## 1.7. Comparateur à cadran :

Le comparateur à cadran illustré par la figure 1.15 est un instrument de mesure utilisé originellement par les mécaniciens.

Le comparateur est constitué d'un cadran gradué avec une aiguille pivotant en son centre. Autour du cadran une lunette comportant un ou plusieurs index peut pivoter manuellement. L'index permet à l'utilisateur de matérialiser le point zéro.

Le comparateur dit à course normale comporte un totaliseur qui indique le nombre de tours effectués par l'aiguille. Par exemple, pour un comparateur ayant une course de 10 millimètres, chaque tour d'aiguille représente 1 millimètre. Si le palpeur se déplace d'un millimètre, l'index du totaliseur marquera un.

Le palpeur est constitué de deux parties : la tige et la touche (on trouve aussi le terme "le toucheau"). La touche est vissée au bout de la tige. Il est possible d'utiliser diverses formes de touche et ainsi adapter la forme de l'extrémité à la pièce à mesurer [7].

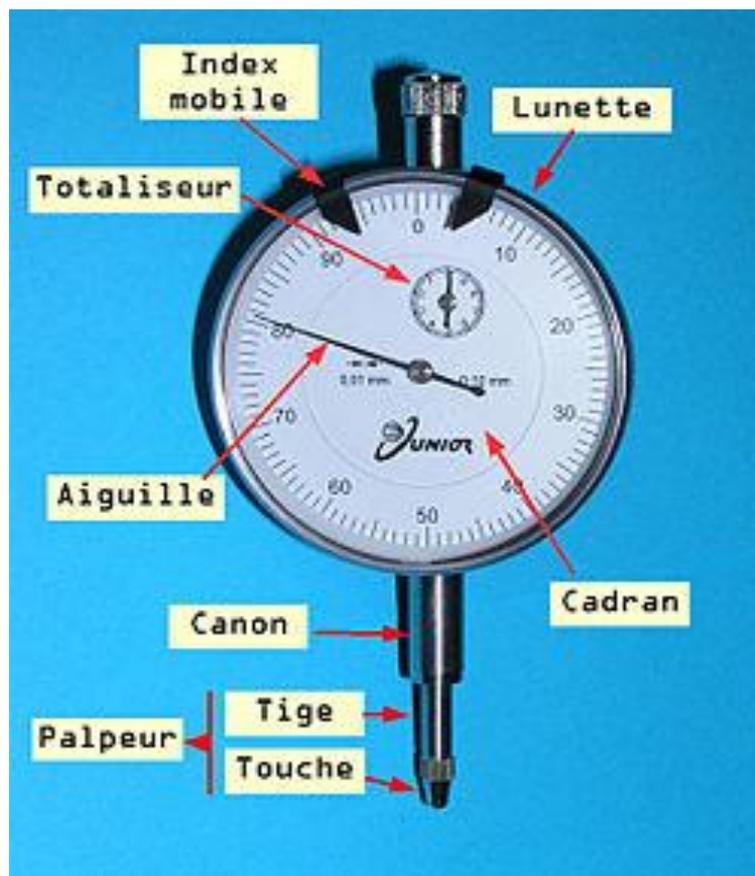
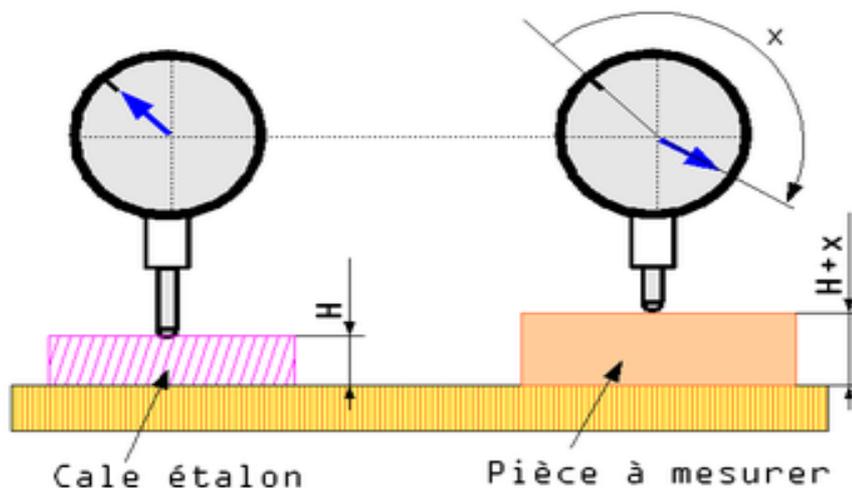


Fig.1.15 : comparateur à cadran [7]

### 1.7.1. Principe :

Le comparateur est constitué d'une tige mobile en translation. Le déplacement de cette dernière est transmis à un dispositif mécanique transformant la translation de la tige en rotation de l'aiguille. L'angle total de rotation est proportionnel au déplacement en translation de la tige.

Pour effectuer une mesure on fait un point zéro à l'aide par exemple d'une cale étalon. Le corps du comparateur étant fixe l'on place la pièce à mesurer sous le comparateur qui indique alors la différence entre le point de référence et la dimension de la pièce mesurée illustré par la figure 1.16 [8].



**Fig.1.16 : principe de mesure avec comparateur à cadran [7].**

H : la hauteur de cale étalon

X : le déplacement de comparateur

H+X : la dimension mesurée

### 1.7.2. Comment utiliser le comparateur?

L'utilisation du comparateur nécessite son installation sur un support rigide, stable et suffisamment lourd pour ne pas bouger lors de la mesure. Ces supports peuvent prendre différentes formes selon les cas d'emplois, illustré par la figure 1.17.

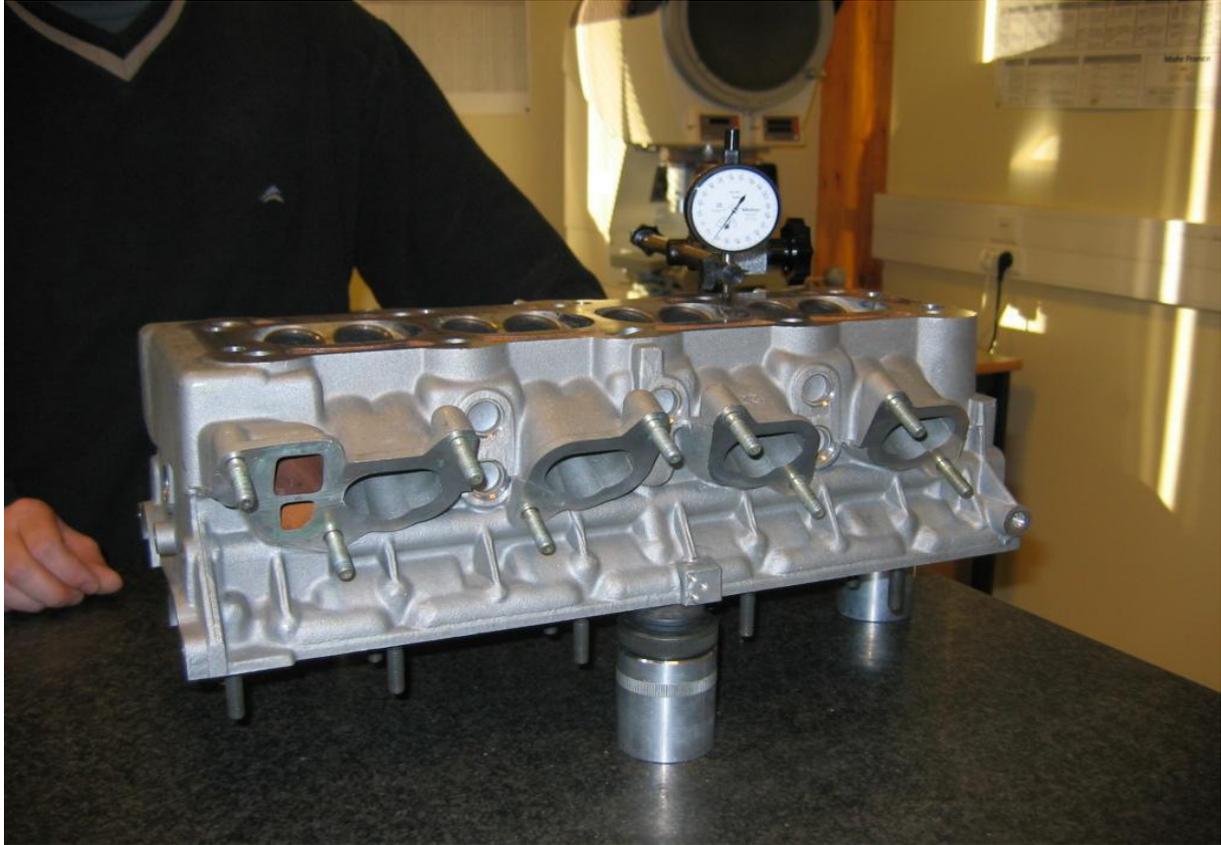


Fig.1.17 : Contrôle de la planéité d'une culasse [9]

### 1.7.3. Comment lire le comparateur?

Le comparateur est un instrument qui permet de mesurer des cotes relatives, c'est-à-dire qu'il est destiné à mesurer des variations autour d'un «point zéro». On trouve deux aiguilles sur le cadran du comparateur. Le cadran de la petite aiguille est gradué en millimètres.

Le cadran de la grande aiguille est gradué en centièmes de millimètres. Les graduations principales noires permettent de lire le comparateur dans le sens positif [8].

## 1.8. Vé :

Un vé est une cale dans laquelle il y a une entaille en forme de v. l'angle entre les deux surfaces planes est généralement de  $90^\circ$  (angle droit). Il y a des vés avec une entaille, deux entailles et quatre entailles, montré par la figure 1.18.

Ils sont généralement en métal (fonte ou acier). Parfois, ils sont fabriqués avec de la roche ou avec certaines matières plastique présentant une bonne dureté, une bonne stabilité dimensionnelle et une bonne résistance à l'usure. Certains vés sont magnétiques afin d'obtenir un bon contact avec la surface d'appui.

Le vé sert souvent à mettre en place des pièces cylindriques pour effectuer des mesures dimensionnelles ou dans certains cas pour mettre en place une pièce pour un usinage. On parle parfois de vé de centrage. Ils sont souvent considérés comme des instruments de mesure. Dans ce cas, ils doivent être régulièrement étalonnés [7].



**Fig.1.18 : Vé à quatre entailles en fonte [7]**

### 1.9. Métrologie au marbre :

Les marbres de contrôle montré par la figure 1.19 sont des plaques rectangulaires, massives et présentant une surface plane dont la planéité respecte les normes requises pour telles pièces. Comme son nom l'indique, les marbres de contrôle sont utilisés pour le traçage de pièces, les ajustages, les perçages, de la métrologie... Selon les modèles, les marbres de contrôle peuvent avoir des dimensions standard ou des dimensions personnalisées. Dans la majorité des cas, les marbres de contrôle sont fabriqués à partir de différents matériaux tels que le granit, la fonte, la diabase, etc. [10].



**Fig.1.19 : Marbre de métrologie [11]**

La métrologie au marbre utilise principalement un marbre, des comparateurs, des cales étalons, des dispositifs de positionnement des pièces pour réaliser le contrôle des spécifications géométriques :

De nombreux contrôle nécessitent de déplacer soit le comparateur, soit la pièce sur le marbre. Le comparateur s'emploie donc généralement avec une direction de mesure perpendiculaire au marbre pour permettre le balayage de la surface.

Le marbre représente le plan de référence spécifié. Il est souvent préférable de déplacer le comparateur avec son support sur le marbre (bonne stabilité) [9].

**1.10. Conclusion :**

Nous avons vu dans ce chapitre les différentes spécifications géométriques de forme et nous avons donné une explication pour chacune.

Nous avons vu également les instruments de mesure tel que le comparateur à cadran, le marbre et les instruments associée comme le vé.



## ***CHAPITRE 02 :***

# ***Applications du contrôle des spécifications géométriques de forme.***

## 2.1. Problématique :

Lors de la conception d'une pièce, le bureau des études définit des surfaces géométriques. En réalité aucun moyen de production ne permet d'obtenir des côtes exécutées ou des surfaces géométriques parfaites. Il est donc nécessaire d'introduire des limites de réalisation, précisées sur les surfaces spécifiées (de références ou tolérances).

La métrologie a pour but de mesurer, vérifier ou comparer la surface réelle pour s'assurer que ces limites ont été respectées.

Nous proposons les applications de contrôle de la rectitude, planéité, circularité et de la cylindricité sur les pièces manufacturées avec la méthode suivante :

- sur marbre à l'aide du comparateur à cadran et des instruments associés.

## 2.2. Applications du contrôle de la rectitude :

### 2.2.1. Contrôle sur marbre à l'aide du comparateur de la première pièce "cale de fraiseuse"

Sur la surface (S) de cette pièce, à l'aide d'une règle graduée et avec un stylo feutre, on trace une ligne droite sur laquelle on désigne huit points distants de 15 mm comme l'illustre la figure.2.1.

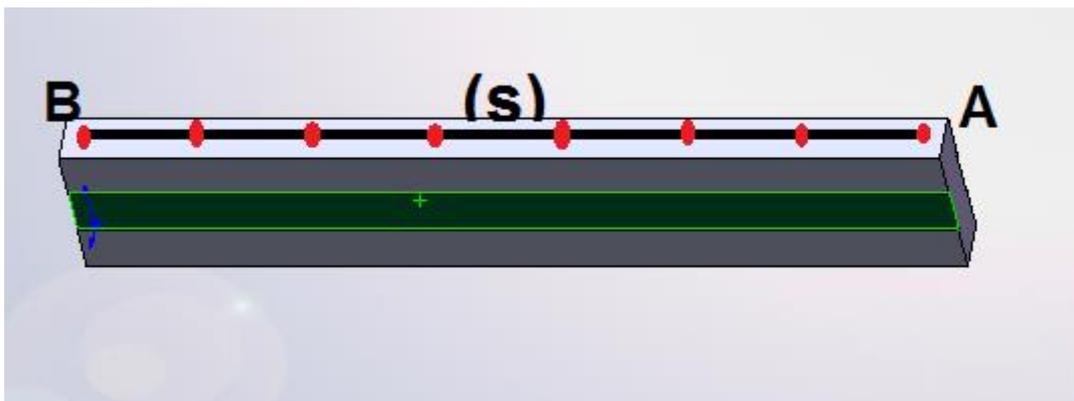


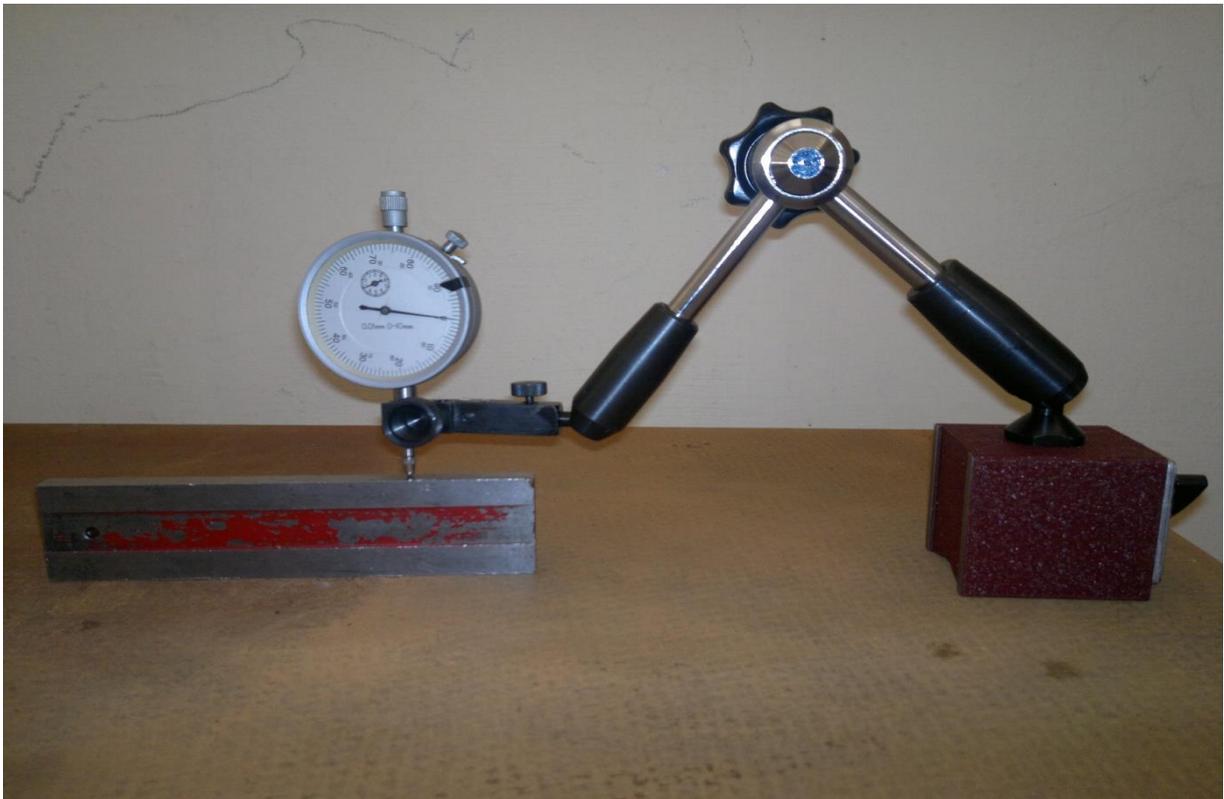
Fig.2.1. Désignation des points sur la surface (S) de la cale de la fraiseuse.

On dispose d'un marbre sur lequel on pose le socle d'un comparateur à cadran (précision de 0.01mm).

Ensuite, on pose la cale sur le marbre. On met la cale de la fraiseuse sur le marbre du comparateur perpendiculaire à la surface (S). On règle facilement le comparateur à «zéro" respectivement en point A de la surface (S). Les points (A et B) représentent respectivement le premier et le dernier point de la ligne à contrôler.

Enfin, on palpe tous les autres points de la ligne à contrôler par le palpeur du comparateur en faisant glisser son socle sur le marbre tout en relevant leurs écarts de mesure  $\xi_j$ .

On enlève la pièce de son emplacement puis on la balance à nouveau manuellement comme est illustrée par la figure.2.2 sur le marbre et on recommence les opérations de contrôle citées avant pour palper les mêmes points de la ligne réelle.



**Fig.2.2. Contrôle de la rectitude sur marbre de cale de fraiseuse.**

Les écarts de mesure  $\xi_j$  pour les trois "mesures" de la pièce avec leurs abscisses en  $x_i$  sur le plan (S) sont donnés au tableau 2.1

**Tableau.2.1. Ecart de mesure de la rectitude de cale de fraiseuse.**

N°	Ecart de mesure $\xi_j = z_i$ (en mm)			$x_i$ (mm)
	1 <sup>er</sup> mesure	2 <sup>ème</sup> mesure	3 <sup>ème</sup> mesure	
<b>1</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0</b>
<b>2</b>	<b>+0.02</b>	<b>+0.04</b>	<b>+0.03</b>	<b>15</b>
<b>3</b>	<b>-0.01</b>	<b>+0.03</b>	<b>+0.02</b>	<b>30</b>
<b>4</b>	<b>-0.03</b>	<b>+0.02</b>	<b>-0.02</b>	<b>45</b>
<b>5</b>	<b>-0.04</b>	<b>-0.02</b>	<b>+0.01</b>	<b>60</b>
<b>6</b>	<b>-0.01</b>	<b>-0.04</b>	<b>-0.01</b>	<b>75</b>
<b>7</b>	<b>-0.02</b>	<b>-0.02</b>	<b>-0.03</b>	<b>90</b>
<b>8</b>	<b>-0.02</b>	<b>-0.04</b>	<b>-0.03</b>	<b>105</b>

**2.2.1.1. Calcul des défauts de forme nominaux**

Les défauts de forme nominaux sont calculés à partir des valeurs maximales et minimales du tableau 2.1 de chaque mesure de la cale de fraiseuse et sont donnés au tableau 2.2.

**Tableau.2.2. Défauts de forme nominaux de la rectitude de disque de cale de fraiseuse.**

Défauts de forme nominaux $Df_n = \sup \{ \xi_i \} - \inf \{ \xi_i \}$ en mm			
1 <sup>er</sup> mesure	2 <sup>ème</sup> mesure	3 <sup>ème</sup> mesure	Moyenne des $Df_n$
<b>0.06</b>	<b>0.08</b>	<b>0.06</b>	<b>0.066</b>

**2.2.1.2. Calcul des moyennes arithmétiques des écarts de mesure  $\xi_i$** 

La moyenne de l'écart de mesure de chaque point palpé est donnée par la formule suivante :

$$\bar{\xi}_i = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \xi_i}{n} \quad (2.1)$$

Où n est le nombre de balancements de la pièce.

Les moyennes des écarts de mesure sont données au tableau.2.3

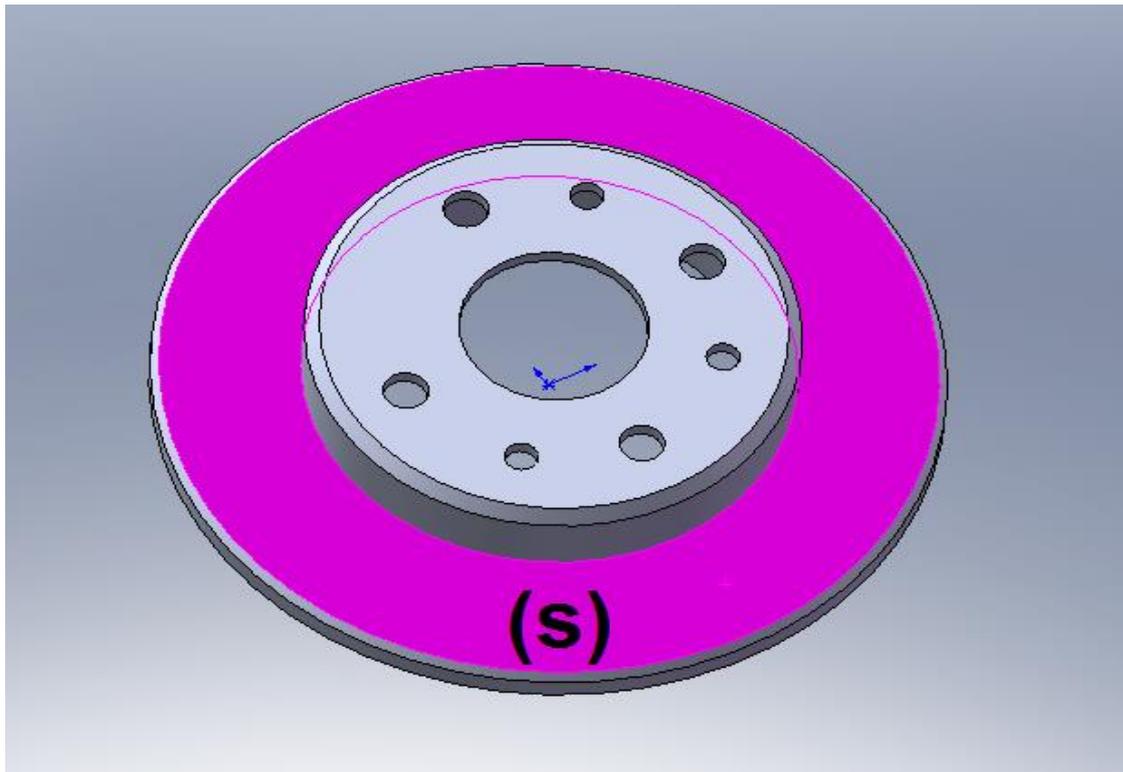
**Tableau.2.3. Moyennes des écarts de mesure de la rectitude de la cale de fraiseuse**

N°	Moyennes des écarts de mesure en mm	N°	Moyennes des écarts de mesure en mm
1	0.00	5	-0.016
2	+0.03	6	-0.02
3	+0.013	7	-0.023
4	-0.01	8	-0.03

### 2.3. Application du contrôle de la planéité :

#### 2.3.1. Contrôle sur marbre à l'aide du comparateur de la pièce "disque de frein"

La pièce mesurée c'est un disque de frein et la surface à contrôler de la pièce se représentée par la figure.2.3.



**Fig.2.3. Surface à contrôler du disque de frein**

- ❖ L'intervalle de tolérance (IT) imposé est de 0.02mm.

❖ Le dessin définition du disque de frein illustré par la figure 2.4 :

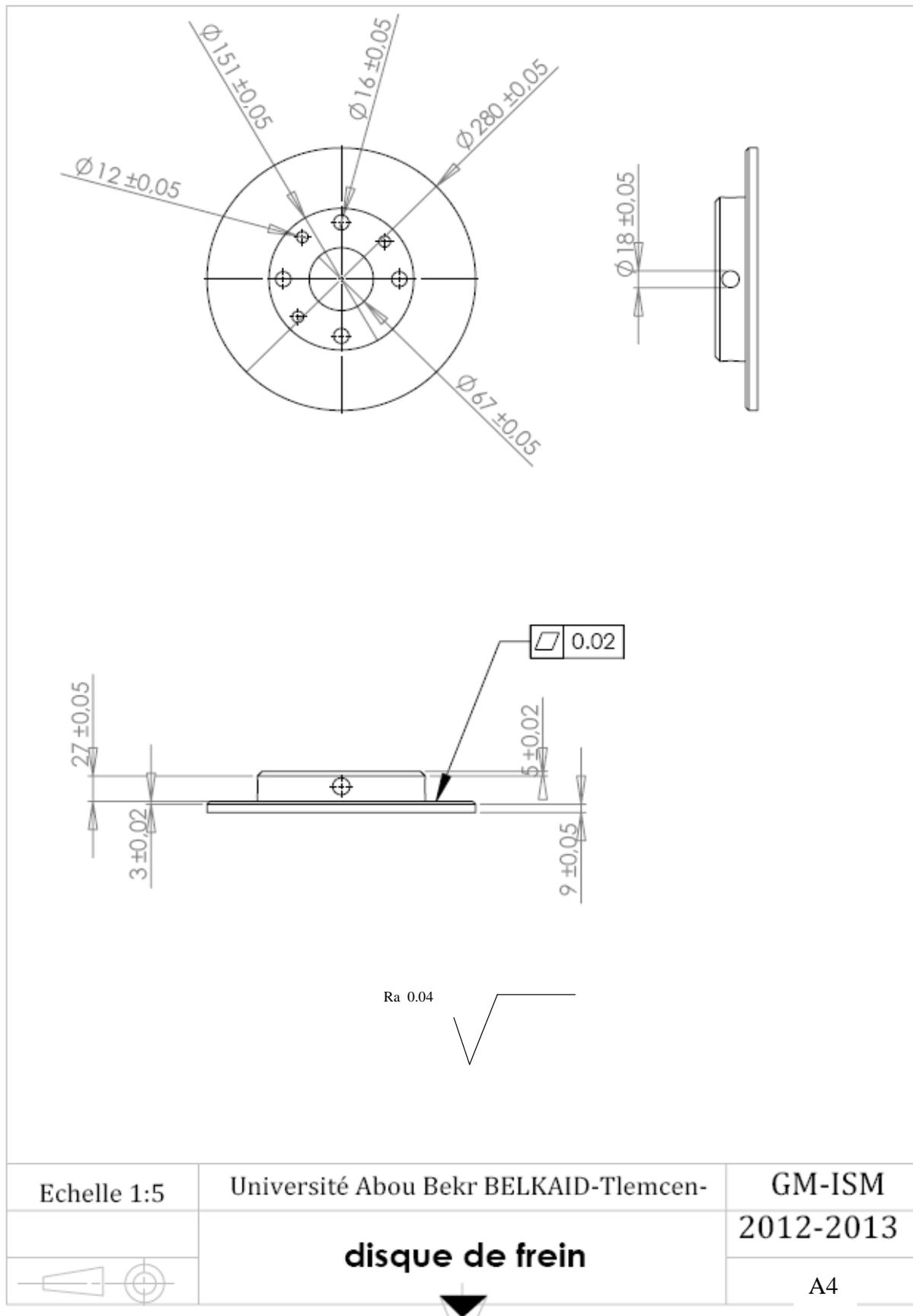


Fig.2.4. Dessin définition du disque de frein.

La division de la surface à contrôler en angles de 45° pour obtenir une répartition régulière sur toute la surface était faite sur un gabarit en carton.

Ce gabarit est posé sur la surface à contrôler de la pièce et on a exécuté le tracé de ces petits points avec un stylo feutre.



**Fig.2.5. Désignation et contrôle de la planéité.**

On dispose d'un marbre sur lequel on pose le socle d'un comparateur à cadran (précision de 0.01mm).

Ensuite, on pose la pièce "disque de frein" sur le marbre. On met le palpeur du comparateur en contact et perpendiculaire à la surface (S). On règle le comparateur pour marquer "zéro". Les mesures illustrées par la figure.2.5. Enfin, on palpe tous les autres points de la surface à contrôler par le palpeur du comparateur en faisant glisser son socle sur le marbre tout en relevant leurs écarts de planéité.

Tableau.2.4. Ecart de mesure de la planéité

N°	Ecart de mesure $\xi_i = z_i$ (en mm)			$x_i$ (mm)	$y_i$ (mm)
	1 <sup>er</sup> mesure	2 <sup>ème</sup> mesure	3 <sup>ème</sup> mesure		
1	0.00	0.00	0.00	250	0
2	+0.01	+0.01	-0.01	177.77	177.77
3	-0.01	-0.01	+0.01	0	250
4	+0.02	-0.01	+0.03	-177.77	177.77
5	+0.02	+0.01	+0.02	-250	0
6	+0.01	-0.01	+0.01	-177.77	-177.77
7	+0.02	+0.02	-0.01	0	-250
8	+0.03	+0.01	+0.01	177.77	-177.77
9	+0.01	+0.02	+0.01	260	0
10	-0.01	+0.04	-0.01	183.84	183.84
11	-0.01	+0.01	+0.01	0	260
12	+0.01	-0.01	-0.02	-183.84	183.84
13	+0.03	+0.02	+0.01	-260	0
14	+0.02	+0.02	+0.03	-183.84	-183.84
15	-0.01	-0.01	+0.01	0	-260
16	+0.02	+0.01	+0.02	183.84	-183.84
17	-0.01	+0.03	+0.04	270	0
18	-0.01	+0.01	+0.03	190.91	190.91
19	+0.02	-0.01	+0.01	0	270
20	+0.03	+0.01	-0.01	-190.91	190.91
21	+0.03	-0.01	-0.01	-270	0
22	+0.01	+0.01	+0.01	-190.91	-190.91
23	+0.03	+0.03	+0.02	0	-270
24	+0.02	+0.01	+0.01	190.91	-190.91

### 2.3.1.1. Calcul des défauts de forme nominaux

A partir du tableau.2.4, on calcule les défauts de forme nominaux qui sont donnés au tableau.2.5.

Tableau.2.5. Défauts de forme nominaux de la planéité

Défauts de forme nominaux $Df_n = \sup\{\xi_i\} - \inf\{\xi_i\}$ en mm			
1 <sup>er</sup> mesure	2 <sup>ème</sup> mesure	3 <sup>ème</sup> mesure	Moyenne des $Df_n$
0.04	0.05	0.06	0.05

**2.3.1.2. Calcul des moyennes arithmétiques des écarts de mesure  $\bar{\xi}_i$** 

Les moyennes des écarts de mesure sont données au tableau.2.6

**Tableau.2.6. Moyennes des écarts de mesure de la planéité de disque de frein**

N°	Moyennes des écarts de mesure en mm	N°	Moyennes des écarts de mesure en mm
<b>1</b>	<b>0.000</b>	<b>13</b>	<b>+0.020</b>
<b>2</b>	<b>+0.003</b>	<b>14</b>	<b>+0.023</b>
<b>3</b>	<b>-0.003</b>	<b>15</b>	<b>-0.003</b>
<b>4</b>	<b>+0.013</b>	<b>16</b>	<b>+0.016</b>
<b>5</b>	<b>+0.016</b>	<b>17</b>	<b>+0.020</b>
<b>6</b>	<b>+0.003</b>	<b>18</b>	<b>+0.010</b>
<b>7</b>	<b>+0.010</b>	<b>19</b>	<b>+0.006</b>
<b>8</b>	<b>+0.016</b>	<b>20</b>	<b>+0.010</b>
<b>9</b>	<b>+0.013</b>	<b>21</b>	<b>+0.003</b>
<b>10</b>	<b>+0.006</b>	<b>22</b>	<b>+0.010</b>
<b>11</b>	<b>+0.003</b>	<b>23</b>	<b>+0.026</b>
<b>12</b>	<b>-0.006</b>	<b>24</b>	<b>+0.013</b>

## 2.4. Application du contrôle de la circularité :

### 2.4.1 Contrôle sur marbre à l'aide du comparateur de la pièce "roulement"

L'opération de contrôle consiste à poser un vé de  $90^\circ$  sur un marbre ensuite à placer le roulement sur les deux faces de ce vé.

Par un stylo feutre, on trace une ligne circulaire sur le diamètre extérieur du roulement sur laquelle on désigne des points distants à palper.

Le réglage à "zéro" du comparateur se fait en positionnant sa touche sur la ligne circulaire du roulement en faisant déplacer l'ensemble (vé + roulement) jusqu'à détection du tous les points illustré par la figure.2.6.



**Fig.2.6. Contrôle de la circularité (roulement)**

En faisant tourner manuellement le roulement en rotation sans le déplacer sur le vé et en palpant les points déjà repérés par le capteur tout en relevant leurs écarts de mesure.

On répète cette opération pour trois mesures de la pièce. Les écarts de mesure des 8 points avec leurs coordonnées sont donnés au tableau.2.7.

Tableau.2.7. Ecart de mesure de la circularité du roulement

N°	Ecart de mesure $\xi_i = z_i$ (en mm)			$x_i$ (mm)	$y_i$ (mm)
	1 <sup>er</sup> mesure	2 <sup>ème</sup> mesure	3 <sup>ème</sup> mesure		
1	0.00	0.00	0.00	80	0
2	+0.01	+0.01	+0.01	56.56	56.56
3	+0.01	+0.01	-0.01	0	80
4	+0.01	+0.01	+0.01	-56.56	56.56
5	-0.01	-0.01	+0.01	-80	0
6	+0.01	+0.01	+0.02	-56.56	-56.56
7	+0.02	-0.01	+0.01	0	-80
8	+0.01	-0.01	-0.01	56.56	-56.56

2.4.1.1. Calcul des défauts de forme nominaux de la circularité

A partir du tableau.2.7, on calcule les défauts de forme nominaux de la circularité qui sont donnés sur le tableau .2.8.

Tableau.2.8. Défauts de forme nominaux de la circularité.

Défauts de forme nominaux $Df_n = \sup\{\xi_i\} - \inf\{\xi_i\}$ en mm			
1 <sup>er</sup> mesure	2 <sup>ème</sup> mesure	3 <sup>ème</sup> mesure	Moyenne des $Df_n$
0.030	0.020	0.030	0.026

2.4.1.2. Calcul des moyennes arithmétiques des écarts de mesure  $\xi_i$

Les moyennes des écarts de mesure sont données au tableau.2.9

Tableau.2.9. Moyennes des écarts de mesure de la circularité de roulement

N°	Moyennes des écarts de mesure en mm	N°	Moyennes des écarts de mesure en mm
1	0.000	5	-0.003
2	+0.01	6	+0.013
3	+0.003	7	+0.006
4	+0.010	8	-0.003

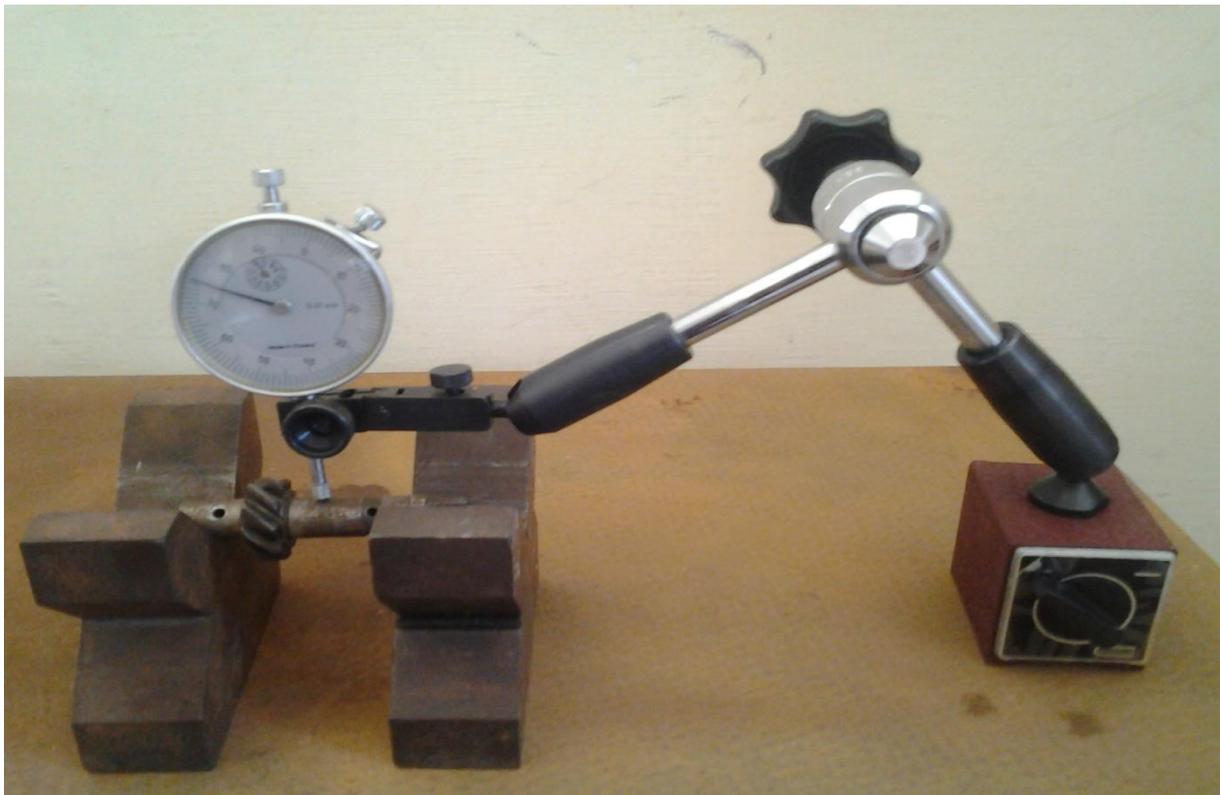
## 2.5. Application du contrôle de la cylindricité :

### 2.5.1 Contrôle sur marbre à l'aide du comparateur de la pièce "pignon de delco"

L'opération de contrôle consiste à poser deux vés de 90° sur un marbre ensuite à placer le pignon sur les quatre faces de ces vés.

Par un stylo feutre, on trace des lignes circulaires sur le diamètre extérieur du pignon sur laquelle on désigne des points distants à palper.

Le réglage à "zéro" du comparateur se fait en positionnant sa touche sur les trois lignes circulaire du pignon en faisant déplacer l'ensemble (vé + pignon) jusqu'à détection du tous les point, illustré par la figure.2.7.



**Fig.2.7. Contrôle de la cylindricité (pignon du delco).**

En faisant tourner manuellement le pignon en rotation sans le déplacer sur les vés et en palpant les points déjà repérés par le comparateur tout en relevant leurs écarts de mesure.

On répète cette opération pour trois balancements de la pièce. Les écarts de mesure des 24 points avec leurs coordonnées sont donnés au tableau.2.10.

**Tableau.2.10. Ecarts de mesure de la cylindricité de pignon du delco**

N°	Ecart de mesure $\xi_j = z_i$ (en mm)			$x_i$ (mm)	$y_i$ (mm)
	1 <sup>er</sup> mesure	2 <sup>ème</sup> mesure	3 <sup>ème</sup> mesure		
1	0.00	0.00	0.00	16	0
2	-0.01	-0.02	-0.02	11.31	11.31
3	+0.01	-0.01	+0.01	0	16
4	+0.02	+0.03	+0.03	-11.31	11.31
5	+0.02	+0.03	+0.04	-16	0
6	-0.01	+0.01	+0.02	-11.31	-11.31
7	+0.03	-0.02	+0.03	0	-16
8	+0.01	-0.02	+0.02	11.31	-11.31
9	-0.01	+0.01	+0.04	16	0
10	+0.02	+0.01	+0.02	11.31	11.31
11	+0.02	+0.03	+0.01	0	16
12	+0.03	-0.01	-0.01	-11.31	11.31
13	+0.01	-0.01	-0.02	-16	0
14	-0.01	-0.03	-0.02	-11.31	-11.31
15	-0.01	+0.01	+0.01	0	-16
16	-0.01	+0.04	-0.02	11.31	-11.31
17	-0.01	+0.02	+0.01	16	0
18	+0.02	+0.01	-0.02	11.31	11.31
19	-0.01	+0.01	-0.01	0	16
20	+0.02	+0.01	-0.02	-11.31	11.31
21	+0.01	+0.02	+0.01	-16	0
22	+0.01	+0.03	+0.03	-11.31	-11.31
23	+0.02	-0.01	+0.02	0	-16
24	+0.01	+0.02	+0.01	11.31	-11.31

### 2.5.1.1. Calcul des défauts de forme nominaux de la cylindricité

A partir du tableau.2.10, on calcule les défauts de forme nominaux de la cylindricité qui sont donnés sur le tableau .2.11.

**Tableau.2.11. Défauts de forme nominaux de la cylindricité**

Défauts de forme nominaux $Df_n = \sup\{\xi_j\} - \inf\{\xi_j\}$ en mm			
1 <sup>er</sup> mesure	2 <sup>ème</sup> mesure	3 <sup>ème</sup> mesure	Moyenne des $Df_n$
<b>0.04</b>	<b>0.06</b>	<b>0.06</b>	<b>0.053</b>

### 2.5.1.2. Calcul des moyennes arithmétiques des écarts de mesure $\xi_j$

Les moyennes des écarts de mesure sont données au tableau.2.12.

**Tableau.2.12. Moyennes des écarts de mesure de la cylindricité**

N°	Moyennes des écarts de mesure en mm	N°	Moyennes des écarts de mesure en mm
<b>1</b>	<b>0.000</b>	<b>13</b>	<b>-0.006</b>
<b>2</b>	<b>-0.016</b>	<b>14</b>	<b>-0.020</b>
<b>3</b>	<b>+0.003</b>	<b>15</b>	<b>+0.003</b>
<b>4</b>	<b>+0.026</b>	<b>16</b>	<b>+0.003</b>
<b>5</b>	<b>+0.030</b>	<b>17</b>	<b>+0.006</b>
<b>6</b>	<b>+0.006</b>	<b>18</b>	<b>+0.003</b>
<b>7</b>	<b>+0.013</b>	<b>19</b>	<b>-0.003</b>
<b>8</b>	<b>+0.003</b>	<b>20</b>	<b>+0.003</b>
<b>9</b>	<b>+0.013</b>	<b>21</b>	<b>+0.013</b>
<b>10</b>	<b>+0.016</b>	<b>22</b>	<b>+0.023</b>
<b>11</b>	<b>+0.020</b>	<b>23</b>	<b>+0.010</b>
<b>12</b>	<b>+0.003</b>	<b>24</b>	<b>+0.013</b>

## 2.6. Tableau récapitulatif des résultats :

Tableau.2.13. Récapitulatif des résultats

Spécifications de forme et intervalles de tolérance IT	Pièces	Contrôle Conventionnel	Intervalle de tolérance IT en (mm)
		<i>Défauts de forme nominaux en (mm)</i>	
Rectitude	Cale de fraiseuse	0.06 0.08 0.06	IT =0.05
Planéité	Disque de frein	0.04 0.05 0.06	IT =0.02
Circularité	Roulement	0.03 0.02 0.03	IT =0.05
Cylindricité	Pignon de delco	0.04 0.06 0.06	IT =0.05

Le tableau.2.13 montre que les résultats des défauts de forme nominaux du contrôle conventionnelle étaient très influencés par les perturbations des écarts de mesure constatées lors de leurs relevés qui ont été donnés par les différents tableaux précédents.

## 2.7. Conclusion :

A travers les valeurs des écarts de mesure  $\xi_j$  observées après l'étude expérimentale du contrôle conventionnel des spécifications géométriques de forme effectuées sur les différentes pièces sur marbre et comparateur à cadran ; on conclut qu'il y'a une non répétitivité de ces valeurs. Cela est dû à :

- l'influence d'erreurs sur la surface de la pièce mesurée.
- l'influence d'erreurs de la surface du marbre sur laquelle glisse le socle du comparateur
- l'influence d'erreurs sur les deux surfaces des faces du vé
- le choix arbitraire de la direction générale de la surface à contrôler dû au balancement manuel de la pièce sur la surface de mesure.

Egalement, les défauts de forme nominaux donnés par le tableau.2.13 sont soumis à des fluctuations.

Pour cela dans le cas d'un contrôle, si le défaut de forme nominal  $Df_n$  ainsi trouvé est inférieur à l'intervalle de tolérance IT imposé par le contrôle, on conclue que la pièce est bonne ; dans le cas contraire où  $Df_n$  est supérieur à IT on ne peut pas affirmer que la pièce est hors tolérance mais conclure seulement que la pièce n'a pas été trouvée bonne, en effet un autre choix de n points parmi les points palpés correspondant à un autre balancement de la surface donnerait peut être une pièce bonne. Cette procédure de contrôle ne permettra jamais d'affirmer que le défaut de forme nominal.  $Df_n$  ainsi trouvé est minimal.

Et pour pallier à ce problème de défaut de forme nominal  $Df_n$  ; nous proposons au chapitre 3 une étude d'un modèle mathématique pour l'association de surfaces de formes géométriques suivantes : droite, plan, cercle et cylindre avec leurs équations par le critère des moindres carrés.

On termine par l'élaboration d'un outil d'aide de vérification des points palpés pour confirmer l'acceptation ou le rejet de la pièce ; cela est conçu dans le chapitre 4.

***CHAPITRE 03 :***  
***Modèle mathématique du***  
***critère d'association des***  
***surfaces***

## CHAPITRE 03 : Modèle mathématique du critère d'association des surfaces

---

### 3.1. Introduction :

Après avoir posé les éléments de notre problématique, nous avons présenté dans le chapitre précédent les applications de contrôle d'une pièce sur la rectitude, une pièce sur la planéité, une pièce sur la circularité et une autre sur la cylindricité.

La définition géométrique d'un élément idéal est donnée par son équation mathématique. La surface fabriquée est définie par l'ensemble des points palpés  $M_i$  qui sont composés des coordonnées  $(x_i, y_i, z_i)$  représentées dans un repère cartésien.

Dans ce chapitre nous donnons les modèles mathématiques de chaque élément géométrie.

### 3.2. Calcul des paramètres

Les mesures effectuées sont des grandeurs soumises à des perturbations difficiles à synthèse et l'information qu'elles contiennent est difficilement utilisable. Nous essayons ici de montrer comment obtenir les différents paramètres théoriques. Tous les calculs sont basés sur le principe d'optimisation par la méthode des moindres –carrés.

Si les  $d_i$  représentent les écarts des points  $M_i$  à l'élément géométrique idéal associé. Les propriétés mathématiques sont les suivantes :

- parmi tous les éléments idéaux associés possibles, l'élément idéal des moindres carrés est celui qui minimise la somme des carrés des écarts  $d_i$ ,

$$\sum_{i=1}^{i=n} d_i^2 \text{ minimal} \quad (3.1)$$

- l'élément idéal des moindres carrés passant au mieux, il n'est pas tangent du coté libre de la

matière, la somme des écarts  $d_i$  est nulle,  $\sum_{i=1}^{i=n} d_i = 0$  (3.2)

On va déterminer les équations des trois éléments géométriques idéaux associés de la droite (rectitude), du plan (planéité), du cercle (circularité) et cylindre (cylindricité) [12].

### 3.3. Rectitude

Soit Z l'équation de la droite associée suivante[12] :

$$Z = A x + B \quad (3.3)$$

#### 3.3.1. Régression en Z par rapport à X

Calcul des coefficients A et B

$$A = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i z_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n z_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \quad (3.4)$$

Et

$$B = \frac{\sum_{i=1}^n z_i \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n x_i z_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \quad (3.5)$$

#### 3.3.2. Régression en X par rapport à Z

Calcul des coefficients A' et B'

$$A' = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i z_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n z_i}{n \sum_{i=1}^n z_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n z_i \right)^2} \quad (3.6)$$

## CHAPITRE 03 : Modèle mathématique du critère d'association des surfaces

Et

$$B' = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n z_i^2 - \sum_{i=1}^n z_i \sum_{i=1}^n x_i z_i}{n \sum_{i=1}^n z_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n z_i \right)^2} \quad (3.7)$$

Les  $x_i$  et  $z_i$  sont les coordonnées des points palpés qui forment le nuage de points et  $n$  représente leur nombre, la figure 4.1 montre la droite associée aux points palpés.

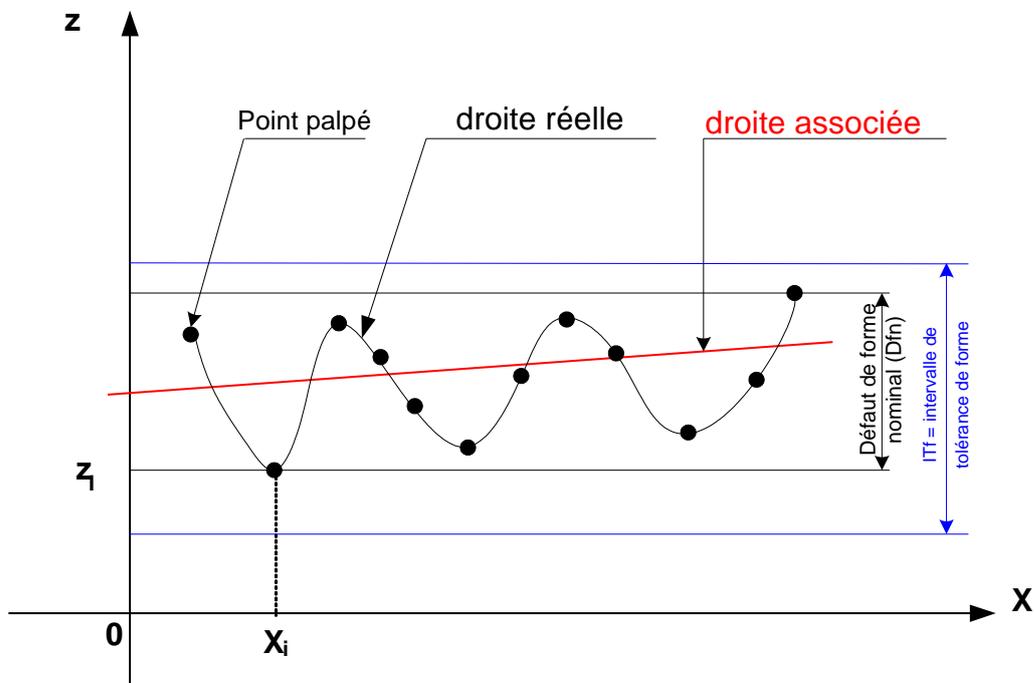


Fig.3.1. Droite associée de la rectitude [12]

## CHAPITRE 03 : Modèle mathématique du critère d'association des surfaces

---

### 3.4. Planéité

Le palpage de la surface réelle du plan est montré par les relevés expérimentaux sur la figure.3.2.

Le but de ce traitement consiste à chercher l'équation d'une fonction  $Z = f(X,Y)$  qui s'ajuste le mieux aux informations connues, puis à extrapoler les résultats à l'ensemble de l'espace étudié. Les valeurs X et Y correspondent aux coordonnées des lieux et Z aux valeurs des lieux (X;Y).

$$Z = AX + BY + C \quad (3.8)$$

Où A, B et C sont des inconnues à déterminer. Cela correspond à l'équation d'un plan. Nous allons donc approcher les données X, Y et Z par un plan. Pour retrouver les valeurs de A, B et C, nous allons procéder à une régression linéaire multiple d'ordre 2

Pour calculer les coefficients A, B et C de l'équation du plan qui approche les données, nous allons effectuer une régression linéaire multiple d'ordre 2 qui correspond à une double régression linéaire classique. On va appliquer la méthode des moindres carrés aux deux variables X et Y. On obtiendra alors les valeurs de A, B et C ce qui nous permettra de connaître l'équation du plan qui approche les données. Ensuite, il reste à donner à chaque lieu Z la valeur du plan qui lui est associée [12].

Appelons  $\Phi$  la fonction de paramètres A, B et C qui correspond à la somme des carrés des écarts :

$$\Phi = \sum (Z - AX - BY - C)^2 \quad (3.9)$$

Les dérivées partielles sont les suivantes:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial A} = -2 \sum X(Z - AX - BY - C) \Leftrightarrow \sum XZ = A \sum X^2 + B \sum XY + C \sum X \quad (3.10)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial B} = -2 \sum Y(Z - AX - BY - C) \Leftrightarrow \sum YZ = A \sum XY + B \sum Y^2 + C \sum Y \quad (3.11)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial C} = -2 \sum (Z - AX - BY - C) \Leftrightarrow \sum Z = A \sum X + B \sum Y + nC \quad (3.12)$$

## CHAPITRE 03 : Modèle mathématique du critère d'association des surfaces

---

Avec  $n$  le nombre de valeurs

On obtient alors un système de 3 équations à 3 inconnues

$$\begin{aligned}\sum XZ &= A \sum X^2 + B \sum YX + C \sum X \\ \sum YZ &= A \sum YX + B \sum Y^2 + C \sum Y \\ \sum Z &= A \sum X + B \sum Y + n.C\end{aligned}\tag{3.13}$$

La forme matricielle est la suivante :

$$\begin{pmatrix} \sum X^2 & \sum YX & \sum X \\ \sum YX & \sum Y^2 & \sum Y \\ \sum X & \sum Y & n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum XZ \\ \sum YZ \\ \sum Z \end{pmatrix}\tag{3.14}$$

La résolution du système précédent donne les résultats suivants:

$$A = \frac{(n \sum XZ - \sum X \sum Z)(n \sum Y^2 - (\sum Y)^2) - (n \sum YZ - \sum Y \sum Z)(n \sum YX - \sum Y \sum X)}{(n \sum X^2 - (\sum X)^2)(n \sum Y^2 - (\sum Y)^2) - (n \sum YX - \sum Y \sum X)^2}\tag{3.15}$$

$$B = \frac{(n \sum XZ - \sum X \sum Z)(n \sum YX - \sum Y \sum X) - (n \sum YZ - \sum Y \sum Z)(n \sum X^2 - (\sum X)^2)}{(n \sum YX - \sum Y \sum X)^2 - (n \sum X^2 - (\sum X)^2)(n \sum Y^2 - (\sum Y)^2)}\tag{3.16}$$

## CHAPITRE 03 : Modèle mathématique du critère d'association des surfaces

On en déduit la valeur de C à partir de A et B:

$$C = \frac{1}{n} (\sum Z - A \sum X - B \sum Y) \quad (3.17)$$

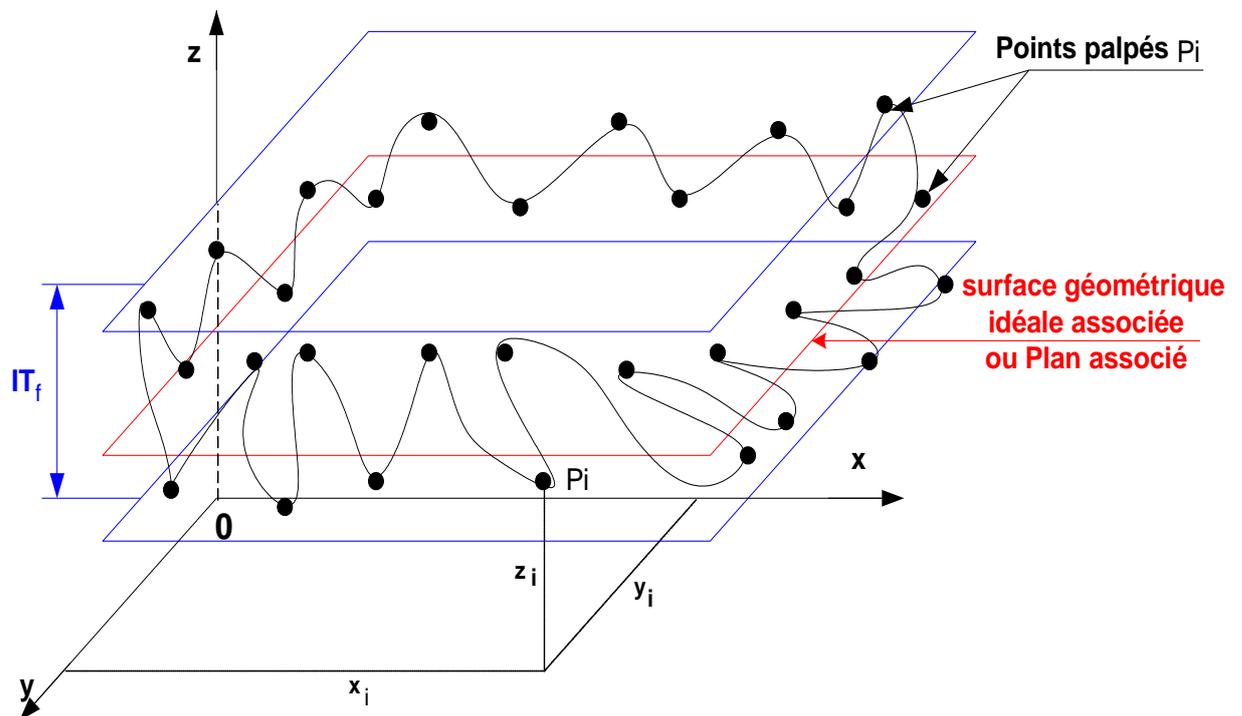


Fig.3.2. Plan associé de la planéité [12]

### 3.5. Circularité

En ce qui concerne la forme circulaire elle est définie dans un repère cartésien par une équation de la forme [12]:

$$(\mathbf{x} - \mathbf{a})^2 + (\mathbf{y} - \mathbf{b})^2 = \mathbf{r}^2 \quad (3.18)$$

Où  $\mathbf{r}$  représente le rayon du cercle.

On calcule le rayon optimal du cercle  $\mathbf{r}_{\text{opt}}$  illustré par la figure 3.3 telle que la différence par rapport à chaque rayon relevé par la mesure  $\mathbf{r}_i$  soit minimale.

$$b = \frac{b1 - b2}{2 \left[ n \sum_{i=1}^n y^2 - \left[ \sum_{i=1}^n y \right]^2 \right] - 2 \left[ n \sum_{i=1}^n xy - \sum_{i=1}^n x \sum_{i=1}^n y \right]} \quad (3.19)$$

$$b1 = \left[ \sum_{i=1}^n x^2 - \left( \sum_{i=1}^n x \right)^2 \right] \cdot \left[ n \sum_{i=1}^n y (x^2 + y^2) - \sum_{i=1}^n y \sum_{i=1}^n (x^2 + y^2) \right]$$

$$b2 = \left[ \sum_{i=1}^n xy - \sum_{i=1}^n x \sum_{i=1}^n y \right] \cdot \left[ n \sum_{i=1}^n y (x^2 + y^2) - \sum_{i=1}^n y \sum_{i=1}^n (x^2 + y^2) \right]$$

$$a = \frac{\left[ n \sum_{i=1}^n xy - \sum_{i=1}^n x \sum_{i=1}^n y \right] - 2b \left[ n \sum_{i=1}^n xy - \sum_{i=1}^n x \sum_{i=1}^n y \right]}{2 \left[ n \sum_{i=1}^n y^2 - \left[ \sum_{i=1}^n y \right]^2 \right] - 2 \left[ n \sum_{i=1}^n xy - \sum_{i=1}^n x \sum_{i=1}^n y \right]^2} \quad (3.20)$$

## CHAPITRE 03 : Modèle mathématique du critère d'association des surfaces

Tel que **a** et **b** sont les coordonnées du centre du cercle et **n** le nombre de points.

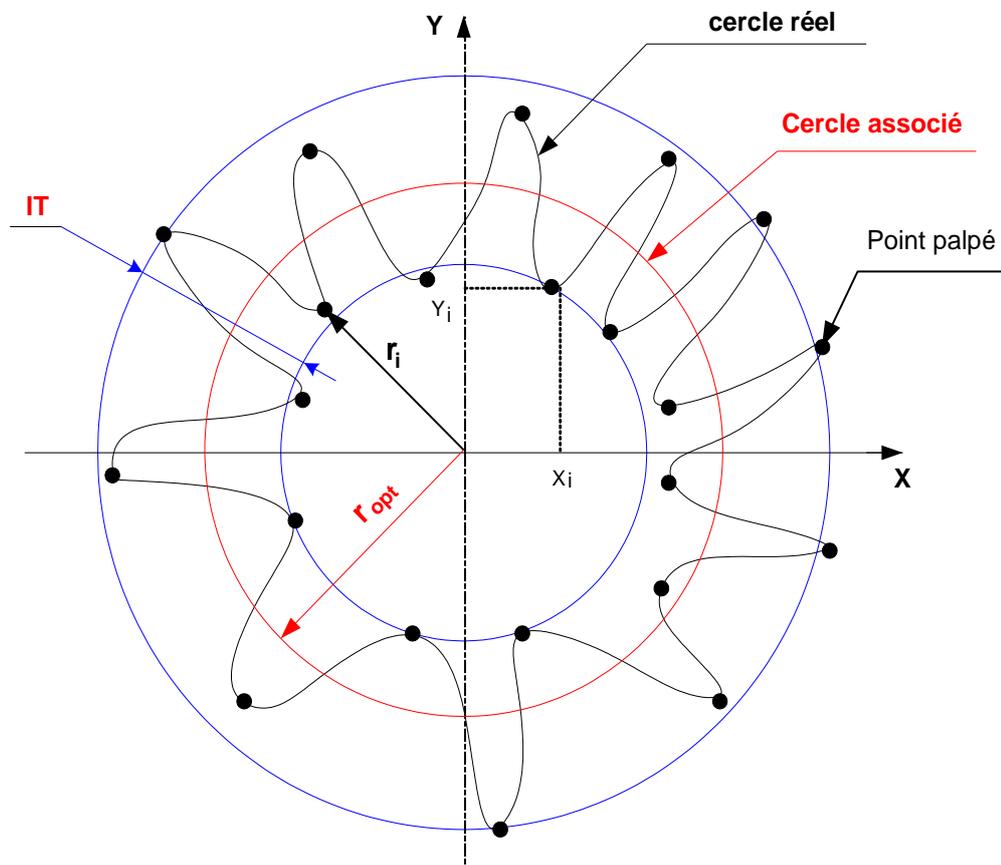


Fig. 3.3. Cercle associé de la circularité [12]

Le rayon optimal :

$$r_i = \sqrt{(x_i - a)^2 + (y_i)^2} \quad (3.21)$$

$$r_{opt} = \frac{\sum_{i=1}^n r_i}{n} \quad (3.22)$$

### 3.6. Cylindricité :

Dans cette partie nous exposons la forme cylindrique figure (3.4)

On rappelle l'équation d'un cylindre centre [1]:

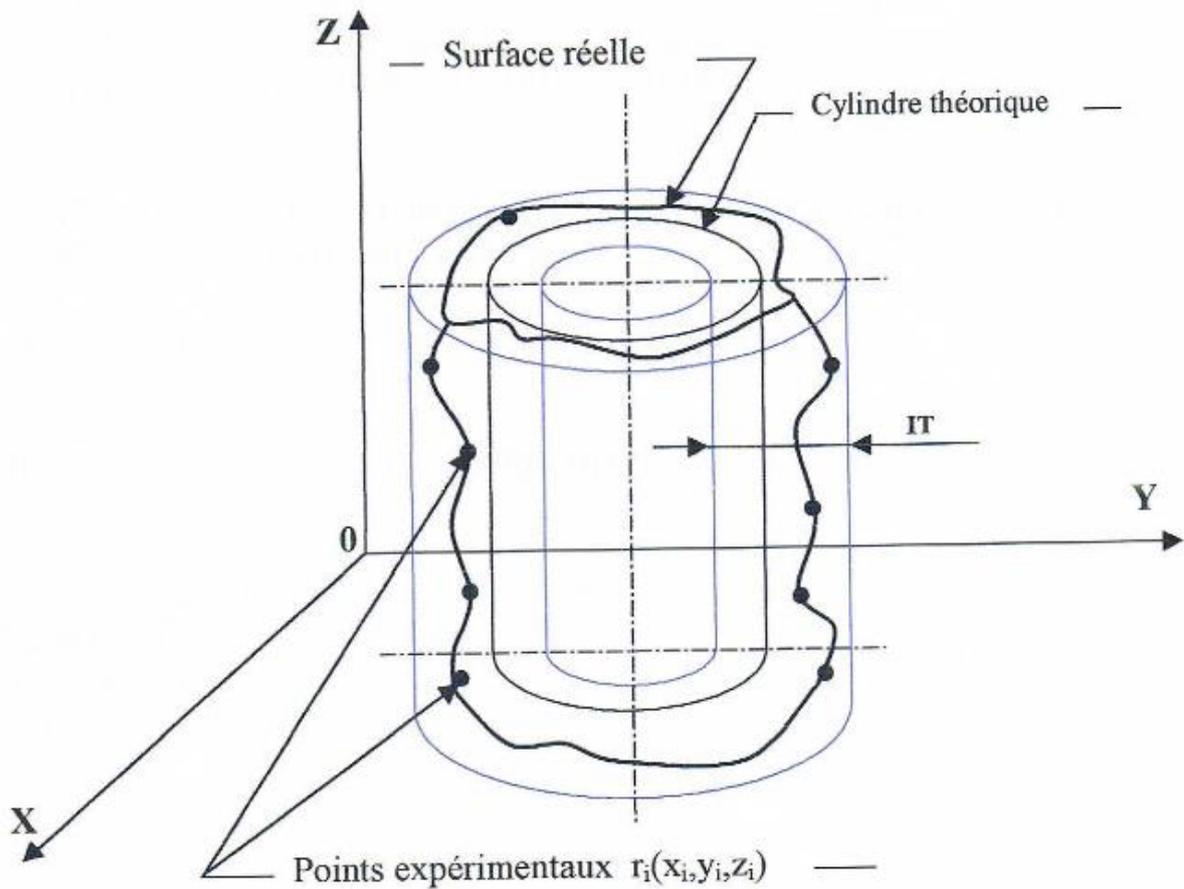


Fig.3.4 : Cylindre associé de la cylindricité [1]

$$D_i = \sqrt{(x - a)_i^2 + (y - b)_i^2} \quad (3.21)$$

$$b = \frac{(b1 - b2)}{2 \left[ n \sum_{i=1}^n y^2 - \left[ \sum_{i=1}^n y \right]^2 \right] - 2 \left[ n \sum_{i=1}^n xy - \sum_{i=1}^n y \right]} \quad (3.22)$$

$$b1 = \left[ \sum_{i=1}^n x^2 - \left( \sum_{i=1}^n x \right)^2 \right] \cdot \left[ n \sum_{i=1}^n y(x^2 + y^2) - \sum_{i=1}^n y \sum_{i=1}^n (x^2 + y^2) \right]$$

$$b2 = \left[ n \sum_{i=1}^n xy - \sum_{i=1}^n x \sum_{i=1}^n y \right] \cdot \left[ n \sum_{i=1}^n x(x^2 + y^2) - \sum_{i=1}^n x \sum_{i=1}^n (x^2 + y^2) \right]$$

$$a = \frac{\left[ n \sum_{i=1}^n xy - \sum_{i=1}^n x \sum_{i=1}^n (x^2 + y^2) \right] - 2b \left[ n \sum_{i=1}^n xy \sum_{i=1}^n x \sum_{i=1}^n y \right]}{2 \left[ n \sum_{i=1}^n y^2 - \left[ \sum_{i=1}^n y \right]^2 \right] - 2 \left[ n \sum_{i=1}^n xy - \sum_{i=1}^n y \right]^2} \quad (3.23)$$

$$D_{opt} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n} \quad (3.24)$$

### **3.7. Conclusion**

Dans ce chapitre ; nous avons calculé les paramètres des équations des quatre éléments géométriques qui sont : la droite, le plan, le cercle et le cylindre.

La détermination des équations des quatre éléments géométriques idéaux associés est faite par le critère des moindres carrés.

La conception du programme proposée au chapitre 4 pour la vérification des spécifications géométriques de forme de ces quatre éléments géométriques.

# ***CHAPITRE 04 :***

## ***Conception d'un outil d'aide à la vérification.***

## 4.1. Introduction :

Pour pallier aux problèmes de l'acceptation ou du rejet des pièces mécaniques posés par les contrôles des spécifications de forme dans notre atelier de génie mécanique à l'Université Aboubekr Belkaïd Tlemcen, dans les centres de formation professionnelle et entreprises qui manquent à un outil d'aide à la vérification des spécifications géométriques de forme .

Le programme a été développé en utilisant le langage « JAVA ».

On expose un exemple pour la vérification de la rectitude et un exemple pour la planéité.

## 4.2. Description de langage Java:

Le langage **Java** est un langage de programmation informatique orienté objet créé par James Gosling et Patrick Naughton, employés de Sun Microsystems, avec le soutien de Bill Joy (cofondateur de Sun Microsystems en 1982, présenté officiellement le 23 mai 1995 au Sun World).

La société Sun a été ensuite rachetée en 2009 par la société Oracle qui détient et maintient désormais Java [13].

Java est le nom d'une technologie mise au point par Sun Microsystems qui permet de produire des logiciels indépendants de toute architecture matérielle. Java est à la fois un langage de programmation et une plateforme d'exécution. Le langage Java a la particularité principale d'être portable sur plusieurs systèmes d'exploitation tels que Windows, ou Linux. C'est la plateforme qui garantit la portabilité des applications développées en Java. Il permet de créer des applications autonomes et de doter les documents html de nouvelles fonctionnalités : animations interactives, applications intégrées, modèles 3D, etc. Ce langage est orienté objet et comprend des éléments spécialement conçus pour la création d'applications multimédia [14].

**4.2.1. Résumé des avantages de Java :**

- Portabilité excellente
- Langage puissant
- Langage orienté objet
- Langage de haut niveau
- Nombreuses bibliothèques tierces
- Très grande productivité
- Applications plus sûres et stables
- Nombreuses implémentations.

**4.3. Organigramme général :**

Une bonne définition des modules de programme et de leur interaction est l'une des plus importantes phases de la conception. La figure.4.1 illustre, en général, l'architecture fonctionnelle de notre programme. Cette figure représente toutes les étapes de la conception et l'implémentation. Cette partie, décrit les étapes successives dans notre organigramme de programmation :

1. Choix de la forme de l'élément à contrôler (rectitude, planéité, circularité et cylindricité).
2. Type du téléchargement des mesures effectuées :
  - Chargement manuel.
3. Précision de l'intervalle de tolérance admis par le concepteur de la pièce mécanique.
4. Résultat de contrôle.

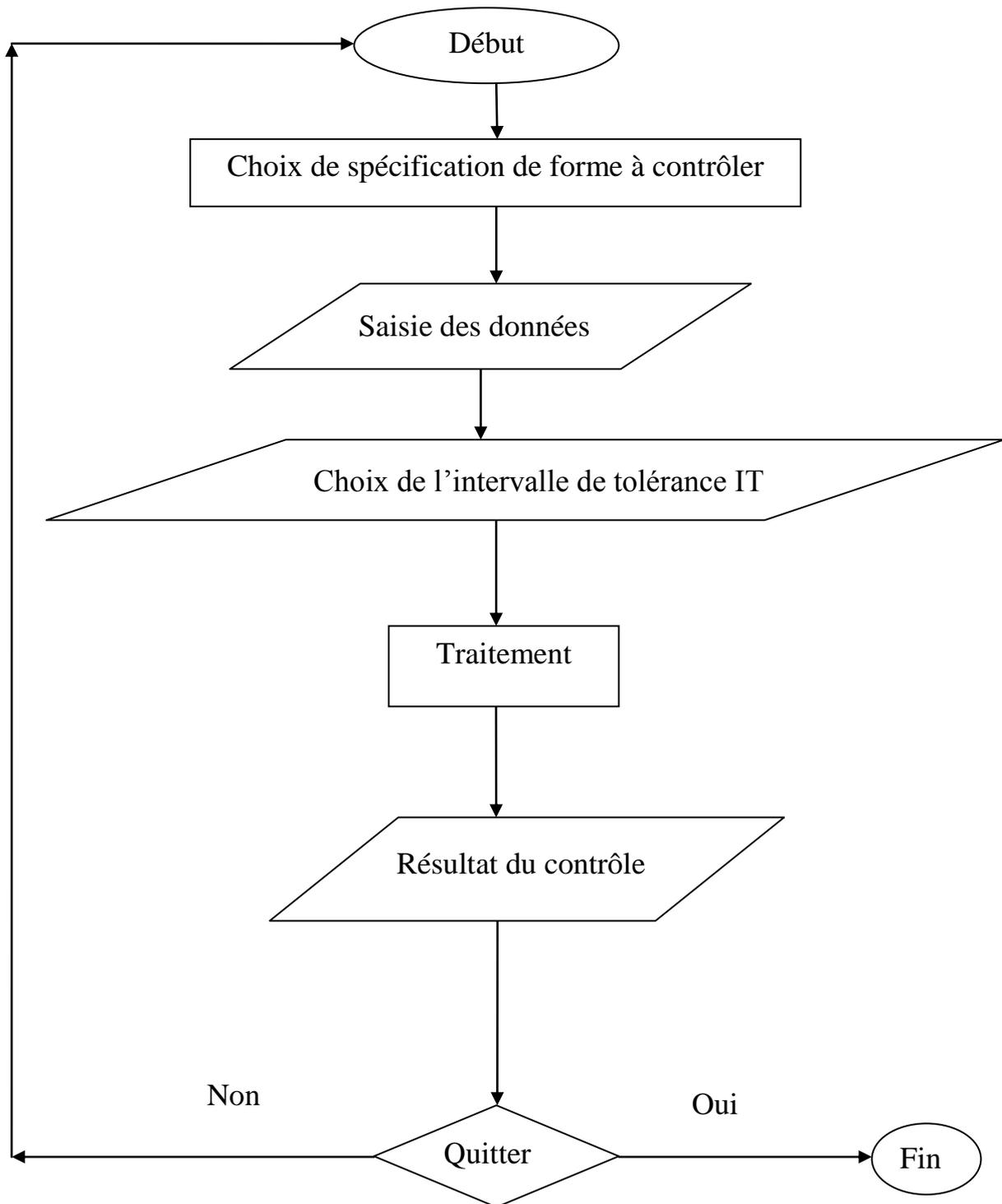


Fig.4.1.Organigramme général pour la vérification des éléments.

#### 4.4. Conception d'un outil d'aide pour la vérification des spécifications :

La Structure externe de l'interface du programme réalise l'interactivité entre l'utilisateur et le programme. Elle est composée de barres et de boites de dialogue. Comme toute application, notre programme comporte une page d'accueil (palette), illustrée par l'écran de la figure.4.2 qui contient un ensemble de boutons.



Fig.4.2. Page d'accueil (palette)

Ce programme est baptisé "CPM" sera présenté dans les sections qui suivent.

#### **4.4.1. Fonctionnalités des différents boutons :**

##### **4.4.1.1. Rectitude**

Le bouton Rectitude désigne le chemin vers le contrôle de la rectitude d'une arête ou d'une ligne d'une surface. Cet accès se fait par un simple clic du bouton gauche de la souris sur le bouton désigné de la palette.

##### **4.4.1.2. Planéité**

Le bouton Planéité désigne le chemin vers le contrôle de la forme des surfaces planes. Cet accès se fait par simple clic du bouton gauche de la souris sur le bouton désigné de la palette.

##### **4.4.1.3. Circularité**

Le bouton Circularité désigne le chemin vers le contrôle de la forme circulaire d'une surface de révolution. Cet accès se fait par un simple clic du bouton gauche de la souris sur le bouton désigné de la palette.

##### **4.4.1.4. Cylindricité**

Le bouton Cylindricité désigne le chemin vers le contrôle de la forme cylindrée d'une surface de révolution. Cet accès se fait par un simple clic du bouton gauche de la souris sur le bouton désigné de la palette.

##### **4.4.1.5. Quitter**

Il se fait par un simple clic du bouton gauche de la souris sur quitter. Elle se trouve dans la deuxième fenêtre.

#### 4.4.2. Interface du programme

Après avoir choisi la forme à contrôler en cliquant sur l'un des boutons de la palette, une boîte de dialogue apparaît par exemple celle du bouton de la rectitude illustrée par la figure.4.3.



The image shows a standard Windows-style dialog box with a title bar containing a small icon on the left and minimize, maximize, and close buttons on the right. The title of the dialog is "Controle de la rectitude". The main area of the dialog contains the following elements from top to bottom: a label "Entrer les cordonnées des points mesurées X (séparées par espace) :" followed by a single-line text input field; a label "Entrer les cordonnées des points mesurées (Z) :" followed by a single-line text input field; a label "Intervale de tolérance :" followed by a small text input field; a larger empty rectangular box; and finally, two buttons labeled "OK" and "Quitter" positioned to the right of the larger box.

**Fig.4.3. Fenêtre de saisie des coordonnées des points palpés.**

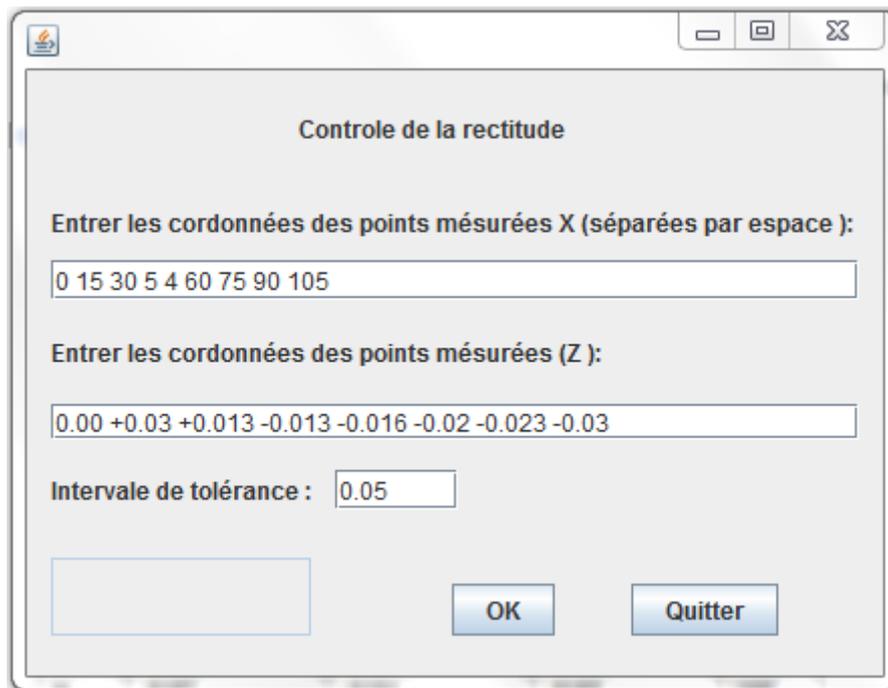
Cette dernière est composée de :

- deux champs dont l'utilisateur doit charger ses coordonnées x et z
- Un champ pour mentionner l'intervalle de tolérance IT
- Un bouton " Ok " pour valider l'opération
- Un bouton pour quitter

## 4.5. Exemples de vérification de la rectitude par l'outil d'aide :

### 4.5.1. Vérification de la rectitude de la pièce « cale pour fraiseuse »

Après le remplissage des champs de la boîte de saisie figure.4.4 par les coordonnées ( $x_i$ ) des points palpés du contrôle conventionnelle du tableau.2.1 et les moyennes des écarts de mesure ( $z_i$ ) du tableau.2.3 et l'intervalle de tolérance imposé de 0.05mm.



The image shows a software window titled "Contrôle de la rectitude". It contains three input fields and two buttons. The first field is labeled "Entrer les coordonnées des points mesurées X (séparées par espace) :" and contains the text "0 15 30 5 4 60 75 90 105". The second field is labeled "Entrer les coordonnées des points mesurées (Z) :" and contains the text "0.00 +0.03 +0.013 -0.013 -0.016 -0.02 -0.023 -0.03". The third field is labeled "Intervalle de tolérance :" and contains the text "0.05". There are "OK" and "Quitter" buttons at the bottom right.

Fig.4.4. Coordonnées et intervalle de tolérance de la cale de fraise (rectitude).

#### 4.5.2. Pièce acceptée avec IT = 0.05 mm

L'intervalle de tolérance imposé de 0.05mm. L'utilisateur clique du bouton gauche de la souris sur " ok " pour voir que cette pièce est acceptée ou rejetée (bonne ou mauvaise).

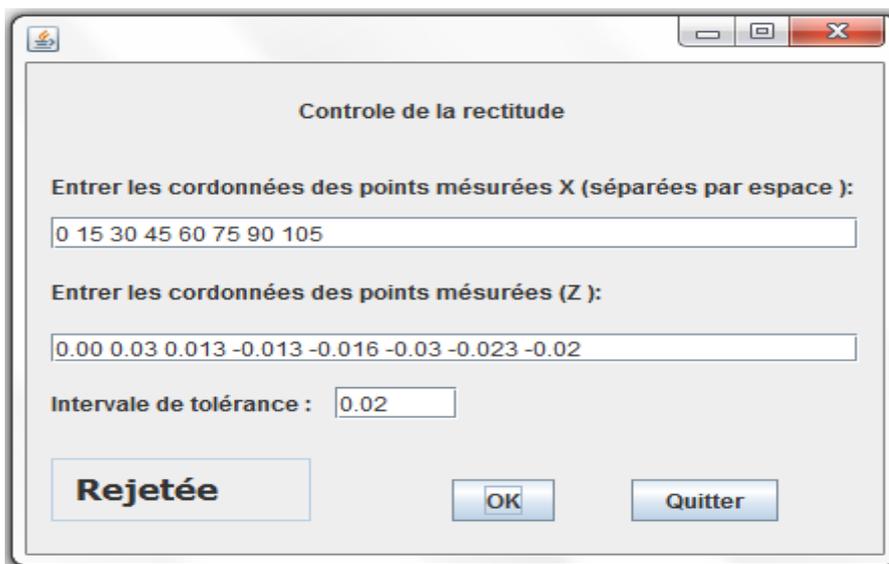


The screenshot shows a dialog box titled "Contrôle de la rectitude". It contains two input fields for coordinates: "Entrer les coordonnées des points mesurés X (séparées par espace) :" with the value "0 15 30 5 4 60 75 90 105" and "Entrer les coordonnées des points mesurés (Z) :" with the value "0.00 +0.03 +0.013 -0.013 -0.016 -0.02 -0.023 -0.03". Below these is a field for "Intervale de tolérance :" with the value "0.05". At the bottom, there are three buttons: "Acceptée" (highlighted in blue), "OK", and "Quitter".

Fig.4.5. Pièce acceptée avec IT = 0.05 mm (rectitude).

#### 4.5.3. Pièce rejetée avec IT = 0.02 mm

L'intervalle de tolérance imposé de 0.02mm. L'utilisateur clique du bouton gauche de la souris sur " ok " pour voir que cette pièce est acceptée ou rejetée (bonne ou mauvaise).



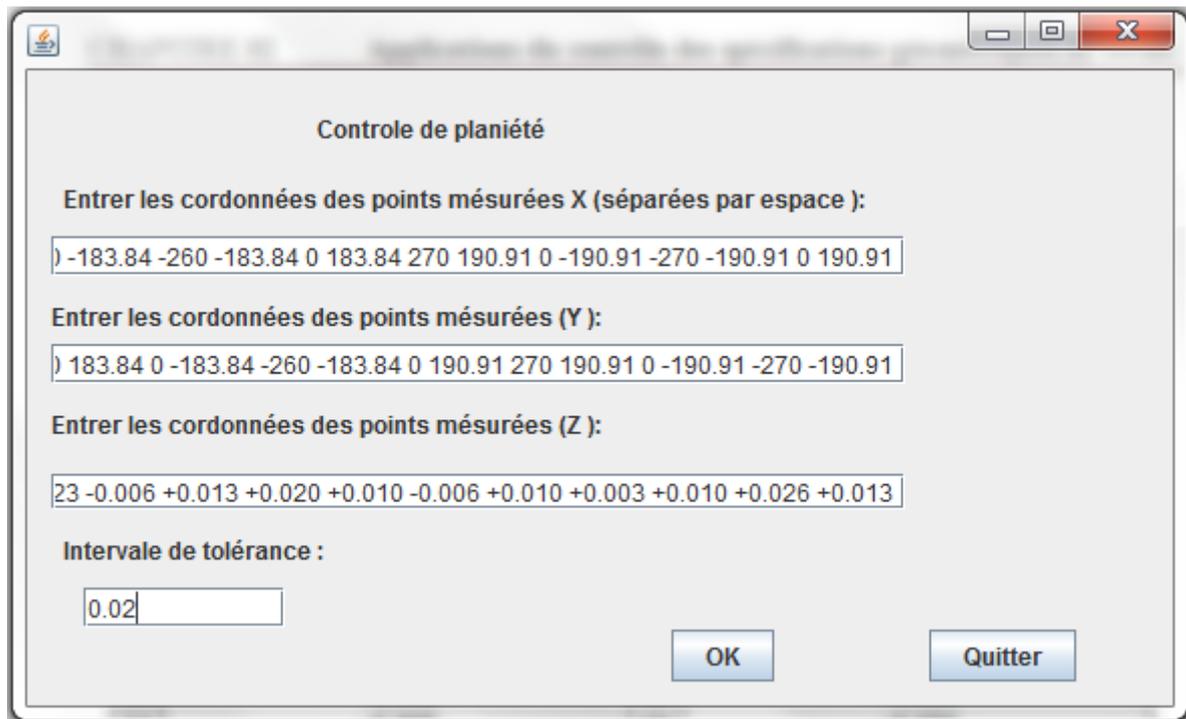
The screenshot shows a dialog box titled "Contrôle de la rectitude". It contains two input fields for coordinates: "Entrer les coordonnées des points mesurés X (séparées par espace) :" with the value "0 15 30 45 60 75 90 105" and "Entrer les coordonnées des points mesurés (Z) :" with the value "0.00 0.03 0.013 -0.013 -0.016 -0.03 -0.023 -0.02". Below these is a field for "Intervale de tolérance :" with the value "0.02". At the bottom, there are three buttons: "Rejetée" (highlighted in blue), "OK", and "Quitter".

Fig.4.6. Pièce rejetée avec IT = 0.02 mm (rectitude).

## 4.6. Exemple de vérification de la planéité par l'outil d'aide :

### 4.6.1. Vérification de la planéité de la pièce « disque de frein »

Après le remplissage des champs de la boîte de saisie de la figure.4.7 par les coordonnées ( $x_i$ ,  $y_i$ ) des points palpés du contrôle traditionnel du tableau.2.4 et les moyennes des écarts de mesure ( $z_i$ ) du tableau.2.6.

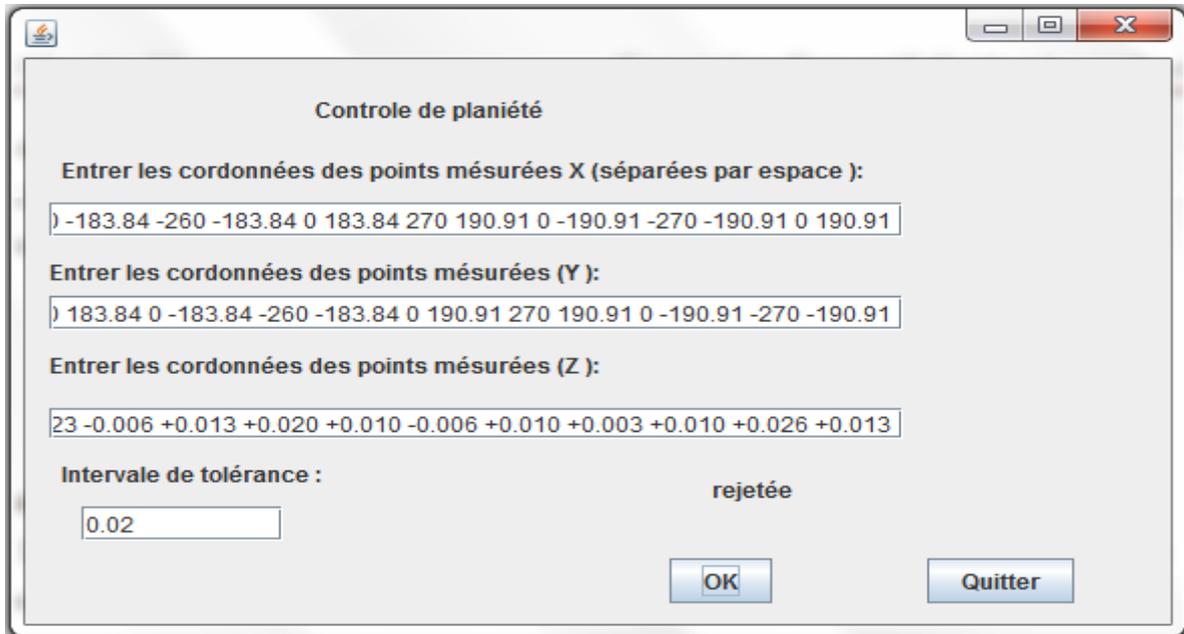


The screenshot shows a software window titled "Contrôle de planiété" with a standard Windows-style title bar (minimize, maximize, close buttons). The window contains four input fields and two buttons. The first field is labeled "Entrer les coordonnées des points mesurées X (séparées par espace) :" and contains the text "-183.84 -260 -183.84 0 183.84 270 190.91 0 -190.91 -270 -190.91 0 190.91". The second field is labeled "Entrer les coordonnées des points mesurées (Y) :" and contains "183.84 0 -183.84 -260 -183.84 0 190.91 270 190.91 0 -190.91 -270 -190.91". The third field is labeled "Entrer les coordonnées des points mesurées (Z) :" and contains "23 -0.006 +0.013 +0.020 +0.010 -0.006 +0.010 +0.003 +0.010 +0.026 +0.013". The fourth field is labeled "Intervalle de tolérance :" and contains "0.02". At the bottom right, there are two buttons: "OK" and "Quitter".

Fig.4.7. les Coordonnées et intervalle de tolérance de disque de frein (planéité).

#### 4.5.3. Pièce rejetée avec IT = 0.02 mm

L'intervalle de tolérance imposé de 0.02mm. L'utilisateur clique du bouton gauche de la souris sur " ok " pour voir que cette pièce est acceptée ou rejetée (bonne ou mauvaise).

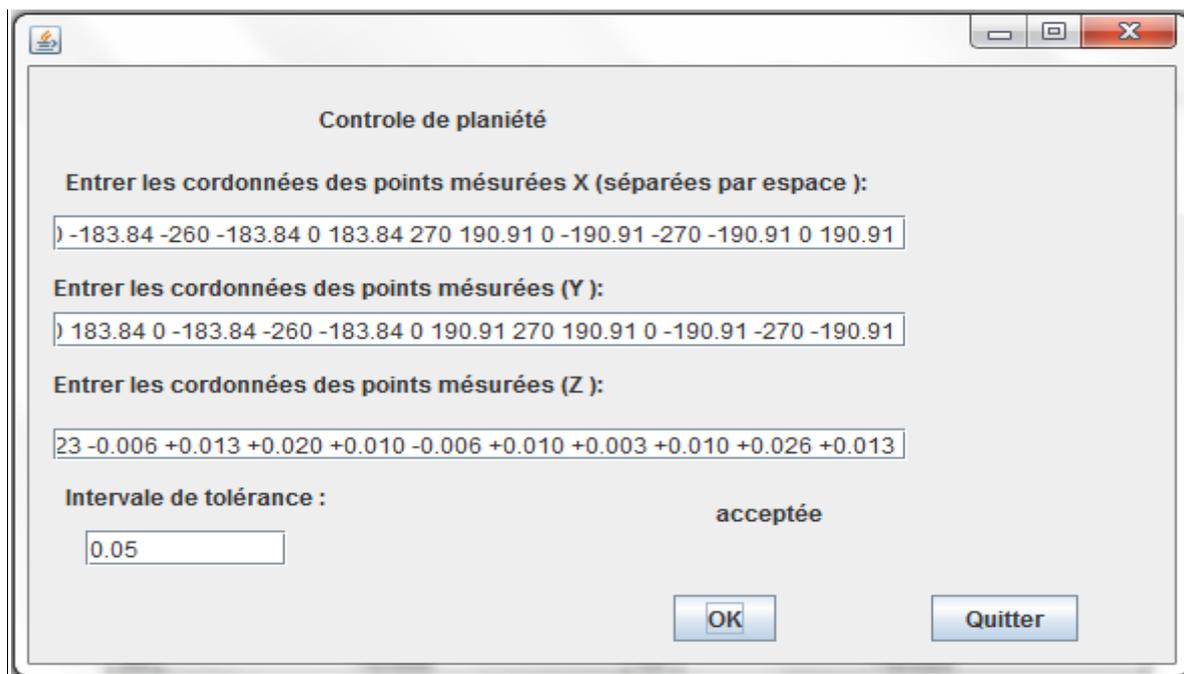


The screenshot shows a dialog box titled "Contrôle de planiété". It contains three input fields for measured points (X, Y, Z) and a tolerance interval field. The X-axis values are: -183.84 -260 -183.84 0 183.84 270 190.91 0 -190.91 -270 -190.91 0 190.91. The Y-axis values are: 183.84 0 -183.84 -260 -183.84 0 190.91 270 190.91 0 -190.91 -270 -190.91. The Z-axis values are: 23 -0.006 +0.013 +0.020 +0.010 -0.006 +0.010 +0.003 +0.010 +0.026 +0.013. The tolerance interval is set to 0.02. The result displayed is "rejetée". There are "OK" and "Quitter" buttons at the bottom.

Fig.4.8. Pièce rejetée avec IT = 0.02 mm (planité).

#### 4.5.2. Pièce acceptée avec IT = 0.05 mm

L'intervalle de tolérance imposé de 0.05mm. L'utilisateur clique du bouton gauche de la souris sur " ok " pour voir que cette pièce est acceptée ou rejetée (bonne ou mauvaise).



The screenshot shows a dialog box titled "Contrôle de planiété". It contains three input fields for measured points (X, Y, Z) and a tolerance interval field. The X-axis values are: -183.84 -260 -183.84 0 183.84 270 190.91 0 -190.91 -270 -190.91 0 190.91. The Y-axis values are: 183.84 0 -183.84 -260 -183.84 0 190.91 270 190.91 0 -190.91 -270 -190.91. The Z-axis values are: 23 -0.006 +0.013 +0.020 +0.010 -0.006 +0.010 +0.003 +0.010 +0.026 +0.013. The tolerance interval is set to 0.05. The result displayed is "acceptée". There are "OK" and "Quitter" buttons at the bottom.

Fig.4.9. Pièce acceptée avec IT = 0.05 mm (rectitude).

## 4.7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une méthodologie d'utilisation de ce programme développé, suivant l'intervalle de tolérance choisi. Le programme peut déclarer si la pièce est acceptée ou rejetée.

Nous essayons d'arriver à l'association des modèles géométriques mais elle prend plus de temps pour son élaboration.

.

## Conclusion Générale et perspective

Le palpé des points sur les surfaces usinées des pièces demande une grande précision de réglage du comparateur à cadran et des instruments associés de contrôle de la part du métrologue pour le relevé des écarts de mesure.

Les différents balancements de la pièce ne donnent pas les mêmes écarts de mesure et les mêmes défauts de forme nominaux. Ce qui explique, par conséquent que le métrologue ne peut pas affirmer que la pièce contrôlée est bonne ou mauvaise.

Afin, d'aider le métrologue à prendre la bonne décision du contrôle ; ce travail a pour but le développement d'un outil d'aide à l'association de surfaces (ou d'éléments géométrique réels) aux points palpés par le comparateur à cadran.

Deux parties ont été développées :

La première partie aborde les spécifications géométriques de forme et l'utilisation du comparateur à cadran pour le contrôle.

La seconde partie été consacrée à l'étude du modèle mathématique du critère d'association de surfaces par les moindres carrés et la conception d'un outil d'aide facilitant au métrologue la vérification du contrôle.

Dans notre perspective ; nous souhaitons développer ce programme d'aide pour :

- ✓ l'élargir aux vérifications des autres spécifications des pièces mécaniques.
- ✓ L'Amélioration des résultats avec le graphe qui représente l'élément associé pour chaque spécification géométrique.

## *Liste des abréviations*

CAO :	Conception Assistée par Ordinateur
CPM :	Contrôle des pièces mécaniques
3D :	trois dimensions

# Liste des figures

## Premier chapitre :

Figure.1.1 : organigramme de la démarche métrologique.....	6
Figure.1.2 : dimension, écart, tolérance, jeux et ajustement .....	11
Figure.1.3 : Indication de défaut de rectitude (1).....	12
Figure.1.4 : Signification de la rectitude (1).....	12
Figure.1.5 : Indication de défaut de rectitude (2) .....	13
Figure.1.6 : Signification de la rectitude (2) .....	13
Figure.1.7 : Indication défaut de planéité .....	13
Figure.1.8 : Signification de la planéité.....	14
Figure.1.9 : Indication défaut de La circularité .....	14
Figure.1.10: Signification de la circularité.....	15
Figure.1.11: Indication défaut de La cylindricité .....	15
Figure.1.12 : Signification de la cylindricité.....	16
Figure.1.13 : Indication défaut de profil des surfaces .....	16
Figure.1.14: Signification de profil de surface.....	17
Figure.1.15: comparateur à cadran .....	18
Figure.1.16 : principe de mesure avec comparateur à cadran .....	19
Figure.1.17 : Contrôle de la planéité d'une culasse .....	20
Figure.1.18 : Vé en quatre taille en fonte .....	21
Figure.1.19: Marbre de métrologie.....	22

## Deuxième chapitre :

Figure.2.1 : Désignation des points sur la surface (S) de la cale de fraiseuse.....	25
Figure.2.2 : Contrôle de la rectitude sur marbre de la cale de fraiseuse .....	26
Figure.2.3 : Surface à contrôler du disque de frein.....	29
Figure.2.4 : Dessin définition du disque de frein .....	30
Figure.2.5 : désignation et contrôle de la planéité .....	31
Figure.2.6 : Contrôle de la circularité (roulement).....	34
Figure.2.7 : Contrôle de la cylindricité (pignon du delco).....	36

### Troisième chapitre :

Figure.3.1 : Droite associée de la rectitude.....	44
Figure.3.2 : Plan associé de la planéité .....	47
Figure.3.3 : Cercle associé de la circularité .....	49
Figure.3.4 : Cylindre associé de la cylindricité .....	50

### Quatrième chapitre :

Figure.4.1 : Organigramme général pour la vérification des éléments.....	56
Figure.4.2 : Page d'accueil (palette).....	57
Figure.4.3 : Fenêtre de saisie des coordonnées des points palpés.....	59
Figure.4.4 : Coordonnées et intervalle de tolérance de la cale de fraiseuse (rectitude).....	60
Figure.4.5 : Pièce acceptée avec $IT = 0.05$ mm (rectitude) .....	61
Figure.4.6 : Pièce rejetée avec $IT = 0.02$ mm (rectitude).....	61
Figure.4.7 : les Coordonnées et intervalle de tolérance de disque de frein (planéité).....	62
Figure.4.8 : Pièce rejetée avec $IT = 0.02$ mm (planéité) .....	61
Figure.4.9 : Pièce acceptée avec $IT = 0.05$ mm (planéité) .....	61

## Liste des symboles :

IT : intervalle de tolérance

$\xi_i$  : L'écart de mesure

N : nombre de balancements de la pièce

Df<sub>n</sub> : Défaut de forme nominal

# Liste des tableaux

## Deuxième chapitre

Tableau 2.1 : Ecart de mesure de la rectitude de la cale de fraiseuse.....	27
Tableau 2.2 : Défauts de forme de la rectitude de la cale de fraiseuse.....	27
Tableau 2.3 : Moyennes des écarts de mesure de la rectitude de la cale de fraiseuse.....	28
Tableau 2.4 : Ecart de mesure de la planéité de disque de frein.....	32
Tableau 2.5 : Défauts de forme de la planéité.....	32
Tableau 2.6 : Moyennes arithmétiques des écarts de mesure de la planéité.....	33
Tableau 2.7 : Ecart de mesure de la circularité du roulement.....	35
Tableau 2.8 : Défauts de forme de la circularité.....	35
Tableau 2.9 : Moyennes arithmétiques des écarts de mesure de la circularité .....	35
Tableau 2.10 : Ecart de mesure de la cylindricité (pignon du delco).....	37
Tableau 2.11 : Défauts de forme de la cylindricité .....	38
Tableau.2.12 : Moyennes arithmétiques des écarts de mesure de la cylindricité.....	38
Tableau 2.13 : Récapitulatif des résultats.....	39

# *Référence bibliographique*

- [1] Zergui benaouda , Zar Abdelkader Zakaria. Élaboration d'un logiciel CAO pour le contrôle des pièces mécaniques. Thèse d'ingénieur. ENPO Oran.2001.
- [2] André Chevalier. Guide du dessinateur industriel. Édition 2004.
- [3] talbi.voila.net/Recherches/Cours\_dessin.pdf. Cour de dessin industriel et de construction mécanique.
- [4] xa.yimg.com/kq/groups/319573/1347076/name/Annex++FR+toler+%2B+Autres. pdf. Jacques BOULANGER .Tolérances et écarts dimensionnels, géométriques et d'états de surface. Métrologies et techniques de contrôle aux Automobiles Peugeot.
- [5] [www.ex2act.com/guide.html](http://www.ex2act.com/guide.html)
- [6] [fr.scribd.com/doc/88416330/Cours-Tolérances-Géométriques-e.construction](http://fr.scribd.com/doc/88416330/Cours-Tolérances-Géométriques-e.construction) mécanique (cour) tolérances geometriques.LPP Mendes France.
- [7] [fr.wikipedia.org/wiki/Comparateur\(appareil\\_de\\_mesure\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/Comparateur(appareil_de_mesure))
- [8] [www.hmdiffusion.com/rftp/sat/pdf/n065.pdf](http://www.hmdiffusion.com/rftp/sat/pdf/n065.pdf)
- [9] [cyril.domptail.perso.sfr.fr/.../1\\_resume\\_de\\_metrologie\\_dimensionnelle.pdf](http://cyril.domptail.perso.sfr.fr/.../1_resume_de_metrologie_dimensionnelle.pdf).Résumé de métrologie dimensionnelle IUT Nancy-Brabois Dpt QLIO à Lunéville
- [10] ANSELMETTI Bernard .métrologie et contrôle des spécifications ISO Vol.5 (Manuel de tolérancement).
- [11] <http://www.blet-mesure.fr/metrologie/support-en-marbre-mesures.html>
- [12] Mangouchi Ahmed. Exploration des moyens d'association de surfaces aux points palpés sur machine à mesurer tridimensionnelle .Thèse de magister.2005-2006.
- [13] [fr.wikipedia.org/wiki/Java\(langage\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/Java(langage))
- [14] [www.6ma.fr/lexique/informatique/java/](http://www.6ma.fr/lexique/informatique/java/)
- [15] A. Chevalier, édition 2002 « Guide du dessinateur industriel ».

---

## Résumé

**Résumé :** ce travail a pour objectif la conception d'un outil d'aide à la programmation de vérification de surfaces aux points palpés avec le comparateur à cadran pour la vérification des spécifications géométriques de forme des pièces fabriquées dans les ateliers de mécanique de petite et moyenne série.

Ce mémoire a été développé en trois parties essentielles.

La première partie est à une généralité sur la métrologie en fabrication mécanique.

La deuxième partie, elle comporte les applications du contrôle des spécifications de forme concernant la rectitude, la planéité, circularité et la cylindricité sur différentes pièces fabriquées avec la méthode conventionnelle utilisant le marbre comme plan de référence, le comparateur à cadran pour relever les écarts de mesure des points palpés par rapport à un axe de mesure, des instruments associés pour le contrôle.

Enfin pour déclarer la conformité des pièces contrôlées, la troisième partie est consacrée à l'étude mathématique des équations des éléments de ces formes géométriques pour déterminer leurs directions générales optimales et à la conception d'un outil d'aide pour leurs vérifications.

Ce programme remplit deux fonctions. La première fonction consiste à charger les coordonnées de ces points palpés et l'intervalle de tolérance imposé après avoir choisi la spécification de forme considérée. La seconde fonction déclare l'acceptation ou le rejet de la pièce.

**Mots clés :** spécification géométrique, points palpés, métrologie, contrôle, vérification.

---

## Abstract

**Abstract:** the objective of this work is the design of a tool that assists the programming of the check of surfaces at the contact points with the dial gauge to check the geometrical specifications of form of the manufactured parts in the mechanical workshops of small and average batch production.

This memoire is divided in three essential parts.

The second part, it comprises the applications of the control of the specifications of form concerning the straightness, flatness, circularity and cylindricity on various parts manufactured with the traditional method using the marble like datum-line, the gauge dial to raise the variations of measurement of the points palpated compared to an axis of measurement, instruments associated for control and measurement.

Finally to declare the conformity of the controlled parts, the second party is devoted to the mathematical study of the equations of the elements of these geometrical forms to determine their optimal general directions.

This software fulfills two functions. The first function consists in charging the co-ordinates of these points palpated and the interval of tolerance imposed by the design drawing of the part after having chosen the specification of form considered. The second function declares the acceptance or the rejection of the part.

**Key words:** spécification géométrique, contact points, control, metrology, checking.

---

## ملخص

الغاية من هذا العمل هو إعداد برمجة أداة مساعدة لمراقبة السطوح بالنقاط الملتزمة بواسطة الجهاز المقارن لمراقبة المواصفات الهندسية الشكلية على القطع المصنعة داخل ورشات الميكانيك بالسلسلة الصغيرة والمتوسطة.

تنقسم هذه المذكرة إلى ثلاثة أجزاء أساسية :

يتضمن الجزء الأول عموميات حول القياس في التصنيع الميكانيكي.

أما الجزء الثاني فيحتوي على تطبيقات لمراقبة المواصفات الهندسية الشكلية على قطع مشغلة ومختلفة بالطريقة المتوافق عليها التي تخص الاستقامة، الاستواء والاستدارة و الاسطوانية بحيث نستعمل زهرة الاستواء كسطح مرجعي أما الجهاز المقارن لأخذ الانحرافات البعدية لمختلف النقاط الملتزمة بالنسبة لمحور القياس و وسائل مشاركة أخرى للمراقبة و قياس إحداثياتها على المحورين الآخرين.

تتضمن الوظيفة الأولى: إدخال إحداثيات النقاط الملتزمة ومجال السماح المفروض داخل البرنامج بعد الضغط على زر المواصفة الهندسية المناسبة.

أما الوظيفة الثانية فهي التصريح بالقبول أو عدم القبول للقطعة.

**الكلمات المفتاحية:** النقاط الملتزمة ، العناصر الهندسية ، تفتيش ، مراقبة ، فحص.

---

## Annexe A : Tolérances de forme

[15] A. Chevalier, édition 2002 « Guide du dessinateur industriel »

Tolérances de forme						
SYMBOLE						
SIGNIFICATION	Profil d'une surface	Profil d'une ligne	Planéité	Rectitude	Cylindricité	Circularité
TOLERANCE LARGE			0,1mm/m	0,1mm/m	0,04mm/m	IT8
TOLERANCE REDUITE			0,04mm/m	0,02mm/m	0,02mm/m	IT5
Exemple	Illustration de la tolérance			Application		
<b>RECTITUDE</b>						
<p>Une ligne quelconque du plan suivant la direction donnée, doit être comprise entre deux droites parallèles distantes de 0,02. Pour une ligne convexe, les droites sont orientées pour que la valeur h soit minimal.</p>						
<b>PLANEITE</b>						
<p>Une partie quelconque de la surface, sur une longueur de 80, doit être comprise entre deux plans parallèles distants de 0,05. Orientation des plans: voir rectitude.</p>						
<b>CIRCULARITE</b>						
<p>Le profil de chaque section droite doit être compris entre deux cercles coplanaires concentriques dont les rayons diffèrent de 0,02. Le cercle intérieur est le plus grand cercle inscrit.</p>						
<b>CYLINDRICITE</b>						
<p>La surface doit être comprise entre deux cylindres coaxiaux dont les rayons diffèrent de 0,05. Le cylindre extérieur est le plus petit cylindre circonscrit.</p>						
<b>PROFIL D'UNE SURFACE QUELCONQUE</b>						
<p>La surface tolérancée doit être comprise entre les deux surfaces qui enveloppent l'ensemble des sphère de <math>\varnothing 0,04</math> centrées sur une surface ayant la forme géométrique théorique exacte.</p>						

## Annexe B : Structure des programmes

### *Structure de programme pour la rectitude :*

```
package applpfe;

import java.util.StringTokenizer;

public class rectitude extends javax.swing.JFrame {

    /** Creates new form rectitude */

    public rectitude() {

        initComponents();

    private void jButton1ActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {

        boolean v = true;

        StringTokenizer t = new StringTokenizer(jTextField1.getText());

        // System.out.println(jTextField1.getText()+" "+t.countTokens());

        String[] point = new String[t.countTokens()];

        int c = t.countTokens();

        // System.out.println(c + " "+t.nextToken()+"\n");

        for (int i = 0; i < c; i++) {

            point[i] = t.nextToken();

            System.out.println(point[i]);

        float f = Float.parseFloat(jTextField2.getText());

        System.out.println(f);

        for (int i = 0; i < c; i++) {

            float p = Float.parseFloat(point[i]);

            if ((p < -f) | ((p > f))) {

                v = false;

            if (v == false) {

                System.out.println("rejetée");

                jTextField3.setText(" Rejetée");

            } else {
```

```
        System.out.println("acceptée");

        java.awt.EventQueue.invokeLater(new Ru() {

            new rectitude().setVisible(true nnable() {

                public void run

            });

        });
    }
}
```

### *Structure de programme*

```
package applpfe;

import java.util.StringTokenizer;

public class planiété extends javax.swing.JFrame {

    /** Creates new form planiété */
    public planiété() {

        initComponents();

    }

    private void jButton1ActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {

        boolean v = true;

        StringTokenizer t = new StringTokenizer(jTextField1.getText());

        // System.out.println(jTextField1.getText()+" "+t.countTokens());

        String[] point = new String[t.countTokens()];

        int c = t.countTokens();

        // System.out.println(c + " "+t.nextToken()+"\n");

        for (int i = 0; i < c; i++) {

            point[i] = t.nextToken();

            System.out.println(point[i]);

        }

        float f = Float.parseFloat(jTextField2.getText());

        System.out.println(f);
    }
}
```

```
for (int i = 0; i < c; i++) {  
    float p = Float.parseFloat(point[i]);  
    if ((p < -f) | ((p > f))) {  
        v = false;  
    }  
}  
  
if (v == false) {  
    System.out.println("rejetée");  
    jLabel4.setText("rejetée");  
} else {  
    System.out.println("acceptée");  
    jLabel4.setText("acceptée");  
}  
  
v = true;  
}  
  
private void jButton2ActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {  
    this.setVisible(false);  
  
public static void main(String args[]) {  
    java.awt.EventQueue.invokeLater(new Runnable() {  
        public void run() {  
            new planiété().setVisible(true);  
        }  
    });  
}
```